

制御に対する私見



羅 正 華*

1. はじめに

制御理論の分野で広く活躍されておられるアメリカカリフォルニア工科大学のJ. Doyle助教授が最近出版された著書の冒頭に制御について次のように語っている¹⁾：

Without control systems there could be no manufacturing, no vehicles, no computers, no regulated environment-in short, no technology.

多少言い過ぎのところがあるにしても、自動制御が技術発展、社会生活にもたらしたインパクトが大きいことは今や誰もが否定できないであろう。そして、これからもますますその重要性が認識されるに違いない。環境に応じて、人間のように適切に対応して欲しいからファジーの洗濯機や掃除機が現われた。学習能力のある機械を作りたいからニューロの新登場である。人間を単純、退屈な繰り返し作業から解放して、高速でしかも正確に仕事をしてくれるロボットの制御が問題となる。人間のように目で見、頭で考えてから行動するロボットの実現にはセンシング技術や人工知能が不可欠である。宇宙基地や大型宇宙構造物を建設するために、軽量化を図らなければならず、これによって起きる構造物の材料自身の柔軟性に起因する振動を抑制する制御問題はここ十数年多くの関心を集められた。このようにわれわれの日常生活から巨大

な宇宙まで制御技術の果たす役割が大きく、それがまた人間の欲張りに比例して発展してゆくであろうと信じている。

制御理論は多くの制御対象の持つ共通性を抽出して体系化したものであり、近年その発展にはめざましいものがある。本文は題目の示す通りに制御のこれからの発展に対しての自分なりの考え方を述べるにすぎないことを断っておく。

2. 毛沢東思想と制御理論の発展

何十年も中国を支配したあの偉大な思想家毛沢東は沢山の著書を残しており、すばらしい独特の哲学の持主であった。われわれは幼い頃から勉強させられ、ちゃんと理解できなかったのも当然であるし、またここ十年あまり再読したこともなかったが、それでも印象深かったものは今もはっきりと覚えている。毛沢東は《矛盾論》の中につぎのような主張を詳しく分析している。

- 1) 物事（中国語では“事物”）の発展は一直線的ではなく、螺旋的である。
- 2) 物事はすべて対立（矛盾）する両面から成り立っており、それらがまた特殊性と共通性を持つ。

これらは制御理論とどういう関係があるかを次に考えてみよう。制御のもっとも基本的な考え方はフィードバック（feedback）で、1788年にWattの遠心调速機に起源をもつとされている。それは被制御量を検出して設定値と比較する。その差によってアクチュエータを動かす仕組みになっている。エアコンを例にとつて考えると、人間が室温（設定値）を設定して、温度センサーが実際の室温（被制御量）を検出し、その差を少なくするように内蔵のコンピュータが調節している。もっとも簡単かつ有効な調節器は

*Zheng-Hua LUO
1962年2月14日生
1990年大阪大学基礎工学部制御工学科卒業
現在、大阪大学基礎工学部制御工学科、助手、工学博士、制御工学、
TEL 06-844-1151
EXT.4612



いわゆるPID*制御器というもので、今でもさまざまな所に大切に使用されている。PID制御器の一つの特徴は制御対象の数学モデルがきちんとわからなくともうまく制御できる場合が多いことである。今世紀の60年代になって、制御理論に一気に変化が起こり、制御対象の数学モデルに基づいた解析的制御系設計法が誕生し、状態フィードバックや最適レギュレータなどがその代表である。確かに制御対象の数学モデルがきちんとわかれば、その定量的情報を制御系設計に生かして従来PIDで制御できなかった対象もうまく制御できるようになった。しかし、現実には大半の制御対象の定量的数学モデルを正確に得るのはほとんど不可能だと言える。そこでいわゆるロバスト (robust) 制御というのがこの理論と実際のギャップを少しでも埋めようとして生まれて、近年研究が精力的に進められている。ただし、注意しておかなければならないのはこのロバスト制御を用いれば何でもできるというわけではなく、真の制御対象のモデルが設計に用いる定量的モデルとの差が大きかったら制御できないことがある。言い換えれば、ロバスト制御も補助的な役割を果たすにすぎない。例えばロボットのような制御対象では数学モデルが複雑な上に、未知の要因も多いのでモデルに基づいた制御はその複雑さやコスト・パフォーマンスの角度から見ればあまり望ましいものではない。しかし、さらにロボットの数学モデルをきちんと解析すると、その内部の関連と本質がわかってきて、これらの特徴を生かしてロボット独特の適応制御則やPID型でかつロバストな軌道制御則が発見された²⁾。

このように、制御理論においても、最初にモデルをまったく考えないPID制御から出発して、定量的モデル情報を用いた現代制御理論に到達し、モデルの構造（以下これを定性的モデルと呼ぶ）情報を生かした単純かつロバストな制御器設計の方に発展しているように思われる。これはまさに前に述べた毛沢東思想1)である。すなわち、物事は周期的に発展しているのであ

る。注意しなければならないのはこのような周期運動は決して簡単な繰り返しではない。周期運動の後と前と比べて物事に対する認識が一層深まり、物事の特異性をはっきりと把握しておかないと進展が得られないのである。この特殊性こそ毛沢東思想2)の強調する所である。

筆者もこのような考えのもとでフレキシブルシステムの制御を考えたことがあるので、少し述べたい。なお、ここで言うフレキシブルシステムとはフレキシブルロボットアームとフレキシブル宇宙構造物を意味するもので、前にも述べたようにロボット運動の高速化と宇宙構造物の大型化に従ってその制御方法の研究が急がれている。この問題の提出から今まで二、三十年余り経っていて、その間、偏微分方程式で表わされる数学モデル（無限次元システムの一つ）を何らかの手段で近似し有限次元として取り扱い、現代制御理論を適用した研究が続けられ、実験結果も数多く報告されているが、その背景にはさまざまな苦勞が隠されていて、実用化はなかなか困難のようである。最近になって、筆者が問題の特異性に着目して、もう一度問題の原点にもどり、問題自身の持つ特徴を究明した結果、簡単な制御則でうまく制御できることを理論的かつ実験的に明かにした³⁾。

3. おわりに

毛沢東思想の教えのように、制御理論はこれからも定量的モデルに基づいた設計から定性的モデルに基づいた設計に発展し、具体的な問題の特異性を認識し、利用してはじめて満足のできる制御系ができあがるであろう。もちろん、定性的モデルは、自然の複雑さと多様性、そして人類の自然現象に対する知識などの制限を受けて、必ずしも容易に得られるわけではないが、制御研究者として常にこのことを意識し制御問題を解決していくべきと思われる。近い将来、ニューロもファジーも“万能薬”でなくなり、対象の定性的モデルの特徴を解析することによって、何に使ったら有効か何に使ったらあまり効果がないかもはっきりしてくるに違いない。今後の進展に期待したい。

最後に、本欄への執筆の機会を与えて頂いた

* P=比例, I=積分, D=微分。偏差記号にそれぞれ比例, 積分と微分を加えて得られたものを制御器の入力信号とする。

大阪大学基礎工学部の駒沢勲教授に感謝申し上げます。

参 考 文 献

- 1) John C. Doyle, Bruce A. Francis, and Allen R. Tannenbaum : Feedback Control Theory, Macmillan Publishing Company, 1992.
- 2) 有本卓：ロボットの力学と制御，システム制御情報学会編，朝倉書店，1991.
- 3) 羅 正華：“歪みフィードバックによるフレキシブルロボットアームの制御の理論的実験的考察”，計測自動制御学会論文集，Vol.28, No.1, 1992.

