

# CDOにおける円滑な合流および交通流の形成のための飛行軌道の研究

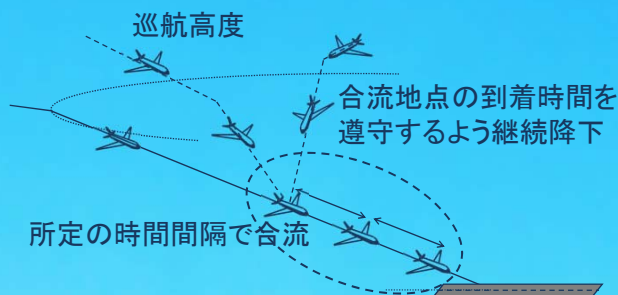
首都大学東京 システムデザイン研究科  
航空宇宙工学域 准教授 武市 昇

E-mail: takeichi@tmu.ac.jp URL: <http://www.comp.sd.tmu.ac.jp/navi/>

air power control  
air traffic control  
air traffic management

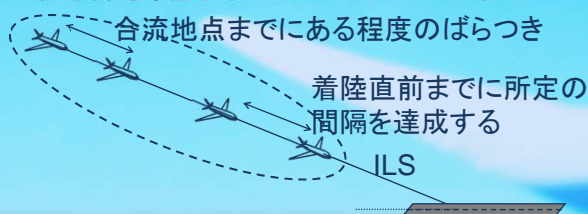
## ①CDOの基本的な運航コンセプト

- ◆CDO: 継続降下運用
- ◆特定地点で時間基準の間隔を確保して合流
  - ◆降下開始から合流地点までの飛行時間を調整
  - ◆コンフリクトを避けながら低推力で降下を継続
- ◆合流地点: 到着時刻にもばらつきが避けられない  
⇒ 滑走路までにばらつきを解消したい
- ◆CARATS施策: OI-30-6
  - ◆“航空機動態情報を活用した管制運用”
  - ◆動態情報: 精度・分解能ともに向上



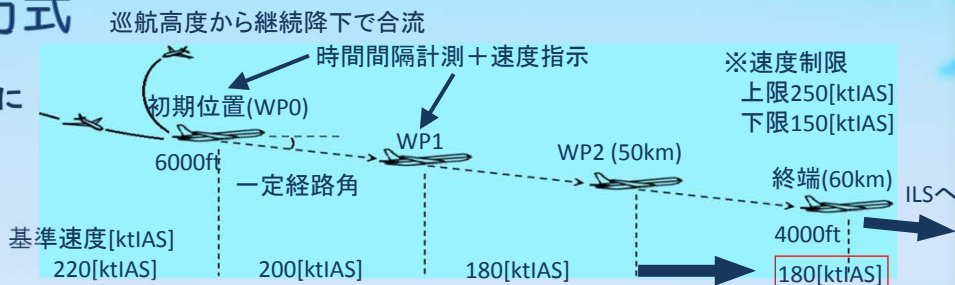
## ②本研究の目的: 経路構造と間隔維持方式の提案

- ◆滑走路に至るまでのCDOの最終段階
  - ◆ILSまでに間隔を調整する
- ◆“航空機動態情報を活用した管制運用”
  - ◆“管制官ベースTBO”
- ◆円滑な交通流を安全に実現



## ③想定する運航方式

- ◆直線の固定経路を想定  
⇒ 風向・風速の差の影響を最小限に
- ◆ウェイポイントで先行する航空機との時間間隔を計測
- ◆速度のみの指示による航空機間隔の調整



- ◆速度指示の量子化
  - ◆先行する航空機との時間差の過不足に応じて
  - ◆±5ktで指示 ⇒ MCPのマニュアル入力対応
  - ◆平均風速を考慮した速度指示

終端位置までに調整すべき時間差	先行機に対する速度差
6.6 - v <sub>ave</sub> × 1/2 × 0.24 ~ 19.8 - v <sub>ave</sub> × 3/2 × 0.24 [s]	+5[ktIAS]
-6.6 + v <sub>ave</sub> × 1/2 × 0.24 ~ -6.6 - v <sub>ave</sub> × 1/2 × 0.24 [s]	±0[ktIAS]
-19.8 + v <sub>ave</sub> × 3/2 × 0.24 ~ -6.6 + v <sub>ave</sub> × 1/2 × 0.24 [s]	-5[ktIAS]

### ◆運航方式の特徴

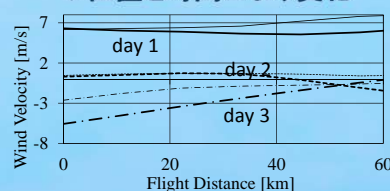
- ◆出来るだけ狭い使用空域
- ◆出来るだけ現行のシステムを用いる
- ◆管制側の運航手順: 管制支援ツールが必要
  - ◆WP通過時刻を把握
  - ◆先行機との時間間隔の過不足を把握
  - ◆過不足解消のためのIASを把握・指示
- ◆航空機側の運航手順: FMSとMCPの操作で可能
  - ◆経路に沿って飛行
  - ◆WP通過ごとに指示されたIASを満たす

## ④-1 交通流の振る舞い

- ◆数値解析: 100機からなる交通流 × 100日
- ◆初期擾乱: 平均0[s], 標準偏差20[s]の正規分布
- ◆時間遅れの考慮: 平均30[s], 標準偏差3[s]の正規分布
  - ◆管制官の判断および通信の時間遅れ
  - ◆速度指示からパイロットが航空機を操縦するまでの時間

