

# DEVELOPMENT OF L-BAND PILLBOX RF WINDOW

Y.Takeuchi, S.Fukuda, H.Hisamatsu, and Y.Saito  
National Laboratory for High Energy Physics  
1-1 Oho, Tsukuba-shi, Ibaraki-ken, 305 Japan

## ABSTRACT

We have designed a pillbox RF output window of the L-band pulsed klystron, which will be used for the Japan Hadron Project (JHP) 1-GeV proton linac. The RF window is designed to withstand peak RF power of 6 MW, where the pulse width is 600  $\mu$  sec and the repetition rate is 50Hz. The RF characteristics of the pillbox window were precisely studied by equivalent circuit models and measurement of cold models. This report describes the design procedure and the results of the cold test.

## LバンドPillbox型高周波窓の開発

### 1 はじめに

大型ハドロン計画の1 GeV 陽子リニアックでは、結合空洞型リニアック (CCL) において、周波数 1296MHz (Lバンド)、最大出力 6 MW、パルス幅 600msec、平均電力 180kW のパルスクライストロン 36 台が使用される。これらのクライストロンの出力窓に使用することを目的として、LバンドPillbox型高周波窓の開発を行なっている。<sup>1)</sup>

LバンドPillbox型高周波窓の開発にあたっては、現在までに、次の 1) ~ 5) の作業を行なった。

1) 設計の段階で、Pillbox型高周波窓を、等価回路にあてはめて、その性質を考察し、Pillbox型高周波窓の性質を調べた。

2) コールドテストモデルを制作し、寸法を変化させたときのインピーダンス整合の種々のデータを得た。さらに、1) で採用した等価回路モデルの各定数を測定し、インピーダンス整合の条件のシミュレーションを行なった。

3) Pillbox型高周波窓の共鳴モードをコールドテストモデルで測定し、モードの同定を、測定とMAFIAによるシミュレーションで行なった。

4) MAFIA および、HFSSの<sup>2)</sup>シミュレーションで、Pillbox型高周波窓の電磁場計算、およびインピーダンス整合の計算を行ない、設計の参考とした。

5) 高電力テストモデルを制作し、テストを開始した。

### 2 設計の方針

LバンドPillbox型高周波窓の設計にあたっては、当初、次の 1) ~ 6) の項目をポイントとした。

- 1) インピーダンスマッチングがとれていること。
- 2) 高電場に耐えうるセラミック材質を選択すること。
- 3) 高周波窓での電場がセラミックに平行で、かつ小さいこと。
- 4) マルチパクタリングを抑制するための、セラミック表面へのTiNコーティングを行なう。
- 5) Pillbox部の共鳴モード及びセラミックでのゴーストモードが、使用周波数及び2倍の高調波に近づかないように設計すること。
- 6) 構造が単純で、製作容易かつ経済的であること。

### 3 等価回路モデルによるインピーダンス整合

図1に示すようなPillbox型高周波窓を、WR650の矩形導波管と直径  $d$  の円形導波管の組み合わせによる高周波の伝送ラインと考えると、図2のような等価回路で示すことができる。このような等価回路の手法はSLACにおいてクライストロンの出力窓の設計に用いられてきた<sup>3)</sup>。ここで、

B1 WR650の矩形導波管からPillboxに移るステップで生じるサセプタンス。

Z1 WR650の矩形導波管の特性インピーダンス。

Z2 直径  $d$  の円形導波管の特性インピーダンス。

Z3 直径  $d$  の円形導波管の内部に誘電率  $\epsilon_r$  のセラミックを入れた場合の特性インピーダンス。

である。伝送モードは、矩形導波管では  $TE_{10}$  モード、円形導波管では  $TE_{11}$  モードである。

この等価回路からつぎの 1) ~ 4) のインピーダンス整合の解の性質が分かる。<sup>4)</sup>

1) インピーダンス整合は、 $l_0$ について2つの解を持つ。(但し、 $l_0 < \lambda_g/2$ )

2) インピーダンス整合の解を持つことができるセラミックの厚さ $T$ には、上限がある(但し、 $N * \lambda_g/2$  ( $N=1, 2, \dots$ )の周期性を除く。 $N=0$ のとき。) $T$ の最大値では、 $l_0$ についての2つのインピーダンス整合の解は1つになる。そして、整合の条件が $l$ の変化に対して鈍感になり、製作しやすい。

3) このようなPillbox型高周波窓の場合セラミックの両側の円筒部分の長さ $l_0$ は等しくなければならない。すなわち対称であることが必要である。(但し、 $N * \lambda_g/2$  ( $N=1, 2, \dots$ )の周期性を除く。)

