

RF CHARACTERISTICS STUDY ON A MULTI-CELL CAVITY COUPLED BY PERIPHERAL SLOTS

Takahito Rizawa, Kiyokazu Satoh, Yoshio Tanabe and *Eiichi Arai

Toshiba Corporation,

*Tokyo Institute of Technology

ABSTRACT

RF characteristics of a multi-cell cavity have been investigated experimentally and analytically. Each cell is separated by disks with slots for electromagnetic coupling. An aluminum model was constructed to measure the characteristics of SCPS (Structure Coupled by Peripheral Slots). The results have been compared with the numerical calculations obtained by the 3D-code MAFIA, and a good agreement was observed.

スロット結合多連空洞の高周波特性試験

1. 序

加速器の大型化に伴い、加速効率の良い多連空洞への関心が高まっている。多連空洞は、複数個の空洞を連結させ、各空洞間を何らかの方法で電磁氣的に結合させ、1つのアンテナから高周波電力を供給し、すべての空洞にビームを加速するモードを立たせるものであり、電磁氣的な結合方法により、APS (Alternating Periodic Structure)、SCPS (Structure Coupled by Peripheral Slots)、DAW (Disk And Washer)、SCS (Side Coupled Structure) 等に分類される。それぞれに一長一短があるが、例えば、APSは構造が軸対称であり、軸対称汎用コードによる解析によって形状をかなりのレベルまでしぼり込めるのに対し、SCPSは、結合を、非軸対称な要素であるスロットによって行なっているため、解析によって形状を決定することが難しい。一方、SCPSは形状を一旦決定すれば、モードの合流を用いていないので、製作面での精度や、運転面でも若干有利であると考えられる。

東工大原子炉工学研究所は、西独DESY研究所が開発した高周波空洞3次元解析コードMAFIA¹⁾を導入し、使用することが可能な状態である。これを用いてSCPSの解析を行ない、アルミモデルでの試験結果と比較対照することによって、その有用性を検証し、さらに種々の高周波特性に関してパラメータサーベイを行なったので、その結果を報告する。

2. 2セル試験 (両側半セル)

SCPSは、 π モード加速を用いている。 π モードとは、多連空洞で、隣接する空洞との位相のずれが π であるモードのことであり、ビームが π モードに同期して加速されるためには、多連空洞の1セルの長さが、加速 π モードの共振周波数の自由空間波長の $1/2$ となっていなければならない。

SCPSの最も重要なパラメータは、スロットの開き角 (及びスロットの数) である。これ

らについて検討するためには、空胴1セルの両側に、1セルの半分の長さの半セルを置き、その間にスロットのあるディスクを挟んだ2セル構造（この体系を今後はHFH体系と呼ぶ。Half-Full-Halfの略である。）を用いるとよい。この体系においては、端面は電磁界分布の対称鏡面となっているため、無限周期構造が模擬でき、スロットの開き角の影響等の基本的な特性が評価しやすいためである。HFH試験体系を図1に示す。ここでは、スロットの数としては、軸対称性を良くし、結合を大きくするために4つとした。

スロットの開き角を変化させながら、 π モード及び0モードの共振周波数（ f_{π} 、 f_0 ）、結合度（ $\kappa = 2 | f_{\pi} - f_0 | / (f_{\pi} + f_0)$ ）、シャントインピーダンス（ R_{sh} ）等の変化を求めた。結合度は多連空胴のセル間の電磁気的な結合の強さを示し、結合度が大きければ、各モードの安定性が増すので望ましい。²⁾

この形状に対して、空胴3次元解析コードMAFIAによって解析を行なった。解析に用いたメッシュ図の1例を図2に示す。対称条件を考慮して、解析は、試験体系の1/8について行なった。また、MAFIAの解析結果であるディスク面における電磁界分布の1例を図3に示す。磁界がスリットを通して隣接セルと共有されており、電磁気的な結合の様子が視覚的にも理解される。

スロット開き角に関するパラメータサーベイの結果を、図4に示す。試験結果と解析結果とは良好に一致している。スロット開き角を大きくしていくと、隣接セルとの間に共有される磁束量が増して結合度（ κ ）が大きくなるが、一方、 R_{sh}/Q_u （ Q_u ：無負荷Q値）は小さくなる。また、加速周波数（ f_{π} ）も低くなる。

基本的には、所定の加速周波数を得ることを前提に、よりを R_{sh}/Q_u を高くし、 κ をあまり小さくしないように、空胴形状（内径）及びスロット開き角を決定すればよいが、実際には、要求される f_{π} 、 R_{sh} 、 κ を同時に満たさねばならないので、状況は複雑である。

