

気象条件に対応した 後方乱気流管制方式と効果

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

吉原貴之、瀬之口敦、山田泉、虎谷大地、藤井直樹、青山久枝

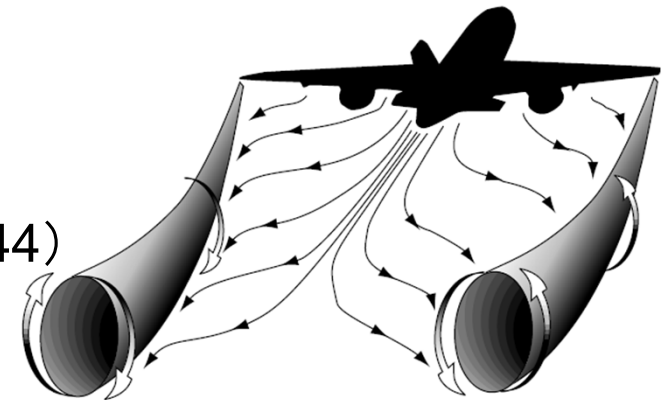
内容

- 後方乱気流管制方式
 - 概要
 - 後方乱気流管制間隔の短縮
- TBS: Time-Based Separation
 - 概要と国際動向
 - EUROCONTROLでの取り組み
- 国内混雑空港を対象としたTBSの技術的検討
 - 便益評価
 - 管制支援システムの要件検討
 - 安全性評価
- まとめ

後方乱気流管制方式

後方乱気流管制方式概要

- 後方乱気流の特性
 - 渦の強さは航空機の重量に比例、速度に反比例
 - 時間の経過に伴って下降、減衰・消滅
 - 周囲の風に流される
- 安全運航の確保：適切な間隔設定
 - 国際民間航空機関 (ICAO) PANS-ATM (Doc4444)
- 従来：航空機を重量で4つに区分
 - 先行機の生成する後方乱気流の強さ
 - 後続機が許容可能な後方乱気流の強さ



[Wake Turbulence Training Aid, FAA]

航空機区分	最大離陸重量 M (kg)	単位 (NM)	後続機			
			J	H	M	L
J (Super)	A388	先行機	J	5*	7	8
H (Heavy)	136,000 ≤ M B744, B762, A346, A332など		H	4	5	6
M (Medium)	7,000 < M < 136,000 A320, B738, CRJ1, DH8Dなど		M			5
L (Light)	M ≤ 7,000		L			

*2020年11月PANS-ATM改訂

後方乱気流管制方式

後方乱気流管制間隔の短縮

- 混雑空港における滑走路運用
 - 航空機間の最低基準となる間隔と密接
 - 安全性水準を維持して短縮を図る
- 最低基準となる間隔: 主要な3つの要素
 - 後方乱気流管制方式における間隔
 - レーダー管制間隔(MRS: Minimum Radar Separation)
 - 滑走路占有時間(ROT: Runway Occupancy Time)
- ICAO GANP(将来構想) / ASBUs -WAKE
 - 航空機区分詳細化:RECAT(Re-categorisation)、ペアワイズ
 - 向い風が強い時への対応:TBS(Time-Based Separation)
 - 近接平行滑走路(中心線間隔760m(2,500ft)未満)の運用

後方乱気流管制方式

RECAT (Re-categorisation)

- 航空機区分の詳細化
 - 先行機の生成する後方乱気流の強さ: 同一区分の中で最大のもの
 - 後続機の許容可能な後方乱気流の強さ: 同一区分の中で最小のもの
→ 航空機型式の組合せで短縮できるものが生じる
- ICAO基準
 - PANS-ATM: 2020年11月発効に盛り込まれた
 - 日本: トライアル経て東京国際空港、成田国際空港に導入 (2020年11月)

