

T.Hattori, S.Yamada, E.Tozoy, T.Fukushima, T.Fujino, K.Yoshida,  
 服部俊幸, 山田 聡, 東条栄喜, 福島敏孝, 藤野武夫, 吉田勝英, 村上 健<sup>※</sup>  
 東京大学原子核研究所, ※東京工業大学 K.Murakami  
 Institute for Nuclear Study, University of Tokyo

The Accelerating structure of interdigital-H type is expected to have high shunt-impedance for acceleration of low velocity ions. We have constructed a prototype IH linac. The model linac is designed to accelerate proton from 15 keV to 161 keV. The operating frequency is chosen at 100 MHz.

1. はじめに

TE<sub>111</sub>共振モードを利用した加速空洞の電磁場特性をモデルを使って基礎開発研究を行ってきた。いわゆるIH型ライナックは低エネルギー領域でシャント・インピーダンスは高いが、電圧分布の制御はシャント・インピーダンスの低下することなく行えないのがこれまでの欠点であった。そのため特殊なエネルギー領域のライナックとして製作されたのみで、実際に低エネルギーから一般的なライナックとして採用されていない。我々は電圧分布制御をシャント・インピーダンス及びQ値を低下せずにインダクティブな調整で行うことに成功した。そこでロー・パワーだけでなくハイ・パワーでもこのことを実証すべく、実際に粒子を核子あたり15 keVから160 keVまで加速できるプロットタイプのIHライナックを製作している。

以下に インダクティブな調整による電圧制御のこと、プロットタイプIHライナックのこと及び加速装置全体のことについて述べる。

2. インダクティブ調整による電圧制御

TE<sub>111</sub>共振モードを使ったIH型ライナックは、低エネルギー領域で高シャントインピーダンスで重イオン加速に適していると言われながら、特別なエネルギー領域での加速にしか製作されていなかった。TE<sub>111</sub>共振モードの電圧分布はリッチ付きの空洞でも基本的にはsin型であり、加速型では電圧分布は極端に入射側へよってしまう。粒子速度があまり変化しない場合にはキャパシティブな調整で電圧分布を制御してもそれほどシャントインピーダンスを下げずに製作され得る。しかし一台の空洞でエネルギーゲインを10倍程度に加速する場合は(特に

低エネルギー領域ではしばしばおこる)キャパシティブな調整だけでは大幅にシャントインピーダンスは低下し加速のエネルギー効率はさがることになる。

そこで我々はエネルギーで10倍程度、速度変化で2~3倍の加速ゲインのあるライナック・モデルを考え、インダクティブな調整による電場特性を研究してきた。この目的に真ちゅう製、内径40cm、長さ96cm、のモデルに一對のウイング・チューナをそう入した。

