

工学部電子制御機械工学科機械現象解析学講座



研究室紹介

土屋 和 雄*

工学部電子制御機械工学科は昭和61年度に新設された若い学科である。筆者はこの中で平成2年度に開講された機械現象解析学講座を企業研究所から赴任し、担当することになった。企業から大学へという異なる文化圏への移動と、機械現象解析学講座という前例のない講座の担当ということで、色々のことが未だ暗中摸索の状態である。そこでこの小文では、現在の我々の研究室の研究活動の報告ではなく、研究室のこれからの研究活動の構想を紹介し、皆様の御批判を仰ぎたいと考える。

機械工学の今後の課題の一つは、知的機械システムの設計論を構築していくことであると考えられる。知的機械システムとは、その置かれた環境を認識・理解し、その中で与えられた目標を達成する行動計画を立案し、実行する機能を持つ機械システムと定義できる(図1)。知

システムである。一般に機械システムに要求される機能が高度化すると、そのシステムは二重の意味で複雑になる。一つは、そのシステムが複雑な運動を行なわなければならないため、その機構が複雑となり力学的な自由度が増大するという力学的な複雑さの増大である。他方は、そのシステムの置かれた環境が複雑となるため、それを認識・理解する情報処理機構も複雑となるという情報論的な複雑さの増大である。すなわち、知的機械システムとは力学的にも情報論的にも複雑な大数自由度系であり、その設計論とは、与えられた機能を実現するため、この大数自由度系をいかに設計していくかという方法論である。その中で機械現象解析学はこの種の知的機械システムにおける力学的複雑さに焦点を当て、そのモデル化手法、動力学解析、及び運動制御に関する研究を行なうことをその目的としている。さてこの種の機械システムの多くは構成的には多数の剛体あるいは弾性体が、種々の機構で結合された力学系と考えられる。それ故まず、この種の力学系のモデル化が必要である。特にそのモデル化は単に動力学解析や、シミュレーションに使われるばかりではなく、運動制御にも用いられる。そのためリアルタイムで高速に計算のできる構造を持っていることが望ましい。ロボットの研究の中でこのような目的に適したモデル化の検討が行なわれている。しかしその多くは力のつり合いを逐一計算していく初等力学に基づくものが多い。よく知られているように、力学系の運動法則は解析力学として美しい理論形式にまとめ上げられており、工学においても、その整理された理論形式の故に強力な道具となっている。例えば人工衛星の軌道予測は正準理論にもとづく摂動論が、有効な手法を提供しており、又、この理論なくして

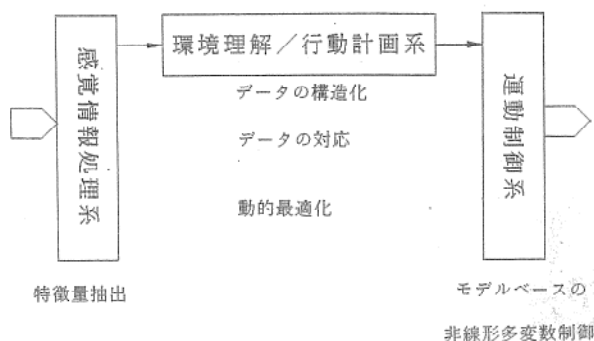


図1 知的機械システム

的機械システムとしてまず思い浮かぶのはロボット、特に自律移動ロボットであろうが、知的機械システムはロボットのみには限らない。計算機制御された大規模な生産システムも知的機械

*土屋 和雄 (Kazuo TSUCHIYA), 大阪大学工学部電子制御機械工学科, 教授, 京都大学工学博士, 機械工学

は、現在の様な高精度の軌道制御も不可能であった。このような観点からもロボット等の機械システムのモデルを解析力学的な手法で導出しておくことは重要と思われる。しかし解析力学は基本的には、質点の集合を対象としており、ここで対象とする剛体系のような広がりのある要素の集合に対しては充分にその理論が整理されていない。これは、広がりのある物体の運動学は、角速度を用いて適切に表現することができるが、角速度は動力学的には一般化座標の範ちゅうに属しない特殊な変数（擬座標）であることによる。そのためこの種の力学系のモデル化のためには擬座標を用いた Lagrange 形式を整理しておかねばならない。このような観点からまずマニピュレータの運動方程式を擬座標を用いた Lagrange 形式で定式化することから研究を開始した。得られたモデルは、系の中で生じる力学過程を反映した構造になっており、マニピュレータ独特の運動方程式のリアルタイムでの使用法である逆動力学（マニピュレータの望ましい運動を入力としてそれを実現するトルクを求める計算過程）を高速に行なうことができる。

