

# 広帯域 RF 合成器の設計・製作

## DEVELOPMENT OF A WIDE-BAND RF COMBINER

金田 健一<sup>\*A)</sup>, 水島 弘二<sup>A)</sup>, 田辺 英二<sup>A)</sup>  
Kenichi Kaneta<sup>\*A)</sup>, Mizushima Hiroji<sup>A)</sup>, Eiji Tanabe<sup>A)</sup>

<sup>A)</sup>AET, Inc.

2-7-6 Kurigi Asao-ku, Kawasaki City, Kanagawa, 215-0033, Japan

### Abstract

A S-band waveguide combiner/divider was designed for high-duty RF components. H-plane type was selected to make it a high-power device. The combiner operates for 2 port klystron used by SF6 (2.5 MW of peak power per port; 30 kW of average power). In order to reduce the maximum field intensity and surface current, sticking posts were closely attached to edges of its T-junction. 3D EM simulation was performed to accelerate the design process.

## 1. はじめに

2ポート出力(ポートあたりピーク出力2.5MW; 平均出力30kW)のSバンドクライストロンのRF合成を今回開発したSF6加圧で用いる導波管WR-284のT分岐型の3ポート合成器で行った。大電力に耐える構造として知られているH-plane型を採用し、最大電界強度や表面電流密度を低く抑えるために、調整用のポストを合成部のエッジに密着させる構造とした。また、分岐点にポストを集中して配置したことにより、広帯域化を実現できた。

今回の設計において、いくつかのモデルを提案しMW STUDIO<sup>[1]</sup>を用いたシミュレーションを行った。その結果を比較検討することで、本論文の形状が非常に優れていることが分かった。

また、この形状は非常にシンプルなため、製作が大変容易であった。加速装置実装後はピーク5MW, 平均電力60kWの大電力下で稼働している。本論文では、このRF合成器の設計と製作、シミュレーション結果について報告する。

## 2. RF 合成器の設計

### 2.1 仕様

基本仕様を Table 1 に示す。

Table 1: Specifications of S-band Combiner

Frequency	2856MHz
Peak power	5MW
Waveguide	WRI-32 (WRJ-3)
Flange	CPR284

### 2.2 Vane 型合成器の設計

まず、仕切り板を用いたT分岐型の合成器を検討した。その構造を Figure 1 に示す。仕切り板だけでは電気特性(反射損失)が悪いので、今回はRF出口側の導波管

をアイリス構造にした。Figure 2 から、その仕切り板が薄いほど広帯域となる事が分かる。

一方で Table 2 から、仕切り板が薄いほど電流密度が高くなる事が分かった。一般的に電流密度が高い箇所は熱くなり放電が起きやすくなる。さらに、Figure 3 にあるように電流密度が高い箇所は仕切り板のエッジで、冷却が難しい。よって、このVane型合成器は、レーダーなどの低電力の装置には有効であるが、大電力を扱う加速器には適さないことが分かった。

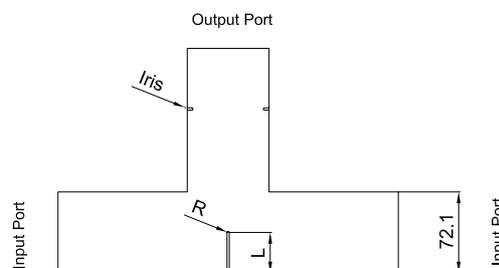


Figure 1: Outline of vane-type combiner model.

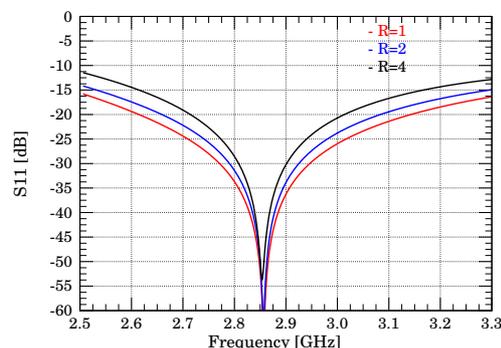


Figure 2: Return loss at output port of vane-type combiners.

\* kaneta@aetjapan.com

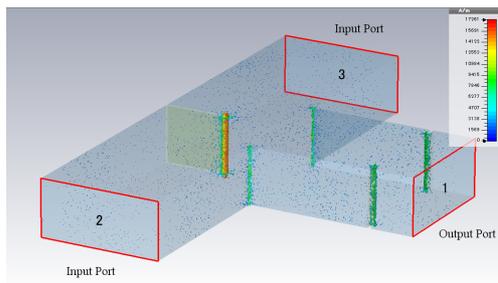


Figure 3: Surface current of vane-type combiner injected with peak power 2.5 MW at each port with same phase.

Table 2: Simulated E-field and surface current maxima for vane-type combiners injected with peak power 2.5 MW at each port with same phase.

