

Development of a high-power model of the Annular Coupled Structure

T. Kageyama, Y. Morozumi, Y. Yamazaki and K. Yoshino
KEK, National Laboratory for High Energy Physics
Oho 1-1, Tsukuba-shi, Ibaraki-ken 305, Japan

K. Yamasu, T. Iwata and M. Hamaoka
Mitsubishi Heavy Industries, Ltd. Mihara Works
Itozaki-cho 5007, Mihara-shi, Hiroshima-ken 729-03, Japan

ABSTRACT

A high-power model (frequency=1296MHz) of the ACS (Annular Coupled Structure) cavity has been developed as a prototype for the high- β coupled-cavity accelerating structure of the JHP 1-GeV proton linac. The model consists of two 5-cell ACS cavities and a bridge coupler. The ACS cavity has four coupling slots bored through the septum between the accelerating and annular coupling cells, so as to keep higher order modes of the annular cell away from the accelerating passband. The structure and its properties of the 5-cell ACS cavity are reported.

ACS型空洞 ハイパワー・モデルの開発

はじめに

この2年間、KEKでは、大型ハドロン計画1-GeV陽子線形加速器高 β 部の多連加速空洞 (CCL, coupled-cell linac) の一候補として、ACS型空洞 (周波数 1296MHz, セル間のカップリング 5%) の開発を進めてきた。ACS型空洞が、他のOCS (On-axis Coupled Structure) 型やSCS (Side-Coupled Structure) 型空洞と比較して、構造的に大きく異なる点は、環状の結合セルを有していることである。過去に行なわれた研究 [1],[2] によると、環状結合セルの基本モード (TM₀₁₀) のすぐ上に TM₁₁₀, TM₂₁₀ 等の高次モードがあることが ACS 型空洞の問題点である、と報告されている。我々も ACS 型空洞について、三次元電磁界解析プログラム MAFIA による計算、及びコールド・モデルの測定を行なってきた。その結果、環状結合セルの高周波特性に起因するACS型空洞の問題点は、スロットひとつあたりの大きさを小

さくし、その代わりにスロットの数を増やすことによって解決できる可能性がある、ということが示された。そして、4スロット、及び8スロットACS型空洞コールド・モデルの測定から、さらに以下のことがわかった。(詳細については前回のリニアック研究会での報告 [3]、及び文献 [4] を参照のこと。)

- 1) スロットの数は4個で充分である。
- 2) スロットの数をむやみに増やしてもACSの性能に関して得るところはなく、かえってスロットによるQ値の劣化を招く。

以上の結果に基づいて、4スロットACSハイパワー・モデル (スロット互い違い配置) を設計し、製作した。この8月の下旬から高電力試験を行う予定である。図1にハイパワー・モデルの全体構成図を示す。このモデルは、 $\beta=0.78$ のACS型CCLの原型モデルとして設計されており、一对の5セルACS型空洞と、それらを高周波的に連結し、また高周波の入力部となるブリッジ空洞 (橋絡空洞) から構成されている。以下、5セルACS型空洞の構造、及び高周波特性について述べる。

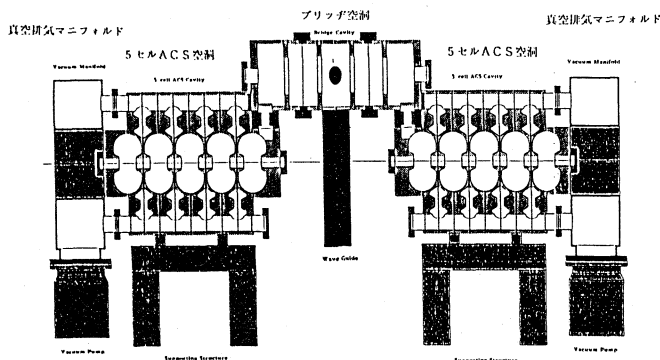


図1 ACS型空洞ハイパワー・モデル

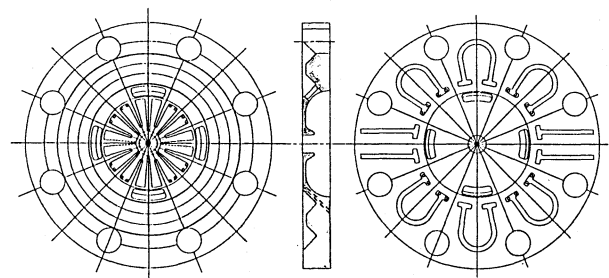


図2 ACS中間セグメント

5セル ACS 型空洞の構造と高周波特性

図1に示されているように、5セルACS空洞は5個の加速セルと4個の結合セルから成る。構成部品の8枚の中間セグメント、及び2個のエンド・セグメントは無酸素銅を切削加工して製作される。セグメントの空洞内壁面の最終切削加工は、超精密旋盤で天然ダイヤモンドバイトを使用して行なわれ、表面粗さ0.1S程度に仕上げられる。セグメントの接合は多段ろう付けによって行なわれる。