次には、この種の機械システムの運動制御の基本的な考え方を確立しておくことが必要となる。現在のロボットは高々10数個の可動要素から構成されたシステムである。しかし将来的知的機械システムは環境の変化にしなやかに適応できる機能を必要とし非常に多数の可動要素から構成されることになるであろう。そのため基礎研究としては多数の可動要素から構成された力学系の動力学解析、運動制御について検討を行なっておくことが重要である。多数の要素から構成された物理系では、環境の変化に応じ、多様なパターン（集団運動モード）を発現し、そのパターンを通して機能が発現される。例えば、上、下面を低温及び高温壁に接した流体層では、上下面の温度差がある一定以上になるとベナール対流を生じる。そしてこの対流によって、流体層を通しての熱伝達率は飛躍的に増大する。このような開放系におけるパターン形成については、現在精力的に研究が進められており、この種のシステムにおけるパターン形成は、その系を構成する要素によらず普遍的な原理に

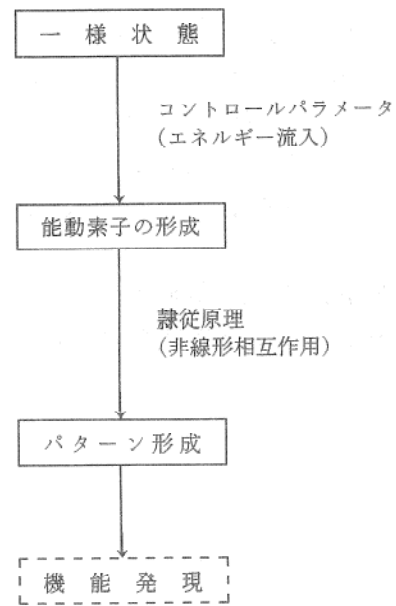


図2 複雑な力学系の動力学

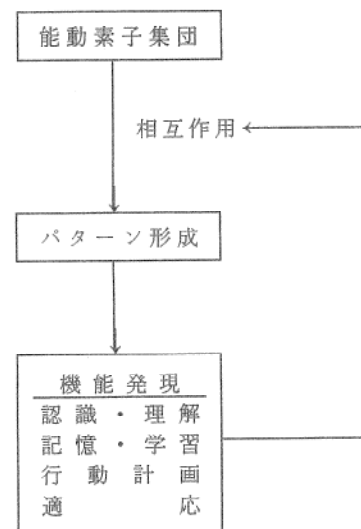


図3 複雑な力学系の運動制御のスキーム

支配されていることが明らかにされつつある（図2）。又一方、このようなパターン形成の解析に必要な数学理論も中心多様体理論等で整備されつつある。このような流れの中で、開放系におけるパターン形成の理論を工学の眼で眺め直し、多数の可動要素から構成されている機械システムの動力学解析の方法、運動制御の基本的な考え方に積極的に応用していくことは意味あることである。例えば、次のような運動制御のスキームが考えられる。すなわち、多数の可動要素間の相互作用を適切に設計し、システム内に多様な集団運動モードを埋め込み、環境

の変化に応じ、最適な運動パターンを自然に発現させる（図3）。今後、我々の研究室においてもこのような考え方にもとづき、具体的な問題設定を行なって、知的機械システムの運動制御についての研究を始めていきたいと考えている。

機械現象解析学は、機械力学の一部として位置付けられる。今までの機械力学は非線形振動

論等、機械システムに生じる動的現象の解析学であった。しかし、これからの機械力学は物理原理と情報原理を積極的に融合し、AnalysisからSynthesisまで幅広くカバーしていけるものでなければならない。機械現象解析学を通してこのような機械力学の新しい流れを実現していきたいと考えている。

