

## 審査の結果の要旨

論文提出者氏名 笹川 卓

工学における設計問題の多くは、適当なモデル化を経て数理計画問題の形に定式化されるが、数理計画法の手法が真に工学的に有効なものとなるには、数学モデルの物理的妥当性、最適化問題の数値解法、最適解の安定性や頑健性など、総合的な観点からの検討が必要である。近年、数理計画法の分野においては、凸計画問題に対する内点法系統のアルゴリズムの進展が著しく、様々なアルゴリズムが提案され、収束性や計算量に関する数学的解析が行われているが、一方では、その有効性を工学的な現実問題に対して検証している事例は必ずしも多くない。本論文は「2次錐計画問題を用いた直流磁気シールドの最適化」と題し、超電導磁気浮上式鉄道における直流磁気シールド重量の軽量化という工学的課題に対して2次錐計画法という最新の数理計画手法を適用したものである。論文は2部構成となっており、最適設計の工学的側面を中心とする第1部（第1章から第5章）と最適化手法の数理的解析を中心とする第2部（第6章から第8章）より成る。

第1章「強磁界の磁気シールドと超電導磁気浮上式鉄道」では、直流磁気シールド問題の一般的な事柄について概説を行うとともに、超電導磁気浮上式鉄道の磁気シールドの特徴として、超電導磁石による強力な磁界の遮蔽、磁気シールドの軽量化の必要性、複雑なシールド板形状、空間的に非一様な磁界分布などを説明している。

第2章「磁気シールド重量の最小化問題の連続型2次錐計画問題への定式化」では、浮上式鉄道車両の磁気シールド重量最小化問題に対し、磁束・磁場曲線の飽和磁束密度のみに注目した単純化を行い、最適化問題を導出している。これは磁気シールド板上での磁束の釣り合い条件を表す等式制約条件、磁気シールド板が飽和しないことに対応する2次錐制約条件、および磁気シールド材料の重量を表す線形目的関数をもつ、無限次元の凸計画問題である。さらに、この問題が（無限次元）2次錐計画問題の形にも定式化できることが述べられている。

第3章「磁気シールド問題のエネルギー的考察」では、最適化問題の導出の際に行った簡略化（透磁率無限大、外部問題と磁気シールド最適化問題の分離など）の意味をエネルギー最小化の観点から再検討し、それが磁性体の透磁率をパラメータとする層別最小化に対応することを明らかにしている。

第4章「有限要素法による離散化と逐次反復改良法による最適化計算」では、無限次元凸計画問題を離散化して反復計算によって解く方法を提案している。解の収束性などについての理論的保証は無いが、後に、第5章以降の計算結果や実測値との照合から、その妥当性が検証される。

第5章「磁気浮上式鉄道の磁気シールドへの適用、評価及び実験結果との比較」では、

提案手法を超電導磁気浮上式鉄道車両の実際の直流磁気シールドの設計に適用し，実物大模型による実験結果と比較検討することによって，提案手法の妥当性を実証している．さらに，磁気シールドの形状最適化の試みも行っている．

第6章「得られた最適化問題の若干の解析」では，定式化した無限次元凸計画問題の解析的性質を明らかにしている．定式化した最適化問題の本質は，磁束の流れが磁気シールド板内で最短路を構成するように磁気シールド板を配置することにあることを示すとともに，磁気シールド重量最小化問題の双対問題を具体的に与えている．

第7章「主双対内点法による2次錐計画問題の計算」では，無限次元凸計画問題の離散化により有限次元の2次錐計画問題を導出し，離散化によって導入される最適解の誤差を，双対定理などを用いて数学的に解析している．

第8章「2次錐計画アルゴリズムの実装ならびに種々の探索ベクトルの評価」では，こうして得られた2次錐計画問題に対して主双対内点法を実際に適用している．主双対内点法の種々の探索方向ベクトルの比較検討を踏まえて，当該2次錐計画問題に対してより高速で頑健な主双対内点法プログラムを開発し，これを用いて元の無限次元凸計画問題の上下界値の具体的な計算を行うとともに，第5章で行った逐次反復改良法の計算結果との比較を通じて二つの計算結果の妥当性を検証している．また，同プログラムのロバスト最適化問題への適用を試み，実用的な近似計算方法とその結果について述べている．

以上を総合するに，本論文は，超電導磁気浮上式鉄道の直流磁気シールド設計という工学的問題に対して，数理計画法における最新の手法を適用することにより，工学的問題に解答を与えると同時に最適化手法の有効性を実証したものであり，数理工学の分野の発展に大きく寄与するものである．

よって本論文は，博士（情報理工学）の学位請求論文として合格と認められる．