

T. Fukushima, T. Hattori, K. Sato, E. Tojyo  
and K. Yoshida

Institute for Nuclear Study, Univ. of Tokyo

#### ABSTRACT

We have designed the 1/6 scale model of IH type Linac for "Numatron" project and are measuring about some electric properties of accelerator structure. The main purpose of this model measurements are to find the optimized design parameters by variation of structure parameters systematically. In this working, the more reasonable equivalent circuit has submitted.

#### まえがき

Interdigital H型 Linac は TE モードの電気振動を用いて, Alvarez Linac よりも比較的低い周波数帯で, 高い Shunt impedance を実現できる加速構造である。歴史的には 1950 年代後半に J. R. Blewett 等によって提案され, ソ連・フランスにおけるモデル実験, 解析を経て 1970 年代末期に München 工科大学において実用化され, 現在, 世界でただ 1 基稼働中である。東大核研においては Numatron 計画の入射用加速器の 1 つとして検討し, 昨年の本研究会において 1/8 スケールモデルによる周期構造伝送系としての電气的特性の測定, 等価回路解析法について報告した<sup>1)</sup>。その後, タンクの断面積と共振特性の関係, 加速構造の静電容量と等価回路定数の関係等について実験を進め<sup>2)</sup>。これらの基礎の上に, 新たに 1/6 スケールモデル — 通称, 中型モデル — を製作し, 望ましい電場分布への Modification, Design parameters の最適化, 及び等価回路解析法の改良等をすすめているので, 以下に進行状況を報告する。

#### I. モデルの目的と構造

前回の 1/8 モデルではリッジとタンク間, スタムとリッジ間の Contact が不十分で Q 値

が低く、Contact にむらがあると電場分布が乱れがちだったので、今回の中型モデルでは特にこの点に留意して設計し、より精度の高い電場測定を行ない、Shunt impedance を測れるようにした。また  $1/8$  モデルでは、Resonator に励起される電場は、TE<sub>112</sub> の単なる Harmonics であつたが、今度のモデルでは実際の加速用電場に近づけるため、Ridge の軸長をタンク長より短かくして End space での特性インピーダンスを変え、Short 面での Impedance の調整で Flat な電場分布を実現することを目指した。Cell structure に際してはまず、等速型 ( $\beta=3, 4, 5, 8\%$ ) と加速型 ( $\beta=1.0 \rightarrow 2.0\%, 2.5 \rightarrow 3.9\%, 7.9 \rightarrow 9.6\%$ ) の2種を用意し、更に Drift tube も Q-magnet の装荷に対応させて4種の Diameter を選んで製作した。また Stem の形状、大きさやリッジ間隔、リッジ幅、Drift tube 径等との相互関係を、等価回路解析を通じて適正化していく事が目的である。Table 1. にモデルの主な Dimensions 及び可変 Parameters を示した。Fig. 1 は組立写真である。

## II. 共振周波数と軸上電場分布の測定

Fig. 2 に 0~1.3 GHz の範囲でとつた共振周波数のスペクトルを示す。今回の測定では後述のよりに、等価回路解析法の改良に合せて、低次の3個の調波を正確に測定し、それ以上の調波の値は参考にとどめた。Tank のQ値が 5,000~3,000 で、 $1/8$  モデルの場合より数倍以上高くなったので、TE<sub>112</sub> 以外のモード群も多数スペクトル上に現れている。共振周波数の調整は、タンクの両端から中心軸に挿入した End Tube によつて、電場分布とはほぼ独立に変化させる事ができた。

軸上の電場分布を測るため、 $\phi 5 \times 30$  mm のアクリル棒を Perturbator として用いた。その測定例を Fig. 3 に示す。L=800 のグラフはリッジ端に Short 面を移した場合で、本来

