

施策検討での研究事例①

飛行速度調整による到着時刻制御 に関する考察

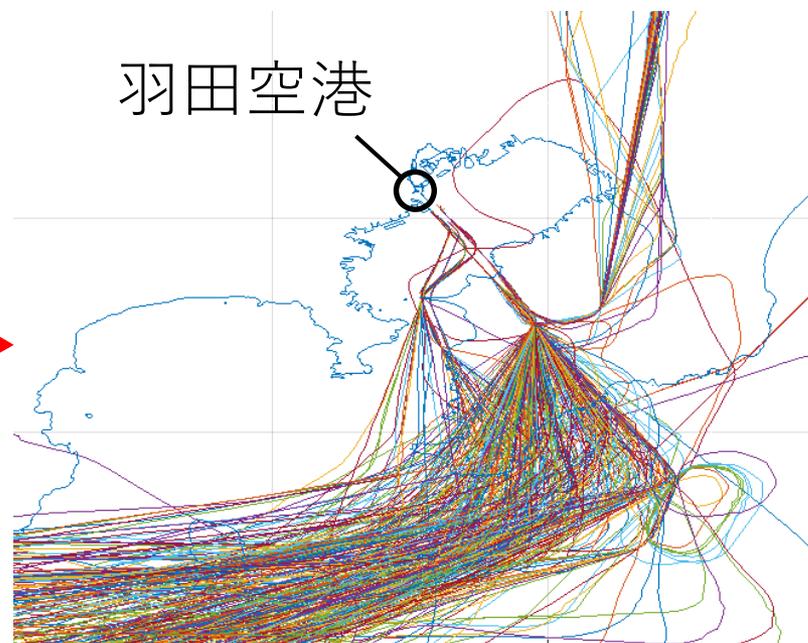
松野 賀宣、アンドレエバ森 アドリアナ、又吉 直樹

国立研究開発法人
宇宙航空研究開発機構
航空技術部門 次世代航空イノベーションハブ

CARATSオープンデータ活用促進フォーラム
平成30年12月14日

- CARATS航空交通流時間管理検討ワーキンググループでは、首都圏周辺空域の混雑緩和に向けた新たな交通流制御方法について導入の検討を進めている。

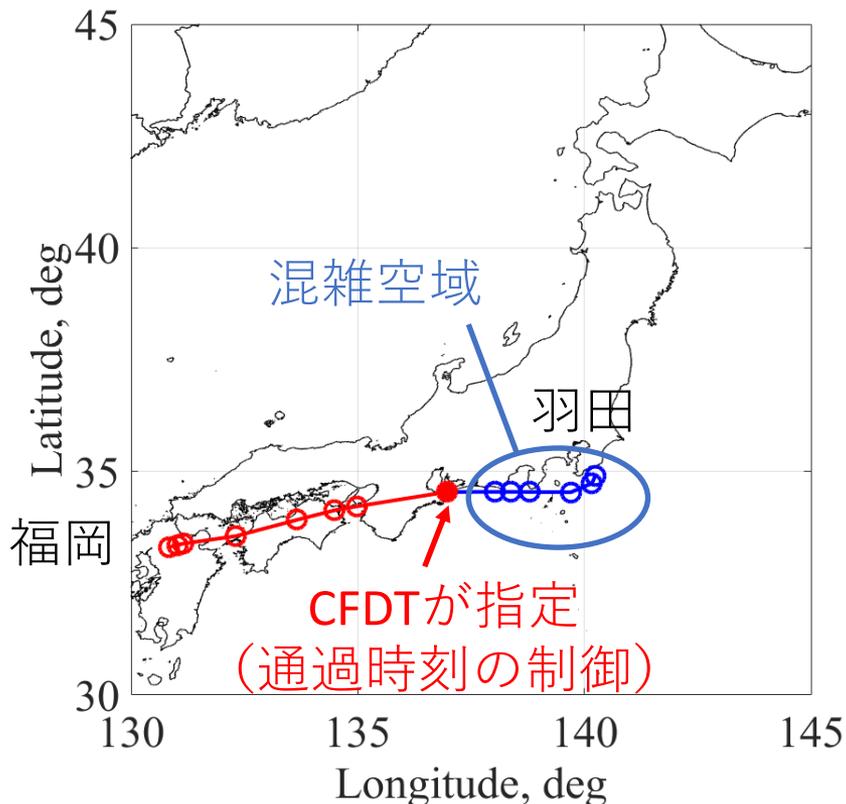
ある1日の羽田着陸便の航跡
(CARATSオープンデータより抽出)



CARATSオープンデータを活用した検討内容の一部を紹介

• 交通流制御方法

- 出発制御時刻の発出 (EDCT, Expected Departure Clearance Time)
- 特定地点通過時刻の発出 (CFDT, Calculated Fix Departure Time)



