

研究紹介[6]

航空交通流の時間管理による運航効率向上

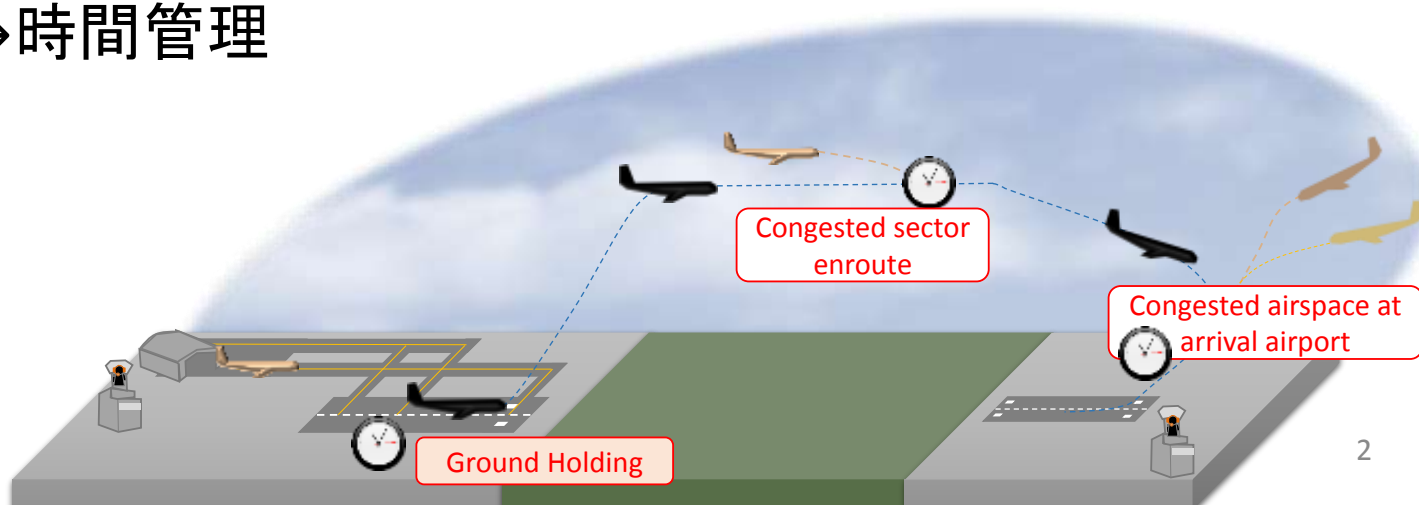
アンドレエバ森 アドリアナ、松野 賀宣、伊藤 健

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
令和元年11月27日

はじめに：航空交通流の管理とは？

- 交通量増加→ハブ空港や周辺空域は最大容量での運用
- 混雑している時間帯において→到着空港近辺での空中待機
- 空中待機時間の削減→交通流制御（フローコントロール）
- 航空交通流管理センター（ATMC）より次のような指示：
 - 飛行計画と空域での代替経路調整。
 - 出発機に対する出発制御時刻（EDCT/Expected departure clearance time）の指定。
 - 飛行中の航空機に対する空域入域時刻・速度等の指定。
- 時間を指示→時間管理



- EDCT

- 対象便: 出発していない便(国内空港出発便*)
- ATCからの指示: 出発時刻
- 吸収可能な遅延: 数分～数十分

- CFDT

- 対象便: 飛行中の便(国内・海外空港出発便)
- ATCからの指示: Cross Fix A at CFDT(時刻)
 - 速度調整等はパイロットに任せる
 - 時間だけを管理する
- 吸収可能な遅延: 数分(2-3分程度)

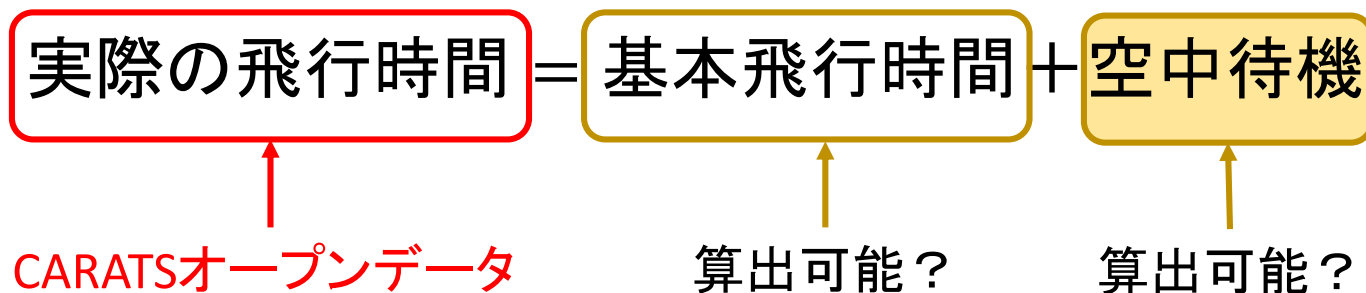
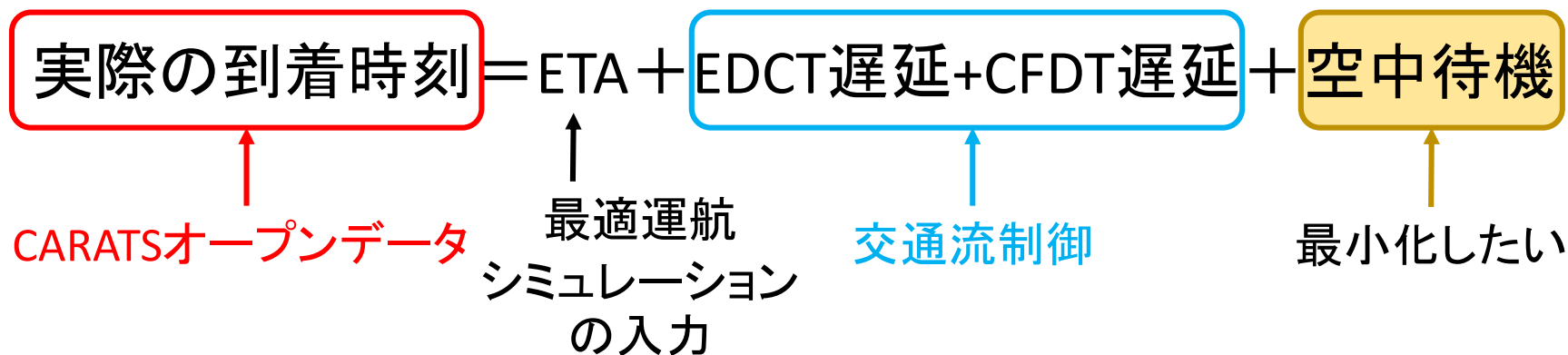
- 目的: 空中待機と容量損失を最小にする
- 入力
 - 各便のETA (Expected Time of Arrival): 予定しているダイヤ*
 - 対象便の集合
 - 到着空港容量予測
 - 開始時刻・終了時刻(EDCT時間帯)
- 出力
 - 各便のEDCT
 - 各便のCFDT
- 制御パラメータ
 - バッファ
 - 指示時刻(EDCT、CFDTの何分前)
 - 最大遅延幅(得にCFDT)



