

(P 1–11)

The Study of Heavy-Ion Injector IH Linac for Cancer Therapy

T.Hattori, K.Isokawa, H.Schubert, K.Sasa, T.Itoh, H.Tomizawa, N.Hayashizaki, T.Yoshida, S.Majima,
S.Yamada^{A)} and S.Yamaki^{B)}

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

B) Japan Steel Works, Ltd.

Abstract

We are studying a heavy-ion IH linear accelerator for injector of cancer therapy. The IH linac was designed to accelerate C^{4+} (p, He) ion from 70 keV/u to 3 MeV/u with an operation frequency of 95 MHz. The geometrical dimension of the linac cavity are 80 cm in inner diameter and 3 m length. We thought to adopt alternative phase focus (APF) and give the voltage of Kilpatrick limit between the drift tubes. The calculated results of particle dynamics are showed that the transverse acceptance and acceleration transmission are $55 \pi \text{ mm} \cdot \text{mrad}$ and 50-66 % of injected ions using buncher, respectively. We can design the single injector linac which has compact size and high shunt impedance.

ガン治療用入射重イオン線形加速器の研究

1. はじめに

世界をリードして放医研の重イオン癌治療加速器が駆動し始めた。その入射線形加速器システムは研究用としては適当だが実用型の専用機としては大きすぎる[1]。

1980～90年代に進歩し実用化されてきたIH型加速構造は、アルバレ型やRFQ型に比較して、5～10倍の電力効率を持つことが実証されてきた[2-6]。そこで、低中エネルギー領域で、高電力効率を持つIH型加速構造を利用して、現在より数倍高加速率の線形加速器が可能である。医療用としては安定性を重視した小型、省電力のIH型線

形加速器一台による入射システムの検討を行った。

2. 入射線形加速器の概念設計

小型ECRイオン源で生成された C^{4+} イオン ($q/A=1/3$)を核子当たり70keVで入射し、3MeVで出射する長さ約3mの非常に小型のIH型線形加速器の設計を行った。

入射加速ターミナルとしては安定に駆動している200kV 中エネルギーイオン注入装置を使用すると仮定して、イオン源としては小型多価発生用ECRイオン源を採用する。その結果核子当たり70keVとなり小型の加速空

胴径の発振周波数でも十分セル長が長くなるので、ドリフトチューブ型加速器構造のIH構造で加速が可能となる。

線形加速器の入射点から数十cmのところから数kVのバンチャーをセットすることで30°以内に50~66%のビームをバンチすることが出来て、Alternative Phase Focus (APF)収束が可能となる。

実効加速率を安全性を重視して3MV/mとして長さを3mとしたが、4m、5mにすれば出射エネルギーはそれぞれ4MeV/u、5MeV/uとなる。

小型、省電力型IH線形入射器の設計パラメータを表-1に示す。

Table - 1 Parameters of Injector IH Linac

Acceleration Particle (q/A)	p, He, C ⁴⁺ ≥ 1/3
Input Energy	70 keV/amu
Output Energy	3 MeV/amu
Operation Frequency	9.5 MHz
Synchronous Phase	-45°, 0°, 45°
Number of Cell	34
Cavity Length	288 cm
Average Cavity Diameter	80 cm
Focusing Sequence (APF)	-45°, 0°, 45°
Transverse Acceptance	55 π mm · mrad
Longitudinal Acceptance	30°
Transmission	66(50) % by Buncher
Acceleration Voltage	335 kV/Gap
Acceleration Rate	3 MV/m
Effective Shunt Impedance	350 MΩ/m
RF Power	120 kW

3. APF収束粒子の軌道計算

加速ギャップ間電圧を安定性を重視してKilpatrick限界の1倍程度として粒子の軌道計算を始めた。APF収束を採用したことからドリフトチューブの構造が自由に設計できることより、その外直径、内直径、長さ、ギャップ面の曲面径等を変えることに因って加速電力効率の向上や、ギャップ間の放電を押し返すことが可能である。

APF収束シーケンスは各種の組み合わせがあるため計算のサーチは未完成であるが、かなり満足できる位相運動の結果を図-1に示す。位相シーケンスは表-1に示す様な-45°, 0°, 45°である。図-1の安定な位相振動の中で-55°~-25°の約30°がエネルギー1%以内に入っている。

