

# HIGHER ORDER MODES IN 508MHz SLOT-COUPLED MULTI-CELL CAVITY

Takahito Rizawa, Yoshio Tanabe, Kiyokazu Satoh, Takeshi Yoshiyuki,  
Masamitsu Nakano and Yoshihisa Satoh  
Toshiba Corporation

## Abstract

An aluminum model of a Slot-Coupled Multi-Cell cavity (SCMC) has been constructed and an accelerating 'flat- $\pi$ ' mode at 508.58MHz have been obtained by optimizing its dimensions such as slot angle and inner radius. R.f. characteristics of higher order modes are investigated. Results of mode assignment and the measured coupling impedances are shown with some considerations.

## 508MHz スロット結合多連空洞の高次モード特性

### 1. はじめに

スロット結合多連空洞（以降、SCMCと略す）はセル間の隔壁であるディスクに、スロットと呼ばれる孔を開け、これを介して各セルを磁気的に結合する多連空洞であり、DESY等で実績がある。結合セルを有していないため、構造は比較的単純であるが、非軸対称なスロットによって結合が行なわれるため、3次元解析が必要となり、かつ、高次モードの挙動も複雑になる可能性がある。また、 $\pi$ モード加速を用いているため、セル数が多い場合、温度変化等によるモード不安定性も問題となり、モードの安定性を高めるためには、結合度を大きくとる必要がある。このためにはスロットを大きくすればよいが、これによりスロット周辺のロスが大きくなり、シャントインピーダンスが低下するので、スロットの大きさについては慎重に決定する必要がある。

SCMCの開発のため、アルミモデル空洞を製作し、最終的には5連で加速フラット $\pi$ モードを得るよう形状を決定した。<sup>(1)</sup> この形状において、高次モード特性試験を行なった。

### 2. モデル空洞

試験用に製作したSCMCのアルミモデルを図1に示す。目標とする加速モードの周波数は、508.58 MHzとした。これは、将来ホットモデル試験等を行なう必要が生じた際に、当社で製作しているクライストロン(E3786)を用いて、容易に電源を得られるためである。

セルには、加速効率を上げるためノーズを設けた。詳細形状は軸対称コード SUPERFISHの解析結果等をもとに決定した。ディスク上のスロットの数は、対称性を考慮し4つとした。スロットの大きさは、少ないセル数の体系でのパラメータサーベイにより決定した。各セルには、通常のチューナに加え、加工誤差補正用の固定チューナが取り付けられている。

モデル試験で得られた加速フラット $\pi$ モード(TM010- $\pi$ モード)の特性を表1に、また軸上電界分布を図2に示す。モデルがアルミであり、さらに表面状態や接触部でのロス等の影響を考慮してQ値を評価すれば、最終的には28000程度の値が得られると予想される。この時実効シャントインピーダンスは24(M $\Omega$ /m)となり、DESY等の結果と比較しても妥当である。

### 3. 高次モード特性試験

508.58 MHzで加速フラットπモードを達成した5連体系において、高次モードの特性試験を行なった。対象としたのは、TM010, 011, 110, 111 の各モードである。摂動法により軸上電磁界分布を測定し、セル間の位相差を判断して電磁界に極性を与え、これをもとに以下の式で与えられる結合インピーダンスを算出した。(2)(3)

<縦方向結合インピーダンス> (TM010, 011)

$$R_{\parallel} = \frac{2Q_u}{\omega\epsilon_0} \left| \int_{-d/2}^{d/2} s_e E_a (\cos kz + jsinkz) dz \right|^2$$

<横方向結合インピーダンス> (TM110, 111)

$$R_{\perp} = Q_{uz0} \left| \int_{-d/2}^{d/2} (s_h H_a - js_e E_a) (\cos kz + jsinkz) dz \right|^2$$

ここで、 $s_h$ 、 $s_e$  は磁界及び電界の極性であり、±1または0である。

各モードの特性を表2に示す。TM110, 111 モードの (V), (H) は、ビームへの影響が垂直方向、水平方向であることを表している。

高次モードの中には、かなり大きい結合インピーダンスを持つものもあり、必要に応じ何らかの処置が必要になることもありえる。結合インピーダンスが特に大きいTM111(H)- $\pi/5$ モードの軸上磁界分布を図3に示す。このモードは、周波数が加速モードのほぼ2倍で、波長が半分であるが、軸上の磁界は半セルごとに符号が変化するので、通過するビームを常に同一方向に蹴り続ける。

