

DESIGN AND MANUFACTURE OF THE INJECTOR FOR HYOGO HADRON THERAPY

J.Sawada, K.Sawada, T.Sakata, K.Uno, K.Okanishi, S.Hara, S.Yamada, Y.Kumata, H.Harada<sup>1</sup>, A.Itano<sup>2</sup>, A.Higashi<sup>2</sup>, T.Akagi<sup>2</sup>, S.Yamada<sup>3</sup>, K.Noda<sup>3</sup> and M.Torikoshi<sup>3</sup>

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

<sup>1</sup>Mitsubishi Electric Corporation ; 1-1-2 Wadasaki-cho, Hyogo-ku, Kobe 652, Japan

<sup>2</sup>Hyogo Prefectural Government ; 5-10-1 Shimoyamatedori, Cyuo-ku, Kobe 650, Japan

<sup>3</sup>National Institute of Radiological Sciences ; 4-9-1 Anagawa, Inage-ku, Chiba 263, Japan

Abstract

Hyogo Hadrontherapy Facility in Harima Science Garden City is a cancer therapy facility with proton, helium and carbon beams. The beams is supplied by a synchrotron with an RF Linac as an injector. The facility is being manufactured by Mitsubishi Electric Corp. and the injector is by Sumitomo Heavy Industries, Ltd (SHI). The injector consists of two 10 GHz ECR ion sources, an ion source beam transport line, a 200 MHz RFQ Linac, a 200 MHz Alvarez Linac and a low energy beam transport line. It accelerates heavy ions with a charge-to-mass ratio of 1/3 up to 5 MeV/nucleon. One of a pair of ECR ion sources and the ion source beam transport line have been assembled. Beam tests are about to begin at our factory. The design parameters and the state of fabrication of the injector system are described in this paper.

兵庫県粒子線治療装置入射器の設計及び製作状況

1. はじめに

大型放射光施設 (SPRING-8) に隣接して、播磨科学公園都市内に兵庫県粒子線治療センター (仮称) が建設される。その粒子線治療装置については、三菱電機 (株) で昨年度より製作が開始されている。粒子線治療装置のうち入射器は、住友重機械工業 (株) において 2000 年 3 月末に完成予定のスケジュールで、昨年度より製作を行っており、これまでに、1 系統の ECR イオン源とイオン源ビーム輸送系が完成し、現在、これらのビームテストの準備を進めている。本報告では、入射器の設計及び製作状況について述べる。

2. 入射器概要

この入射器は、2 系統の 10 GHz ECR イオン源、イオン源ビーム輸送系 (IBT)、200 MHz RFQ ライナック、200 MHz アルバレイライナック (DTL) 及び

低エネルギービーム輸送系 (LEBT) で構成されている。その全長は約 25 m であり、荷電質量比 1/3 以上のイオンを 5 MeV/nucleon まで加速し、次段のシンクロトロンに入射する。この配置図を図 1 に示す。また、入射器終端でのビーム仕様を表 1 に示す。

表 1. 入射器終端のビーム仕様

イオン種	H <sup>+</sup> , He <sup>2+</sup> , C <sup>6+</sup>
エネルギー	5 (MeV/nucleon)
規格化エミッタンス	1 ( $\pi$ mm mrad)
最大運動量分散	$\pm 0.15$ (%)
ビームパルス幅	120 ( $\mu$ s)
最大繰り返し	2 (Hz)

