

# DEVELOPMENT OF THE S-BAND HIGH POWER PILLBOX TYPE RF WINDOW

A. Miura\*, H. Matumoto, S. Yamaguti and S. Takeda

KEK National Laboratories for High Energy Physics

\* The Graduate University for Advanced Studies

1-1 Oho, Tsukuba, Ibaraki 305, Japan

## ABSTRACT

An rf window is under development to handle a transmission power of up to 100 MW. Dimensions of the rf window were obtained by a calculation using a computer code MAFIA. The results of MAFIA calculation is in good agreement with low power measurements. The high power model will be tested by using a resonant ring.

## S-バンドピルボックス型大電力高周波窓の開発

### 1. はじめに

JLC (Japan Linear Collider) 計画ではS-バンド(2856MHz) 前段線形加速器において大電力高周波源(85MW、パルス幅  $4.5\mu\text{sec}$ 、繰り返し150 pps)を用いて $\sim 40\text{MV/m}$ で加速を行う予定である。現在この大電力を長時間安定に透過できる高周波窓の開発が急がれている。大電力用の高周波窓として古くからクライストロンに利用されているピルボックス型(図1)を採用し、開発を進めている。大電力透過によるピルボックス型高周波窓の放電破壊は、セラミック(アルミナ)内部の焼結材(バインダー)、不純物、空孔及びセラミック表面でのマルチパクタ等が大きく関係していることが報告されている<sup>1)~4)</sup>。今回大電力ピルボックス型高周波窓の開発にあたり以下の項目を新たに試みている。

- 1) 3次元電磁場解析コード(MAFIA)を用いたピルボックス型高周波窓の設計。これによりマルチパクタの原因となる電磁場を減少させることが可能となる。
- 2) セラミックの内部空孔を減少させるHIP(Hot Isostatic Pressur)処理を行う。

本稿ではMAFIAによる高周波窓の設計とその評価及び新型高周波窓の設計について報告する。

### 2. MAFIAによる高周波窓の設計

MAFIAはある境界条件で囲まれた有限空間に共振する固有振動解を計算するコードである。ピルボックス型高周波窓を透過する進行波は矩形導波管の両端を開放及び短絡の両境界条件で求めた定在波に、夫々時間因子を掛けあわせたベクトル和から計算できる<sup>5)</sup>。また同時に整合周波数、帯域特性及びゴーストモード周波数も計算可能である。MAFIAによる高周波窓の評価報告は1例しか無い<sup>4)</sup>。そこでMAFIA計算の精度は、低電力ピルボックス型高周波窓(内径84及び85mmアルミナ厚さ3.5mm)の試験結果と比較することで評価を行った。以下に評価した項目について述べる。

#### 2-1 整合周波数

図2にピルボックス長さによる高周波窓の整合周波数を示す。実線と点線はMAFIA計算結果、丸印は実測値である。アルミナ(HIP処理済)の誘電率を10.4とした時、夫々の内径で実測値と良く一致している。HIP処理したアルミナの誘電率は円筒空洞TM<sub>010</sub>モード(周波数2835MHz)を用いた摂動法で測定した結果、9.7(測定精度3%以内)であった。誘電率の誤差(6%)はMAFIAの計算精度によるものと考えられる。

## 2-2 ゴーストモード周波数

ゴーストモードとはセラミックが誘電体共振器のようになり、高周波エネルギーが蓄積される場合を定義している<sup>6)</sup>。ピルボックス型高周波窓の場合、セラミックが波長に比べ十分に薄いので、運転周波数の近傍には存在しない。しかし円形導波管部の製作誤差等で円筒空洞共振モードが矩形導波管の伝播モードと結合することがある。この場合もゴーストモードと考えると、運転周波数に近づくことが重要である。MAFIA 計算結果から運転周波数に近いゴーストモードは  $TE_{111}$ 、 $TM_{010}$ 、 $TE_{011}$  及び  $TE_{211}$  であることがわかった。透過波の測定でよく観測されるのは  $TE_{211}$  モードで、その他は伝播モードとの結合が弱いので観測不可能な場合が多い。表 1 に内径 84mm、長さ 24mm についてゴーストモードの MAFIA 計算値及び実測値を示す。実測値は計算値より数十 MHz 高い周波数である。この傾向はその他の円形導波管寸法についても同様であった。

