



2023年9月7日

報道関係者各位

慶應義塾大学

最適制御×航空管制～環境にやさしい航空交通管理手法～

慶應義塾大学工学部の井上正樹准教授、同大学大学院理工学研究科の石井南(修士課程2年)と和田真治(研究当時、修士課程)らは、航空交通管理(※1)の特に航空機の到着管理の問題に取り組み、準継続降下運航(Semi-Continuous Descent Operation, Semi-CDO)という新たな交通管理手法を開発しました。

昨今、地球から住環境の規模まで広く環境問題への関心が高まっており、航空分野においても、問題解決に向けた取り組みが期待されています。このためには、各航空機自体の高度化だけでは不十分で、航空機の集合を管理する航空交通管理を効率化することも必要不可欠です。

本研究では、従来の継続降下運航(CDO, ※2)において、降下途中での高度調整を行うことで間接的に到着時間を制御できることを見出しました。そして、CDOに数理モデルベースでの高度調整アルゴリズムを取り入れた交通管理手法であるSemi-CDOを開発しました。

本研究は、国立研究開発法人 海上・港湾・航空技術研究所 電子航法研究所の虎谷大地主任研究員と共同で行ったものです。

本研究成果は、2023年9月6日(日本時間)に米国航空宇宙学会(AIAA)の国際論文誌『*Journal of Aircraft*』にオンライン速報版が公開されました。

1. 本研究のポイント

- ・航空交通管理の分野では、AI技術を導入して効率的な運航を行うことが期待されている。
- ・本研究では、降下運航において通過高度を調整することで到着時間を制御できることを見出し、既存の運航方式であるCDOに到着時間制御機能を付与したSemi-CDOという交通管理手法を開発した。
- ・本研究の成果をもとに、現在は一部の空港の夜間でのみ運用されているCDOを昼間などへも拡大して、燃料消費・環境負荷・騒音を低減した航空機の到着管理を一層広めることが期待される。

2. 研究背景

コロナ禍で落ちていた航空需要も回復にむかい、今後より一層高まっていくことが予想されています。また一方で、高騰する燃料費を抑制したい航空会社からの期待、CO2排出などの環境負荷を低減したい社会的目標、航空騒音を低減して住環境を整えたい空港周辺住民など、航空分野にはさまざまな視点での課題が残されています。航空法でも2022年より脱炭素化推進を推進するための措置を講じるよう条文が改正されました。さらに高まる航空需要を満たしつつこれらの課題へ取り組むために、航空交通管理の分野においてもAI技術を導入して効率的な交通管理を行う必要があります。

航空交通管理の中でも到着管理に注目すると、航空機の降下段階においてアイドル状態を保ちながら継続的に降下する運航方式である継続降下運航(CDO)が開発されて、徐々に導入も進んできました。CDOは、アイドル状態で運航を行うため燃料の節約が可能であり、高高度を維持できるため騒音の低減やCO2排出量の削減にも効果が発揮されます。ただ、未だ大部分を占める標準的な降下方式であるステップダウン降下(※3)と比較すると、CDOは航空機の到着時間の予測が難しく、しかも到着時間の調整幅が少なくなります。そのため、一部の空港で交通量の少ない夜間のみでの運用に留まる

など、十分にその能力を発揮できていません。今度、この CDO の運用拡大を行うためには、到着時間調整の機能も付与することが必要不可欠でした。

3. 研究内容・成果

本研究では、CDO での運航を基本としながら降下途中での高度調整を行うことで、間接的に到着時間を制御できることを見出しました。そして、この結果から着想を得て、CDO に数理モデルベースでの高度調整アルゴリズムも取り入れた交通管理手法である Semi-CDO を開発しました。そして、関西国際空港への到着管理を模擬したシミュレーションを行い、Semi-CDO では到着時間の調整幅を CDO から大きく広げられることを示しました。

図 1 では、標準的なステップダウン降下、CDO、Semi-CDO による降下を比較しています。ステップダウン降下では空港から遠く早い段階から降下を開始しており、途中で到着時間を調整しています。CDO では降下を開始したあとは、継続的に降下しています。Semi-CDO は 2 つの中間の振る舞いをしており、高度や速度を調整しながら継続的に降下しています。図 2、3 では、関西国際空港への CDO と Semi-CDO 下の降下運航を模擬したシミュレーション結果を示しています。図 3 左の継続的に降下する CDO に対し、図 3 右の Semi-CDO では高度調整を行うことで到着時間を調整しています。

