

## 制御と言う考え方

### 1. 概要

工業製品を考えると、色々なところに制御機能が働いている。さらに、人間行動を理解するときにも、制御の観点をもてば理解しやすくなる。この文書の読者には、制御を通じて技術一般の見通しをよくしてほしい。

### 2. 制御の階層

制御には色々な形があるが、人間の行動と対比することを考えて、以下の通り分類した。

表 1 制御の階層

目標	制御手段と実行方針	人間（参考用）
最適化	モデル・予測を用いた計算機利用の高度制御	知識ベースの行動
順序動作	PLC などによるシーケンス制御	ルールベースの行動
目標値追従 恒常性維持	1 ループコントローラ等の使用による PID 等のフィードバック制御	スキルベースの行動
保護	保護リレー（異常検出、緊急遮断）等の自動動作	本能的な防御

歴史的に見ると、最初にワットが蒸気機関を作ったとき、ガバナ調速機で一定の回転数を得るようにしたことが、制御の始まりである。産業革命は蒸気機関とその制御から始まった。なお、保護機能は、蒸気が高圧になりすぎた時、ガス抜きをしたり、電気のヒューズを融かすようにしたりなど、機械化が進むに従って普及している。

### 3. 保護の段階

保護は、設備や関連する人間を守るために、緊急時に動作し、一般的には機械を停止する機能である。電気の例で言えば、ヒューズや NFB などが代表的なモノである。人間で例えれば、本能的に身を守る動作である。保護には、協調とバックアップと言う思想がある。

保護するために機械を停止するならば、できる限り小さな範囲でとどめたい。ある機械が電氣的にショートしたならば、その機械に入っているヒューズなどが動作して、その機械だけが止まるようにする。つまり局所の故障で、大きな被害を引き起こさないようにするのは一つの原則である。

ただし、大きな事故になってはいけなないので、何段階もの保護をかける場合がある。機械自体でのヒューズなどが、何らかの事情で動かなかったときは、その機械に電気を送っている配電盤の NFB が作動して、少し停電範囲が広がるが、電気を遮断する。これを、バックアップ機能と言う。このように最悪の事態が起こらないように、バックアップを考えるのが保護の定跡である。このようにしたら、本来の機械内での局所的検出と、配電盤での異常検出に優先度が必要である。つまり局所的な検出の方が、敏感に対応して、素早く動かないといけない。このような感度と動作時間を考えることを、保護協調と言う。協調は、システムの検討の基本的な事項である。

なお、保護の考えと関連して、フェイルセーフと言う発想がある。例えば、電気の場合には、電気を流しっぱなしにして、感電や漏電火災など大事故を引き起こすより、小さな停電の方がましと考えると、故障するならましな方の故障とする。これをフェイルセーフの設計と言う。余談だが、フェイルセーフ設計の考えは、鉄道の信号機の設計に始まる。昔の腕木式信号機は、電気が切れると腕木が降りて、停止信号になった。このように、電気や信号線が切れた時、動作を止めるなどもフェイルセーフの設計である。

### 4. 定値追従制御

従来、フィードバックを用いた PID 制御が、自動制御の代表であった。

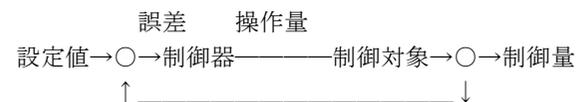


図 1 フィードバック制御

この制御形態は、人間が操作する場合と同様に、今の値が設定目標値より「大きい/小さい」に応じて、「減らす/増やす」の操作を行う。但し、このような操作で、特定の値にピタリと当てはめるには、人間の場合でもそれなりの習練が必要になる。「スキルベースの行動」と言うのは、このような作業である。これを自動化するためには、現在の誤差に比例する P 成分、今までの誤差の蓄積（積分）に対応する I 成分、今後の誤差の予測（微分）に対応する D 成分を上手に配合する PID 制御を使うのが一つの手法である。

歴史的には、ワットの蒸気機関でも回転数を用いた遠心調速器でバルブを開閉し、フィードバック制御を実現している。しかしワットの時代では、設定値で収まらず波打つハンチング現象が発生している。この解決は、19 世紀半ばにマックスウェルが調速器に関するモデル化を行うまで待たなければいけなかった。

実現方式の歴史で見れば、フィードバックと言う言葉は、実は通信のための増幅器の性能安定のために 20 世紀頭にベル研究所の研究で生まれたものである。制御と通信、電子回路の関係は、この時から密接であったが、回路的な難しい議論を、制御工学とする誤解が生まれる原因ともなった。

