

論文の内容の要旨及び論文審査の結果の要旨の公表

学位規則第 8 条に基づき、論文の内容の要旨及び論文審査の結果の要旨を公表する。

○氏名	長 憲一郎 (ちょう けんいちろう)
○学位の種類	博士 (工学)
○授与番号	甲 第 1023 号
○授与年月日	2015 年 3 月 31 日
○学位授与の要件	本学学位規程第 18 条第 1 項 学位規則第 4 条第 1 項
○学位論文の題名	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
○審査委員	(主査) 宮野 尚哉 (立命館大学理工学部教授) 鳥山 寿之 (立命館大学理工学部教授) 徳田 功 (立命館大学理工学部教授)

<論文の内容の要旨>

本論文は、カオスガスタービンの構造と運動方程式、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。

学位申請者は、カオスガスタービンの動作原理と機構を開発し、タービンロータの運動方程式を導出した。実際に試作したガスタービンの回転運動の画像解析を行い、運動方程式の数値解と比較したところ、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。

Lorenz 方程式との関連を明らかにするために、タービン運動方程式の無次元化が遂行された。無次元運動方程式は、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として表現され、拡張 Lorenz 方程式と呼ばれる。数値解析によって、拡張 Lorenz 方程式は高 Rayleigh 数の乱流熱対流における速度場の統計的性質も再現可能であることが明らかにされた。

無次元動力学モデルとしての拡張 Lorenz 方程式の工学的応用は、この動力学モデルが生成する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法を開発することによって達成された。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対称暗号鍵を実現し、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が示された。この暗号システムでは、暗号鍵交換は、量子物理学の物理法則に基づいて盗聴に対する絶対的安全性が保障される量子鍵配送を利用することによって実

行可能である。

<論文審査の結果の要旨>

本論文は、先行研究にはない独創的な工学的発見と科学的知見を提示するものであると判断される。その要点を以下にまとめる。

- [1] Rayleigh-Bénard 対流の物理的機構をガスタービンの機構に対応させたカオスガスタービンは、新しい機械工学的発見である。
- [2] カオスガスタービンの無次元運動方程式、即ち、拡張 Lorenz 方程式が星型ネットワーク動力学モデルに対応することを証明したことは、非線形動力学における発見である。
- [3] 拡張 Lorenz 方程式が生成するカオス時系列の統計的性質は、高 Rayleigh 数における大規模循環流の速度場の統計的性質を再現する。拡張 Lorenz 方程式は、大規模循環流の不規則な反転を内部熱揺らぎとの確率共鳴によって説明する。この事実は大規模循環流の動力学モデルとして拡張 Lorenz 方程式が有用であることを示唆している。
- [4] 拡張 Lorenz 方程式に従って運動する非線形振動子を対にして結合した振動子系の力学的安定性を Lyapunov 関数に基づいて理論的に解析し、カオス同期の条件、非同期の条件を明らかにした。この結果は、拡張 Lorenz 方程式のカオス暗号への応用において盗聴防止の観点から活用されている。
- [5] 拡張 Lorenz 方程式から生成されるカオス時系列を利用した実質的 one-time pad 型暗号システムが提案されている。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、従来のカオス暗号法では実現できないような大規模な暗号鍵空間をもつ対称暗号鍵が構成されることが明らかにされたことは有用な成果である。
- [6] 暗号鍵の交換は、新しい通信技術として、近年、注目を集めている量子鍵配送によって実行される。本論文が提案するカオス暗号は、量子鍵配送と組み合わせることによって実用的な one-time pad 型暗号として機能する新しい技術である。

本論文の審査に関して、2015年2月4日（水）11時00分～12時00分イーストウイング4階機械システム系演習室において公聴会を開催し、学位申請者による論文要旨の説明の後、審査委員は学位申請者長憲一郎に対する口頭試問を行った。各審査委員および公聴会参加者より、拡張 Lorenz 方程式、提案するカオス暗号法などに関する質問がなされたが、いずれの質問に対しても学位申請者の回答は適切なものであった。よって、以上の論文審査と公聴会での口頭試問結果を踏まえ、本論文は博士の学位に値する論文であると判断した。

<試験または学力確認の結果の要旨>

本論文の主査は、学位申請者と本学大学院理工学研究科総合理工学専攻博士課程後期課程在学期間中に、研究指導を通じ、日常的に研究討論を行ってきた。また、本論文提出後、

主査および副査はそれぞれの立場から論文の内容について評価を行った。

学位申請者は、本学学位規程第 18 条第 1 項該当者であり、論文内容および公聴会での質疑応答を通して、学位申請者が十分な学識を有し、博士学位に相応しい学力を有していることを確認した。

以上の諸点を総合し、学位申請者に対し、本学学位規程第 18 条第 1 項に基づいて、「博士（工学 立命館大学）」の学位を授与することが適当であると判断する。