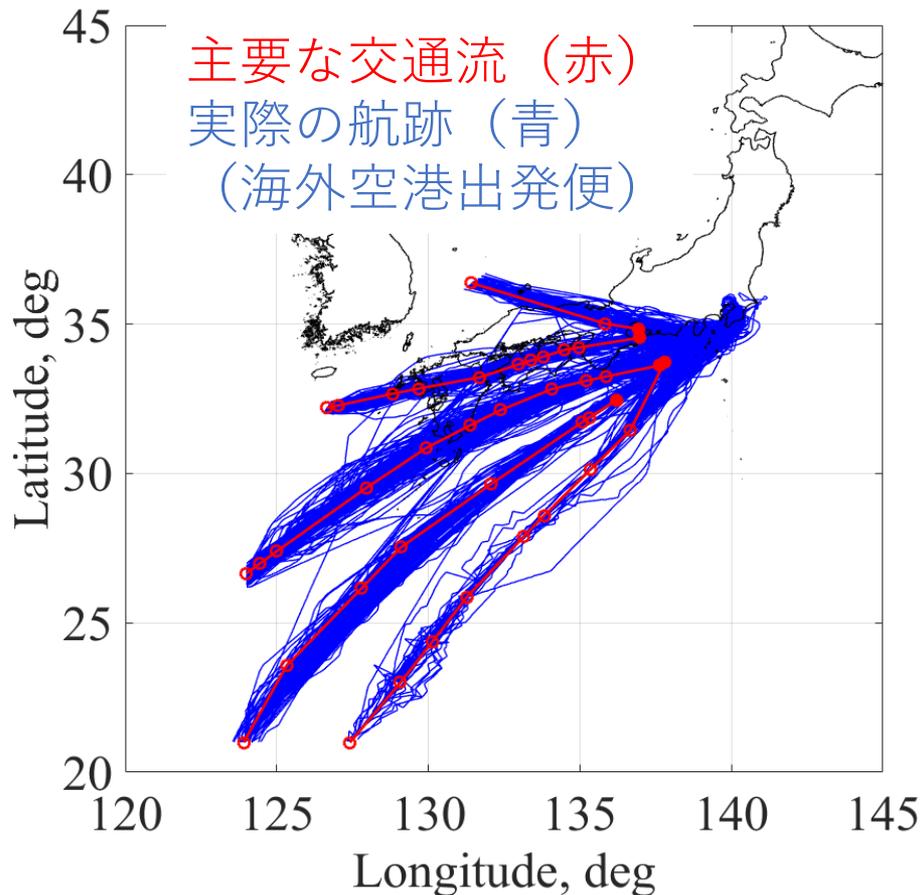
福岡 → 羽田のフライト例

出発前：EDCT制御
福岡空港の出発時刻を調整し、
混雑緩和 (実運航で実施中)

飛行中：CFDT制御
混雑空域への入域時刻を調整し、
混雑緩和 (導入を検討中)
→管制からCFDTが指定された後、
機上でCFDTを満たすように速度
調整 (主に巡航中)

新たな制御方法であるCFDT制御について導入を検討中

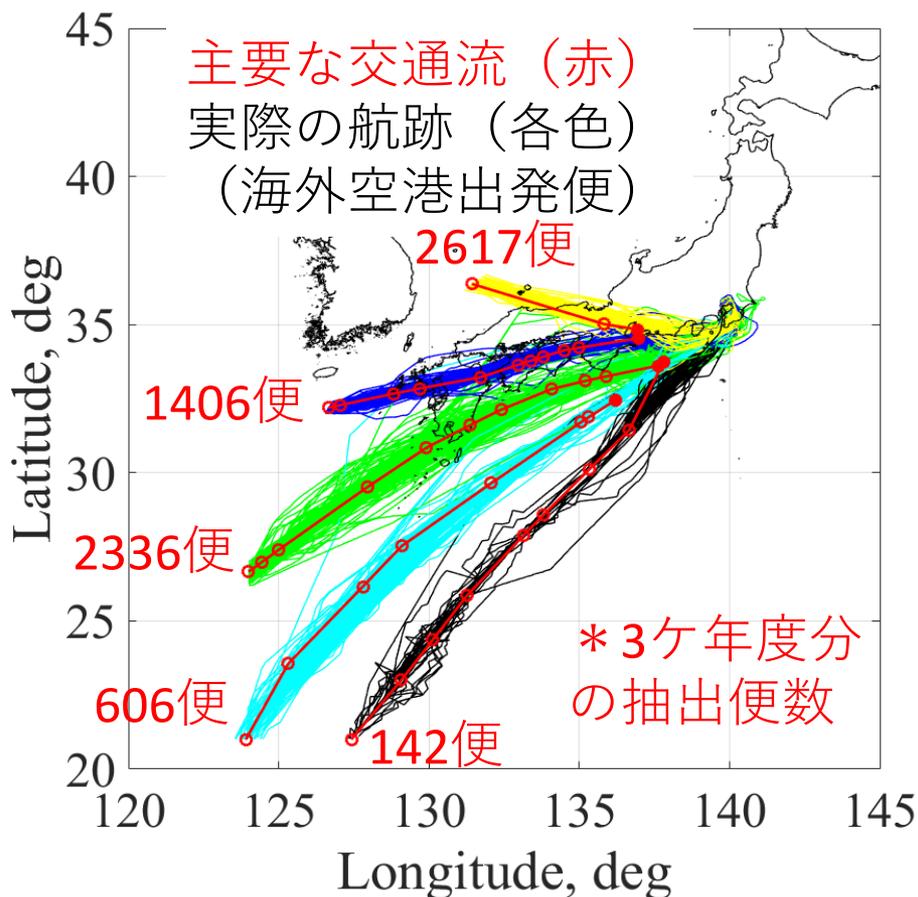
- CFDT制御の実現には、機上での速度調整で実行可能なCFDT通過時刻を地上から機上へ指定することが必要
- 速度調整で実行可能な遅延調整幅について定量的評価



