

話題

理研 RIBF 新入射器 RILAC2 の建設

渡邊 裕^{*1}・池沢 英二^{*2}・大西 純一^{*2}・熊谷 桂子^{*2}・込山 美咲^{*2}
 藤縄 雅^{*2}・藤巻 正樹^{*2}・眞家 武士^{*2}・山澤 秀行^{*2}
 横内 茂^{*2}・渡邊 環^{*2}・渡辺 博^{*2}

Installation of a New Injector RILAC2 for RIKEN RIBF

Yutaka WATANABE^{*1}, Eiji IKEZAWA^{*2}, Jun-ichi OHNISHI^{*2}, Keiko KUMAGAI^{*2}, Misaki KOMIYAMA^{*2},
 Tadashi FUJINAWA^{*2}, Masaki FUJIMAKI^{*2}, Takeshi MAIE^{*2}, Hideyuki YAMASAWA^{*2},
 Shigeru YOKOUCHI^{*2}, Tamaki WATANABE^{*2} and Hiroshi WATANABE^{*2}

Abstract

As the third injector of the RIKEN Ring Cyclotron (RRC), RILAC2 has been constructed in order to increase the beam intensity of uranium beam at the RIKEN RI beam factory. The RILAC2 consists of a superconducting ECR ion source (SCECRIS) with an operational frequency of 28 GHz and the linac system (RFQ followed by three drift-tube linacs, DTL1, DTL2 and DTL3). The installation of DTL1, DTL2 and DTL3 started in February 2010 next to the AVF injector site. The SCECRIS, after tested in RILAC pre-injector of high voltage terminal, was installed in newly constructed small building outside of Nishina memorial building. The RFQ were installed in the spring 2010 after its operation frequency was slightly changed. The construction of beam lines (LEBT and HEBT) followed it. The construction will soon finish and the beam commissioning with a Xe beam will start at the end of 2010. It is expected that beam intensity of uranium beam will be improved much in the autumn 2011.

1. はじめに

理研 RIBF は、2006 年に 3 台のサイクロトロン (fRC, IRC, SRC) が完成し、2009 年までにほとんどすべての質量数のイオンについて、予定されていたエネルギーまでの加速が検証された¹⁻³⁾。現在は、次なる目標であるすべての質量範囲の元素について、 $1 \mu\text{A}$ (6×10^{12} 個/秒) を目指して努力が続けられている。軽い元素ではすでにこの目標が達成され、⁴⁸Ca ビームでは目標の 25% までに達している。しかし、最も重いウランについては、目標の 1000 分の 1 に満たない達成度である²⁾。

ウランのビーム強度を増強するためには、理研リングサイクロトロン (RRC) への入射器を大幅に改造しなければならない。より高性能なイオン源とより高安定・高加速効率であるリニアックとの組み合わせが必要である。現在の入射器 RILAC の改造ではいろいろ困難が伴うことと、我々にとってもう一つ大切な実験装置 GARIS での超重元素探索実験のために RILAC を現

状のまま残し、RILAC とは全く独立に、RIBF と並行な使用を可能にする新入射器 RILAC2 を導入することが決まった^{4,5)}。

まず、第一段階として、28 GHz 超伝導 ECR イオン源 (Superconducting ECR Ion Sources; SCECRIS) が開発された⁴⁻⁶⁾。次に、高周波四重極線形加速器 (Radio Frequency Quadrupole; RFQ) と 3 台のドリフトチューブリニアック (Drift-Tube Linacs; DTL1, DTL2, DTL3) が設計・製作された^{4,5,7-9)}。現在、それらの機器を含めた RILAC2 の建設^{10,11)} を進めており、ここではその建設状況について報告する。

2. 新入射器 RILAC2

2.1 建設の経緯

イオン源を含めた RILAC2 は、現存する RILAC に比して小型 (平面面積 50% 以下) の入射器である。ただ、その置き場所の選定については二転三転した。RILAC-RRC の BT 系ラインに沿わせる形がもっとも自然では

*1 (独) 理化学研究所仁科加速器研究センター RIKEN Nishina Center for Accelerator-Based Science
 (E-mail: ynabe@riken.jp)

*2 (独) 理化学研究所仁科加速器研究センター RIKEN Nishina Center for Accelerator-Based Science



RILAC2 設置後(宮内成真氏写真提供)