出発時刻不確定性
飛行時間不確定性
容量予測誤差

運航効率の指標について

- 空中待機 vs. 交通流制御 (EDCT、CFDT)



1. 基本飛行時間、空中待機の算出
2. 仮ETA列を利用した最適運航シミュレーション
3. (1)+(2)実ETA列の最適運航シミュレーション

$$\text{実際の飛行時間} = \text{基本飛行時間} + \text{空中待機}$$

- EUROCONTROLのASMA分析に基づく
 - Additional Arrival Sequencing and Metering Area (ASMA) time
 - Unimpeded ASMA time : 空港40nm周辺が対象
 - 機種グループ別、アプローチ別
 - 混雑度を考慮
 - レーダーデータのみで算出可能
 - 実際の運航の特徴を現す
 - 風の影響を含む

飛行時間に影響を与えるのは

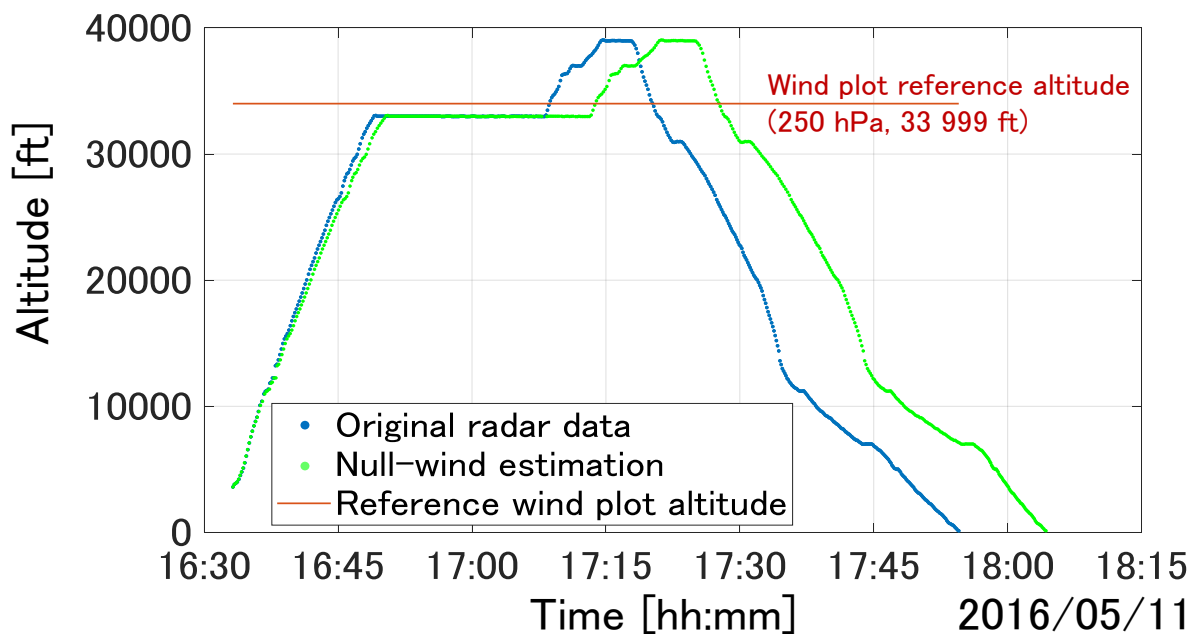
- ・風
- ・他航空交通流(他便) ← 航空交通流制御対象

基本時間算出フロー

1. 風の影響を抜いて基本時間を算出(無風基本時間)
 - 他航空交通流のみの影響が明確に
2. 風の影響を加味して、各日時における基本時間を算出
 - 本来(その日にあった)の基本時間
3. 実飛行時間と比較して、空中待機時間を算出