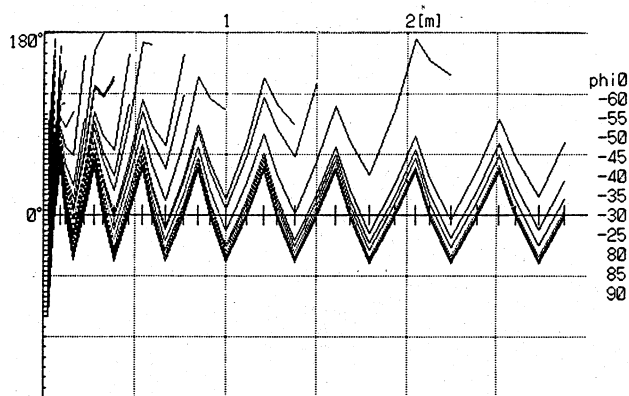


図-1 粒子の位相振動

-45°, 0°, 45°位相シーケンスの場合のトランスバース方向のアクセプタンスの結果を図-2に示す。-55°~-25°の共通アクセプタンスは55 π mm · mradで有った。この値はイオン源からの規格化エミッタンスが0.5~0.6 π mm · mradであれば70 keV/uでは40~48 π mm · mradとなり十分アクセプトが可能で有る。

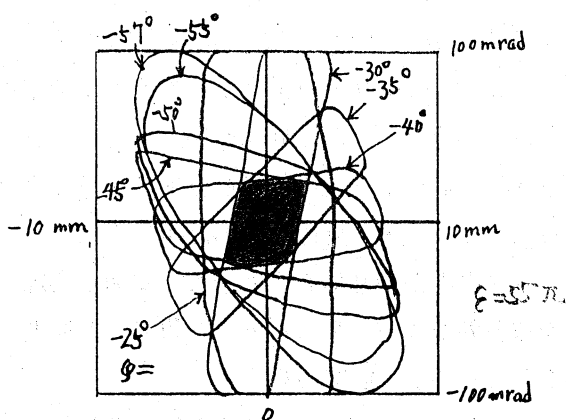


図-2 $-45^{\circ}, 0^{\circ}, 45^{\circ}$ 位シーケンスでの
Transverse Acceptance

トランスバースアクセプタンスの悪い場合の例として $-30^{\circ}, -30^{\circ}, 30^{\circ}, 30^{\circ}$ 位相シーケンスの場合を図-3に示す。トランスバースアクセプタンスは $15\pi \text{ mm} \cdot \text{mrad}$ 小さく加速効率が悪いことが分かる。

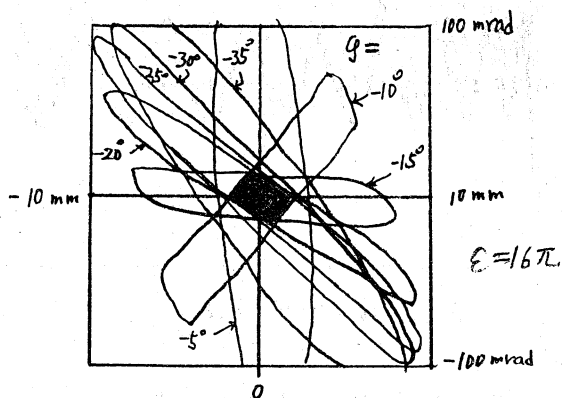


図-3 $-30^{\circ}, -30^{\circ}, 30^{\circ}, 30^{\circ}$ 位相シーケンス
でのTransverse Acceptance

4. まとめとその他

C^{4+} イオン($q/A=1/3$)を核子当たり70keVで入射し、3MeVで出射する長さ約3mの非常に小型(直径80cm)で省電力(120kW)のIH型線形加速器一台による医療用入射器を

設計した。APF収束とバンチャーにより十分ビームを加速出来ることが粒子の計算機シミュレーションより分かった。

また同じ様な設計概念で、長さ3mの入射エネルギー100keVで出射4MeVの陽子加速IH型入射線形加速器を設計することが出来た。また同様に長さ3mの入射核子当たり50keVで2MeV出射の重陽子加速IH線形加速器を設計することができた。

1/2スケールモデル空胴を現在設計製作中でその高周波特性を報告する予定である。

また放電限界や空胴の安定度を試験するためのテスト加速空胴を別に設計、製作することを計画している。

6. 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) U.Ratzinger, Proc.1990 Int. Conf. on Linear Accelerators, Albuquerque, NM, USA, LA-12004-C1990, pp.525-529
- 3) T.Hattori, K.Sato, H.Suzuki, Y.Oguri, E.Arai, Proc. 1986 Int. Conf. on Linear Accelerators, Stanford, CA 1986, pp.377-379,
- 4) T.Hattori, H.Muto, H.Suzuki, T.Fukushima and N.Ueda, Proc. IEEE 1989 Particle Accelerator Conference, Chicago, IL, CH2669-0, (1989), pp.944-946
- 5) T.Hattori, M.Okamura, Y.Oguri, K.Sasa, T.Ito, M.Okada, T.Nakamura, H.Schubert, H.Morinaga, D.Dudu, G.Pascovici, E.Ivanof, S.Ymaki, Y.Shida, T.Fujisawa, S.Seki and K.Furono, Nucl. Instrum. Methos B99 (1995) 807-809.
- 6) U.Ratzinger, Proc. IEEE 1991 Particle Accelerator Conf., 91CH3038-7, (1991) pp547-571.