

送信系／パワー・アンプ／受信系／  
DBMとプリスケラ／マイクロ波のパワー測定法

## ◆ 第1章

# マイクロ波入門：機器構成と測定法

マイクロ波機器の工作に入る前に、マイクロ波機器を構成するコンポーネントについて整理し、ついでマイクロ波の測定法について簡単にながめておきましょう。

マイクロ波機器を構成するコンポーネントは、送信系と受信系に大別できます。

## 1-1 送信系

図1-1に、発振器の違いによって分類した送信系のブロック・ダイアグラムの例を示します(破線で囲まれたものが、本書で製作するコンポーネント類)。

発振部は、直接、マイクロ波の目的周波数を発振するものと、まず $1/n$ の周波数を発振し、それを $n$ 通倍して、目的周波数のマイクロ波を得るものとに分けられます。

直接発振する代表的なものには、ガン発振器やYIG, DRO, VCOなどがあります。これらのものも、Ku-Band (12～18 GHz)やK-Band (18～27 GHz)では、発振出力をさらに $n$ 通倍して目的周波数にあげることもあります。

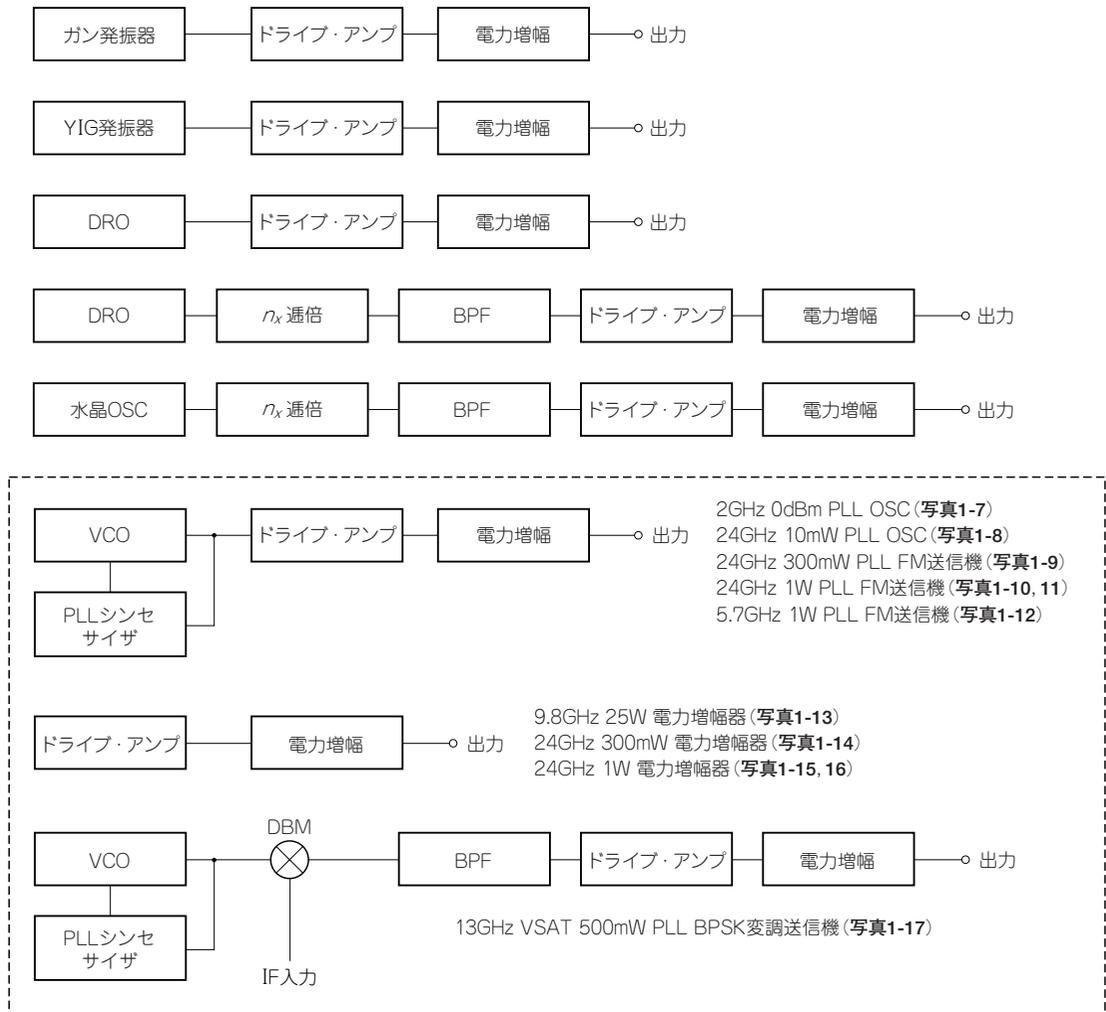
ここで、Ku-Bandとか、K-Bandという言葉ができましたが、これらは、あるまとまりをもった周波数帯ごとにつけられたマイクロ波帯の通称で、以下のようなものがあります。