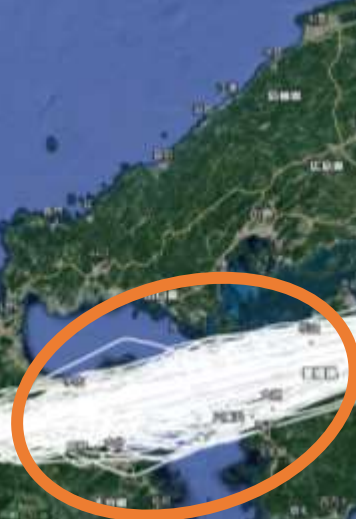
• 風の影響を考慮

- 気象庁MSMデータによる無風飛行時間の模擬
- 仮定：飛行経路に変化なし、時間調整のみ
- 例：7:54:31 → 18:04:17



基本時間算出：フィルターされた便（例）

- IFF25 – HME32
- 2015年度CARATSオープンデータ
- 1122 便



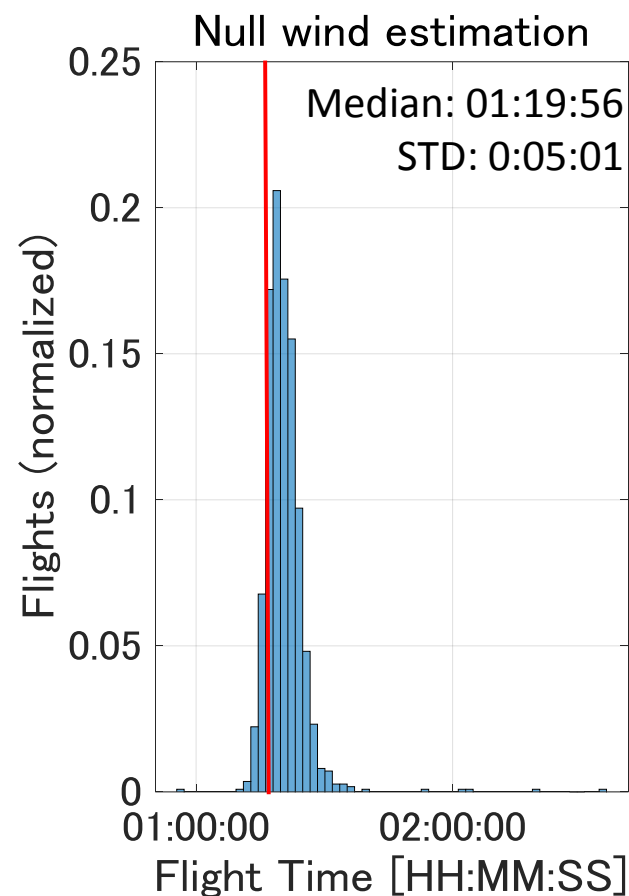
ベクタリングが多い

無風基本時間 (IFF25-HME32)

- 模擬した無風飛行時間→無風基本時間
- 機種への依存性*

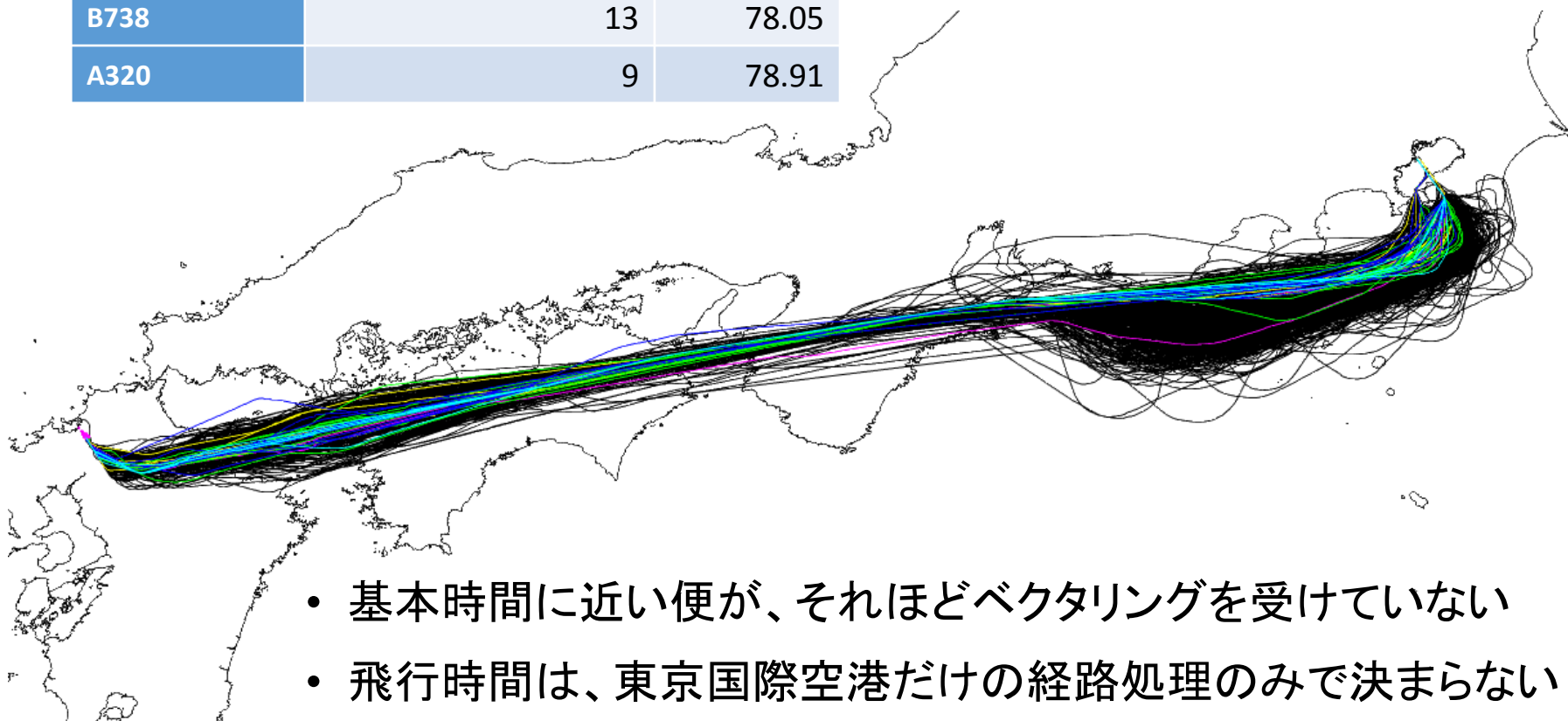
Type	Flights	U1 [min]	Flights for UnTime	UnTime [min]
B772,B773	483	76.66	81	75.56
B788,B789	69	76.85	33	76.13
B763	142	76.66	57	76.29
B738	273	78.66	156	78.05
A320	155	79.46	81	78.91
All	1122	77.38	563	76.74

