

システム制御技術の過去・現在・未来

名古屋大学工学部 教授 藤井 省三

制御は希望どおりにならない現象を、望むとおりにしようとするための行為や技術の総称であるので、人間生活のあらゆる分野、すべての面に存在している。わが国のシステム制御技術は、戦後からこれまで格段に進歩し、各種産業の自動化にとって必須の基盤技術となっている。古典制御理論から始まって現代制御理論へと進展し、現在では、ポストモダン制御理論へと発展している。一方、ファジィ制御のようなヒューマンフレンドリな制御も盛んである。

Past, Present and Future of System Control Technologies

Dr. Seizo Fujii, Professor, Nagoya University, Faculty of Engineering

The word 'control' refers to actions and technologies in general which are intended to manipulate various phenomena, proceeding not necessarily in favorable courses, so that they proceed in desired courses. As such, actions and technologies for the purpose of control are found in every field and aspect of the human life. Japan's system control technologies have achieved dramatic advancements in the post WWII era, and made indispensable bases for automation in diverse industries. Since beginning of that period, the theory of control has evolved from the classic to the modern, and to the now predominant post modern control theory. The evolution has also brought about such human-friendly control technology as fuzzy control.



システム制御の現状

わが国の機械設備の自動化は戦後の省力化、合理化の波によって急速に普及し、鉄鋼、石油プラント、電力、ガスなどの大型産業施設がほとんど自動化された。さらに、高度成長期に入るや自動化の気運は一段と高まり、システム制御技術の進展とともに、エレクトロニクス、特にコンピュータの小型化、低価格化および信頼性の向上により、各種プラントや機器は、続々とコンピュータ化され、いまではマイコンによる自動化は日常の業務となっている。

自動化の対象となるものは、時計、カメラ、VTRや自動車など、我々のごく身近の民生機器から、NC工作機械やロボットなどを内在する機械工場や化学プラントなどの生産設備にわたる広範囲な機器、設備を含み、自動化の領域は多種多様な機器から複雑で大規模なシステムへと広がっている。現在では、制御のない機器やシステムは存在しないといっても過言でない。

それら制御系の解析と設計の手法を与えるシステム制御工学は近年著しく発達し、各種メカトロ機器やシステムの高品質、高精度また安全な制御にも合理的にアプローチする手段を提供し、その要求に整合しつつある。

古典制御

自動制御は、1700年代のJ. Wattによる调速機を用いて蒸気機関の回転数を一定にすることから始まったといわれる。戦後、わが国でも自動制御の研究が盛んになり、また、比例、積分および微分要素からなるPID調

節計が市販されるようになった。1940年代の制御系は1入力1出力を中心に周波数特性に基づいて設計された。このような制御理論を「古典制御理論」と呼んでいる。PID調節計は戦後の自動制御を支えてきた。尤も、実用的な制御方式の地位を今でも維持している。これは簡単な構造と長年の経験の蓄積に負う点が多い。しかし、制御装置のデジタル化、現代制御理論の整備と時代は少しずつ変わり、PID調節計も変化を受けている。

現代制御

1950年代にはいるとコンピュータが実用化され、多入力多出力をもつ複雑なシステムを高度に制御する研究が行われ始めた。ここでは、システムの表現は入出力関係だけでなく、システムの内部状態まで表現する状態空間表現が用いられるようになった。R. E. Kalmanは、1960年にシステムを状態方程式表現することにより、可制御・可観測などのシステムの構造を明らかにし、システム制御理論における特筆すべき重要な基礎概念を確立した。このような状態方程式に関連したシステム制御理論を、「現代制御理論」と呼んでいる。

フィードバック制御系は、制御対象と制御装置（検出部、調節部、操作部を含む）からなる閉ループ構造をもっている。外乱がなく、入出力関係が明確な制御対象に対してはフィードバックのない開ループ制御で十分であり、そのような制御も広く使用されている。フィードバック制御の目的は、基本的には、(1)系を安定化すること、(2)外乱や雑音の悪影響を抑制・除去すること、(3)制御量を目標値に精度よく追従させること

である。それには、まず検出部のセンサ、操作部のアクチュエータを選定し、制御対象、操作部、検出部の動特性（数式モデル）が得られた後、全体の制御系が上記の望ましい制御特性をもつように制御装置の制御方式を決定する。これが、制御系の特性設計である。