- ・ L-Band : 1～2 GHz
- ・ S-Band : 2～4 GHz
- ・ C-Band : 4～8 GHz
- ・ X-Band : 8～12 GHz
- ・ Ku-Band : 12～18 GHz
- ・ K-Band : 18～27 GHz
- ・ Ka-Band : 27～40 GHz

水晶発振器は発振周波数が比較的低いので、 $n$ 通倍して目的周波数を得ます。

次にそれぞれの発振器の動作原理を簡単に説明しましょう。

## 10 第1章 マイクロ波入門：機器構成と測定法



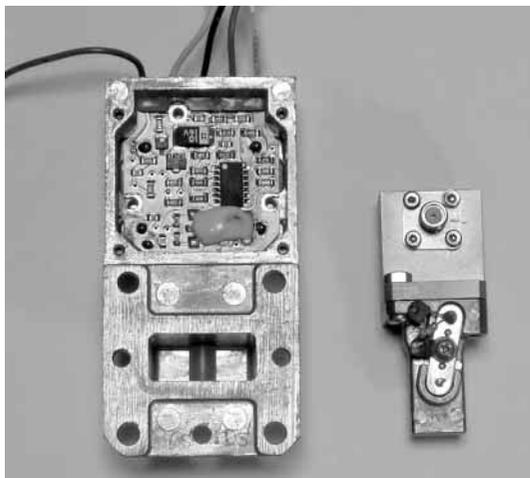
〈図1-1〉送信系ブロック・ダイアグラム

### ■ ガン発振器

ガン発振器(写真1-1)はガン・ダイオードを使った発振器でアメリカのガン(Gunn)博士が発見したことからこの名前がついています。ダイオードをキャビティや導波管内にマウントし、直流電圧を加えると結晶の厚みに応じた固有振動で発振します。構造が簡単でFM変調も可能ですが、周波数の安定度が他の方式と比べて悪いため、通信用以外に、センサとして使われることが多いようです。周波数範囲は数GHz～数十GHzと広い周波数帯をカバーします。

### ■ YIG発振器

YIG(Yttrium Iron Garnet, 写真1-2)は、イットリウム・鉄・ガーネットの頭文字をとったものです。



〈写真1-1〉ガン発振器の例〔左は10 GHz用ガンOSC，右は24 GHz用（上部は同軸・導波管変換器）〕



〈写真1-2〉YIG発振器の例〔左はHP社製YIG（4～8 GHz），右は超小型YIG（メーカー不明）〕

YIG発振器は、YIG球と呼ばれる共振回路に磁場を加え、その磁場の強弱により発振周波数を可変するものです。磁場の可変には電磁石を使いますが、やや電流が大きいことから電流制御に注意を要します。特徴としては発振周波数の可変範囲がきわめて広く、オクターブ(2倍)以上できるものもあり、 $C/N$ <sup>注)</sup>も良好なことから、スペクトラム・アナライザの局発などに使われています。

## ■ DRO

DRO(写真1-3)はDielectric Resonator Oscillator(誘電体発振器)の略です。誘電体のもつ固有振動数でマイクロ波を発振させるもので $C/N$ が良好です。発振回路を形成するキャピティ内にホリステライトと呼ばれる絶縁体の上に誘電体を接着しマイクロ波を発振させます。周波数安定度は比較的高いですが、周波数の変更が困難です。身近な使用例にはBS放送コンバータ内の局部発振があります。

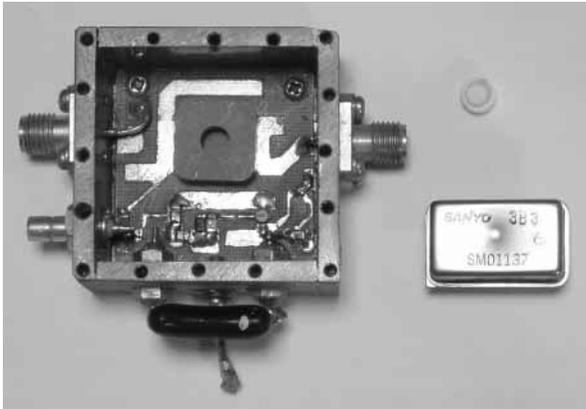
## ■ 水晶発振器

水晶発振器(Crystal Oscillator)は目的のマイクロ波周波数の数十分の一から数百分の一を発振させ、目的の周波数まで通倍してマイクロ波を生成します。周波数の安定度は水晶に準拠して良好ですが、高次通倍で $C/N$ が悪化します。また通倍回路が複雑になり、調整なども難しいといった欠点もあります。

