

電総研リニアック用加速管

—連続定勾配ディスク径形 3M管の量産—

電総研
三菱電機

冒増 多喜夫

家喜 洋司, 大垣 和美, 小野寺 俊男

1. まえがき

電総研筑波リニアック用として、2m管 4本・3m管 16本の加速管を製作し、据付を完了した。これらの加速管の特長としては、1) 国産初の3m加速管 2) 3種類の連続定勾配ディスク径形加速管の採用 3) カップラ部冷却を含む高冷却効果 4) スクイズ調整法による加速管の量産 等があげられる。これらの加速管の設計及び量産化に当たっての問題点等について報告する。

2. 設計仕様

低コストで有効なBBU対策を行なうため、ディスク径が加速管の入口から出口まで直線的に減少している連続定勾配ディスク径形加速管を3種類用意し、本リニアックを構成することにした。これらの設計仕様を表1に示す。ディスク径は入口側で26φ(C2, C3)と25φ(D3)とし、すべて0.04mm/1空胴の差で構成されている。位相精度は±3°以内を目標値とし、3m管は±5°以内を規格とした。スクイズ調整法による3m管としてはきびしい目標である。加速管の冷却は、C・C・G管に有効なマルチターン方式を採用し、かつ両カップラとも冷却することにより、full dutyで目標の40±0.5°Cが充分達成できるようにした。又温度センサーを入口から2/3付近の位置に取り付ける事により、加速管の温度コントロールをより有効になるようにした。

加速管種類		C2形 (MAS-3205A)	C3形 (MAS-3206A)	D3形 (MAS-3207A)
項目				
形式		2π/3モード, 連続定勾配ディスク径形		
中心周波数		2856 ± 0.2 MHz at 40°C Vac (同一)		
空胴数(含カップラ)		63	81	81
位相精度		±3°以内	±5°以内(±3°)	±5°以内(±3°)
入力V.S.W.R		1.1以下(±0.2MHz)	1.1以下(±0.2MHz)	1.1以下(±0.2MHz)
Q値		13,000以上	13,000以上	13,000以上
ディスク内径	入口側	26.0φ	26.0φ	25.0φ
	出口側	23.56φ	22.84φ	21.84φ
全長(有効長)	(mm)	2300(2198)	2930(2828)	2930(2828)
入力マイクロ波電力	(MW)	11.5	11.5	5.75
減衰定数	(Naper)	0.303	0.413	0.481
平均ショットインテグリス	(Mα/m)	54.1	54.5	55.6
無負荷エネルギー	(MeV)	24.9	31.6	23.6
エネルギー負荷特性	(MeV/A)	16.2	27.5	31.8
本数	(本)	4	10	6
使用エネルギーセクション		低エネルギー (4)	中エネルギー (4)	高エネルギー (12)

表1 電総研加速管 設計仕様

加速管の外側が、冷却ジャケットとしてSUSパイプで構成されているので、機械的にみて、固定方法は中間支持なしの両端支持のみで充分である。

これらの加速管系列で得られる各セクションの計画ビームエネルギー - 電流特性を図1に示す。各クライストロン出力23 MWで、無負荷エネルギー500 MeVが達成できる見込みである。

3. 量産化

3.1 製作及び調整

組立方法は、従来からのディスク・スペーサの組合せによるロー付方式を、3m管にも適用した。

又、3m管の量産を容易にするため、組立用リングバーナ炉や、移動式倒立台車などを新設し、各種治具を整備した。

調整上の最も大きな問題点は、多数の加速管を同一周波数に合わせ、その位相の測定精度を充分な値に保つことである。その主な要素としては、1) 測定周波数の安定度 2) 加速管温度(冷却水温) 3) 周囲気温 4) 周囲湿度等があげられる。これらの内、測定周波数はシンクロナイザの使用により、目標値 ± 0.2 kHzにおさえた。加速管水温は、恒温水循環装置を新設し、 ± 0.02 °C(短時間)にコントロールされた水を、比較的大流量流すことにより、長時間安定度を含めても、周波数換算で ± 2 kHz (± 0.04 °C)以内におさめることが出来た。測定値のバラツキに最も悪影響を及ぼす周囲気温と湿度については、加速管内を真空にして調整・測定を行うことで解決した。移動プランジャ部は2段のO-リングでシールして、逆拡散の少ない油回転ポンプ(アルカテル)を用いて、0.05 Torr以下にした。この時の、位相に及ぼす影響度は、周波数換算で ± 0.1 kHz以下である。これら一連の改善により、3m管で、最終累積位相 ± 0.5 °以内の実用上充分な再現性が得られた。

3.2 加速管性能

中心周波数としては製作一本目の加速管を基準とし、40°C換算で、2856.087 MHzが得られた。これと同一条件で測定した全加速管の位相精度は、表2に示すように20本中15本が ± 3 °以内に

