

第5章 スペクトラム・アナライザを使った デジタル変調信号の解析方法

デジタル変調とそのパラメータ

小室 貴紀
Takanori Komuro

デジタル変調のおさらい

デジタルIFを持つ最新のスペクトラム・アナライザは、以前のスペクトラム・アナライザと比較して、大幅に機能が強化されています。携帯電話などで使われる、複雑な変調方式を使ったデジタル通信の品質評価を行うこともできます。この種の評価では、周波数ドメインでの解析だけが行われるわけではないので、「スペクトラム・アナライザ」という呼び名は、すでに適切ではないのかもしれませんが、そのため最近ではこのような測定器を「シグナル・アナライザ」と呼ぶこともあります。現状では、この2種類の呼称が使われており、時には誤解・混乱の原因にもなります。

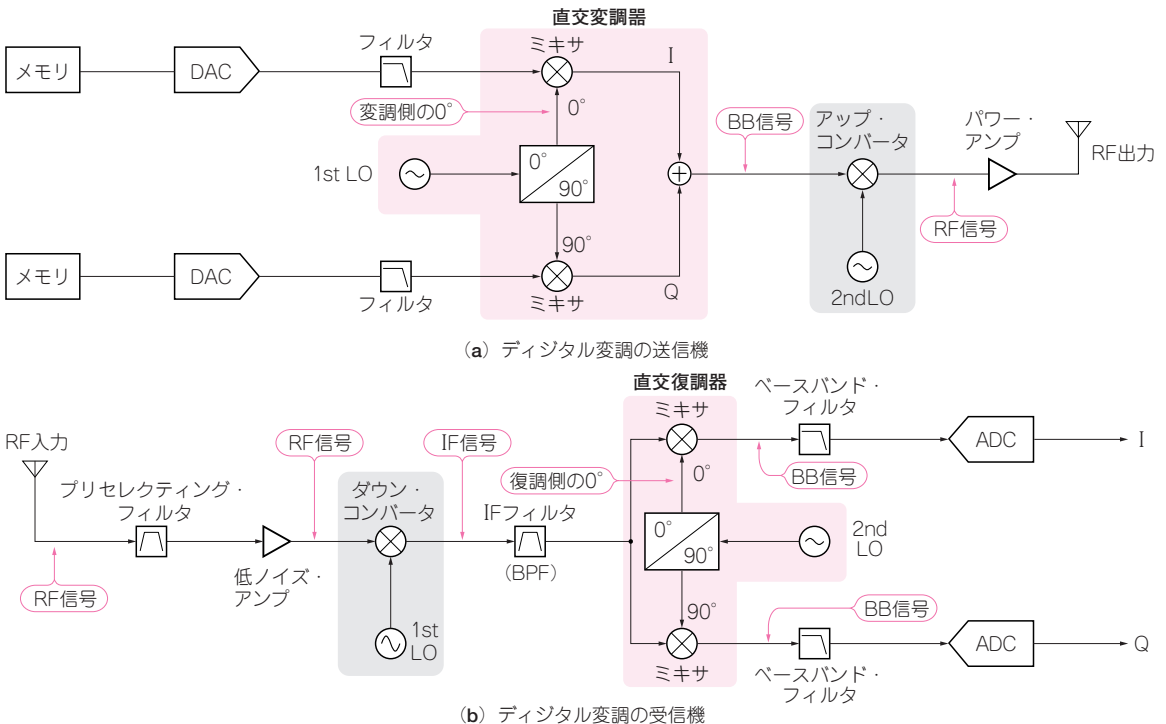
この特集では、原則としてスペクトラム・アナライザという呼称に統一して表記しました。

さて、この章以降の最大の目的は、スペクトラム・アナライザを使ったデジタル変調信号の解析方法について解説することですが、本題に入る前に、デジタル変調そのものに関して、少し復習しておきます。

デジタル通信の中のアナログ量

RF はアナログ

図1は簡略化したデジタル通信システムのブロック図です。この図のどの部分がアナログで、どの部分がデジタルかを考えてみましょう。



〈図1〉 デジタル変調用送受信機のブロック図

まず、データが電波として空中を飛んでいる部分では、信号は電界強度の連続的な時間変化に対応しており、アナログ的な量です。「RFはアナログ」、このことは今後も変わらないでしょう。

