

大規模空港における継続降下運航の 運用拡大に関する研究

航空交通管理領域

※平林 博子、ビクラマシンハ ナヴィンダ、虎谷 大地、
瀬之口 敦、岡 恵、江口 昌広、福島 幸子

求められるCDOの積極的な導入

Continuous Descent Operations (CDO：継続降下運航)

エンジン推力最小状態で巡航高度から連続的に降下

- ・ 消費燃料削減効果
- ・ 騒音低減効果



ICAOのGANP ASBUにおけるモジュールのひとつ



ICAO

目的

なぜ、CDOの導入は容易に運用できないのか？ 想定される課題

大規模空港においては、

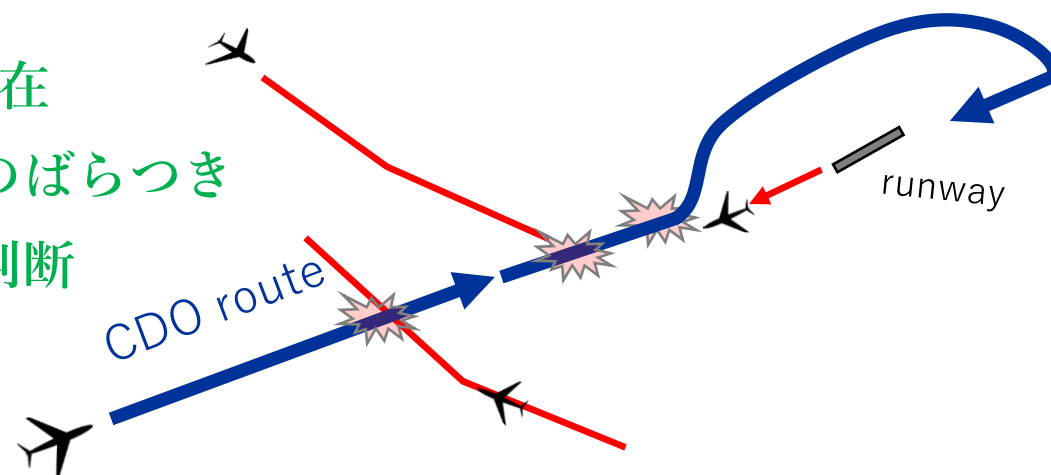
- 他機との間隔維持
- 軌道予測の不確かさ
- 管制官ワークロード

の影響が大きい

競合機の存在

CDO軌道のばらつき

CDO実施判断



課題に有効な方策を講じることで、CDO実施機をできる限り増加させること

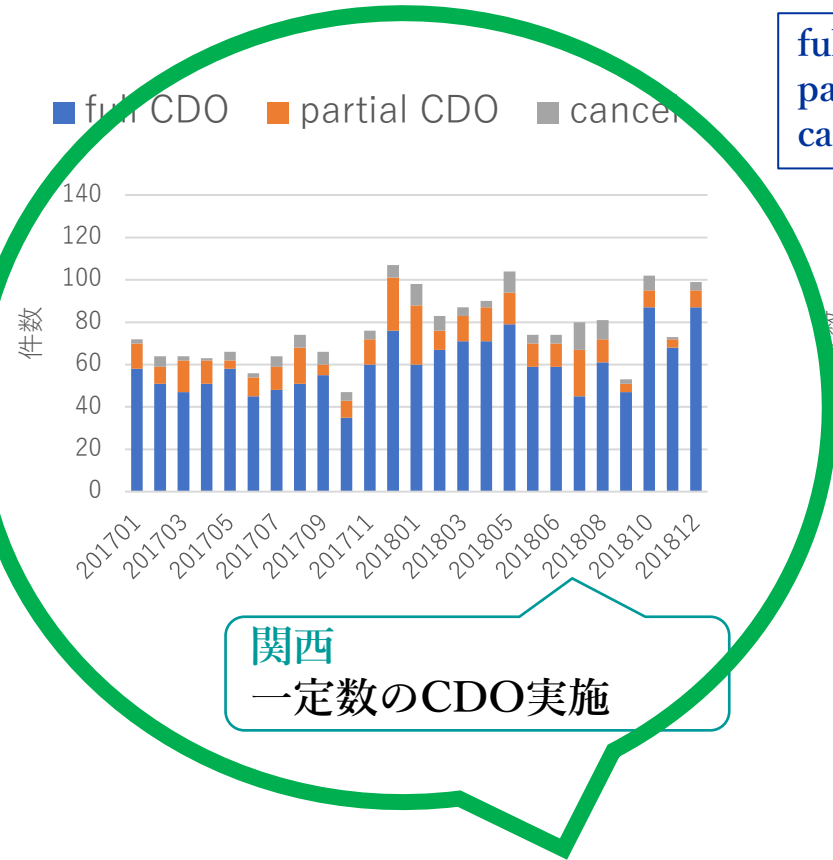
現状のCDO運用

我が国においては、現時点で3空港においてCDOが導入されている
