

PROGRESS ON CONSTRUCTION OF NEW LINAC INJECTOR RILAC2 FOR RIKEN RI-BEAM FACTORY

Kazunari Yamada ^{1,A)}, Eiji Ikezawa ^{A)}, Hiroshi Imao ^{A)}, Junichi Ohnishi ^{A)}, Hiroki Okuno ^{A)}, Masayuki Kase ^{A)}, Keiko Kumagai ^{A)}, Misaki Komiyama ^{A)}, Akira Goto ^{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)}, Hideyuki Yamasawa ^{A)}, Shigeru Yokouchi ^{A)}, Tamaki Watanabe ^{A)}, Hiroshi Watanabe ^{A)}, Yutaka Watanabe ^{A)}, Shigeaki Arai ^{A)}, Hiroshi Fujisawa ^{A)}, Yoichi Sato ^{B)}, Osamu Kamigaito ^{A)},

^{A)} RIKEN Nishina Center

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

^{B)} KEK, Japan

Abstract

A new linac injector called RILAC2 has been constructed at the RIKEN Nishina Center so that RIBF experiments and synthesis of super-heavy element can be carried out independently. Very heavy ions with mass-to-charge ratio of 7, such as $^{136}\text{Xe}^{20+}$ and $^{238}\text{U}^{35+}$, are accelerated up to an energy of 680 keV/u in the cw mode and injected into the RRC without charge stripping. Construction of the RILAC2 started at the end of FY2008. The RFQ linac and three DTL tanks were installed in the AVF-cyclotron vault and excitation with the rated voltage have succeeded. Two rebunchers are in fabrication and alignments of LEBT and HEBT are performed now. We plan to start the beam commissioning in December 2010.

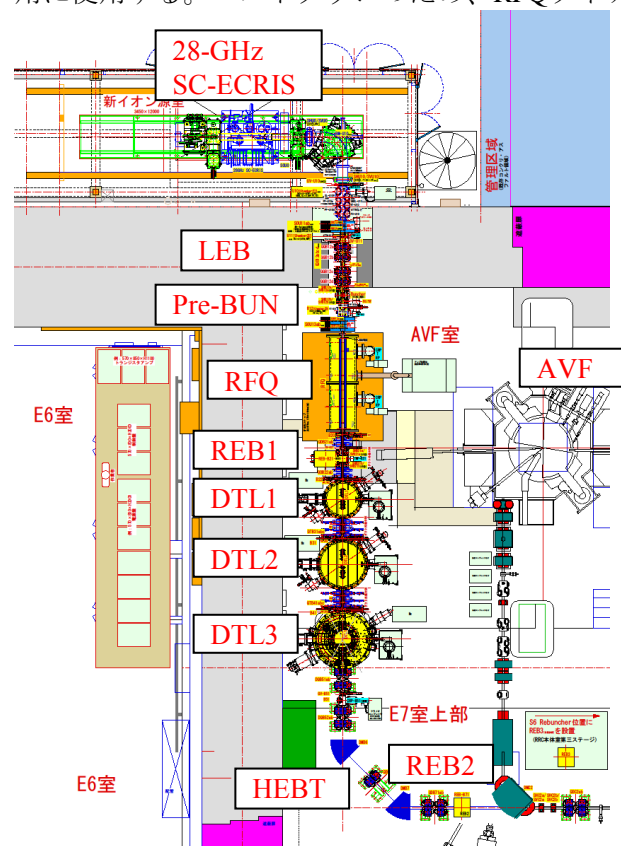
理研RIBF用の新しい重イオン入射ライナックRILAC2の製作

1. はじめに

理研仁科センター加速器基盤研究部では、 ^{136}Xe や ^{238}U といった非常に重いイオンのビーム強度を増強し、RIビームファクトリー[1]での実験と超重元素探索実験[2]を同時進行できるようにするため、新しい重イオン入射ライナックRILAC2[3]を開発し現在建設を行っている。RILAC2は28 GHz超伝導ECRイオン源[4,5]、4-rod RFQライナック、Q磁石分離型QWR-DTLタンク3台、DTLタンク間Q磁石及びビーム診断機器、プリバンチャー、リバンチャー2台、LEBT及びHEBTで構成される。図1にRILAC2の全体図を示す。28 GHz SC-ECRイオン源は新たに建設したRILAC2イオン源室へ設置し、加速空洞その他は既存のAVFサイクロトロン室に設置する。加速されたビームはAVFサイクロトロンからのコースと合流して、荷電変換されずにそのままRRCに入射される。RILAC2は $^{136}\text{Xe}^{20+}$ や $^{238}\text{U}^{35+}$ といった m/q レシオが7のイオンを680 keV/uまで加速する設計になっている。