2.1 イオン源

ECR イオン源は、2 系統とも 10 GHz, 1.8 kW の

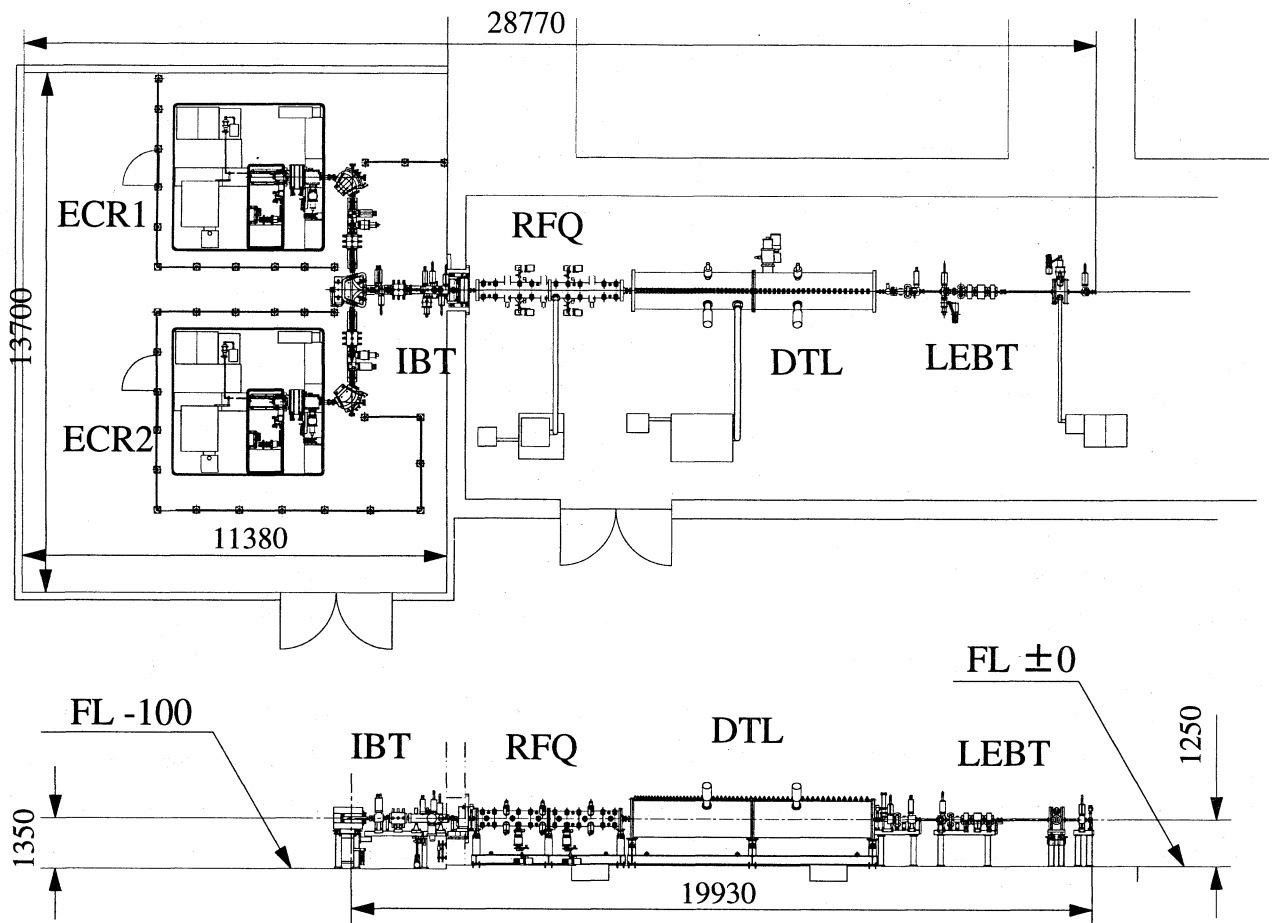


図1. 入射器配置図

マイクロ波を用いた1ステージ構造である。ECRプラズマは最大 0.9 T のミラー磁場及び 0.8 T の 6 極磁場によって閉じこめられ、効率良く多価イオンが生成する。 ECR イオン源から引き出されたイオン ( $H_2^+$ ,  $He^{2+}$ ,  $C^{4+}$ ) は、静電加速電極で 35 keV/nucleon まで加速され、約 7.7 m のイオン源ビーム輸送系を通り RFQ ライナックに入射される。また、生成したイオン種の弁別は、加速電極直後の分析用偏向電磁石によって行う。

## 2.2 RFQ ライナック

入射器の前段加速器である RFQ ライナックは、実績のある標準的な 4 ベーン型とし、タンクは銅メッキされた鉄で、ベーンは全て銅で製作する。その仕様を表 2 に示す。ここで 1 MeV/nucleon まで加速されたイオンは、ライナック間接続部を介してアル