運用時間は限られている

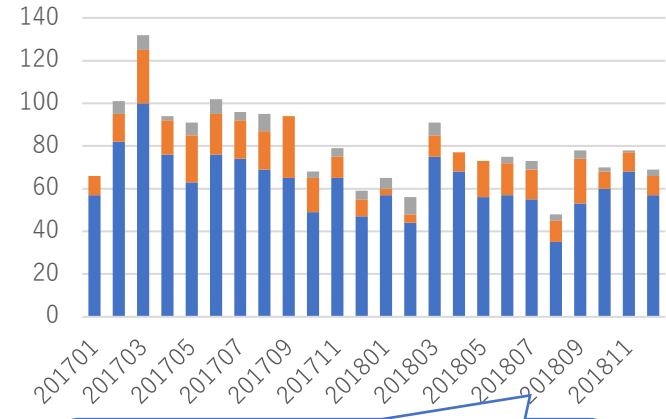
空港	運用時間	2015年度 着陸回数/ 日	CDO運用 開始	CDO運用時間
関西国際 (RJBB)	24時間	199	2009 May	23:00-07:00 JST
那覇 (ROAH)	24時間	212	2013 Sep	01:30-05:00 JST
鹿児島 (RJFK)	07:30- 21:30 JST	91	2015 Oct	20:15-21:30 JST

現状のCDO運用

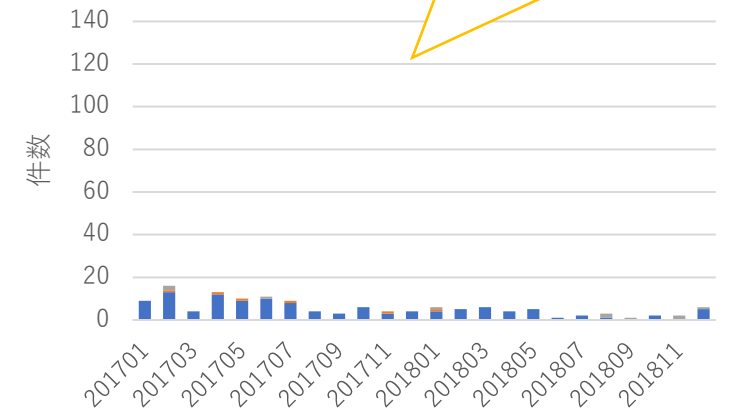
各空港におけるCDO要求件数及びそれに対するCDO許可機数



full CDO 最後までCDOを実施
 partial CDO CDO途中でキャンセルされた場合
 cancel CDO要求時点でキャンセルされた場合



鹿児島
CDO実施率低
ターミナルエリア統合の影響



Source 平林博子、ビクラマシンハナヴィンダ、虎谷大地
 「管制経験者によるCDO運用拡大に必要な要件の検討」
 第19回電子航法研究所研究発表会 2019年6月