一般にフィードバックをとる、つまり、何かを行った後に必ず確認する、と言う発想は、このような設定値に合わせる制御だけでなく、入り切りだけの ON/OFF 制御でも必要である。また、人間の活動における PDCA サイクルでも、確認動作が大切な役割を果たしている。このように、常に行ったことの確認をこまめに行う、これは技術的な設計時だけでなく、広く一般的な生活習慣でも大切なことである。

### 5. シーケンス制御

自動制御でもう一つ大切なものは、あらかじめ決められた手順通りに行う、シーケンス制御である。シーケンス制御では、決められたとおりに動かなかったときの対応も重要である。そのため、できる限り一つの動作を行ったら、それが無事できたか確認する。そして次の動

作に移ると言う風に、フィードバックをとるとともに、異常時には速やかに対応ができるようにする。この確認のループを、交差させるとトラブルのもとになる。

シーケンス制御と関連して、重要な概念にインターロックがある。例えば、ポンプを運転するときに、取水口や排出口の弁を、開いていないといけない。一方、ポンプが停止する時には、きちんと閉まっていないといけない。このように条件を満たしていないと動かないように、インターロックをかけることも大切な仕事である。

この手順に従う動作は、人間で言えば、マニュアルの指示に従う「ルールベースの行動」である。

## 6. 最適化を求める制御

現在の自動車のエンジンでは、燃焼条件などを電子回路で制御している。この場合は、高速な反応が必要なので、従来のPID制御では対応できない。そのため、制御系のモデルをコンピュータ上で作成し、モデル上のシミュレーションによる予測による、フィードフォワードを行う手法等が使われている。

なお、制御に使うモデルの検証には、通常「モデルの精度を上げて、同じ結果が出ることを確認する」などの手段を使っている。このようなモデルの評価を、『同定』作業と言う。

## 7. 制御を通じて技術の議論

### 7-1 ハイテク飛行機的设计思想

1990年代のハイテク飛行機には、ボーイング社とエアバス社の2社の対象的な設計方針があった。

ボーイング社は、最後は人間の判断を優先し、手動操縦は自動操縦に優先する設計であった。一方、エアバス社は、飛行機の安定のような、素早い動作は機械が最後まで優先する設計とした。これは、人間の反射神経より、機械の動作の方が早いと言う思想である。確かに予め設計した範囲なら、機械の動作の方が早くて確実である。しかし、設計者の想定外に対応するなら、人間優位にしないといけない。

技術者にとり、どちらを優先させるかは、常に付きまとう悩ましい問題である。

### 7-2 技術の本質

技術者の宿命として、矛盾するニーズや、潜在的な欲求も含めて、トレードオフを考える必要がある。

技術者の使命として、製品としてきちんと物ができるようにする必要がある。このため、説明がきちんとでき、再現性が保証されているものを作らないといけない。芸術品の様に毎回異なるものは、技術者としては許されない。

このため、理論知識を活用し、規則性をしっかり見出さないといけない。また、自然の多様化に対して、近似的に対応するので、ある種の丈夫さも必要である。またその近似が間違った時の修正能力も必要である。

また、定常負荷とピーク負荷、正常動作と異常動作の両面で考えることも重要である。定常的な動作をこなすだけの能力は、異常時やピーク負荷には対応できないことがある。一方、ピーク負荷ばかり考えると、過剰設備となる。一つの考え方は、定常的に負荷に対してはあ

る程度マージンを持って運転させる。一方、ピークや異常時には少しぐらいの無理をしても運転させる。このような管理が必要である。

### 7-3 技術の適用

技術を適用するときには、できるだけ多くの人間が、考えることを少なくするように、向かう。極端な考えでは、設計と言っても組み合わせの手配だけにすべきである。雇用七時には、スピードを重視してこなす対応が必要である。一方、新規製品の開発やトラブル発生時には、深く原理まで踏み込んで本質を理解した対応が必要である。

このような理解は、常時の物作りにおいても余暇時間を見出し、できるだけ原理まで踏み込むような努力が有効になることが多い。

### 7-4 時間感覚

制御においては、どれぐらいの時間で対応すべきか、時定数のセンスが大切である。特に、瞬時のノイズはフィルターなどを上手に使うことで、影響を抑えることができる。

また、要求以上の高速反応は、トラブルの原因となることも多い。適切なタイミングが重要である。

以上