バレイナックに入射する。

表 2. RFQ ライナックの仕様

入射エネルギー	35 keV/nucleon
出射エネルギー	1 MeV/nucleon
質量荷電比	1/3 以上
規格化アクセプタンス	1.17 $\pi$ mm mrad
タンク径	0.35 m
ベーン長	3.9 m
最大表面電場	23.4 MV/m
キルパトリック値	1.6
高周波電力	250 kW (60 % Q)

## 2.3 アルバレイナック

入射器の主加速器であるアルバレイナックで

は、イオンを 5 MeV/nucleon まで加速する。その仕様を表3に示す。アルバレイナックのタンクは銅メッキされた鉄、ドリフトチューブは銅メッキされたステンレス鋼で製作する。ドリフトチューブは全部で57個あり、それぞれ、垂直方向の1本のステム ( $\phi$  34 mm) で支持する。また、ドリフトチューブの外径は 120 mm, ボア半径は 10 mm であり、57個のドリフトチューブ全てに収束用四極電磁石が格納される。

表3. アルバレイナックの仕様

入射エネルギー	1 MeV/nucleon
出射エネルギー	5 MeV/nucleon
質量荷電比	1/3 以上
規格化アクセプタンス	$6.4 \pi \text{ mm mrad}$
タンク径	1.0 m
タンク長	6.45 m
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
高周波電力	920 kW (70 % Q)
四極磁石配列	FFFDDD

#### 2.4 低エネルギービーム輸送系

低エネルギービーム輸送系では、アルバレイナックで 5 MeV/nucleon まで加速されたイオン ( $\text{H}_2^+$ ,  $\text{He}^{2+}$ ,  $\text{C}^{4+}$ ) を、カーボンフォイルを用いて目的のイオン ( $\text{H}^+$ ,  $\text{He}^{2+}$ ,  $\text{C}^{6+}$ ) に荷電変換する。さらに、荷電変換されたイオンは、デバンチャで運動量分散を  $\pm 0.15\%$  以下に調整され、次段のシンクロトロンに入射される。

#### 3. 製作状況

現在、工程通りに兵庫県粒子線治療装置入射器の製作が進み、1系統の ECR イオン源及びイオン源ビーム輸送系のビームラインが完成している。これを図2に示す。今後、ECR イオン源から RFQ ライナックの手前までのビームテストを行う予定であり、目下、その準備を行っている。

#### 参考文献

1. A.Itano et al. , Proceedings of the Second International Symposium on Hadrontherapy, CERN, Geneva, Switzerland, 9-13 September 1996.

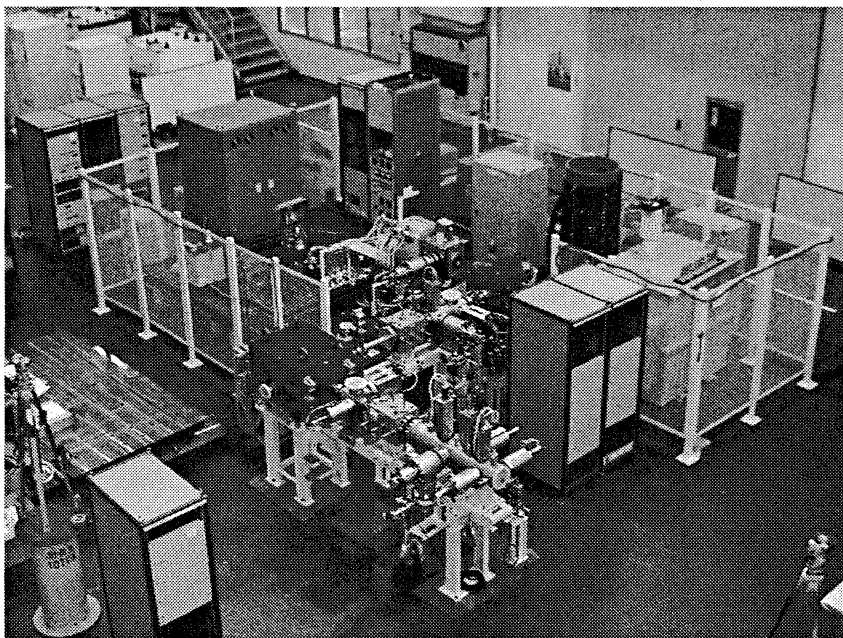


図2. イオン源及びイオン源ビーム輸送系