

1
第1章

マイクロウェーブの世界

～いろいろなコンポーネントと分布定数の考えかた～

❖
集中定数と分布定数回路の違いを説明し、マイクロストリップ・ラインや導波管の原理の説明を…と、原稿を書き始めましたが、このような一般的な説明ではいつまでたってもマイクロウェーブの世界との距離は縮まりそうにありません。そこで本書では、他の本とちよつと違った視点からマイクロウェーブの世界を紹介したいと思います。

❖

1-1

マイクロ波帯の回路を構成する要素

マイクロウェーブ(マイクロ波帯)の世界を理解するには、まず基本回路(伝送線路)の区別がつかようになることです。写真1-1に示すマイクロストリップ・ラインの名前は聞いたことがあるとは思いますが、マイクロウェーブの世界では図1-1に示すように、ほかにもいろいろな伝送線路を使います。

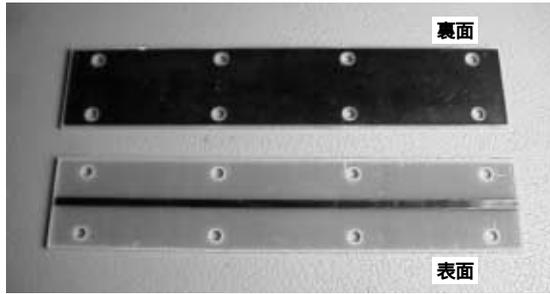
マイクロウェーブ帯とは3 GHz ~ 30 GHzのことを言いますが、本書ではそれよりちょっと低いRF帯から低いほうのマイクロ波帯の周波数でよく用いる、回路についての説明と設計法を紹介していきます。

● マイクロ波帯の伝送線路

図1-1のなかで特によく使うのが、図(a)のマイクロストリップ・ライン(micro-strip line)です。マイクロストリップ・ラインについては、次章で詳しく説明します。図(h)~(k)のような導波管は、特性が非常に良いので以前はよく使われたのですが、取り扱いが面倒なため、最近はミリ波帯などの高い周波数や低いロスが求められる場合、それに大きな電力を扱いたい場合に使用されています。

一見すると複雑怪奇なマイクロ波帯の回路は、これら伝送線路の組み合わせで成

【写真1・1】マイクロストリップ・ライン
 (裏面は全面がベタ・グラウンドで、表面にラインが引かれている)



【図1・1】各種伝送線路(濃い部分は誘電体，薄い部分は導体を示す)



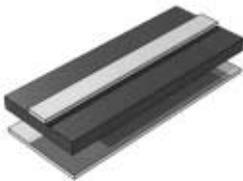
(a) マイクロストリップ・ライン



(b) ストリップ・ライン



(c) コアックス・ライン(同軸線路)



(d) サスペンディッド・マイクロ
ストリップ・ライン



(e) コプレーナ・ウェーブガイド



(f) グラウンド付きコプレーナ・ウ
ェーブガイド



(g) スロット・ライン



(h) 方形導波管



(i) 円形導波管

り立っています。

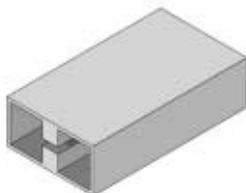
● マイクロウェーブの回路もパーツの集まり

集中定数の回路を考える場合、全体の回路をインダクタ L 、キャパシタ C 、抵抗 R 、トランジスタ Tr などに分解して、回路の動作を推し量ります。マイクロ波の場合も勝手は少し違いますが、集中定数の場合と同じように全体の回路を小さく分解して、回路の動作を考えます。図1-2のような複雑怪奇と思える回路を例にして、考えかたを簡単に紹介します。

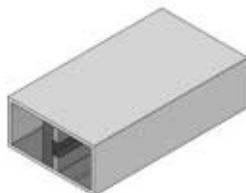
図1-2で表される回路全体(パターン)を、図1-3(a)~(c)のようなきまった断



(j) シングル・リッジ導波管



(k) ダブル・リッジ導波管



(l) フィン・ライン



(m) マイクロプレーナ・ストリップ・ライン



(n) コプレーナ・ストリップ・ライン



(o) スラブ・ライン

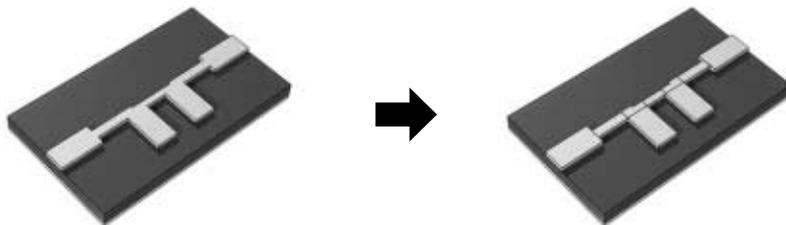


(p) パイラテラル・フィン・ライン

片(回路)の集まりと考えると、たった三つの基本的な形で回路全体が成り立っていることがわかります。もし、三つの基本回路の特性がわかれば、図1・2で示される全体の特性を推し量ることができることになります。