Group	従来	最大離陸重量 M (kg)	翼幅 s (m)	単位 (NM)	後続機 (到着機)							
					A	B	C	D	E	F	G	
A	J	136,000 ≤ M	74.68 < s ≤ 80	先行機								
B	H		53.34 < s ≤ 74.68		A	4	5	5	6	6	8	
C			38.1 < s ≤ 53.34		B	3	4	4	5	5	7	
D	M	18,600 < M < 136,000	32 < s		C			3	3.5	3.5	6	
E			27.43 < s ≤ 32		D						4	
F			s ≤ 27.43		E						4	
G	M, L	M ≤ 18,600	-		F							
					G							

TBS (Time-Based Separation)

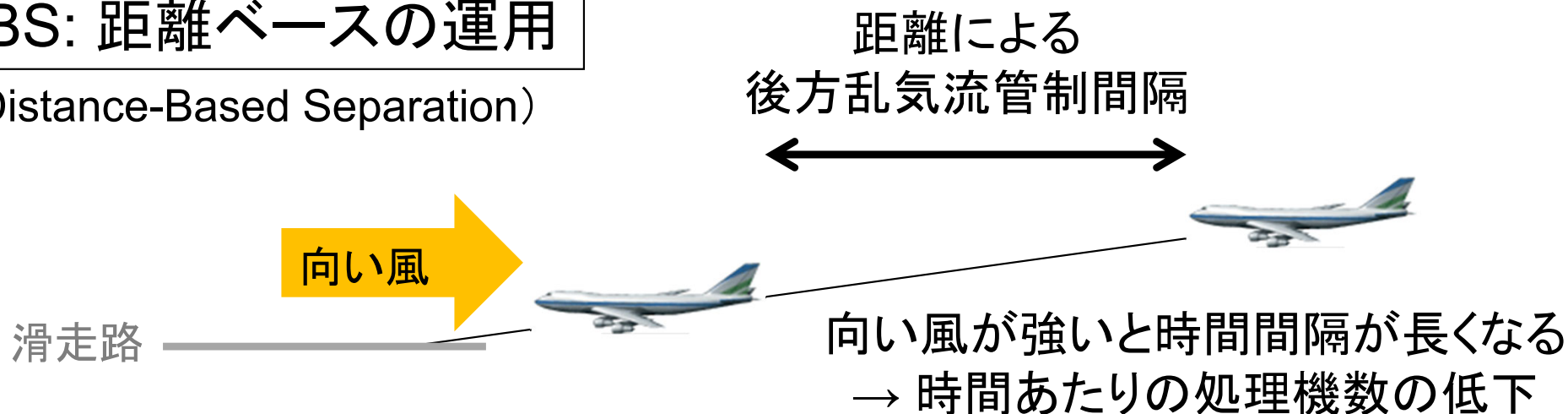
TBS (Time-based Separation)