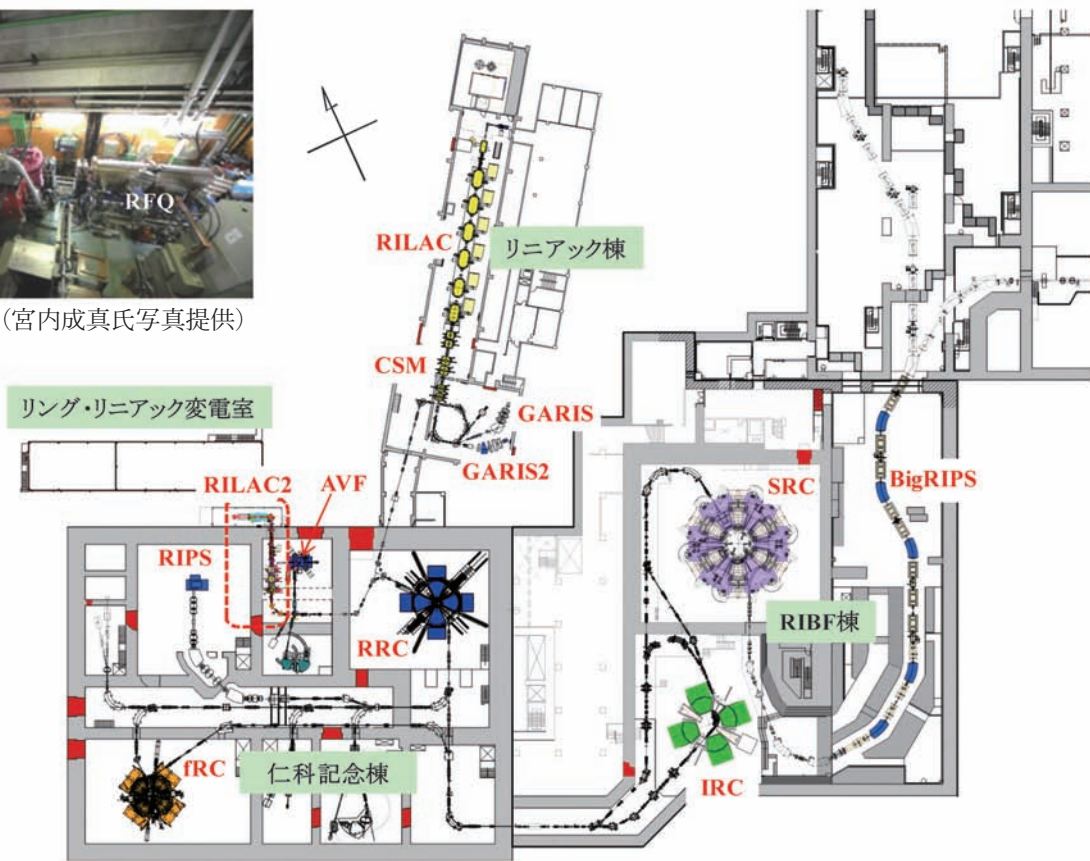


図1 理研 RIBF

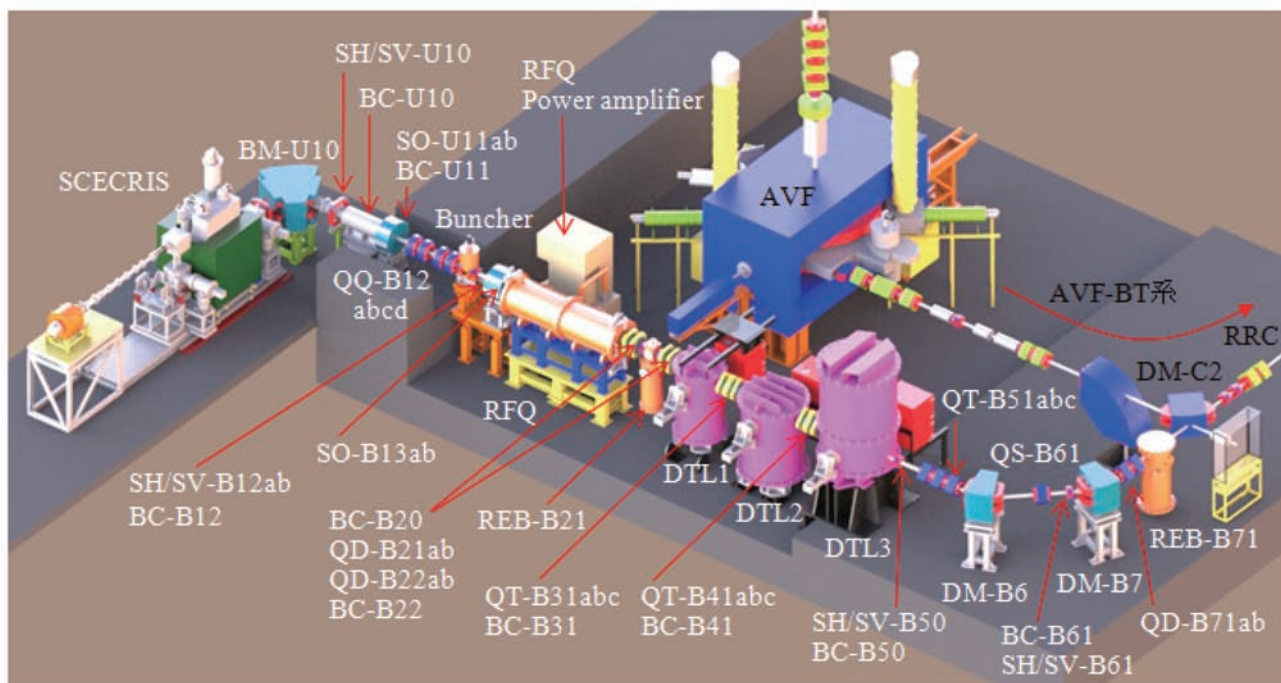


図2 RILAC2(西田稔氏作図). SCECRIS; 超伝導 ECR イオン源, BM, DM; 偏向電磁石, SO; ソレノイド電磁石, QQ, QT, QD, QS; 四極電磁石(4連~1連), SH/SV; ステアリング電磁石, REB; リバンチャー, BC; ビーム診断ステーション. 機器の略名は, ハイフン[-]の前が機器名(DM, SO, QT, BCなど)を, ハイフン[-]の後が設置場所(U: 第2イオン源室, B: AVF室内RILAC2, C: AVF-BT系ライン, 小文字アルファベット: 複数台ある時の区別a~d)を表している

あるが、それぞれ 7 ton 近い装置が並ぶシステムを設置するには、RILAC-RRC 間は建物が複雑、かつ地形が軟弱であり、大規模な建屋工事が伴うことは現実的ではなかった。そこで、**図 1** に示す通り AVF 室の北西側が提案された。

RILAC2 建設は、AVF 単独運転といくつかの制約が発生するが、実際上問題はなさそうである。また、新イオン源を納める建屋を、RRC 本体室への搬出入ルートをつさぐ形で立てる必要があった。今後、大きな装置を RRC 室から出し入れする際には、その工夫が必要になる。

2.2 装置構成

RILAC2 は、**図 2** に示す装置構成となっており、まず SCECRIS に始まり、90 度分析電磁石 BM-U10 やビーム診断ステーション BC-U10 によるビーム分析が行われ、LEBT (Low-Energy Beam Transport) 系ライン^{10,12,13}でのビーム集光を経て、RFQ ヘビーム輸送される。その RFQ から、リバンチャーを介して DTL までビームが加速され、2 台目のリバンチャーがある HEBT (High-Energy Beam Transport) 系ライン¹⁰を経て既存 AVF-BT 系ライン DM-C2 へ合流し、RRC へ輸送される。なお、機器の名称はハイフン [-] の前が機器の略名 (DM, SO, QT, BC など) を、ハイフン [-] の後が設置場所 (U: 第 2 イオン源室, B: AVF 室内 RILAC2, C: AVF-BT 系ライン, 小文字アルファベット: 複数台ある時の区別 a ~ d) を表している。

