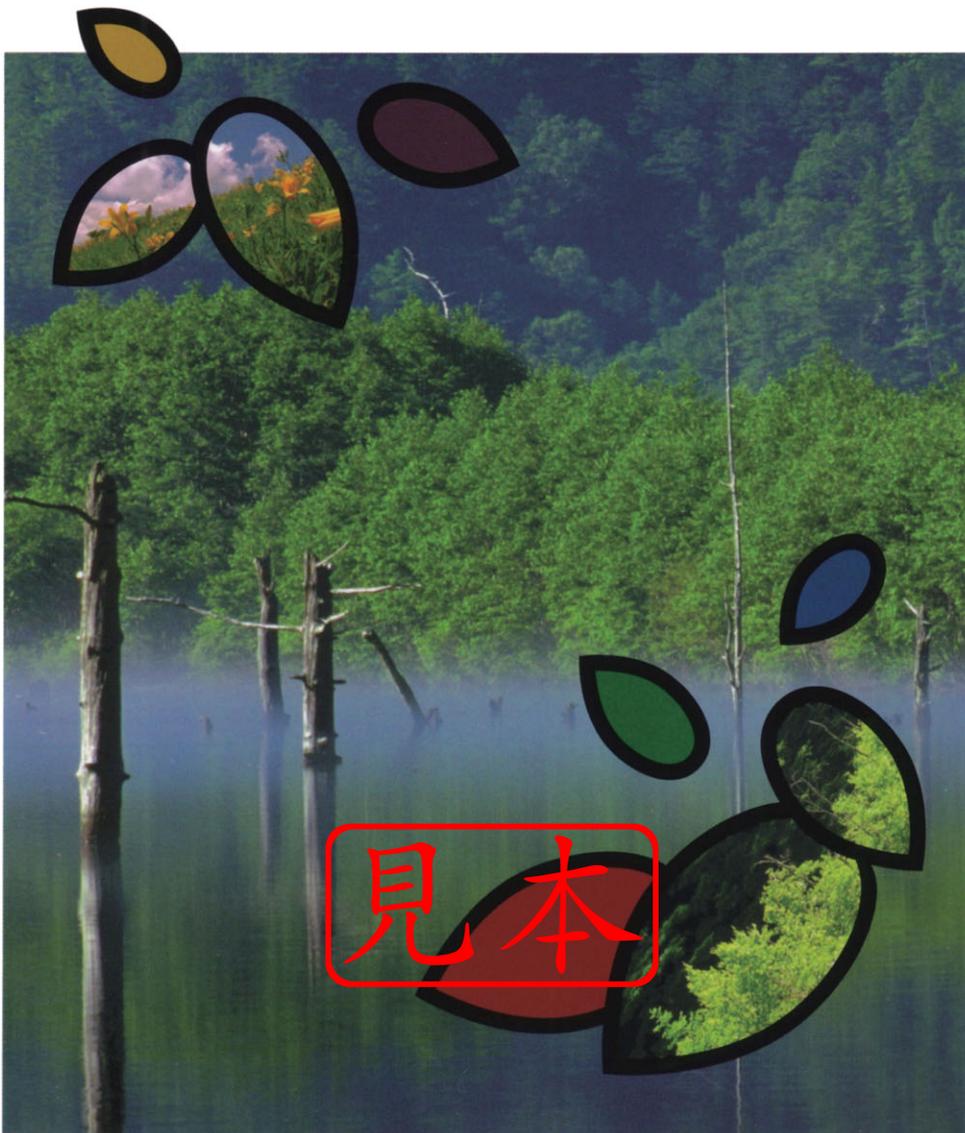


計測のための フィルタ回路設計

各種フィルタの実践からロックイン・アンプまで

遠坂俊昭 著



はじめに

本書は「計測のためのアナログ回路設計」の後編です。

前書では、センサに生じた微小信号の S/N を劣化させず扱いやすい電圧にまで増幅する技術を主眼に説明しました。本書ではそれら増幅された信号から不要な雑音成分を除去し、必要な信号のみを抽出するフィルタリングが主題です。

フィルタと一口に言ってもその種類と技術は膨大で、抵抗とコンデンサ1本ずつの CR フィルタから分析周波数が数十GHzにまで及ぶスペクトル・アナライザまでさまざまです。

