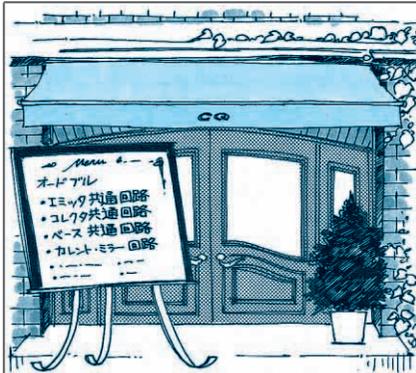


トランジスタCooking!

〈第7回〉

発振のメカニズムと防止策～その①～

柴田 肇
Hajime Shibata



OPアンプは、負帰還をかけて使うことが多いのですが、負帰還は出力信号を入力側に戻す操作のため、戻し方によっては回路が発振することがあります。ここでは発振を防ぐ方法を理解するために、発振を身をもって体験してから、そのメカニズムを調べてみます。

ガス湯沸かし器で不安定な帰還を体験

● **ガスの量を手动制御したとき湯の温度が安定しない**
皆さんの家のガス湯沸かし器は、どのようなタイプのものでしょうか。私が今住んでいる家では、液晶パネルで温度を設定するタイプのものを使っていますが、以前住んでいた家ではガスの強さを自分で調節するつまみがついたものを使っていました。

このタイプの湯沸かし器は、点火操作の後、蛇口をひねって水を出すのですが、最初は冷たい水が出てきます。しばらく出しばなしにしていると、ガスで暖められた暖かいお湯が出てきます。このお湯が好みの温度より低いと、ガスを強くして調節するわけですが、この調整がなかなか難しいのです。

冷たいからといってガスの量を増やしても反応が鈍く、しばらくは冷たい水が流れてきます。ここで、「あれ？もっとガスを増やさなきゃだめだったかな？」と、ガスを増やしていくと大変です。しばらくするとお湯の温度が上がっていきませんが、ガスを増やしすぎたせいで、今度は熱湯が出てくることになります。

「熱すぎた！」とガスの量を減らしますが、反応が鈍いためについ減らしすぎてしまいます。すると、しばらくしてから熱湯が急に冷水に変わって、「冷たい！」とガスの量をもう一度増やすことになります。このような操作をしばらく繰り返しても、なかなかお湯の温度は安定せず、しばしば惨めな気持ちになったものです。

この場合、お湯の温度の時間変化をグラフに表すと、図7-1の黒い線のようになります。本来は図7-1の青色の線のように、すばやく変化して一定値を保ってほしいところを熱すぎたり冷たすぎたりしているわけ

ですから、このグラフはガス湯沸かし器の手动制御がうまくいっていないことを示しています。

一般にこのような状態をシステムが不安定になっているといいます。この例でも波形が振動していますが、振動が持続する場合は、その状態のことを「発振している」といいます。

● 安定しない要因は「遅れ」

前項のガス湯沸かし器の温度調整操作も負帰還制御になっています。

図7-2のブロック・ダイアグラムに示すように、手で触った温度と、好みの温度との差を入力量として、熱いと感じたらガスを弱く、冷たいと感じたらガスを強くするように負帰還をかけています。

同じような経験をしたことがある人ならわかると思いますが、帰還がうまくかからず温度制御がうまくいかない原因は、湯沸かし器の反応が鈍くガスの量を変えても温度がすぐに変わらないことです。ここでは反応が鈍い理由として、加熱される場所と蛇口間の水道管が長く、遅れがあるためとしましょう [図7-2 (a)]。制御システム的には帰還路に積分器や遅延器

