

令和 5 年 4 月 17 日現在

機関番号：82627

研究種目：若手研究

研究期間：2019～2022

課題番号：19K15119

研究課題名（和文）離陸機の運用最適化に関する研究

研究課題名（英文）Optimization of Departure Aircraft Operation

研究代表者

森 亮太（Mori, Ryota）

国立研究開発法人海上・港湾・航空技術研究所・電子航法研究所・上席研究員

研究者番号：30560114

交付決定額（研究期間全体）：（直接経費） 2,900,000 円

研究成果の概要（和文）：本研究は、離陸までの地上航空機の移動時の効率策、および、上昇中の推力制御による燃料削減策の2点について実施した。前者については、ゲート出発予定時刻の予測性向上を機械学習による実施する手法を提案した。その予測結果を地上航空機の移動制御に使用することで、遅延を最小限としながら、地上移動の時間を効率的に減らすことが可能であることが示された。後者については、航空機の上昇中にエンジン推力を減らすことで燃料消費削減を行う手法を提案した。そして、航空会社のシミュレータにより実際に実現が可能かどうかの検証を行い、B777-300ERにおいて、1フライトあたり100ポンド程度の削減が可能であることが示された。

研究成果の学術的意義や社会的意義

地上移動の効率化の研究については、ゲート出発予定時刻を点としてではなく分布として予測するという新たな手法を提案し、学術的に新たな展開をもたらした。また、その結果として得られた地上移動時間の削減は、燃料消費削減に寄与し、実際に導入されることで社会的意義が大きい。エンジン推力削減の研究については、1980年代の研究と結論を異にする新たな結果として学術的な貢献が大きく、またそれを社会実装するにあたり航空会社の運用面を考慮し、実際に実施できる目途が示されたことの意義は大きい。

研究成果の概要（英文）：This research conducts two different approaches: 1) efficiency improvement of taxiing of departure aircraft, 2) fuel saving during the climb by reducing the climb thrust. As for 1), the pushback time is predicted by machine learning using the past airport operational data, and its result is used to control the pushback time, which leads to the effective reduction of taxiing time. As for 2), I proposed the new engine control method to save fuel during climb. The simulator experiment showed that the fuel of about 100 lb per flight is saved in B777-300ER.

研究分野：航空交通管理

キーワード：最適化 機械学習 航空

1. 研究開始当初の背景

世界の航空交通量は、今後も増大が見込まれており、それに伴い燃料消費量の削減は喫緊の課題となっている。本研究では、離陸機における運用に焦点を当て、以下の2つの観点から、燃料消費量の削減方策についての検討を行う。

地上走行時の離陸機の燃料消費削減を行うためには、タキシング時間削減を行うことが有効である。離陸機は通常出発準備ができ次第スポットを出発し、滑走路手前まで地上走行(タキシング)を行う。滑走路が離着陸機で混雑している場合には、滑走路付近に着いても地上で待たされ、タキシング時間が通常より長くなり、必要以上の燃料消費を行うこととなる。これを避けるために、一定時間スポットで待機することでタキシング時間を削減する試みが行われており、各航空機に設定されたスポット出発時刻をTSAT(Target Start-up Approval Time:スポット出発承認時刻)と呼ぶ。しかしながら、実際には不確実性が存在し、事前に想定したシナリオ通りに事がすべて進むわけではない。そのため、不確実性を考慮した上でTSATを適切に設定しなければ、タキシング時間を減らすだけでなく、同時に本来離陸できた時間よりも離陸時刻が遅くなってしまいリスクが伴う。そのため、TSATをどのように設定すればよいかという点を本研究で取り扱うこととする。