3. 多連試験（3連、5連、7連）

実際の多連空胴は、両端が半セルではなく、同一セル長のセルを複数個並べた構造であり、両端のセルは、端部にスロットがなく、それ以外のセルとは異なっている。このため軸上の電界分布は、各セルで異なってくる。加速効率を示す R_{sh} は、すべてのセルの電界分布が等しい時に最大となるため、両端のセルの内径を変化させたり、チューナを調整したりしてすべてのセルのインダクタンスを等しくし、一様な電界分布を作らなければならない。（こうして得た一様な電界分布を持ったモードを、フラット π モードと呼ぶ）

理論的には、3連でフラット π モードを得るように両端のセルの内径を大きくすれば、同様の内径を用いてそれ以上の多連空胴でもフラット π モードが得られる。従って、MAFIAを用いて3連の形状を解析し、中央セルの内径 223.6mm、両端のセルの内径 226.9mmで、1 GHz のフラット π モードが得られるという結果になった。モデル試験における最終寸法は、中央セルの内径 222.2mm、両端のセルの内径 225.8mmで1 GHz のフラット π モードとなり、解析精度はかなり高いと言える。同様の方法により5連、7連のフラット π モードが得られた。7連のフラット π モードについて、試験により得られた軸上の電界分布を図5に示す。（電界分布の測定は、パーティション法を用いた。）

4. まとめ

多連空洞の一種であるSCPSについてのR&Dを行ない、試験結果と、空洞3次元解析コードMAFIAによる解析との比較を行なった。両者の結果は良好に一致し、MAFIAが、SCPSの解析や設計計算等を行なう上で、有力であることが確認された。

SCPSの本質的な要素であるスロットの開き角についてのパラメータサーベイを行ない、RF特性と開き角との関係が明確になった。さらにMAFIAにより端部セルの内径を推定し、電磁界分布を測定しながら端部セルの内径を微調整することにより、3、5、7連についてフラットモードを達成した。これらにより、SCPSのRF特性が理解された。

<参考文献>

- 1) T.Weiland, R.Klatt (DESY) 他: "MAFIA USER GUIDE" (1987-6)
- 2) P.B.Wilson, J.E.Griffin: "HIGH ENERGY ELECTRON LINACS; APPLICATION TO STORAGE RING RF SYSTEMS AND LINEAR COLLIDERS" (1982 American Institute of Physics)

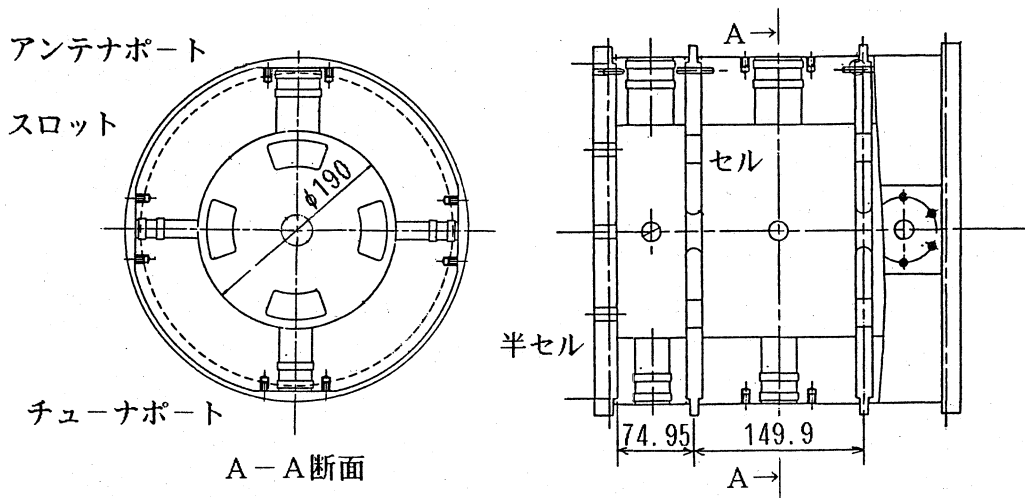


図1 モデル空洞 (HFH試験体系)

