

インターデジタルH型線型加速器モデルテスト

東大核研 吉田勝英、上田 望、山田 聡、東条栄喜、服部俊幸
住友重機 堀 利匡

§ 1. はじめに.

H (TE) モードの電気振動を利用するライナック — インターデジタルH型 (IH) は H. MORINAGA¹⁾, M. BRES et al.²⁾, J. POTTIER³⁾ らによって研究され、比較的小さなタンク径で低い共振周波数と高いシャント・インピーダンスを有することが示されてきた。また、ミュンヘン工大においてはタンデムの Post Accelerator として drift tube に収束要素をもたない IH が建設され、粒子速度 $\beta = \%$: 5 ~ 10% の領域で、200 ~ 120 MS/m の高いシャント・インピーダンスが得られた。⁴⁾

東大核研において現在、ウランにわたる重イオンを核子あたり 1 GeV 以上に加速する重イオン・シンクロトロン (= ニューマトロン) の準備研究が進められている。その入射ライナックとして IH の検討が行われている。寸法・構造と共振周波数との関係、 β が急激に変化する領域で適当な電場分布を有する構造、収束要素をくみこんだ場合のシャント・インピーダンス等の検討のためには従来の解析方法は不十分であると考えられた。解析方法を確立するために $1/8$ モデルで電気的諸特性を測定して十分な結果を得た。この報告では、モデルの構造、測定結果、解析方法についてのべる。

§ 2. モデルの構造

モデルは、スケール $1/8$ 、直径 150 mm、タンク長さ 1215 mm、セル長さ $l_c = 22.5 \text{ mm}$ 、($\beta = 3\%$ 等速)、ギャップ・セル長さ比 $g/l_c = 1/3$ 、 $\pi - \pi$ 加速のものである。 Ω -magnet を drift tube のつおきにくみこむものとして外径を交互に 25 mm、14 mm としている。シヨート板によって長さを変えることができる。drift tube, stem, tank はすべて Wideröe 型

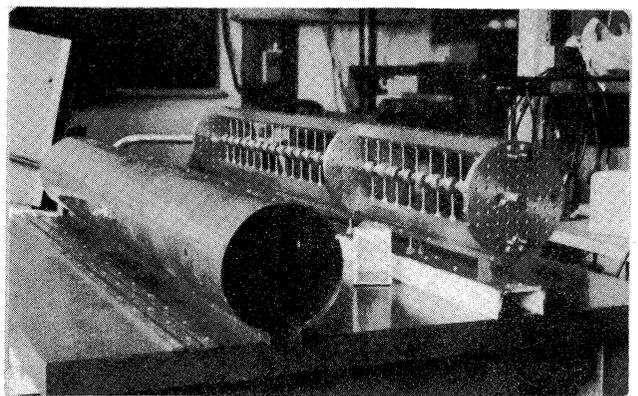


Fig.1. $1/8$ scale model of IH type linac.

モデルに用いられ, drift tube capacitance, stem inductance 等の知られているものを
そのまゝ用い, リッジを新たに製作した。接続部のコンタクター(銅)以外は真鍮である。

§ 3. 共振周波数の測定

ショート板を動かして,
長さ l を 1215, 450, 270,
180 mm としたときの共振
周波数, 長さ l を 1215 mm に
固定してリッジにカバーを
かけて間隔, n を変えた場
合の共振周波数を n/l に対
してプロットしたものを
Fig. 2 に示す。 n は
harmonic number である。
同一のリッジ構造に対して
は l を変えても n/l が同じ
であれば同じ周波数を与え
ることがわかる。

