

学位論文題名

Controlling Engine System:
A Low-Dimensional Dynamics
in a Spark Ignition Engine of a Motorcycle

(エンジンシステムの制御：
二輪自動車用火花点火機関の低次元ダイナミクス)

学位論文内容の要旨

非線形時系列解析の適用により、不規則挙動を示す時系列が必ずしも確率的変動に因るものではないことが指摘されている。この非線形時系列解析の精神は、システムに内在する非線形性に着目して時系列を解析することにある。システムに内在するダイナミクスを抜き出すことができれば、システムの本質的な理解が得られるだけでなく、そのダイナミクスを用いてシステムの予測や制御といった応用面での進展も期待できる。

本論文の前半では、オートバイのエンジンから計測されたデータに対し、非線形時系列解析を適用した結果を示す。計測に用いたエンジンは、4ストローク、単気筒、250cc エンジンである。アイドリング状態で計測された燃焼圧データは不規則な挙動を示しており、当初は熱雑音のような確率的変動に起因するものであるという見方が強かった。しかしながら、解析の結果このエンジンシステムは低次元のカオスダイナミクスを有することが明らかになった。

エンジンシステムにおける振る舞いがカオスダイナミクスによって支配されるということは、実質的に制御可能であることを意味する。そこで本論文の第二の目的として、カオス制御の枠組みでこのエンジンシステムを制御する方法を考案する。上述したエンジンシステムのカオスダイナミクスの構造が明らかでない場合、分岐パラメータを制御するというアプローチを取ることができるが、現時点でそのダイナミクスの構造は明らかになっていない。そのため、本論文ではピラガス法に着目した。このピラガス法は、ダイナミクスが存在するという仮定の下で、観測値を用いた時間遅れフィードバックをシステムに与えることによって内在する不安定周期軌道を取り出すというものである。したがって、ダイナミクスの構造が不明瞭な場合でも適用できるという長所がある。計測したエンジンデータにピラガス法を適用した結果、カオス軌道は周期軌道に安定化された。この結果は、実実験におけるエンジンの不規則的な挙動を規則的な挙動に制御できることを期待させる。これまでのエンジンシステムにおいてカオス制御を適用した例はなく、本研究はエンジンシステムにおける新たな制御アプローチになり得ることを示唆するものである。

学位論文審査の要旨

主 査 教 授 津 田 一 郎
副 査 教 授 由 利 美 智 子
副 査 准 教 授 佐 藤 讓

学 位 論 文 題 名

Controlling Engine System: A Low-Dimensional Dynamics in a Spark Ignition Engine of a Motorcycle

(エンジンシステムの制御：

二輪自動車用火花点火機関の低次元ダイナミクス)

申請者はヤマハ発動機が製作しているオートバイのエンジンの動的挙動に対してカオス時系列解析、およびピラガス法によるカオス制御を行い、著しい成果をあげた。エンジン実機から計測された排ガス量、燃焼圧力などのいくつかの物理量が不規則変動をしていることが以前から指摘されてきた。しかしながら、エンジンを製作する立場からはエンジンは十分に制御されており、そこに現れる不規則変動はもはやこれ以上制御が困難な熱揺動か機械的揺動のいずれかであると考えられてきた。したがって、エンジン出力の変動は不可避であり制御の対象としては難問の一つとして残されていた。

申請者はこの問題に果敢に挑戦し、エンジン出力に見られる不規則変動は3-4次元のカオスアトラクターを成分に持つことをデータ解析の手法によって明らかにした。これは、エンジンの運動機構に力学系が関与していることを示しており、従ってもしも分岐パラメーターが同定されるならばエンジン出力の不規則変動の一部は制御可能であることを示唆するものである。そこで、次に申請者はピラガス法を実エンジンデータに適用し、エンジンデータを任意の周期を持つ周期状態に制御できることを示した。

この結果は、エンジン実機の出力の不規則変動を規則的な挙動に制御できる可能性を切り開くものである。これまでのエンジンシステムの研究開発においてはカオス制御を適用した例はなく、申請者の研究は新しいエンジンの開発におけるブレイクスルーをもたらす可能性のあるものである。

よって著者は、北海道大学博士（理学）の学位を授与される資格あるものと認める。