

|             |                                                                                                 |
|-------------|-------------------------------------------------------------------------------------------------|
| 氏 名         | 中 森 義 輝<br>なか もり よし てる                                                                          |
| 学 位 の 種 類   | 工 学 博 士                                                                                         |
| 学 位 記 番 号   | 工 博 第 642 号                                                                                     |
| 学位授与の日付     | 昭 和 55 年 1 月 23 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 数 理 工 学 専 攻                                                                           |
| 学 位 論 文 題 目 | STUDIES ON MEASUREMENT OPTIMIZATION<br>FOR DISTRIBUTED PARAMETER SYSTEMS<br>(分布定数系の測定最適化に関する研究) |

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

### 論 文 内 容 の 要 旨

この論文は、線形分布定数系に対する観測機構の最適設計、特に測定位置の適切な選択に関するもので、計算手法の理論的基礎を与えるとともに、環境汚染監視問題への応用を内容とし、5章からなっている。

第1章は序論で、物理、工業あるいは社会経済システム等における測定最適化の重要性を実例を挙げて指摘するとともに、この方面における従来の研究の概観、問題点の整理、本研究の目的と意義、および以下の各章の概要を述べている。

第2章では、モンテカルロの層別サンプリングにおける乱数最適割当法の概念を適用することにより、従来の方法では極めて困難であった複数個の測定位置決定問題に対する一解法を与えている。問題はある非線形整数計画問題を解くことに帰着され、分布定数系の定義されている全空間における状態推定と、状態の空間平均値推定の各々について、それらを効果的に行うための測定器最適配置の条件式を導いている。

第3章では、前章の理論的結果の環境汚染監視問題への応用について議論している。大気汚染現象を例にとり、その空間領域の大きさに比較して観測点個数が物理的、経済的理由からごく少数に制限されること、および時々刻々の汚染濃度を推定できるモデルが確立されにくいことを考慮して、地域代表性を有する観測点を配置するアルゴリズムを与えている。つぎに、許容される誤差の範囲内で、観測点の必要最小個数を求める評価式を導出している。さらに、定常な行列形式モデルを開発するために必要となる代表排出源の位置および特性の決定法を提案し、汚染伝播行列の同定に関して議論している。

第4章では、無限次元リカッチ型方程式に対する二点境界値問題を解かねばならない従来の手法の困難性を考慮し、情報行列を関数空間に拡張して情報作用素の概念を導入することにより、測定最適化問題に対する感度解析的接近法が計算手法として有効であることを指摘している。放物型分布定数系の初期値あるいは分布入力を推定する際、推定誤差を最小化するような測定は、情報作用素を自己共役正定値作用素の順序関係の意味で最大化することにより最適化されることを示している。あるクラスの双曲型分布定数系に対しては、状態変数を直接未知パラメータとみなして情報作用素を定義することができること、およ

びフィルタリング誤差と情報作用素との関係を明らかにしている。さらに、測定位置最適化の数値計算例をいくつか報告している。情報作用素のスカラー尺度を最大化することは、未知パラメータに対する観測データの感度を高めることを意味することから、そのトレースノルムを感度評価関数と名付けている。

第5章では、線形分布定数系に対する走査観測の軌道制御問題および測定時刻決定問題について考察している。まず、系への入力を白色雑音過程でモデル化し、フィルタリング誤差を最小化するような測定最適化の条件が、入力に関する情報作用素を用いてあらわされることを指摘している。つぎに、走査観測の軌道、測定時刻決定問題を包含する測定最適化問題を感度評価関数を用いて定式化し、最適制御の存在定理を証明している。最後に、それらの実際的な解法アルゴリズムを導き、いくつかの数値計算例について検討している。

## 論文審査の結果の要旨

分布定数系においては、系の定義されている空間全体での観測は不可能であり、限られた個数の測定器による測定データを用いて系の状態あるいはパラメータを推定しなければならない。その際、測定データの持つ情報量は、状態あるいはパラメータに対する感度、測定方法、測定ノイズに依存する。良好な推定値を得るために、測定時刻や測定位置などの測定条件を最適化することは実際上極めて重要な問題である。

この分野の従来からの代表的な研究では、推定誤差共分散を支配するリカッチ型方程式に対する最適制御問題として定式化されるが、リカッチ型方程式の無限次元性や非線形性のため複雑な数値計算を行なわねばならず、実際問題の解決には必ずしも有効ではない。さらに、複数個の測定点の適切な位置を同時に選定することは極めて困難である。

本論文は、与えられた個数の観測器の最適配置、移動観測器の軌道制御、固定観測器の測定時刻選定等を含む分布定数系の測定最適化問題に対する新しい実用的接近法を開発したものであり、得られた主な成果はつぎの通りである。

(1) モンテカルロの層別抽出法概念を適用することにより、状態推定を効果的に行うための測定器配置問題に対する一解法を与えた。この手法は、個々の測定点の精確な位置を決定するのではなく、いくつかに分割された小領域への観測点個数の配分を考えることであるが、2次元あるいは3次元空間において多数の観測器を配置しようとする実際問題において、特に有力な手法と考えられる。

(2) 前記手法を環境汚染問題に適用し、観測点の位置および必要個数、さらには、代表排出源の位置および特性の決定法を提案した。大気汚染現象を例にとり、予想される状態あるいは排出量の変動の大きさを評価する指標を導き、各観測あるいは代表排出源が代表すべき領域を定めるアルゴリズムを開発し、シミュレーションによって有効性を検証した。

(3) 集中定数系の同定問題においては既に一般的概念である情報行列を分布定数系の同定問題に拡張し、情報作用素の概念を導入することにより、測定最適化問題に対する感度解析的接近法を提案し、それが計算手法として有効であることを指摘した。すなわち、情報作用素の量的尺度を最大化することは、観測器が系の未知パラメータの変動に対し、可能な限り敏感となるよう設計されることを意味し、結果として推定問題の良好な解が得られることを明らかにした。

(4) 情報作用素のトレースノルムを感度評価関数と呼び、それを用いて、測定位置、走査観測軌道、測定時刻等を包含する測定最適化問題を定式化し、最適解の存在定理を証明し、さらに解法アルゴリズムを提案した。いくつかの数値実験例により、実際の計算法を示すとともに、従来の手法に比べ計算労力が極めて減少されることを明らかにした。

以上、要するに、本論文は、分布定数系に対する測定計画の実用的計算手法の理論的基礎を与えるとともに、環境汚染監視等の実際問題への応用の有効性、妥当性を示したものであり、学術上、実際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。