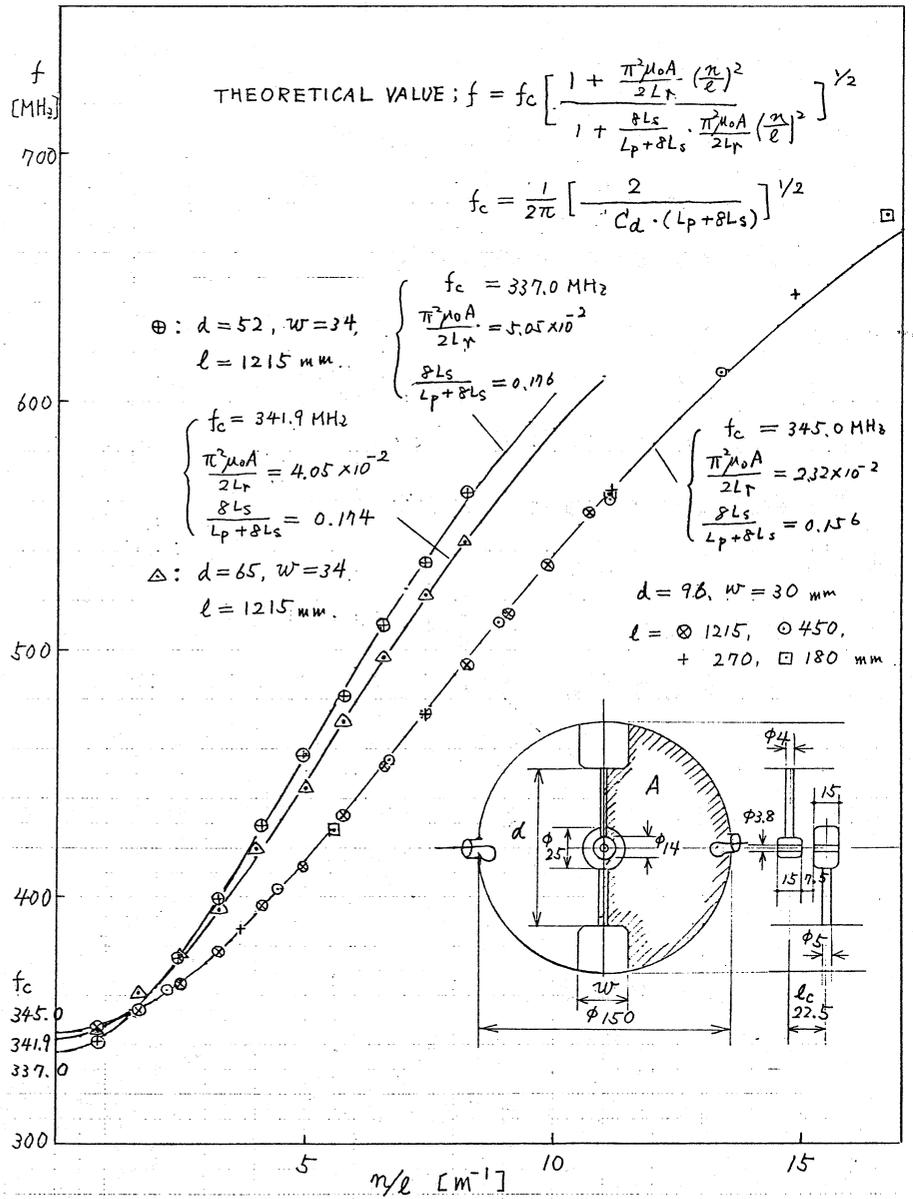


Fig. 2. Resonance frequencies for various tank lengths and ridge dimensions.

§ 4. 等価回路解析

drift tube capacitance を C_d , stem inductance を L_s とすれば, 単位セルの等価回路は Fig. 3a のようにおくことができる。また, 電流, 磁束は Fig. 3b のように流れると L , capacitance, inductance を一様に分布させると IH 構造は Fig. 3c の伝送線型

等価回路でおきかえることができる。この伝送線の両端をショートしたときの共振周波数は次のように与えられる。Aはタンクの半断面積である。

$$f = f_c \left[\frac{1 + \frac{\pi^2 \mu_0 A}{2L_r} \left(\frac{n}{\ell}\right)^2}{1 + \frac{8L_s}{L_p + 8L_s} \cdot \frac{\pi^2 \mu_0 A}{2L_r} \left(\frac{n}{\ell}\right)^2} \right]^{1/2} \quad (1)$$

$$f_c = \frac{1}{2\pi} \left[\frac{2}{C_d \cdot (L_p + 8L_s)} \right]^{1/2} \quad (2)$$

