

## COUPLER DESIGN FOR THE S-BAND ACCELERATOR GUIDES

Yasuhito IGARASHI\*, Seiya YAMAGUCHI\*\*, Atsushi ENOMOTO\*\* and Isamu SATO\*\*

\* Nagoya Aerospace Systems, Mitsubishi Heavy Industries, Ltd.  
10, Oye-cho, Minato-ku, Nagoya, Aichi, 455

\*\* KEK, National Laboratory for High Energy Physics  
1-1, Oho, Tsukuba, Ibaraki, 305

### Abstract

We have designed the couplers of the S-band traveling-wave accelerator guides for the KEK PF linac upgrade. The design was achieved through computer simulation using the Kyhl method. It was found that this method was very effective for the coupler design.

### S-バンド加速管用カプラーの設計

#### 1. はじめに

KEK/PF 電子線形加速器では、Bファクトリー計画のため新しい加速管が製造される。加速管は、2856MHz, 30°Cで運転される  $2\pi/3$ モード進行波準定電界型である<sup>[1]</sup>。これまでに、陽電子生成標的後の4本分-3種類のカプラーの設計を行った。カプラーは図1の様な構造を持ち、三日月型カップは電磁場の非対称性を補正するために設ける。図で  $2a_0$ ,  $t$ ,  $2b_1$ 等は固定寸法であり(表1参照),  $2b_0$ ,  $W$ の寸法を決定するのが今回の目的である。KEK/PF 電子線形加速器の加速管は、空洞の変形によらず工作精度のみによってチューニングする。必要な寸法精度は  $2b$  で  $10\mu\text{m}$ ,  $W$  は  $100\mu\text{m}$  以下である。カプラーの設計/調整には Kyhl 法<sup>[2]</sup>を用いた。Kyhl 法は  $\pi/2$ モードの周波数が既知であることが必要であるが、Nodal Shift 法や Gallagher 法<sup>[3]</sup>などのように加速管が必要なく、カプラー空洞と隣接空洞(厳密にチューンされている必要はない)のみあればよいので調整が簡単であるという特長を持つ。

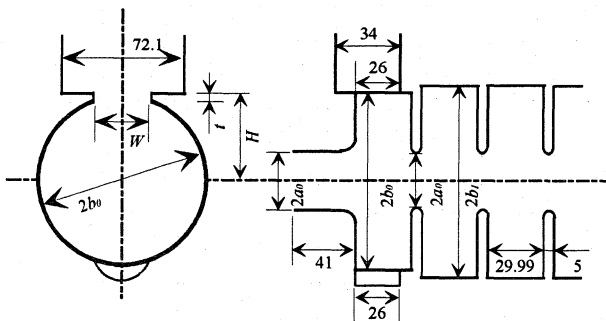


図1 カプラーの断面図.

#### 2. カプラーの設計

カプラー寸法の設計は、MAFIAを用いた Kyhl 法のシミュレーション<sup>[4]</sup>により行った:

- 1) 導波管+カプラー空洞+レギュレーターセル/2 空洞から構成される1開口空洞共振器を作る。
- 2) 導波管の長さ  $d$  を変化させ、共振周波数  $f_{\text{res}}$ 、及び  $Q_{\text{ext}}$  を Slater の同調曲線法<sup>[5]</sup>により求める。
- 3)  $2b_0$ ,  $W$  を変化させ、 $f_{\text{res}}$ ,  $Q_{\text{ext}}$  を計算する(図2)。

- 4) 図2より、 $f_{\text{res}} = f_{\text{ave}} = \frac{f_{2\pi/3} + f_{\pi/2}}{2}$  曲線と  $Q_{\text{ext}} = Q_{\text{目標}}$  曲線の交点を求める(図3)。この交点 ( $2b_0$ ,  $W$ ) が求めるカプラーの寸法である。ここで、 $f_{\pi/2}$  は6セルの基準空洞を用いて決めた。また、 $Q_{\text{目標}}$  値は以下のように求めた。

