

DEVELOPMENT OF THE ON-AXIS COUPLED STRUCTURE II

K.Hayakawa, T.Tanaka, K.Sato and Y.Torizuka
Atomic Energy Research Institute, Nihon University
Narasino dai 7-24-1 Funabashi 274

ABSTRACT

Development of the on-axis coupled structure for a low β accelerating tube is continued. Test accelerating tube consist of eight accelerating cavities of $\beta=0.55$ to 0.7 were produced. Measured $\pi/2$ accelerating mode frequency is 2445.8MHz and the coupling $\pi/2$ mode frequency is 2448.9MHz estimated from the dispersion curve. Then, about 3MHz of stop band is appeared. Coupling coefficient of the nearest neighbor cavities of 0.065 was obtained from the analysis of the equivalent circuit.

ON-AXIS COUPLED STRUCTURE の開発 II

1. はじめに

日大DSマイクロトロン改良のために、前年より on-axis coupled structure (OCS) の加速管の開発を進めている。前回は $\beta=0.6$ のテスト空洞を製作し、その特性について報告した。今回は、 $\beta=0.55, 0.6, 0.65, 0.7$ の4種類の β の異なる空洞を各2空洞ずつ合わせて8空洞製作し、これらを組み合わせた時の特性を測定した。加速空洞、結合空洞ともに共鳴周波数が2450MHzとなるように設計したが、実際には加速空洞が2445~2447MHz、結合空洞が2449MHzとなった。このため全空洞を組み合わせたものでは、およそ3MHzのストップバンドが生じている。

2. 空洞形状

空洞形状は、 $\beta=0.6$ のテスト空洞を製作した経験に基づき以下すなわち、前回製作した空洞では、加速空洞は、カップリングスロットの影響により共鳴周波数がおよそ44MHz下がった。これを計算にとり入れるために、図1に示すように、前回製作した空洞形状のカップリングスロットに相当する位置に円環上にくぼみを付け、測定された共鳴周波数になるようなくぼみの深さを、SUPERFISHの計算により求める。末端空洞を除いて、計算はすべてこのくぼみつきで行うことにした。シリンダー径は、 $\beta=0.6$ の空洞で実効シャントインピーダンスについて最適化し、他の β の空洞は、すべてこれと同一径にする。次に、ノーズの寸法を共鳴周波数が2450MHzになるように求める。加速空洞間に

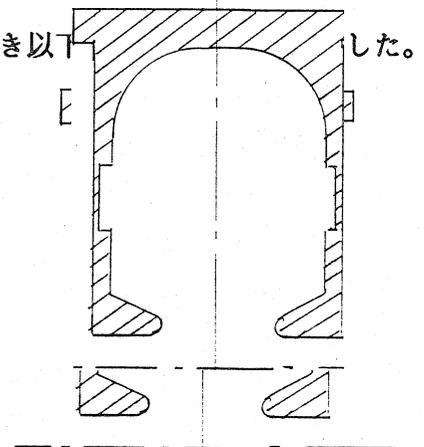


図1 加速空洞のカップリングスロットの影響を取り入れるためのくぼみ。

結合空洞を介さない直接のマイクロ波的結合（結合係数 k_a ）が存在するとその影響で、 $\pi/2$ モードの共鳴周波数が変化するが、今回はその値が未知であったためとりあえず 2450MHz とした。

このようにして計算した各空洞の実効シャントインピーダンスと Q 値を表1に示す。OCSの場合、 Z_{eff}/Q の値がSUPERFISHの計算とよく一致することから、到達できる Q の値を考慮して、この表の80~90%の Z_{eff} の値が期待できる。

カップリング空洞については、カップリングスロットの影響によりおよそ 320MHz 共鳴周波数が下がることが前回の実験からわかっていたので、SUPERFISHの計算により、 2450MHz より 320MHz 共鳴周波数が高くなるような結合空洞の径を求め、この値で製作した。

表1 SUPERFISHにより計算した空洞の実効シャントインピーダンスと Q 値

β	Z_{eff}	Q
0.55 (end cavity)	49.7	11870
0.55	50.7	11575
0.6	56.6	12447
0.65	61.6	13218
0.7	65.8	13903
0.7 (end cavity)	66.2	14373

3. 測定

各空洞の共鳴周波数の測定は、結合空洞の $\pi/2$ モードの共鳴周波数が結合空洞の共鳴周波数にほとんど依存せず、各々の加速空洞の共鳴周波数の平均値にほぼ等しくなることを利用して行った。まず、 $\beta=0.55$ と 0.7 の終端空洞と結合空洞を組み合わせてその $\pi/2$ モードの共鳴周波数を測定する。次にこの終端空洞の間に各空洞を挿入してその $\pi/2$ モードの周波数を

表2 各空洞の共鳴周波数

β	f (MHz)
0.55	2446.922
0.6	2445.076
0.6	2445.458
0.65	2445.813
0.65	2445.985
0.7	2445.931

