

【 231 】

| | |
|---------|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| 氏 名 | 小 野 敏 郎 お の とし ろう |
| 学位の種類 | 工 学 博 士 |
| 学位記番号 | 工 博 第 105 号 |
| 学位授与の日付 | 昭 和 41 年 9 月 27 日 |
| 学位授与の要件 | 学 位 規 則 第 5 条 第 1 項 該 当 |
| 研究科・専攻 | 工 学 研 究 科 航 空 工 学 専 攻 |
| 学位論文題目 | Studies on the Sub-Interval Optimization Technique to Control Systems Design (自動制御系の設計に対する補助区間最適化法に関する研究) |
| 論文調査委員 | (主 査) 教 授 榎 木 義 一 教 授 近 藤 文 治 教 授 萩 原 宏 |

論 文 内 容 の 要 旨

この論文は、自動制御系の設計手法に関するもので、緒言、本文3部6章、付録5章および研究成果の要約からなっている。

緒言においては、自動制御系の理論的設計手法の概要に関する記述と、この手法のもつ難点を指摘し、本研究の意義とその背景にある工学的意図について述べている。

第1部においては、本論文における基本的な考え方である補助区間最適化の概念の記述と、この概念に基づき制御系の設計手法について述べている。第1章は、操作量の大きさに制限のある2次の非振動形線形制御対象に対して、2乗制御誤差面積を最小にする最適制御系の設計問題を取り扱っている。この問題は、その厳密解を得るための統一的な解析的手法が未だ確立されていないものである。こゝでは、本来の問題を重最適制御というある限定された補助的な問題に特殊化すれば厳密解が解析的に得られることに着眼し、この厳密解を基礎とした補助区間最適化法の提案と、この手法により本来の問題に対する厳密解に非常に近い擬似最適解が得られることの詳論が展開され、こゝで提案した手法の工学的意義を強調している。

第2章は、2次の非振動形線形制御対象に対する最終値制御系の設計問題を考察したもので、前章で提案した補助区間最適化法にしたがえば、物理的に意味のある一意的な厳密解が得られることが示され、従来から最短時間最適制御と称せられてきた問題との関連が明らかにされている。

第3章は、2次の振動形線形制御対象に対して、2乗制御誤差面積を最小にする最適制御系の設計問題を考察したもので、若干の拡張を行なうだけで第1章で提案した手法が、この問題に対しても非常に有効であることを計算機によるシミュレーションによって検証している。

第2部は、不規則擾乱をうける線形制御対象に対する最適制御系の設計手法に関するものである。第4章においては、目標値が不規則信号であり、評価関数が制御誤差と操作量に関する2次形式の積分であらえられる場合に、これを最小にする制御系の近似的な解析的構成手法が、補助区間最適化の概念の下に展

開されている。一般にこの種の問題に対する制御系の最適構成は、線形の閉回路構成となり、それに含まれるフィードバックゲインは、マトリックスリカッチ方程式の解として与えられる。この方程式の解法を純解析的に行うことは特殊な例外を除けば殆んど不可能であり、通常は計算機による数値積分が行われる。こゝでは、上述のマトリックスリカッチ方程式の解を級数解で近似的に表現する手法を提案している。すなわち、級数解の展開係数を求めるための漸化式をテイラーコースー変換法の導入により誘導し、無限項からなる級数解を、有限項級数解の接続により近似的に表現することを提案するもので、これは有限項級数解を基本とする補助区間最適化法に他ならない。この手法により、厳密解に非常に近い近似的な解が得られること、ならびに有限項級数解の接続規範としてこゝで提案された図式検討法の数学的妥当性は、二つの具体例を用いて数値的にも検証され、本手法の有効性が示されている。

第5章は、不規則擾乱をうける最終値制御系の設計手法と、その制御特性について考察したもので、最終値制御系が時変フィードバックゲインを有する閉回路構成となること、制御対象および不規則擾乱に含まれるパラメータの各フィードバックゲインに及ぼす影響などを、多くの数値例により検討し最終値制御系のもつ制御装置の特質を明らかにしたものである。

第3部においては、非線形制御対象に対する自動制御系の設計手法に関するもので、二点境界値問題、コースー問題などの難解な数学的な問題の定式化をさけ、計算機をオンライン的に利用したより直接的な設計問題のとらえ方についての考察が、補助区間最適化の概念の下に展開されている。すなわち、第6章は、自動制御系の設計仕様のうちの一つである制御系の性能指数を、できるだけ簡単な形で、しかも多様性に富んだ制御特性をあたえる評価関数として捉え、これに基づき最適方策の決定を容易ならしめることを意図した改変形評価規範を提案し、これに基づき補助区間最適化法、すなわち、評価関数改変形補助区間最適化の一つの考え方を述べたものである。この概念の導入により期待される顕著な利点は、最適化のための計算時間の短縮と、制御対象に課せられる物理的制約が多くかつそれが数式として完全に表現され得ない場合に対する直接的な設計手順の提供を可能ならしめるという点である。この間の事情を示唆するために、非線形制御対象に対する制御系の設計例をかゝげて、この評価関数改変形補助区間最適化法の効用について考察し、併せて今後の問題点についても論及している。