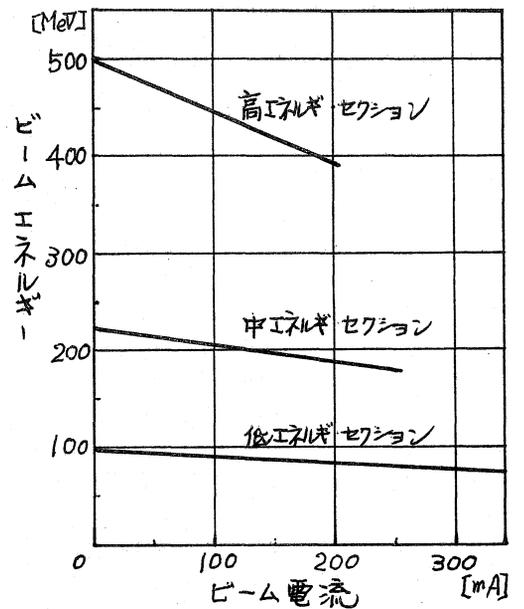


図1 ビームエネルギー - 電流特性

種類	位相精度	
	± 3 ° 以内	± 4 ° 以内
C 2形	4 本	—
C 3形	6 本	4 本
D 3形	5 本	1 本

表2 位相精度による分類

入り、残り5本も±4°以内となり、調整上の改善が大きく役立った。図2にC3形加速管の代表的な位相特性を示す。

入力V.S.W.Rは $f_0 \pm 1.0$ MHzの範囲内で、全加速管ともほぼ1.10以内に入っており、ステップ式加速管で経験した入力

V.S.W.Rの特異点のような問題点は出なかった。図3に代表的な入力V.S.W.R特性を示す。(同上加速管) Q値としては、13,100以上、平均で13,300とほぼ満足すべき値が得られた。

4. あとがき

以上、電総研リニアック用加速管について述べた。同スペックの加速管を量産することにより、スクイズに要する時間は、当初計画よりかなり減少できた。これらの加速管は、現地搬入後、入力V.S.W.R、Q値を4エックル異常のない事を確認した後、据付された。写真1に据付された加速管を示す。管内真空度は、70℃で出ガスした後、イオレポンプを引いて、 1×10^{-8} Torr程度まで良くなっている。

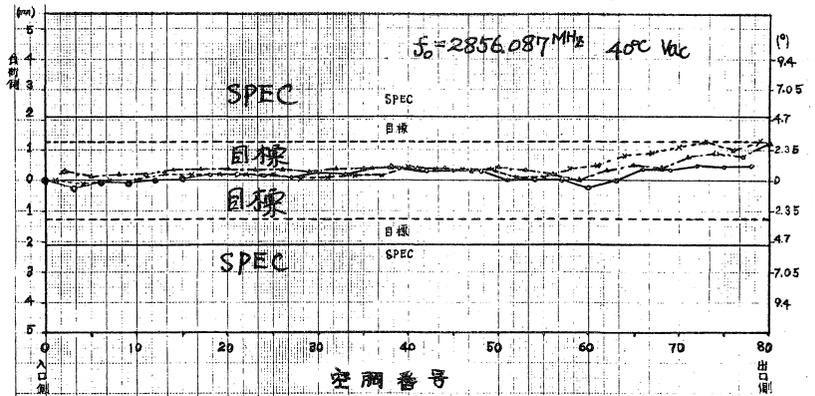


図2 位相特性 (C3形 No. 7914)

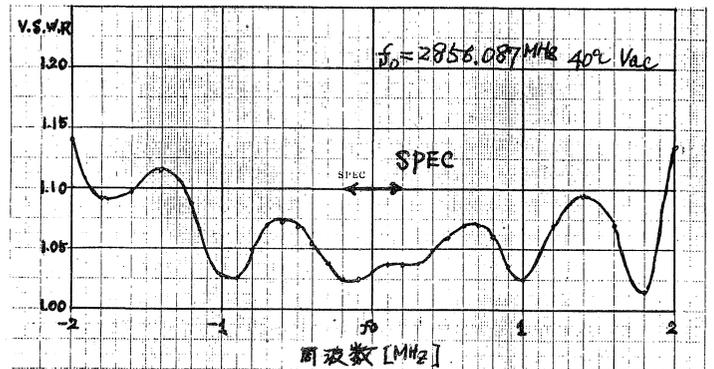


図3 入力V.S.W.R特性 (C3形 No. 7914)

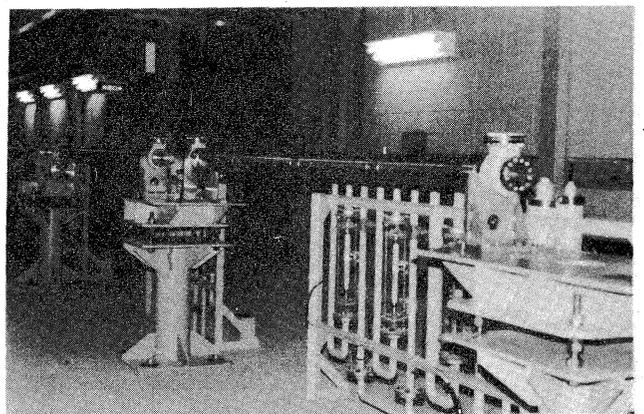


写真1 据付完了した加速管 (C3形)