



Vol.33

フィードバック制御のしくみ

🔑 キーワード フィードバック制御, 自動化, 自動機械

近畿大学 工学部
ロボティクス学科

田上 将治



【経歴・資格】

民間企業に10年間勤務の後、2014年より現職。技術士(機械部門), 博士(工学)
日本技術士会中国本部機械部会幹事

●当連載について【広島県中小企業団体中央会】×【日本技術士会中国本部】

急激な社会変化への対応が求められている中小企業に、より適切な支援が実施出来るように、広島県中央会では日本技術士会の中国本部と連携し、技術的側面の支援体制を強化しました。

組合内あるいは企業内に、自社単独で解決困難な技術的課題がある場合は、連携支援部にご相談下さい。(TEL 082-228-0926)

■はじめに

フィードバック制御は、ロボット・自動車・建設機械や加工機など自律的に動作する機械の基幹技術です。辞書でFeedbackという単語を調べてみると、“システムから外部に出力した信号が戻され、システムを制御すること”との記述があります。また、Controlという単語は、“操作する”との記載があります。組み合わせると「システムから外部に出力した信号を戻して操作すること」となりそうです。なにか難しい印象を受けますが、これは日常生活でよく見る事象です。図1は水道の水をバケツに溜めている様子で、普通は水の溜まり具合を見て、水位が低い内は蛇口をいっぱいに開き、水位の上昇とともに徐々に蛇口を閉めるのではないのでしょうか。前述の内容と対比すると、「システム」が“バケツと蛇口(水道)”、「出力した信号を戻す」が“バケツ内

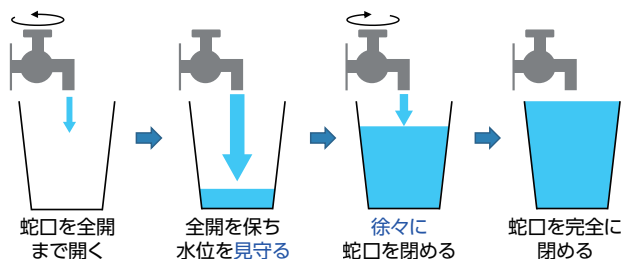


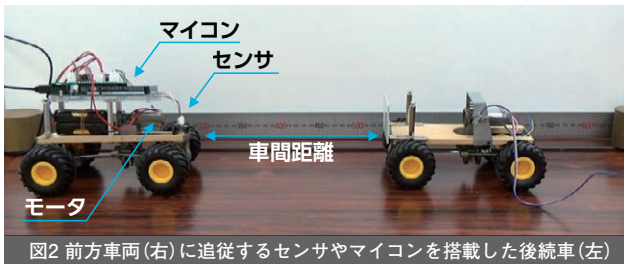
図1 バケツに水を入れている様子

の水の溜まり具合を見ること”、「操作」は“蛇口の開度調整”に相当します。つまり、対象の状態を計測しながら望ましい状態となるように調整することがフィードバック制御と呼ばれる技術の本質のようです。

ところで、この例では明確に含められませんでした。通常、「制御」と言う言葉には「自動的に」という意味合いも期待されていると思います。これを踏まえると、状態を監視しながら望ましい状態となるように「自動」で操作を行うこと、となりそうです。

■フィードバック制御系の構成と動作原理

「状態を監視しながら望ましい状態となるように自動で操作を行う仕組み」は、現代では多くの場合、センサ・計算機とソフトウェアおよびモータなどのアクチュエータで構築されています。センサが状態の計測を、アクチュエータが操作を担当します。計算機とソフトウェアは、センサからの情報に基づいてアクチュエータへの操作量を決定します。つまり、センサによる計測→計算機での情報処理→アクチュエータによる操作ということになり、この手順を短い周期で繰り返します。計算機による情報処理というと難解に思われるかもしれませんが、最も簡単な処理内容は引き算とかけ算だけです。