Fig. 4の等価回路を考慮して $L_p + 8L_s = \mu_0 A / \ell_c$ とおき、(1)式の $(\frac{n}{\ell})^2$ の項を無視すれば $f = (1/2\pi) \cdot \sqrt{2 / (C_d \cdot \mu_0 A / \ell_c)}$ となり E. Nolte et al⁴⁾の結果と一致する。

fが実測値にfitするようになり f_c , $\pi^2 \mu_0 A / 2L_r$, $8L_s / (L_p + 8L_s)$ を与えた曲線を Fig. 2に示す。 $\ell = 1215 \text{ mm}$ の場合、harmonic number $n = 10$ まで理論値は実測値とよく一致する。タンク長さを短かくして $n/\ell = 13$ 前後から実測値が理論値より左にずれてくる。これは end effectが電気長を大きくしていることを意味する。

Aをリッジを除いた部分の面積として(2)式から C_d を求めたものを Fig. 5に示す。実験式 $C_d = 0.8 + 1.2 \ell_c \cdot \epsilon_0 \frac{w}{d/2}$ (pF/cell) と、one cell modelのcapacitanceを静電的に測定して 0.8 ± 0.1 (pF/cell) が得られていることから、次のように考えてよい。

$$C_d = C_{\text{gap}} + C_{\text{drift tube - stem}} + C_{\text{drift tube - ridge}}$$

また、Wideröe型モデルでは $C_d = 0.987$ (pF/cell) と測定されており、今回の測定とよく一致する。

Fig. 6に L_r , L_s を示す。図中に $\mu_0 \frac{d}{w}$ とあるのは ridge間で磁束がridge面に平行であるとした場合の L_r の計算値、 $\frac{\mu_0}{\pi} \sqrt{\frac{d}{d+2w}} \ln \frac{d+w+\sqrt{d(d+2w)}}{w}$ とあるのは、直径 w , 面間距離 d の平行2円筒の場合のものである。 L_s が stemの長さによらず 8.9 nH/stem で Wideröeのときの 24 nH/stem と異なることは一見奇妙に思われるが stem inductance が 磁場分布によることを考えれば納得できることである。

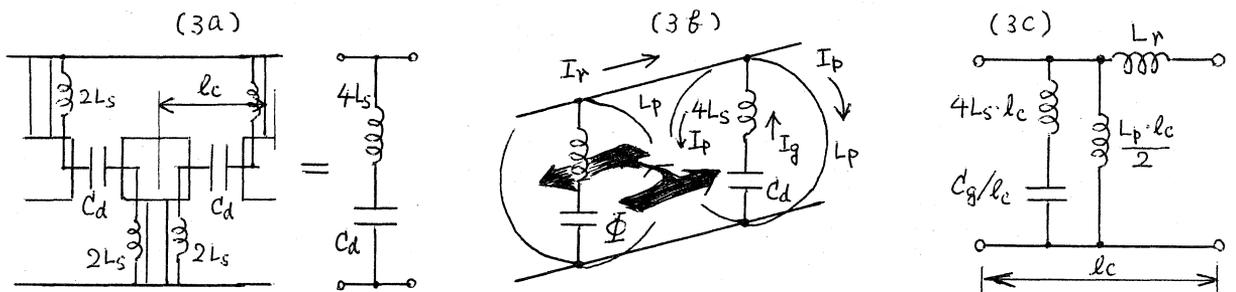


Fig. 3. Equivalent circuit for IH structure.

§ 5. 電場測定

小さな誘導体を電場中におくと共振周波数は $\Delta f = \text{const.} \cdot \Delta \epsilon / E^2 \cdot f$ 下がる。これを
 利用して相対的電場分布を知る事ができる。タンク断面上の19の点で、全長にわ
 たって 2mm O.D., 1mm I.D. のテフロン・チューブを張ったときの周波数変化を Fig. 7に
 示した。図は 1st harmonic $f_1 = 346.6 \text{ MHz}$ の場合であるが、2nd, 3rd harmonic
 の場合も全く同様な分布が得られた。電場が Drift tube 周辺に集中していることがわ
 かる。また、22mm x 3mm dia. のアクリル・ロッドを各ギャップにおき周波数変化を測
 定した。5th harmonic で測定して、nth harmonic で共振しているとき、k番目の
 ギャップでは $|\Delta f_n / f_n| = \text{const.} \cdot \sin^2 [\pi \cdot n \cdot (k - 1/2) l_c / l]$ であることを確かめた。

§ 6. 結論

以上、見てきたように、伝送線型の等価回路が IH 構造の特性をよく表わすことがわか
 った。今後の課題は、種々の β 領域についてモデルを製作し、drift tube, stem, ridge
 の dimension と C_d との関係を定量的に把握し、適当な電場分布を得るための構造、
 シェント・インピーダンスを知ることである。