図2に、中間セグメントの構造図を示す。加速セルの形状は、セルの周期が $\beta\lambda/2$ ($\beta=0.78$ 、 λ は1296 MHzの自由空間での波長で23 cm) という条件の下でシャント・インピーダンスが最大になるように最適化されている。環状の結合セルの形状は、スロットを加工するとき切削工具が空洞内壁と干渉しないようにリッジ部の形を考へて、出来るだけ環の外径がコンパクトになるように設計した。結合セルの外周部には、45°おきに8個の真空排気用の穴が8枚のセグメントを貫くように開けられている。これら8系統の排気ポートは5セル空洞の端の真空排気マニフォールドでひとつになる。

冷却水路に関しては、加速セルひとつあたりの高周波壁面損失による平均発熱量が約1 kWに達する場合、ディスク部に冷却水路を設ける必要があることが、熱解析によって明らかになった。これは、ACS型空洞の場合、ディスク部から外周部へ向かって熱が伝わって行く途中に加速セルと結合セルの隔壁部があり、その熱伝導が良くないためである。この結果、空洞の外周部からディスク部の水路に冷却水を導入するために、水路のトンネルを隔壁部を開ける必要が生じた。従って、隔壁の肉厚は、一番薄いところでも、10 mmは残しておくことになった。カップリング・スロットについては、隔壁が厚くても最小限のスロット弧長で5%のカップリングが得られるように、スロットの弧の両縁を、結合セル側で、テーパ・エッジ形状に仕上げるようにした。

5セル空洞の加速セル、結合セルの細部寸法、及びスロット弧長の決定にあたっては、ハイパワー・モデル用セグメントの1/2スケール・モデル(スロット弧長が30°、32.5°、及び35°の三種類)を製作して、周波数測定を行った。これらのコールド・モデルの最終切削加工は、ハイパワー・モデルと同じように、超精密旋盤で天然ダイヤモンドバイトを使用して行なわれた。コールド・モデルのエンド・セグメントを二つ組み合わせたシングルセル(スロ

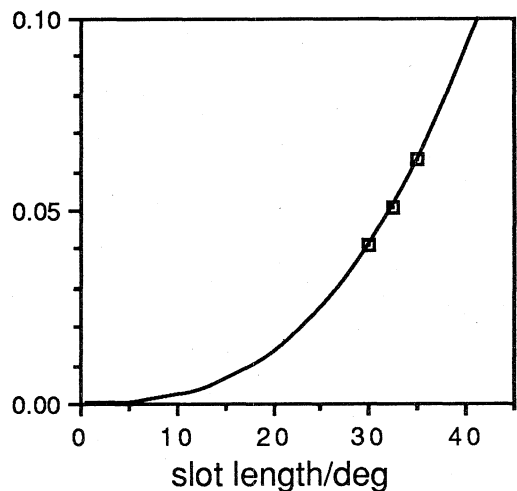


図3 スロット弧長とカップリングの関係
5セルACS空洞の1/2スケールモデル

ト無し)の加速モード(周波数2592 MHz)のQ値はSUPERFISHによる計算値の95%であった。これは、ハイパワー・モデル(周波数1296 MHz)において空洞内壁表面の仕上具合に由来する加速モードのQ値の劣化は5%以下になることを意味する。コールド・モデルについての測定から得られたスロット弧長とカップリングの関係を図3に示した。それによると、カップリング5%を得るには、スロット弧長は32.5°で充分であり、前回の報告で述べた4スロットのコールド・モデルのスロット弧長40°に比べると、20%近く小さくて済む。これは、スロットの弧の両縁をテーパ・エッジ形状にしたこと、スロットの径方向の幅を出来るだけ上げたことなど、スロット形状について工夫をした結果である。スロット弧長32.5°のモデルにおいて、スロットによる加速モードのQ値の劣化は約18%であった。これらの測定結果に基づいて、ハイパワー・モデルのスロット弧長は32.5°にした。

5セルACS空洞の周波数測定においては、個々の加速セル、結合セルの周波数を測定して、各周波数を目標値に合わせる必要がある。測定時の周波数目標値は、空洞運転時(空洞平均温度30°C)の周波数1296 MHzを、測定室の環境(標準大気圧、室温22°C、湿度50%)での周波数に換算した値1295.75 MHzである。今回のハイパワー・モデルの製作においては、セグメントをろうづけで接合する前に、各

