

# 第 1 章

## イントロダクション

見  
本

Hank Zumbahlen / 訳：藤森弘己

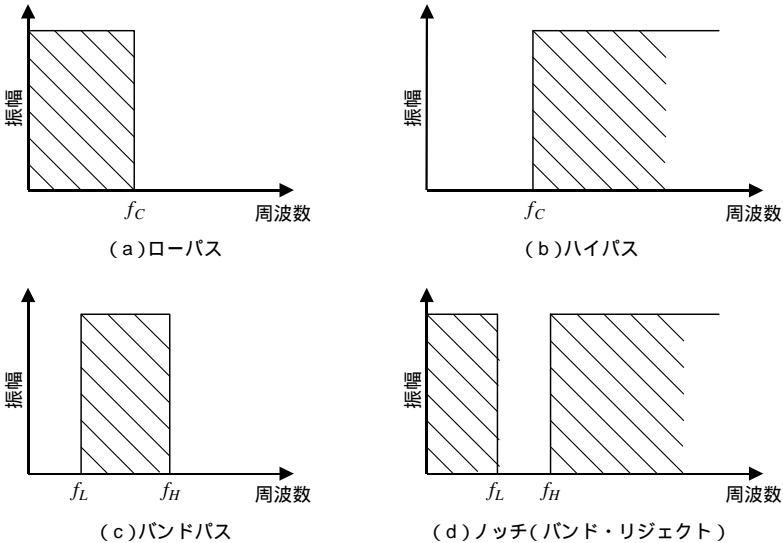
フィルタ (filter) は、信号に対して周波数に関わる処理を行うネットワークです。フィルタの基本的概念は、インダクタンス (誘導成分) やキャパシタンス (容量成分) によるインピーダンスが、周波数に応じてどのようにふるまうかを検証することにより説明できます。たとえば、シャント側が誘導性 (リアクティブ素子) である分圧器を考えてみます。周波数が変わればそれに連れてリアクティブ・インピーダンスも変化し、分圧器の比率も変化します。このメカニズムは周波数変化に起因する入出力の伝達特性の変化を引き起こし、これは周波数レスポンス (周波数応答) として規定されます。

フィルタには、多くの実用上のアプリケーションがあります。たとえば、簡単なシングル・ポール (単極) のローパス・フィルタ (積分器) は、しばしばアンプの高域ロールオフ特性での位相シフトによる発振を安定化するために用いられます。また、やはりシングル・ポールのハイパス・フィルタは、ゲインの高い回路や片電源回路において DC 成分を取り除くために使用されます。

この例を無線受信機の中に見ることができ、必要とする信号帯域を通過させて増幅し、それ以外を減衰させる動作をしています。またデータ・コンバータ回路では、A-D コンバータ・システムにおいてエイリアシング (信号の折り返し) の影響を抑えるために用いられています。あるいは、D-A コンバータによる波形再生システムでは、広帯域の不要成分、たとえばサンプリング・クロックやその歪み成分、出力波形の平滑化などのために、フィルタが使われています。

フィルタ理論に関しては数多くの参考文献がありますが、ここでは数学的な訴求であるラプラス変換や複素数による極の計算などのもろもろのことは必要最小限にとどめることにし、深くは取り上げません。これらはフィルタの効果や、安定性の検証について説明するには適切ですが、多くの場合はその周波数領域における機能の検証のほうがよりわかりやすいものです。

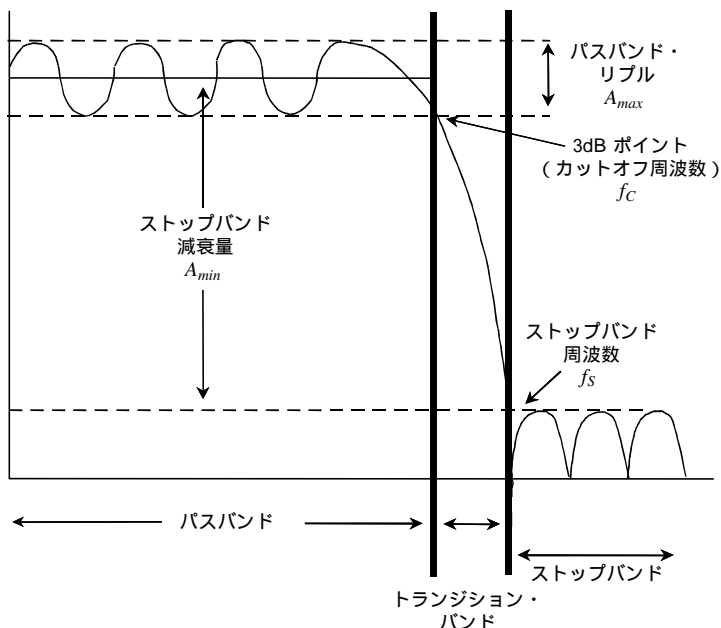
図 1-1 フィルタの理想応答特性



理想的なフィルタは、注目するパスバンド(passband ; 通過域)における振幅方向の応答がユニティまたはある一定のゲインで、それ以外のストップバンド(stopband ; 阻止域)ではゼロになります。この応答が、パスバンドからストップバンドに切り替わる周波数を、カットオフ周波数(cutoff frequency ; しやたん遮断周波数)と呼びます。図 1-1(a)は、理想ローパス・フィルタ(lowpass filter, LPF)の特性です。このフィルタでは、低域がパスバンドで、高域がストップバンドになっています。このローパス・フィルタと逆の特性になっているのが、ハイパス・フィルタ(highpass filter, HPF)です。図 1-1(b)がその理想特性で、低域がストップバンド、高域がパスバンドになります。