Tank diameter	$\Phi 400$			
Shorted tank length [mm]	800,	840,	880,	920, 960.
Ridge to end-plate distance [mm]	0,	20,	40,	60, 80.
Ridge to ridge distance [mm]	80,	120,	160,	200, 240.
Ridge width [mm]	30,	40,	50.	
Stem diameter	$\Phi 6,$	$\Phi 8,$	$\Phi 10,$	$\Phi 12$ (Drift tube (II))
Beam-hole diameter	$\Phi 5.8$			
Drift tube (I) (constant velocity)	$\beta$	$(l_c)$ [mm]	$l_d$ [mm]	Diameter
	4%	(40)	26.7	$\Phi 33.3, \Phi 30.0, \Phi 26.7, \Phi 18.7$
	5%	(50)	33.4	$\Phi 33.3, \Phi 30.0, \Phi 26.7, \Phi 18.7$
	8%	(80)	53.4	$\Phi 33.3, \Phi 30.0, \Phi 26.7, \Phi 18.7$
	3%	(30)	20.0	$\Phi 33.3, \Phi 30.0, \Phi 26.7, \Phi 18.7$
Drift tube (II) (variable velocity)				
① $\pi/\pi$ Mode, 25MHz	$\left\{ \begin{array}{l} U^{16+} 300 \rightarrow 700 \frac{\text{keV}}{u} \\ 2.5\% \rightarrow 3.9\% \end{array} \right.$	$20.3 \rightarrow 30.9$	$\Phi 30.0 (x20), \Phi 40.0 (x20)$	
② $\pi/\pi$ Mode, 50MHz	$\left\{ \begin{array}{l} U^{46+} 2.96 \rightarrow 4.30 \frac{\text{MeV}}{u} \\ 9.9\% \rightarrow 9.6\% \end{array} \right.$	$31.7 \rightarrow 38.3$	$\Phi 30.0 (x15), \Phi 40 (x15)$	
③ $\pi/3\pi$ Mode, 25MHz	$\left\{ \begin{array}{l} N^{2+} 50 \rightarrow 200 \frac{\text{keV}}{u} \\ 1.0\% \rightarrow 2.0\% \end{array} \right.$	$8.3 \rightarrow 17.1$ $34.7 \rightarrow 66.4$	$\Phi 20 (\pi) \times 11$ $\Phi 40 (3\pi) \times 10$	
	$l_d$ : Drift tube length		$l_c$ : Unit cell length	

Table. 1. The list of design parameters

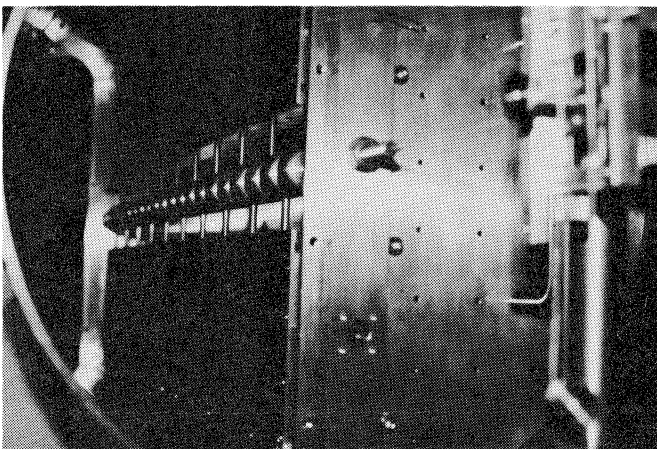


Fig. 1 Photograph of 1/6 scale model

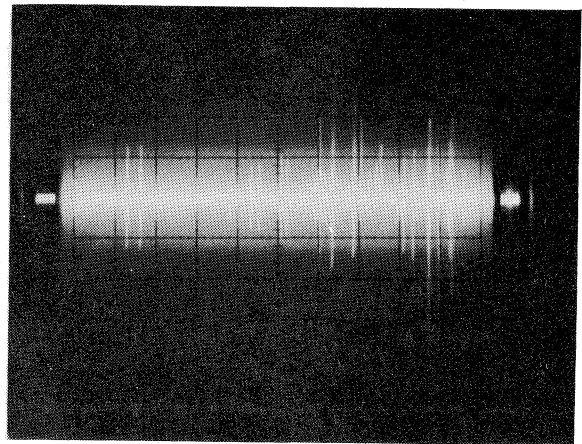


Fig. 2 Resonant freq. spectrum  
( $\omega \sim 1.3 \text{ GHz}$ )

のTE<sub>111</sub>モードである。リッジ端とタング間の距離を増してインダクタンスを増やすことにより、リッジ両端付近の電場を持ち上げ、Cell部分の電場を全体としてFlatに近づけることが出来る。しかし平坦度を更に上げるためには、まだ不十分なので、Tankの軸上から上下各100mmの位置で両端からEnd Tuner (40mm×100mm×2mmの平板、Bs)を4個挿入した。4個とも同じ距離だけリッジ端に近づけた例がグラフのL=960, Tuner付きの曲線である。電場分布は全Cellについて±3.5%以内は容易に平坦化できしたが、4個とも別個に調整すれば更に平坦化可能である。しかし、このTunerの挿入により、Q値は挿入しない場合より1/3近く犠牲になる。Q値を落とすにFlatnessを良くする事が今後の課題である。