概要

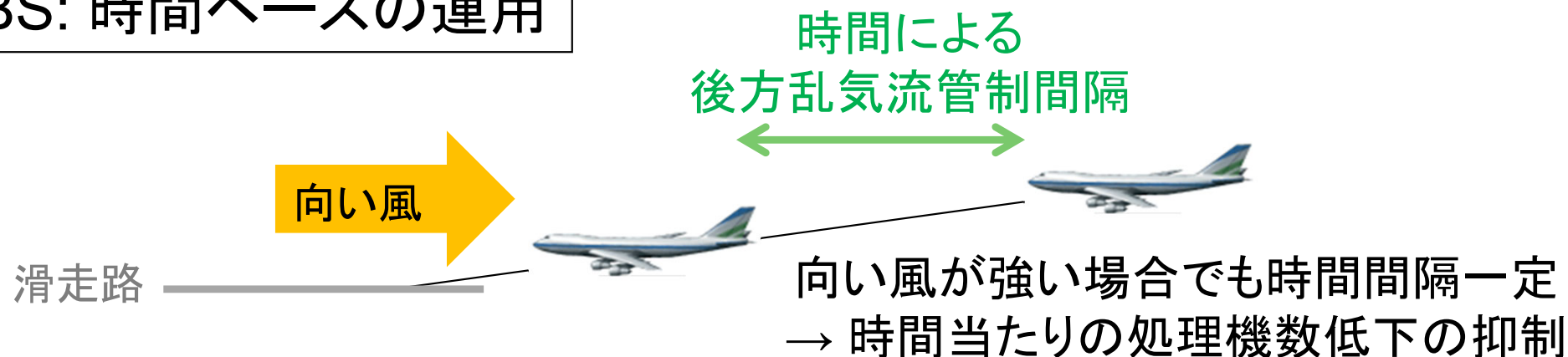


DBS: 距離ベースの運用

(Distance-Based Separation)



TBS: 時間ベースの運用



TBS (Time-based Separation)

国際動向

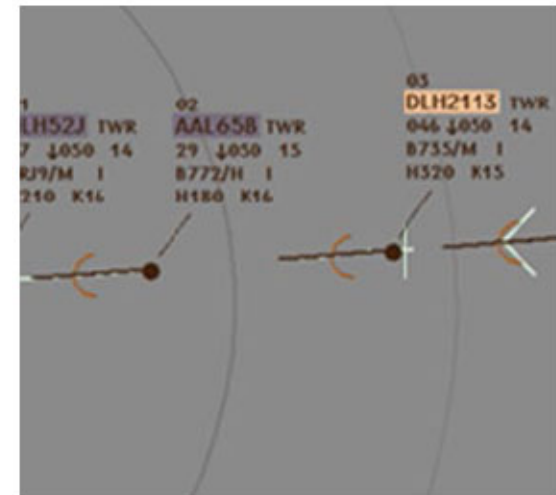


- ICAOでの基準化の動き
 - PANS-ATM (Doc 4444)
 - 2024年11月発効を想定(到着機)
 - 空港毎の交通流特性を踏まえた設定
 - 進入速度プロファイル、航空機型式の組合せ割合等
 - RECATの時のように一律に定めるものではない
- TBS導入空港
 - ヒースロー空港(英国)
 - 2015年3月:TBS導入(到着機)
 - 2018年3月:eTBS(TBS+RECAT-EU)導入(到着機)
 - トロント空港(カナダ):2022年5月
 - スキポール空港(オランダ):2023年1月

TBS (Time-based Separation) 導入に必要な技術的検討課題



- RECAT導入空港が対象
- 安全性評価と導入効果の定量評価が必要
- EUROCONTROL: TBSの原理と安全性評価報告書
 - 弱風下でDBS運用の最小離隔間隔と同等な安全性
 - 最低基準となる間隔: 対気速度プロファイル、セグメント間の飛行時間
 - 乱流遭遇リスク: ドップラーライダー観測と乱流残存リスク評価
 - 進入経路上・滑走路上の衝突リスク評価
- EUROCONTROL: ガイドライン文書
 - TBSのための最低間隔の決め方
 - 航空管制官向け支援ツール
 - 最終的な目標(距離間隔)表示
 - 警報機能
 - LORD Demonstrator (デモ機)
 - 運用のための要件



[EUROCONTROL Guidelines on Time-Based Separation (TBS) for Final Approach, Edition 1.0, May 2021]

国内混雑空港を対象とした TBSの技術的検討

- 便益評価
- 管制官支援システムの要件
- 安全性評価の概要と手順

国内でのTBS検討: 便益評価 計算機による交通流模擬

- 対象空港
 - RECAT導入空港(東京国際空港、成田国際空港)
→ 今回は、成田国際空港を検討
- レーダー航跡データをもとにしたシナリオ作成
 - 空域利用の変化:ポイントマージ導入(2019年7月)
 - 管制方式の変化:RECAT導入(2020年11月)
 - 新型コロナウイルスの影響(2020年4月以降便数減)
- 対象日
 - 南風:2019年8月15日(強風)⇔ 8月17日(弱風)
 - 北風:2020年2月6日(強風)⇔ 1月12日(弱風)
- 3つの模擬
 - いずれの対象日もRECAT導入前
 - TBS効果はRECATを参照値としてそれからの改善効果で評価
 - 現実模擬(4つのカテゴリー)、RECAT模擬、TBS模擬