高価なマイクロ波の回路シミュレータも、この例と同じように基本回路を組み合

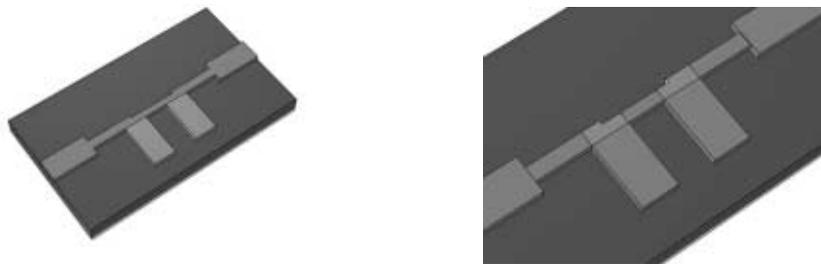
[図1・2] マイクロストリップ・ラインの回路例(ローパス・フィルタ)



(a) ローパス・フィルタの回路

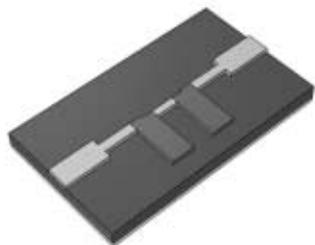
(b) 全体の回路を基本の形に分解する

[図1・3] 三つの基本形



(a) 基本形 オープン(一方だけが回路に接続されていて片方の端子が空いている回路)

(b) 基本形 ティー・ジャンクション(3方を他の回路に接続)



(c) 基本形 ライン(パターン)の両脇に他の回路を接続)

わせて全体をシミュレーションするように作られています。

● マイクロ波でよく使う同軸コネクタ

マイクロ波の特性を評価するためには、測定機器にデバイスを接続する必要があります。マイクロ波帯の測定器の入出力端子には、ほとんどの場合、同軸コネクタが使われているので、測定を行うまえに同軸コネクタについて知っておく必要があります(写真1・2)。

特に、SMA、3.5 mm、Kコネクタは機械的には何の問題もなく^{かんごう}嵌合しますが、特性には大きな差があります。また、同軸コネクタを混ぜて使うと思わぬ特性上の問題が生じますが、この同軸コネクタのさまざまな問題については、本書の続編(「応用編」)で詳しく説明する予定です。

一般的な同軸コネクタの上限周波数の目安を表1・1に示します。

上限周波数を越えると、高次モードの信号(意図したモード以外のモードで伝播する信号)が同軸コネクタ内部に現れるので、期待したインピーダンスになりません。表1・1で紹介した周波数はあくまでも目安で、数値はあくまでも一般的なも

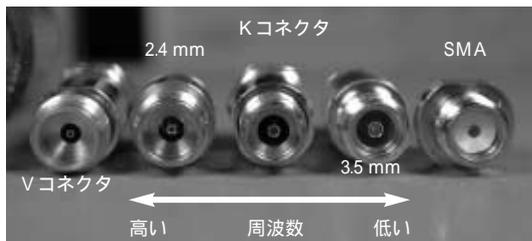
[写真1・2] 各種の同軸コネクタ



[表1・1] コネクタの使用上限周波数

コネクタの種類	一般的な上限周波数
N	18GHz
SMA	26.5GHz
3.5mm	34GHz
Kコネクタ	40GHz
2.4mm	50GHz
Vコネクタ	67GHz
1.0mm	110GHz
Wコネクタ	110GHz

[写真1・3] 各種コネクタの嵌合面(メス側)



【表1・2】よく使う単位とその定義

単 位	基準レベル	10倍のレベル
dBW *	1W = 0dBW	10dBW
dBm *	1mW = 0dBm	10dBm
dB μ V	1 μ Vrms = 0dB μ V	20dB μ V
dBV	1Vrms = 0dBV	20dBV

* : インピーダンスも指定しなければならない

【写真1・4】パワー・センサ(Anritsu製)