測定し、上述の原理によりその空洞の共鳴周波数を計算する。なおこの方法で求められる周波数は前記の k_a の効果を含んだものとなる。結果を表2に示す。終端空洞は、分離しては測定できないが、組み合わせた状態で、 2445.945MHz となった。 $\beta=0.55$ および 0.6 の一方の空洞を除いて、ほぼ 2456MHz 付近に分布している。 $\beta=0.6$ の2個の空洞で、周波数が異なるのは、製作誤差によるものと考えられる。これは、ノーズの長さにして、およそ $1/100\text{mm}$ に相当する。全部の空洞の共鳴周波数の平均値は、 2445.763MHz となり、これは全空洞を組み合わせたときの $\pi/2$ モードの共鳴周波数 2445.778MHz と一致する。このように、すべての空洞で、共鳴周波

数が4 MHz程度低くなっている、この程度であれば次に製作する時に正しく2540 MHzにすることは容易である。すべての空洞を結合した時の分散を図2に示す。結合空洞に2種類の寸法の異なるものを用意して測定した。図2(a)は周波数の低い、(b)は周波数の高い結合空洞を組みこんで測定したものである。(a)では結合空洞のモードが周波数の低い側に、加速空洞のモードが周波数の高い側にできており、(b)ではこれが逆転している。分散から求めた結合空洞の周波数は、(a)では2434 MHzでストップバンドは12 MHz、(b)では48.89 MHz、ストップバンド3 MHzとなった。また、この分散曲線の勾配から求めた加速空洞と結合空洞の結合係数 k_0 は0.065となった。結合係数 k_a はこの分散のデータからは決めることができなかった。

図2の(b)に相当する組み合わせで、ビーズプル法によって測定した $\pi/2$ モードの電場分布を図3に示す。加速空洞と結合空洞の共鳴周波数の違いが3 MHz程度では結合空洞にはほとんど電場ができていないことがわかる。また、 β の違いにより電場のピーク値が変化して行く様子がわかる。

4. まとめ

今回の実験でOCSにおいて今回採用したカップリングスロットの影響を計算にとり入れる方法は少なくとも共鳴周波数を推定する方法としては有効であることがわかった。また、 β の異なる空洞を組み合わせた場合の電場分布が測定の結果をもとに、ビーム加速のシミュレーションをおこない最適な β の組み合わせを求めることができる。今後は、加速管と導波管の結合部について実験をおこない、実際にビーム加速を行う加速管を製作する。

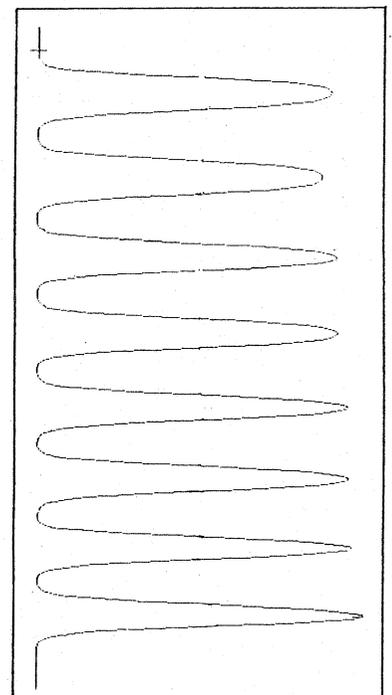
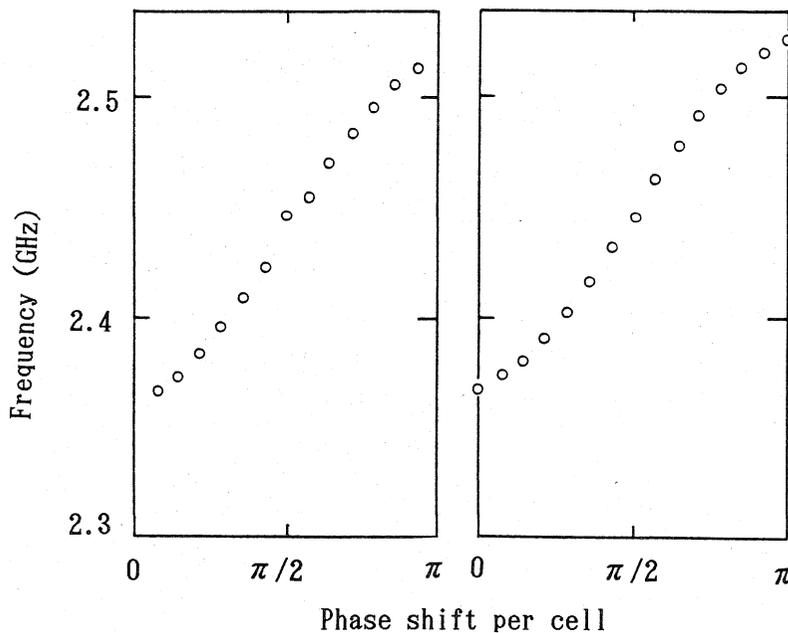


図2 二種類の結合空洞による分散、(a) 結合空洞周波数 2434 MHz、(b) 2448.9 MHz。

図3 ビーズプル法によって測定した電場分布 (E^2 の分布)