無風基本時間: 01:16:45



無風基本時間に近い便

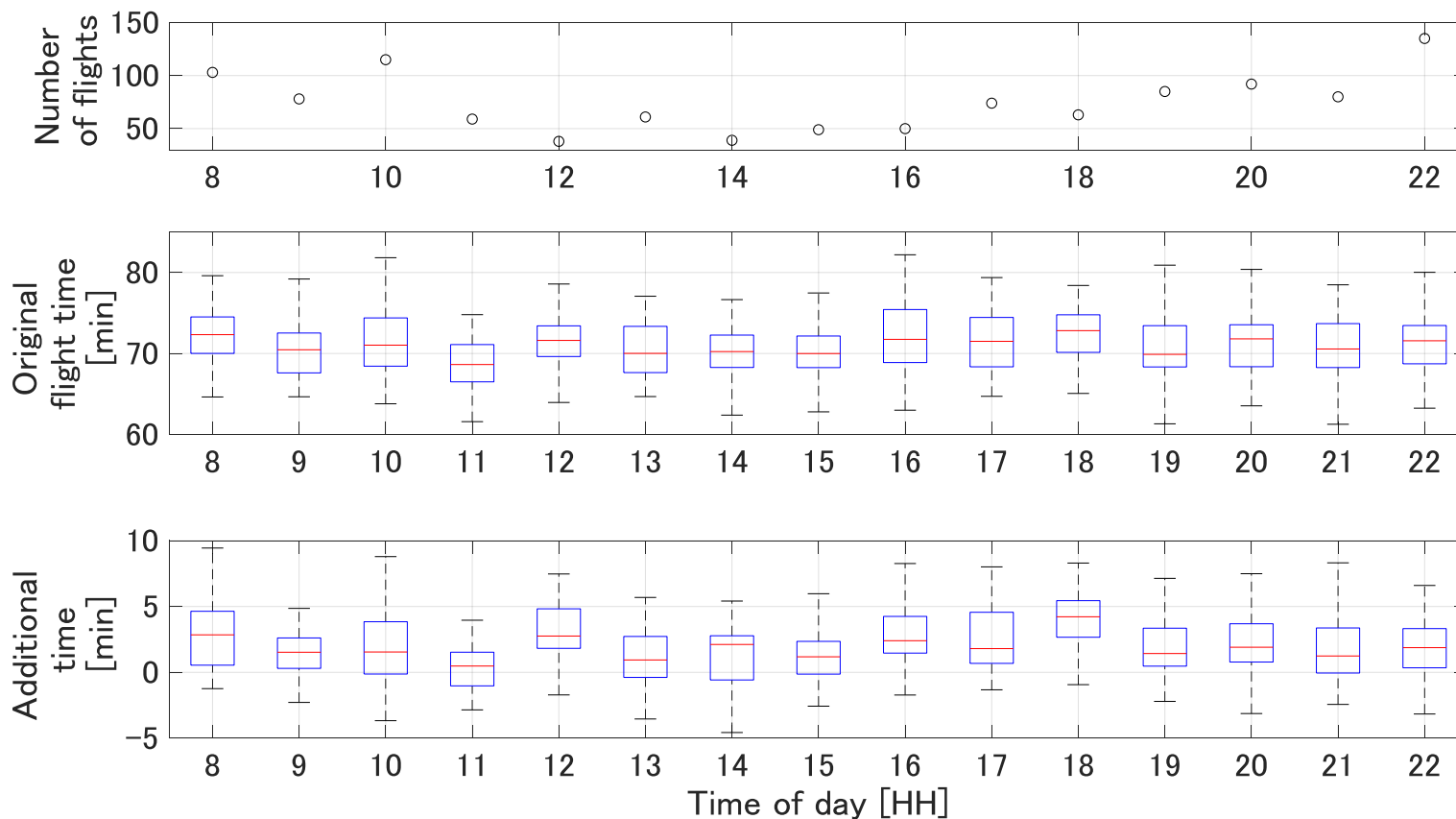
Type	Flights within 15 sec of UnTime	UnTime [min]
B772,B773	21	75.56
B788,B789	5	76.13
B763	5	76.29
B738	13	78.05
A320	9	78.91



風有りの基本時間の算出

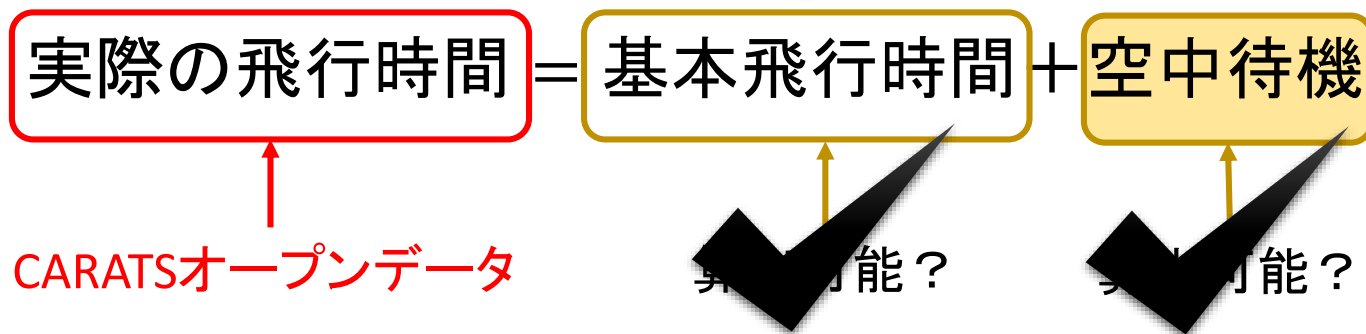
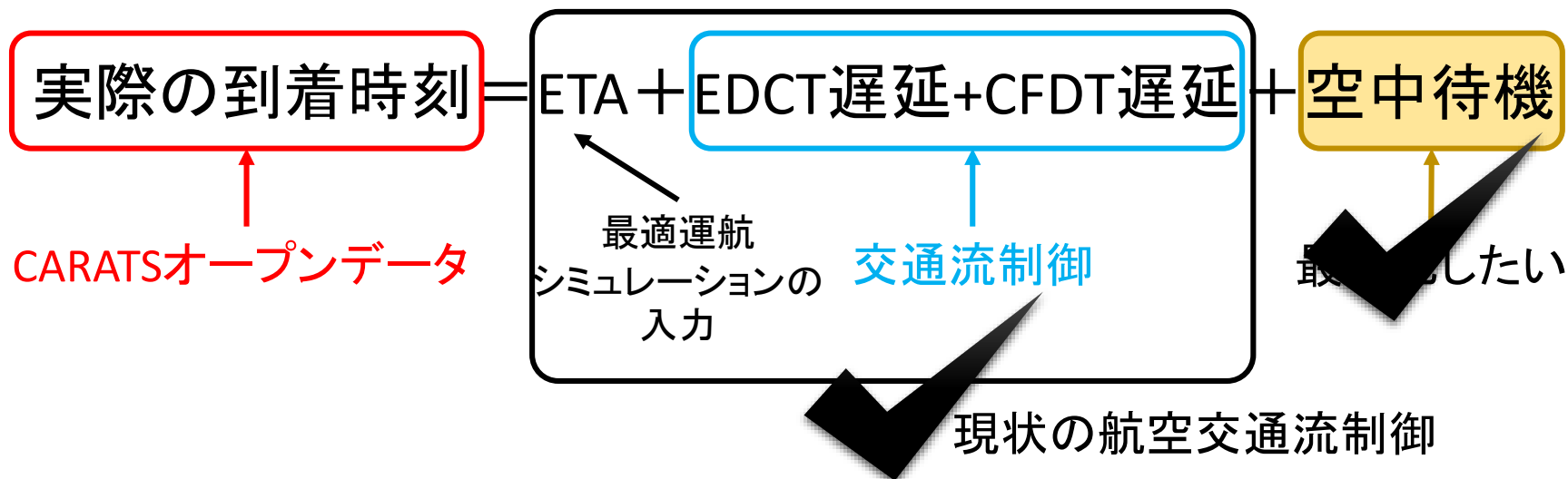
- MSMデータを利用して、「無風」と逆計算方法で、基本時間を算出
- 空中待機時間を算出