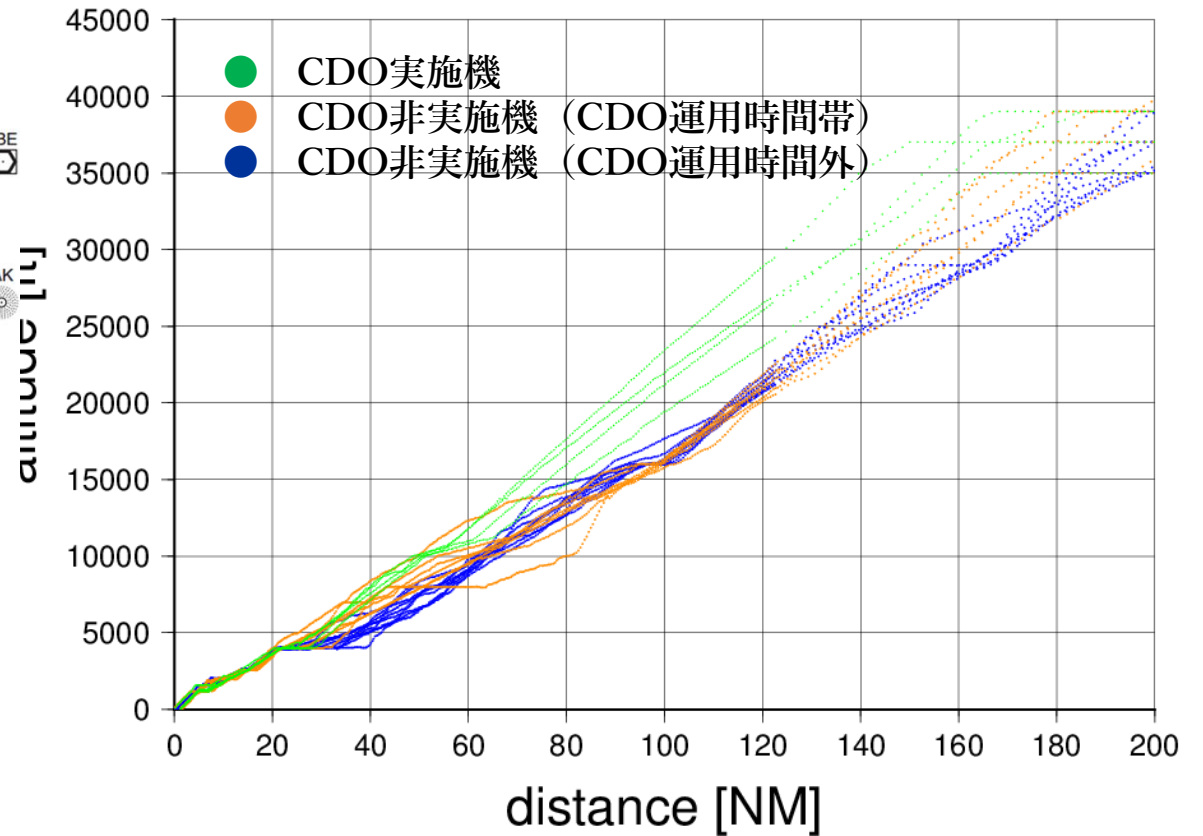