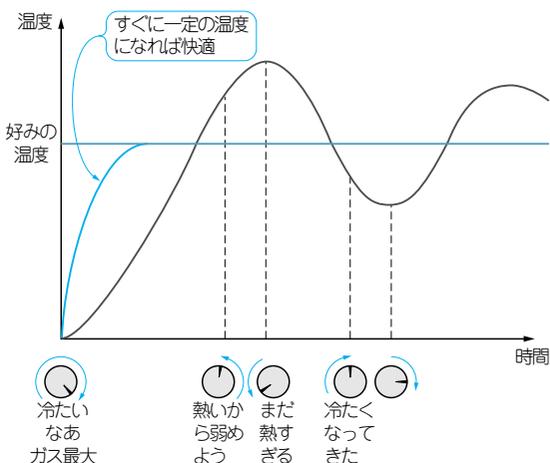


図7-1 お湯の温度の時間変化

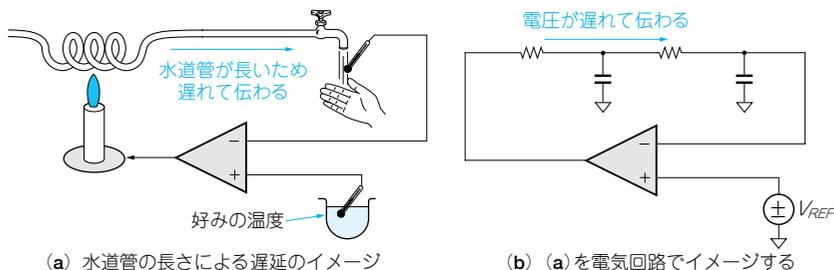


図7-2 ガス湯沸かし器のモデル

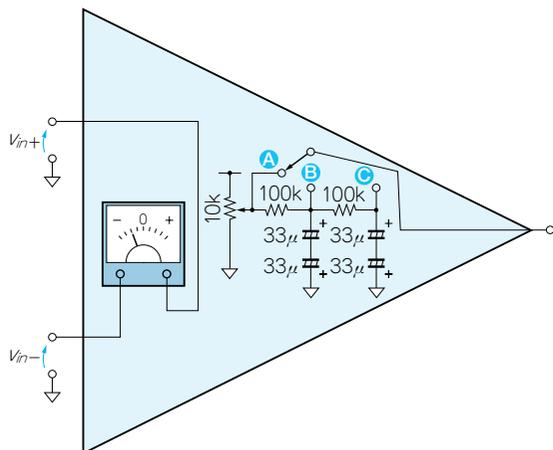


図7-3 位相遅れ付きのOPアンプ

が挿入されていることとなります [図7-2(b)].

このシステムでは遅れがあるため、しばらく待てば温度が上がるともかかわらず、人間コントローラはついつい過剰にガスを増やしてしまいます。過剰に増やした結果、しばらくして熱いお湯が流れてきます。次に熱すぎるためガスを減らしますが、同じ理由で過剰にガスを減らしてしまいます。結果、お湯の温度は一定値にきれいに収束せず、振動しているような応答になりがちです。

● うまい帰還のかけ方…ゆっくりゆっくり制御する

経験したことのある方なら想像がつくと思いますが、解決策はいろいろあります。一番シンプルなもの、ゆっくりあせらずに制御することでしょう。

ガスの量を変えた結果がわかるまでゆっくり待って、少しずつガスの量を変化させていけば最後には好みの温度にすることができるはずですが。

● 出力がどうなるかを知ったうえでかけるフィードフォワード制御

蛇足になりますが、温度を安定させる方法はほかにもあります。

毎日使っていて、ガス湯沸かし器の振る舞いが十分

わかっているならば、達人のごとくガスをばっと増やして、しゅーと戻すことで図7-1の赤い線のような応答にすることができるかもしれません。

たぶん、このように操作するときには、そのときのお湯の温度は気にせずに操作しているはずですが、つまり、これは戻ってくる情報を利用してフィードバック制御ではなく、システムの振る舞いを熟知して誤差を足しこんでいるフィード・フォワード制御というものになります。

システムの状態を完全に把握できるのであれば、フィード・フォワードが最良の制御法になるはずですが、現実には夏と冬でお湯の温度が違うなど、さまざまな外乱があるため正確に合わせたいときにフィードバック制御は欠かせません。

OPアンプになりきって不安定を体験してみよう

● 電子回路の動作の遅れ「位相遅れ」に注目！

ここまでガス湯沸かし器の話をしてきました。

電子回路での負帰還においても基本は同じで、ガス湯沸かし器の制御が不安定になったのと同じ理由によって不安定になります。電子回路においても、ゆっくりと制御してループを安定化します。

電子回路では遅延素子というものはあまり使わないので、時間遅れではなく時間遅れに似た位相の遅れがシステムを不安定にする要因になります。そのため、システムを安定化することは位相を調節することともいえます。そこで安定化のことを位相補償とも呼びます。

● OPアンプになりきる

連載第5回(2004年2月号)でOPアンプになりきって負帰還を体験してみました。その発展版としてOPアンプになりきって不安定も体験してみましょう。

OPアンプの中身として用意する回路は図7-3とし、このOPアンプで図7-4の1倍の非反転増幅回路を作ります。OPアンプ内部の電圧計は正と負の値が読めるものがいいですが、私はバー・グラフ付きのデジタル・テスタを使いました。

