

[P7-22]

RF CHARACTERISTICS OF THE INJECTOR LINACS FOR THE HYOGO HADRON THERAPY CENTER

K.Sawada, T.Sakata, K.Uno, H.Miyazaki, K.Okanishi, H.Harada¹,
A.Itano², A.Higashi², T.Akagi², K.Noda³, S.Yamada³, M.Torikoshi³, and A.Noda⁴

Sumitomo Heavy Industries, Ltd. ; 5-2 Soubiraki-cho, Niihama, Ehime 792-8588, Japan

¹Mitsubishi Electric Corporation ; 1-1-2 Wadasaki-cho, Hyogo-ku, Kobe 652-8555, Japan

²Hyogo Prefectural Government ; 5-10-1 Shimoyamatedori, Chuo-ku, Kobe 650-8567, Japan

³National Institute of Radiological Sciences ; 4-9-1 Anagawa, Inage-ku, Chiba 263-8588, Japan

⁴Kyoto University ; Gokanoshō, Uji, Kyoto 611-0011, Japan

Abstract

Hyogo Hadrontherapy center in Harima Science Garden City is a cancer therapy facility with proton, helium and carbon beams. The beams are supplied by a synchrotron with RF linacs as an injector. The facility has manufactured by Mitsubishi Electric Corporation and the injector has manufactured by Sumitomo Heavy Industries, Ltd (SHI). The injector consists of two ECR ion sources, a 200 MHz RFQ linac and a 200 MHz Alvarez linac, which accelerates heavy ion with a charge-to-mass ratio of 1/3 up to 5 MeV/nucleon. The performance test about the RF characteristics of the linacs has almost finished successfully at the SHI factory, and the results are reported in this paper.

兵庫県立粒子線治療センター（仮称）向け入射器ライナックの高周波特性

1. はじめに

兵庫県立粒子線治療センター（仮称）向け入射器は、2台のECRイオン源、200MHzのRFQライナック・アルバレイナック等から構成され、 C^{4+} ・ He^{2+} ・ H_2^+ の3種類のイオンを核子当たり5MeVに加速し、最大2Hz・120 μ sのビームをシンクロトロンに供給する。各ライナックの主要仕様は表1・表2に示す通りである。

5月末現在、入射器は全機器の製作・組み立て後の工場試験がほぼ終了しつつあり、ECRイオン源等は既に搬入・据付けを開始している。2台のライナックに関する工場試験は、共振周波数・電場調整、RFアンプと組み合わせでの耐電圧試験、キャビティ内RF電圧の振幅・位相制御試験、連続運転、制御計算機からの遠隔操作試験等が含まれている。これらは、アルバレイナックに関する一部を除いてほぼ終了し、良好な性能が確認されている。

以下に、工場試験で確認された入射器ライナックの高周波特性を報告する。

表1 RFQライナックの主要仕様

入射エネルギー	35 keV/核子
出射エネルギー	1 MeV/核子
規格化アクセプタンス	1.17π mm·mrad
タンク内径	0.35m
ベイン長	3.9m
最大表面電場	23.4 MV/m
キルパトリック値	1.6
所要RF電力	250kW/60%Q値

表2 アルバレイナックの主要仕様

出射エネルギー	5 MeV/核子
規格化アクセプタンス	6.4π mm·mrad
タンク内径	1.0m
タンク長	6.45m
平均加速電場	2.6 MV/m
最大表面電場	17.4 MV/m
キルパトリック値	1.19
所要RF電力	920kW/70%Q値

2. RFQライナックの工場試験

図1にRFQライナックの電場調整結果を示す。ビーム軸に沿った電場の平坦度は±2.5%以内、四回対称性のずれは±1.2%以内であった。また、無負荷Q値は7900で、SUPERFISH計算した無限長モデルの理論値の約63%であった。これらの値は、いずれも十分な性能である。

次に、RFQと300kW四極管アンプとを接続し、RF電力を投入して、耐電圧試験を実施した。300kW四極管アンプの主要仕様を表3に示す。この結果、4Hz・0.5msの運転条件で定格値の約6%増しのベイン間電圧を印加することができた。この時のピックアップモニタ出力（定格電圧時のピーク出力は30V）及び300kWアンプの進行波・反射波を図2に示す。

さらに、パルス内の位相・振幅制御回路を調整して、2日間に分けて定格電圧での連続運転を実施した。この結果14時間に渡って非常に安定な運転状態が確認された。

表3 300kW四極管アンプの主要仕様

真空管	4CW100KE
最大出力	310kW
最大ゲイン	12dB
プレート電圧	18kW
スクリーン電圧	1.5kV
グリッド電圧	-600V

3. アルバレイナックの工場試験

図3にアルバレイナックの電場調整結果を示す。ビーム軸に沿った電場の平坦度は±2%以内であった。また、無負荷Q値は60600で、SUPERFISHで計算した理論値の約70%であった。これらの値は、いずれも十分な性能である。

次に、アルバレイナックと1.4MW四極管アンプとを接続し、RF電力を投入して、耐電圧試験を実施した。5月末の時点では、定格値の約83%のRF電圧が印加されており、定格電圧を印加するエイジングが行われている。この耐電圧試験が終了次第、連続運転などを進める予定であり、6月末の出荷に向けて最終調整の段階に入っている。