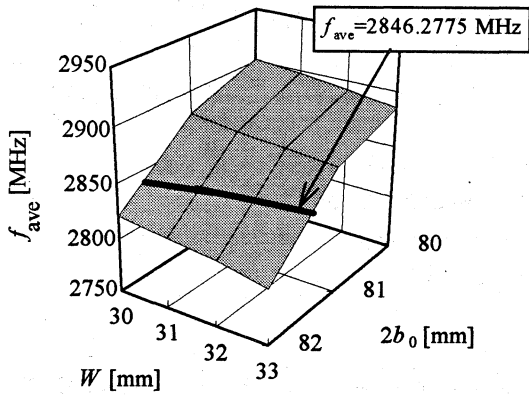
•  $Q_{\text{ext}}$  は、加速管内の高周波の群速度  $v_g$  に反比例すると仮定する。

$$Q_{\text{ext}} \propto 1/v_g \quad (1)$$

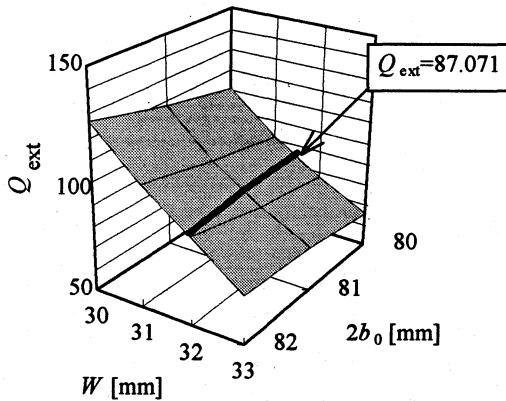
•  $2a$  と  $v_g/c$  の関係は測定により求めた次式<sup>[6]</sup>により与えられるものとする。

$$v_g/c = 0.959887 \times 10^{-5} (2a)^3 - 0.514516 \times 10^{-3} (2a)^2 + 0.0105696 (2a) - 0.0735666 \quad (2)$$

(1), (2)式に既存の反射特性の良いカプラーのデータ ( $2a = 26.3$ ,  $Q_{\text{ext}} = 96.195$ ) を代入すると、



(a)  $f_{ave}(2b_0, W)$



(b)  $Q_{ext}(2b_0, W)$

図2  $A_0-1\phi^\circ$  -トの  $f_{ave}(2b_0, W)$ ,  $Q_{ext}(2b_0, W)$  グラフ。

$$\begin{aligned} 1/Q_{ext} = & 4.31109 \times 10^{-6} (2a)^3 - 2.31082 \times 10^{-4} (2a)^2 \\ & + 4.74707 \times 10^{-3} (2a) - 0.033040 \end{aligned} \quad (3)$$

が得られる。これより各  $2a$  に対する  $Q_{ext}$  の目標値が得られる。各タイプ の  $2b_0, f_{\pi/2}, f_{ave}, Q_{ext}$  とシミュレーションで得られた  $2b_0, W$  の値を表1に示す。

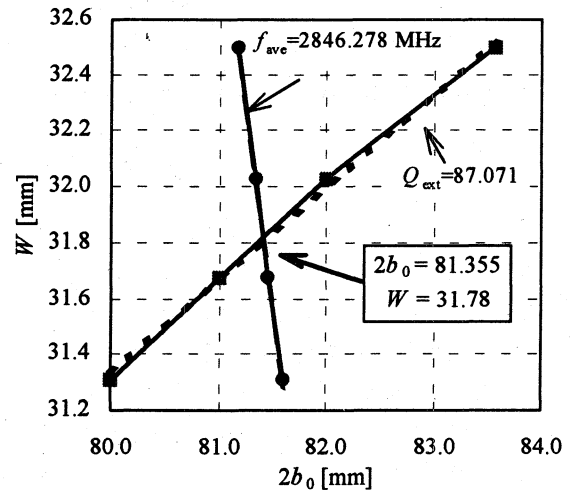


図3  $A_0-1\phi^\circ$  -トの  $f_{ave} = \text{const}$ ,  $Q_{ext} = \text{const}$  曲線。