$$\text{実際の飛行時間} = \text{基本飛行時間} + \text{空中待機}$$



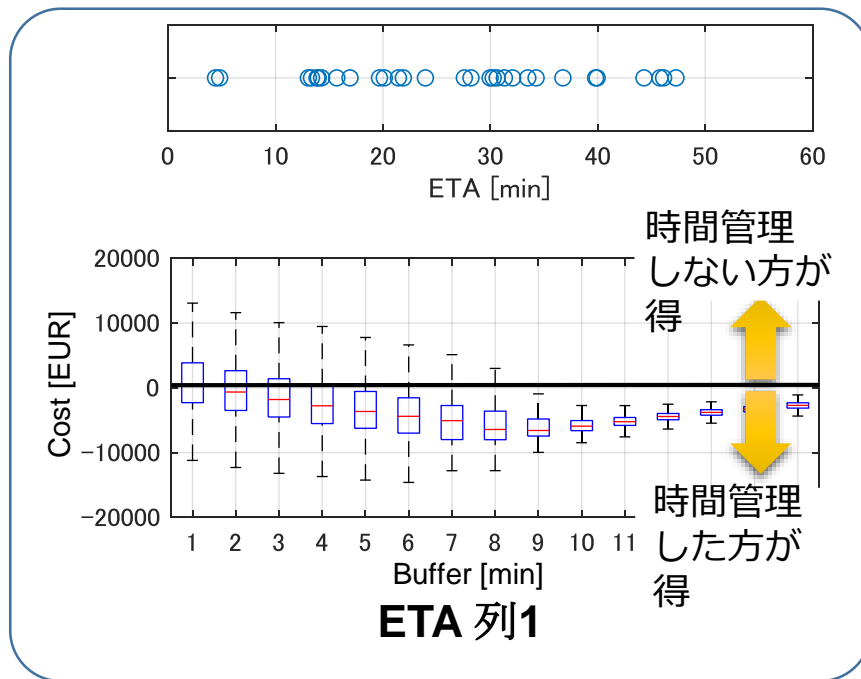
運航効率の指標について

- 空中待機 vs. 交通流制御 (EDCT、CFDT)

