

論文 / 著書情報
Article / Book Information

題目(和文)	リミットサイクル振動系の次元縮約理論：拡張と応用
Title(English)	Dimension reduction theories of limit-cycling systems: some extensions and applications
著者(和文)	白坂将
Author(English)	Sho Shirasaka
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10555号, 授与年月日:2017年3月26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,早川 朋久,宮崎 祐介
Citation(English)	Degree:Doctor (Engineering), Conferring organization: Tokyo Institute of Technology, Report number:甲第10555号, Conferred date:2017/3/26, 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	白坂 将		
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	宮崎 祐介	准教授
	審査員	木村 康治	教授			
		井村 順一	教授			
早川 朋久		准教授				

論文審査の要旨 (2000 字程度)

本論文は「Dimension reduction theories of limit-cycling systems: some extensions and applications (リミットサイクル振動系の次元縮約理論: 拡張と応用)」と題し、英文全 4 章からなる。実世界には多様なリズム現象があり、例えば生体における心臓の拍動や歩行リズムの生成等、重要な機能的意義を持つ。リズム現象の多くは系を記述する非線形力学系のリミットサイクル解に対応し、そのような力学系の解析は科学・工学の様々な分野で重要である。リミットサイクル振動を示す非線形力学系の主要な解析手法として、振動を特徴づける主要な変数である位相や振幅のみに着目して、多次元の力学系を低次元の簡潔な発展方程式によって系統的に近似する次元縮約理論があり、様々なリミットサイクル振動現象に適用され、複数のリズムの間に生じる同期現象のメカニズムの解明などに大きく寄与してきている。本論文では、リミットサイクル振動を示す力学系の次元縮約理論のいくつかの拡張について論じられている。

第 1 章の「Introduction」では、本論文で扱われるリミットサイクル振動を示す力学系に関する背景、諸分野における重要性、縮約解析手法などが論じられ、本論文で扱われる課題の概略、すなわち縮約理論のハイブリッド力学系への拡張と過渡ダイナミクスへの拡張について述べられている。

第 2 章の「Phase reduction theory for hybrid nonlinear oscillators」では、ハイブリッド力学系におけるリミットサイクル振動解に対する位相縮約理論の拡張が論じられている。ハイブリッド力学系は系の状態の連続な時間変化と不連続な変化を併せ持つ一般化された力学系であり、物体の衝突や神経パルスの発生など様々な実現象の記述に用いられる。本章では、従来の連続力学系に対する通常の位相縮約理論を適用できなかったハイブリッド力学系のリミットサイクル解に対し、その線形安定性に関するモノドロミー行列を解析することにより、系の状態の弱い摂動に対する応答を特徴づける位相応答関数を与える一般化された随伴方程式が導出されている。これにより、ハイブリッド力学系のリミットサイクル振動に対しても適用可能な一般化された位相縮約法が確立されている。

第 3 章の「Phase-amplitude reduction theory of transient dynamics far from attractors for limit-cycling systems」では、連続力学系のリミットサイクル振動現象に対して、従来の位相のみに基づく縮約理論を拡張して、位相と振幅の両方を用いた縮約方程式を導出するための手法が論じられている。力学系の観測の時間発展を記述する Koopman 作用素の固有関数を用いてリミットサイクル振動解の位相と振幅を定義することにより、従来の位相縮約理論では無視されていたリミットサイクル軌道への漸近を表す過渡ダイナミクスについても、簡潔な振幅方程式によって縮約記述できることが示されている。これにより、振動の位相の応答関数に加え、振動の振幅についても弱い摂動に対する応答関数を与える一般化された随伴方程式が導出され、これらの応答関数を用いて系のダイナミクスを振幅と位相を用いて縮約記述する位相-振幅方程式が系統的に導出されている。また、数値的に不安定な随伴方程式から応答関数を安定に数値計算するアルゴリズムが提案されている。

第 4 章の「Conclusion」では、本論文の成果がまとめられるとともに、ダイナミクスの不連続性や振幅効果が重要となる非線形振動系の解析や設計に関する展望が示されており、また付録 A-I では本論文の各種の詳細な計算が示されている。

以上を要するに、本論文は、科学・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次元縮約理論を一般化する新たな理論解析手法を提案し、非線形振動を応用する工学システムの解析・設計手法の基礎を与えるものであり、工学上寄与するところが大きい。よって、本論文は博士(工学)の学位論文として十分価値あるものと認められる。