セルの周波数をプランジャー離調法で測定し、空洞内壁面のある部分を微量切削して、周波数を目標値に対して±100 kHzの範囲内に合わせ込むことを行った。この作業を調整削りと呼ぶ。空洞内壁の調整削りの場所は、加速セルについてはセルの赤道部、結合セルについてはリッジ部である。調整削り終了後、第一段ろう付け前の時点での各セルの周波数の値を見やすいように図4に示す。また、第一段階の金ろう付け後の周波数測定によると、ろう付けによる加速セルの周波数変化は約+80kHzであった。また、ろう付けの条件だしのために行なった別の試験によると、最終段階の銀ろう付けによって、結合セルの周波数が約130kHz上昇することがわかっている。今後、完成した5セルACS空洞の各セルの周波数をプランジャー離調法によって測定し、銀ろう付けによる加速セル、結合セルの周波数変化量を求める予定である。また、ろう付け前に、すべての中間セグメントについて、カップリング k 、及びセグメント毎のカップリングのばらつきを測定した。その結果は $k=0.0551 \pm 0.0002$ であった。

図5に、二つの5セルACS空洞をブリッジ空洞で連結したときの分散曲線を示す。この分散曲線は、

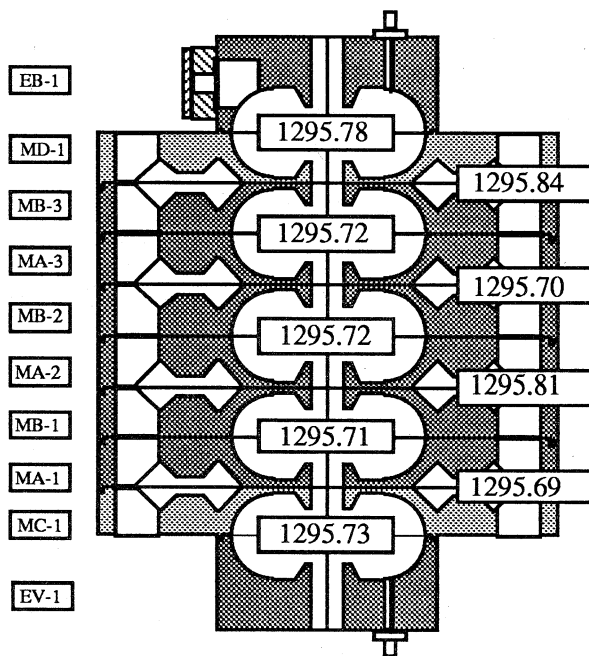
両端のACS空洞エンドセルにそれぞれアンテナ型プローブを付けて測定したものである。図5においてゼロ・モードと π モードに近いモードが見えない理由は、それらのモードの電磁場分布がブリッジ空洞中に片寄っていて、ACS空洞中に励振される電磁場が非常に小さいためである。

今後の予定

まず第一に、高電力試験を早急に行ない、高電力rf投入時のACS型空洞の特性を調べることである。また、各セグメントのスロットの相対的向きを揃えたスロット同方向型のハイパワー・モデルの製作、及び、 $\beta=0.5$ あたりのACS型CCLの開発などを進めていくつもりである。

参考文献

- [1] R.K. Cooper et al., Preprint LA-UR-83-95, (LANL)
- [2] R.A. Hoffswell and R.M. Laszewski, IEEE Trans. on Nucl. Sci. 30, 3588 (1983)
- [3] T. Kageyama et al., Proc. 14th Linear Accelerator Meeting in Japan, 82 (1989)
- [4] T. Kageyama et al., KEK Preprint 89-94



5-cell ACS tank -1

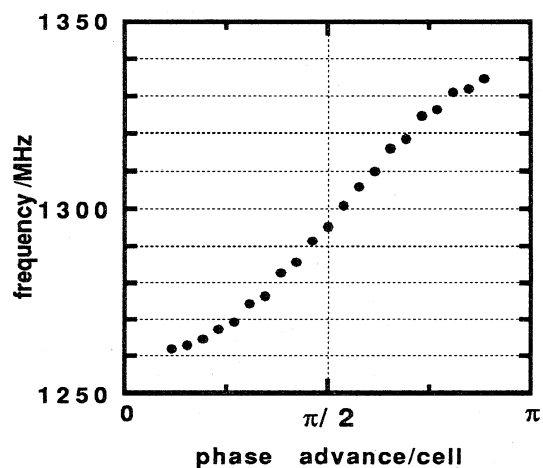


図5 ハイパワー・モデル全体（2台の5セルACS型空洞とブリッジ空洞）の分散曲線

図4 5セルACS空洞 (tank-1) 各セルの周波数調整削り後、第一段ろう付け前