実運用上、1便単位での遅延調整幅の割り当ては困難

- CFDT制御の実現には、機上での速度調整で実行可能なCFDT通過時刻を地上から機上へ指定することが必要

→速度調整で実行可能な遅延調整幅について定量的評価



実運用上、1便単位での遅延調整幅の割り当ては困難

→交通流単位で実行可能な遅延調整幅を評価

CARATSオープンデータ
(2014~2016年度分) を活用し統計的評価を実施

- CFDT制御の実現には、機上での速度調整で実行可能なCFDT通過時刻を地上から機上へ指定することが必要

→速度調整で実行可能な遅延調整幅について定量的評価

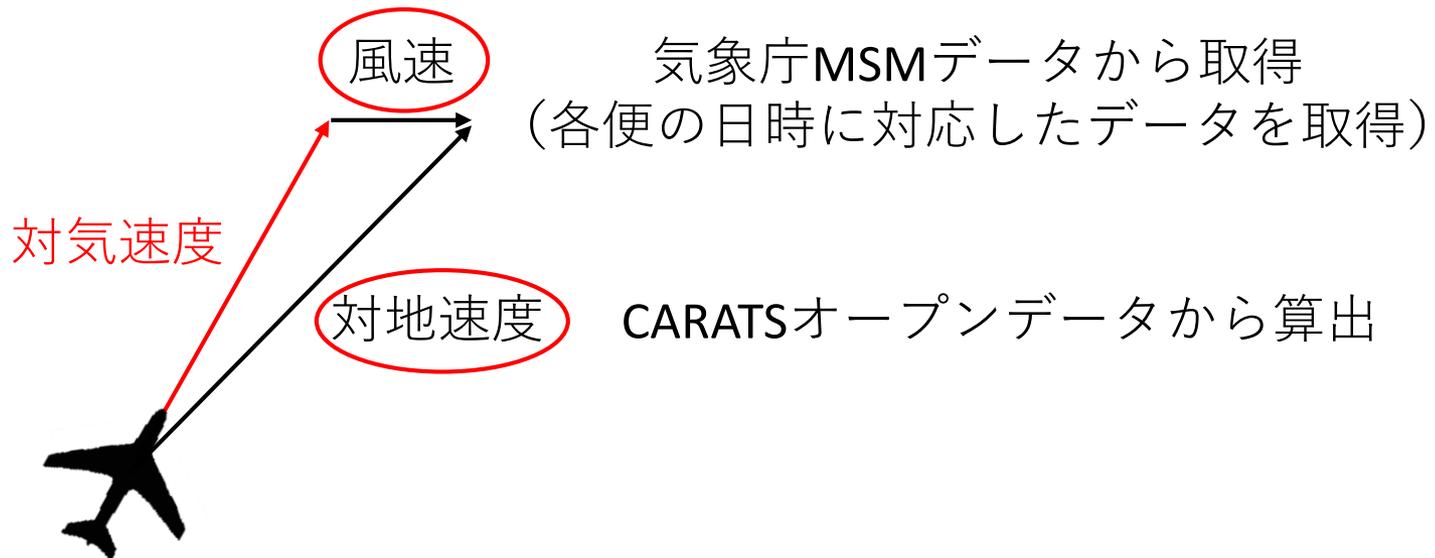
評価する上で必要な情報：

- 飛行経路、巡航高度（CARATSオープンデータ）
- 気象条件（風速、気温）（気象庁MSMデータ）
- 速度調整前の飛行速度
（CARATSオープンデータ + 気象庁MSMデータ）
- 調整可能な速度範囲
 - 機種（CARATSオープンデータ）
 - 機体性能モデル（EUROCONTROL BADA Ver.4）

- CFDT制御の実現には、機上での速度調整で実行可能なCFDT通過時刻を地上から機上へ指定することが必要
 - 速度調整で実行可能な遅延調整幅について定量的評価
- 評価する上で必要な情報：
- 飛行経路、巡航高度（CARATSオープンデータ）
 - 気象条件（風速、気温）（気象庁MSMデータ）
 - 速度調整前の飛行速度
（CARATSオープンデータ + 気象庁MSMデータ）
 - 調整可能な速度範囲
 - 機種（CARATSオープンデータ）
 - 機体性能モデル（EUROCONTROL BADA Ver.4）

速度調整前の飛行速度の推定

- 機上では対気速度を基準に運航
 - CARATSオープンデータ及び気象庁MSMデータから推定



- 速度範囲について

- Maximum Range Cruise (MRC) (機上で設定可)

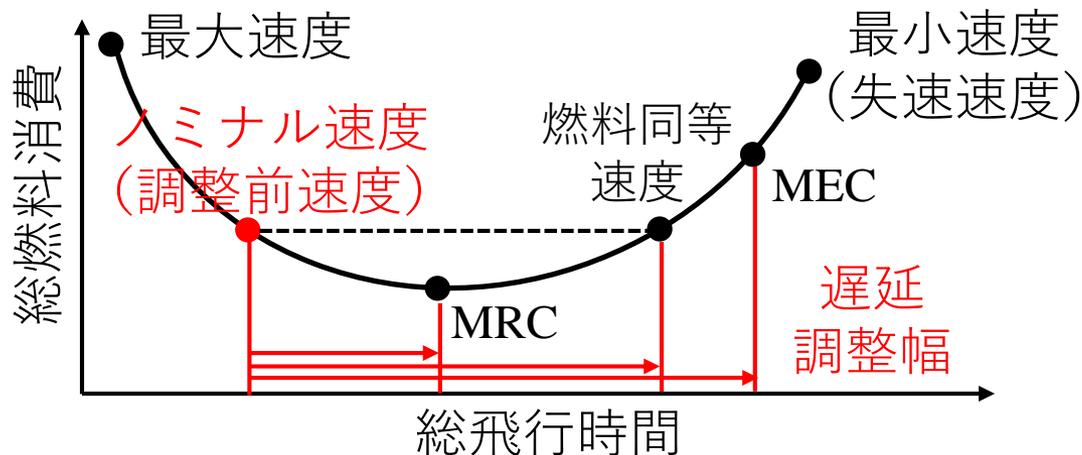
- 単位燃料消費当たりの航続距離が最大となる速度
(CFDT指定位置までの総燃料消費が最小となる速度)

- Maximum Endurance Cruise (MEC) (機上で設定可)

- 単位燃料消費当たりの飛行時間が最大となる速度

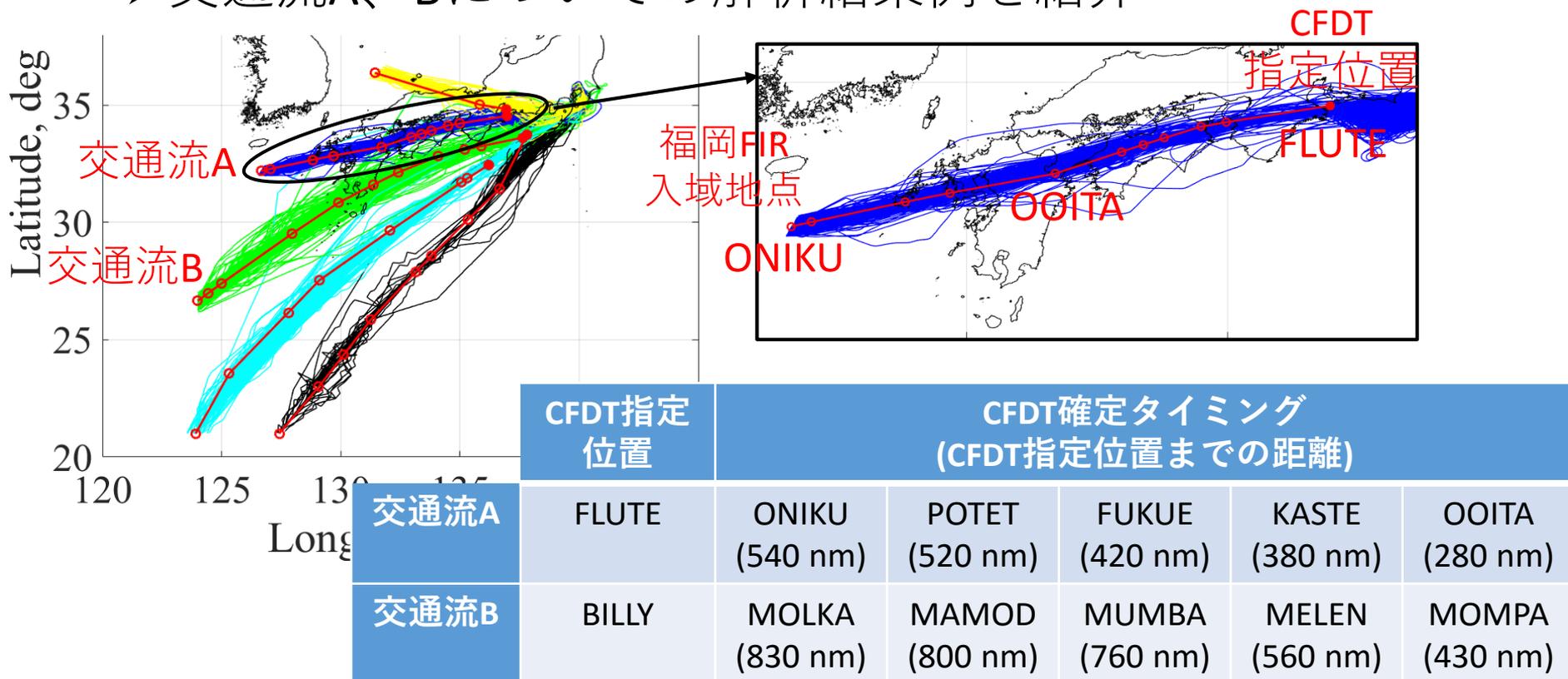
- 燃料同等速度 (機上で設定不可)