ハイパス・フィルタとローパス・フィルタが直列につながれると、それはバンドパス・フィルタ(bandpass filter, BPF)となります。バンドパス・フィルタは、低域のカットオフ周波数 $f_L$ と高域のカットオフ周波数 $f_H$ の間の帯域の信号を通過させます。 $f_L$ 以下の周波数帯域と、 $f_H$ 以上の帯域がストップバンドとなります。このフィルタの理想特性を図 1-1(c)に示します。このバンドパス・フィルタと相補的な特性をもつのが、バンドリジェクト・フィルタ(bandreject filter, BRF), またはバンドエリミネーション・フィルタ(bandelimination filter, BEF), あるいはノッチ・フィルタ(notch filter)と呼ばれるものです。パスバンドは、 $f_L$ 以下および $f_H$ 以上で、ストップバンドはこの $f_L$ と $f_H$ の間の帯域です。図 1-1(d)に、このノッチ特性を示します。

図 1-2 フィルタの主要なパラメータ



これらの図に描かれた理想フィルタ特性は、残念ながら簡単には実現できません。パスバンドとストップバンドの切り替わりは瞬間的ではなく、ある遷移領域(トランジション・バンド)が存在します。また、ストップバンドでの減衰は無限大ではありません。実際の特性を表現する4種のパラメータを図1-2に示します。

カットオフ周波数(遮断周波数;  $f_c$ )は、フィルタの応答がある誤差範囲から外れる周波数、すなわちバターンレス応答特性では振幅が - 3 dB 低下する周波数です。ストップバンド周波数(阻止域周波数;  $f_s$ )は、応答が減衰により最小値に達する周波数です。パスバンド・リップル(通過帯域リップル;  $A_{max}$ )は、パスバンド内における応答の平坦性(リップル誤差範囲)を示します。ストップバンド最小減衰比( $A_{min}$ )は、ストップバンド内のミニマムの信号減衰比(アッテネーション)として規定されます。

フィルタ特性の急峻さは、その次数(オーダ;  $M$ )により規定されます。この次数  $M$  は、伝達特性関数におけるポール(pole; 極)の数を表します。ポールは、伝達特性関数の分母の根です。反対に、分子側の根はゼロと呼ばれます。一つのポールは、- 6 dB/oct.(周波数が2倍で振幅が - 6 dB)、あるいは - 20 dB/dec.(周波数が10倍で振幅が - 20 dB)の応答特性をもたらします。また、ゼロは + 6 dB/oct.(周波数が2倍で振幅が + 6 dB)、

あるいは + 20 dB/dec.( 周波数が 10 倍で振幅が + 20 dB )の特性をもたらします .

ただし ,すべてのフィルタがこのような特性をもつのではないことに注意してください .たとえば ,ポールだけで構成された回路( オール・ポール構成 , 回路内にゼロがない )では , パスバンド内のリプルはありません . バターワース( Butterworth )やベッセル( Bessel )フィルタはオール・ポール構成タイプで , パスバンドでのリプルはありません .

一般的に ,これらのパラメータの一つ以上は可変です .たとえば , A-D コンバータのアンチエイリアス・フィルタを設計しようとするとき , 設計者はいくつかのパラメータを想定します . どれくらいまでの信号を通すかというカットオフ周波数 , 一般的にはサンプリング・レートの半分であるナイキスト周波数をもとにしたストップバンド , そしてシステムのダイナミック・レンジや分解能により決まる最小減衰比などです . これらが明確になったら , 数表やコンピュータの設計プログラムを参照し , そのほかのパラメータ , フィルタの次数 ,  $f_0$  あるいは  $Q$  を決めます . これらのパラメータは , 各セクションのピーキング特性を決め , また各セクションに使用する素子の定数を決定します .

またフィルタは , 信号の振幅だけでなく , その位相にも影響を与えることに注意しなければなりません . 例を挙げれば , シングル・ポール( 単極 )の回路セクションは , クロスオーバー周波数で  $90^\circ$  の位相シフトを生じます . ポールが二つあれば , 同じクロスオーバー周波数で  $180^\circ$  の位相のずれを発生します . フィルタの  $Q$  は , この位相の変化率を表します . これらについては , 次章でより詳しく解説します .