

[P7-07]

The Study of Heavy-Ion Injector IH Linac for Cancer Therapy (IV) (Design of Prototype Linac for Research on APF and Measurements of its RF Characteristics)

S.Matsui, T.Hattori, N.Hayashizaki, T.Yoshida, H.Tomizawa, and S.Yamada^{A)}

Research Laboratory for Nuclear Reactors Tokyo Institute of Technology
2-12-1 Oh-okayama, Meguro-ku, Tokyo, 152, Japan

A) National Institute of Radiological Sciences

Abstract

We are studying a heavy-ion IH linear accelerator for injector of cancer therapy synchrotron. The compact IH linac accelerates C^{4+} ion from 65keV/u to 6MeV/u with APF (Alternating Phase Focus) structure was designed for practical use. In this approach, prototype linac which tests whether it can accelerate enough beam current from low energy adopting APF structure was designed. We made real scale model cavity of this linac by numerical orbit calculation and measured its RF characteristics. Using the results of this measurements, conclusive design of this linac is determined. The linac is under construction.

ガン治療用入射重イオン IH 型線形加速器の研究 (IV) (APF 研究用プロト機の設計と高周波特性の測定)

1.はじめに

重イオンガン治療用シンクロトロン入射器は放射線医学総合研究所[1]や兵庫県の施設の例のように RFQ 線形加速器プラス Alvarez 型加速器の 2 台の長大な線形加速器システムとなっており、研究用としては適当であるが、医療用の実用機として普及するためには小型、省電力が重要な要素とされ、1 台で小型の入射器が理想的である。そこで、小型化に必要とされる高い加速率を実現する入射器として IH 型線形加速器を検討することにした。

2.APF-IH 型入射器の検討

IH 構造は低・中エネルギー領域において、Alvarez 型や RFQ 型の 5~10 倍の電力効率をもつという特長があるため、従来型と同じ程度の RF パワーを投入することで高電圧を発生することができ、高加速率の入射器を実現できる。

また、Alvarez 型、IH 型では transverse 方向の収束を行うためには収束用 Q 電磁石が必要であるが、ガン治療用の入射器として必要とされているビ

ーム強度が、 C^{4+} で数 $100\mu A$ であることから、ビームの収束には APF(Alternating Phase Focus) 機構の採用を検討した。APF は、加速ギャップにおいて高周波の位相を+側に採るとギャップ間で加速される粒子に transverse 方向の収束力が発生することを利用し、位相を+、-と組み合わせることで longitudinal, transverse 両方向の収束を試みるものである。

数値計算シミュレーションの結果では、 C^{4+} イオンを 65keV/u から 6MeV/u まで収束に APF を用いても十分に加速できるという予測がついたことと、複雑な Q 電磁石が無いほうが実用機としてはより適当で電力効率も上げることが出来ることを考慮して、ビーム収束には APF 収束を採用することにした。実際の加速空洞は 3.1m と予想され、現行の重イオンガン治療装置の線形加速器系と比較して大幅に短縮できる可能性がある。[2]~[7]

そこで今回は最終的な入射器へのアプローチの研究の第 1 段階として、医療実用機として重要な安定性を確実なものとするために、低エネルギーから APF で十分な量のビームを加速できるかをテスト

する APF 研究用のプロトタイプモデルの設計、製作を行い、加速特性を研究することにした。

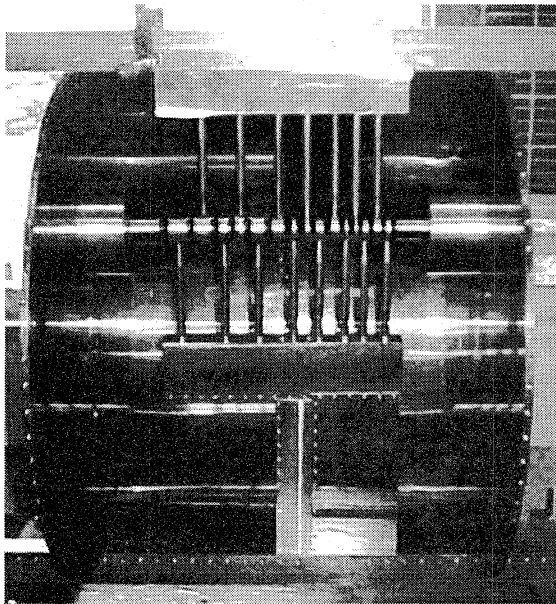


Fig.1 高周波特性測定用モデル空洞

3.モデル空洞による高周波特性の測定

軌道計算シミュレーションにより得られたドリフトチューブテーブルを基に 1/1 スケールの真鍮製モデル空洞を製作し、その高周波特性の測定をした。測定方法としては直径 1mm のアルミニウム金属球による摂動法を用いた。