- (1) SCECRIS⁴⁻⁶; 6 極コイルと 6 つの超伝導ソレノイドコイルを持つイオン源。超伝導電磁石 (超伝導コイル, クライオスタット), 28 GHz マイクロ波源, プラズマチェンバー, BM-U10, ステアリング電磁石 SH/SV-U0・SH/SV-U10, ソレノイド電磁石 SO-U0, BC-U10 で構成。
- (2) LEBT 系ライン^{10,12,13}; SCECRIS ~ RFQ 間の BT 系ライン。バンチャー Buncher, ペアソレノイド電磁石 SO-U11ab・SO-B13ab, 四極電磁石 QQ-B12abcd, ビーム診断ステーション BC-U11・BC-B12, ステアリング電磁石 SH/SV-B12ab で構成。
- (3) RFQ^{4,5,7,8}; 4 ロッド型。改造により共振周波数を変更。励振器とともに設置。
- (4) DTL^{4,5,7-9}; それぞれ励振器が組み込まれた 3 台の共振器 (DTL1, DTL2, DTL3) から構成。各 DTL 間には強力な薄型 3 連四極電磁石¹⁴を設置。RFQ ~ DTL1 間にはリバンチャー REB-B21 を配置。
- (5) HEBT 系ライン¹⁰; DTL3 ~ AVF-BT 系ライン間の BT 系ライン。リバンチャー REB-B71, 45 度偏向電磁石 DM-B6・DM-B7, 四極電磁石 QT-

B51abc・QS-B61, QD-B71ab, ステアリング電磁石 SH/SV-B50・SH/SV-B61, ビーム診断ステーション BC-B50・BC-B61・BC-B71 で構成。

3. インフラ整備

SCECRIS は配置の関係から AVF 室北西側の屋外に設置せざるを得ず、またウラン使用による核燃料使用施設として独立した建物が必要であったため、新イオン源室 (以下第 2 イオン源室) を建設することになった。それとともに、冷却設備の建設と交流電源ケーブル等の敷設工事などのインフラ整備も行った。

3.1 第 2 イオン源室の建設

建設敷地は、仁科記念棟とリング・リニアック変電室の間、幅 6m と狭い場所であるが、ここには RIBF 棟やリニアック棟の実験排水管, 雨水排水管, 生活排水管, 上水配管, 井水配管などのライフラインが全面に埋設されていて、これらの盛り替え工事が必要になった。2009 年夏に盛り替え工事を実施したが、ここは RRC 本体室や AVF 室への搬出入ルートであったため、一部の配管は保護コンクリートで覆われており、その破碎作業に時間がかかった。

その工事のあと、**図 3** に示すような鉄骨造・平屋建て、幅 12 m × 奥行 3.5 m × 高さ 3.5 m (50 m²) の第 2 イオン源室が 2010 年 2 月に完成した。狭い敷地に建てたこともあり、室内は狭いため、設置やメンテナンスのための機器搬出入用として、屋上にはマシンハッチ 2850 × 1815 mm を設けた。これは、機器の中で最も大きく、重い、超伝導電磁石 1300 × 1300 × 1310 mm, 約 6 ton に合わせ、マシンハッチのサイズと位置を決めた。また、核燃料使用施設としての建屋のため、室内の換気と排水処理の対策として、換気は室内の圧力を負圧 (第 3 種換気) にして外気を引き込み、フィルターユニットを通して排気される設備とし、排水は壁を通して AVF 室内の RI 排水管に接続させ、排水されるように配管を敷設した。なお、建物の主な仕上げは下記の通りである。

- (1) 基礎形式: ベタ基礎

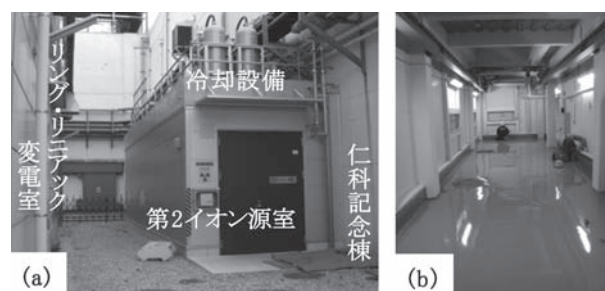


図 3 第 2 イオン源室. (a) 外観, (b) 室内

- (2) 床：塗床（エポキシ樹脂系）
- (3) 外壁：断熱鋼板パネル（ $t=50$, 1時間耐火）
- (4) 屋上：コンクリート金ゴテ押え・シート防水
- (5) その他：アルミ製螺旋階段, マシンハッチ, 設備基礎（空調機, 冷却設備）

3.2 冷却設備の建設

冷却設備の設置は、当初、第2イオン源室西側を考えていたが、ラフタークレーンによる SCECRIS の搬入（4.1 SCECRIS にて詳細を記述）があり、第2イオン源室を鉄骨造・平屋建てにしたことにより、完成した第2イオン源室の屋上に設置することができた。冷却設備は2010年3月に、**図4**に示すように完成した¹⁾。主な仕様は下記の通りである。

- (1) 一次側冷却水ポンプ；循環水量 1700 L/min, 揚程 100 m, 電動機出力 55 kw/2 P, インバータースタート方式
- (2) プレート熱交換器；熱交換能力（最大）787 kw
- (3) 純水装置；イオン交換カートリッジ式純水器×2基, 補給水系×1基

この特徴は、従来の冷却塔を用いた冷却方式とは異なり、RIBF 吸収式冷凍機により発生する冷水を使用して装置の冷却を行う点にある。そのため、低製作コスト、低ランニングコストに加えて、比較的冷却水の温度が安定している利点がある。