測定した4つのモードの分散曲線を図4~7に示す。TM110, 111 モードの分離は、ドライバーポイントとチューナの位置関係で生じるが、チューナがセル中央にあるため、この位置に磁界がほとんど存在しないTM111モードでは、周波数の差はほとんどない。

### 4. 結論

加速フラットπモードを達成した5連のSCMCにおいて高次モード特性を測定した。関心の持たれるTM010, 011, 110, 111 の各モードについて、すべてのモードを識別し、結合インピーダンスを測定した。今後は高次モードのチューナ特性等をさらに調査し、高次モードによるビーム不安定性の対策についても検討する予定である。

表 1 加速モードの特性 (5連)

共振周波数	: $f_{\pi}$	508.58(MHz)
無負荷Q値	: $Q_u$	13700
実効シャントインピーダンス	: $R_{sh}$	17.8(MΩ)
$R_{sh}/Q_u$		1.28(kΩ)
通過時間因子	: T	0.74
結合度	: $\kappa$	1.68(%)
有効長 (5セル)	: l	1.4737(m)

表 2 各モードの特性 (5連)

Mode	Frequency : f (MHz)	unloaded -Q : $Q_u$	Field distr.	R/Q(Ω)	
TM010 like	1π/5	516.339	15599	++++	*
	2π/5	514.204	14866	++0--	*
	3π/5	511.514	14597	+++	*
	4π/5	509.420	14129	+0+-	*
	5π/5	508.587	13728	++-+	1281
TM011 like	1π/5	718.487	10567	++++	*
	2π/5	725.460	11378	++0--	47.5
	3π/5	734.908	11183	+++	159.1
	4π/5	742.322	13382	+0+-	70.1
	5π/5	744.432	13332	++-+	17.1
(V)	1π/5	850.638	16670	++++	254.5
	2π/5	846.615	17177	++0--	674.9
	3π/5	842.239	16535	+++	390.7
	4π/5	838.668	16249	+0+-	5.7
	5π/5	837.394	15044	++-+	87.6
TM110 like (H)	1π/5	861.559	17580	++++	274.0
	2π/5	857.616	17051	++0--	669.4
	3π/5	852.471	16614	+++	407.1
	4π/5	848.872	16340	+0+-	11.1
	5π/5	847.157	12749	++-+	56.5
(V)	1π/5	998.247	12409	++++	5868
	2π/5	1005.970	13594	++0--	45.9
	3π/5	1018.432	14080	+++	769.8
	4π/5	1029.052	14823	+0+-	3.1
	5π/5	1032.859	13538	++-+	139.2
TM111 like (H)	1π/5	999.212	12545	++++	6122
	2π/5	1006.940	12554	++0--	49.9
	3π/5	1018.771	15471	+++	913.0
	4π/5	1030.565	16103	+0+-	5.8
	5π/5	1036.899	16695	++-+	172.0

\* -- negligible small

<参考文献>

- (1) T. Rizawa et al.: 'R.F. Characteristics of 508MHz Slot-Coupled Multi-Cell Cavity', 2nd European Particle Accelerator Conference (Jun. 1990)
- (2) J. Jacob: 'Measurement of the Higher Order Mode Impedances', ESRF-RF/88-02 (Jan.1988)
- (3) Y. Yamazaki et al.: 'Measurement of the Longitudinal and Transverse Coupling Impedances of the Higher-Order Modes of the Re-entrant Accelerating Cavity', KEK 80-8 (Aug. 1980)