- ノミナル速度との燃料消費が同等となる速度
(燃料消費が悪化しない遅延調整幅の目安として算出)



- 解析の流れについて
 1. CARATSオープンデータから解析対象便を抽出し、対地速度の算出及び巡航高度・機種・日時の特特定
 2. 1で算出した対地速度及び1で特定した日時に対応する気象庁MSMデータを用いて、対気速度の推定（ノミナル速度（調整前速度）の推定）
 3. 1で特定した機種に対応する機体性能モデル（BADA Ver. 4）及び気象庁MSMデータを用いて、MRC・MEC・燃料同等速度を算出（最適化計算）
 4. 各飛行速度でのCFDT指定位置までの飛行時間を計算し、遅延調整幅を算出
 5. 上記1～4を交通流単位で全解析対象便に対して実行
 6. 各交通流について遅延調整幅を統計的評価

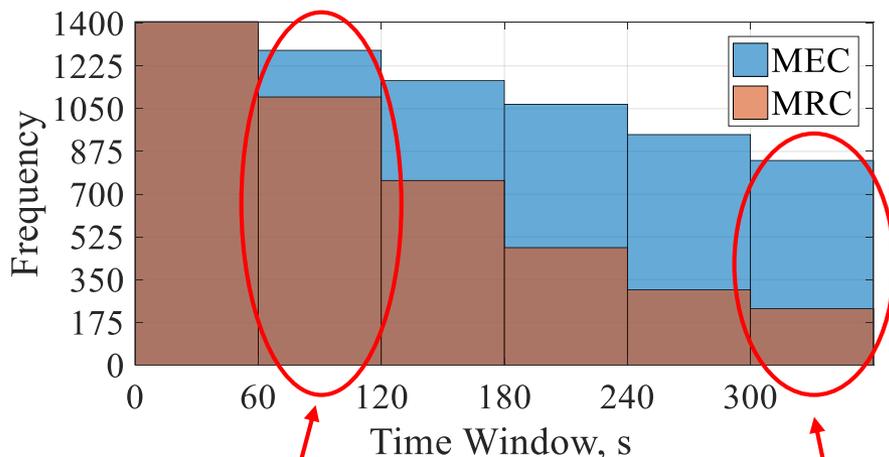
- 海外空港を出発し羽田空港へ着陸する便を解析対象
 - 福岡FIRに入域後、航空路上に複数配置されている各ウェイポイントを起点に速度調整を実行開始すると仮定
 - 交通流A、Bについての解析結果例を紹介



- 交通流A（全1406便）についての解析結果例

	CFDT指定位置	CFDT確定タイミング (CFDT指定位置までの距離)				
交通流A	FLUTE	ONIKU (540 nm)	POTET (520 nm)	FUKUE (420 nm)	KASTE (380 nm)	OOITA (280 nm)

➤ 全1406便の遅延調整幅（ONIKUから）の度数分布



「遅延調整幅がT秒以上の便数／全便数」をT秒以上遅延調整幅を実行可能な確率として算出

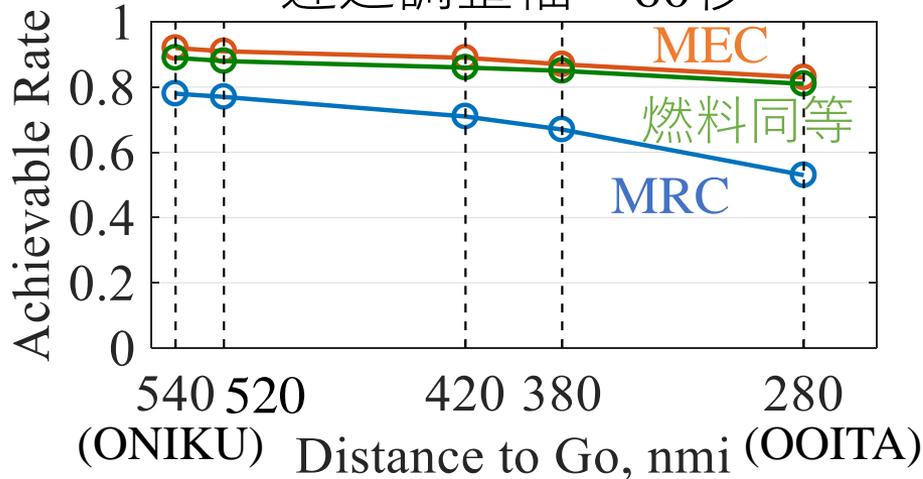
MRCより速度の遅いMECの方が、遅延調整幅が大きくなり、実行可能確率も大きくなる。

