

实用

# マイクロ波 技術講座

理論と実際

第 2 卷

工学博士  
小西良弘(著)



**MICRO WAVE**

实用マイクロ波技術講座  
第2巻

工学博士 小西良弘

[www.k-laboratory.net](http://www.k-laboratory.net)

実用マイクロ波技術講座 - 理論と実際 - 小西良弘著  
第二巻目次

- 6 マイクロ波回路の回路網的取扱いと性質
  - 6.1 主な受動マイクロ波回路の機能とそれらの行列による表示
  - 6.2 受動回路のインピーダンス行列とアドミッタンス行列
    - 6.2.1 Z行列とY行列が存在すること 一意性の定理との関係
    - 6.2.2 Z行列とY行列との性質
  - 6.3 受動回路の散乱行列
    - 6.3.1 散乱行列とZ及びY行列との関係
    - 6.3.2 散乱行列の性質
    - 6.3.3 散乱行列の具体例
  - 6.4 2開孔回路の行列 F行列及びZ行列、Y行列、S行列との関係
  - 6.5 回路の固有値と固有ベクトル
    - 6.5.1 Z, Y及びS行列の固有値と固有ベクトルとの関係
    - 6.5.2 Z及びY行列の固有値と回路内のエネルギーとの関係
  - [実験コーナー1]  $\pi/4$ 共振器にキャパシターを負荷した場合の共振周波数のずれ
  - [実験コーナー2] Y型線路の同相励振固有値と正相(または逆相)励振固有値に相当する共振周波数(正相と逆相とは縮退している)の観測
  - [実験コーナー3] Y型線路の中央にフェライト円板を配置し直流磁界 $H_{dc}$ を加えない場合と加えた場合の固有値に相当する共振周波数の観測
  - [問題コーナー]
- 7 電力分配・合成回路
  - 7.1 電力分配・合成回路の用途例とこれらに要求される特性
    - (1) 大電力増巾システム
    - (2) 共同受信システム
    - (3) 電力分配・合成システムに要求される特性
  - 7.2 電力分配・合成回路の構成と原理
    - (1) n分配ウィルキンソン形分配器
    - (2) 対称2分配回路とそれを用いた多分配回路
    - (3) 非対称2分配回路の構成と原理
    - (4) 抵抗接地型多分配器

(5)  $n > 2$  の場合の R 型及び F 型構成

### 7.3 2 分配回路の周波数特性と広帯域化

7.3.1 入力開孔特性と入出力間の伝送特性

7.3.2 出力インピーダンスの周波数特性

7.3.3 アイソレーションの帯域幅と広帯域化

### 7.4 考え方と発想法

[実験コーナー 1] 1 段変成器を用いた 2 分配器の特性

[実験コーナー 2] 2 段変成器を用いた 2 分配器の特性  $f_z / f_1 = 2$

[実験コーナー 3] 3 段変成器を用いた 2 分配器の特性  $f_z / f_1 = 3$

[実験コーナー 4] 3 々の 2 分配器の組み合わせによる 4 分配器の特性

[実験コーナー 5] 実験 4 において最初の 2 分配回路と次段の 2 分配回路間の位相を変えた特性

[実験コーナー 6] 1 段 / 4 変成器を用いた同軸 4 分配器の特性と  $S_{11}$  の広帯域化特性

[実験コーナー 7] 抵抗接地型 8 分配回路の特性 - 接地抵抗の両側の / 4 線路の特性インピーダンスが 75 と 50 との比較

[実験コーナー 8] 1 段 / 4 変成器の帯域特性

[問題コーナー]

## 8. 方向性結合器

8.1 方向性結合器とは

8.2 方向性結合器を作るための主な原理

8.3 方向性結合器の実際

8.3.1 進行波と反射波のモードの違いを利用したもの

(イ) ループ方向性結合器

(ロ) 分布結合形方向性結合器

(ハ) ベーテ孔方向性結合器

(ニ) 導波管形分布結合形方向性結合器

(ホ) 十字型方向性結合器

(ヘ) 密巻コイル形方向性結合器

8.3.2 マルチパスを利用したもの

(イ) 2 分岐線路方向性結合器

(ロ) 双孔方向性結合器

(ハ) 集中定数形方向性結合器

8.3.3 方向性結合器の広帯域化の方法

(イ) 多段分布結合方式によるもの

- (ロ) 多孔式のもの
- (ハ) 多分岐形のもの

- [実験コーナー 1] 分布結合形方向性結合器の出力開孔の位相、結合度
- [実験コーナー 2] マイクロストリップ線路形非対称構造結合方向性結合器
- [実験コーナー 3] 断面が非対称のエッジ結合線路の各開孔の位相特性
- [問題コーナー] 方向性結合器の問題