## ■ VCO

VCO(Voltage Controlled Oscillator; 電圧制御発振器)は、ふつう発振回路の発振素子と並列にバリキャップ・ダイオードが接続されており、それに加えるバイアス電圧を変えることにより発振周波数を変化させる発振器です(写真1-4)。

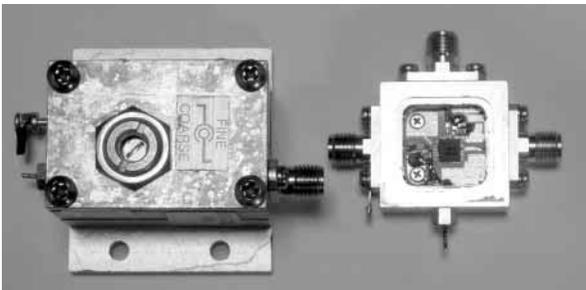
注)  $C/N$ は、Carrier to Noise ratioのこと。信号のなかにどの程度の雑音が含まれているかを示す指数。これが大きいほどクリアな信号。



〈写真1-3〉DROの例〔左が、筆者の試作した5.7GHz DRO、右下がSANYO製11GHz DRO(上部の凹みで周波数の調整をしている)、右上の小さな円柱が24GHz用ホリステライト付きDRO〕



〈写真1-5〉NEC製SV-24B(形状からビル・タイプと呼ばれるステップ・リカバリ・ダイオード)



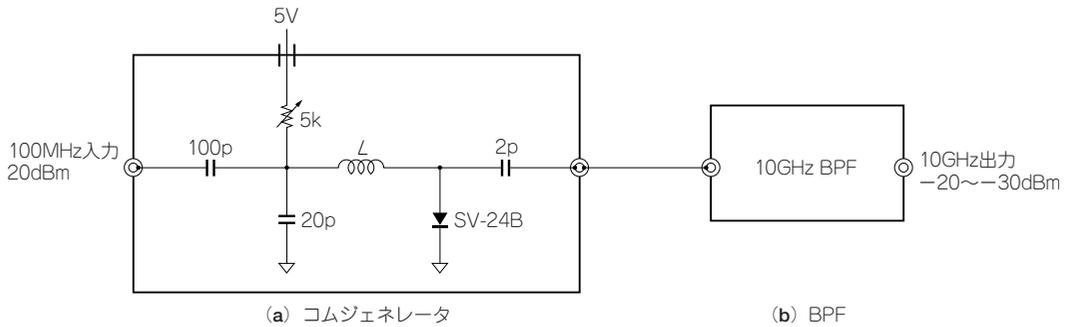
〈写真1-4〉VCOの例〔左が11GHz帯VCO、右が筆者試作の24GHz帯VCO〕

## ■ コムジェネレータ

コムジェネレータと呼ばれる高次通倍用のステップ・リカバリ・ダイオードを使った信号発生器もあります。コムジェネレータ(Comb Generator)とは、コムが櫛のことで、入力周波数の $n$ 倍のスペクトラムが櫛状に発生する信号発生器です。たとえば100MHzの信号を入力すると100倍の10GHzを、BPF(Band Pass Filter)を介して生成することも可能です。

コムジェネレータに使用されるダイオードがステップ・リカバリ・ダイオードです。ここで、ステップ・リカバリ・ダイオード(SRD; Step Recovery Diode, スナップ・オフ・ダイオードとも呼ばれる)とは、どんなものかといいますと、一般にダイオードはONからOFFまたはOFFからONに切り替わるとき一定の時間を要します。ステップ・リカバリ・ダイオードはONからOFFに切り替わる時間が $1/10$ 程度と極端に短い特性をもっています。ちなみに、以下に例としてあげるSV-24Bは200ピコ秒(ps)程度です。このときコイル $L$ に蓄えられたエネルギーが非常に幅の狭いパルスとして出力されます。この出力を、目的とする狭帯域BPFで取り出すことにより $n$ 通倍が可能になります。

図1-2にNEC製SV-24B(写真1-5)を使ったコムジェネレータの接続図を示します。入力周波数は一般



〈図1-2〉コムジェネレータの接続図

に100 MHzから数100 MHz程度で、20 dBmから25 dBmの強さの信号を加えます。実験では100 MHz、20 dBmを加えました。出力は-20~-30 dBmが得られました。

