

卒業論文要旨

軌道ベース運用のための飛行時間余裕を確保した最適なフライトプランの提案

システム工学群

機械システム制御研究室 1250009 伊佐 颯真

1 序論

現在、さまざまな業界で脱炭素化への取り組みが行われている。航空業界においても国土交通省により航空脱炭素化基本方針が2022年12月に定められた。⁽¹⁾⁽²⁾すべての航空機の出発から到着までを一体的に管理する軌道ベース運用 (Trajectory-based operation) は、航空の脱炭素化に貢献するものである。⁽³⁾また、現在の航空交通システムの課題には硬直した空域分割および固定的な経路構成による運用によって、一時的に空域処理容量を超える交通量が発生している。さらに、管制通信および情報の提供、取得が音声通信のみであるため、単位時間あたりに行うことが出来る管制通信や情報の交換には限度がある。⁽⁴⁾そこで本研究では、将来の軌道ベース運用の実現のため、航空会社が作成するフライトプランに着目し、管制通信や情報の交換に必要な時間を確保しながら空域処理容量を超える交通量を改善するためのフライトプランを提案することを目的とする。

2 使用データ

本研究では飛行計画のデータと実飛行の航跡データの2つを用いる。飛行計画のデータには OFP (Operational Flight Plan) を用いる。これは、CAE社が提供する飛行計画システムにより作成された飛行計画のデータである。⁽⁵⁾OFP内にはフライトの基本情報である出発日、航空機の便名、機体登録番号、出発・到着時刻、巡航高度や機体重量、機体の速度などが記載されている。

実飛行の航跡データとして、放送型自動従属監視 Automatic Dependent Surveillance-Broadcast (ADS-B) により取得されたデータを用いる。これは航空機が絶えず、現在の位置と高度を放送するシステムであり、航空管制官やパイロットが状況確認に用いることがある。オンラインサービスである Flightradar24 では ADS-B の情報が得られる受信機を所有する有志および Flightradar24 が設置した受信システムからの情報に、便名や位置や高度、出発・到着空港などの情報を付加して Flightradar24 より提供される。⁽⁶⁾ダウンロードしたファイルには日付、時刻、便名、緯度・経度 (GPS)、気圧高度、対地速度、対地方位角が記載されている。気象データには気象庁の客観解析全球数値予報モデル Global Spectral Model (GSM) の Grid Point Value (GPV) データを用いる。⁽⁷⁾また機体性能モデルとして Base of Aircraft Data (BADA) を用いる。⁽⁸⁾本研究では解析に用いる便として、飛行経路を那覇発羽田行に限定した。データ日時は2022年6月6日、機種は A359 (便名: JL902,904,906,908,918) である。

3 解析手順

- (1) ADS-B データから得られる航空機の実航跡と、OFP データから得られる飛行計画の飛行経路を比較することで実航跡と飛行計画の差異を把握する。
- (2) 先行研究⁽⁹⁾で用いられた軌道最適化ツールを用いて飛行計画の最適化を図る。
- (3) 最適化された飛行計画と従来の飛行計画、実航跡の燃料消費量と飛行時間、飛行軌道について比較を行う。

4 解析結果

4-1 現在の飛行計画と実航跡の軌道比較

図1および図2に2022年6月6日 JL902 便を軌道最適化した結果の経路、高度比較を示す。

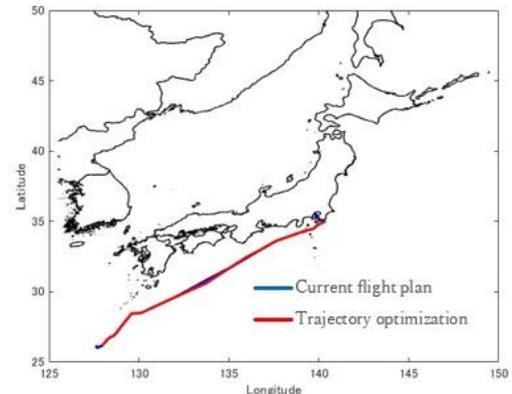


Fig.1 Current flight plan path and after trajectory optimization for JL902 on June 6, 2022

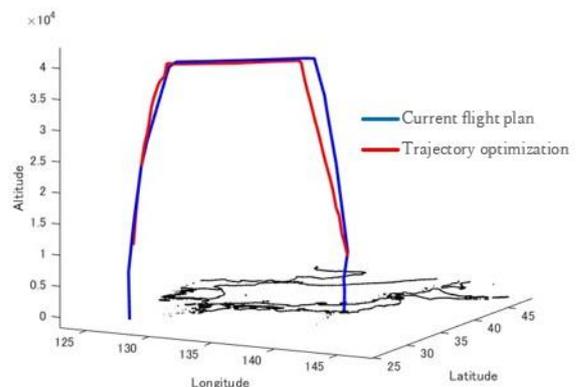


Fig.2 Current flight plan altitude and altitude after trajectory optimization for JL902 on June 6, 2022

