

論文 / 著書情報
Article / Book Information

題目(和文)	強く駆動される非線形振動子と確率同期現象への位相縮約法によるアプローチ
Title(English)	Phase Reduction Approach to Strongly Driven Nonlinear Oscillators and Stochastic Synchrony
著者(和文)	紅林 亘
Author(English)	Wataru Kurebayashi
出典(和文)	学位:博士(工学), 学位授与機関:東京工業大学, 報告番号:甲第9665号, 授与年月日:2014年9月25日, 学位の種別:課程博士, 審査員:中尾 裕也,木村 康治,井村 順一,天谷 賢治,早川 朋久
Citation(English)	Degree; Conferring organization: Tokyo Institute of Technology, Report number:甲第9665号, Conferred date:2014/9/25, Degree Type:Course doctor, Examiner:,,,,
学位種別(和文)	博士論文
Category(English)	Doctoral Thesis
種別(和文)	審査の要旨
Type(English)	Exam Summary

論文審査の要旨及び審査員

報告番号	甲第 号			学位申請者氏名		紅林 亘	
論文審査 審査員		氏 名	職 名		氏 名	職 名	
	主査	中尾 裕也	准教授	審査員	早川 朋久	准教授	
	審査員	木村 康治	教授				
		井村 順一	教授				
		天谷 賢治	教授				

論文審査の要旨（2000 字程度）

本論文は「Phase Reduction Approach to Strongly Driven Nonlinear Oscillators and Stochastic Synchrony (強く駆動される非線形振動子と確率同期現象への位相縮約法によるアプローチ)」と題し、全 5 章からなる。実世界には様々なリズム現象があり、その多くは非線形力学系におけるリミットサイクル振動としてモデル化される。リミットサイクル振動子の同期現象は、科学と工学の様々な分野において重要であり、その主要な解析手法のひとつとして、多次元のリミットサイクル振動子のダイナミクスを低次元の位相方程式に系統的に近似する位相縮約理論がある。本論文は、位相縮約理論を用いた共通ノイズ同期現象の解析、および位相縮約理論自体の拡張について論じている。

第 1 章「Introduction」では、本論文の背景と、本論文で扱われるふたつの主なテーマの概略を述べている。近年、共通ノイズに駆動される非線形振動子間に生じる同期現象が注目されているが、その理論解析は主に白色ノイズ駆動の場合に限られていた。本論文では、一般の有色ノイズに駆動される振動子を定量的に扱える理論を展開し、望ましい同期状態を実現するようなノイズのフィルタ手法を考案している。また、従来の位相縮約理論は振動子への外力が十分弱い状況に適用が限られていたが、本論文では位相縮約理論をある条件下で強い外力を受けた振動子に適用できるように拡張している。

第 2 章「Synchronization Induced by Common Colored Noise」では、有色ノイズによる共通ノイズ同期現象の理論解析を行っている。振動子間の同期状態は振動子間の位相差の確率密度関数で特徴づけられるが、これを、有色ノイズの実効的な白色ノイズ近似と振動子に対する平均化法を用いて Fokker-Planck 方程式を導出することにより求めている。その応用例として、複数のパワースペクトルで特徴付けられる有色ノイズに駆動される振動子が解析されており、理論の予言が直接数値シミュレーションの結果とよい一致を示すことや、パワースペクトルの特徴的な振動数が振動子の自然振動数に近い場合に、振動子間の同期度が共鳴的に向上する現象が生じることが示されている。

第 3 章「Design and Control of Noise-Induced Synchronization Patterns」では、第 2 章の結果に基づいて、望ましい同期パターンを実現するような共通ノイズの生成に関する理論解析を行っている。近年、共通ノイズ同期現象のセンサーネットワークや暗号通信への応用が試みられており、望ましい同期状態の実現が必要となる。本章では、白色ノイズから線形フィルタによって有色ノイズが生成される状況において、同期パターンを特徴づける目的関数に関してフィルタの特性を最適化する手法を考案し、実際に望ましい同期パターンを実現できることを数値シミュレーションにより確認している。

第 4 章「Generalized Phase Reduction Method for Strong External Forcing」では、位相縮約理論自体の拡張が行われている。従来の位相縮約理論は、振動子に与えられる外力が十分に弱い場合に適用が限られていた。本章では、振動子への外力を、振幅の大きい変動の遅い成分と、振幅の小さい速い成分に分離できるとして、振動子の位相の定義を外力の変動の遅い成分にも依存する形で拡張することにより、適度に強い外力に対しても良い近似を与える一般化位相方程式を導出している。その応用例として、強い周期外力により駆動されて軌道の形状と振動数が大きく変動するような振動子の同期現象を解析し、一般化位相方程式が直接数値シミュレーションの結果を良く予言することを確認している。また、一般化位相方程式の誤差の評価、外力の遅い成分と速い成分への分離の基準なども示している。

第 5 章「Conclusion」では、本論文の結果をまとめ、今後の方向性を示している。
以上を要するに、本論文は、科学と工学の様々な分野において重要な非線形振動現象を解析するための主要な枠組みである位相縮約理論を拡張し、新しい解析手法を提案したものであり、工学上寄与するところが大きい。よって、本論文が博士（工学）の学位論文として十分価値あるものと認める。

注意：「論文審査の要旨及び審査員」は、東工大リサーチリポジトリ(T2R2)にてインターネット公表されますので、公表可能な範囲の内容で作成してください。