

## STUDY OF HYBRID SINGLE CAVITY LINAC

T. Ito, N. Hayashizaki, N. Matsunaga, T. Hata, K. Sakakibara and T. Hattori  
Research Laboratory for Nuclear Reactors Tokyo Institute of Technology  
2-12-1 Ookayama, Meguro, Tokyo, Japan

### Abstract

A hybrid single cavity linac has been developed as power and space saving model of linac and its peripheral equipments. This hybrid linac is incorporated the RFQ and APF-IH into single cavity. In this study, high frequency property was calculated with the High Frequency Structure Simulation (HFSS) software. We will report about the results of the electric field analysis for determining this linac cavity structure.

## 複合型単空洞リニアックの研究

### 1. はじめに

近年、コンピュータ技術の発展によって、計算速度が飛躍的に向上し、IH linac のような対象性の低い加速空洞の電磁場計算ができるようになった。本研究では省電力・小型の加速器システムとして、Radio Frequency Quadrupole (RFQ) 線形加速器と IH 型 Drift Tube Linac (IH) を一台の空洞内に組み込んだ、RFQ+IH 型 Linac を考えた。現在、加速器は様々な分野の基礎研究用としてだけでなく、医療、工学など幅広い応用が実現されている。そして、今後、医療設備や工場などに導入可能となるためには、建設費や運用費、さらに加速器とその周辺機器のためのスペースの確保などが重要な問題となる。この複合化により、加速器自体を小型化でき、また周波数発生装置など周辺機器を簡略化できることから、加速器運転に必要なスペース、およびそのコストを大幅に削減できると考えられる。

本研究は、RFQ+IH について、ビームを加速できるような共振空洞が実現できるかについて、RFQ、IH それぞれについて、モデルを設計し、これらを一つの空洞に合わせた際の加速電場の調整などについて検討をおこなっているので報告する。

### 2. 設計概念

本加速器については、がん治療法の一つである、ホウ素中性子捕捉療法 (Boron Neutron Capture Therapy; BNCT) における中性子源として応用できるような、プロトン加速器を想定した。BNCT は安定同位体である  $^{10}\text{B}$  化合物を選択的にがん細胞内に取り込ませた後、熱 (あるいは熱外) 中性子を照射することでがん細胞を選択的に破壊する方法である。この療法において、中性子源として原子炉が利用されているほか、プロトン加速器が検討されている<sup>[1,2]</sup>。本研究の複合型単空洞加速器は小型、電源等周辺機

器の簡略化、また、省電力といった面において適したモデルであると考えられる。

RFQ と IH を一つの空洞内におさめたとき、構造上 RFQ 側のキャパシタンスが比較的大きくなる。このような空洞のビーム軸上に一樣な加速電場を発生させるために、RFQ と IH の径を変えることで電場分布の調整を行うこととした。そのために、まず、径の異なる円筒空洞を結合し、三次元電磁場解析ソフトである High Frequency Structure Simulation (HFSS) を用いて、空洞内に一樣な電場分布を達成できることを確認した。

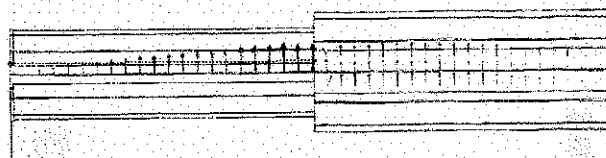


図1 異なる径の円筒における電場分布

### 3. 基本パラメーター

RFQ および IH は各々別に設計し、共振周波数がある程度合わせた後に、結合し、さらに加速空洞径を変えることにより電場分布を調整した。この複合型単空洞 Linac は定電場分布を採用し、最大ギャップ電場はキルパトリック放電限界の約 1.6 倍とした。RFQ 部については、4 ロッド型の IH 型 RFQ とした。これは、連結する IH の加速モードが  $\text{TE}_{111}$  であり、RFQ もこれと同一のモードでビーム加速されなければならないためである。また、プロトンを 50 keV から 200 keV まで加速できる様、全長を 0.68 m とした。一方、IH 部については、同期位相の繰り返しにより、粒子を安定に輸送できる Alternative Phase Focusing (APF) 法とした<sup>[3,4]</sup>。入射

エネルギーを 250 keV/amu、出射エネルギーを 3 MeV/amu とし、この APF-IH の全長を 1.1 m とした。以下に、IH および RFQ の主なパラメーターを示す (表 1)。

表 1 各加速器の主要パラメータ

	RFQ	IH
入射エネルギー (MeV/u)	0.05	0.2
出射エネルギー (MeV/u)	0.2	3
共振周波数 (MHz)	88	114
キャビティー長 (m)	~1.18	~0.68
空洞径 (mm)	400	600
キルパトリック値	1.6	1.6