		$TM_{010}$	$TE_{011}$	$TE_{211}$
実測値	(MHz)	2836	3072	3146
MAFIA 計算値	(MHz)	2825	3059	3136

表 1 ゴーストモード周波数 (MAFIA 計算結果と実測値) 円筒導波管内径 84 mm  
長さ 24 mm

## 3. ロングピルボックス型及び高次モード型高周波窓

高周波窓セラミック表面垂直電場がマルチパクタの原因になっていることは、MAFIA による円形導波管の進行波電磁場分布を解析することで明らかにされている<sup>4)</sup>。このセラミック表面に垂直な電場成分を除くことができれば、大電力による高周波窓破壊を減少させ透過電力限界を上げることが可能である。ピルボックス型でこの目的を達成するには次の方法が考えられる。

- 1) 円形導波管部を長くすることにより、矩形から円形変換部エッジの影響を減少させるロングタイプとする。
- 2) 円形導波管 高次  $TM_{11}$  モードを利用してセラミック表面に垂直な電場成分を減少させる高次モードタイプとする。

現在、上に述べた2つの高周波窓について MAFIA を用いて設計中である。円形導波管部寸法は最適化されていないが、図 3 にロングタイプの寸法及び電場分布を、図 4 にその周波数帯域特性を示す。ピルボックス内部を透過する進行波は偶モード及び奇モードが 1/4 周期毎に現れ、各モードの線形和になっていることから、セラミックに垂直な電場成分が無いことがわかる。

## 4. 結論

今までの MAFIA 計算と低電力試験の比較結果から MAFIA による高周波窓の設計が実用上十分であり、また新型の高周波窓についても威力を発揮するものと思われる。今後は HIP 処理したアルミナの評価及び MAFIA により計算されたセラミック表面の電場強度と放電破壊の関係を調べるために高周波窓の大電力試験が必要である。大電力試験用ピルボックス型高周波窓の寸法は実験的に求め、円形導波管内径 86mm、長さ 24mm、アルミナ厚さ 3.5mm (表面 TiN コーティング) とした。現在レゾナントリングを用いて大電力試験が進行中である。更にクライストロン出力 (200MW 1  $\mu$  sec) 及び SLED<sup>7)</sup> 出力を直接用いた大電力試験も予定している。これらの結果をもとにセラミック表面での電場強度と放電破壊の関係を調べ、新型の高周波窓開発に応用する予定である。高周波窓