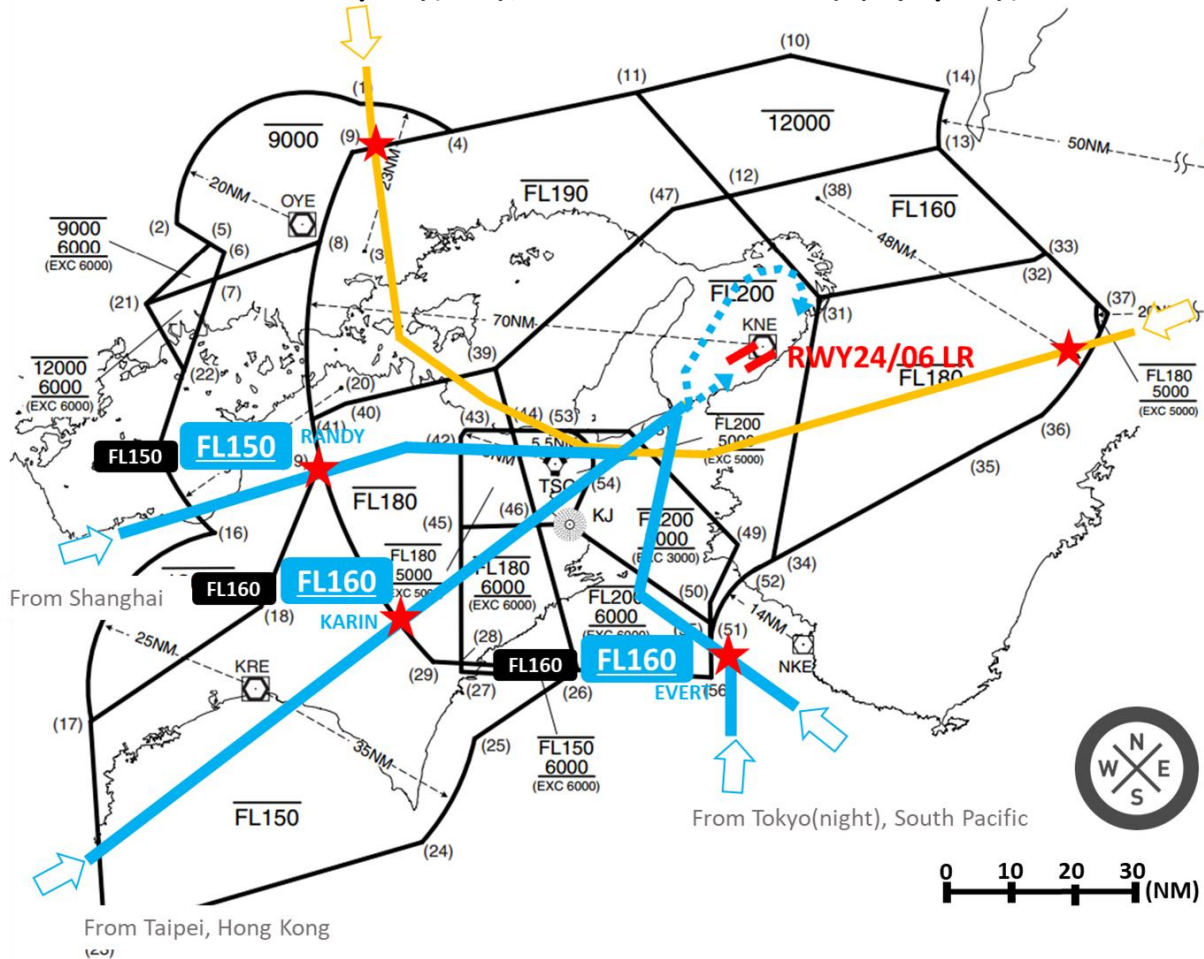
需要の多い関西国際空港にターゲットを絞る