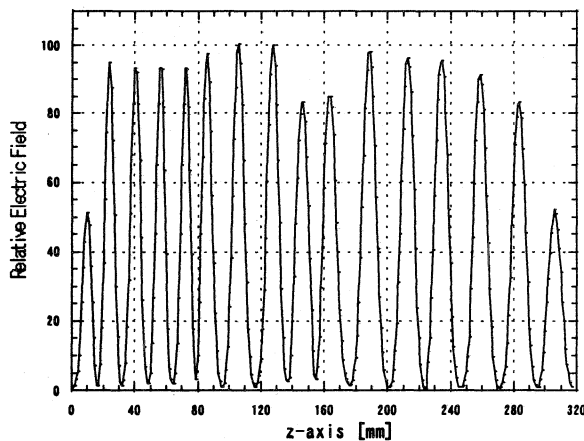


Fig. 2 モデル空洞での加速軸上の電場分布

アルミニウム球を加速軸上で移動させ、共振周波数の変化による位相のずれを測定し空洞内加速軸における相対電場分布を求めた。

モデル実験では、ドリフトチューブを支えるリッジの切り欠きの範囲を変化させたり、内径、外径のことなる数種類のドリフトチューブを用意し、ギャップ間隔を変更するなどの微調整しながら、それぞれの電場分布測定を繰り返し、理想とする電圧、電場分布の得られるようなセットアップを模索した。最終的に採用された電場分布を Fig.2 に示す。

電圧分布は電場分布を加速軸方向距離で積分して得られるが、今回は電圧傾斜型の分布となっている。

4.実機的设计と製作

採用した電場分布を基に電圧分布を計算し、再度軌道計算をおこない、APF 研究用プロト機の最終パラメータを決定した。軌道計算の結果、アクセプタンスは Transverse 方向で $230\pi \text{ mm} \cdot \text{mrad}$ (Fig.3)、Longitudinal 方向は -90° から -40° までの 50° となり、空洞長は 53cm、径は 63cm、Acceleration Rate 2.6MV/m となった。現在、最終図面も完成し実機を製作中である。

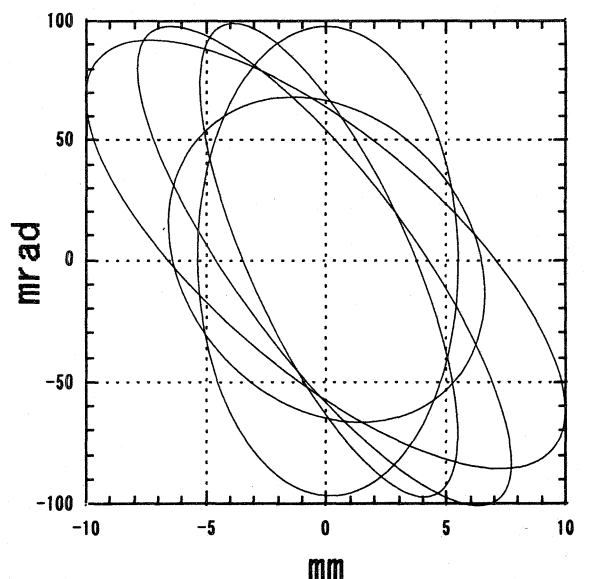


Fig. 3 Transverse アクセプタンス

5.まとめと将来計画

医療用実用機の安定性、確実性をチェックするため、12.5keV/u から 100keV/u まで加速する APF 研究用プロトタイプモデルを設計した。実機が完成次第、加速特性を測定していく予定である。

また、小型入射器へのアプローチの第 2 段階として 2MeV/u まで加速する試作機を検討しており、現在軌道計算をすすめている。

Acceleration Particle q/A	1/16
Input Energy	12.5keV/u
Output Energy	100keV/u
Operation Frequency	70MHz
Synchronous Phase	-90,-30,30,30,-30,-30,
Number of Cell	16
Cavity Length	530 mm
Cavity Diameter	630 mm
Focusing Sequence	-30,-30,30,30
Transverse Acceptance	230π mm·mrad
Longitudinal Acceptance	50°
Acceleration Voltage /gap	95~197kV
Acceleration rate	2.6MV/m

Table 1 APF 研究用プロト機のパラメータ

[4] T.Hattori, K.Isokawa, S.Matsui, K.Sasa, T.Ito, H.Tomizawa, N.Hayashizaki, T.Yoshida, N.Sakamoto, S.Yamada S.Yamaki, E.Osvath, D.Dudu and H.Schubert : Proc.23rd Linear Accelerator Meeting,23(1998) 352-354.

5] K.Isokawa, T.Hattori, S.Majima and S.Yamada : Proc.21st Linear Accelerator Meeting,21(1996) 281-283

[6] K.Isokawa, T.Hattori, S.Majima and S.Yamada : Proc.22nd Linear Accelerator Meeting,22(1997) 302-304

[7] K.Isokawa, T.Hattori, T.Ito, N.Hayashizaki, S.Majima and S.Yamada : Nucl. Inst. and Meth.,A145(1998) 287-290

参考文献

[1] S.Yamada, T.Hattori, et. al. ; Proc. 1990 Intn.Conf. on Linear Accelerator, Albuquerque NM, USA, LA-12004-C1990,pp.593-595

[2] T.Hattori, K.Isokawa, K.Sasa, T.Ito, H.Tomizawa, N.Hayashizaki, T.Yoshida, S.Majima, S.Yamada and S.Yamaki : Proc.21st Linear Accelerator Meeting,21(1996) 278-280.

[3] T.Hattori, K.Isokawa, K.Sasa, T.Ito, H.Tomizawa, N.Hayashizaki, T.Yoshida, S.Majima, N.Sakamoto, S.Yamada and S.Yamaki : Proc.22nd Linear Accelerator Meeting,22(1997) 22-24.