のMAFIA 計算は長時間を要する為、今後は等価回路(各回路定数はMAFIA で計算可能)による設計<sup>8)</sup>も併用し、効率化を図る必要がある。

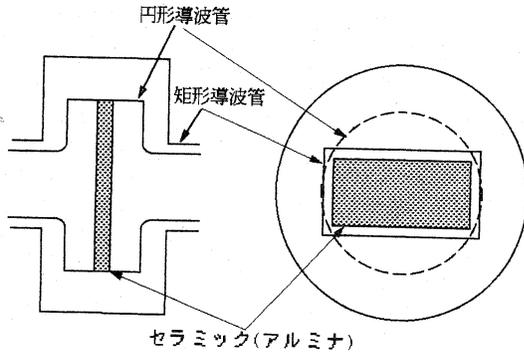


図1 ピルボックス型高周波窓

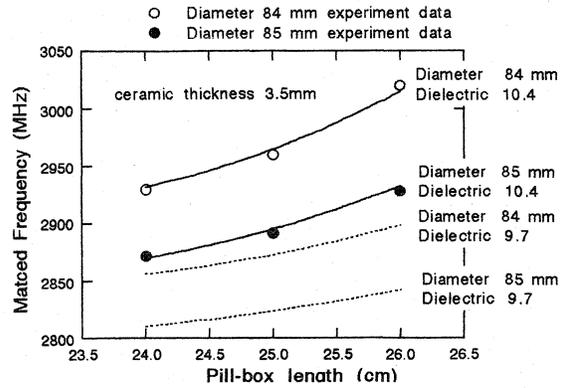
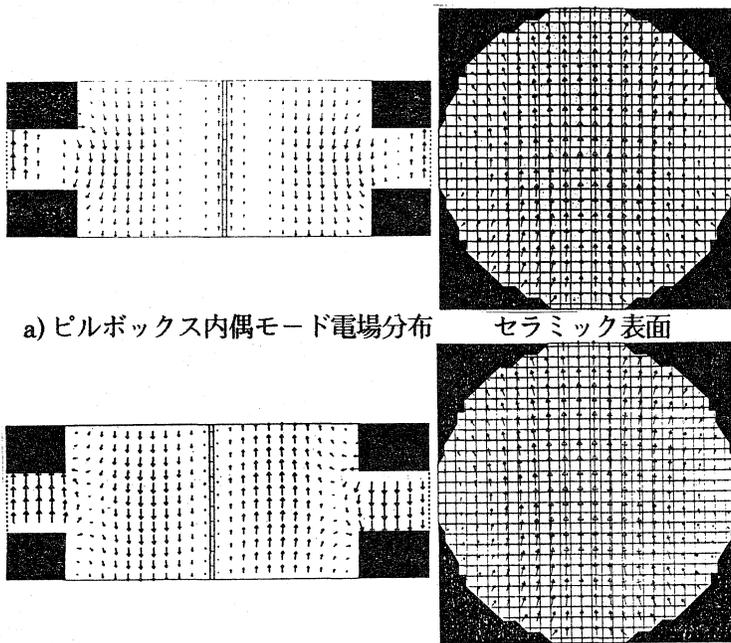


図2 円形導波管長さによる整合周波数の変化



a) ピルボックス内偶モード電場分布

セラミック表面

b) ピルボックス内奇モード電場分布

セラミック表面

図3 ロングピルボックス型高周波窓電磁場分布

円形導波管内径 88mm  
 円形導波管長さ 169mm  
 セラミック厚さ 2.5mm

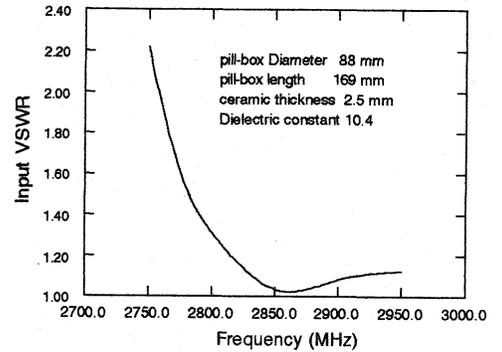


図4 ロングピルボックス型高周波窓の周波数帯域特性

参考文献

- 1) R.Hayes, "Resrech on Microwave Window Multipacter and its Inhibition, Final Report", Eitel-McCullough, Inc., (1962-1964)
- 2) 斎藤 芳男 他, "レゾナントリングによるアルミナ高周波窓の試験", 第27回真空に関する連合講演会プロシーデイングス, (1987)
- 3) 斎藤 芳男 他, "レゾナントリングによるアルミナ高周波窓の試験II", 第29回真空に関する連合講演会プロシーデイングス, (1989)
- 4) 山口誠哉 他, "Trajectory Simulation of Multipactoring Electrons in a S-band Pillbox RF Window", Proc.15th Linear Accel. meeting, p300-302 (1990)
- 5) 山崎 良成, "Method of mesuerment and calculation of travering wave", 私信 (1985)
- 6) M.P.Forrer, E.T.Jaynes, "Resonant Modes in Waveguide Windows", IRE. Trans., p147-151
- 7) 山口 誠哉 他, "SバンドSLED用空洞共振器の開発", Proc.16th Linear Accel. meeting,(1991)
- 8) 竹内 保直 他, "Lバンドピルボックス型高周波窓の開発", Proc.16th Linear Accel. meeting,(1991)