表4 1.4MW四極管アンプの主要仕様

真空管	8973
最大出力	1.35MW
最大ゲイン	14dB
プレート電圧	20kW
スクリーン電圧	1.25kV
グリッド電圧	-600V

4. おわりに

RFQ・アルバレイナックの工場試験として共振周波数・電場調整、耐電圧試験、キャビティ内RF電圧の振幅・位相制御試験、連続運転等を実施し、RFQに関しては、その全てについて良好な性能が確認されている。また、アルバレイナックは、5月末の段階で定格電圧の約83%の加速電場が達成されており、定格値の達成に向けエイジングを行っている。これが終了次第、連続運転などを進め、6月末には出荷する予定である。

入射器全体のスケジュールは、ECRイオン源の搬入・据付けが既に開始されており、本年12月にビーム調整開始、来年1月末にビーム調整終了を目指している。

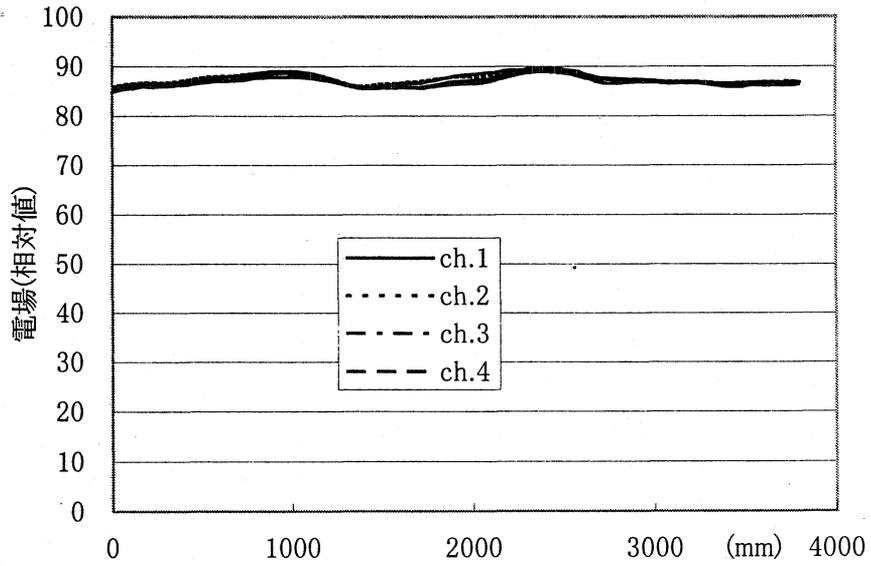


図1 RFQライナックの電場調整結果

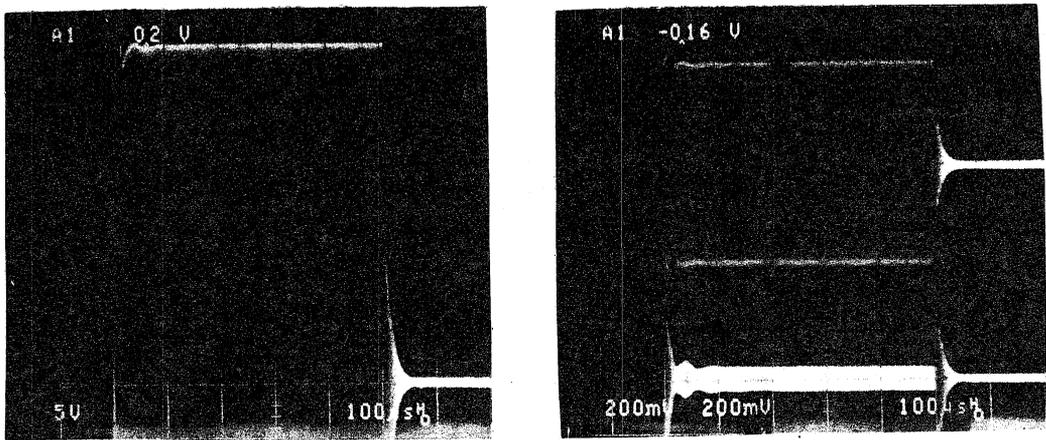


図2. RFQライナック耐電圧試験時のピックアップモニタ出力(左)と300 kWアンプの進行波・反射波(右)

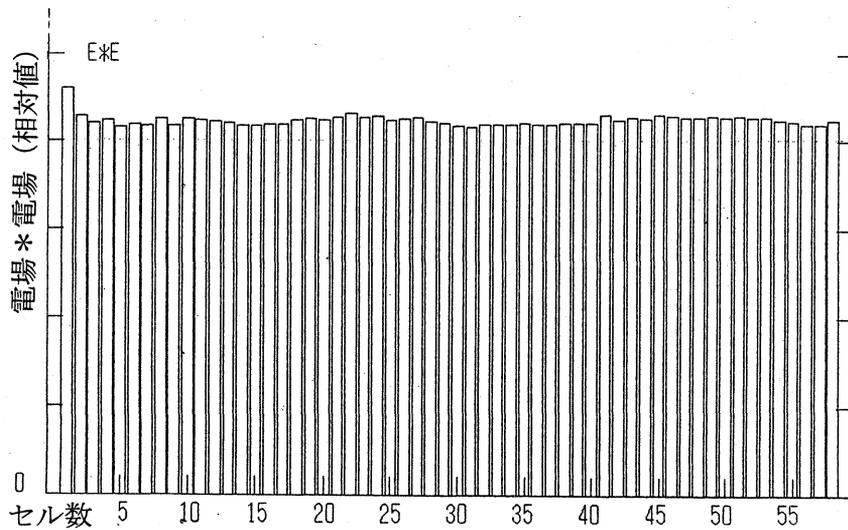


図3 アルバレイライナックの電場調整結果