

[12C-02]

## ACCELERATION CHARACTERISTICS OF THE INJECTOR LINACS FOR THE HYOGO HADRON THERAPY CENTER

J. Inoue, K. Sawada, T. Sakata, K. Okanishi, H. Miyazaki, H. Morimoto, Y. Touchi, K. Uno,  
M. Akiyama, H. Harada<sup>1</sup>, A. Itano<sup>2</sup>, A. Higashi<sup>2</sup>, T. Akagi<sup>2</sup>

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

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

<sup>2</sup>Hyogo Hadrontherapy Center ; 1-2-1 koto, Shingu-cho, Ibo-gun, Hyogo 679-5162, 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, which has manufactured by Mitsubishi Electric Corporation, with RF linacs as an injector, which has manufactured by Sumitomo Heavy Industries Ltd.(SHI).

The injector consists of the identical ECR ion sources, a RFQ linac, and an Alvarez linac, which are connected by beam transport systems including vacuum systems, and some kind of beam monitoring equipments. The results accomplished for the beam conditioning are described in this paper.

### HARIMAC 入射器の加速特性

#### 1. はじめに

兵庫県播磨公園都市内に兵庫県立粒子線治療センターが現在建設中であり、2001年度からの臨床試行開始を目指し、治療装置全体の加速試験が進められている。

粒子線治療装置のうち入射器については、住友重機械工業(株)が担当し、2000年3月末までに所定の加速性能を達成した。本報告では、入射器の加速性能について報告する。

#### 2. 入射器概要

図1に入射器の配置図を示す。また、入射器終端でのビーム仕様を表1に示す。

この入射器は、全長約25mであり、2台のECRイオン源(ECR1, ECR2)、イオン源ビーム輸送系(IBT)、RFQライナック(RFQ)、ドリフトチューブライナック(DTL)、デバンチャ(DBC)及

び低エネルギービーム輸送系(LEBT)で構成される。

また、ビームモニタとして、6台のファラデーカップ、1台のプロファイルモニタ、2台のエミッタンスモニタ、2台のバンチモニタを配置している。

加速核種は、水素分子イオン( $H_2^+$ )、ヘリウムイオン( $He^{2+}$ )、炭素イオン( $C^{4+}$ )の3核種であり、5 MeV / nucleonまで加速する。DTL出口では、荷電変換装置により $H_2^+$ は $H^+$ に、 $C^{4+}$ は $C^{6+}$ に荷電変換されたのち、デバンチャでエネルギー幅を約1/5に圧縮して、次段のシンクロトロンに入射する。

表1 入射器終端のビーム仕様

イオン種	C <sup>6+</sup>	He <sup>2+</sup>	H <sup>+</sup>
エネルギー (MeV/核子)	5	5	5
規格化エミッタンス ( $\pi$ mm·mrad)	1	1	1
最大運動量分散 (%)	±0.15	±0.15	±0.15
ビームパルス幅 ( $\mu$ sec)	120	120	120
最大繰り返し (Hz)	2	2	2
ビーム電流値(5Gy/min相当) ( $\mu$ A)	180	720	980

### 3. イオン源性能

RFQ入口までビームを輸送し、ビーム電流値及びエミッタンス測定を行った。測定結果を表2に示す。

ビーム電流値は、5 Gy / min の照射線量に必要なビーム強度を実現するには、十分に高い値を示しており、また引き出したイオンビームのIBTでの透過率は、80%を超える値を示している。また規格化エミッタンスも良好な結果を示している。

表2 ECRイオン源の性能

イオン種	C <sup>4+</sup>	He <sup>2+</sup>	H <sub>2</sub> <sup>+</sup>
パルス幅 ( $\mu$ sec)	200	200	200
ビーム電流値 ( $\mu$ A)	560	1230	1330
規格化エミッタンス(水平方向) ( $\pi$ mm·mrad)	0.2	0.25	0.55
規格化エミッタンス(垂直方向) ( $\pi$ mm·mrad)	0.24	0.22	0.57

### 4. ライナック加速性能

RFQ, DTLにおいてビーム加速後、最大ビーム電流値の測定を行った。測定結果を表3に示す。

表3 入射器終端での最大ビーム強度

イオン種	C <sup>6+</sup>	He <sup>2+</sup>	H <sup>+</sup>
パルス幅 ( $\mu$ sec)	150	120	120
ビーム電流値 ( $\mu$ A)	330	810	1700
ライナックの透過率 (%)	70	68	65

入射器終端の最大ビーム強度は、全てのイオンビームで、5 Gy / min の照射線量に必要な値を超えている。ただし炭素イオン(C<sup>4+</sup>)については、現時点では施設の放射線管理上の制約により、最大ビーム強度に達しておらず、制約がなければさらに400  $\mu$  A以上は加速できる。

RFQ入口からDTL出口までのライナック部の透過効率も、最大ビーム強度で運転する時には、若干その値は低くなるが、通常の運転時には、全ての核種で約80%まで達成している。

