

審査の結果の要旨

氏名 アンドレエバ森 アドリアナ フリストバ

修士（工学）アンドレエバ森 アドリアナ フリストバ 提出の論文は **Fuel Saving Sequencing of Arrival Aircraft**（燃料消費削減のための到着機シーケンシングに関する研究）と題し、英文で書かれ、9章からなっている。

航空輸送は今後、年5%近い成長が予想され、空港の混雑化と地球温暖化ガス排出の増加が懸念されている。地球温暖化ガス排出に関しては、燃料消費削減のために、空気抵抗低減、機体軽量化、エンジンの低燃費化、低炭素燃料などとともに、飛行経路の最適化が検討されている。このうち、飛行経路の最適化は混雑化する空域での航空管制とも密接に関連し、既存の機体を運航させる際の燃料消費削減策として早期の取り組みが期待されている。ただし、現状の航空管制は航空管制官の判断に依存し、混雑空港で全て自動化するには長期の開発と膨大な試験が必要とされる。筆者は、機体のサイズによって燃料消費特性が異なることに着目し、サイズの異なる航空機が混在して到着する際に、到着機の順番を変更することによって燃料消費を削減することが可能なことを最適化計算によって示し、現状の航空管制官による運用に取り入れることが容易な簡便なルールを最適化計算結果から導き、その効果をモンテカルロシミュレーションによって確認することを試みている。

第1章は序論で、航空管制に関する研究の背景を整理するとともに、研究の動機、目的を述べるとともに本論文の構成をまとめている。

第2章では航空管制の歴史的変遷と現状の方式を調査し、ターミナルエリアでは、航空機の後方乱気流の影響を避けるために既定の間隔において滑走路に着陸させる必要があり、ターミナルエリアへの進入点を定め、進入点へ到着した航空機を到着順に管制していることを示し、その方式が、燃料消費の観点からは最適でない事を指摘している。

第3章では、到着機の順序付けに関する過去の研究を総括している。過去の研究事例は複数航空機の順位付けを実時間最適化問題として扱っており、現状の航空管制方式で直ちに取り入れることが困難なことを指摘し、単純なルール作りを提案することの意義を明確にしている。

第4章では、航空機の燃料消費特性のモデル化手法を説明している。すなわち、航空機を質点としてモデル化し、水平飛行から滑走路進入までの消費燃料を最小化するように飛行経路を算出する手法を最適化問題により定式化し、そ

の数値計算手法を記述している。

第5章は、本論文で使用している最適化手法である逐次二次計画法 (SQP: Sequential Quadratic Programming) に関して整理している。

第6章は、対象とする大型機 (B747 クラス) と、中型機 (B737 クラス) を仮定し、東京国際空港 (羽田空港) への進入を想定したシナリオを説明している。

第7章は、単独の降下に関して消費燃料が最小となる最適解を分析している。最適解は、可能な限り高高度を飛行し、最大の経路角で直線的に降下する方式であることを確認した後、飛行時間を拘束した状態での最適降下に関しても計算を実施し、燃料消費量が飛行時間に関して二次関数として近似できることを示した。

第8章では、大型機と小型機が同数ずつ混在する状況において、着陸の最適な順序づけに関して検討している。順序付けの基本的な考え方は、大型機は最適な着陸飛行経路からずれた場合に燃料消費量が大きく増加するのに対して、小型機はその変化量が少なく済むので、トータルな消費燃料に関して着陸順序の変更が効果的であるという点である。数機ごとの組に対して、最適な着陸順序を求め、それをもとに、単純な着陸順序のルールを提案し、その効果を50機に対するモンテカルロシミュレーションによって確認している。4機ごとに順位の入替えを単純なルールにより実施した場合には、到着順に管制した場合に発生する燃料増加量を17%削減することに成功している。最適な並べ替えを行った場合の削減量は35%であるので、その半分の効果を単純なルールで達成できていることになる。同時に考慮する機数を増やせばさらに効果は増すと予想されるが、管制官のワークロードの増加を同時に考慮することが必要であることも指摘している。

第9章では、本研究の成果をまとめると同時に、さらなる研究課題について述べている。

以上、要するに、本論文は、サイズの異なる航空機が混在して到着する際に、到着順を最適化する方法を定式化し、その解から、管制官が現場で活用できる簡単な到着順序の入替えルールを見出し、その効果をモンテカルロシミュレーションによって検証した。これらの成果は、航空工学上貢献するところが大きい。

よって本論文は博士 (工学) の学位請求論文として合格と認められる。