4) ここで述べた $l_0$ についてのインピーダンス整合の解 $l_0$ に $N * \lambda_g/2$  ( $N=1, 2, \dots$ )を加えても整合が得られる。また、インピーダンス整合のとれた $T$ に、 $N * \lambda_g/2$  ( $N=1, 2, \dots$ )を加えても整合が得られる。 $T$ についての周期性は、Xバンドなどの高い周波数のPillbox型高周波窓のセラミックを、厚く設計できる可能性を示している。

#### 4 インピーダンス整合のためのコールドテスト

LバンドPillbox型高周波窓では、当初、 $d=190\text{mm}$ と $d=170\text{mm}$ の2種類の直径のモデルでコールドテストを行ない、 $d=190\text{mm}$ のモデルを詳しく調べた。セラミックは日本特殊陶業(株)社製のアルミナで、HA997とHA95を用い、セラミックの厚さ $T$ は、最大値(但し、 $N * \lambda_g/2$  ( $N=1, 2, \dots$ )の周期性を除く。)に近いものを選び、 $5.0\text{mm} \sim 7.4\text{mm}$ のものを詳しくテストした。図3は等価回路モデルの定数測定により、 $l$ をパラメータとしたときのVSWRの周波数特性の計算値であり、大まかな特性は、測定値と一致している。このグラフから分かるように、VSWRには、2つのディップがあり、 $l$ を大きくするにしたがって周波数の高い方のディップが低い周波数に移動し、2つのディップ間の山が下がる。周波数の低いディップを使用周波数に採用すれば、 $l$ の変化に対してインピーダンス整合の解が鈍感となり、製作が容易となる。セラミックを厚くすると、周波数の低い方のディップが高いほうに移動するため、セラミックの厚さを変化させて合わせ込むことができる。また、適当な大きさの $l$ を選べば、広帯域なインピーダンス整合を得ることもできる。

#### 5 Pillbox型高周波窓の共鳴モード

インピーダンス整合のとれたコールドモデルの共

振周波数を測定し、MAFIAでのシミュレーションを行なって、このPillbox型高周波窓の共鳴モードを調べた。基本周波数に近い共振周波数とQ値、それらに対応するMAFIAでの計算値及び円筒内での共鳴モードを表1に示す。これらの測定結果および計算によって、基本周波数付近ではセラミックのゴーストモードではなくPillboxの構造による共鳴モードが支配的であることが分かった。また、使用周波数に近い $TM_{010}$ モードを避けるために、直径を少し大きくすることを検討している。

#### 6 Pillbox型高周波窓の電磁場計算

Pillbox型高周波窓内の電磁場については、Sバンドの高周波窓で、 $TM_{11}$ モードの存在が指摘されている<sup>5)</sup>。この高周波窓でも、同じような電界分布となり、電場がセラミック表面に平行という条件を満たさない。 $TM_{11}$ モードは、円筒部では遮断周波数以下であるため、 $l$ の大きい解を採用すれば、 $TE_{11}$ モードが主となるセラミックに平行な電場を実現できるが、大きなものとなるため、採用しなかった。しかし、トリストランで使用しているUHFクライストロンの高周波窓では、セラミックに平行な電場の窓の方が、マルチパクタリングの発熱が小さいことから<sup>6)</sup>、LバンドのPillbox型高周波窓でも、セラミックに平行な電場のものの方が、より高電力に耐える可能性が予想される。

#### 7 ハイパワーテスト用モデル

$d=190\text{mm}$ 、 $T=5.8\text{mm}$ 、(セラミックHA95)  $l=42.5\text{mm}$ の寸法2つのPillbox型高周波窓に、ビューポートと真空の引き口のついたHバンド導波管を接続して、ハイパワーテスト用モデルを製作し、現在テストを進めている。(図4に、この窓と同じコールドモデルの反射特性を示す。)セラミック表面には、マルチパクタリングを抑制するため、60オングストロームのTiNコーティング<sup>7)</sup>を行なった。このテストは、セラミック窓の耐久性と共に、製作のための構造や導波管等の要素のテストという意味もある。ハイパワーテストでの最初の放電は、パルス幅 $300\mu\text{sec}$ 、繰り返し $20\text{Hz}$ 、真空度約 $10^{-9}\text{Torr}$ の条件で、 $714\text{kW}$ で起き、セラミック表面で発光が見られた。セラミック表面で放電が起き始める高周波電力は、エージングによって徐々に大きくなっている。