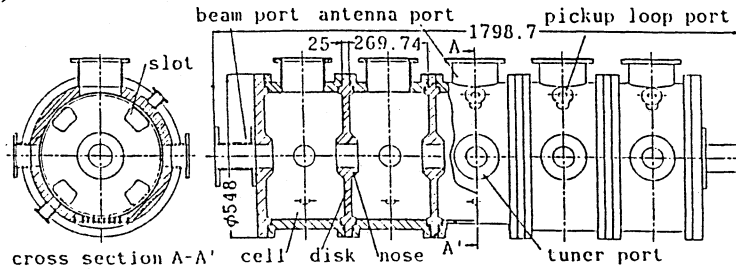


図 1 スロット結合多連空胴アルミモデル

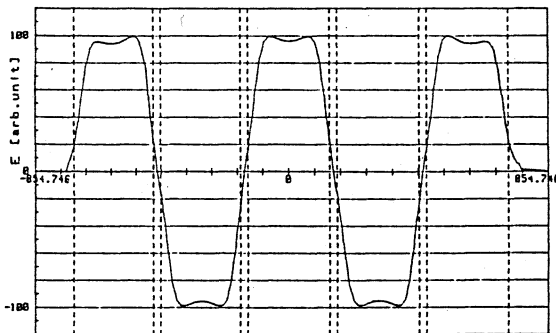


図 2 加速フラット pi モードの軸上電界分布

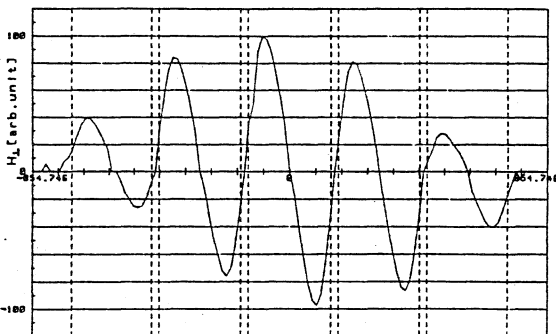


図 3 TM111(H) - pi/5モードの軸上磁界分布

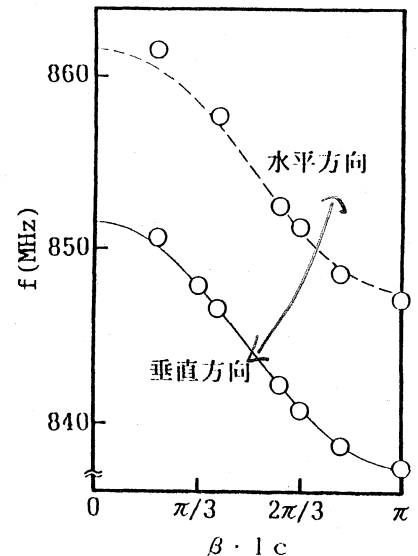


図 6 TM110 モードの分散特性

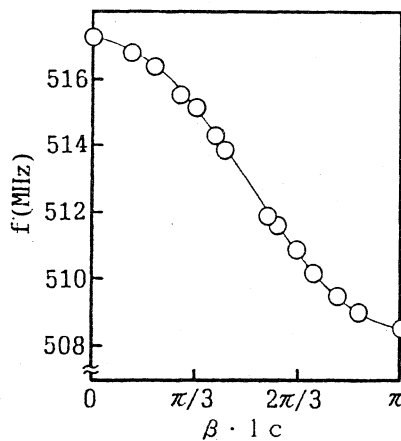


図 4 TM010 モードの分散特性

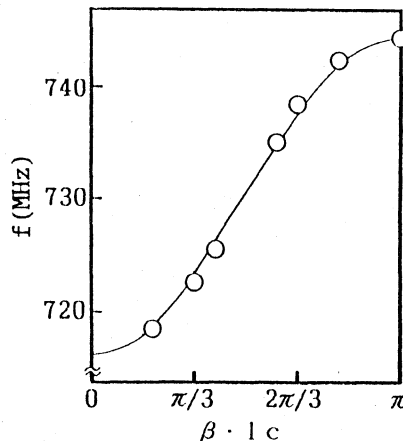


図 5 TM011 モードの分散特性

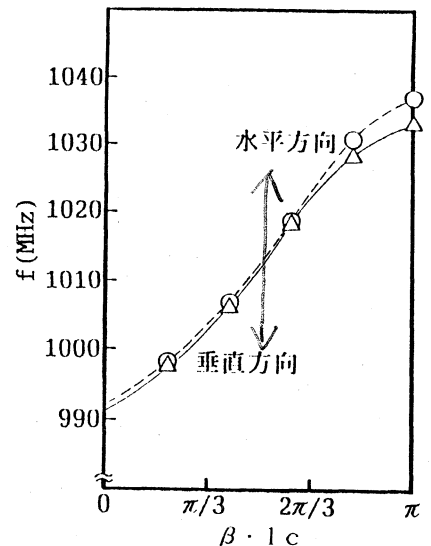


図 7 TM111 モードの分散特性