

# 方形導波管誘導性窓の等価回路に基づく解析 —ステップ型不連続のモード整合法および点整合法による計算—

平岡 隆晴\* 許 瑞邦\*\*

## Analysis of Rectangular Waveguide Inductive Windows based on Equivalent Network —Calculation of Step Discontinuities by Mode Matching Method and Point Matching Method—

Takaharu HIRAOKA\* Jui-Pang HSU\*\*

### 1. 研究の目的

方形導波管誘導性窓は、導波管内に薄い金属板や誘電体板を挿入した構造で、複数個の窓を配置することで窓と窓の間の導波管が空洞共振器として機能する。共振器長や窓幅の寸法を適切に設定することにより、共振周波数や共振器間の結合が制御できるので、帯域通過フィルタなどの機能素子として用いられる。ここでは誘導性窓の基本構成であるステップ型不連続について等価回路に基づく計算を行った。モード整合法および点整合法による入出力特性および不連続における結合度特性やその比較について報告する。

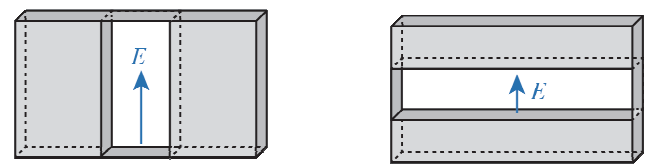
### 2. 方形導波管ステップ型不連続

方形導波管の中に金属あるいは誘電体の薄い板を挿入すると、入れ方によって導波管中を伝搬する電磁波は妨げられる。挿入した板の間の開口部分を「窓」と呼び、図 1(a)のように導波管中の電界  $E$  と平行方向に開いた窓はインダクタンス成分を持つことから誘導性窓という。一方図 1(b)のように電界  $E$  と垂直方向の窓はキャパシタンス成分を有するので容量性窓という。この誘導性窓を複数個配置することで窓と窓の間の導波管は空洞共振器として動作する。共振器長や窓幅の寸法を適切に設定することにより、共振周波数や共振器間の結合が制御できるので、帯域通過フィルタとして用いられる。図 2 は誘導性窓を多段に接続したフィルタ回路の構造図である。

誘導性窓の構成は、幅の広い導波管と狭い導波管が交互に接続させた構造であり、段違いになっている部分は図 3(a)に示すステップ型不連続という。この誘導性窓付きフィルタ回路の基本構成回路であるステップ型不連続を計算するために、モード整合法と点整合法の 2 種類の方法を用いて解析を行った。

### 3. モード整合法と点整合法

モード整合法は幅広・幅狭導波管の伝送モードに対応した多線条伝送線路型の等価回路が図 3(b)で与えられたとき、不連続部の端子



(a) 誘導性窓 (b) 容量性窓  
図 1 方形導波管誘導性窓および容量性窓の構造

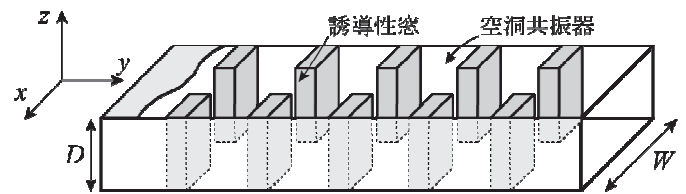
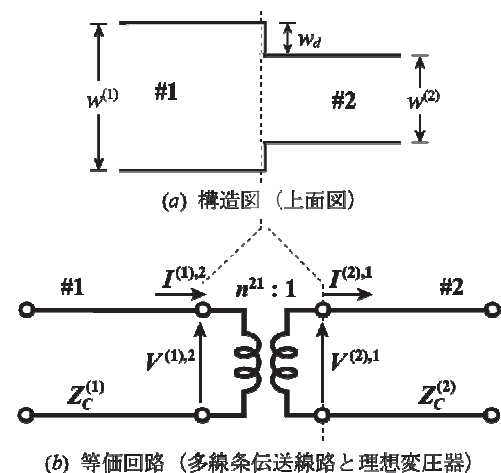


図 2 方形導波管窓付き共振器型フィルタ回路



(b) 等価回路 (多線条伝送線路と理想変圧器)

- ・端子電圧と端子電流の関係
- ・幅狭 (#2) 導波管
$$\begin{cases} V^{(1),2} = (n^{21})' \cdot V^{(2),1} \\ I^{(2),1} = n^{21} \cdot I^{(1),2} \end{cases}$$
- ・幅広 (#1) でのインピーダンス行列
$$V^{(1),2} = (n^{21})' \cdot Z_c^{(2)} \cdot n^{21} \cdot I^{(1),2} = Z_m^{(1),2} \cdot I^{(1),2}$$

(c) インピーダンス行列の導出

図 3 ステップ型不連続とその多モード対応型等価回路

\*准教授 電気電子情報工学科 Associate Professor,  
Dept. of Electrical, Electronics and Information Engineering  
\*\*客員研究員 工学研究所  
Invited Researcher, Research Institute for Engineering

電圧および端子電流が導波管の固有関数から与えられる結合度によって関係づけられる方法である。端子電圧・電流および結合度の関係からインピーダンス行列が得られるので、そのインピーダンス行列を変換して散乱行列を得る。考慮する伝搬モード数を増やすと計算精度があがるので、厳密な解析が実行できるのが特徴である。

点整合法はステップ型不連続の金属板や開口部でサンプリング点を定め、各点における境界条件（短絡境界あるいは連続境界）を満たすように入射波と反射波の関係から散乱行列を求める手法である。計算にはサンプリング点数と考慮モード数を一致させる必要があり、その計算精度はサンプリング点数に依存する。サンプリング点の取り方に柔軟性があるため、さまざまな不連続構造への適用範囲が広いのが特徴である。