ここからは図2に示すおもちゃの車を題材にします。おもちゃと言ってもこの車には前方車両との車間を測る距離センサ、情報処理のためのマイコン(計算機)、車を動かすモータを搭載しており、前方車両に追従して走行できます。まず、車間距離20cmを望ましい状態(目標値)とします。もし、車間距離がこれより広ければモータに正転方向電流を流して前進、短ければ逆転方向の電流を流して後進させます。実際の車間距離はセンサにより計測、取得できます。そしてこの計測値を所望の車間距離(20cm)から引きます。計測値が22cmなら $20\text{cm}-22\text{cm}=-2\text{cm}$ となります。この目標値と実際の計測値との差は、偏差と呼ばれます。次にこの偏差に定数をかけます。この定数の意味は後述します。定数に50を選んだとすると $-2 \times 50 = -100$ となります。そしてモータには、この-100に対応する電流が流れます。符号の正負はモータに流れる電流の方向、すなわち正転か逆転か、回転方向を決めます。今、負の数の場合には車は前進するように作られていたとします。また、数値の大きさ(絶対値)はモータに流れる電流の大きさを表し、電流が大きいほどモータは力強く(大きなトルクで)回転します。今、モータには-100に相当する電流が流れるため、車は前進し、車間距離を縮めようとしています。これにより次に車間距離を計測したときには、21cmになっていたとしましょう。上記の内容に沿うと、今度はモータには-50に対応する電流が流れ、先ほどより回転が弱まりますが車は前進します。そして、車間距離がちょうど20cmになったときにモータに流れる電流はゼロとなり、車は停止します。車間距離が19cmの様に詰まっていた場合では、モータに流れる電流の方向が逆転し、車間距離を開くように動き、やはり目標車間距離に到達すると停止します。このように偏差に定数を掛けて操作量を決める手法を比例制御と呼びます。

■比例制御の課題

先の例において、車間距離に応じて前進、後進が自動的に変わるのには、引き算の効果です。それでは、定数はどのような意味合いがあるのでしょうか? この定数は専門用語では比例ゲインと呼ばれ、偏差に対する感度と見なせます。比例ゲインを大きくすればするほどわずかな偏差でも敏感に反

応してモータに電流を流し、目標状態(偏差ゼロ)に近づけようとしています。従って比例ゲインは大きいほどよいように思われますが、大きくしていくとやがて車はあたかも急発進と急ブレーキを繰り返す、振動的な挙動を示すようになり、実際には限度があります。また、上記の議論の中で、偏差がゼロになると電流もゼロとなるため、後続車が走り続けるにはいくらかの偏差が必要で、結局、目標車間距離に到達しないのではないかと思われた方がいるかもしれません。その想像は当たっていて、比例制御の範囲では一定の偏差が残ります。これは定常偏差と呼ばれ、フィードバック制御系の性能指標の一つです。この定常偏差は比例ゲインを大きくすれば減少しますが、ゼロにはならず、また比例ゲインを大きくすると上述の通り、挙動が振動的になります。この課題は、比例制御の結果に、偏差の時間微分値と時間積分値を定数倍したものを加えることで改善することが知られています。比例・積分・微分の頭文字を取ってPID制御と呼ばれており、産業界で広く利用されています。

■おわりに

フィードバック制御の原理についてお話ししました。この技術は制御工学と呼ばれる分野で体系化されていて、ここで話した内容よりもさらに進んだ手法も扱われています。この制御工学は一見、数学的な色彩が強く、嫌悪される場合もあるのですが、この数学的な取り扱いのおかげで業種を超えた様々な分野で制御技術が活用できていることも覚えておいてください。

■制御技術による今後の事業展開 【「知っ得」編集アドバイザーより参考】

本文で解説した制御技術は、家電製品から大規模なエネルギープラントに至るまで、幅広い分野で活用されています。また、近年では深刻化する人手不足への解決策としても注目を集めており、省力化や自動化を進めるロボットや自動機器などにも適用されています。

これらの設備を導入する場合は、中小企業省力化投資補助金(※)など各種支援施策等の対象となるケースもありますので、制御仕様の検討や判断基準でお困りの際は、ぜひお気軽にご相談ください。

■参考

※中小企業省力化投資補助金

HP <https://shoryokuka.smrj.go.jp/>