上昇時においては、一般にできるだけ早く巡航高度に辿り着くことが燃料削減につながると言われており、上昇中にできるだけ水平飛行をなくす取り組みが行われている。このような運航をCCO(Continuous Climb Operation)と呼んで、国際民間航空機関(ICAO)においてもCCOによる運航が推奨されている。CCOが運航できない背景にあるのは、他の航空機との干渉であったり、管制・空域の問題であったりするケースが多く、これらの制約がない場合には、現状でもCCOによる運航は実施されている。現行の航空機は、巡航開始点(TOC/Top of Climb)に至るまでは、航空機に搭載されているFMS(Flight Management System)により計算された上昇プロファイルを飛行するが、その際TOCまで最大上昇推力を使用する。最大上昇推力による上昇は、最適解に近い上昇ではあるが、厳密に最適ではない。本研究においては、現行の最大上昇推力による上昇が純粋な最適解と比較してどの程度の乖離があるのかを明らかにし、現行の上昇より効率的な上昇手法の提案を行う。

2. 研究の目的

前者の研究においては、TSATの設定手法を改善することにより、同一の遅延リスク上でタキシング時間を削減できることを示すことを目的とする。後者においては、最適な上昇経路を現実的に飛行可能な手法を提案し、その現実的な可能性を示すことを目的とする。

3. 研究の方法

前者においては、TSATのパフォーマンスを改善するために、TOBT(航空会社提供のスポットアウト可能予想時刻)の精度向上手法の検討を行った。具体的には、既に発出されたTOBTの履歴を入力とし、AOBT(実際のスポットアウト時刻)の尤度を最大化する分布パラメータを出力とするようなニューラルネットワークを構築した。今までは、航空会社が推定した一点のTOBTのみを用いて、TSATを設定していたが、それだとTOBTの精度情報が含まれておらず、それをTSAT設定に有効活用する術がなかった。本研究では、TOBTを分布推定することで、TOBTの精度情報を含むことができ、それにより航空機が滑走路に到達する時刻の分布を推定することができ、それをTSAT設定に有効活用できる可能性がある。

後者については、最適解を導出することで、燃料節減の可能性は示すことができるが、その経路を実際に航空機が飛行することは、現行航空機の技術的な観点から難しく、実現可能な手法を考える必要がある。また、机上の計算のみならず、シミュレータ等を通して、人間が介在する中で提案手法が実現可能かどうかを検討する必要がある。

図1 提案する上昇のイメージ

4. 研究成果

前者の研究について、TOBTの分布推定その結果の例を図1に示す。この例では、航空会社が事前にTOBTを通報し、その後1度更新をかけている例を示している。時間が経つとともに、徐々に分布が変わっていきつつあることがわかる。これは、TOBTの時刻に近づくにつれて、その信頼度が上がっていくことを示している。一方、更新がかかった場合には、それに合わせて分布も大きく変わっている。ここで、TOBTの更新回数なども入力として加えられており、こういった情報を利用することで、TOBTの推定精度を正しく知ることができ、それがTSAT設定精度の向上に貢献することが期待される。

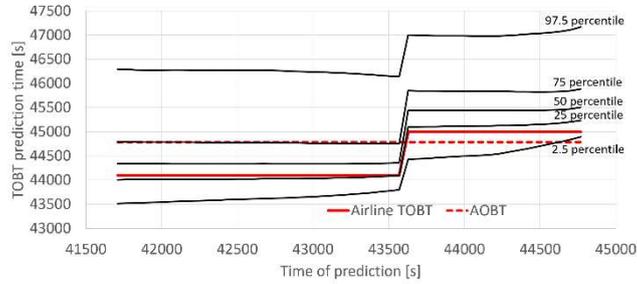


図1 TOBTの通報履歴と推定された分布の時間履歴

提案したTOBT推定手法を用いてTSATを設定した結果を図2に示す。実線がTOBTを一点推定した場合で、赤線が分布推定をした場合である。同程度の待ち時間に対して、圧倒的に遅延が少ないことが示されている。これは、TOBTの分布推定により、TSAT設定のパフォーマンスがあがったことを示している。