- [付録 1 1] 非可逆回路を実現するために必要な条件  
(回路に含まれる媒質のテンソル透磁率とテンソル誘電率との関係)
- [付録 1 2] ウィルキンソン 3 分配回路の解析
- [付録 1 3] 異なる出力を支える 2 分配回路の回路定数
- [付録 1 4] 2 段 / 4 変成器による整合設計理論
- [付録 1 5] 2 分配回路の各開孔の反射係数と分配開孔間のアイソレーション
- [付録 1 6] 入力及び出力抵抗が  $Z_0$  及び  $Z_L$  である時、 $N$  段の / 4 変成器を用いて Tchebycheff 特性で広帯域整合を行う場合、比帯域巾  $W_{NT}$ 、抵抗比  $R = Z_L / Z_0$  及び定在波比  $S$  間の関係式の誘導
- [付録 1 7] 分布結合形方向性結合器の理論
- [付録 1 8] 断面形状が非対称な結合分布定数線路で構成された分布結合形方向性結合器
- [付録 1 9] 密巻コイル形方向性結合器の原理
- [付録 2 0] 2 分岐線路形方向性結合器の原理
- [付録 2 1 - A] 2 つの実対象行列の同時対角比
- [付録 2 1 - B] 実対称行列  $A, B$  に対して適当な直行行列  $P$  を選び  $P^{-1} A P, P^{-1} B P$  を同時に対角行列にするための必要十分条件は  $A B = B A$  である
- [付録 2 2] 集中定数直列共振回路を 2 分岐形方向性結合器の各開孔に接続することによる広帯域化
  
- [一般基礎 1 3] 受動回路の性質の説明に用いる行列の主な定義と性質
  - [1] 行列の種類と定義
  - [2] エルミート行列とエルミート形式
  - [3] 行列の固有値と固有ベクトル

#### [4] まとめ

[一般基礎 1 4] 無損失回路の電力損失比

[一般基礎 1 5] / 4 間隔で生じる多数の反射を打ち消す考え方と設計理論

[一般基礎 1 6] 断面の電気定数が対称な 4 開孔回路の偶モード奇モード解析

[一般基礎 1 7] 結合分布定線路の性質

#### [ 実験コーナー ]

- 1 . TEM 単独 / 4 共振器の等価回路定数の確認の実験
- 2 . 2 本の / 4 からなるコムラインに両共振器の開放面の開孔を  $C_m$  のキャパシタで接続したときの偶モードと奇モードの共振周波数の測定値と理論値との照合
- 3 . インターデジタル結合による / 4 共振器の偶モードと奇モードの共振周波数がスプリットする模様 - 誘電体ブロックとマイクロストリップ線路との比較
- 4 . インターデジタル結合の / 4 共振器の結合係数  $k$  の実験と理論値の照合
- 5 . コムライン / 4 共振器の開放端子間の結合リアクタンス  $X_m$  を変化したときのトラップ周波数の変化

[ 資料 4 ] 導波路の不連続部における等価回路と定数

- ( 1 ) 平行板伝送路の不連続容量
- ( 2 ) 同軸線路の不連続部における等価回路
- ( 3 )  $TE_{01}$  導波管の不連続部における等価回路
- ( 4 ) ストリップ線路とマイクロストリップ線路の不連続部の等価回路

[ 資料 5 ] 異なるインピーダンス  $Z_0$  と  $Z_L$  とを  $N$  段 / 4 変成器で整合する設計

[ 資料 6 ] 2 分配回路設計

[ 資料 7 ] 均一媒質中の結合平行線路の偶モードインピーダンス  $Z_e$  と奇モードインピーダンス  $Z_o$

- ( 1 ) ブロードサイド結合ストリップ線路の  $Z_e$  と  $Z_o$
- ( 2 ) エッジ結合ストリップ線路の  $Z_e$  と  $Z_o$
- ( 3 ) 2 芯同軸線路の  $Z_e$  と  $Z_o$
- ( 4 ) 平行金属板間の平行対称円柱の  $Z_e$  と  $Z_o$

[ 資料 8 ] 結合マイクロ線路の偶及び奇モードの特性インピーダンス  $Z_e$  及

びZ。

[ 資料 9 ] エッジ結合ストリップ線路による分布結合形方向結合器の結合度より寸法を求める設計図表

[ 資料 1 0 ] ブロードサイド結合ストリップ線路による分布結合形方向性結合器の設計図表

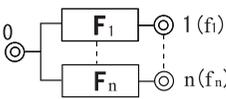
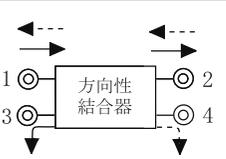
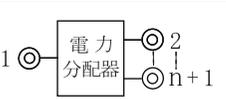
[ 資料 1 1 ] 多段 / 4 分布結合方向性結合器の各段における結合度