本書では低周波信号処理に必要な CR フィルタ、アクティブ・フィルタ、 LC フィルタそして低周波のフィルタでは極限の Q が実現できるロックイン・アンプまでを設計法と共に実験データとシミュレーション・データを多用して解説しました。

一般にフィルタに関する本は理論から解説してあり、実際の設計に必要な事項までたどり着くのに骨が折れます。本書はCQ出版の本らしく、実際の設計に必要な事項に重点をおき説明してあります。したがって実際の設計に直ちに役立つことは受け合いです。逆にフィルタの基礎理論から学びたい方には若干物足りない面があると思います。したがって、巻末に記載した文献などでさらにフィルタの知識を深めていただくようお願いします。

ロックイン・アンプにはPLL(Phase Locked Loop)についての知識が必須ですが、PLLに使用するフィルタ定数の算出法についてやさしく解説した本があまり見あたりません。

本書ではこのPLLに使用するフィルタの算出法についても設計法と実験データ、シミュレーション・データを多用してやさしく説明したつもりですので、「PLLはいまひとつ?」と困っている方はぜひ読んでください。

また、ロックイン・アンプの使い方がよくわからないと悩んでいる物理・化学系の方にも本書をお奨めします。計測器を完全に使いこなすには計測器の原理をよく理解することが大切です。また各種実験を行う場合、単にメーカー製の計測器を購入して接続するだけでなく、ちょっとした治具を製作することで実際の精度や速度が飛躍的に改良できることがあります。

このようなときいちいちメーカーに特注で製作してもらっていたら時間もかかり得策ではありません。ぜひ本書を読んでプリアンプやフィルタの自作、外来雑音除去の技術を習得しオリジナリティの高い実験に挑戦してください。



前書「計測のためのアナログ回路設計」と本書は、CQ出版社 取締役で電子回路技術研究会の主宰者である蒲生良治氏から勧められて書き始めたものです。休日を利用し、シミュレータのためパソコンのキーを叩き、はんだごてを握りながらの作業のため、半年の予定が5年も費やしてしまいました。

辛抱強く、遅い原稿を待ってくれた蒲生良治氏と筆者の師である(株)エヌエフ回路設計ブロック 常務取締役の荒木邦彌氏、それにいろいろ助言してくれた電子回路技術研究会の同志に厚くお礼申し上げます。

またこの間の怠慢を詫びるとともに手作り餃子の上手な妻、宏子に感謝します。

1998年夏 著者



第 1 章

キーワードを理解してからスタートしよう フィルタのあらし

1.1 フィルタの特性と種類

● フィルタのいろいろ…本書では周波数領域のフィルタを扱う

フィルタ(filter)は電気の分野以外でもたくさん使われています。身近にはコーヒーを抽出するペーパー・フィルタ、紫外線をカットする UV フィルタなどさまざまです。要は不都合な成分を取り除いて、必要なものだけを選び分けるのがフィルタです。

電気の分野でも周波数領域のフィルタだけではなく、信号の到達時間により選別するフィルタや必要な時間のときだけゲートを開く時間領域のフィルタもあります。

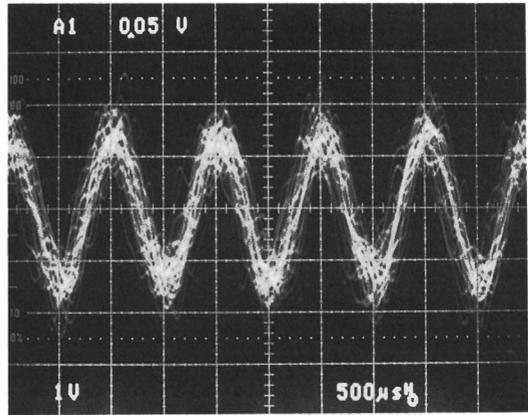
本書では主に周波数領域のフィルタで、1 MHz 以下の低周波アナログ・フィルタについて紹介します。