表1 各加速管用がパラ寸法に関するパラメータ。

タイプ	$A_0$		A - Up		A - Down	
ポート数	1		1		1	
$2a_0$ [mm]	26.975		24.950		20.900	
$2b_1$ [mm]	83.571		82.988		82.018	
$f_{\pi/2}$ [MHz]	2836.555		2840.968		2847.860	
$f_{2\pi/3}$ [MHz]	2856.000		2856.000		2856.000	
$f_{ave}$ [MHz]	2846.278		2848.484		2851.930	
	計算値	測定値	計算値	測定値	計算値	測定値
$2b_0$ [mm]	81.355	81.318	81.370	81.010	80.760	80.593
$W$ [mm]	31.78	32.21	30.16	30.91	27.22	27.74
$H$ [mm]	39.446	39.360	39.787	39.51	40.017	39.850
$t$ [mm]	2.000	2.027	2.000	2.064	2.000	2.024
$Q_{ext}$	87.071	83.97	117.54	108.93	217.76	202.84
$\partial f_{ave} / \partial (2b_0)$ [MHz/mm]	-41.333	-37.325	-27.880	-34.96	-26.680	-37.280
$\partial f_{ave} / \partial W$ [MHz/mm]	-4.898	-6.177	-5.790	-4.625	-4.64	-3.808
$\partial f_{ave} / \partial t$ [MHz/mm]	+3.579	+5.570	+3.880	+3.427	-	+2.370
$\partial \theta / \partial (2b_0)$ [deg/mm]	-	+6.18	-	+3.85	-	+9.67
$\partial \theta / \partial W$ [deg/mm]	-	+6.56	-	+6.82	-	+7.65
$\partial \theta / \partial t$ [deg/mm]	-	-13.48	-	-12.67	-	-12.93

$\theta: f_{\pi/2}, (f_{2\pi/3})$  と  $f_{ave}$  の位相差

### 3. 供試体による最終寸法の決定

供試体の  $2b_0$ ,  $W$  寸法は, シミュレーション値よりそれぞれ  $0.5 \text{ mm}$  及び  $0.3 \text{ mm}$  小さい値を初回寸法とし,  $2b_0$ ,  $W$ ,  $H(t)$  を削りながら調整していった. 例として  $A_0$ - $1\pi$ -ポートタイプの場合を図4に示す. Kyhl法では, カプラー空洞から隣接空洞にテイチューン棒を引いたときの  $f_{\pi/2}$ ,  $f_{ave}$ ,  $f_{2\pi/3}$  の反射波の位相シフトが  $120^\circ$ ,  $180^\circ$ ,  $240^\circ$  となるようにカプラーを調整する. 基本的に  $f_{ave}$  は  $2b_0$  で,  $f_{\pi/2}$ ,  $f_{2\pi/3}$  は  $W$ ,  $H(t)$  で追い込んでいくが, 目標値に近づいたらまず  $W$  で  $f_{\pi/2}$ ,  $f_{2\pi/3}$  をあわせ, 最後に  $2b_0$  で  $f_{ave}$  をあわせるようにした ( $2b_0$  を変えても  $\theta$  はほとんど変化しないが,  $W$  を変えると  $\theta$  も  $f_{ave}$  も変わってしまうため). また,  $2b_0$ ,  $W$ ,  $H(t)$  を削るごとに微係数  $\partial f_{ave} / \partial(2b_0)$ ,  $\partial f_{ave} / \partial W$  等を求め, 次回の削り量を定めるのに用いた. 調整後のカプラーの各寸法を表1に, アドミッタンスチャートを図5に示す. V.S.W.R は  $1.06$  であった.

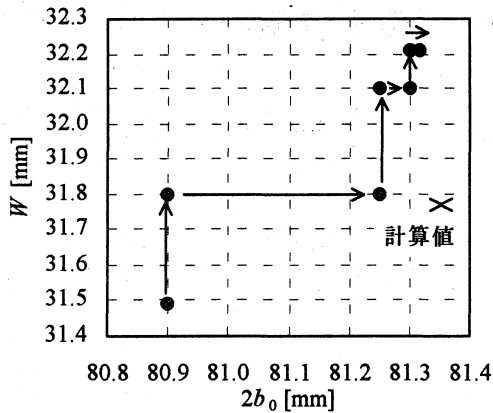


図4  $A_0$ - $1\pi$ -ポートカプラーの加工履歴.