図 1 から分かるように、軌道最適化後の経路は現在の飛行計画とほとんど同じ位置を飛行している

図 2 から分かるように、軌道最適化後の高度は現在の飛行計画と比べて早い段階から降下し始めている。

4-2 軌道最適化後の飛行計画と実航跡の燃料、時間比較

始点と終点の waypoint 間で飛行に要した燃料消費量について、表 1 に実航跡の値と軌道最適化ツールにより得られた飛行時間の値、それらの差を示す。

Table 1 Fuel consumption and difference between the current flight plan and flight plan after trajectory optimization

Flight number	Current flight plan[lb] (a)	Trajectory optimization [lb] (b)	Difference [lb] (b)-(a)
JL902	19681	19571.01	-109.99
JL904	18989	18773.26	-215.74
JL906	19815	19615.70	-199.30
JL908	20197	1991.34	-205.66
JL918	19786	19679.14	-106.86
		Average	-167.51

表 1 から分かるように 5 便の差の平均は-167.51[lb]であることが分かる。したがって現在の飛行計画よりも少ない燃料消費量で飛行を可能にしていると考えられる。

始点と終点の waypoint 間で飛行に要した時間について、表 2 に実航跡の値と軌道最適化ツールにより得られた飛行時間の値、それらの差を示す。実航跡の値については境界条件で用いている始点の時間と終点の時間の差を飛行時間としている。

Table 2 Actual trajectory, time comparison of trajectory optimization and its difference

Flight number	Actual flight path [s] (a)	Trajectory optimization [s] (b)	Difference [s] (b)-(a)
JL902	6360	6769.7	409.7
JL904	7140	6520.9	-619.1
JL906	6360	6574.6	214.6
JL908	6230	6574.6	344.6
JL918	6050	6674.2	624.2
		Average	194.8

5 便の差の平均は 194.8 秒であることが結果より分かる。したがって、現在の飛行時間より 3 分以上長い時間飛行することになる。ここでコストインデックス (CI) について考える。CI は式(1)で表されるため、CI の値が小さければ時間をかけてでも燃料を優先する。一方 CI の値が大きければ、燃料より時間を重視することとなる。

$$CI = \text{時間コスト} / \text{燃料コスト} \quad (1)$$

また、小さな CI では飛行時間が長くなる。本研究では軌道最適化の計算をする際、時間調節のための重み係数 a を 0 とした。そのため表 1,2 の結果は燃料最小軌道の結果となっている。現在の飛行計画よりも飛行時間を伸ばしつつ、燃料を削減できる飛行計画になっていると考えられる。

5 まとめ

本稿は、航空の脱炭素化に貢献すると期待される軌道ベース運用の実現のためにフライトプランに着目し、飛行時間余裕を確保しながら空域処理容量を超えない最適軌道を新たな飛行計画として提案することを目的とし、現在の飛行計画と軌道最適化後の飛行計画の燃料消費量と飛行時間について比較した。結果として燃料消費量は 167.51[lb]少なくなっており、飛行時間は実航跡より平均 3 分程度長くなった。それにより燃料削減量が多くなると考えられる。以上のことから、本研究の目的である、飛行時間を調節するための余裕を確保した最適な飛行計画の提案と考える。

謝辞

本研究の遂行にあたり、熱心で丁寧な指導をしてくださった原田明徳准教授、指導教員の岡宏一教授へ感謝を申し上げます。また、研究に行き詰った際に、さまざまな知識や、アドバイスをご教授していただいた諸先輩方、ならびに同期の方々に感謝いたします。

文献

- (1) 航空脱炭素化推進基本方針の策定について～空のカーボンニュートラルを目指して～, 国土交通省, URL: https://www.mlit.go.jp/report/press/kouku08_hh_000039.html (2025 年 1 月アクセス)
- (2) 航空脱炭素化推進基本方針, 国土交通省, <https://www.mlit.go.jp/report/press/content/001573999.pdf> (2025 年 1 月アクセス)
- (3) 国土交通省, 航空, 航空交通, 将来の航空交通システムに関する推進協議会, 将来の航空交通システムに関する研究会
URL: https://www.mlit.go.jp/koku/koku_CARATS.html
- (4) 国土交通省, 航空通信システムのこれまでの取組み・現状の課題, P36,38,
URL: <https://www.mlit.go.jp/common/000039363.pdf>
- (5) 木下隼斗, 松本博樹, 渡利雄太, 杉山太一: 飛行計画システムを用いた国内空域における UPR 導入時の効果分析, 第 58 回飛行機シンポジウム, オンライン, 2020 年 11 月.
- (6) Asahinet 飛行機とトラッキングと GPS,
URL: https://www.ne.jp/asahi/nature/kuro/RDBX/RD_ADS.htm
- (7) 京大生存圏研究所, 気象庁データ,
URL: <http://database.rish.kyoto-u.ac.jp/arch/jmadata/gpv-original.html>
- (8) EUROCONTROL Experimental Center: User Manual for the base of Aircraft Data (BADA) Revision 3.14, EEC Technical/Scientific Report, No.17/05/29-143, issued in June 2017.
- (9) 原田明徳, 武市昇, 増木拓海, 中畑洋明, 猪端沙希, 長田信泰, 安田晃久: 軌道ベース運用に適した新たな飛行計画に向けた一検討, 2024 年 7 月.