

氏 名	ふる たに えい こう 古 谷 栄 光
学位(専攻分野)	博 士 (工 学)
学位記番号	論 工 博 第 3206 号
学位授与の日付	平 成 9 年 3 月 24 日
学位授与の要件	学 位 規 則 第 4 条 第 2 項 該 当
学位論文題目	On State-Predictive Servo Controllers for Time-Delay Systems and Their Application to Blood Pressure Control (むだ時間システムに対する状態予測サーボ制御装置とその血圧制御への応用) (主 査)
論文調査委員	教 授 荒 木 光 彦 教 授 安 陪 稔 教 授 片 山 徹

### 論 文 内 容 の 要 旨

本論文は、むだ時間を直列に含むプラントに対する状態予測サーボ制御装置に関する研究、およびその制御装置を降圧剤を用いた生体の血圧制御に応用した研究をまとめたものであり、6章から成っている。

第1章は序論で、むだ時間を直列に含むプラントの制御についての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、本研究の基礎となる状態予測サーボ系の構成について述べている。

第3章では、二乗積分最適型の状態予測サーボ制御装置の設計法に関する研究成果をまとめている。まず、むだ時間を直列に含むプラントに対して、ステップ状の目標値に対する応答がプラントの変数のみを含む二乗積分形の評価関数に関して最適となるようなフィードバック・フィードフォワード制御装置を構成する手法を示している。つぎに、目標値に対する応答を不変に保ったまま、ステップ状の外乱に対する応答が二乗積分形の評価関数に関して最適になるように積分補償を付加する手法を導出している。この場合、外乱に対する評価関数は目標値に対する評価関数と独立に選択することができる。また、フィードバック・フィードフォワード制御装置に積分補償を付加して得られる制御系はロバストサーボ系としての要件を備えている。したがって、上記の二つの手法を段階的に用いることにより、ステップ状の目標値に対する応答とステップ状の外乱に対する応答を独立に最適化できるという意味で、ロバストサーボ系の2自由度設計が可能となる。外乱に対する最適化に関しては、外乱抑制特性を改善するための重みの選択法、および外乱抑制特性を極限まで改善した場合の応答の性質を明らかにしている。また、オブザーバによる外乱抑制特性の劣化を定量的に解析し、この外乱抑制特性の劣化を最小にするオブザーバを導出している。さらに、LTR および外乱の完全抑制のための条件をも導いている。最後に、以上の成果を総合することにより、むだ時間を直列に含むプラントに対する状態予測サーボ制御装置の2自由度最適設計法を与えている。

第4章では、状態予測制御系のロバスト安定性の解析方法についての研究成果をまとめている。まず、プラントのゲインとむだ時間にモデル化誤差がある場合について、一般的な状態予測制御系のロバスト安

定条件を導出している。また、この条件を応用して、スカラ制御系の安定余裕を、定誤差曲線を記入した平面上に相補感度関数のナイキスト軌跡を描くことによって図式的に求める方法を示している。さらに、この方法によって、第3章で扱った状態予測サーボ系についても、実用上必要十分とみなしうる安定領域を求めることが可能であることを示し、数値例による検討を加えている。

第5章では、手術中の患者の血圧を低血圧に維持することを目的とした、降圧剤による生体の血圧制御に関する研究成果をまとめている。まず、生体に降圧剤を注入したときの血圧が、「一次遅れ+むだ時間+非線形要素」という形でモデル化できることを示し、モデル中のゲイン定数、時定数、およびむだ時間を、犬についての実験データから同定している。つぎに、前章までの研究成果を応用して、降圧剤を用いた血圧制御装置を設計している。設計においては、血圧変化のモデルに含まれる諸定数のモデル化誤差、および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いる。また、モデル化誤差がある場合について、制御系全体の応答をシミュレーションで求めて、設計結果の妥当性を確認している。さらに、犬を対象とした血圧制御実験を行うことにより、臨床応用を行う上で十分な正確さとロバスト性を備えた制御系が得られていることを確認している。

第6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、むだ時間を直列に含むプラントに対する状態予測サーボ制御装置に関する研究、およびその制御装置を降圧剤を用いた生体の血圧制御に応用した研究を取り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. むだ時間を直列に含むプラントに対する状態予測サーボ制御装置を、二乗積分形評価関数に基づいて設計する一つの方法を提案し、この方法によって、ステップ状の目標値に対する応答とステップ状の外乱に対する応答を独立に最適化するような、ロバストサーボ系の2自由度設計が行えることを示した。
2. 上記の設計法における評価関数の重み行列の選び方、および得られた状態予測サーボ系の極限的性質を明らかにした。オブザーバによる外乱抑制特性の劣化を定量的に解析し、それを最小にする方法を明らかにした。
3. プラントモデルのゲインとむだ時間にモデル化誤差がある場合について、状態予測制御系のロバスト安定条件を導出し、スカラ系の場合の安定余裕の計算法を示した。
4. 状態予測サーボ制御装置を、降圧剤を用いた生体の血圧制御に応用し、犬を対象とした血圧制御実験により、臨床応用を行う上で十分正確かつロバストな制御系が得られていることを示した。

以上、本論文はむだ時間を直列に含むプラントに対する状態予測サーボ制御装置の2自由度設計法とロバスト安定解析法を提案し、その手法を降圧剤を用いた生体の血圧制御に応用してその有効性を確認したものであり、学術上、實際上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のあるものと認める。また、平成9年1月23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。