3.3 交流電源ケーブル等の敷設工事

既存施設の余剰電源を利用して、電源ケーブル等の敷設工事は2009年度に行われた。リング・リニアック変電室内キュービクル電源の遮断機（Moulded Case Circuit Breaker; MCCB）から第2イオン源室, AVF 室第2ステージやE6室などへ電源ケーブル等の敷設工事と、分電盤の設置工事を行った。

なお、雷害などの停電に備え、超伝導電磁石用ヘリウム再凝縮冷凍機と冷却水ポンプは、コージェネレーションシステム（Co-Generation System; CGS）母線系

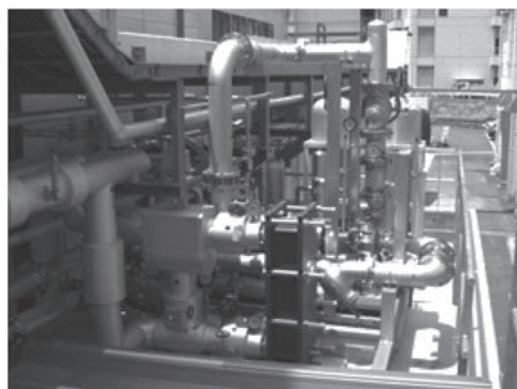


図4 冷却設備

からも配電し、事実上の無停電電源とした。しかも、当所保安規定による年1回のCGS母線点検時にも給電運転する目的で、商用母線からも切り替えて配電し、電源の二重化を行った。なお、今回、RIBF棟にあるCGS吸収式冷凍機の送水ポンプ（高効率4P, 出力55kW）も商用母線から切り替えて配電し、通年運転を可能とした。

4. RILAC2 装置の設置

RILAC2 建設では、既存 AVF 機器があるため室内が狭いこと、天井クレーンが AVF より南側でしか使用できないこと、そして第2イオン源室, 第2イオン源室～AVF 室間の壁内（開口部；4.2節で詳細を記述）、AVF 室北側と南側で床高さが異なることが問題であり、搬入作業やアライメントに長い時間を要した。

4.1 SCECRIS

SCECRIS は、6極コイルと6つの超伝導ソレノイドコイルを持つイオン源である。2009年度に完成した SCECRIS は、リニアック棟の既設コッククロフト＝ウォルトン高電圧ターミナルに設置し、イオン源の試験運転を行っていたが、2010年6月に新しく完成した第2イオン源室へ移設した。なお、SCECRIS を設置すると、後で述べるLEBT系ラインの一部が室内奥（東側）に搬入できなくなるため、SCECRIS より先に搬入した。

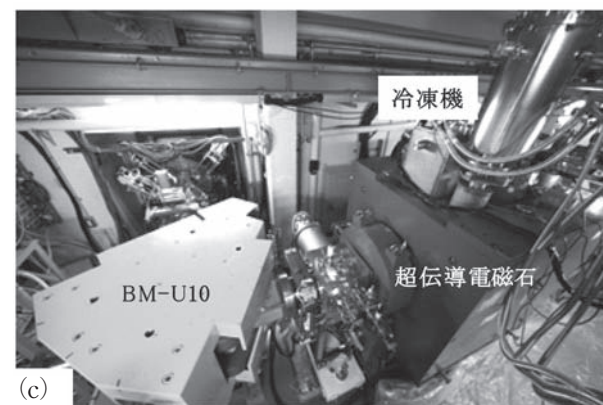
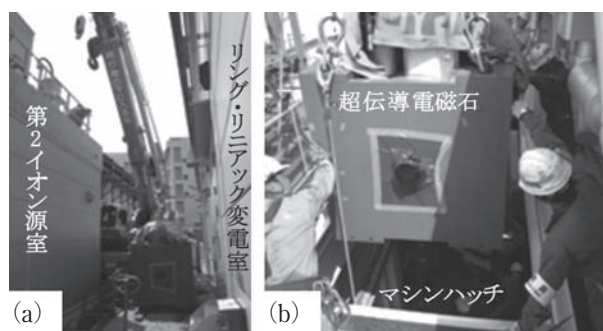


図5 SCECRIS. (a) 65 ton ラフタークレーン, (b) 超伝導電磁石の搬入, (c) 設置後（宮内成真氏写真提供）

その後、超伝導電磁石と BM-U10 は、**図 5** に示すように、屋上のマシンハッチよりラフタークレーンを用いて搬入された。ただし、第 2 イオン源室とリング・リニアック変電室の建物間（幅約 2.3 m）は非常に狭いため、ラフタークレーンはマシンハッチ近くまで寄ることができない。超伝導電磁石 6 ton の搬入のために、マシンハッチとラフタークレーンとの距離（作業半径）が約 12 m であることを考慮すると、ラフタークレーンは 65 ton タイプ（SL-650R）を用いるしかなかった。

4.2 LEBT 系ライン

LEBT 系ラインの一部は、第 2 イオン源室～ AVF 室間の壁内（開口部）へ機器を設置しなければならない。また、その機器の設置後は必要に応じた遮蔽が必要であるため、その検討と作業に時間を要した。

機器設置のために、まず、第 2 イオン源室～ AVF 室間の壁コア穿孔工事が必須であった。機器設置の作業性やメンテナンス性を考えると、第 2 イオン源室～ AVF 室間の壁 2000 mm に対して横 1500 × 高さ 1500 mm という大きな開口が必要であった。壁コア穿孔工事は第 2 イオン源室の建設と平行して行われたが、これだけ大きな壁穿孔工事を行うには一回の壁穿孔では終わらない。**図 6** に示すように、(1) 12 箇所 (3 × 4) に ϕ 50 mm の小径な壁コア穿孔工を行い、(2) それら穴間をワイヤーカットし、(3) チェーンブロックにて、カットされたブロックを引き出し・搬出して、(4) 最後に、モルタルにて表面仕上げ、の順に行った。そのほか、 ϕ 200 以下のケーブル敷設用壁コア穿孔工事も十数カ所で行った。これら穿孔工事中、3 度にわたり壁に埋められていた遮蔽扉管理用信号線や火災報知器信号線を切断してしまった。その度、穿孔工事で流し