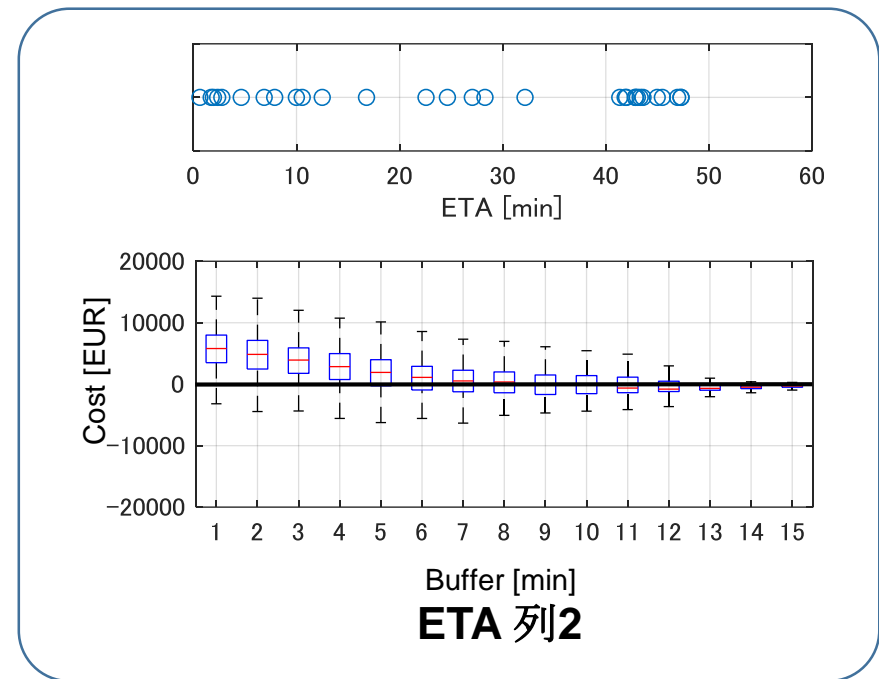


仮ETA列を用いた最適交通流制御シミュレーション = 最適なEDCT =

- 地上待機、空中待機、容量損失を考慮
- 地上待機のためのシミュレーション例



CostOpt=-6571 EUR、BufferOpt= 9 min
Low CostOpt value → 効果的な地上待機



CostOpt=-798 EUR、BufferOpt= 12 min
CostOpt near zero → 効果的でない地上待機

最適な交通流制御が、ETA列に多く依存

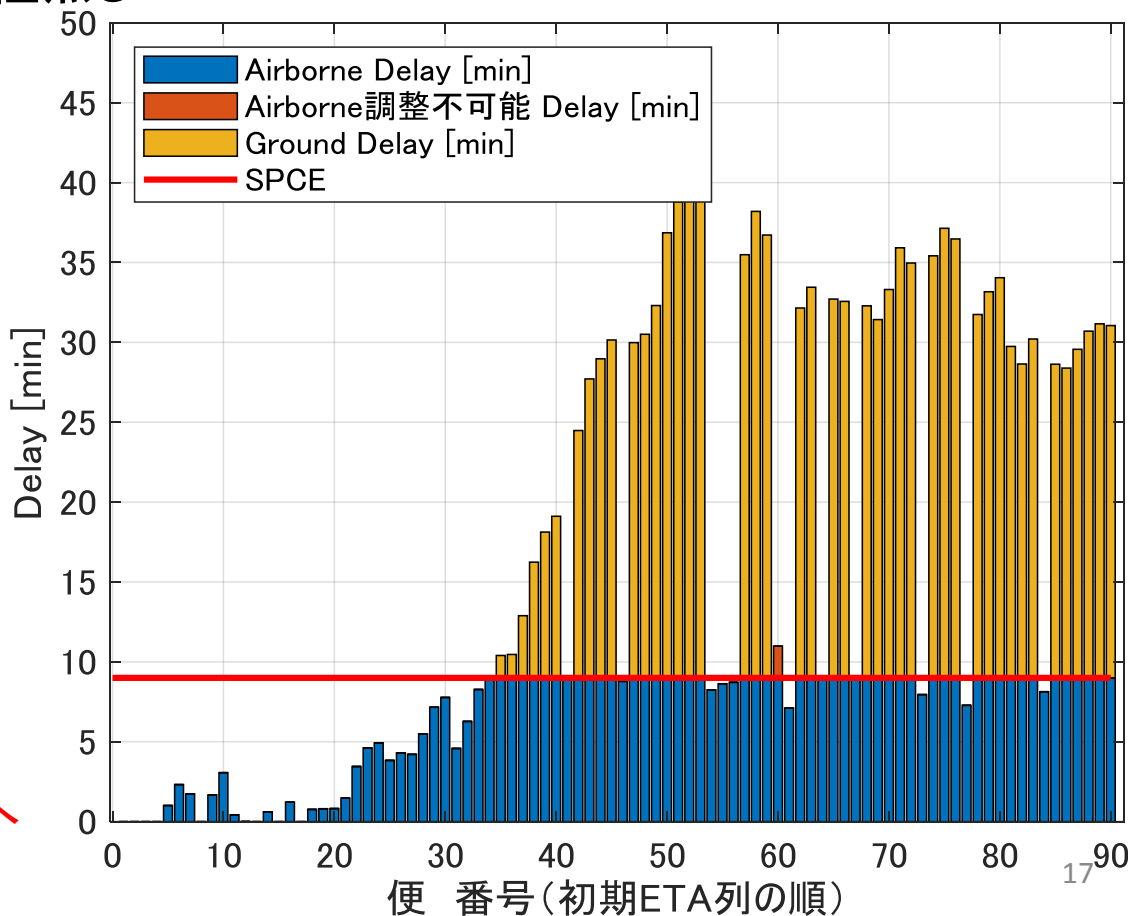
- CFDT調整パラメータの影響を定量的に評価する
 - 最大可能遅延調整幅(2 min, 3 min等)
 - 出発時刻不確定性: 国内線到着機(EDCT対象機・非対象機別、(ほぼ)正規分布)
 - 飛行時間不確定性(CFDT機、EDCT機、(ほぼ)正規分布)
- 影響というのは:
 - EDCT対象機の地上待機時間(国内線到着機)
 - 空中待機時間(国内線到着機 & 国際線到着機)
 - 到着順(公平性equity)
- 航空交通流を模擬するための入力パラメータ
 - **ETA列**
 - 国内線到着機(便ごと設定可能)
 - 出発予定時刻
 - 出発空港→予定飛行時間(**基本飛行時間**)
 - 国際線到着機(便ごと設定可能)
 - 福岡FIR入国予定時刻
 - 出発空港→予定飛行時間(**基本飛行時間**)

最大可能遅延調整幅と地上待機時間(1)

- 90機(3時間)ランダムな航空交通流(国内出発機:海外出発機=8:2)
- 海外出発機: 4, 6, 13, 24, 29, 33, 41, 46, 54, 55, 56, 60, 61, 64, 67, 73, 77, 84
- セパレーション=2 min、バッファ値=9 min
- 出発時刻、飛行時間: 不確定性無し
- Acceptのみ