### III. 等価回路の改良

これまでIH構造の等価回路としては、Fig. 3の(A)の方を用いてきた。しかしながら、この等価回路では、CdがGap capacitanceのほか、Ridge間その他のCapacitanceをすべて含めた値として求まることになり、不合理である。そこで新たにGap capacitance Cd

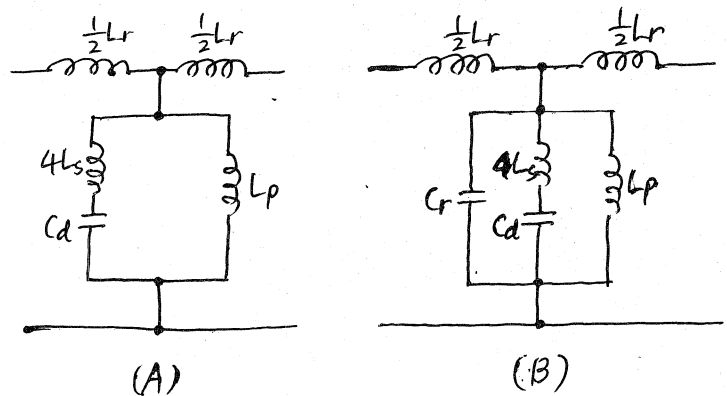


Fig. 3 Equivalent Circuits for IH Structure

- $L_r$ : 伝送方向の Inductance
- $L_p$ : タング間の Inductance
- $L_s$ : ステムの Inductance
- $C_d$ : Gap の Capacitance (A)ではCrも含む
- $C_r$ : リッジ間その他の Capacitance

とそれ以外の並列Capacitance Crを含めた等価回路を考えると、伝送線路のL', C'はそれ

ぞれ、
$$L' = L_r, \quad C' = \frac{C_d}{1 - \omega^2 L_s C_d} + C_r - \frac{1}{\omega^2 L_p} \quad (1)$$

で与えられ、伝送方向の位相定数βは、タング長をLとして、

$$\beta^2 = \omega^2 \left[ L_r \left( \frac{C_d}{1 - \omega^2 L_s C_d} + C_r - \frac{1}{\omega^2 L_p} \right) \right], \quad \beta = \frac{\pi}{L} \quad (2)$$

で与えられる。この式の特徴は、5個の等価回路定数の3個が積又は商として入っている事である。そこで  $L_p$  を基準にとり、

$$L_p = \frac{1}{2} \mu_0 A \quad (A \text{ は タンクの半断面積}) \quad (3)$$

と  $\omega$  を測定によって4個求めれば原理的には各定数が求まる。一方、TE<sub>10</sub>モードのI型構造では、リッジ間隔  $b$ 、実効リッジ幅  $w$  に対し、 $L_r = \mu \frac{b}{w}$ 、 $C_r = \epsilon \frac{w}{b}$  従って、

$$L_r C_r = \epsilon \mu = \frac{1}{c^2} \quad (c: \text{光速}) \quad (4)$$

が成り立つ。そこで(3)、(4)と3個の測定値  $\omega_1, \omega_2, \omega_3$  を用いて各回路定数を求めることができる。この方法で(B)図について得た結果と、(4)を用いず(A)について得た結果をTable 2. に示す。  $L_s$  は等価回路の選択によって、大きく変わってくる事が判る。  $L_p$  は両

者とも大差ない。

#### IV. 今後の課題

1) 電場分布をFlatにするには、End spaceのInductance & End tunerのCapacitance だけでは適正化できない。広い意味で、Gap電圧を制御するには、回路定数のどれかに重点をおいて変える機構が必要となる。

2) Stemの役割を明らかにするため、太さだけでなく、種々の形状のものを用意して共振特性の変化を見る予定である。

3) 等価回路定数が、タンクの体積によって変化することが判つてきた。モデルの場合よりも容積の大幅に違う実寸のResonatorをつくる時には、Scale-upしてDesignでまじくなる可能性がある。

