



談 話 室

制御屋から見たエネルギーシステム

Energy System from Control Engineer's Perspective

前 匡 鴻*

Masahiro Mae

制御工学の学問体系では、人間の持つ様々な目的意識に合わせて、それを実現する最適な判断を自動で行うように、数学と物理を駆使して様々なアルゴリズムを制御器として設計する。制御工学は、事実間に存在する一般的法則を求めようとする自然科学とは対象的な、極めて能動的な工学的学問であると印象付けられる。私自身の専門は制御工学とその産業応用であるが、東京大学大学院工学系研究科電気系工学専攻の堀・藤本研究室で博士号を取得し、翌月2023年4月より同専攻の松橋研究室に助教として所属してからは、制御工学の知見をエネルギーシステムに応用する研究に従事している。松橋隆治教授の恩師である茅陽一東京大学名誉教授も、システム制御工学を専門とし、特に社会システム、エネルギーシステムを対象とした研究に従事しており、制御理論を源流とし、その理論体系を社会問題の解決に向けて応用した数多くの研究成果を残している。

制御工学という学問分野は、応用数学から発展した「数学者」的な学問である一方で、電気機器や産業機械、熱システムから化学プラントまで様々な実社会の制御対象が所望の動作をするように泥臭く仕様を合わせ込む「制御屋」的な側面も持つ。私自身は「制御屋」を自認しているが、制御屋から言わせれば、世の中に完璧なモデルというものには残念ながら存在しない。制御の目的に合わせてできるだけシンプルなモデルを適切に設計し、そのモデルを実際のデータから合わせ込むことで、制御理論と実対象を可能な限り結びつけ、問題解決を図ることが制御屋の仕事である。

エネルギーシステムの制御の中でも、とりわけ実時間性が求められる電力システムの制御においては、時々刻々と変化する需要と供給をいかに一致させるかが基本問題である。エネルギーを消費する需要側も様々であり、エネルギーを生産する供給側も多様であるから、エネルギーシステムは本質的に多変数系である。制御屋の視点からみれば、制御対象は入力と出力が1対1対応しており、それらが相互干渉しない1入力1出力系であることが望ましい。しかし、実際は多数の需要と供給が互いに絡み合いエネルギーを融通している。このように、エネルギーシステムは制御対象の構造一つとっても非常にチャレンジングな系である。

交流電力システムにおける回転機からなる系の周波数安定化を需要と供給のレギュレータ問題として捉えると、トルクを入力とし回転機の角速度を出力とする系は、イナーシャを分母の1次の係数に持つ伝達関数で表される。したがって、大きなイナーシャに頼ったシステムの安定化は、開ループゲインをできるだけ小さくして閉ループ安定化を実現するスモールゲイン定理で解釈できる。すなわち、火力機の減少で問題視される慣性力の低下はイナーシャの減少、つまり、開ループゲインの増大であり、スモールゲイン定理に基づいたゲイン安定化が難しいことを意味する。線形制御理論に基づくシステムの安定化は、スモールゲイン定理によるゲイン安定化だけでなく、ナイキスト安定性定理による位相安定化も存在するが、そのためには開ループ系の位相情報が必要であるため、多変数系で通信などの時間遅れも多く含む電力システムをいかに位相安定するかは、系統安定化の一つの解決策であると共に大きな課題である。

電力システムから少しマクロなエネルギーシステムまで視野を広げると、需要と供給は毎秒、毎分、毎時、毎年的一致させる必要があり、複数の異なる時定数をダイナミクスとして持つ系である。このような複数の時定数を持つ系を扱う場合は、制御屋としてはカスケード制御を用いることが実用上有効である。カスケード制御では、時定数の早い変数から順に制御器を設計し、時定数の早い内側から時定数の遅い外側に向けて順にループを閉じていくように制御器を設計する。外側の制御ループを閉じる際は、内側の制御ループがどこまで制御性能を保証できるかを考慮して、その範囲内で適切に動作するように制御器を設計する必要がある。これは、エネルギーシステムの各時定数担う各プレイヤーが、自分の担当する時定数の範囲内で性能に責任を持つと共に、その限界を外側のプレイヤーに適切に伝えるコミュニケーションが大事であるということである。

このように、エネルギーシステムの制御は非常に難しい課題を多く含むが、日本における電力システムは1950年以降の制御工学の急速な発展の前から築き上げられたものであるが故に、主に用いられている制御アルゴリズムは依然として単純な物が多く、改善の余地は大きい。近年は再生可能エネルギーの導入拡大により、エネルギーの需要と供給の一致が更に難しくなっているが、その点に関する制御屋としての考えについては次の機会に述べようと思う。

*東京大学大学院工学系研究科電気系工学専攻

〒113-8656 東京都文京区本郷7-3-1

E-mail: mae@enesys.t.u-tokyo.ac.jp