センサには温度・振動・光・距離など物理量を検出するさまざまな種類があります。しかしセンサからの信号には欲しい情報だけではなく、不要な雑音が入っている場合が多いのです。しかもセンサからの信号があまりにも小さいと、センサからの信号を伝送する途中で雑音が入り込んで、**写真 1-1**のように信号と雑音が判別できない、雑音によって信号の値が暴動してしまう、**信号の精度が低下するなどの症状に悩まされます**。こんなときまず登場するのが周波数領域の**フィルタ**です。

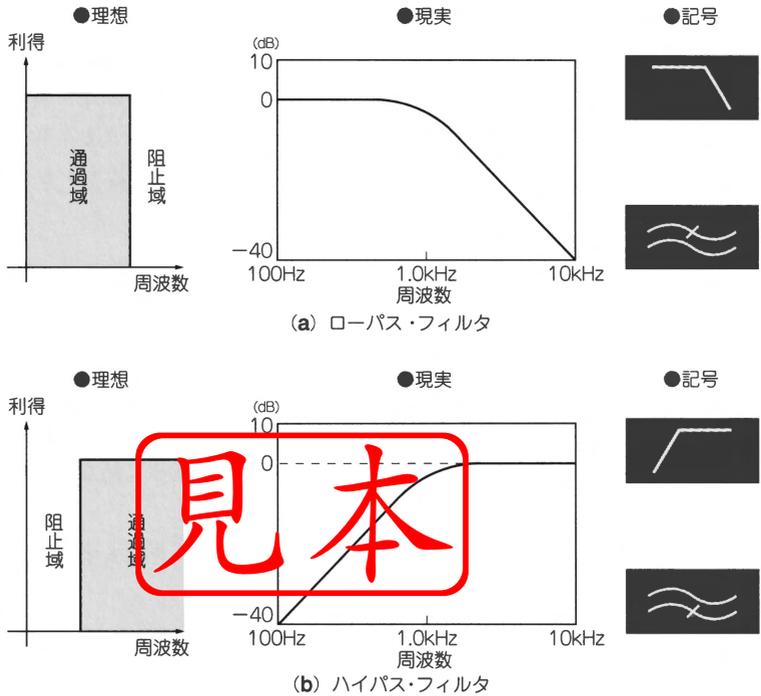
信号の周波数成分は大事に残して、**不要な雑音成分のみを除去すれば**、精度の高い信号処理が可能になります。

フィルタには**図 1-1**に示すように、どの周波数成分を選び分けるかによって主に**四つの種類**があります。

〈写真 1-1〉
センサからの信号の一例
(雑音がまざっている)



〈図 1-1〉 周波数領域のフィルタ



- ① ローパス・フィルタ(LPF と略す)…しゃ断周波数以下の成分を通過させる。
- ② ハイパス・フィルタ(HPF と略す)…しゃ断周波数以上の成分を通過させる。
- ③ バンドパス・フィルタ(BPF と略す)…特定の周波数成分(帯域)を通過させる。
- ④ バンドエリミネート・フィルタ(BEF と略す)…特定の周波数成分(帯域)のみ除去する。

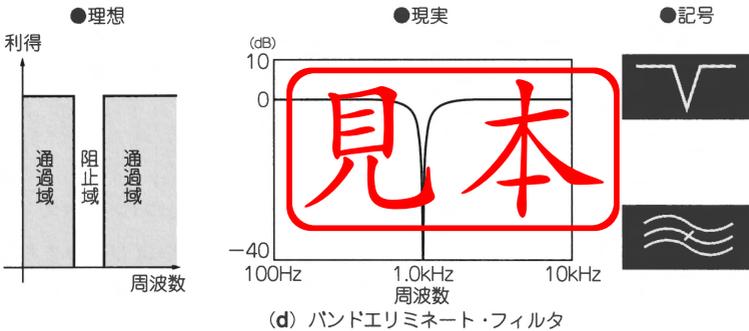
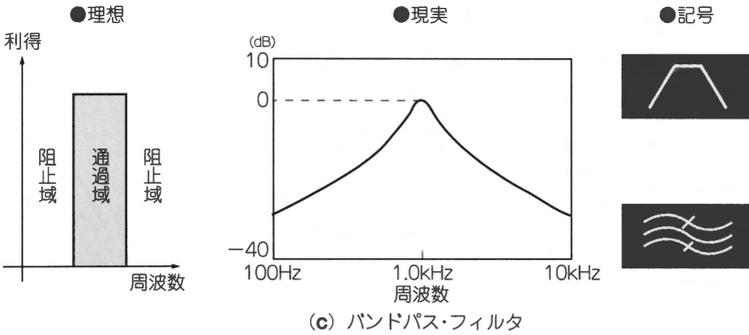
フィルタでは通過させる帯域と減衰させる帯域との境目のことをしゃ断周波数…カットオフ周波数と呼んでいます。

