

氏 名	池 田 三 郎
	いけ だ さぶ ろう
学位の種類	工 学 博 士
学位記番号	論 工 博 第 692 号
学位授与の日付	昭 和 49 年 5 月 23 日
学位授与の要件	学 位 規 則 第 5 条 第 2 項 該 当
学位論文題目	Studies on Control Problems of Distributed Parameter Systems (分布定数系の制御問題に関する研究)

論文調査委員 (主 査)
教 授 榎 木 義 一 教 授 得 丸 英 勝 教 授 明 石 一

論 文 内 容 の 要 旨

本論文は分布定数系の最適制御問題ならびに同定問題に関する理論的研究をまとめたもので8章からなっている。

第1章は緒言で、物質およびエネルギーの移動現象を伴う多くの重要な制御系の最適制御問題において、分布定数系としての取扱いの必要性を解説し、この分野でのこれまでの研究を概観して本研究の目的を述べている。

第2章は、伝熱プロセスの流量制御について理論的に解析し、その最適制御系の構成を考察したものである。すなわち、系が押し出し流れとし、流量を操作量とした場合、系の動特性は一階偏微分方程式で記述され、その係数部分に操作量が位置する一種の非線形系、つまり双線形分布定数系となる。この系のモデルとして直交流型熱交換器を取上げ、系の出口温度を目標値に維持する最適制御を求めている。もし系の初期条件と境界条件がある定常状態にあるならば、系の方程式を常微分方程式系に変換できることを利用して、最適制御のパターンが Bang-Bang 操作と特異操作の繰り返しとなることが得られている。

第3章では、前章と同様な双線形分布定数系に対して、より一般的な初期条件と境界条件を持った場合について考察している。この場合、前章のように等価な集中定数系への変換は困難であるので、分布定数系に対する最大原理を用いて最適特異操作を解析し、特異操作が系の出口での定常操作となっていることを明らかにしている。

第4章は連立の一階偏微分方程式で記述される向流型熱交換器の場合を考察し、最適特異操作を決定している。向流型の場合は境界条件の与え方が対称的であるので、特異操作の解を解析的に求めることは困難である。そこで、特性曲線に沿った差分法を提案している。数値計算の結果によれば、特異操作の値は滞留時間毎に周期振動しながらある一定の定常出力値に収束することが明らかとなっている。

第5章では一階準線形偏微分方程式で記述される流通プロセスの最適制御を考察している。評価関数として、流通プロセスの出口における状態量と設定値の偏差の2乗積分を採用すると、最適制御のパターン

は Bang-Bang 操作から特異操作へ移ること、また、特異操作は出口における流れ方向の勾配によって決定されることを明らかにしている。出口での勾配が測定できない場合に対して、準線形化法による数値計算のアルゴリズムを導いて特異操作の近似解を与えている。応用上の例題として、輻射伝熱を受ける連続加熱炉を取上げて解析している。

第 6 章は準線形分布定数系の制御問題に出現する特異操作の最適性の判定条件を求めている。Jacobson の方法により分布定数系での特異操作に対する第 2 変分を求めて、最適のための十分条件を与えている。

第 7 章は双線形分布定数系の可到達性および可整定性がどのような条件のもとで成立するかを考察し、そのための必要十分条件を求めている。系の初期条件、境界条件、滞留時間、目標値等と許容操作量との間の諸関係を求め、初期条件、境界条件が満たすべき関数のクラスが定められている。

第 8 章では、河川の流れに沿って分布している汚染源を観測データから同定するアルゴリズムを開発している。河川の水質モデルは連立一階偏微分方程式あるいは拡散方程式で記述され、汚染源を求める問題は、Hadamard の意味で不適切な第 1 種フレッドホルム積分方程式に帰着されることを明らかにしている。そこで、観測データに含まれる誤差による解の発散を避けるために Tikhonov による正則化法を用いて安定なアルゴリズムを求めている。

論文審査の結果の要旨

物質、エネルギー等の多くの重要な移動現象を伴う系においては、何らかの流量を操作量とするのが通例であるが、そのような系の動特性は操作量については線形性をもつ非線形微分方程式、つまり、双線形微分方程式で記述され、ほとんどの場合に特異操作が出現する。これまで、双線形の制御系の研究は集中定数系の場合に多く行われているが、分布定数系に対する研究はその非線形性のために少ない。この論文は熱交換器、反応器、微生物増殖系、電磁流体系など応用面で重要な双線形分布定数系の最適制御問題に現われる特異操作について考察し、その最適性、可制御性および特異操作を求める数値解法について研究している。その他に、環境汚染制御問題と関連して、分布定数系と考えられる河川の水質汚染源を観測データから同定するアルゴリズムを確立している。得られた主要な結果を列記するとつぎの通りである。

1) 制御系の評価関数を系の出力と目標値との 2 乗偏差積分とした時、最適制御のパターンは目標値のステップ状変化に対しては Bang-Bang 操作から特異操作へ、また、境界条件のステップ状変化に対しては特異操作から Bang-Bang 操作となる。そして最適制御はこのパターンを滞留時間毎に繰り返す周期操作となる。

2) 最適特異操作は制御系の出口での定常な物質収支またはエネルギー収支から決定されるが、その値を求める数値解法が準線形化法によって与えられている。

3) 上記の Bang-Bang 操作が最短時間制御と等価となっていること、また、特異操作が目標値に整定する制御になっていることと関連して、目標値への可到達性と可整定のための必要十分条件に関する定理を得た。

4) 分布定数系の特異操作の最適性を判定する条件を、第 2 変分を計算することにより求めている。その条件は、時間と空間座標のある関数が存在して、それが一連の等式および微分不等式を満足することで

ある。

5) 河川の水質の指標を BOD と DO とした時，流れ方向に沿った汚染源を河川の二ヶ所の観測データから求める安定なアルゴリズムが開発されている。通常の差分法によるアルゴリズムでは近似解が発散するが，正則化法を適用することにより安定な解が得られた。さらに，自動測定可能な DO データからのみによる汚染源の同定のアルゴリズムも与えられている。

以上の結果は双線形分布定数系の制御問題の主要な課題を理論的に解析し，応用上重要な特異操作に関する一連の結果を与えるものである。さらに，環境系の同定問題に対する実用的なアルゴリズムを提供するもので，学術上，實際上寄与するところ少なくない。よって，本論文は工学博士の学位論文として価値あるものと認める。