図1に示すごとく、リッチは一つで

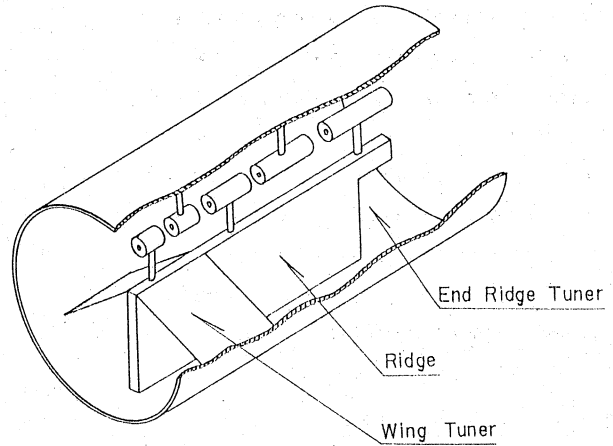


Fig.1 A cutaway view of the single rigid IH structure

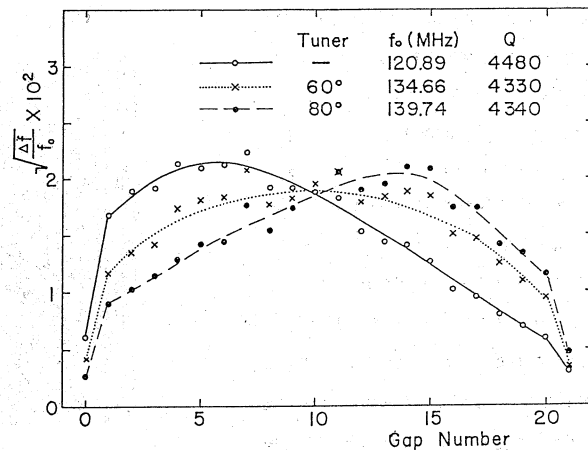


Fig.2 An example of typical results of Wing Tuner

入射側の一部に鳥の翼状の板を付加したもので ウィング・チューナと呼んでいる。

一つのリッチに一对のウィング・チューナを配置することは モデルテスト及び実際の実用加速器を考えたときに、工学的にシンプルであることにより決定した。リッチが空洞中心にあれば、一对のウィング・チューナは角度を変えて空洞の断面積を自由に換えられる。ライナックの集束用レンズが外部タンクから直接そう入でき、付属する位置調整機構も自由にタンク外から調整できるためにはタンク上部にリッチのない構造が簡単である。図2に典型的な測定結果を示す。ウィング・チューナをリッチから測定して、60度80度の角度に動かして加速空洞の断面積を変えることで、入射側にかたよっていた電圧分布がドラステックにコントロールできることがわかった。又電圧分布の制御をしたにもかかわらず、シャント・インピーダンスとQ値はほとんど変化しない。このことは、ウィングチューナとタンクの一部による広いノターンコイルが形成されて、結果的に空洞の断面積を小さくしたことに対応していると言える。

図2に示す例題のドリフトチューブ配列は $\pi-3\pi$ 構造で大きさは2、4cmの直径である。セル長 ( $\beta\lambda/2$ ) は1.5cmから3cmで速度は2倍変化し、ギャップとセル長の比 ( $g/l$ ) は1/3に固定してある。ウィング・チューナの長さは27.5cmで約リッチ長の1/3である。

ウィング・チューナの角度を大きくするにしたがって共振周波数は大きくなったことより、このチューナはインダクティブに働いたことを意味している。我々は第2のインダクティブなチューナとして、図1に見るようなエンド・リッチ・チューナを導入した。ウィング・チューナをそう入することで電圧分布を出射側へシフトさせたが、しかし出射側近傍ではやはり電圧分布は低くなってしまふ。ウィング・チューナで制御された磁束をさらに後方へコントロール補強的チューナがこのエンド・リッチ・チューナで、シャントインピーダンス及びQ値の変化はない。2種のチューナを組み合わせることで、IH型ライナックの電圧分布をかなり自由に制御出来るようになった。このことから  $TE_{111}$  共振モードを使ったIH型加速空洞の最大の欠点を克服したことになる。

### 3. プロットタイプ・ライナック

モデルテストに基づいてプロットタイプIHライナックは製作された。主なパラメータを表に示す。このライナックはプロトンを15keVから161keVまで加速するように設計され、空洞の共振周波数は100MHzである。タンク壁は鉄の上に30 $\mu$ m以上の銅メッキを行い、ドリフト・チューブ等他の部品は銅製とした。集束レンズとして、3 $\pi$ ドリフト・チューブ中にアルミ製の電極をそなえた静電Qレンズをそう入した。FD集束構造で、Qレンズに $\pm 2.5$ Vの電圧を加えると、ライナックのアクセプタンスは150 $\pi$  mm $\cdot$  mradになり、15 keVのイオン源から取り出される粒子のエミッタンスは約100 $\pi$  mm $\cdot$  mradと考えられるので妥当なデザインと言える。ウィング・チューナはモデルテストの結果7cmで90度の角度にえらんだ。図3に製

Table

The IH prototype linac parameters.  
(The dimensions are given in cm.)