● 雑音とフィルタの帯域幅

フィルタの役割は「不要な周波数の雑音を除去し目的の信号を選択すること」ですが、雑音とひとくちにいてもさまざまです。

検出したい信号と除去したい雑音の周波数成分とレベルが明確な場合は、自ずから最適なフィルタの特性が決定でき、その効果も定量的に表すことができます。

しかし雑音の種類は、使用環境によってさまざまです。除去対象の雑音が明確でない場



第2章

回路に周波数特性をもたせる基本技術 RCフィルタとRC回路網の設計

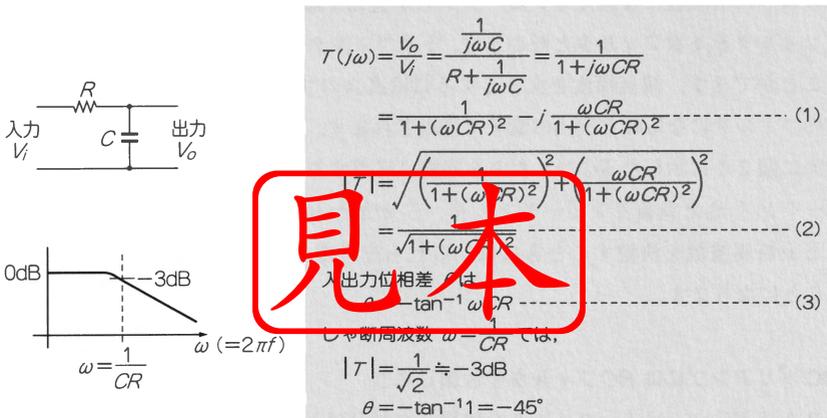
2.1 もっとも手軽なRCフィルタ

● RCローパス・フィルタの特性

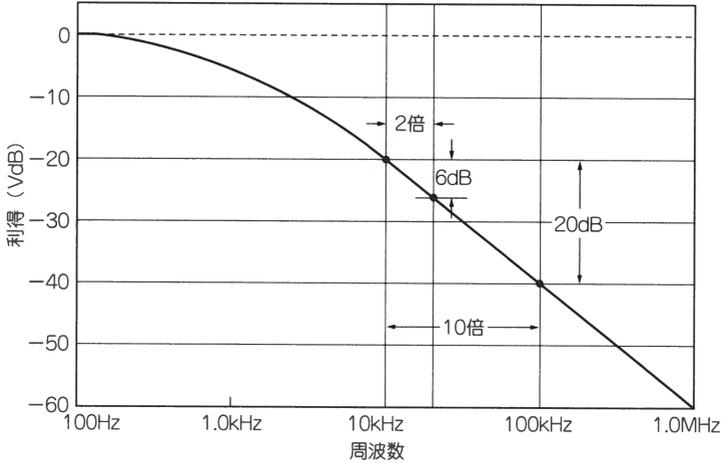
フィルタには多くの種類がありますが、いちばん簡単で多く利用されるのは図2-1に示す抵抗とコンデンサを1個ずつ使用したRCローパス・フィルタです。受動部品だけで構成してますので、パッシブ・フィルタともいいます。

抵抗は周波数によってインピーダンスが変化しませんが、コンデンサのインピーダンスは $1/(2\pi fC)$ なので周波数が高くなるほど小さくなります。

〈図2-1〉 簡単なRCローパス・フィルタ



〈図 2-2〉 - 6 dB/oct(- 20 dB/dec)の減衰傾度



これを伝達関数の形に表したのが図中の(1)式で、 j を含んだ複素数の式となります。出力振幅は(2)式で表されます。 $\omega = 1/(CR)$ のとき振幅が $1/\sqrt{2} = -3 \text{ dB}$ となり、これをしゃ断周波数…カットオフ周波数と呼んでいます。