遅延調整幅が60秒以上の便数

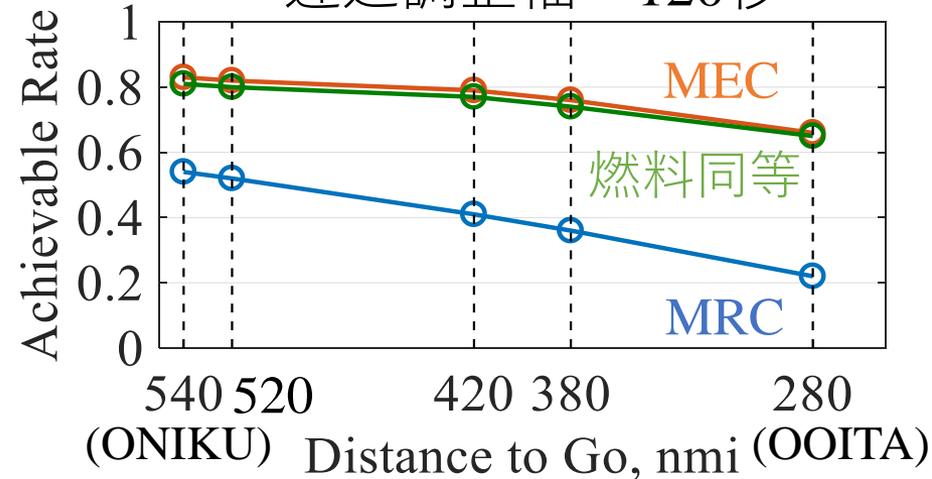
遅延調整幅が300秒以上の便数

- 遅延調整幅の実行可能確率 (CFDT確定タイミング別)

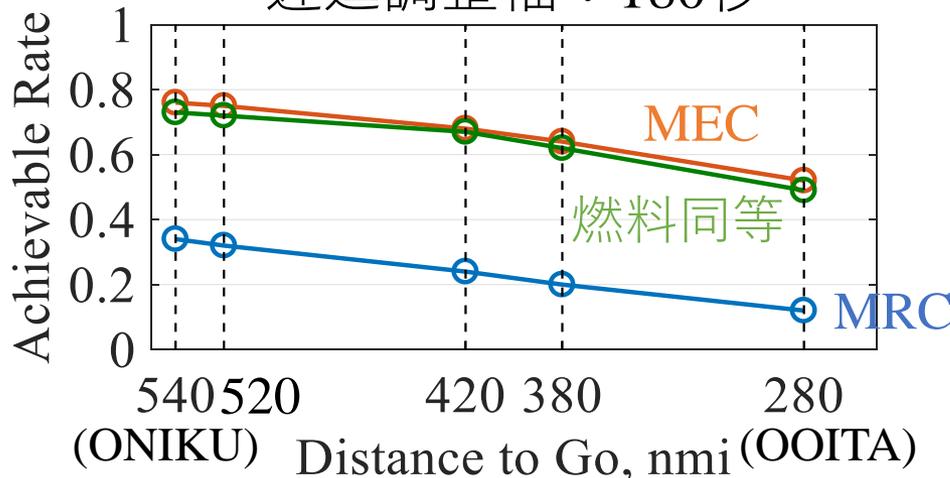
遅延調整幅：60秒



遅延調整幅：120秒

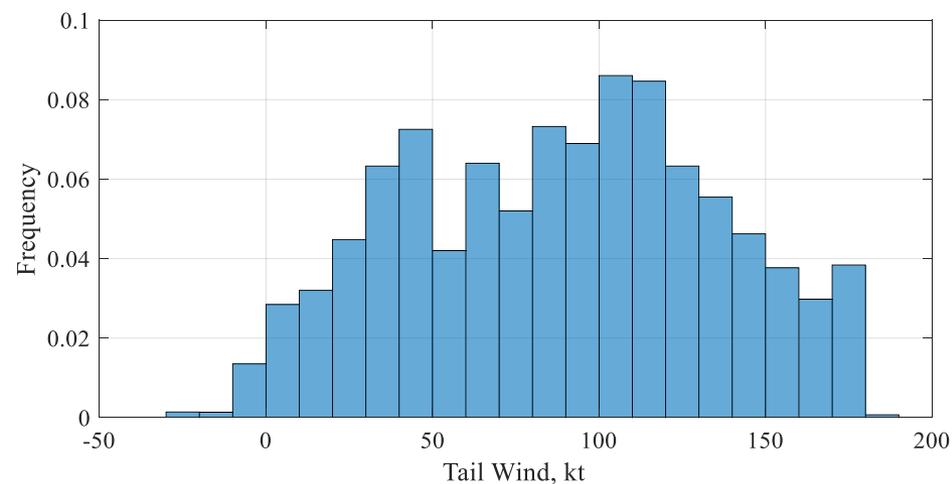
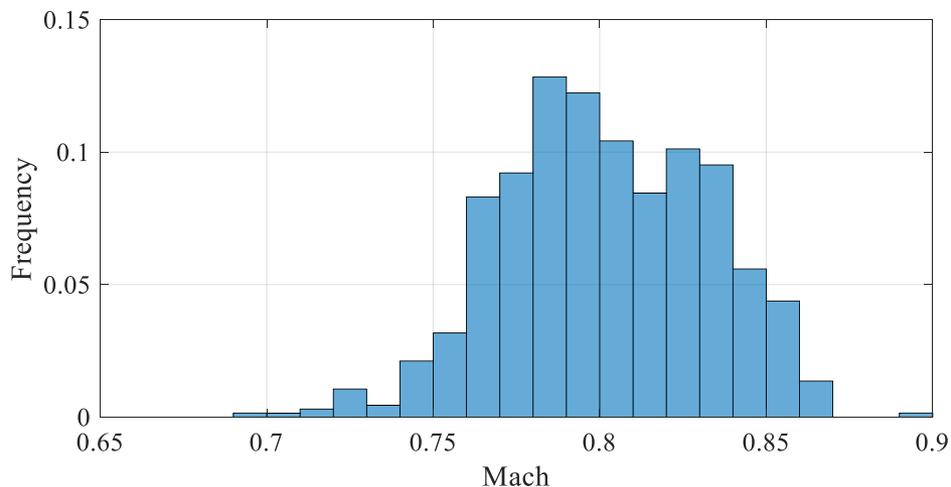
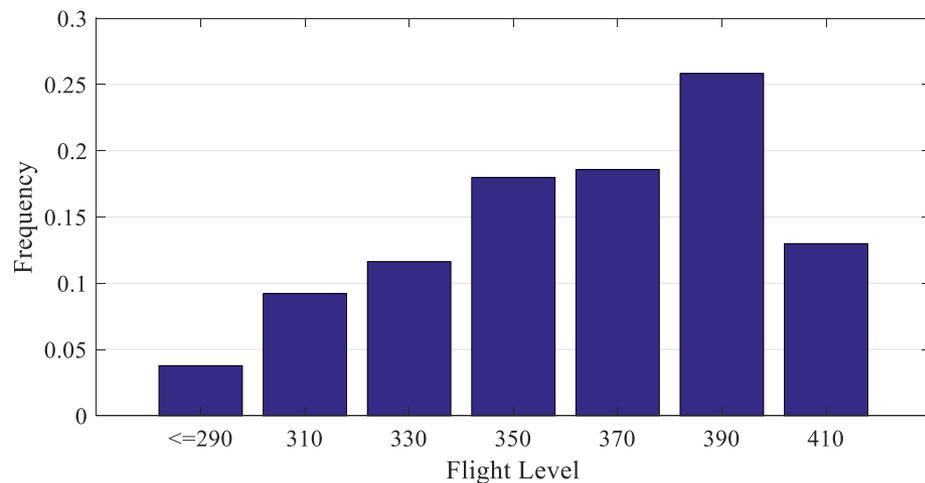
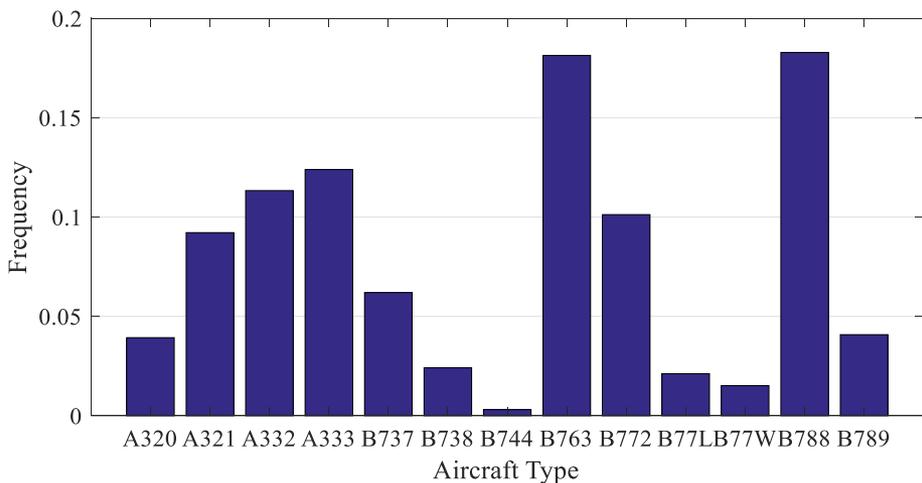