28 GHz SC-ECRイオン源は2008年度に製作され、2009年度に既存リニアック施設でのビーム試験に成功したものを新イオン源室に移設してRILAC2

用に使用する。コストダウンのため、RFQライナ



¹ E-mail: nari-yamada@riken.jp

図1:RILAC2全体図

ックは既存の空洞を改造し、共振周波数を変更して使用する。ドリフトチューブライナック(DTL1-3)のうち1と2は新規製作し、DTL3は既存の可変周波数空洞を改造する。他にも、加速空洞間のQ磁石及び双極電磁石は新規製作品、LEBT及びHEBTのQ磁石とステアラーは既存のものを流用、LEBTのソレノイドは新規製作品、プリバンチャーは既存品の改造物、リバンチャー1と2は新規製作品と入り交じっている。昨年度報告した様に[6]、加速空洞のRF設計及び製作は2009年初めに開始され、現在イオン源の移設と加速空洞の設置は完了し、LEBT及びHEBTの設置を行っている。

2. RFQライナックの改造

昨年度報告した様に、RILAC2に使用する4rod-RFQライナックは元々1993年にイオン注入装置用に日新電機株式会社で開発されたものである[7]。その後、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を譲り受け、共振周波数をオリジナルの33.3 MHzから36.5 MHzへ改造することにより、ベーン電極を交換せずに $m/q = 7$ のイオンを100 keV/uまで加速できるようにする。そこで、ベーン電極を支える6本のポスト間にそれぞれブロックチューナーを設置することにより共振周波数を上昇させた。



図2:ブロックチューナー

昨年度行ったMicrowave Studioによる電磁場計算及びアルミ製ブロックを使ったコールドモデルテストに基づき、ブロックチューナーの寸法を240 mm × 260 mm × 114 mmと決定し、図面をおこして製作を行った。図2にブロックチューナーの写真を、図3にブロックチューナーを取り付けた後のRFQの中身の写真を示す。ブロックチューナーは無酸素銅製で、軽量化の為に中身をくり抜き、冷却のための水路を設け、銅パイプで

直列に接続し冷却水を流している。ブロックチューナーとベースとの間にはスプリング状のRFコンタクトを入れた。また、周波数調整範囲を拡大するためにループチューナーのループを大型化し、Q値を改善する為に内部で使用されているボルトは銅メッキの物に交換した。

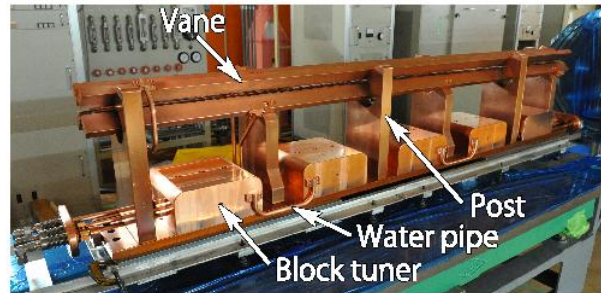


図3:ブロックチューナー取付後のRFQの中身

これをRFQ空洞に格納し大気状態でローパワー試験を行ったところ、追加工なしで図4に示すように共振周波数を36.5 MHzへ変更することができた。Q値は改造前の5300から5000になり、わずかな低下に収めることができた。排気速度2600 L/minのクライオポンプ2台を取り付けて真空引きしたところ、通水状態で 8×10^{-6} Paまで到達した。真空状態で共振周波数を測定すると、共振周波数が11 kHz上昇し、ループチューナーの調整可能範囲から4 kHz外れてしまった。元々交換予定だったエンドドリフトチューブの寸法を変更することによって、共振周波数を10 kHz下げることができ、真空状態でもループチューナーの調整可能範囲に収まった。