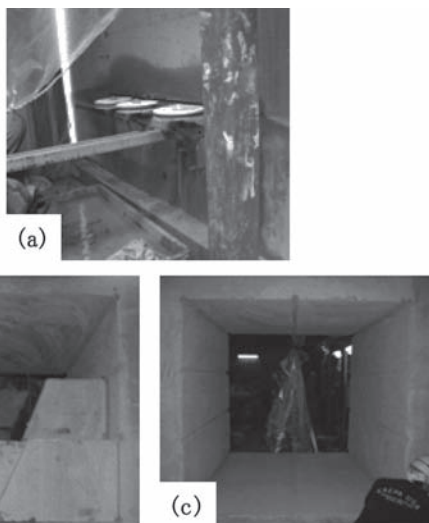


図 6 壁コア穿孔工事. (a) ワイヤークット, (b) ブロック引き出し, (c) モルタル仕上げ前

ている水が泥水となって、信号線用埋設管を伝ってほかの階へ流れ込んでしまい、機器を汚してしまった。建築当初の設計図には、詳細な記載がなかったために起こったことではあるが、関係者にはご迷惑をお掛けした。

前述の通り、第 2 イオン源室と AVF 室は管理区域が異なるため、機器設置後は開口部長さ 2000 mm のうち、コンクリート 1100 mm 相当分の厚さの遮蔽が必要であった。今回、**図 7** に示すように、開口部の AVF 室側に設置する QQ-B12abcd の領域を遮蔽することにしたが、その設置作業をご紹介します。

- (1) 開口部内で、QQ-B12abcd の上下、左右（壁の東西側）には、面板やアングルで補強された大型コンクリートブロック (300 × 400 × 1200 mm, 約 330 kg など) をセットし、壁へアングルにて固定した。
- (2) QQ-B12abcd の設置では、開口部内で 4 つの電磁石を個々にアライメントすることが大変なため、開口部外で共通架台上に設置し、アライメントした後で、QQ-B12abcd と共通架台を一体として開口部内に設置した。
- (3) QQ-B12abcd の各コイル間や各電磁石間は形状が複

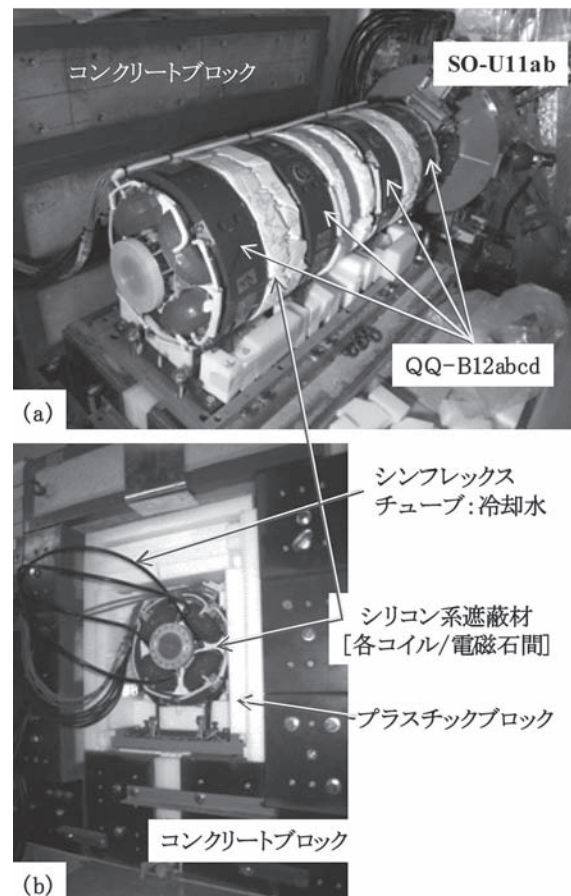


図 7 QQ-B12abcd と遮蔽. (a) アライメント後, (b) 遮蔽後

雑なため、不燃性のブロック材による遮蔽では電磁石とブロックとの間に大きな隙間ができてしまう。そこで、流動性のあるシリコン系遮蔽材を使用することにした。これは、基材、架橋剤、硬化剤を混合させ、使用したい箇所に流し込んで固めるもので、今回は少しでも燃えにくくさせるためアルミナ系粒子を混合させたシリコン系遮蔽材を用いた。QQ-B12abcdの設置前に、四極電磁石を横にし、段ボール紙などで壁を作ったり、ビニールを敷いて電磁石を保護したりしたところに、混合させたシリコン系遮蔽材を流し込み、約1日乾燥させて固め、遮蔽部材（各コイル間16個、各電磁石間12個）を作製した。共通架台へ設置する時、これら遮蔽部材を各コイル間や各電磁石間にセットした（図7（a）参照）。

(4) QQ-B12abcdと大型コンクリートブロックとの隙間には、図7（b）に示す通りプラスチックブロックをセットした。

さらにもう一つ、大きな問題があった。この四極電磁石は、既存四極電磁石を利用したものの、空冷タイプのため、遮蔽部材を各コイル間や各電磁石間などにセットしてしまうと、コイルの熱を発散できなく、温度上昇してしまうので、遮蔽をしつつ冷却する対策をしなければならなかった。そこで、まず、4本の冷却配管を溶接したステンレス製ビームダクトを製作し、QQ-B12abcdに組み込んだ。この配管を流れる冷水によりビームダクトを冷やし、接している鉄心などを通してコイルが冷却されるように試みたが、通電テストで思うような冷却効果が得られなかった。そのため、遮蔽に問題ない範囲で、前述（4）のプラスチックブロックを所々抜いて、1～2 cm程度の小さな隙間を作り、そこへ送風機により風を送った。通電テストでは必要な冷却効果が得られていることを確認できた。

