

博士論文要旨

論文題名：カオスガスタービンおよびその動力学モデルの
工学的応用に関する研究立命館大学大学院理工学研究科
機械システム専攻博士課程後期課程ふりがな ちょう けんいちろう
氏名 長 憲一郎

本論文は、カオスガスタービン、タービンロータの運動方程式、および、無次元動力学モデルとしてのタービン運動方程式の工学的応用に関する研究を述べたものである。1963年に Lorenz によって発見された乱流熱対流モデルである Lorenz 方程式に支配されて不規則に反転運動を繰り返すカオス水車は、Malkus と Howard によって 1970 年代に考案された。本研究は、カオス水車の機構をガスタービン上で実現する研究である。申請者は、カオスガスタービンの動作原理と機構を開発し、実際に機械設計を行ってカオスガスタービンを試作した。タービンの回転運動を支配する運動方程式を導出し、Lorenz 方程式との関連を明らかにするために、運動方程式の無次元化を遂行した。

カオスガスタービンの回転状態を動画として記録し、画像解析を行い、運動方程式の数値解との比較を行ったところ、運動方程式はタービンロータのカオス的運動を再現することが確認された。さらに、無次元化された運動方程式は、タービンロータの無次元角速度を表す変数を中心ノードとして共有しつつ、多数の Lorenz 方程式が星型に結合されたネットワーク型動力学モデルに相当することが発見された。これを拡張 Lorenz 方程式と呼ぶ。拡張 Lorenz 方程式が乱流熱対流の動力学モデルとなり得るかどうかが解明するために、 10^6 を超える高 Rayleigh 数における Rayleigh-Bénard 対流の速度場に関する先行研究で報告されている実験結果と拡張 Lorenz 方程式の数値計算結果との比較を行ったところ、実際の乱流熱対流の統計的性質が拡張 Lorenz 方程式によって再現されることが明らかにされた。

拡張 Lorenz 方程式の工学的応用として、カオス時系列を擬似乱数として利用して通信文の暗号化を行うカオス暗号に関する研究を行った。拡張 Lorenz 方程式を特徴付ける整数対角行列を実数領域に拡張することによって、実用的な時間内で同定することが不可能ほど大規模な組み合わせ総数を有する暗号鍵を実現し、実用上 one-time pad 型暗号として利用可能な暗号システムの構成方法を提案した。従来のカオス暗号の弱点である暗号鍵交換は、本暗号システムでは、量子物理学に基づいて絶対的安全性が保障される量子鍵配送を利用して行われる。量子暗号は one-time pad 型暗号として期待されているが、暗号鍵配送に長時間を要するという深刻な弱点がある。本研究によるカオス暗号はこの弱点を解決する。拡張 Lorenz 方程式に従って動作するシステム間のカオス同期を利用した盗聴者による暗号鍵推定は、本暗号システムでは実行不可能であることが理論的に証明された。