関西国際空港におけるCDO - 降下軌道

★ 移管点

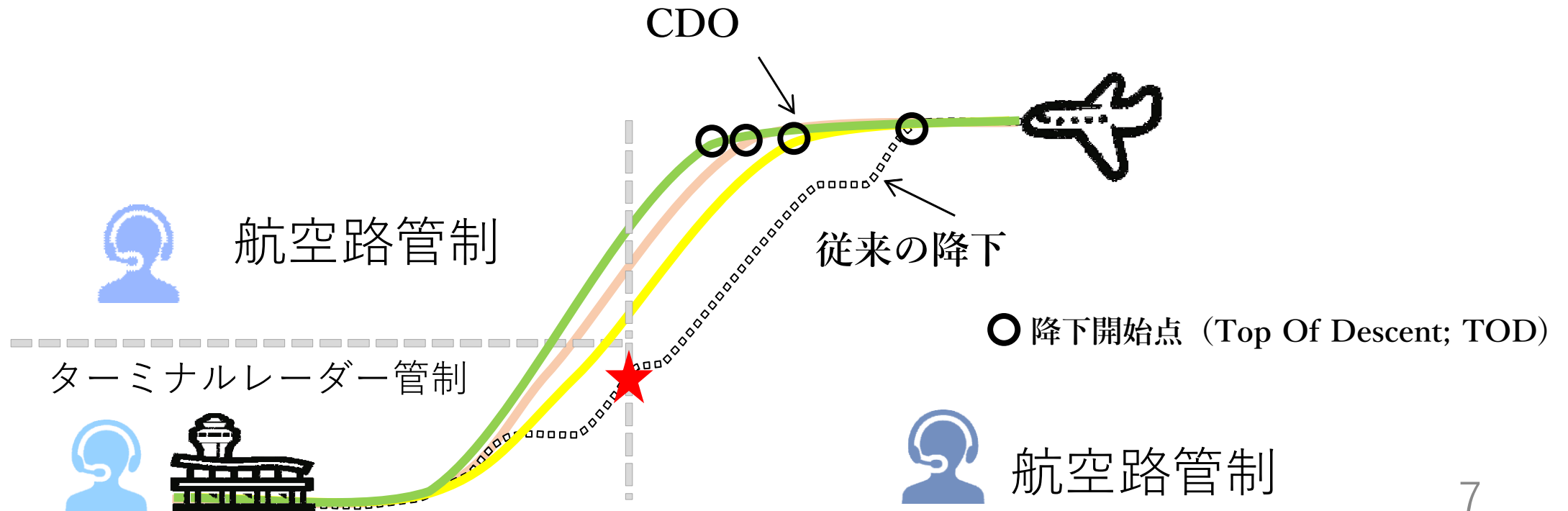
— 降下経路

— CDO経路が設定されている降下経路



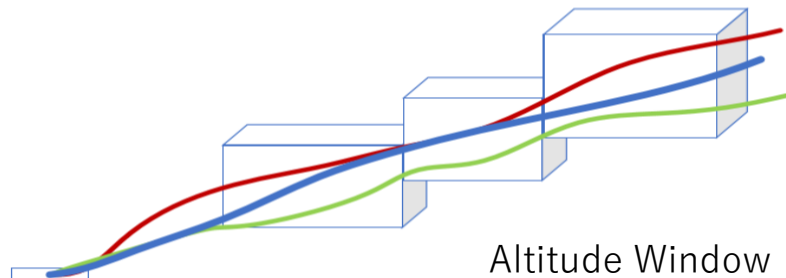
関西国際空港におけるCDO - 管制運用

- 関西国際空港への通常降下機は、
航空路管制からターミナルレーダー管制へ決められた
移管点を決められた高度で管制移管される。
- CDOは航空路管制空域で要求され承認される。



CDOの現状分析及び調査 - 研究の基盤

- CDO可能な隙間時間の存在を明らかに
 - レーダー航跡（実軌道）とCDOシミュレーション軌道の重ね合わせから、CDO可能な隙間時間の存在を示す
- 管制運用業務フローの整理
 - 従来の管制運用方式（能動型）とは異なる受動型の管制運用方式であることを示す
- CDO到着機同士に移管点で必要な安全間隔の試算
 - フルフライトシミュレーションによるパイロット操作の結果から、不確実性を含むCDO機同士に必要な安全間隔を試算（40 NM）
- 米国における条件付きCDO
 - 交通量の多い空港において、高度幅（Altitude Window）、速度指定を設けた到着経路の適用が成功した米国の事例の詳細を調査（条件付きCDOの検討に参照）



CDOの現状分析及び調査（追加）

- EUROCONTROL Airport cornerから

- Public Airport Corner

- EUROCONTROLが空港に特化したデータレポジトリ
- 104空港中40の空港においてCDOを実施
しかし、その多くは制限が付加された降下方式である
 - 運用時間限定
 - CDO開始高度限定
 - 速度制限
- TODから実施の空港は一桁

CDO Continuous Descent Operations eATM

Does your airport have CDO arrival procedures published in the AIP?
Yes

What are the CDO operating times?
24hr

From which altitude do the published CDO arrival procedures start?
6000ft

Does the CDO procedure include 'at or above' or 'window type' altitude constraints?
No

Does the CDO procedure include speed constraints?
Yes

London Heathrow
EGLL

CDO Continuous Descent Operation

Does your airport have CDO arrival procedures published in the AIP?
Yes

What are the CDO operating times?
24h

From which altitude do the published CDO arrival procedures start?
TOD

Does the CDO procedure include 'at or above' or 'window type' altitude constraints?
At or above

Does the CDO procedure include speed constraints?
Yes

Warsaw Chopin EPWA

	EGLL	EPWA	RJBB
Does your airport have CDO arrival procedures published in the AIP?	Yes	Yes	Yes
What are the CDO operating times?	24h	24h	23-07JST
From which altitude do the published CDO arrival procedures start?	6,000ft	TOD	TOD
Does the CDO procedure include 'at or above' or 'window type' altitude constraints?	No	At or above	At or above
Does the CDO procedure include speed constraints?	Yes	Yes (STAR charts)	Yes

CDO予測軌道アルゴリズムの開発

予測軌道生成アルゴリズムを開発

- CDOは、従来の方式（運用方式、管制指示等による制約あり）と比較すると自由な降下を実施 → 軌道予測の不確かさ
- 他機との間隔設定のためにも 高精度な予測軌道生成技術は必須

