

## 学位論文及び審査結果の要旨

横浜国立大学

氏名	虎谷大地
学位の種類	博士(工学)
学位記番号	環情博甲第 376号
学位授与年月日	平成28年3月24日
学位授与の根拠	学位規則(昭和28年4月1日文部省令第9号)第4条第1項及び 横浜国立大学学位規則第5条第1項
学府・専攻名	環境情報学府 環境システム学専攻
学位論文題目	Study on Simultaneous Optimization Method for Trajectory and Sequence of Air Traffic Management (航空交通管理のための軌道と順序の同時 最適化手法に関する研究)
論文審査委員	主査 横浜国立大学 教授 上野誠也 横浜国立大学 教授 山田貴博 横浜国立大学 教授 長尾智晴 横浜国立大学 准教授 村井基彦 横浜国立大学 准教授 樋口丈浩 電子航法研究所 福田 豊

## 論文及び審査結果の要旨

近年、航空輸送に対する需要の高まりにより、空港周辺空域の混雑という問題が発生している。この混雑により、航空機の到着時間遅延や、遅延による飛行時間の延長が引き起こす燃料消費量および環境影響の増加、また管制官のワークロード増加といった社会課題が発生している。本研究では軌道最適化技術を用い、空港周辺空域の航空機の軌道を最適化することにより、これらの社会課題の解消を目指す。空港周辺では、様々な方角から飛行してくる航空機が着陸のために管制官の指示に従って一列に並ぶように飛行する。空港周辺空域を最適化するには、各航空機の軌道と到着順序を最適化する必要があるが、管制官はこの合流問題を経験に基づいて解いており、従来の解析手法では軌道と順序の同時最適化は困難であった。この技術課題に対して、本論文では評価関数曲線という新たな関数を導入することで、航空機の軌道と順序を同時に最適化することを可能とした。本論文では、提案する本手法が軌道と順序を同時に最適化することを可能としていることを示し、その後の実用的な航空交通管理を想定したシミュレーションで有効性を示している。

以下に本論文の構成を示す。第1章では、研究の社会的背景と技術的課題を過去の文献等を参考に述べており、本論文の目的ならびに位置付けを明確にしている。

第2章では、軌道最適化手法について述べている。本研究では時間的な拘束条件である時間間隔を空間的な拘束条件である距離間隔と同様に扱うため、時空間座標系 (Space-Time Coordinate System: STCS) という座標系を用いる。この座標系では、時間は独立変数ではなく従属変数となり、時間的な拘束条件は空間的な拘束条件と同様に扱うことができるようになる。STCS内で軌道を定義することで、合流問題における時間間隔を容易に扱うことができるようになった。

第三章では、最適合流問題を扱っている。この章は本論文の核となる部分であり、軌道と順序を同時に最適化するために、新しい関数の評価関数曲線と呼ぶ関数を導入している。評価関数曲線とは、合流点の通過時間を独立変数として、各機体の評価関数値を示す関数である。この関数の導入により、各機体の時間間隔を保ったまま最適な軌道を選ぶことを可能としている。本論文では、ここで定義した問題を混合整数線形計画法を用いて解くことを提案している。本来、線形問題に適用できる手法であるが、非線形問題である本論文の課題に区間線形近似を用いることで適用を可能と

している。さらに、計算効率の高度化のために、連続変形法を用いて、計算時間がかかる軌道最適化の計算回数を減らすことを提案している。

第四章では、数学的な境界条件を設定して、提案する手法の性能を確認している。本来の目的である順序と軌道の同時最適化が様々な条件下で確実に行われていることを数値計算で実証している。

第五章では、実用的な条件下で提案する手法の有効性を示している。羽田空港へ到着する航空機と成田空港を出発する航空機が房総半島沖で軌道が干渉した実フライトデータに対して、本手法を適用すれば干渉を回避し、かつ、消費燃料の最適化が行われることを示している。使用する機材が異なる場合も計算しており、実用的な航空交通管理を想定したシミュレーションで軌道と順序を同時に最適化することの有効性を示している。

第六章で本論文を包括し、得られた成果の社会への貢献を述べている。

平成 28 年 1 月 29 日 14 時 40 分より、環境情報 1 号棟 316 室において、審査委員全員出席のもとに学位論文の内容および関連事項に関する本人の学識について口頭試問の形式で最終試験を行った。その結果、博士（工学）の学位を受けるに必要な学識を備えていることを認めた。さらに、語学力に関しては、提出された学位論文が英文で執筆されていること、ならびに国際会議に英文論文を執筆し、発表を行っていることから要件を満たしていると判断した。上記を踏まえて、審査委員全員一致して合格と判定した。

注 論文及び審査結果の要旨欄に不足が生じる場合には、同欄の様式に準じ裏面又は別紙によること。