

論文 / 著書情報
Article / Book Information

題目(和文)	生物システムのためのポジティブ2次システム理論
Title(English)	Positive Quadratic Systems Theory for Biological Systems
著者(和文)	岡本有司
Author(English)	Yuji Okamoto
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10553号, 授与年月日:2017年3月26日, 学位の種別:課程博士, 審査員:井村 順一,木村 康治,中島 求,早川 朋久,中尾 裕也
Citation(English)	Degree:Doctor (Engineering), Conferring organization: Tokyo Institute of Technology, Report number:甲第10553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

(博士課程)

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		岡本 有司	
論文審査 審査員		氏 名		職 名		氏 名	職 名
	主査	井村順一		教授		中尾裕也	准教授
	審査員	木村康治		教授	審査員		
		中島 求		教授			
		早川朋久		准教授			

論文審査の要旨（2000 字程度）

本論文は「Positive Quadratic Systems Theory for Biological Systems（バイオロジカルシステムのためのポジティブ 2 次システム理論）」と題し、英文全 7 章から構成されている。

第 1 章「Introduction（序章）」では、まず、様々なバイオロジカルシステムの数理モデリングに関する従来研究について概説し、これまでの数理モデルは、振る舞いの表現能力と振る舞い解析の容易さのトレードオフの関係において、どちらか一方に偏っているという問題点を指摘している。つぎに、本論文では、この問題点の解決に向けて、細胞内の化学反応を表現する数理モデリングに焦点をあて、その数理モデルとしてポジティブ 2 次システムを提案し、それを用いた解析手法を構築することが研究目的であると述べている。

第 2 章「Introduction of positive quadratic systems（ポジティブ 2 次システムの導入）」では、細胞内の化学反応を表現する新しい数理モデルとして、ポジティブ 2 次システムを提案している。その際、細胞内において基本となる 4 つの化学反応がポジティブ 2 次システムで記述できること、さらに、任意のポジティブ 2 次システムがこの 4 つの化学反応で表現できることを示し、提案するモデルの表現能力が十分であることを述べている。また、これまでに提案されているポジティブシステムとの差異を調べることで、ポジティブ 2 次システムの特徴を明確にしている。

第 3 章「Positive quadratic systems modeling based on singular perturbation（特異摂動に基づくポジティブ 2 次システムモデリング）」では、ポジティブ 2 次システムで近似表現できるシステムのクラスを検討している。まず、任意の有理関数で表現されたポジティブシステムの振る舞いが、特異摂動法を導入することで、ポジティブ 2 次システムによって近似できることを証明している。また、この近似システムは、元のシステムの平衡点の安定性を保存することも示している。これらの結果により、数理生物学等の分野で提案されてきたヒル関数を用いた微分方程式を、ポジティブ 2 次システムを用いて表現できることを述べている。

第 4 章「Stability and boundedness analysis of positive quadratic systems（ポジティブ 2 次システムの安定性と有界性の解析）」では、ポジティブ 2 次システムの基本的な安定性の判定手法を提案している。そこで、まず、従来のポジティブシステムの解析で用いられている線形のリアプノフ関数により、ポジティブ 2 次システムの安定性や有界性を容易に判別するための十分条件を導出している。つぎに、化学反応システムの特徴を活用することで、ポジティブ 2 次システムの不変集合を導出する手法を提案している。

第 5 章「Input-output analysis of positive quadratic systems（ポジティブ 2 次システムの入出力応答解析）」では、細胞の薬剤に対する応答を評価することを目指し、ポジティブ 2 次システムの入出力関係を評価する手法の一つとして、システムの L1 ゲインを解析する手法を提案している。具体的には、システムの非負性を用いて、ポジティブ 2 次システムの L1 ゲインを特徴づける条件を導出している。

第 6 章「Observer design of positive quadratic systems（ポジティブ 2 次システムに対するオブザーバ設計）」では、バイオロジカルシステムの各状態を少ない測定値から推定するための手法として、ポジティブ 2 次システムの状態を推定するポジティブ 2 次オブザーバを提案している。まず、オブザーバの状態の値が常に非負となるための条件を与え、ポジティブ 2 次システムとポジティブ 2 次オブザーバのそれぞれが有する状態の非負性に着目して、オブザーバの推定誤差が原点に収束するための十分条件を導出している。

第 7 章「Conclusion（結論）」では、本論文の主要な成果をまとめ、それらの成果をバイオロジカルシステムに適用する意義を述べている。また、本ポジティブ 2 次システムによる解析手法における今後の問題点について整理している。

以上を要するに、本論文は、細胞内の化学反応を表現することが可能な新しい数理モデルとしてポジティブ 2 次システムを提案し、そのシステムを用いたモデリング手法に加えて、安定性解析やオブザーバ設計論の基礎を与えるものであり、工学上および工業上貢献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な価値があると認められる。

注意：「論文審査の要旨及び審査員」は、東工大リサーチポジトリ(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。