References

- 1) H. Morinaga, Japan. Phys. Soc. Meeting, Osaka (1949)
- 2) M. Bres et al, Particle Accelerators, 1971. Vol 2. pp 17-29.
- 3) J. Pottier, Revue de Physique Appliquée, Tome 12, Oct. 1977. p1601.
- 4) E. Nolte et al, Nucl. Instr. & Meth. 158 (1979) 311-324.
- 5) T. Fukushima et al, Proc. of the 1978 Linear Accelerator Meeting in Japan
 Aug. (1978).
- 6) S. Yamada et al, INS-NUMA-11. Inst. for Nuclear Study, Univ. of Tokyo

Fig. 4. Equivalent circuit for cross sectional inductance of the tank.

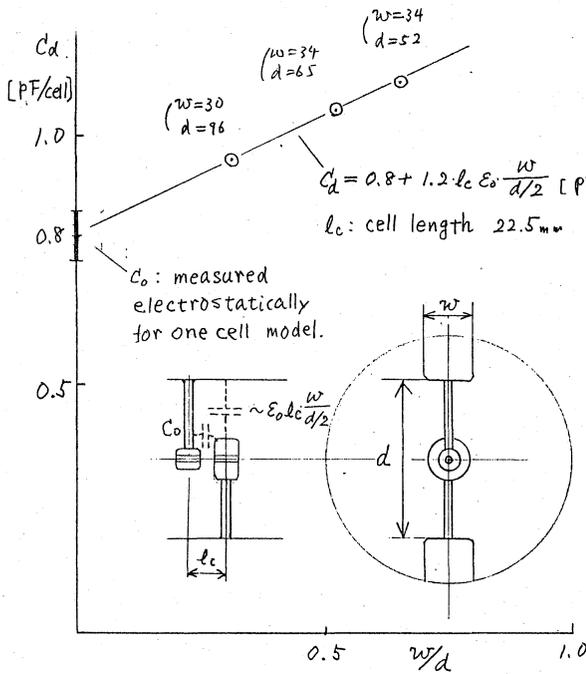
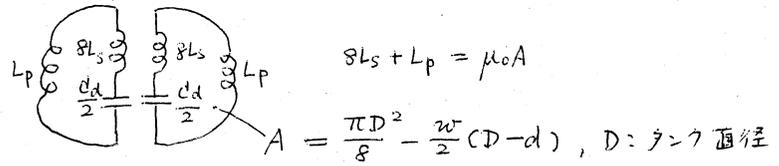


Fig. 5. Drift tube capacitances for various ridge dimensions.

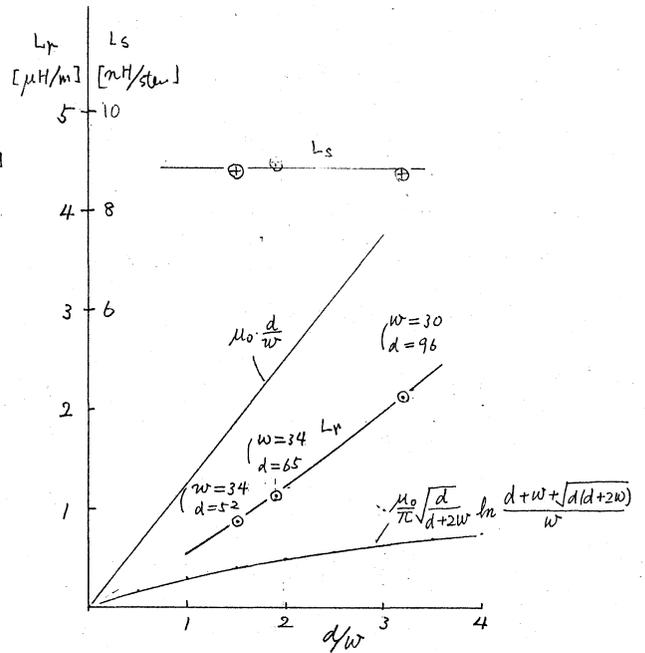


Fig. 6. Ridge inductances and stem inductances for various ridge dimensions.

Fig. 7. Electric field distribution in the plane perpendicular to the tank axis.