デジタル表示のパワー・メータを使って送信機の出力を測定すると、結果はデジタル的に現れるでしょう。しかし、それは表示方法の問題であり、本質としては、あくまでアナログなのです。

■ ベースバンド構成に応じた測定方法が求められる

● アナログ処理かデジタル処理か

ではIF段以降のベースバンド(BB)部分、例えば図1(b)のIFフィルタはアナログでしょうか？ デジタルでしょうか？ これは構成によります。

図1(b)の構成ではアナログのように見えます。一方、第4章で、デジタルIF方式のスペクトラム・アナライザを説明しましたが、そのIF部のBPFは^{Band Pass Filter}デジタル・フィルタで実現されていました。このBPFがアナログで実現されていても、デジタルで実現されていても、システム全体の中での役割は変わりません。ですからアナログ回路によるBPFの動作を理解していれば、システムの機能を理解するうえでは十分だといえます。同様にデジタル信号処理によるBPFの動作を理解しているだけでも、全体の機能を把握することは可能です。

● アナログ回路かデジタル信号処理かで測定手段が大きく異なる

このBPFを実際に設計して特性を確認する場合には、アナログ回路で実現されているかデジタル信号処理で実現されているによって、対応のしかたは大きく異なります。

アナログBPF回路の場合、周波数特性を確認するにはネットワーク・アナライザを使うのが一般的です。オシロスコープや、温度特性を確認するための設備の出番もあるかもしれません。

一方、デジタル信号処理によるBPFの場合、ネットワーク・アナライザを持ってくるのは見当違いです。デジタル信号を扱えるロジック・アナライザを使うことになりそうですが、ソフトウェアによる仮想的な測定器でも目的を果たすことができるかもしれません。この仮想的な測定器には、よく知られた別名があり「シミュレータ」といわれています。

さて、デジタル通信システム用の測定器を解説することが、この記事の目的です。しかし扱う信号がアナログであるかデジタルであるかによって、同様の機能を持つブロックでも、測定手法がまったく異なります。だからこそ、システム全体のブロック図のなかで、どこがアナログ量で、どこがデジタル・データ

であるのかを確認することが重要なのです。

デジタル変調の基礎知識

さて、測定器の話に入る前に、デジタル通信で使われている変調方式について、復習しておきます。これらのデジタル通信で使われる変調方式については、本誌「RFワールド」の過去記事でも取り上げられていますし、変調方式の優劣を論じることがこの特集の目的でもありません。そこでごく簡単に、用語の確認程度の説明で済ませることにします。

■ 直交変調器

基本的な変調方式として、ここではQPSK(直交位相変調)を考えます。図1(a)には、基本的な直交変調器が含まれています。この図は、第2章の図13と本質的に同じものです。図には2系統のDACからミキサに至る経路があります。DACに入力されるデジタル信号は、通信の内容により決まるものです。どちらのDACも、入力されデジタル信号に対応した電圧を発生させます。

DACからアナログ・フィルタを通してミキサに至る各々の信号は、それぞれI信号、Q信号と呼ばれ、 90° 位相の異なったIF信号で変調されます。

その結果を加算してベースバンド信号(BB)となります。このBB信号を搬送波の周波数でアップ・コンバートし、パワー・アンプ(PA)とアンテナを通して電波として放出します。

図1(a)の構成では、DAC以降の部分がアナログになります。

■ IQ平面上での理解

直交変調の信号の動作を説明するのに、図2に示すIQ平面が使われます。IとQは互いに独立した量ですから、直交したI軸とQ軸を使って、平面上の点として表現できます。

今、I側DACが出す電圧が V_I 、Q側DACが出す電圧が V_Q の状態を考えると、BBの出力はそれを合成したもので、図のA点に対応します。A点に対するコード、例えば(0, 1)を決めておけば、そのコードを表現することが可能です。今はQPSKを考えているので、IQ平面上で表現すべきコードは4種類だけです。

ここで注意してほしいのは、DACに入力されるデジタル・データと、A点が表現しているコードは、対応関係はあるものの、別の量であるということです。

ちなみに、2系統のDAC出力を軌跡を含めてIQ平面上で表現した図3(a)をベクトル図といいます。また途中の軌跡を省略して、コードを表現すべき点だ