## 8 結論

LバンドPillbox型高周波窓についての等価回路の考察、電磁場のシミュレーション、および、コールドモデルの測定によって、高周波窓が設計された。

この過程において、他の周波数帯のPillbox型高周波窓にも応用できる、設計に役立つ多くの情報が得られた。

ハイパワーテストモデルが製作され、現在、テストが進められている。

## 9 参考文献

- 1)大型ハドロン計画推進作業部会 "大型ハドロン計画陽子リニアック ワーキンググループ報告2" JHP-14 ,KEK Internal 90-16,June,1990.
- 2)HP社カタログ "High-frequency Structure Simulator" 1990.
- 3)T.G.Lee 私信。
- 4)参考文献1),p.259,竹内保直" Lバンド出力窓"。
- 5) S.Yamaguchi et al. "Trajectory Simulation of Multipactoring Electrons in a S-band Pillbox RF Window", Proceedings of the 15th linear accelerator meeting in japan.
- 6)S.Isagawa et al. "Development of High Power CW Klystrons for TRISTAN" KEK-Preprint-87-7, Apr,1987.
- 7)参考文献6)。

共振周波数 (測定値)	Q値 (測定値)	モード (MAFIAの計算)	共振周波数 (MAFIAの計算)
860MHz	471	TE <sub>111</sub>	894MHz
1144MHz	179	TE <sub>111</sub>	1164MHz
1271MHz	417	TM <sub>010</sub>	1263MHz
1414MHz	220	TE <sub>211</sub>	1419MHz
1425MHz	199	TE <sub>211</sub>	1428MHz

表1 Pillbox型高周波窓の共鳴モード

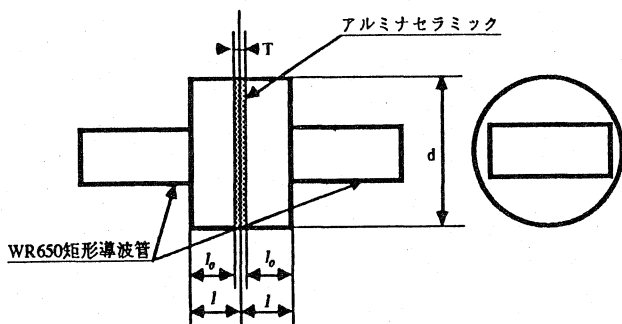


図1 LバンドPillbox型高周波窓概略図

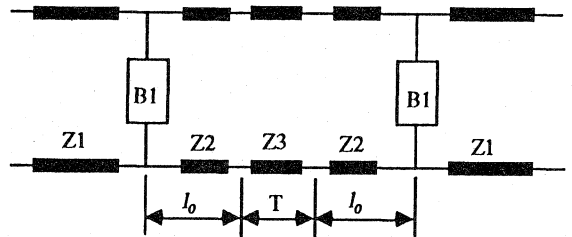


図2 Pillbox型高周波窓の等価回路

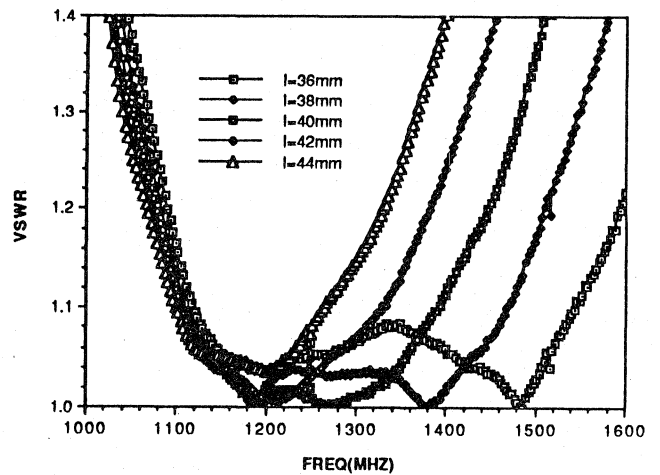


図3 VSWR計算値 (l=36~44mm,d=190mm,T=5mm,HA997)

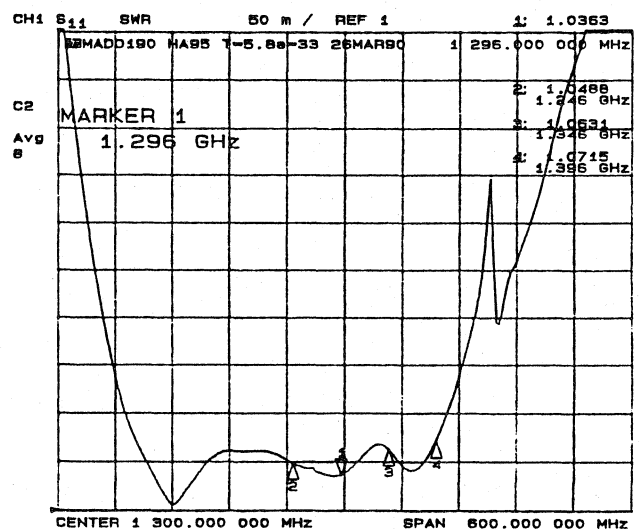


図4 VSWR測定値 (l=43mm,d=190mm,T=5.8mm,HA95)  
X座標 周波数 (1000~1600MHz)  
Y座標 VSWR (1.0~1.5)