開口部～RFQ間は図8に示すように、RILAC2ライ

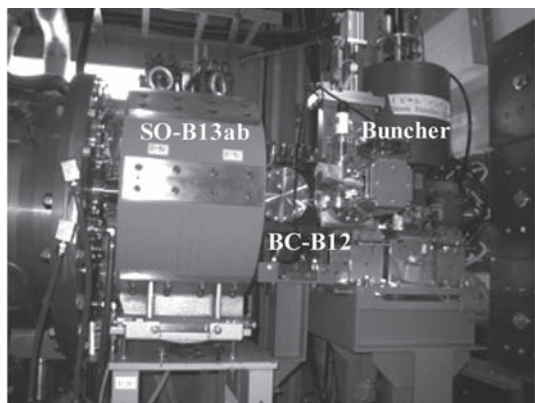


図8 LEBT系ライン

ン長さ約1250 mmに対してSH/SV-B12ab, Buncher, BC-B12, SO-B13abを設置しなければならず、継手・ボルトと干渉した架台の改造を行うなど設置に時間を要した。アライメントは、トランシットをDTL1上部にセットし、Yレベルを西壁とRILAC2との狭い場所にセットすることで何とか実施した。なお、BC-U11～SO-U11ab間とBC-B12～SO-B13ab間はスペースがなかったため、フランジによる接続ができなかった。BC-U11やBC-B12は、それぞれのソレノイド電磁石（SO-U11ab, SO-B13ab）にダクトを通してからフランジを溶接し設置された。

4.3 RFQ

RFQは、1993年にイオン注入装置用として日新電機株式会社で開発され、京都大学化学研究所先端ビームナノ科学センターにて維持管理が行われてきたもの



(a)



(b)

図9 RFQ. (a) 搬入時, (b) 設置後

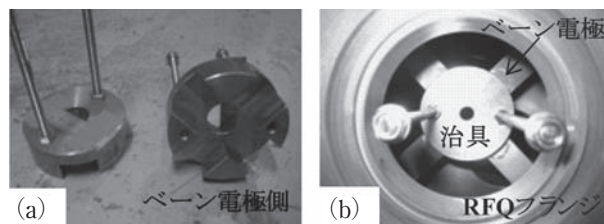


図10 アライメント専用治具. (a) 治具, (b) ベーン電極にセットした様子. 手が入らないため、スタットボルトを取手として利用した

を当所が 2007 年 11 月に譲り受けた。RILAC2 の仕様に合わせて共振周波数を変更し、2010 年 5 月に、**図 9** に示す通り、励振器とともに AVF 室へ設置した。

ここで問題となった点はアライメント方法である。4 つのベーン電極と真空箱（空洞）の相対位置が不明であったため、直接、ベーン電極の中心を確認できる専用治具を製作した。その専用治具は、**図 10** に示すように中心に穴があり、その周りに芯出しのためのけがき線を入れ、4 つのベーン電極にしっかりとまるように製作されたものであり、ベーン電極の上流側と下流側へ交互にセットされた。トランシットと Y レベルは、ダクト内を通して専用治具を確認できるように DTL3 下流側に交互にセットされ、アライメントが行われた。

4.4 DTL

DTL は 3 台の共振器から構成され、DTL1 と DTL2 は新規に製作し、DTL3 は RILAC で使用していた Charge State Multiplier (CSM) の減速用空洞を改造し、2010 年 3 月に設置された。それぞれの励振器は設置スペースの問題から各共振器に組み込まれ、各 DTL 間には集束用として強力な薄型 3 連四極電磁石が設置された。DTL の設置では、**図 11** を見ればわかるように、RFQ ~ DTL1 間、各 DTL 間、DTL と西壁間、あるいは DTL と AVF 間は非常に狭く、既存機器や架台、盤などとの干渉の問題もあり、設置やアライメントでは長い時間を要したので、いくつか事例をご紹介します。なお、RFQ ~ DTL1 間には REB-B21 が設置されたが、詳細は 4.6 節で述べる。

- (1) 設計では西壁と RILAC2 ラインの距離が 1500 mm であったが、実際に RILAC2 ラインの芯（基準）を床上に落とした時、1480 mm であった。そのため、DTL3 トリマ駆動系が西壁と干渉する恐れが出てきてしまい、RILAC2 ラインは AVF-BT 系ラインとの距離ではなく、西壁を基準に RILAC2 ラインの芯を床上に落とさざるを得なかった。つまり、RILAC2 ラインは、西壁との距離 1500 mm を確保するため、設計値よりも AVF（東）側に 20 mm ずらした。この変更は、DTL の設置が RILAC2 建設の中で最初であったため、大きな問題にはならなかった。
- (2) DTL 共振器と西壁の間はケーブルや配管の敷設スペースとした。しかし、そのスペースは、既存の配管や分電盤との干渉、DTL 用の冷却配管とケーブル敷設（ラックや敷設用穿孔）との干渉を慎重に検討する必要があった。**図 11 (b)** を見てわかるように、思った以上に狭く、足の踏み場がない状況であり、今後対策をしない限り人の通行は困難で

ある。

- (3) DTL 共振器と AVF の間は、励振器、真空ポンプやクライオコンプレッサなどを配置しつつ、通路を確保した。ただし、DTL1 励振器用架台は、通路を確保するために吊り下げタイプとした。
- (4) 各 DTL 間は、薄型 3 連四極電磁石がその区間のほとんどを占有するため、各 DTL 間のビーム診断ステーション BC-B31、BC-B41 は特殊な設計がなされ、コンパクトな形状に製作された。その設置では、**図 11 (c)** に示すように、DTL 共振器や四極電磁石の冷却配管、ブスバーなどとの干渉が多数あり、それを避けながら実施しなければならぬため、フランジのネジ締めは特殊工具を作っても大変な