#### 4. 電磁場計算

これらの各パラメーターに基づき、IH および RFQ について HFSS を用いて三次元電磁場計算を行った (図 2)。

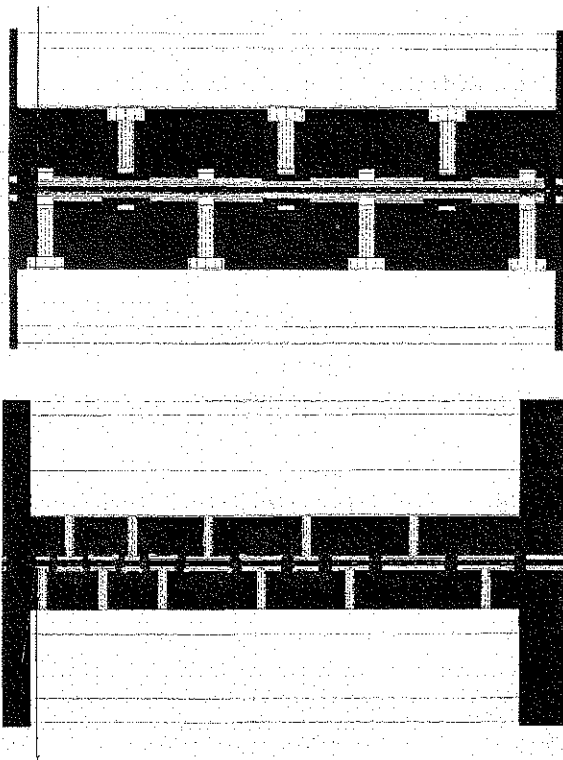


図 2 RFQ(上図) および IH(下図) の電場分布

次にこの二つの加速器を連結し、ビーム加速に必要な電場分布が達成されるかを検討した。RFQ 側の径 (400 mm) は一定として、IH 側の径を変えることにより共振周波数のマッチングを行った。IH 側の径の変化に対して、RFQ または IH 側に加速電場が発生した時の共振周波数を図 3 に示す。この結果から、RFQ+IH の径をそれぞれ、400 mm、1100 mm と

したときに、空洞全体に電場を発生させる事ができた (図 4)。

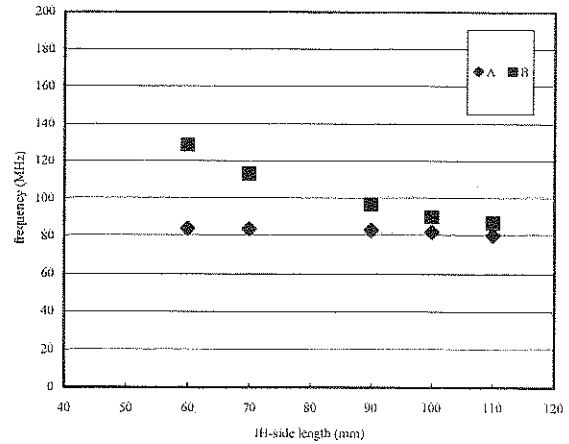


図 3 IH 側の直径の変化に対する共振周波数  
A: RFQ 側、B: IH 側に電場が発生

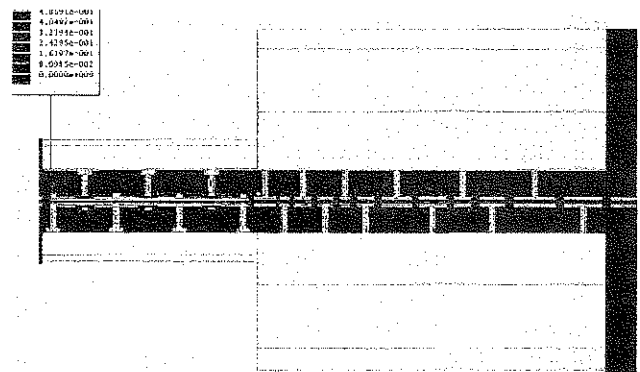


図 4 複合型単空洞 Linac における電場分布

#### 5. まとめと今後の予定

今回、比較的複雑な構造である複合型単空洞 Linac において、加速に必要な  $TE_{111}$  モードが励起できる目処がたち、入射側から出射側まで加速電場を発生させるようマッチングできることを確認した。今後、空洞径の長さを調整する以外に、リッジの調整などを行い共振周波数の微調整を行なうことでビーム軸方向に一樣な加速電場を発生させるような条件を検討する。また、RFQ と IH の間に挿入する Q 磁石のドリフトチューブおよびリッジの変化を利用して電圧分布調整する予定であり、学会にて報告する。

#### 参考文献

- [1] 古林 徹 他、小型陽子加速器による病院併設型 BNCT 照射システム、21 世紀連合シンポジウム、東京、Nov. 23-25、2002
- [2] G.E. McMichael et al., "The Argonne ACWL, a potential accelerator-based neutron source for BNCT", Nucl. Instrum. Meth. B99 (1995) p847-850
- [3] U. Ratzinger, et al., Proc.1990, Int. Conf. on Linear Accelerators Albuquerque, NM, LA-12004-C, 1990, pp525-529
- [4] K. Yamamoto, et al. "The Study of APF-IH Linac", Proc. Of EPAC, Lucernn, Swizerland, 2004, pp2676-2681