Case 1 CFDT無し	対象機 における 中央値 [min]
地上待機時間	13:06
空中待機時間	6:30
CFDT時間	--

- 空中待機は9分を超えることがない
- 9分を超える遅延の全てが地上待機へ

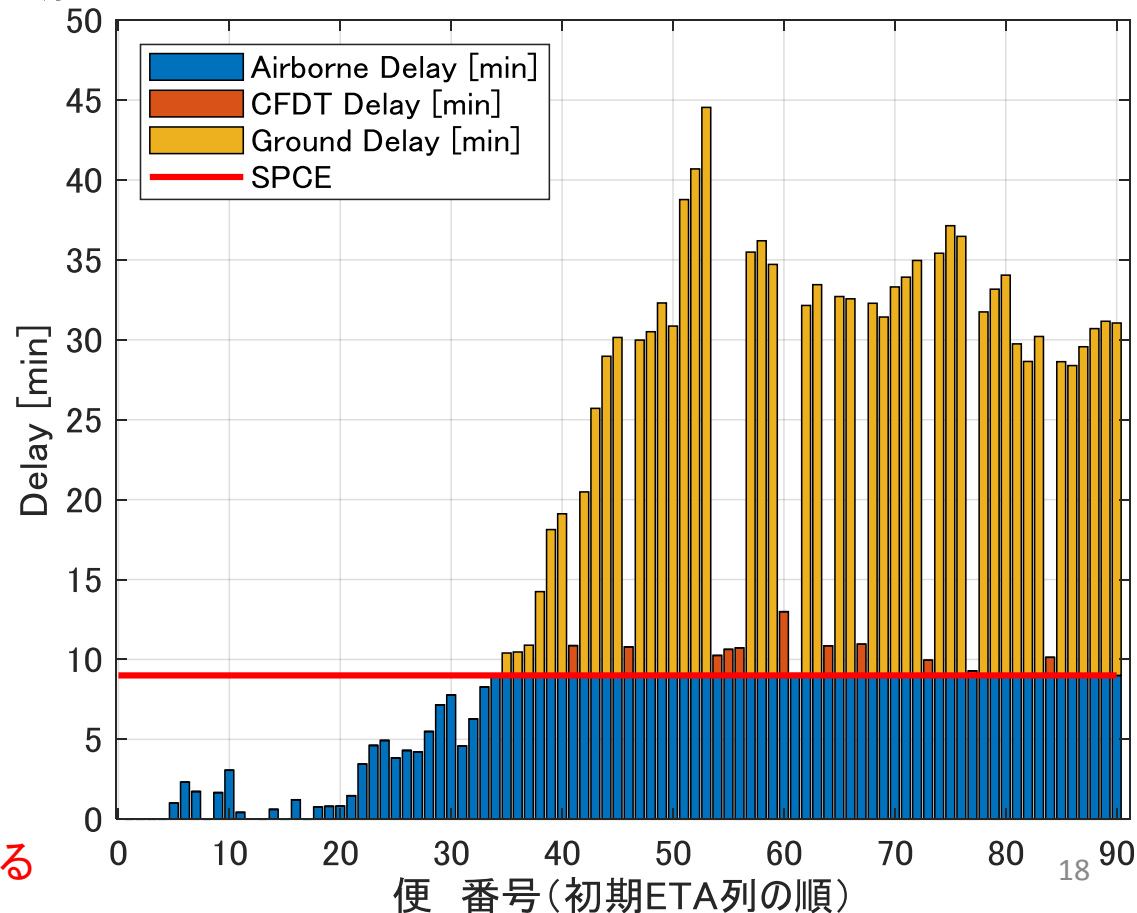


最大可能遅延調整幅と地上待機時間(2)

- 90機(3時間)ランダムな航空交通流(国内出発機:海外出発機=8:2)
- 海外出発機: 4, 6, 13, 24, 29, 33, 41, 46, 54, 55, 56, 60, 61, 64, 67, 73, 77, 84
- セパレーション=2 min、バッファ値=9 min
- 出発時刻、飛行時間:不確定性無し
- Acceptのみ

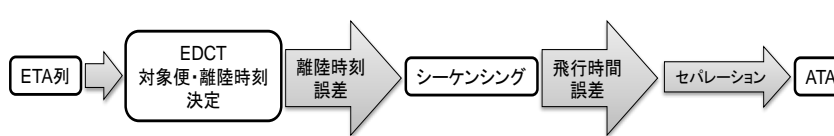
最大可能遅延調整幅: 2 min

Case 2 CFDTあり	対象機 における 平均値 [min]
地上待機時間	12:46 (-0:20)
空中待機時間	6:36 (+0:06)
CFDT時間	1:02
国内機到着順1 up	7
国内機到着順2 up	1
国内機到着順3 up	1