ポストモダン制御

制御系の設計は、1入力1出力に対しては周波数線図上で比較的簡単に行えるが、入出力に干渉のある多入力多出力系に対しては、その適用はかなり難しい。そのため、1960年代から1970年代にかけて、多変数制御系に対する研究は状態空間法が主流を占めた。それには、制御対象の動特性の正確なモデリングが必要である。

モデリングには、通常、集中定数化、線形化、低次元化などの理想化と実測データの不確かさなどが含まれるので、制御対象の正確なモデルは得られず、必ず不確かさを含む。また、負荷や運転条件の変更による特性変動もあるので、不確かさや変動に強い制御系を構成することが必要である。この実用上の問題により、1980年代にロバスト制御や適応制御などの新しい制御方式が考案された。この分野を「現代」を越えた「ポストモダン制御理論」と呼ぶ人もいる。

ヒューマンフレンドリな制御

コンピュータの急速な発展により、現代制御理論やポストモダン制御理論の実用化が進み、その効果が実証されてきている。しかし、これらの新理論のいずれもが、依然として制御対象の数式モデルに基づいている。現実には、数式モデルが作成できない制御分野や数式モデルが複雑すぎて使用できない制御分野も少なくない。このような分野では、熟練オペレータの勘や経験に基づいて運転せざるを得ないために、それらが重要な役割を果たしている。流行語のトップにさえ選ばれた「ファジィ」を用いた制御である。もともとファジィ制御は制御におけるエキスパートシステムと考えられるものであり、エキスパートシステムの最初の試みの一つが実はファジィ制御であった。それは熟練オペレータと同じような巧妙な制御をコンピュータで実現しようとするものである。当初はセメント生成炉や地下鉄の自動運転に適用され、最近では、我々が日常接する洗濯機、ビデオカメラ等の家電製品にも使われ、一種のファジィブームの様相を呈している。

最近、製品の多様化、製品ライフサイクルの短期化の傾向は益々強くなり、このためFA（Factory Automation）のシステム化に当たっても、運用、ライン変動に対する柔軟性、部分FAからトータルFAへのシステムの拡張性、製品の早期立上げのためのシステ

ム開発期間の短縮、さらにソフトウェアとしては、簡単に制御規則のシステム化ができ、頻繁なライン変更、運用変更に対処できる柔軟性と拡張容易性を備えていることが要求されている。それらのニーズに対して、知識工学を応用した制御が利用されている。

事象駆動形制御

FAや自動化機器の順序・条件制御で多用されているシーケンス制御は、制御理論という場合、除外されるのが普通である。フィードバック制御が対象とするシステムが連続事象システムであったのに対し、シーケンス制御が対象とするシステムは離散事象システムである。例えば、FAにおけるように、いろいろな被加工物が各工程を順に進みながら各段階固有の操作をうけて、製品を組立て生産しているシステムは離散事象システムである。そのようなシステムでは、その構成要素に対して事象がいたるところで離散的・分散的に発生し、その内部状況を変え、それが新しい事象発生のための条件となる。このようにして大局的にはシステムの状態を変えて行くが、その事象は非同期的にかつ並列して独立に生起し、場合によっては事象間に競合を生ずる。また必要に応じて相互に同期をとる必要がある。このような問題を取扱う理論を構築することは、健全な自動化の発展のために必要であり、また、その行方に制御理論の分野で非常に実り豊かな成果が期待できると考えられている。

将来的展望

生体の持つ優れた機能の本質的解明を中心とする国際的な基礎研究を推進し、国際社会へ積極的に貢献しようとする構想（ヒューマン・フロンティア・サイエンス・プログラム）がある。この分野における研究は、現在、急速な発展が期待されており、将来、この分野から得られる知見から、生体機能を模倣する技術の分野などで革新的な技術が生まれると考えられている。今後の科学技術発展のシーズとして、極めて高いポテンシャルを有している。例えば、脳・神経系あるいは免疫系のように、複雑かつ膨大な要素が各々自律的に活動するとともに、相互に協調し合い、全体としてより高度な機能を発現させ、統御していくメカニズムの解明は、制御・情報処理の新しい原理の創出に大きく貢献すると思われる。

従来の自動化技術に加えて、人工知能や知識工学、またニューラルネット技術など、人間の知的活動のコンピュータ化に関する技術が基礎技術になると予見される。それらの分野の成果も、制御理論およびコンピュータのさらなる進展とともに、システム制御技術の将来の発展に大きく寄与すると思われる。