遅延調整幅：180秒



- CFDT指定位置までの距離が長いほど、遅延調整幅が長く、確率も向上
- 燃料同等速度とMECの確率はほぼ同じ
- ONIKUで確定した場合、燃料同等速度 (MEC) までの減速で180秒以上遅延調整幅を実行可能な確率は約0.7

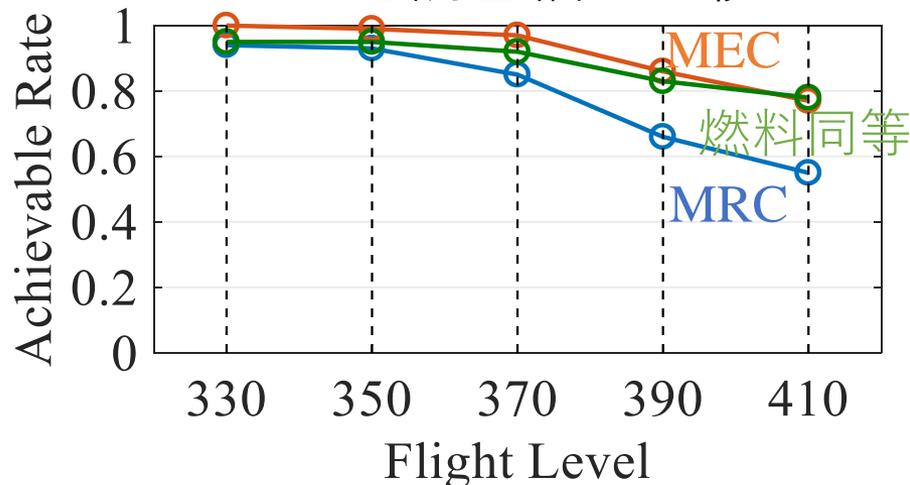
- 同一交通流でも機種、巡航高度、飛行速度、風速は様々
各項目の度数分布



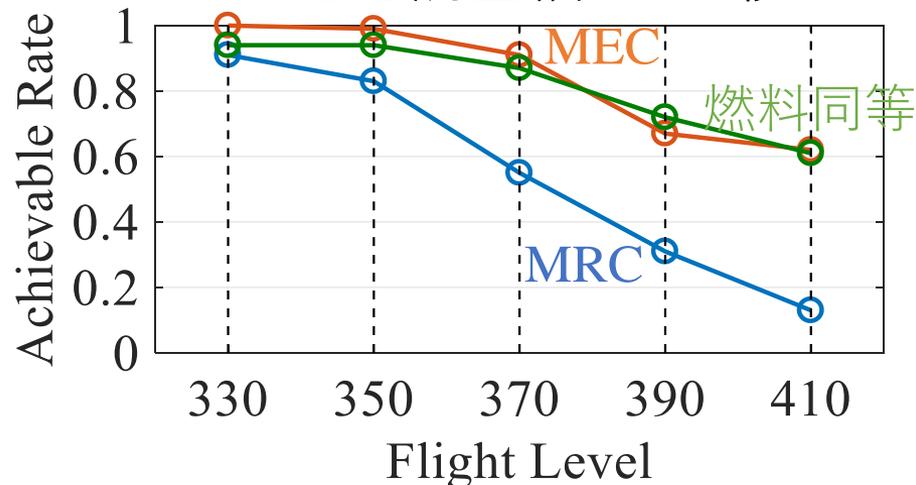
交通流A (巡航高度別)

