

氏名	さわ ぐち よし ひと 沢 口 義 人
学位(専攻分野)	博 士 (工 学)
学位記番号	工 博 第 2924 号
学位授与の日付	平 成 20 年 3 月 24 日
学位授与の要件	学 位 規 則 第 4 条 第 1 項 該 当
研究科・専攻	工 学 研 究 科 電 気 工 学 専 攻
学位論文題目	On Identification and Control of Multivariable Systems Including Multiple Delays and Their Application to Anesthesia Control (複数のむだ時間を含む多変数系の同定と制御およびそれらの麻酔制御への応用)
論文調査委員	(主 査) 教 授 小 林 哲 生 教 授 萩 原 朋 道 准 教 授 古 谷 栄 光

論 文 内 容 の 要 旨

本論文は、入力経路や出力経路に大きさの異なるむだ時間を含む多変数系を対象とした同定法、状態予測器の構成法、サーボ制御系の設計法およびロバスト安定解析法に関する研究、およびそれらを全身麻酔制御に応用した研究をまとめたものであり、7章からなっている。

第1章は序論であり、入出力経路に大きさの異なるむだ時間を含む多変数系の同定法や制御法について、従来の研究およびその問題点を要約し、本研究の目的、概要について述べている。

第2章では、各入出力経路に大きさの異なるむだ時間を含む離散時間系の同定法に関する研究成果をまとめている。まず、入出力系列を並べたブロックハンケル行列に対して部分空間同定法を適用することで得られる各入出力間のインパルス応答行列から、それぞれのむだ時間の大きさを推定する方法を示している。そして、推定したむだ時間を用いて、対象としている系からむだ時間を除いた集中定数部の入出力系列を構成し、集中定数部のシステム行列を同定する方法を示している。これらの方法を順に適用することで、数値的に安定な計算により、系の同定を行うことができる。また、数値例により、従来広く用いられている予測誤差法や、むだ時間分の状態を加えた拡大系として同定する方法に比べ、正確な同定を実現できることを示している。

第3章では、各入出力経路に大きさの異なるむだ時間を含む系について、集中定数部の状態を予測する方法に関する研究成果をまとめている。まず、観測出力が含む情報を最大限に活用して過去の状態を推定する全次元オブザーバの構成法と、推定した過去の状態から現時刻の状態を予測するための状態推移式を導出している。また、これらを組み合わせて、観測出力から現時刻の状態を予測する状態予測器を構成している。さらに、状態予測誤差が任意に配置した有限個の極の位置に応じた速さで原点に収束すること、および従来のむだ時間補償型オブザーバと比べて、オブザーバ部の入力となる有限時間積分値の積分時間区間が短くなり、積分誤差による悪影響の低減を期待できることを示している。

第4章では、各出力経路に大きさの異なるむだ時間を含む系に対するサーボ制御系の設計法とロバスト安定解析法に関する研究成果をまとめている。まず、第3章で構成した状態予測器に積分器を組み合わせて、制御量をステップ状の目標値に定常偏差なく追従させる状態予測サーボ制御系の構成法を示している。つぎに、制御対象のシステム行列とむだ時間にモデル化誤差がある場合について、状態予測サーボ制御系のロバスト安定条件を導出している。また、この条件を利用して閉ループ系の安定性が保証されるモデル化誤差の範囲を求める方法を示している。

第5章では、手術中の患者の全身麻酔鎮静度を適切に維持することを目的とした、静脈麻酔薬の投与による麻酔鎮静度制御に関する研究成果をまとめている。まず、従来研究と測定結果に基づき、静脈麻酔薬を投与したときの鎮静度変化をむだ時間を含む1入力1出力系としてモデル化している。つぎに、適切な予測機構を含むモデル予測制御法を用いて鎮静度制御装置を設計している。また、この制御装置に加えて、個人毎のモデルパラメータの同定機能と危機回避機能を備えた鎮静度

制御システムを構成している。さらに、79例の鎮静度制御システムの臨床応用を行い、医師が麻酔薬投与速度を調整した場合に比べ、麻酔薬投与量を削減でき、鎮静度を目標値近辺でより正確に維持できることを確認している。

第6章では、手術中の全身麻酔における静脈麻酔薬と筋弛緩薬の投与による麻酔鎮静度と筋弛緩度の制御に関する研究成果をまとめている。まず第2章の研究成果を応用して、制御対象を各出力経路に大きさの異なるむだ時間を含む2入力2出力の系として、制御対象モデルを同定している。つぎに、第4章の研究成果を応用して、手術時に必要とされる制御の安全性と正確性を考慮に入れて、静脈麻酔薬と筋弛緩薬を用いた麻酔鎮静度と筋弛緩度の制御装置を設計している。また、ロバスト安定性の解析とシミュレーションにより制御性能の評価を行い、構成した制御系が、速応性およびロバスト安定性について与えられた仕様を満足することを確認している。

第7章は結論であり、本論文で得られた成果について要約している。

論文審査の結果の要旨

本論文は、入出力経路に異なる大きさのむだ時間を含む多変数系の同定と制御に関する研究、およびその手法を全身麻酔の自動制御に応用した研究をまとめたものであり、得られた主な結果は次のとおりである。

1. 各入出力経路に大きさの異なるむだ時間を含む離散時間系について、与えられた入出力系列からモデルを同定する方法を提案し、この同定法により、それぞれのむだ時間の大きさとむだ時間を含まない集中定数部の状態方程式を効率良く正確に同定できることを示した。
2. 各入出力経路に大きさの異なるむだ時間を含む連続時間系について、出力から集中定数部の状態を予測する状態予測器を提案し、従来のものよりも予測誤差の低減が期待できることを示した。
3. 各出力経路に大きさの異なるむだ時間を含む連続時間系に対して、上記の状態予測器を利用した状態予測サーボ系の設計法と、むだ時間とシステム行列に不確かさがある場合のロバスト安定解析法を与えた。
4. 上記の手法を全身麻酔時の麻酔制御に応用した。まず、モデル予測制御器を用いた静脈麻酔薬による鎮静度制御システムを構成し、臨床応用により、医師が麻酔薬投与速度の調整を行った場合より正確に鎮静度を維持でき、麻酔薬投与量も低減できることを示した。つぎに、静脈麻酔薬と筋弛緩薬による鎮静度と筋弛緩度の同時制御システムを構成し、シミュレーションとロバスト安定解析により、十分な制御性能とロバスト性を持つ制御系が得られていることを示した。

以上のように本論文は、入出力経路に異なるむだ時間を含む多変数系の同定法、状態予測器の構成法、サーボ系の設計法、およびロバスト安定解析法を提案し、その結果を全身麻酔の制御に応用して有効性を確認したものであり、学術上、実際に寄与するところが少なくない。よって、本論文は博士（工学）の学位論文として価値あるものと認める。また、平成20年2月22日、論文内容とそれに関連した事項について試問を行った結果、合格と認めた。