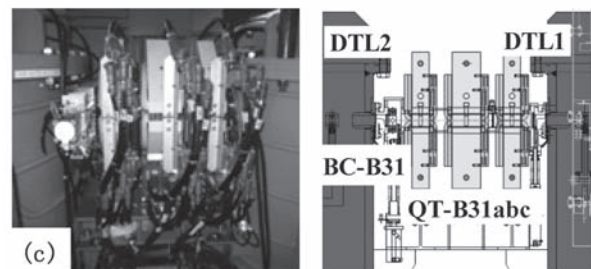
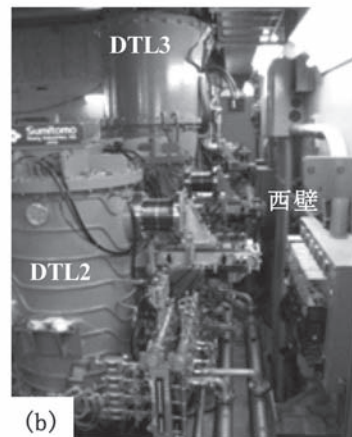
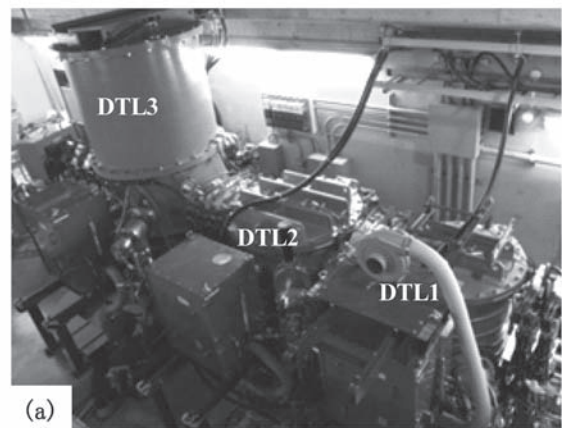


図 11 DTL. (a) 全体（宮内成真氏写真提供）、(b) DTL - 西壁間、(c) DTL1-DTL2 間（右：模式図）

作業であった。

- (5) DTL や RFQ には, 13 面もの各種増幅器盤や各制御盤が必要である. この設置スペースを確保するために, AVF 室に隣接する E6 室には, 既存電磁石電源盤の上に, 図 12 に示すステージを建設した. このステージは, 既存電磁石電源盤上部のメンテナンスができるようにステージ床下のスペースを確保したため, 設置後の盤上部が天井クレーンの

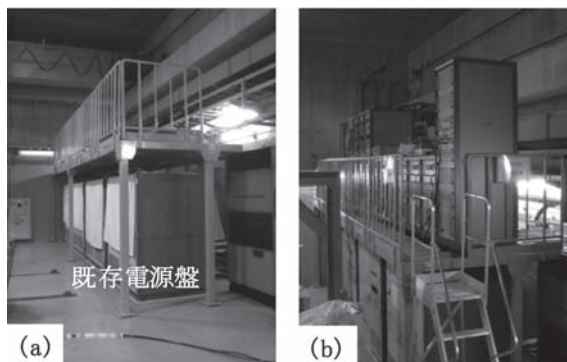


図 12 ステージ. (a) 建設後, (b) 盤設置後

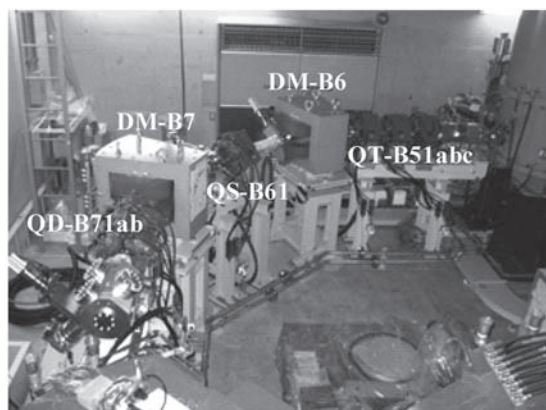


図 13 HEBT 系ライン

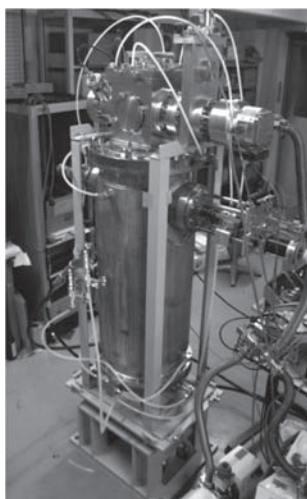


図 14 REB-B21

走行に対してぎりぎりの高さになった. なお, AVF 室と E6 室の間の壁 2000 mm には, 4.2 節の LEPT 系ラインで述べた壁コア穿孔工事が行われ, その穴を通してケーブルが敷設された.

4.5 HEBT 系ライン

DTL3 下流のビームラインは比較的軽い装置の配置であるが, クレーンに使用制限があるために難航した. DM-B6 と DM-B7 は, DTL の設置前, 容易に搬入できるうちに RILAC2 ライン経由で搬入しておいたが, そのほかの機器は納期の関係で, DTL や RFQ が設置さ

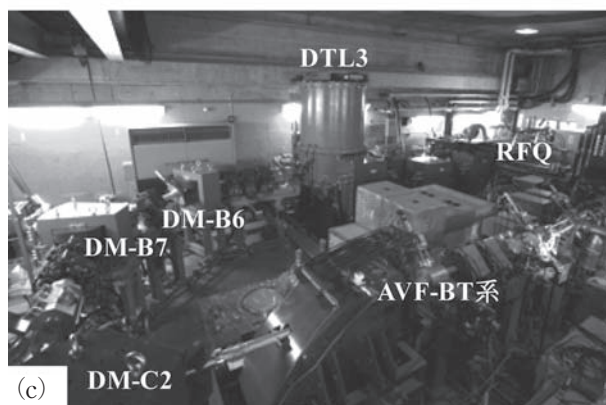
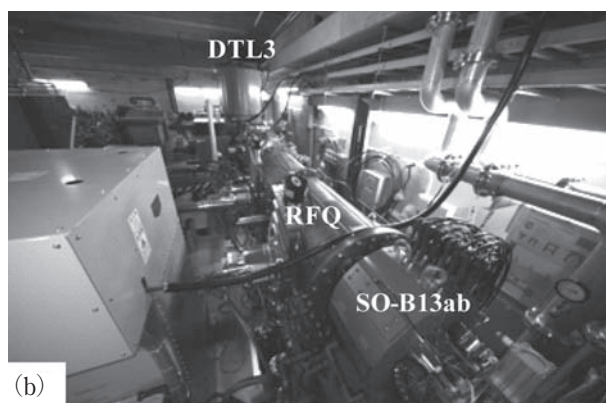