### 4. 結論

計算値は最終加工寸法と比較してどのタイプでも  $2b_0$  は大きく,  $W$  は小さい値となった(図6). 最大差は  $2b_0$  で  $0.44\%$  ( $360 \mu\text{m}$ ),  $W$  で  $2.4\%$  ( $750 \mu\text{m}$ ) であった. その結果, これまでより修正加工回数を少なく押さえ, 能率的にカプラー最終寸法を決定することが出来, 今回の設計手法が非常に有効であることが確認できた.  $W$  の差が系統的に大きくなった原因は,  $Q_{ext}$  の目標値がずれていたためと考えられる. 今後,  $A_0$ - $2\pi$ -ポートタイプカプラー供試体の製作, 電磁場分布の非対称性の測定, 三日月の寸法決定等を行う予定である.

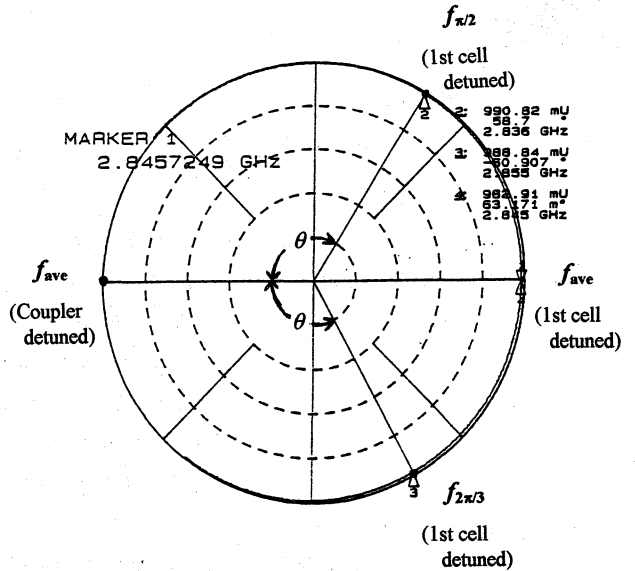


図5  $A_0$ - $1\pi$ -ポートカプラーのアドミッタンス・チャート.

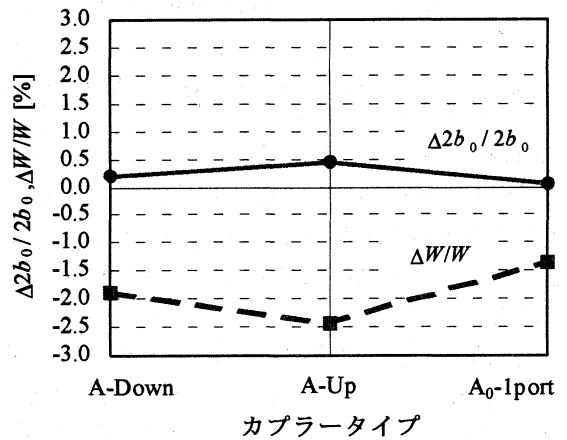


図6 最終加工寸法と計算値との差.

### 参考文献

- [1] I.Sato, Nncl.Instrum.Meth., 177,(1980), pp91-100.
- [2] E.Westbrook, "Microwave Impedance Matching of Feed Waveguides to the Disk-Loaded Accelerator Structure Operating in the  $2\pi/3$  Mode", SLAC-TN-63-103,1963.
- [3] W.J.Gallagher, "Measurement Techniques for Periodic Structures", M-205,SLAC, 1960.
- [4] S.Yamaguchi, "3-D Simulation for Linac Design", Proc.of the 3rd Workshop on Japan Linear Collider, KEK, Feb 18-20, 1992.
- [5] J.C.Slater, "Microwave Electronics", D. Van Nostrand Co. New York 1950.
- [6] 松本浩, 私信.