ので、実際のコネクタの実力は、メーカーの設計力と機械加工の精度で決まります。

これらコネクタの種類を区別する場合には、コネクタの嵌合面を確認します。なれないとなかなか区別ができないKコネクタと3.5 mmコネクタの区別も、ポイントを押さえれば簡単です。写真1・3を見るとわかるように、外部導体の大きさはコネクタの種類によって異なるので、外部導体の大きさを細かく観察します。写真からも明らかですが、より高い周波数まで使えるコネクタほどコネクタ内部の直径が小さくなっています。

● よく使われるdBmとは何か

低周波の世界では、信号の大きさは何ボルトといったように電圧で表現することが多いのですが、マイクロ波の世界では「dBm（一般に「デービーエム」と発音する）」という記号で、基準抵抗で消費される電力を基にした単位をよく使います。一般には、インピーダンス50 Ω の素子で消費される電力が1 mWのときを0 dBmと規定している場合が多いようです。

同じdBmの単位を使用していても、75 Ω 、600 Ω などのインピーダンスを使っている場合もありますので、dBmを扱う際には0 dBmを規定しているインピーダンスを確認する必要があります。dBmは電力の単位なので、レベルの10倍異なる信号は、10 dB異なった数字で表されます。このことから、1 W = 1000 mW = 30 dBmとなることが容易に想像できます。そのほかに、電圧を表すdB μ V、dBVなどの単位も使われます。表1・2にそれらをまとめておきました。

ときどき、dBとdBm、dBVなどの単位を間違っている場面を見かけます。dB(デシベル)は比を表しているので、基準になるものがないと、その値は何の意味ももちません。比を表す場合にはdBを、レベルを表す場合にはdBm、dBW、dB μ V、dBVなどを使います。「アンプ・ゲイン10 dB」は正しい表現ですが、「ア

【表1-3】測定器と測定できる項目

測定器名	信号源	絶対レベル測定	周波数測定	スペクトラム測定
シグナル・ジェネレータ		×	×	×
パワー・メータ	×		×	
周波数カウンタ	×	×		×
スペクトラム・アナライザ	(要TG)			
ネットワーク・アナライザ				

測定器名	周波数特性	反射特性	位相特性	信号純度
シグナル・ジェネレータ	×	×	×	×
パワー・メータ	(要SG)	(要SG)	×	
周波数カウンタ	×	×	×	×
スペクトラム・アナライザ	(要TG)			
ネットワーク・アナライザ				

：最適な計測器

：計測器単体で測定可能

：工夫次第で測定可能か，測定できるが実用的でない

×：利用できない

SG：シグナル・ジェネレータ

TG：トラッキング・ジェネレータ（スペクトラム・アナライザの観測周波数に同期した信号源）

ンプ・ゲイン 10 dBm」は間違った表現です．また，「信号レベル 10 dBm」は正しい表現ですが，「信号レベル 10 dB」は間違った表現です．ちなみに，マイクロ波帯で電力を測定する場合には，写真 1-4 のようなパワー・センサを使います．

1-2

マイクロ波帯の測定とコンポーネント

● マイクロ波帯の測定器

マイクロ波帯の実験で使う測定器には，シグナル・ジェネレータ，スペクトラム・アナライザ，パワー・メータ，ネットワーク・アナライザ，周波数カウンタなどがあります．マイクロ波の世界が初めての方でも，これらの名前は，どこかで聞いたことがあると思います．

これらの計測器の使いかた，アプリケーション別の測定方法や測定誤差，仕様の意味については本文中で述べていくことにします．ここでは表 1-3 に，これらの測定器を使って何を測定することができるのかをまとめておきました．

● アイソレータの特性

写真 1-5 に示すようなマイクロ波帯のベクトル・ネットワーク・アナライザを使

[写真1・5] 40GHzベクトル・ネットワーク・アナライザ(ウィルトロン製)



[写真1・6] 3.9GHzアイソレータ(TDK製)



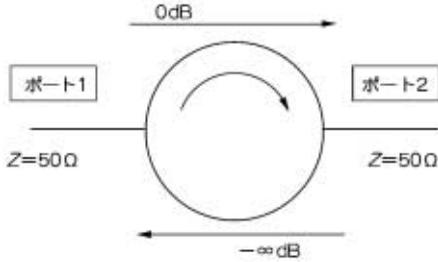
って、マイクロ波帯用のコンポーネントを測定してみます。最初に、アイソレータ (isolator) というデバイスの高周波特性を測定してみます。外観を写真1・6に示します。アイソレータは、ポート1からポート2には信号を通しますが、逆方向には信号を通しません。理想的な50 Ω系のアイソレータは図1・4に示すような性能を有します。