• CDO予測降下軌道作成技術

- 航空機モデル（BADA）を使用した数値シミュレーションにより、現実的な軌道算出

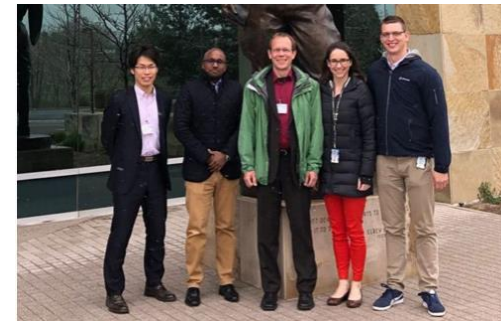
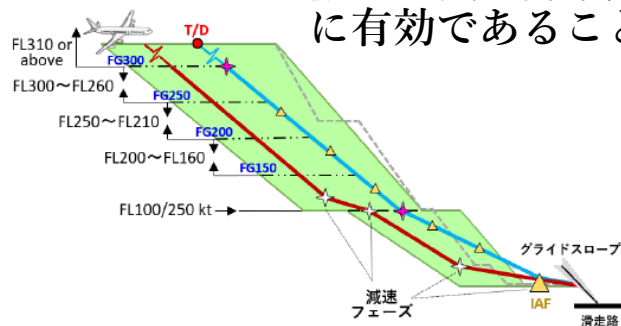
• 条件付きCDO予測軌道生成技術の検討

• Altitude window

- 消費燃料だけではなく、航空機の安定性、制御特性を考慮したAltitude Windowの設計手法を確立

• 固定飛行経路角降下（Fixed flight-path angle descent: Fixed-FPA）

- 減速と浅い降下角（3度より浅い）のFixed-FPA降下の組み合わせが可能であり軌道予測の精度向上に有効であることを明示



連携、大学との共同研究・公募研究

- 風の反映の工夫（横浜国立大学との共同研究）
 - 軌道予測のシミュレーション計算による風の影響を、所要時間を確率分布で表現
 - 予測軌道の幅を狭めることが可能
 - 機械学習の応用（慶応技術大学との共同研究）
 - CDO到着機の所要時間の予測
 - 予測モデルを使用することで高精度（平均と比較）な予測が可能
 - 経由点における予測（2段階）予測で精度向上
 - CDOを考慮したContinuous Climb Operations (CCO) 軌道生成アルゴリズム開発（横浜国立大学の公募研究）
 - 少ない機数でCDO降下機をモデル化し計算の高速化を実現
 - CDO降下機、CCO離陸期の不確定性を考慮するCCO離陸判断が可能であることを示す
- 予測軌道計算における高精度化を実現
- 通常のCDO、条件付きCDO、CCOなど複数のアルゴリズムを開発、様々なシステムにおいて、目的に応じた成果適用可能

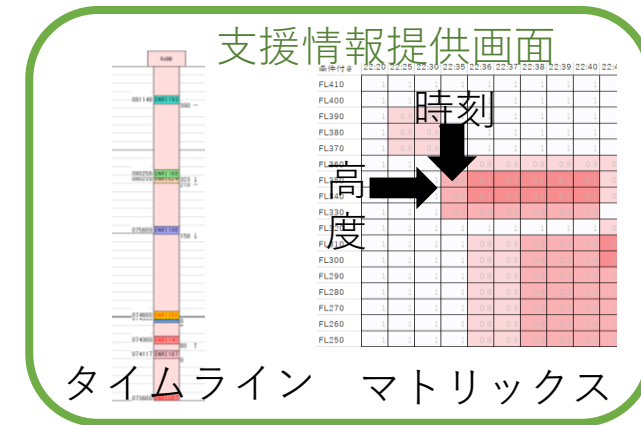
CDO実施判断支援ツールの政策及び管制経験者による評価

CDO実施判断支援ツールを製作、評価に使用

- ▶ 管制運用の工夫によるCDOを拡大を目指す
- ▶ 管制経験者参加型のヒューマンインザループ（HITL）シミュレーションを実施
- ▶ 管制官のCDO実施判断に有効な情報、CDO拡大に必要な交通流条件の明確化