### ◆風の考慮

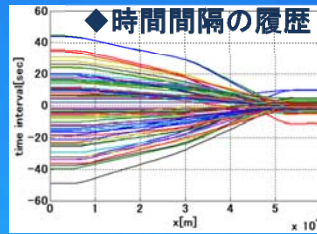
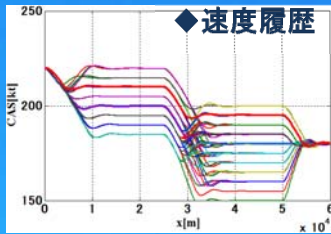
- ◆数値気象予報のMSMの風速を適用
- ◆位置と時間により変化





## ④-2 交通流の振る舞い

### ◆解析結果の一例



◆ 終端到達時の航空機間隔のばらつき: 平均0.48[s], 標準偏差4.39[s]

◆ 経路上の平均風速の変化を考慮した速度指示により100秒未満になる場合を解消

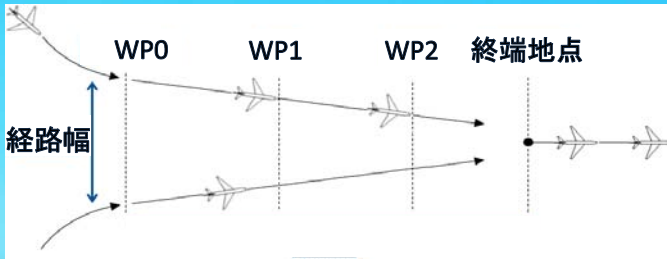
終端到達時の航空機間隔	機体数	割合[%]
100秒未満	0	0.00
100秒以上 105秒未満	11	0.11
105秒以上 110秒未満	70	0.71
110秒以上 115秒未満	823	8.31
115秒以上 120秒未満	3972	40.12

※機体数100機×100回

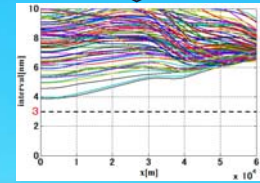
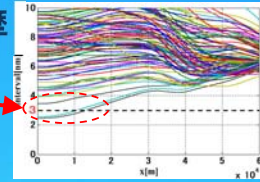
## ⑤安全性を向上する経路構造

◆ 初期擾乱により航空機間隔が3[NM]を下回る状況が発生しうる

◆ 初期位置に幅を設ける ⇒ 間隔不足を解消



### ◆間隔の履歴



## ⑥管制官のワークロード低減

◆ 管制官は処理できるのか? ⇒ 1名を想定, 指示間隔を評価

◆ WP1=25[km]の場合の指示間隔

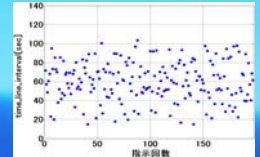
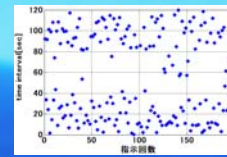
◆ 平均60.1[s], 標準偏差40.2[s], 最大:141.6[s], 最小:0.0[s]  
⇒ 運用は困難

◆ WP0とWP1をほぼ同時に通過する場合があるため

◆ WPの適切な配置

◆ 指示間隔: 標準偏差16.1~16.4[s]  
◆ 最大:108.6[s] 最小:10.4[s]

◆ 平準化が可能



WP間隔	指示間隔		終端ばらつき	
	平均[s]	標準偏差[s]	平均[s]	標準偏差[s]
20.4km	60.0	16.4	0.6	4.2
27.0km	59.9	40.6	0.3	3.9
33.7km	60.1	16.1	0.5	3.8
40.3km	60.2	40.0	0.3	4.2

## ⑦高密度交通流の形成

◆ 航空機間隔の一時的な短縮を活用して高密度交通流を形成する

◆ CDO運航では数段階の間隔調整: 例: 合流地点10000ft ⇒ 調整経路入口6000ft ⇒ 出口4000ft ⇒ 滑走路

◆ 所要の時間間隔: 滑走路120秒・そこまではそれ以下も可能 (例: 5NM/180ktTAS=100秒)

◆ 10000ft ⇒ 6000ftの間隔調整方法

◆ 6000ftでの所要間隔: 100秒とする

◆ 6000ft ⇒ 4000ftの調整可能時間: ±60秒

◆ 4000ft地点で120秒の間隔を確保できるよう短縮時間の蓄積を60秒未満に管理

◆ 実交通流を想定した解析: CARATSデータから対象経路を抽出

◆ 運航コストの評価関数: (最小コスト時間からの時間差)<sup>2</sup>

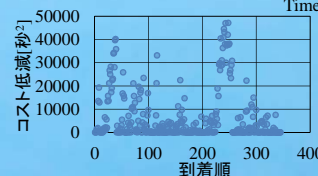
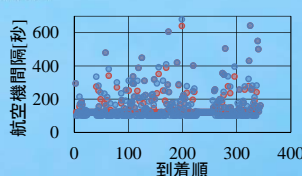
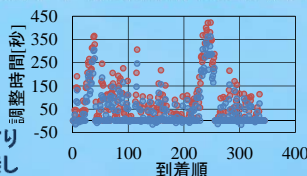
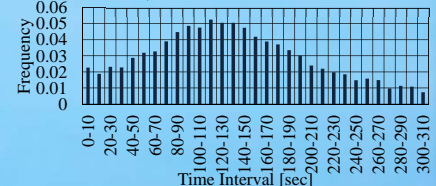
◆ 結果: 中間での短縮を考慮しない場合と比べて

◆ 交通流全体でコスト低減 (飛行時間短縮による)

◆ 交通が集中する時間帯ほど大きな効果



高度10000ftでの時間間隔の分布



青: 短縮利用有り  
赤: 短縮利用無し