付録1～5章では、本文における主要な数式の誘導過程を示したもので、亜最適切換関数の決定、ダイナミックプログラミングによる関数方程式の誘導、テイラーコースー変換法に関する若干の公式の誘導、および多段決定過程論による制御方策の決定などの計算過程の詳細が示されている。

研究成果の要約は、以上の成果をまとめたものである。

論文審査の結果の要旨

最適制御問題の理論的考察が、自動制御系の設計に有力な示唆を与えることはよく知られている。しかしながら、自動制御系を具体的に設計する立場に立てば、最適制御論を基礎とする理論的設計手法には、つぎに述べる三つの理由、すなわち、

(1) 最適制御問題の設定においては、制御対象の動特性、目標値入力、外乱などは全て数式モデルとして完全に記述できるものとしているが、これはあくまでも実在のものゝ近似的表現にすぎない。

(2) 制御系の設計仕様の中で、最も数式モデル化の困難なものは、制御系の性能に関するもので、これを評価関数の形で把握することは難しい問題である。

(3) 最適制御問題は変分問題として定式化され、これは二点境界値問題、コーシー問題などの解析的に難解な問題に帰着されるが、これらの問題のもつ解法上の難点から、われわれが最終的に得るのは、最適制御問題に対する近似解でしかない。

などの理由から、いわゆる最適制御論の手順にしたがって設計された制御系が、本来の工学的要求を現実に満たしているかという疑問が生じることは否めないことである。事実、ある場合には、設定された最適制御問題に対する厳密解よりも、これに近い挙動を示す近似的な解、すなわち擬似最適解の方が、本来の工学的要求から見た場合には、より望ましい解として実用に供せられることもある。またたとえ厳密解が比較的簡単な手続で求められたとしても、その形が複雑なために、装置化の段階における困難性、ひいては経済性の観点から実用には供せられず、むしろ厳密解に近い挙動を示しかつ形の単純な擬似最適解が実用上有効であるとして利用されることも起りうる。したがって、最適制御問題における擬似最適解を求める手法の確立は、大いに重要な問題である。

本論文は、さきに述べた諸点を考慮した自動制御系の設計手法に関するもので、その根本的な手法としてはダイナミックプログラミングの方法を用いてはいるが、数学的に難解な問題の定式化、あるいはそれを直接に解くことを避け、問題を容易に解が得られるような補助的な問題に特殊化して擬似最適解を求める手法の提案と、これに対する考察を行ったものであって、その主な成果はつぎの通りである。

(1) 操作量の大きさに制限のある2次の非振動形制御対象に対して、2乗制御誤差面積の最小化を計る最適制御問題を、垂最適制御問題と著者が名づけた特殊化された補助的問題に対する厳密解を基本とする補助区間最適化法により、厳密解に非常に近い擬似最適解の統一的な決定手法を確立した。

(2) 操作量の大きさに制限のある2次の非振動形制御対象に対する最終値制御問題に対しては、垂最適制御方を基本とする補助区間最適化法は、物理的に意味のある一意的な厳密解を与えることを示し、従来から最短時間最適制御と称されてきた問題との関連を明確にした。

(3) 操作量の大きさに制限のある2次の振動形制御対象に関する2乗制御誤差面積の最小化を計る最適制御問題に対しても、こゝで提案した補助区間最適化法にしたがう解法が有効であることを明らかにした。

(4) 不規則信号をうける線形制御対象に対して、操作量および状態変数に関する2次形式の積分形規範の最小化を計る最適制御問題を考察し、その解法の過程にあらわれるマトリックスリカッチ方程式の近似的な解析的解法を、補助区間最適化の概念の下に提案し手法の妥当性を検証した。

(5) 不規則擾乱をうける最終値制御系の制御特性を究明するために、2次のサーボ系を制御対象とする制御系の理論的構成を行ない計算機によるシミュレーションを行って、この種の系の制御装置の有する特質を理論的に明らかにするとともに、従来から制御動作の基本として提唱されているPID動作の妥当性を説明した。

(6) 制御対象に非線形性があらわれる場合の自動制御系の設計問題を、難解な数学的問題の定式化を避けて取扱う手法として、改変形規範の提案と、それに基づき評価関数改変形補助区間最適化の基本的な

考え方を述べ、この概念の導入が、計算機をオンライン的に利用した自動制御系の設計を可能ならしめることを示唆した。

以上のようにこの論文は、かなり広い工学的視野に立って最適制御系の設計手法に対する考察を行なったもので、著者の唱える補助区間最適化の概念は極めて实际的であり、この概念の導入により従来までは解析的に難解とされた種々の最適制御問題に対する非常に良い近似的な解をうることができるようになったことは、学術上、工業上寄与するところが少なくない。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。