

氏名(本籍)	はな おか てる あき 花 岡 照 明 (東 京 都)
学位の種類	博 士 (システムズ・マネジメント)
学位記番号	博 甲 第 2505 号
学位授与年月日	平成13年3月23日
学位授与の要件	学位規則第4条第1項該当
審査研究科	経営・政策科学研究科
学位論文題目	航空交通管理における最適化問題とその高速解法に関する研究
主査	筑波大学教授 工学博士 鈴木久敏
副査	筑波大学教授 工学博士 橋田温
副査	筑波大学助教授 博士(工学) 猿渡康文
副査	筑波大学助教授 博士(工学) 大澤幸生
副査	筑波大学教授 工学博士 香田正人
副査	筑波大学助教授 博士(理学) 松井知己

論 文 の 内 容 の 要 旨

今日、世界的に航空交通需要が急増し、空港や航空路の混雑が厳しさを増している。この混雑を回避あるいは緩和し、飛行の安全と定時運行の確保のために、航空交通管理上の様々な施策が考えられている。本研究では、その中でも運用面の短期施策に焦点を当て、航空路における4-D最適経路計画問題と航空機シーケンス問題を解決する計算手法を提案し、その有効性を検討している。

4-D最適経路計画問題は、航空路上にあらかじめ設定された複雑な4次元領域(4D-チューブ)を逸脱せず、かつ目的空港に指定された時刻や時間枠内に到達できる飛行経路の中から、飛行時間や燃料消費量が最小となる経路を求める問題である。このような複雑な制約下では、従来の変分法などの手法によって4-D最適経路を求めることは困難であった。本研究では、動的計画法と分枝限定法の限定操作を複合させ、最適経路となり得ない経路を以後の最適化計算から除外する複合アルゴリズムの考えを基礎に、その高速化と精緻化を図る2つの改良アルゴリズムを提案している。

基本形複合アルゴリズム: 従来から最適経路の計算に利用されていたエネルギー近似では複合アルゴリズムの限定操作で必要となる下界値の条件を満たさないため、本研究では修正エネルギー近似を新たに提案した。これとその他の工夫を盛り込んだ基本形複合アルゴリズムにより、大域的最適経路が求まり、その計算量は動的計画法の計算量の0.6%以下まで減少し、高速化が実現できた。

繰り返し複合アルゴリズム: 下界値の精度が低い場合や修正エネルギー近似の適用が困難な場合でも、基本形複合アルゴリズムを逐次的に繰り返し適用することで、より強化された下界値をアルゴリズム自身が生成する。繰り返しのたびに動的計画法の量子化をより細分化し、下界値と最適経路の精度を向上させ、共役傾斜法や微分動的計画法に匹敵する高精度の解を得ている。

さらに、提案する2つのアルゴリズムの特性を明らかにするため、境界条件や航空機の空力特性を変化させた問題や、到着時刻と時間枠の両方の制約が存在する複数時間制約下の最適経路問題に適用している。これら一連の数値実験より、ていうんアルゴリズムが頑健性を持ち、4-D最適経路をシステムティックに作成可能であることを確認している。

航空機シーケンス問題は、大型、中型、小型という航空機の型に依存して、安全のために連続して着陸する2機の航空機間で保持すべき距離（最低管制間隔）が与えられたとき、空港上空に飛来した複数の航空機の群に対して、そのすべての航空機が着陸するまでの所要時間（滑走路占有時間）を最小とする着陸順序を決定する問題である。本研究では、航空機シーケンス問題を多項式オーダーで解ける部分割当問題に緩和し、最低管制間隔に対応して定まる最低時間間隔の性質を議論することにより、部分割当問題の最適解が順列となる場合の十分条件を明らかにしている。最低管制間隔からBlumsteinの公式によって与えられる最低時間間隔が本研究で示した十分条件を満たしており、結果として、最適な着陸順序は航空機の型の意味で昇べき順（小型機優先）となる。

審 査 の 結 果 の 要 旨

①4D最適経路計画問題の解法に用いた複合アルゴリズムは、1970年代に既にMorin & Marstenにより研究がなされており、最適化理論と言う意味での貢献は大きいとは言えない。しかしながら、非線形微分方程式を含む複雑な最適化問題への応用は本論文の著者によるものが最初であり、新たな応用面を切り開いたと言う意味で評価に値する。

②修正エネルギー近似は、従来のエネルギー近似が下界値となりえない欠点を理論的に克服し、かつ簡便に計算できる下界値を提案したと言う意味で、斬新なものである。

③航空機シーケンス問題の最適着陸順序が「昇べき順」であることは経験的に予想され、その点では斬新な結果とは言えないが、その単純なルールが「最適である」との理論的な支柱を与えたと言う意味で、実務家にとってたいへん有益な結果である。ただ、最適性の十分条件を示しただけに留まり、マトロイド等の数学的枠組み上の議論に繋がられなかった点は残念である。

論文全体としては、①4D最適経路計画問題が高速に解けることで、管制官の負荷を軽減しつつ、状況の変化に応じて、時々刻々、地上と最新の飛行情報を交換しつつ、航空機側で目的空港までの最適な航空路を再計算可能となること、②航空機シーケンス問題の解法によって滑走路の利用効率が高まり、空港の混雑回避が可能となることで、航空交通管理システムを構築する上で有用な理論的ツールを与えるものと評価できる。したがって、本論文は工学への応用研究ならびに航空管制の業務に対して、大きな貢献をもつものと認められる。

よって、著者は博士（システムズ・マネジメント）の学位を受けるに十分な資格を有するものと認める。