リッジ間隔 $b$ [mm]:	$b=80$	$b=160$
半断面積 $A$ [ $m^2$ ]	$5.803 \times 10^{-2}$	$5.923 \times 10^{-2}$
共振周波数 $f_1$ [MHz]	157.826	148.3037
$f_2$	228.308	192.1095
$f_3$	303.517	240.1354
$f_4$	372.991	284.1608
等価回路(A): $L_p$ [ $\frac{mH}{m}$ ]	36.462	37.216
$L_r$ [ $\mu H \cdot m$ ]	0.846	1.573
$4L_s$ [ $\mu H \cdot m$ ]	0.959 ( $5.944 \frac{mH}{stem}$ )	2.770 ( $17.31 \frac{mH}{stem}$ )
$C_d$ [ $\frac{pF}{m}$ ]	44.477 ( $1.779 \frac{pF}{gap}$ )	38.345 ( $1.534 \frac{pF}{gap}$ )
等価回路(B): $L_p$	36.462	37.216
$L_r$	0.853	1.588
$4L_s$	1.734 ( $10.84 \frac{mH}{stem}$ )	3.776 ( $22.60 \frac{mH}{stem}$ )
$C_r$ [ $\frac{pF}{m}$ ]	13.026	6.999
$C_d$	31.464 ( $1.259 \frac{pF}{gap}$ )	31.506 ( $1.260 \frac{pF}{gap}$ )

Table 2. Analytical results

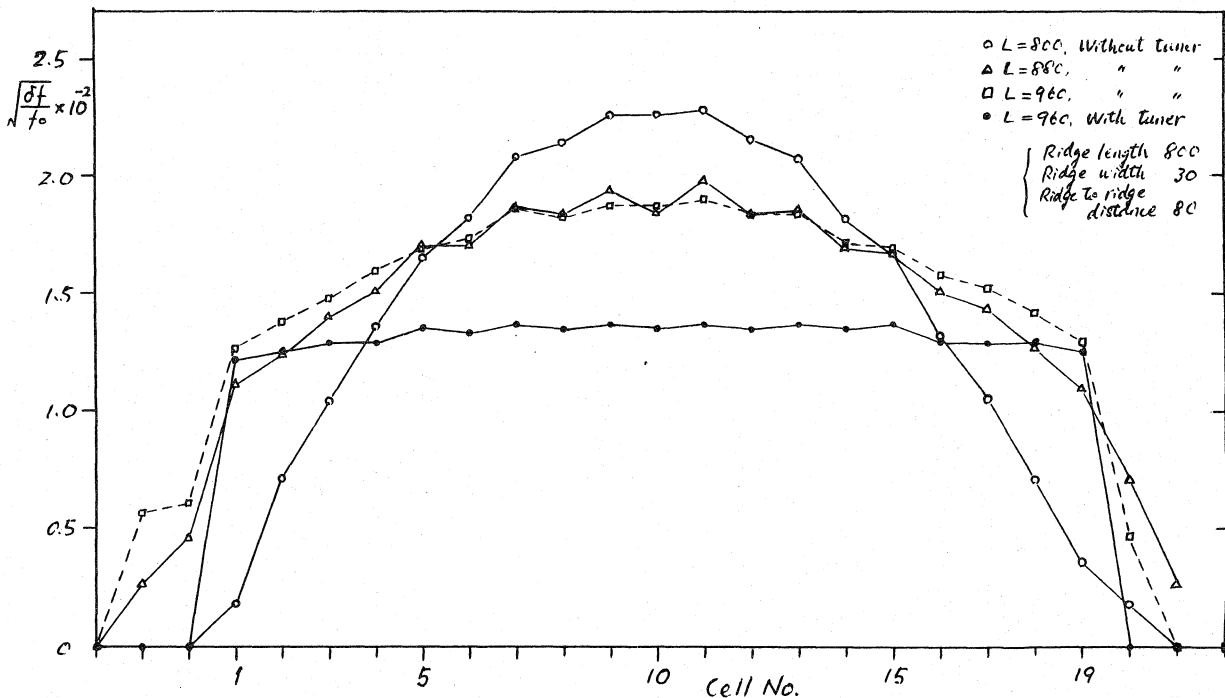


Fig.3 Electric field distribution on the tank axis

あとがき

現在 Fig.1 に示した可変パラメータをそれぞれ適当に組合せて、系統的なデータをつくる事を急いでいる。その結果については後日に機会を改めたい。このモデル実験に際して、製作に協力いただいた東大核研工作室各位、及び北野精機株式会社、海津製作所に感謝する。(1981.7.6)

Refs: 1) 吉田他: インターデジタルH型線型加速器モデルテスト; 中5回リ=アック

研究会報文集 p.101-105 (1980)

2) N. Ueda et al: RF field measurement and its analysis on a model resonator of the interdigital H type Linac; Proc. of the national acc. conf. in USA (1981)