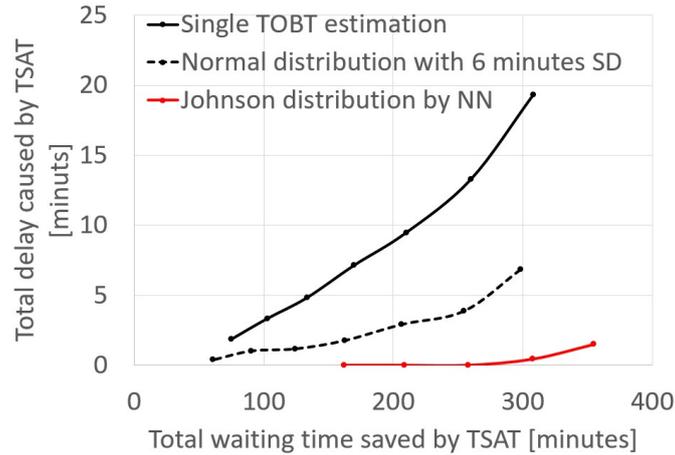


図2 TSAT設定のパフォーマンス

後者の研究については、航空機の最大推力は上昇時にはMCL (Maximum Climb Thrust)を用いるが、その他にMCR (Maximum Cruise Thrust)と呼ばれるMCLよりも低推力のモードがあり、これを用いることで推力を減らし、燃料消費量を削減できる可能性があり、それは現行の航空機で実現可能な手法である。そのイメージを図3に示す。途中までは通常通り上昇を行い、上昇中の特定の点で最大推力をMCRに変更する。巡航高度上昇後は、通常通り巡航状態となる。そのため、パイロットは上昇中に推力設定をMCRに変更する必要があるが、それはCDU上から容易に実施が可能なことを確認している。

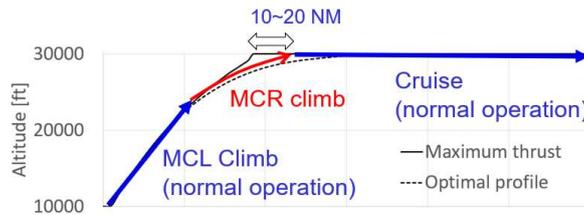


図3 提案する上昇経路のイメージ

航空会社の協力のもと、B777-300ER型機のシミュレータを用いて、本提案手法の検証を行った。その結果、1フライトあたり100ポンド程度の燃料削減が可能であることが示され、それは風の影響にほとんどよらないことが示された。また、乗員のコメントからも、MCRに変更するのはほとんど手間にならず、燃料削減効果と比較して十分にワークロードが低いということであった。この結果は、近い将来、本手法により実際に燃料節減が実現可能であることを示していると言える。

5. 主な発表論文等

〔雑誌論文〕 計1件（うち査読付論文 1件/うち国際共著 0件/うちオープンアクセス 1件）

1. 著者名 Ryota Mori	4. 巻 57,5
2. 論文標題 Fuel-Saving Climb Procedure by Reduced Thrust Near Top of Climb	5. 発行年 2020年
3. 雑誌名 Journal of Aircraft	6. 最初と最後の頁 800-806
掲載論文のDOI（デジタルオブジェクト識別子） 10.2514/1.0035200	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスとしている（また、その予定である）	国際共著 -

〔学会発表〕 計3件（うち招待講演 0件/うち国際学会 3件）

1. 発表者名 Ryota Mori
2. 発表標題 Simulator Experiment and Real World Implementation of Reduced Climb Thrust Fuel Saving Procedure
3. 学会等名 IEEE DASC 2022（国際学会）
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 Ryota Mori
2. 発表標題 Off-block Time Prediction Using Operators' Prediction History
3. 学会等名 IEEE DASC 2021（国際学会）
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 Ryota Mori
2. 発表標題 Evaluation of Departure Pushback Time Assignment Considering Uncertainty Using Real Operational Data
3. 学会等名 9th SESAR Innovation Days（国際学会）
4. 発表年 2019年

〔図書〕 計0件

〔産業財産権〕

〔その他〕

-

6. 研究組織

	氏名 (ローマ字氏名) (研究者番号)	所属研究機関・部局・職 (機関番号)	備考
--	---------------------------	-----------------------	----

7. 科研費を使用して開催した国際研究集会

〔国際研究集会〕 計0件

8. 本研究に関連して実施した国際共同研究の実施状況

共同研究相手国	相手方研究機関
---------	---------