Frequency	100 MHz
Ions	protons
Input energy	15 keV ( $\beta = 0.57$ %)
Output energy	161 keV ( $\beta = 1.86$ %)
Maximum gap voltage	12.2 kV
Maximum electric field	19.6 kV/cm
No. of gaps	24
Tank	
Inner diameter	48
Length	92
Ridges	
Width	2.4
Length	80
Height	24 (lower), 8 (upper)
Wing tuners	
Length	17
Angle	90 deg.
End Ridge Tuner	10
Drift tubes	
Bore diameter	1
Outer diameter	4 (3 $\pi$ ), 2.6 ( $\pi$ )
Length	2.5 - 7.1 (3 $\pi$ ), 0.6 - 1.8 ( $\pi$ )
Gap to cell length ratio	1/3
Stems	
Diameter	1.2
Length	6 (3 $\pi$ ), 6.7 ( $\pi$ )
Focusing	
Acceptance	150 $\pi$ mm mrad
Elements	ESQ
Sequence	FD
Maximum voltage	$\pm 2.5$ kV

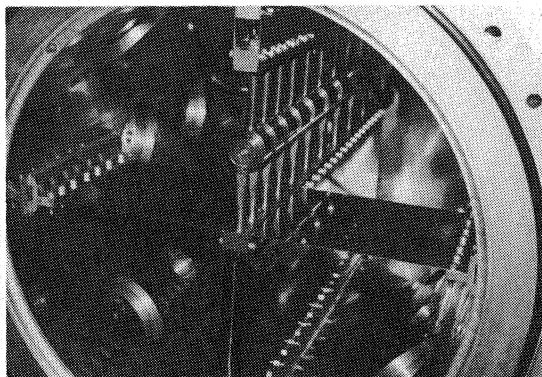


Fig.3 An inside view of the prototype linac

作されたライナックの写真を示す。

ロウ・レベル測定の結果はデザイン値とよく一致し共振周波数は 104.6 MHz、Q値は6300であった。測定された電圧分布は図4に示すようにデザイン値とよく一致し、その差は、周波数とも微調用キャパシティブ・チューナーで調整される。

#### 4. ビーム加速テスト装置

図5にビーム加速テスト装置の全体図を示す。デュオプラズマトロンイオン源から引きだされたイオンは2台の振り分け電磁石で45度、90度と偏向されて、ライナックに入射する。静電QレンズがSW-II電磁石直後のスリット部分でウエストポイントを作る直後にビーム・パンチャーを設置している。このパンチャーは同軸型共振器で、ライナックと同じドリフトチューブ径状を持つ3孔型ダブルギャップ加速空洞である。材質は真ちゅうとアルミである。パンチャーでパンチされたビームは三連の静電Qレンズで第一ドリフトチューブに集束される。

加速されたビームは分析電磁石の焦点に三連の静電Qレンズにより集束される。分析電磁石は偏向角90度で軌道半径1.2cmの二重集束型の運動分散4.8cmの性能を持つ。フアラディカップ、スリット、多しんプロファイルモニター等が主要場所に設地されている。