このように発振方式には多くの種類があり、それぞれ特徴をもっています。本書では、小型であるだけでなく、PLLシンセサイザと組み合わせて周波数安定度が確保でき、入手も容易な民生用デバイスということで、VCOを使ったものを中心に紹介することにします。

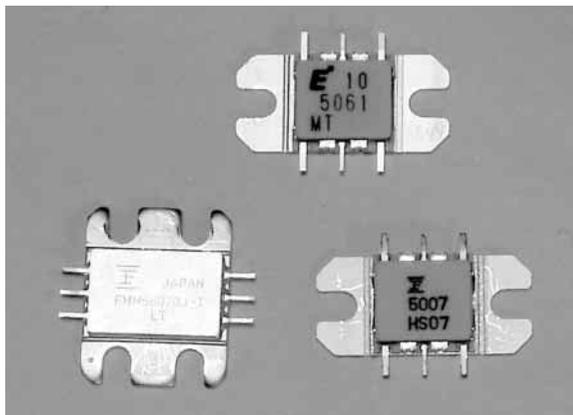
## 1-2 パワー・アンプ(PA；電力増幅)部

電力増幅器用デバイスはGaAs FETが主流です。

GaAs FETのなかでも、とりわけ入出力を50Ωに整合した数段の増幅器からなるMMIC (Monolithic Microwave IC)と呼ばれるデバイスに人気があります。MMICは高利得であり、かつ広帯域特性にすぐれているという特徴があります。

最近では、デジタル変調が主流となっているため、電力増幅部には増幅器全体の直線性が求められます。そこで、直線性性能が良いという面からも、MMICを採用する例が増えています。本書の製作記事でもMMICを多用しています。

写真1-6に旧・富士通クォンタムデバイス社製と<sup>ユーディナ</sup>Eudyna社製Ku-Band帯MMIC(ロゴマークが変わっ



〈写真1-6〉  
フランジ付きのMMIC

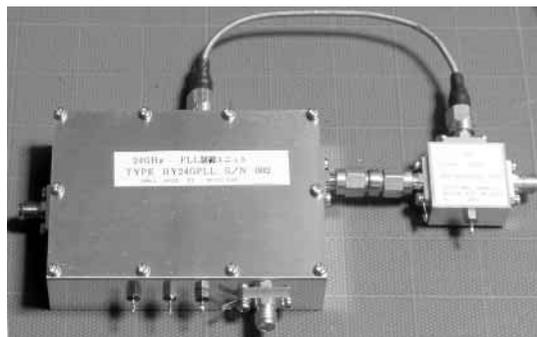
## 14 第1章 マイクロ波入門：機器構成と測定法

ているが社名変更によるもの)を示します。フランジが付いているタイプですが、最近は表面実装が多くなりつつあります。本書の製作例も表面実装タイプを使用しています。

前出の図1-1で、破線で囲んだものが、本書で製作する送信系コンポーネント類です。製作したものを写真1-7～写真1-17(カラー版は口絵参照)に示します。



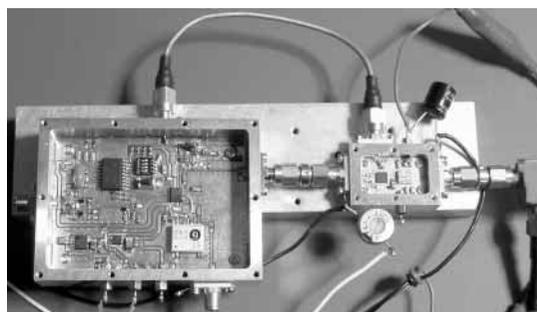
〈写真1-7〉 2GHz 0dBm PLL OSC



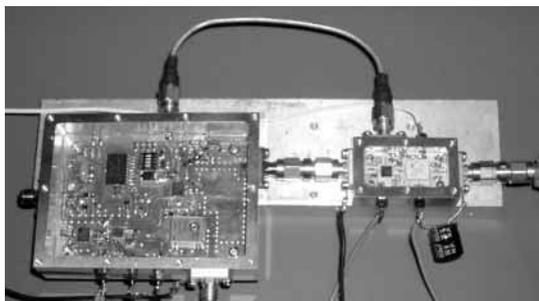
〈写真1-8〉 24GHz 10mW PLL OSC



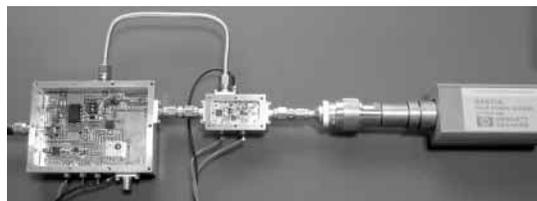
〈写真1-9〉 24GHz 300mW PLL FM送信機 (Hittite社デバイス使用)