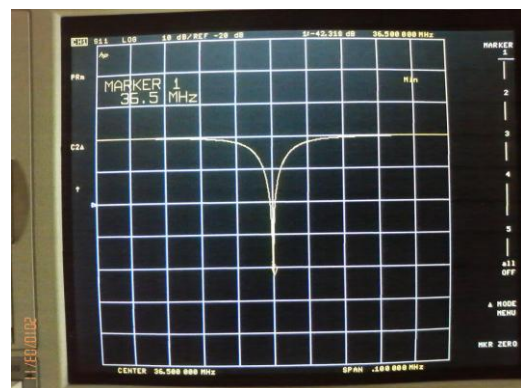


図4:改造後のRFQ空洞の共振周波数

RFQ空洞及び新しいRFパワーアンプはAVFサイクロトロン室に移設され、ローパワー測定で特性に変化がないことを確認した後、配線・配管を敷設している。2010年8月中にハイパワー試験を

行い、その後アライメントを行う予定である。

3. ドリフトチューブライナックの製作

RILAC2では3台のドリフトチューブライナックを使用する(DTL1~3)。DTLのRF空洞は1/4波長の縦型同軸で、径方向が加速方向となる。3台のうち、DTL1,2は新規製作し、DTL3はCharge State Multiplier(CSM) [8]の減速用可変周波数空洞を改造した。真空管の動作解析をやり直した結果、真空管の負荷インピーダンスは800~1000 Ωに合わせることにした。カップラー先端の円盤電極の径を求めるために、複数の径についてMWSの周波数ドメインソルバーを用いて求めたS11の計算結果と、目標負荷インピーダンスから真空管のプレート容量分を差し引いた値を比較して決定した。その他は昨年度報告した設計に基づき製作を行った。図5に組み立て中のDTL1の内部の写真を示す。



図5:組み立て中のDTL1の内部

出来上がった空洞から順次工場にてローパワー試験を行った。DTL1について、トリマー位置を変えた時の周波数レスポンス測定結果を図6に示す。アンプのダイレクトカップリングで低下する周波数分を見込んでトリマー位置70 mmで36.5 MHzになるように設計を行ったところ、実際に出来上がった空洞もほぼトリマー位置70 mmで36.5 MHzとなった。DTL2,3についても同様に設計通りの値で製作することができた。また、シャントインピーダンスを求めるために、ビードを使った摂動法で電場分布を測定した。図7にDTL1について測定した結果を示す。ローパワー試験の結果を表1にまとめて示す。ローパワー試験に引き続きハイパワー試験を行った。それぞれ1日程度のエージング後にパルス電圧が入るようになった。さらにCWモードで真空度を気にしつつエージングを行いながら徐々に電圧を上げていき、3台とも無事に定格電圧でCW励振することに成功した。