表 1 モード整合法と点整合法

	モード整合法	点整合法
関係式	端子電圧，端子電流	入射波，反射波
収束性	伝搬モード数	サンプリング点数
適性	厳密な解析	適用範囲が広い

4. 計算結果

方形導波管ステップ型不連続において、幅広(#1)の導波管幅  $w^{(1)}=20.0$  [mm]，幅狭(#2)の導波管幅  $w^{(2)}=8.0$  [mm] とし、結合位置は両者の中心( $w_d=6.0$  [mm])としたときの周波数特性を図 4 に示す。#2 側の幅狭導波管の遮断周波数が  $f_{\text{cutoff}}=18.74$  [GHz] であるため、それ以下の周波数では伝搬することはできない。破線がモード整合法、実線が点整合法の結果であり、両者は一致している。

点整合法の計算精度はサンプリング点の数によるので、幅広ー幅狭間のそれぞれ 1 番目のモードどうしの結合度 ( $n_{11}$ ) に対する収束性の計算結果を図 5 に示す。サンプリング点数を増加させていくとモード整合法の計算結果と一致してくることがわかる。さらにステップ型不連続で接続する導波管の結合位置を変化させたときの比較結果を図 6 に示す。 $w_d=0.0$  [mm] のとき両導波管は片側揃いで、 $w_d=6.0$  [mm] のとき両導波管は中心揃いの場合に相当する。結合位置を変えた場合でも点整合法の結果とモード整合法の結果は一致する傾向が得られた。

表 2 ステップ型不連続の構造寸法

	幅広(#1)導波管	幅狭(#2)導波管
導波管幅	20.0 [mm]	8.0 [mm]
考慮モード数	100	40
結合位置	—	6.0 [mm] (中心)

5. むすび

方形導波管誘導性窓の基本構成素子であるステップ型不連続について、等価回路に基づいてモード整合法と点整合法により計算を行った。両手法の結果は一致することが確認でき、ステップ型不連続の等価回路に基づく解析方法の妥当性を検証することができた。今後は誘導性窓 1 段の計算や多段構成のフィルタ回路へ応用する。

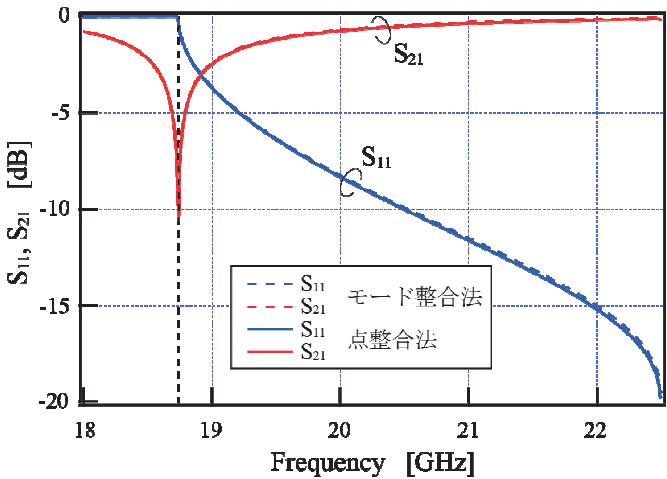


図 4 方形導波管ステップ型不連続の周波数特性

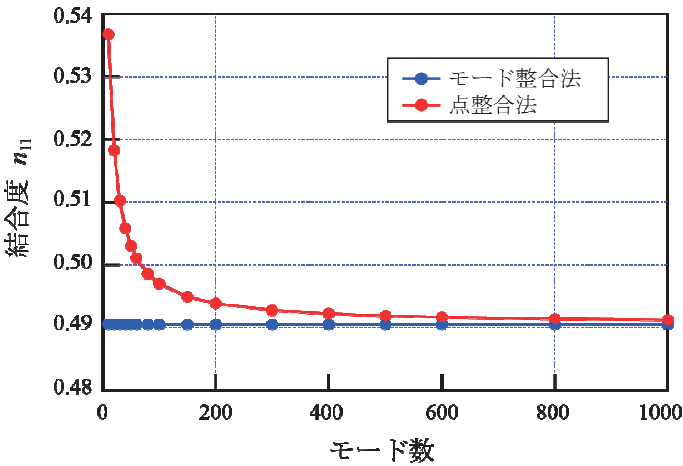


図 5 モード数（サンプリング点数）に対する収束性

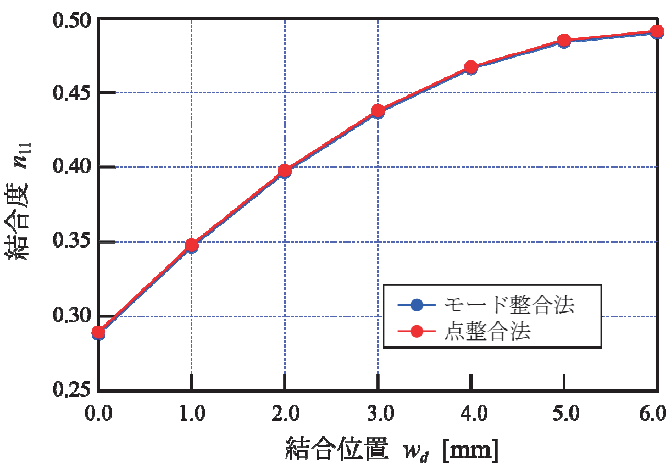


図 6 結合位置による結合度の変化