また、エミッタンス測定、及び運動量分散測定を行った。測定結果を表4に示す。

DTL出口での規格化エミッタンスは、全ビームの90%を含む値として約1  $\pi$  mm · mrad の値が得られており仕様を十分に満足している。

シンクロトロンに入射する直前でのイオンビームの運動量分散は、全ての核種において約90%以上のイオンビームが±0.15%以内に収まり、シンクロトロンに入射するのに十分な性能を示している。

表4 入射器終端でのビーム質

イオン種	C <sup>6+</sup>	He <sup>2+</sup>	H <sup>+</sup>
規格化エミッタンス(水平方向) ( $\pi$ mm·mrad)	0.78	0.78	1.03
規格化エミッタンス(垂直方向) ( $\pi$ mm·mrad)	0.84	0.84	1.02
運動量分散 (%)	±0.15以下±0.15以下±0.15以下		

### 5. おわりに

兵庫県立粒子線治療センターでは、2001年度からの臨床治験開始を目指し、シンクロトロン以下、治療装置全体の調整運転が行われている。その中であって、入射器からのビーム供給は連日行われており、10時間以上にわたる長時間運転を行っても、安定したビーム供給を行っている。

また入射器の起動開始から、所定のビームが加速されるまでの所要時間は、約30分以内であり、ビーム質の再現性も良好である。

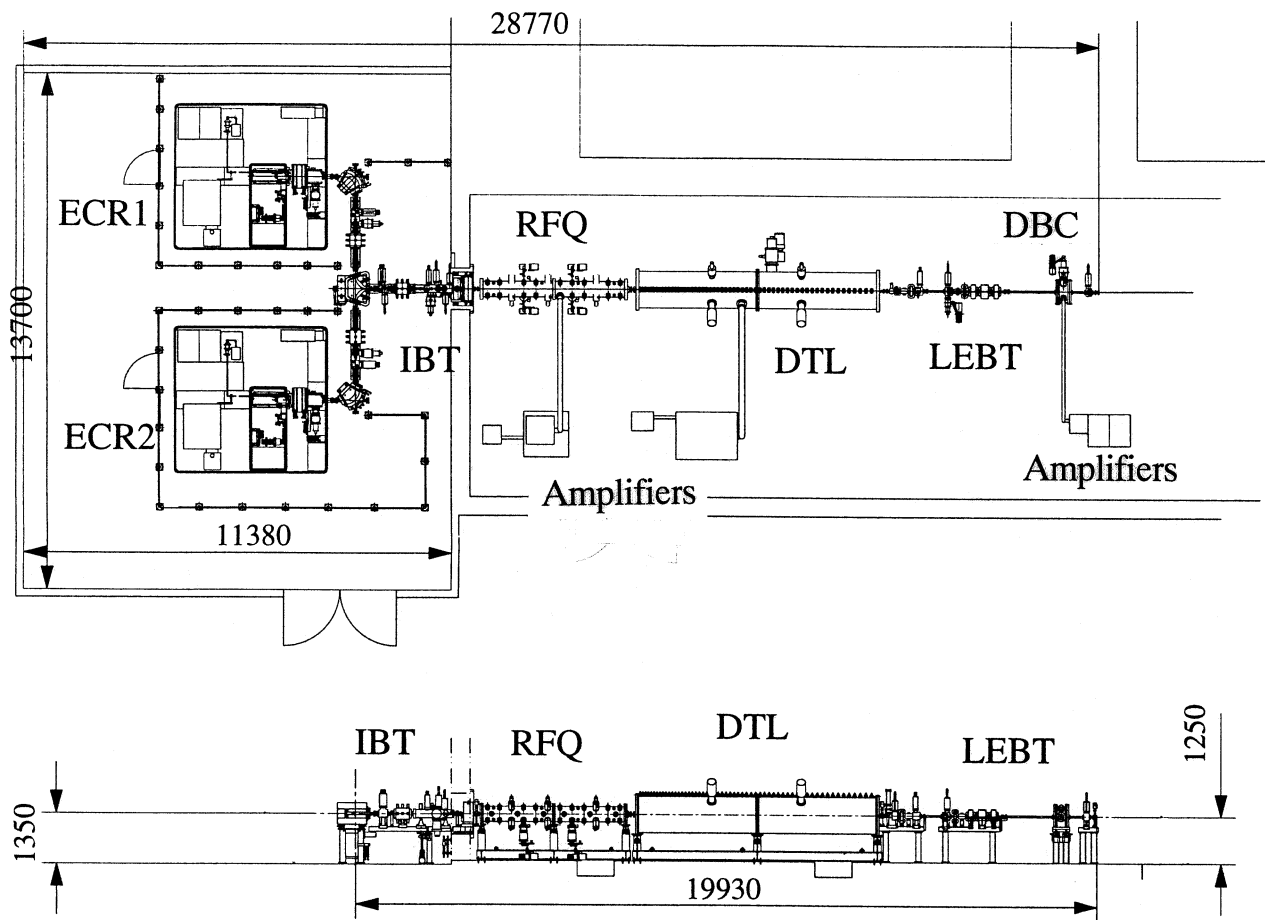


图 1. 入射器配置图