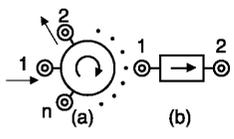
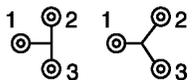
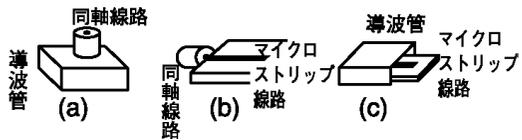
## 第6章 マイクロ波回路の回路網的取扱いと性質

### 6.1 主な受動マイクロ波回路の機能とそれらの行列による表示。

代表的なものとその機能を列記すると表 6.1 のようになる。

表 6.1 受動マイクロ波回路の主な例と機能

回路	種類と機能	開孔 (端子対) 数
フィルター	フィルター F には以下の種類がある。 (イ) L.P.F. (低域通過フィルター) (ロ) H.P.F. (高域通過フィルター) (ハ) B.P.F. (帯域通過フィルター) (ニ) B.R.F. (帯域阻止フィルター)	2 開孔
分波、合波回路、デュープレクサーおよびマルチプレクサー	 <p>開孔 0 に入射した <math>f_1 \dots f_n</math> の周波数成分の電波は夫々 <math>F_1 \dots F_n</math> の B.P.F. を経て開孔 <math>1 \dots n</math> に分波される。<math>n = 2</math> のとき、デュープレクサーと呼ばれ、<math>n &gt; 2</math> の時マルチプレクサーと呼ばれる。逆に <math>1 \dots n</math> に <math>f_1 \dots f_n</math> の電波を加えると開孔 0 に合成され合波器となる。</p>	$n + 1$ 開孔
方向性結合器、ブリッジ (3dB 方向性結合器) 90°ハイブリッド	 <p>開孔 1 に加わった電波は実線矢印のように進み、開孔 2 と 3 に現れ、開孔 2 に加わった電波は点線矢印のように進み開孔 1 と 4 に現れる。したがって、2 に接続された負荷に進む進行波は開孔 3 で検出され、また反射波は開孔 4 で検出されるため方向性結合器と呼ばれる。これが対称回路で作られるとき 2 と 3 間 (実線矢印のとき) または 1 と 4 間 (点線矢印のとき) の位相差は <math>90^\circ</math> となるので <math>90^\circ</math> ハイブリッドと呼ばれる。</p>	4 開孔
電力分配器と電力合成器	 <p>開孔 1 に加わった電波が、開孔 <math>2 \dots n + 1</math> に現れ、開孔 <math>i (\neq 1)</math> に加わった電波は開孔 <math>j (\neq 1, \neq i)</math> に生じない回路をいう。</p>	$n + 1$ 開孔

回路	種類と機能	開孔 (端子対) 数
<p>サーキュレータ、アイソレータ</p>	 <p>図 (a) で開孔 1 に電波を加え開孔 2 に整合負荷を接続すると 2 に電波が生じ、他の開孔には生じない。これを 1 → 2 の記号で示すと、2 → 3、3 → 4...n → 1 のように循環する回路をサーキュレータと呼ぶ。図 (b) で開孔 1 に加わった電波は開孔 2 に生じるが、開孔 2 に加わった電波は 1 には生じない回路をアイソレータと呼ぶ。図 (a) で <math>n=3</math> とし、開孔 3 に整合負荷を接続すると 1 → 2 のアイソレータができる。</p>	<p><math>n</math> 開孔</p>
<p>減衰器</p>	 <p>図のように開孔 1 に加わった電波を減衰させて開孔 2 に生じさせるものを呼び、抵抗を用いた抵抗減衰器と、開孔 1 と 2 の間をエバネセント波で結んだリアクタンス減衰器がある。減衰度が可変できるものを可変減衰器という。</p>	<p>2 開孔</p>
<p>位相器</p>	 <p>開孔 1 に加わった電波は図のように <math>\theta</math> ラジアン位相が遅れて開孔 2 に現れる。<math>\theta</math> を可変できるものを可変位相器という。</p>	<p>2 開孔</p>
<p>整合回路、変成器やリアクタンス回路</p>	 <p>開孔 2 に非整合の負荷を接続したとき、開孔 1 から負荷側を見たインピーダンスが電源インピーダンスと共轭になるようにするため電源と非整合負荷との間に挿入される回路で、<math>\frac{\lambda}{4}</math> 変成器や純リアクタンス回路などが用いられる。</p>	<p>2 開孔</p>
<p>分岐回路</p>	 <p>図に 2 分岐回路を示した。これは形状によって左図を T 分岐および右図を Y 分岐と呼ぶことがある。</p>	<p><math>n(\geq 3)</math> 開孔</p>
<p>導波路変換器</p>	 <p>同軸導波管変換器 (a)、同軸マイクロストリップ線路変換器 (b) および導波管マイクロストリップ線路変換器 (c) を示した。種々の導波路間の変成器がある。</p>	<p>2 開孔</p>