図 15 RILAC2. (a) SCECRIS ジャイロトロン側から超伝導電磁石へ, (b) Buncher 付近から下流側へ, (c) DM-C2 付近から上流側へ (宮内成真氏写真提供)

れた後になり、RILAC2 ライン経由で搬入できなかった。そのため、遮蔽扉から AVF 東側を通り、クレーンが使える AVF 南側まで横持ち運搬し、クレーンに引き継いで搬入した。クレーンへの引き継ぎ場は、階段と手すりが邪魔をしていたので、脱着可能な手摺りに改造し、階段付近に仮設ステージを設けた。なお、設置では、**図 13** に示すようにスペースがあるため比較的容易にアライメントができたが、DM-B6 を真っ先に設置してしまうと、RFQ や DTL のアライメント時にビームダクト内を覗けなくなってしまうため、DM-B6 を最後に設置した。

4.6 リバンチャー

RFQ ~ DTL1 間に設置する REB-B21 と HEBT 系ラインに設置する REB-B71 は、設計変更により設置が大幅に遅れた。REB-B21 は**図 14** に示す通り、現在真空試験およびローパワー試験を行い、2010 年 12 月に設置するところである。REB-B71 は詳細な機械設計が終わり、現在製作中であり、2011 年 1 月に設置する予定である。なお、REB-B71 の設置場所には、現在 BC-B71 が仮設置され、REB-B71 なしでの RILAC2 単独試験運転ができるようにした。

5. 今後の予定

RILAC2 の建設は、**図 15** に示す通りほぼ完了しており、残すは REB-B71 の設置だけである。今後は、2010 年 12 月中旬まで真空立ち上げと各機器の動作確認を行い、その後、RILAC2 単独試験運転を行う。そして、2011 年 1 月後半からは RRC への入射を開始して、3 月には BigRIPS ヘビームを送り、実験を開始する予定である。

謝辞

RILAC2 の建設にあたり、ご協力頂きました当センター加速器基盤研究部の関係者に深く感謝申し上げます。また、文献を引用させて頂いた当研究部 上垣外修一部長、奥野広樹副部长、福西暢尚副部长、日暮祥英氏、山田一成氏、須田健嗣氏、佐藤洋一氏 [現 KEK] に、配置図を作成して頂いた西田稔氏 [住重加速器サービス (株)] に、RILAC2 の写真をご提供頂いた宮内成真

氏 [当センター共用促進・産業連携部] に感謝申し上げます。最後に、執筆にあたりご助言頂いた加瀬昌之チームリーダーに感謝申し上げます。

参考文献

- 1) N. Fukunishi, et al., “理研 RI ビームファクトリー計画の加速器建設状況”, Proc. PASJ3/LAM31 (2006), Sendai, Aug. 2-4, 2006.
- 2) N. Fukunishi, et al., “RI ビームファクトリー加速器系のコミッショニング”, Proc. PASJ4/LAM32 (2007), Wako, Aug. 1-3, 2007.
- 3) N. Fukunishi, et al., “RI ビームファクトリーにおけるウランビーム加速試験”, Proc. PASJ5/LAM33 (2008), Higashi-hiroshima, Aug. 6-8, 2008.
- 4) O. Kamigaito, et al., “DESIGN OF NEW INJECTOR TO RIKEN RING CYCLOTRON”, Proc. PASJ3 (2006), Sendai, Aug. 2-4, 2006.
- 5) O. Kamigaito, et al., “INTENSITY-UPGRADE PLANS RIKEN RI-BEAM FACTORY”, Proc. PASJ6 (2009), Tokai, Aug. 5-7, 2009.
- 6) Y. Higurashi, et al., “理研新超電導 ECR イオン源の開発研究”, Proc. PASJ7 (2010), Himeji, Aug. 4-6, 2010.
- 7) K. Yamada, et al., “理研 RIBF 用の新しい重イオン入射ライナック RILAC2 の製作”, Proc. PASJ7 (2010), Himeji, Aug. 4-6, 2010.
- 8) K. Yamada, et al., “Construction of New Injector LINAC at RIBF”, Proc. Cyclotrons2010 (2010), Lanzhou, China, Sep. 6-10, 2010.
- 9) K. Suda, et al., “DRIFT TUBE CAVITIES WITH SPACE-SAVING AMPLIFIER COUPLING OF NEW INJECTOR FOR RIKEN RI-BEAM FACTORY”, Proc. IPAC'10 (2010), Kyoto, May. 23-28, 2010.
- 10) Y. Watanabe, et al., “理研リニアック新入射器システム (RILAC2) の建設状況”, Proc. PASJ7 (2010), Himeji, Aug. 4-6, 2010.
- 11) T. Maie, et al., “RILAC2 冷却装置”, Proc. PASJ7 (2010), Himeji, Aug. 4-6, 2010.
- 12) Y. Sato, et al., “DESIGN OF THE LOW ENERGY BEAM TRANSPORT IN RIKEN NEW INJECTOR”, Proc. IPAC'10 (2010), Kyoto, May. 23-28, 2010.
- 13) H. Okuno, et al., “Space Charge effects in the RILAC II”, RIKEN Accel. Prog. Rep. 42, 2008.
- 14) N. Fukunishi, et al., “Design studies on quadrupole magnets of new injector to RRC”, RIKEN Accel. Prog. Rep. 39, 2006.