〈写真1-10〉 24GHz 1W PLL FM送信機 (Avago社デバイス使用)

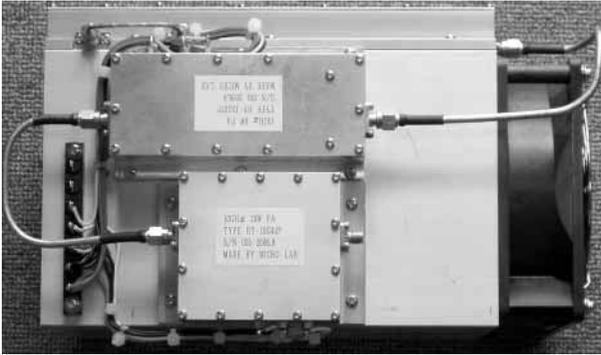


〈写真1-11〉 24GHz 1W PLL FM送信機 (Eudyna社デバイス使用)

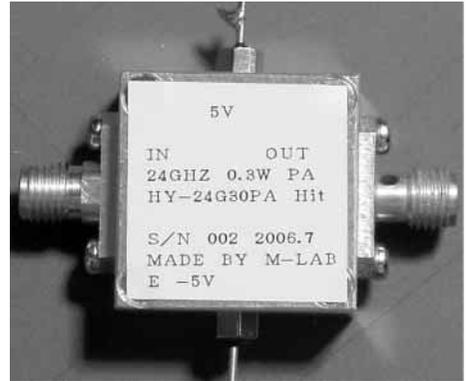


〈写真1-12〉 5.7GHz 1W PLL FM送信機

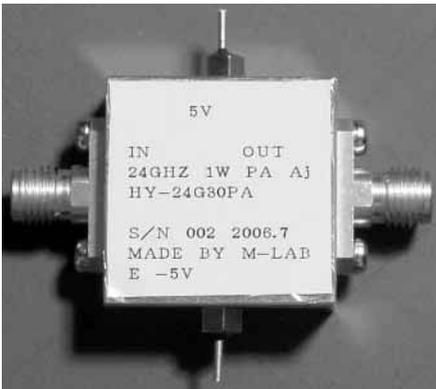
実際の送信装置は、IF (Inter Mediate Frequency; 中間周波数) の、比較的低い周波数でデジタル変調した信号を局発 (LO) とミキシング (混合) し、目的周波数にもちあげる例が多くなっています。ミキシングには、多くの利点があり、受信系などにも応用可能な DBM (Double Balanced Mixer) を採用しました。



〈写真1-13〉 9.8 GHz 25 W パワー・アンプ (下の中央)



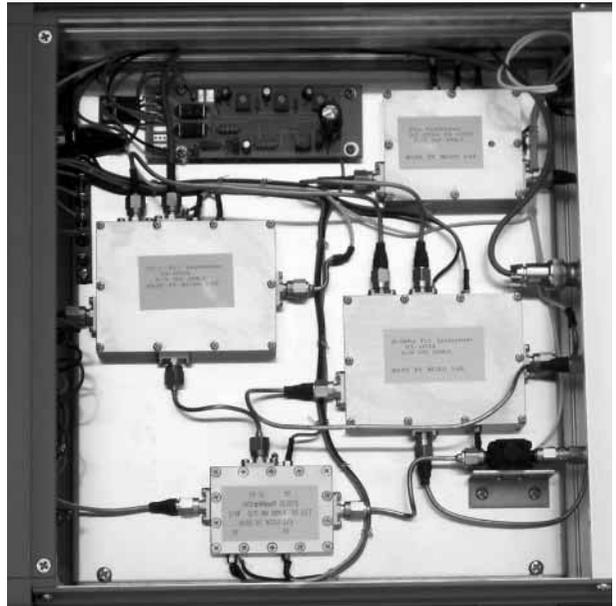
〈写真1-14〉 24 GHz 300 mW パワー・アンプ (Hittite 社デバイス使用)



〈写真1-15〉 24 GHz 1 W パワー・アンプ (Avago 社デバイス使用)



〈写真1-16〉 24 GHz 1 W パワー・アンプ (Eudyna 社デバイス使用)



〈写真1-17〉 13 GHz VSAT 500 mW PLL BPSK 変調送信機