R [mm]	L [mm]	E-field [MV/m]	Current [kA/m]
1	36.05	1.64	17.8
2	34.05	1.67	16.5
4	30.05	1.7	16.2

### 2.3 ポスト型合成器の設計

広帯域の合成器を造る上で、反射整合を取るためのポストは分岐点近くに持つことが好ましい<sup>[2]</sup>。今回は電界強度をより下げるために円柱型のポストで補正を行った (Figure 4)。

製造工程としてはまず、円柱型ポストを 3/4 に切断し扇形にする。その切断面に導波管に沿わせることで、T 分岐型導波管の製作が容易となった。

シミュレーションの結果を Figure 5 に示す。3/4 円柱ポストの径が小さくなるほど帯域が広いことが分かる。先ほどの仕切り板の場合と同じようにポスト径が小さいほど最大電流密度は高くなるが、仕切り板ほど電流密度が高くなる (Table 3)。

ポストをエッジ部に置くことの有意を示すために、Figure 6 の形状での電気特性を調べた。Figure 7 から分かるようにポストが分岐点付近になれば狭帯域となる。また、最大電界強度と最大電流密度はそれぞれ 1.71 [MV/m], 11.68 [kA/m] であり、共に高くなる傾向であった。電流密度が最も高いのは合成部のエッジである。

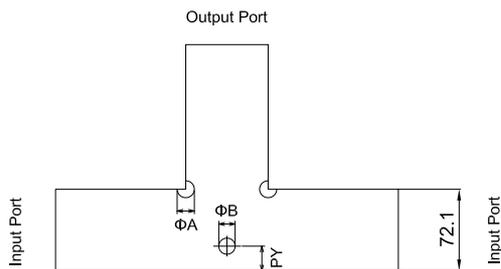


Figure 4: Outline of post-type combiner model.

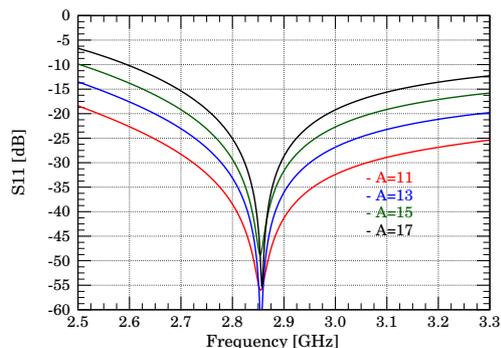


Figure 5: Return loss at output port of post-type combiners.

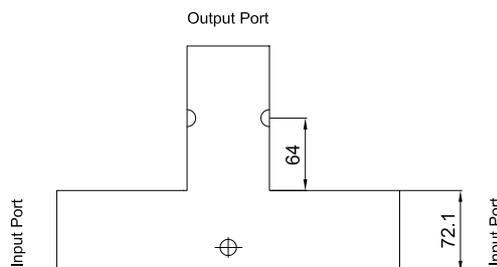


Figure 6: Outline of comparison model.

## 3. 設計製作

20dB 以上の帯域が 358MHz となることから A=15 のケースを採用し、Figure 8 の図面を作成した。ポストと導波管をネジ止めハンダ付で接合したことで、ポストと導波管の接触面に隙間ができづらくなった。加工ミスがあり、中央のポスト位置が 3 [mm] RF 出力と逆方向にずれてしまい、当初の特性は悪かったが、アルミナスタブで補正して 20dB 以上のリターンロスを取り直した。出荷前の低電力試験結果と外観を Figure 9 と Figure 10 に示す。再補正した結果から、帯域が非常に広いことが分かる。

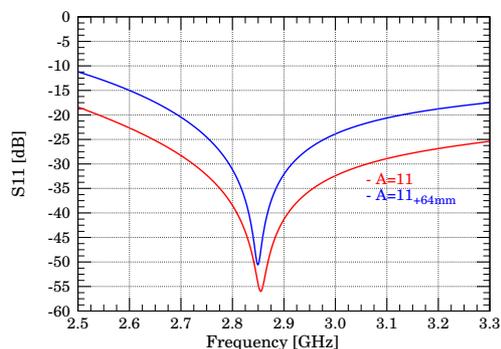


Figure 7: Return loss at output port of post-type combiners. Comparison model's return loss shows narrower bandwidth.

Table 3: Simulated E-field and surface current maxima for post-type combiners injected with peak power 2.5 MW at each port with same phase.

A [mm]	B [mm]	PY [mm]	E-field [MV/m]	Current [kA/m]
11	8.3	27.85	1.63	9.18
13	10.6	25.27	1.71	8.64
15	14.3	21.75	1.81	8.07
17	22.2	15.75	1.94	7.37

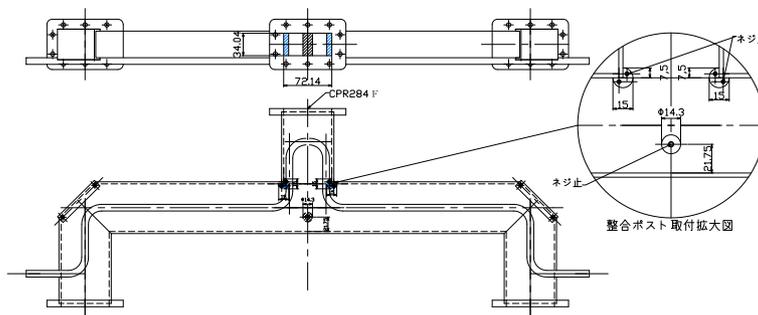


Figure 8: Outline of post-type combiner.



Figure 9: Measurement result of post-type combiner before shipment.

#### 4. まとめ

さまざまな形状の合成器をシミュレーションすることで、帯域の広い合成器を作製する手法を得た。使用用途に沿った帯域幅を選ぶことで電界強度や電流密度を低くし、より大電力化を図ることが出来た。また、製造工程においてもより容易な形状が好まれるため、今回の合成器は大変有用であると思われる。

#### 参考文献

- [1] CST AG., <https://www.cst.com/>
- [2] Xin Jiangi., "TWO NEW KA-BAND TRAVELING WAVE POWER DIVIDER/COMBINER DESIGNS", A thesis submitted to the Graduate Faculty of North Carolina State University, 2001.



Figure 10: Picture of post-type combiner.