しかし現実には、あらゆる周波数で図1・4のような性能を有するデバイスはありません。現実のアイソレータは、写真1・7の測定結果にあるように、ポート1からポート2への通過ロス (S_{21}) が数 dB、ポート2からポート1への通過特性 (S_{12}) は 20 ~ 50 dB 程度、また入出力のインピーダンス・マッチングの度合いを表すリターン・ロス (S_{11} , S_{22}) が 15 ~ 30 dB 程度で、限られた周波数範囲で動作します。理想的なアイソレータに近い特性のものほど、よいアイソレータということになります。リターン・ロスや Sパラメータについては、本書の後の章で詳しく説明します。

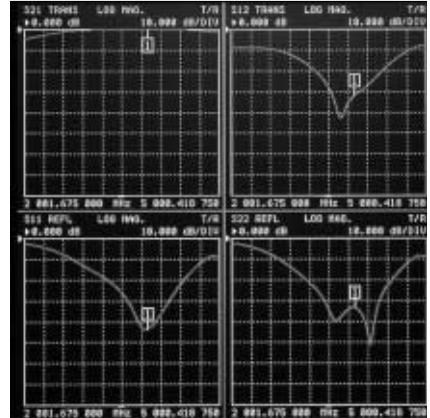
● 同軸型帯域通過フィルタの特性

次に、同軸型帯域通過フィルタ (BPF) を写真1・8に紹介します。同軸型 BPF は、

[図 1・4] 理想的なアイソレータの特性



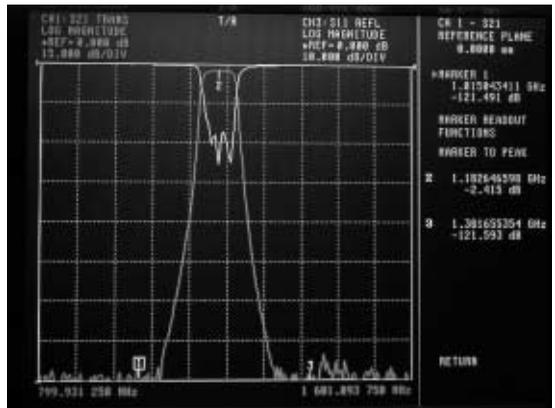
[写真 1・7] 3.9GHz アイソレータの測定結果 (マーカ1 : 3.9GHz)



[写真 1・8] 同軸型 BPF の例 (FSY 社製)



[写真 1・9] 同軸型 BPF の実測特性

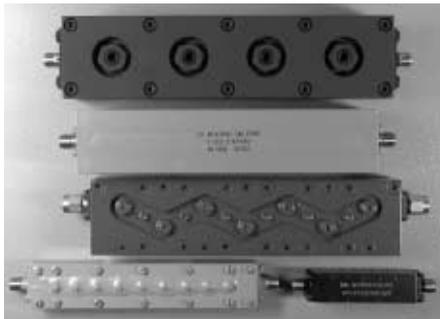


マイクロストリップ・ライン型BPFや集中定数型BPFよりも阻止域の減衰量が大きく取れることと、通過帯域のロスが少ないのが特徴です。

このコンポーネントは、おもにキャビティ型BPFでは形状が大きくなりすぎるような、比較的低い周波数帯(数百MHzから数GHz程度の周波数)で使われています。

通過特性と反射特性をベクトル・ネットワーク・アナライザ(以下、VNAと記す)にて測定した結果を写真1・9に示します。阻止域の減衰量は - 120 dB以上と、VNAの測定限界よりも大きいことがわかります。

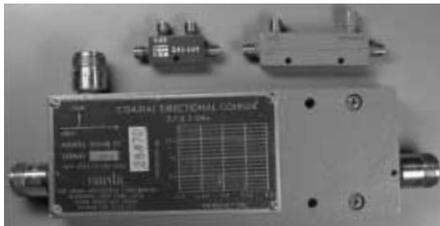
[写真1・10] キャビティ BPF



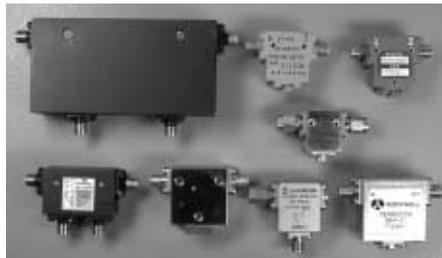
[写真1・11] 信号分配器とハイブリッド・カップラ



[写真1・12] 方向性結合器 (directional coupler)



[写真1・13] アイソレータとサーキュレータ



[写真1・14] 同軸・導波管変換アダプタ