しゃ断周波数より高い周波数では、利得が -6 dB/oct の傾きで減衰していきます。 -6 dB/oct は図 2-2 に示すように周波数が 2 倍(octave)になると利得が $1/2 = -6 \text{ dB}$ なることを表し、 -20 dB/dec は周波数が 10 倍(decade)になると利得が $1/10 = -20 \text{ dB}$ なることを表していて、どちらも同じ傾きです。

このように周波数によってインピーダンスが変化する素子(CまたはL)が1個で構成されるフィルタを1次フィルタと呼びます。1次フィルタでは減衰傾度を -6 dB/oct 以上にすることができず、減衰傾度を大きくするには高次のフィルタにしなければなりません。高次のフィルタになるほど沢山の素子で構成されます。

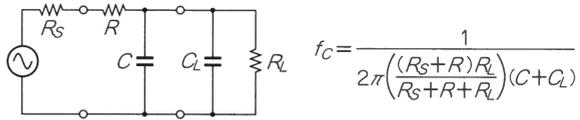
実際に図 2-1 に示した RC フィルタを回路に应用するときは、図 2-3 のように信号源インピーダンス R_s と負荷インピーダンス R_L 、 C_L が加わりますから計算は少し複雑になります。しゃ断周波数を決定するときには、これらを考慮した図 2-3 の中の式によって計算することになります。



● DC プリアンプには RC フィルタを付加しよう

図 2-4 は RC ローパス・フィルタを使用したプリアンプ回路の例です。OP アンプに不

〈図 2-3〉
実際に使用すると

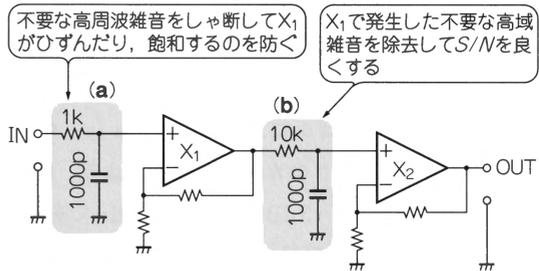


要な高周波雑音が混入すると、OP アンプのスルーレート特性のために信号がひずんだり、飽和したりすることがあります。このようなときは図中(a)の RC フィルタで不要な高域雑音をしゃ断すると、必要な信号だけを正確に増幅することができます。

この種のローパス・フィルタは非常に手軽なので、とくに交流特性を云々しない DC アンプなどでは常套手段のフィルタとして使われています。

最近では OP アンプの性能が上がり、周波数特性も向上しています。しかし回路の周波数特性が必要以上に伸びていると、OP アンプから発生する高域雑音のために S/N が低下してしまふことがあります。図中(b)の RC フィルタは不要な高域利得をしゃ断して、S/N を改善するものです。このときの改善の度合いは、第 1 章でも述べたように帯域幅比の平方根となります。

〈図 2-4〉
プリアンプへの応用

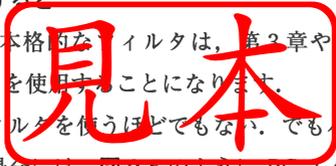


● RC フィルタを多段接続すると

鋭いしゃ断特性をもった本格的なフィルタは、第 2 章や第 4 章で説明するアクティブ・フィルタや LC フィルタを使用することになります。

しかし、アクティブ・フィルタを使うほどでもなく、でもパッシブ 1 段の RC フィルタでは若干物足りないという場合には、図 2-5 のように RC フィルタを多段接続するという簡易的な方法もあります。

ただし、この場合は信号源インピーダンスが十分に低く、負荷インピーダンスが高いと



ISBN978-4-7898-5305-7

C3055 ¥3200E

CQ出版社



定価 3,520円(本体3,200円)⑩



このPDFは、CQ出版社発売の「計測のためのフィルタ回路設計」の一部見本です。

内容・購入方法などにつきましては以下のホームページをご覧ください。

内容 <https://shop.cqpub.co.jp/hanbai/books/53/53051.htm>

購入方法 <https://www.cqpub.co.jp/order.htm>