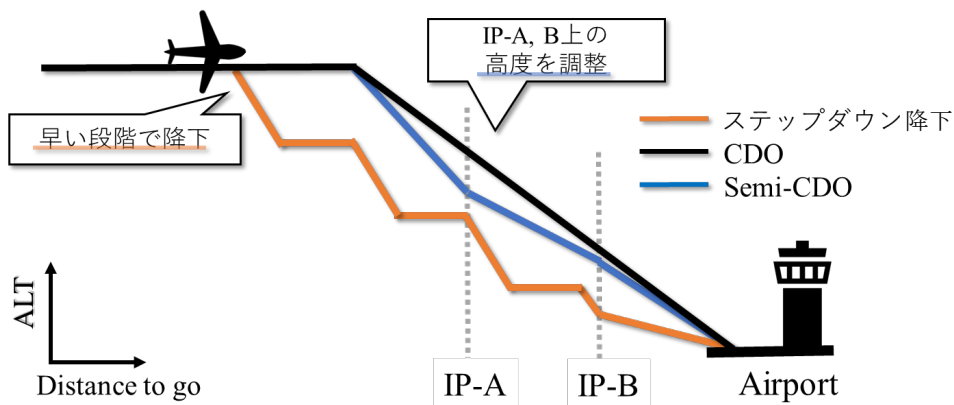


図 1：標準的なステップダウン降下、CDO、Semi-CDO による降下運航の比較

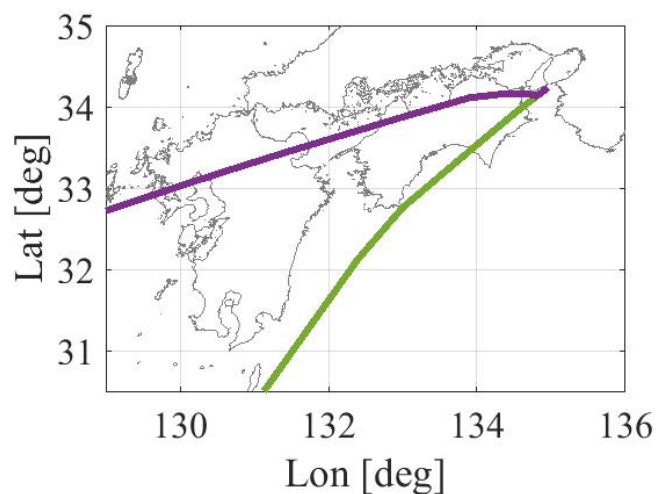


図 2：関西国際空港への 2 つの経路

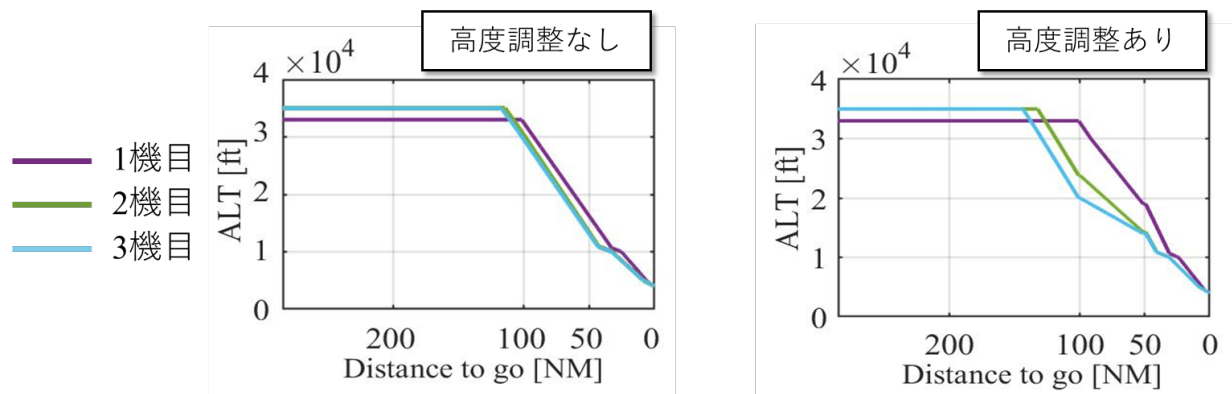


図3：関西国際空港への降下運航を模擬したシミュレーション結果
(左：CD0、右：Semi-CD0)

4. 今後の展開

本研究で開発した高度調整アルゴリズムは、管制官の判断の補助システムとして実装されることを想定しています。現時点ではシステムから管制官へ一方的に情報を提示するものになっていますが、今後は管制官とインタラクティブに相談しながら高度調整を行うアルゴリズムの開発を目指しています。データに基づき到着時間予測などを高精度に行う AI 技術と経験に基づいて広い視野でさまざまな判断のできる管制官が連携することで、効率的で信頼性の高い航空管制を実現できると期待しています。

本研究の一部は、日本学術振興会（JSPS）基盤 B 20H02173 の支援を受けて実施されました。

<原論文情報>

Shinji Wada, Minami Ishii, Masaki Inoue, and Daichi Toratani, Semi-Continuous Descent Operation: A Fuel-Efficient Interval Management Algorithm, *Journal of Aircraft*, 2023
<https://doi.org/10.2514/1.C036696>

<用語説明>

- ※1 航空交通管理：航空機が空港から離陸し、空域を飛行して目的地の空港に着陸するのを支援するすべてのシステムを含む航空用語。航空管制官による航空交通サービス、空域の管理、航空交通に対する需要容量調整である航空交通流管理などから構成される。
- ※2 継続降下運航：航空機の降下段階においてアイドル状態を保ちながら継続的に降下する運航方式。アイドル状態での運航のため燃料の節約が可能であり、かつ、高高度を維持できるため騒音の低減やCO2の削減にも効果が期待される。
- ※3 ステップダウン降下：従来型の降下の方法。航空管制官が他の航空機との接近がないことを確認した高度まで降下指示を出すということを繰り返すことで、結果的に航空機が段階的に降下していく。

※ご取材の際には、事前に下記までご一報くださいますようお願い申し上げます。

※本リリースは文部科学記者会、科学記者会、各社科学部等に送信させていただいております。

- 研究内容についてのお問い合わせ先

慶應義塾大学 理工学部 物理情報工学科 准教授 井上 正樹 (いのうえ まさき)

TEL : 045-566-1567 E-mail : minoue@appi.keio.ac.jp

- 本リリースの配信元

慶應義塾広報室 (望月)

TEL : 03-5427-1541 FAX : 03-5441-7640

E-mail : m-pr@adst.keio.ac.jp <https://www.keio.ac.jp/>