- ONIKUからの遅延調整幅の実行可能確率 (巡航高度別)

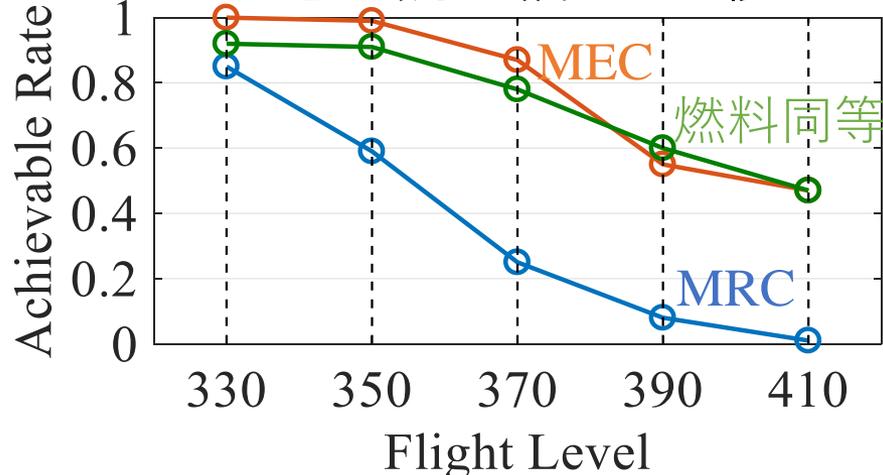
遅延調整幅：60秒



遅延調整幅：120秒



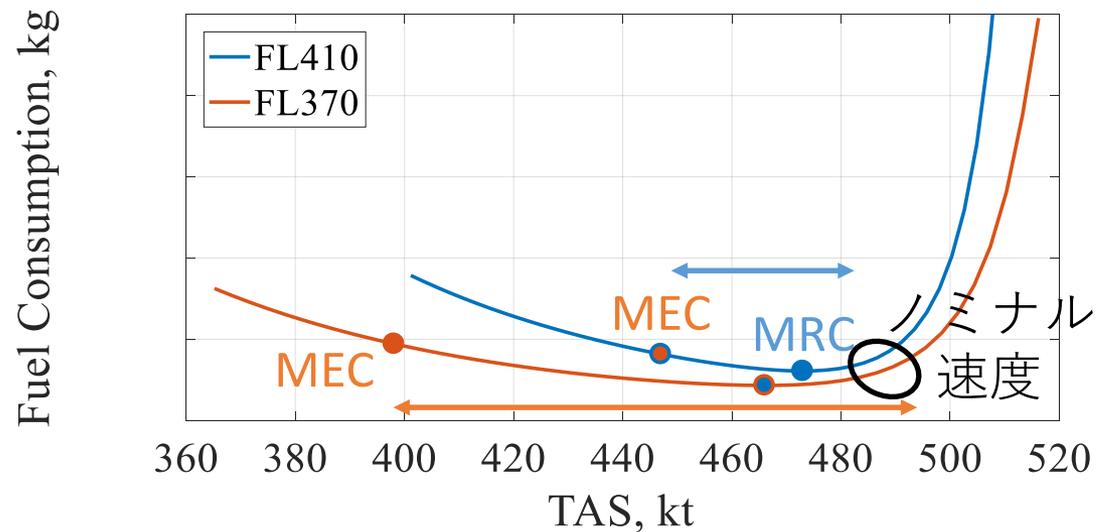
遅延調整幅：180秒



- 低高度ほど、遅延調整幅の実行可能確率は向上
- FL370以下の場合、燃料同等速度 (MEC) までの減速で180秒以上遅延調整幅を実行可能な確率は0.8以上

交通流A (巡航高度別)

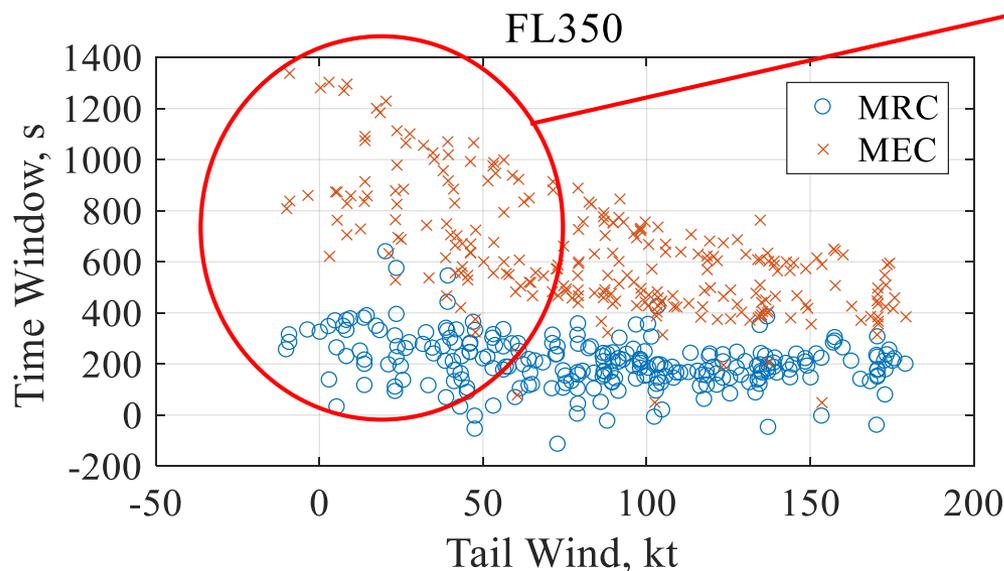
- 速度調整可能範囲 (ノミナル速度とMRC (MEC)との速度差) は高高度ほど狭い
 - ある機種別の例 (無風時)



高度が高いほど、減速可能な速度調整幅が短いため、遅延調整幅も短くなる。

交通流A（巡航高度別、風速別）

- ONIKUからの遅延調整幅（各便）の散布図（巡航高度別、風速別）
- 追い風が弱いほど、CFDT指定位置までの飛行時間が長くなるため、相対的に遅延調整幅も長くなる。