• CDO実施判断支援ツール

- コマンドインプットにより
管制指示を模擬
- 判断に有効な管制官支援情報を示す



- ▶ CDO機に対する管制運用において有効な支援情報を提案

管制経験者によるHITLシミュレーション

- 管制経験者によるヒューマンインザループ（HITL）シミュレーション
 - CDO拡大のための管制運用工夫の検討



2018年度 約10試行
2019年度 約35試行以上



管制経験者によるツールを使用した評価実験

2018年度

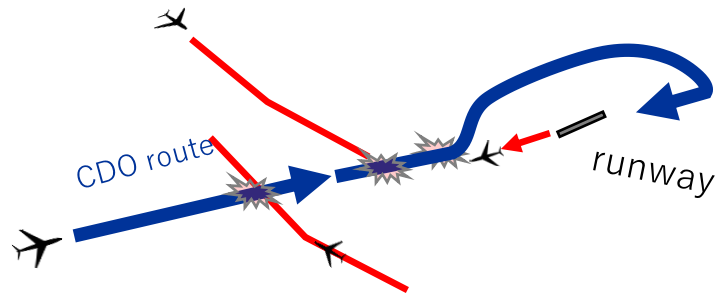
管制運用上の課題抽出
マトリックス画面の有効性

2019年度

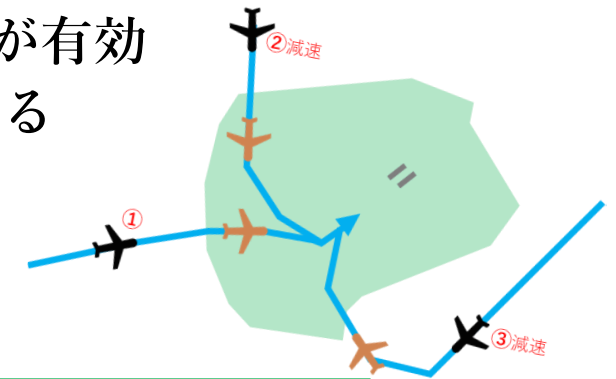
条件付き降下方式の検討
タイムライン支援機能の有効性

管制経験者によるHITLシミュレーション

- 管制経験者によるヒューマンインザループ (HITL) シミュレーション
 - CDO拡大のための管制運用工夫の検討



- 管制運用工夫 結果の一例
- 間隔欠如の到着機が3機以上存在する場合、遠方からの速度調整が有効
 - 変針、レベル飛行なしの降下が可能な状況の発生頻度が高まる
 - 速度指示の頻度が低減 → ワークロード低減
 - 到着機交通量は10分値3機、30分値7機程度まで
 - 到着機以外の交通量は少ない状況



→管制運用工夫によるCDO拡大の道筋を得た
→初期的な到着管理システム、さらに軌道ベース運用 (TBO) の導入
に伴いさらなるCDO運用拡大が図られる

まとめ

- 交通量の多い大規模空港におけるCDO実施機をできる限り増加させる
 - 課題整理 有効な方策を検討
 - 軌道予測の不確かさ
 - 他機との間隔維持
 - 管制官ワークロード
- 軌道予測の不確かさ
 - 予測軌道生成アルゴリズムの開発
 - 航空機運動モデル（BADA）を用いた数値計算によるCDO降下軌道の設計
 - 条件付きCDOの検討 Fixed-FPA → 令和2年度以降に環境指標を考慮した検討
- 他機との間隔維持、管制官ワークロード
 - CDO実施判断支援ツールの開発
 - 管制経験者による評価実験の実施
 - 航空路管制空域内での速度調整が有効な到着機交通量の提示
 - 管制運用の工夫によるCDO拡大の道筋を得た
 - 初期的な到着管理システムの導入、さらにはTBO導入に伴い、CDO拡大運用拡大は図られると考えられる

研究所技術資料として近日公表予定！

謝辞

本研究を実施するにあたり
データ提供にご協力いただきました国土交通省航空局、航空会社の関係者様
共同研究、公募研究でご協力いただいた横浜国立大学、慶應義塾大学の諸先生方
ツール開発にご尽力いただいた日本電気株式会社様
管制経験者の派遣にご協力いただいた管制協会様
に深く感謝いたします。