ハイパワーテスト完了後、2010年2~3月にかけてDTLをAVF室に設置する工事を行い、配管・配

線を敷設した後に再びハイパワー試験を行い、定

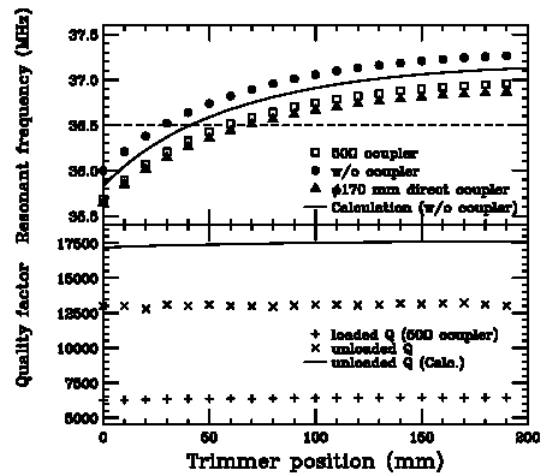


図6:DTL1の共振周波数測定

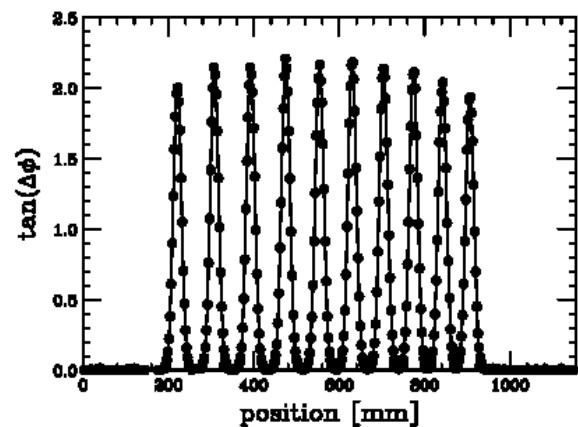


図7:DTL1の電場分布測定

格電圧がかかることを確認した。ただし、DTL3のプレート電源のクローバ回路が誤動作する不具合があり、現在調査中である。問題を改善した後に、長期安定度試験を行う予定である。図8にAVF室へ設置されたRFQとDTLの様子を示す。

	DTL1	DTL2	DTL3
Q_0	13000	20350	22500
Shunt impedance	940 kΩ	1.65 MΩ	1.72 MΩ
Effective shunt impedance	135 MΩ/m	176 MΩ/m	102 MΩ/m
必要な電力	6.5 kW	13.4 kW	19.6 kW

表1:DTLのローパワー試験結果

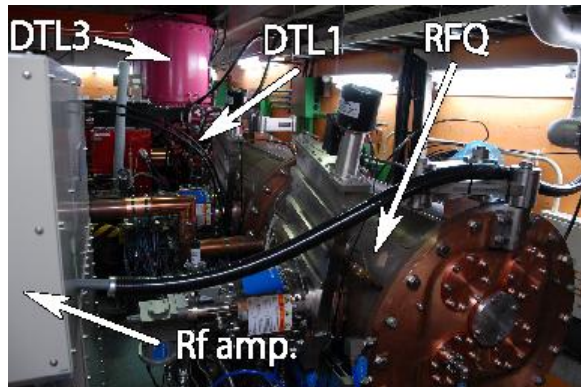


図8:AVF室へ設置されたRFQとDTL

参考文献

- [1] Y. Yano, Nucl. Instrum. Meth. B 261 (2007) 1009.
- [2] K. Morita et al., J. Phys. Soc. Jpn. 73 (2004) 2593; J. Phys. Soc. Jpn. 76 (2007) 043201; J. Phys. Soc. Jpn. 78 (2009) 064201.
- [3] O. Kamigaito et al., PASJ3-LAM31, Sendai, Aug. 2006, WP78, p.502 (2006).
- [4] T. Nakagawa et al., Rev. Sci. Instrum. 79 (2008) 02A327, ECRIS'08, Chicago, Sep. 2008, MOCO-B01, p.8 (2008).
- [5] J. Ohnishi et al., EPAC'08, Genoa, Jun. 2008, MOPC153, p.433 (2008).
- [6] K. Yamada et al., PASJ6, Tokai, Aug. 2009, FPACA36, p.1030 (2009).
- [7] H. Fujisawa, Nucl. Instrum. Meth. A 345 (1994) 23.
- [8] O. Kamigaito et al., Rev. of Sci. Instrum. 76, 013306 (2005).

4. リバンチャーの製作

RFQとDTL1間に設置するREB1及びDTL3後のHEBTに設置するREB2の新規製作を行っている。共に4ギャップの1/4波長同軸型空洞であり、共振周波数は36.5 MHzである。合計必要電圧は、REB1が100 kV、REB2が200 kVであり、1 kWと3 kWのトランジスタアンプを使用することを前提にして、空洞を小さめに設計し、コストダウンを図った。REB1は現在部品加工を行っており、10月の納品後に理研で組立を行い、真空試験及びローパワー試験を行った後11月にビームラインへ設置する予定である。REB2は詳細な機械設計を行っており、2011年1月にビームラインへ設置する予定である。

5. 今後の予定

28 GHz SC-ECRイオン源に関しては、再冷却が完了しビームテストを行うところである。現在LEBT, HEBT, ビーム診断機器の設置、配線・配管工事を行っており、11月のREB1の設置後、2010年12月にREB2無しでRILAC2単体のビームコミッショニングを開始する予定である。その後REB2が設置でき次第2010年度中にRRC以降の加速を行う予定である。