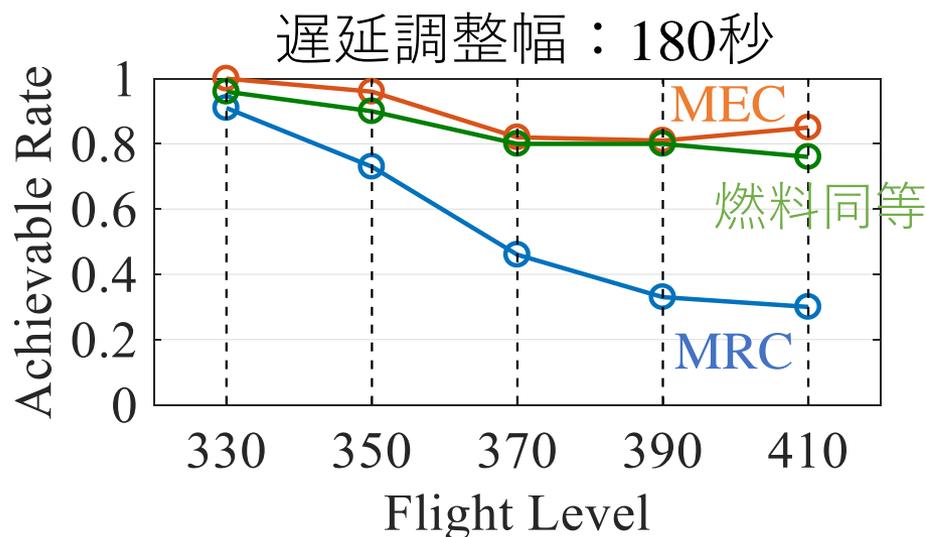
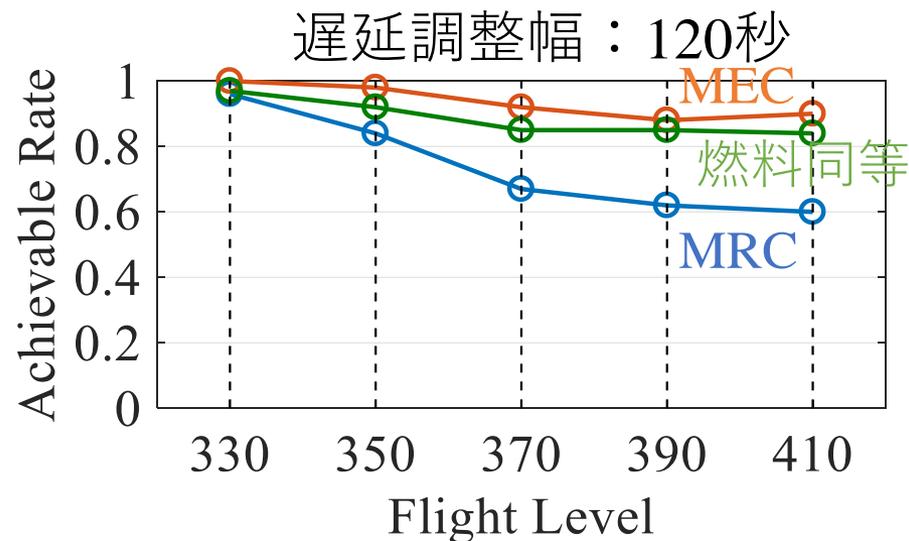
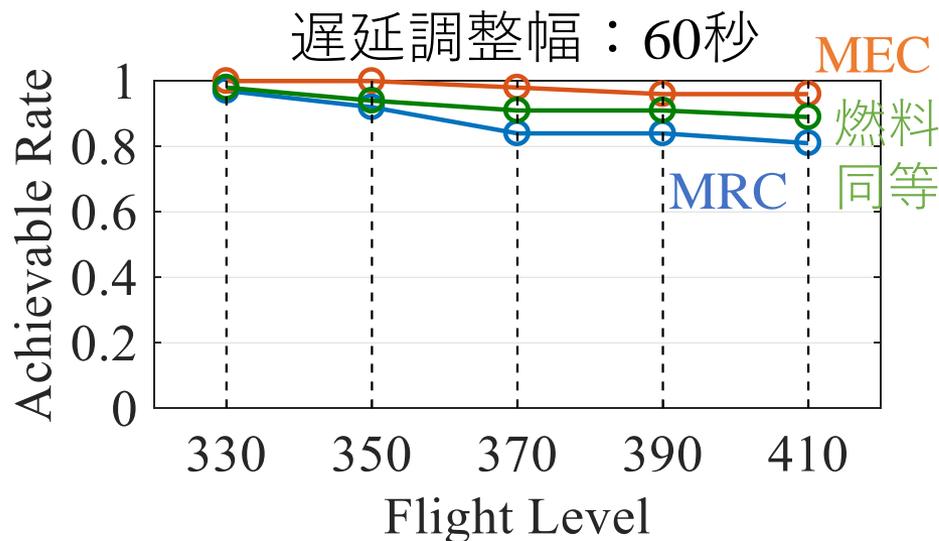


低高度かつ追い風が弱いほど、遅延調整幅の実行可能確率は向上すると期待される。

巡航高度及び風速と遅延調整幅の関係や、季節と遅延調整幅との関係（追い風は夏に弱く、冬に強い傾向がある）について、今後さらに考察予定。

交通流B (巡航高度別)

- MOLKAからの遅延調整幅の実行可能確率 (巡航高度別)



- 交通流AよりCFDT指定位置までの距離が長いため、遅延調整幅の実行可能確率は向上
- 低高度ほど、遅延調整幅の実行可能確率は向上

- CFDT指定位置までの距離が長いほど、遅延調整幅も長い
- 高高度ほど、速度調整可能な範囲が狭く、ノミナル速度とMRC、MECとの速度差が小さい
- そのため、高高度ほど速度調整による遅延調整幅も短い

交通流A：FL370以下で、MEC・燃料同等速度までの減速により、0.8以上の確率で180秒以上の遅延が可能（ONIKUから）

交通流B：MEC・燃料同等速度までの減速により、0.8以上の確率で180秒以上の遅延が可能（MOLKAから）

MECと燃料同等速度との遅延調整幅の実行可能確率の差は、高々0.05程度であり、多くの場合、燃料同等速度までの減速で遅延が達成され、（CFDT指定位置までの）燃料消費は悪化しないと期待される。また、MECまで減速しても、CFDT指定位置以降での遅延が軽減されるなら、（CFDT指定位置以降を含めた）総燃料消費は悪化し難いと期待される。（今後の課題）