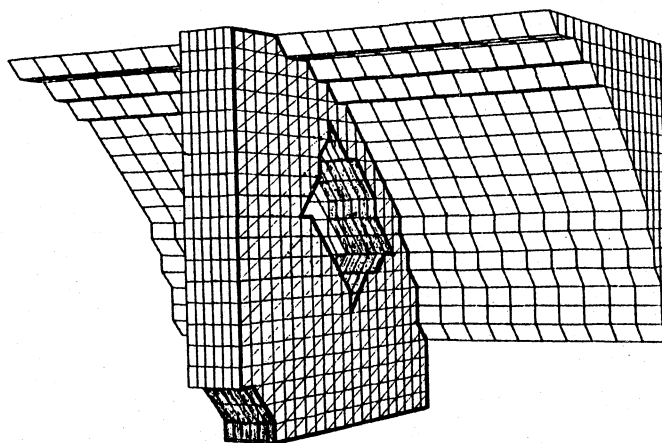


図2 MAFIAによる解析体系

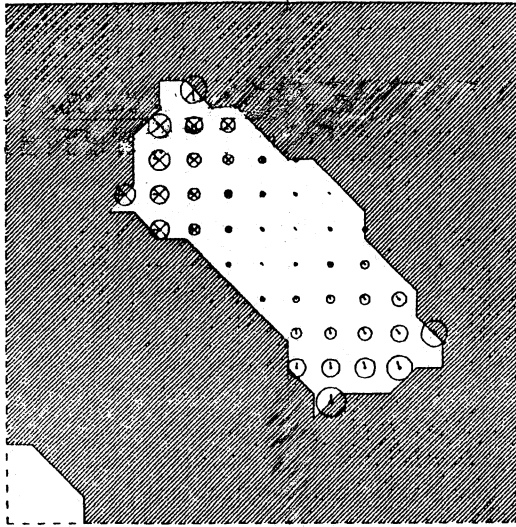


図3 MAFIAによる解析結果の一例
(TM010- π モード スロット入口の磁界分布 スロット開き角 50°)

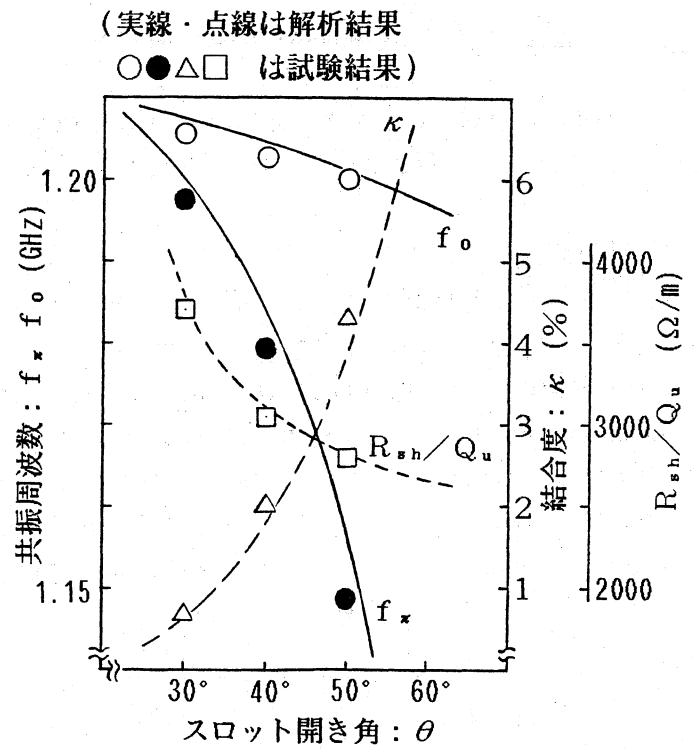


図4 SCPSのスロット開き角に関するパラメータサーベイ

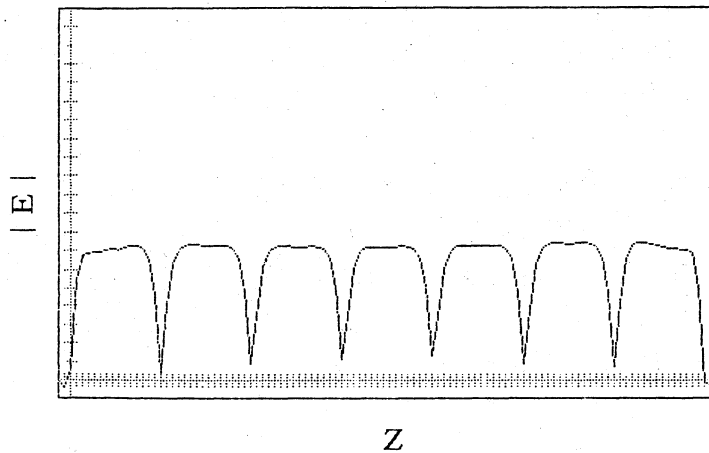


図5 7連空胴のフラット π モード
における軸上電界分布