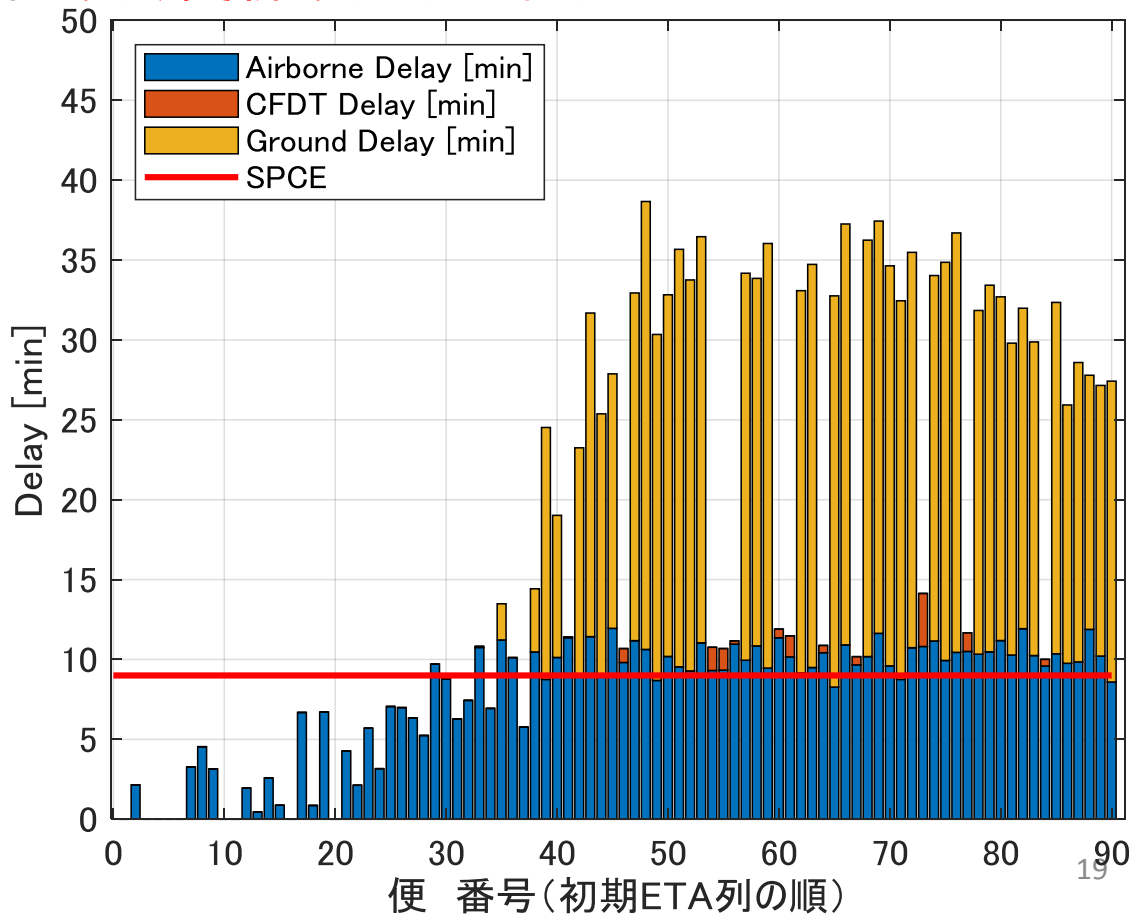
- CFDTのため、地上待機時間が減少する

不確定性の影響



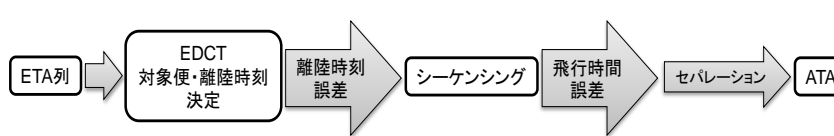
- 90機(3時間)ランダムな航空交通流(国内出発機:海外出発機=8:2)
- 海外出発機: 4, 6, 13, 24, 29, 33, 41, 46, 54, 55, 56, 60, 61, 64, 67, 73, 77, 84
- セパレーション=2 min、SPCE=9 min
- 出発時刻、飛行時間: 不確定性あり、更新あり (100回)
- Acceptのみ
最大可能遅延調整幅: 2 min

一つの例→



- 不確定性のため、9分を超える空中待機も発生

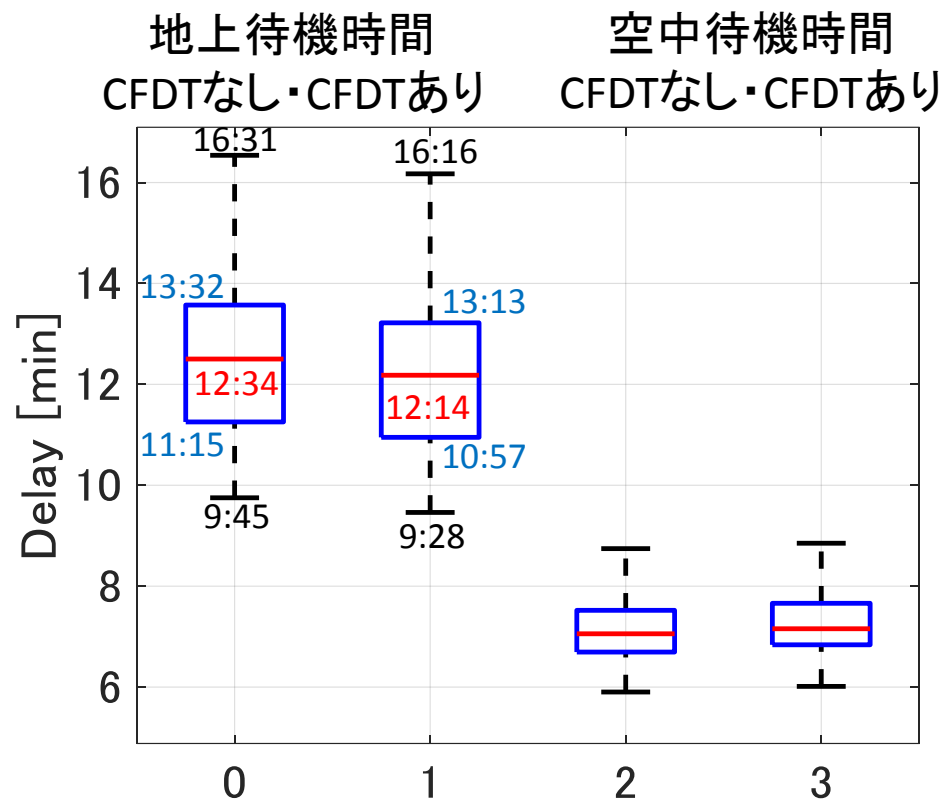
不確定性の影響



- 90機(3時間)ランダムな航空交通流(国内出発機:海外出発機=8:2)
- 出発時刻、飛行時間:不確定性あり、更新あり (100回)
- Acceptのみ

最大可能遅延調整幅: 2 min

Case 2 CFDTあり 不確定性無し	対象機 における 平均値 [min]
地上待機時間	12:42
空中待機時間	6:36
CFDT時間	1:15
国内機到着順1 up	7
国内機到着順2 up	2
国内機到着順3 up	1



- CFDTによりEDCTが減少する
- 十分なデータがないと、EDCTの減少が見られない可能性がある

- CFDTはEDCTに影響を及ぼす
 - EDCT時間が、短くなる
- EDCT/CFDTの不確定性考慮・更新の効果が大きい
 - ばらつきが大きい
 - 運用開始後、十分なデータを取得しないと、効果の評価が困難
 - CFDTあり・なしの時間帯の比較
 - 交通流の正確な模擬が出来れば、何日分のデータで効果が見れるということが予測可能になる。
- 仮ETA→実ETAの変更でより現状に近い検討が可能

- CARATSオープンデータと気象庁MSMデータより基本飛行時間と空中待機の推定が可能
 - 運航効率評価が可能
 - 予定到着時刻(ETA)列の模擬が可能
- ETA列の影響を、仮ETA列の最適な交通流シミュレーションで検証・確認済み
 - EDCT・CFDTのパラメータ
 - 不確定性
- (実)ETA列をベースに、最適なCFDTとEDCTの検討が可能
 - 現状との比較
 - 新たな時間管理手法の効果検討
- 今度の課題
 - (実)ETA列を利用した最適な運航シミュレーション