ライナックをふくめてビーム加速テスト装置全体は例外をのぞいてすべて東京大学原子核研究所工作室が製作したものである。

平尾教授と上田、中西氏及びその他加速器グループの人々に感謝すると共に核研工作室の人々に深く感謝いたします。

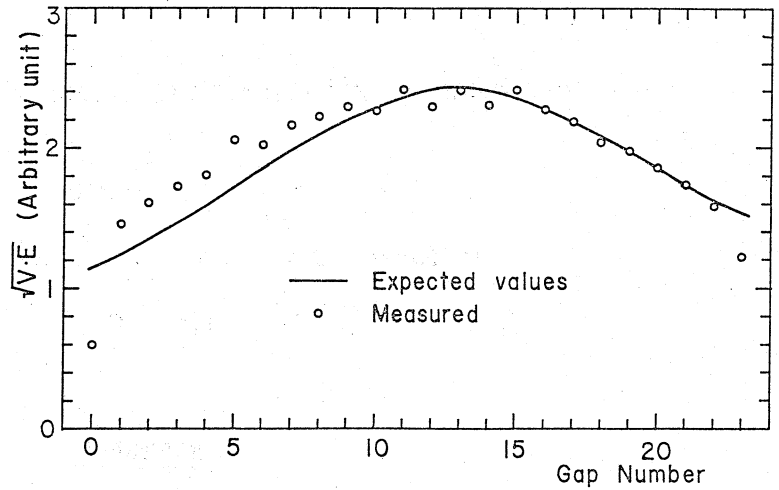


Fig.4 The gap voltage distribution obtained for the prototype model

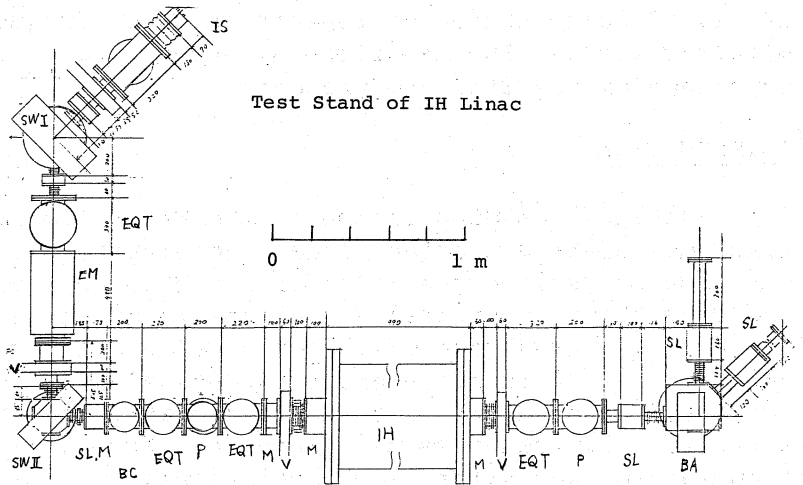


Fig.5 Layout of the Test Stand

#### References

- (1) V. A. Bomko and E. I. Revutskii, Soviet Physics - Technical Physics 9 (1965) 973
- (2) M. Bres, A. Chabert, F. Foret, D. T. Tran and G. Voisin, Particle Accelerators 2 (1971) 17
- (3) A. Chabert, G. Voisin and J. Pottier, Nuclear Instruments and Methods 115 (1974) 471
- (4) N. Ueda, S. Yamada, E. Tojyo, T. Hattori, K. Yoshida and T. Hori, IEEE Transactions on Nuclear Science, NS-28, No.3 (1981) 3023
- (5) E. Nolte, G. Geschonke, K. Berdermann, R. Oberschmid, R. Zierl, M. Feil, A. Jahnke, M. Kress and H. Morinaga, Nuclear Instruments and Methods, 158 (1979) 311
- (6) E. Nolte, R. Geier, W. Schollmeier and S. Gustavsson, Nuclear Instruments and Methods 201 (1982) 281
- (7) K. Furuno, T. Komatsubara, Y. Fukuchi and T. Kimura, Proceedings of the 4th Symposium on Accelerator Science and Technology, Wako-shi, Japan, 1982, p55
- (8) T. Weis, H. Klein and A. Schempp, IEEE Transactions on Nuclear Science, NS-30, No.3 (1983)
- (9) T. Fukushima, T. Hattori, T. Hori, K. Sato, E. Tojyo and K. Yoshida, Proceedings of 1981 Linear Accelerator Conference, Santa Fe, USA, 1981, p296
- (10) G. Gammel, J. Brodowski, K. Dobbs, J. Keane, A. Maschke, E. Meier and R. Sanders, Proceedings of 1981 Linear Accelerator Conference, Santa Fe, USA, 1981, p89