国内でのTBS検討: 便益評価

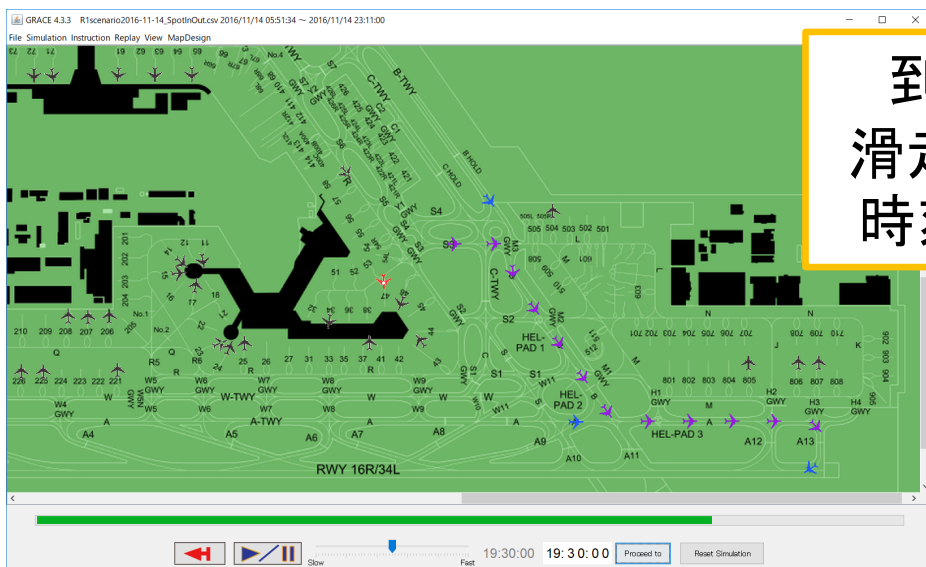
2つの交通流模擬

■ 空港面の交通流模擬

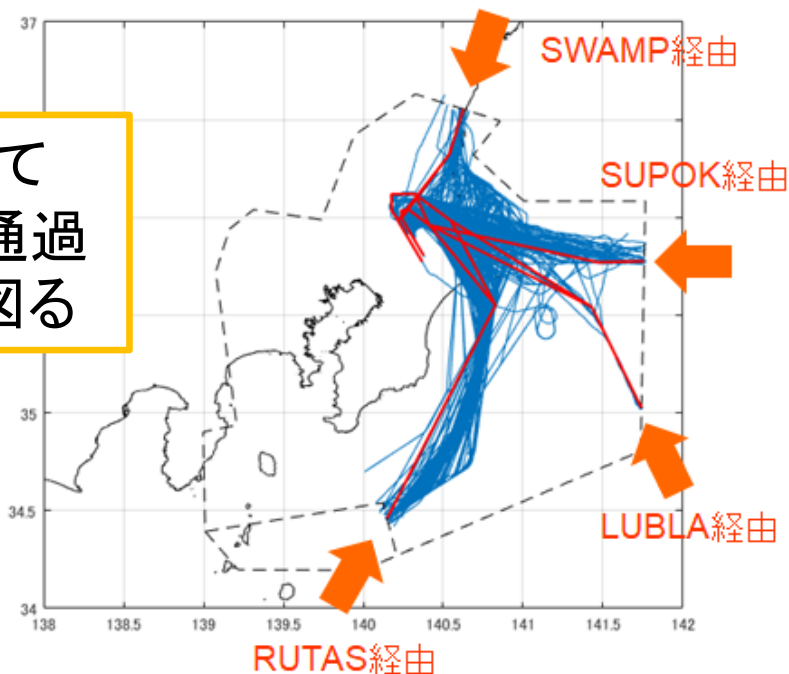
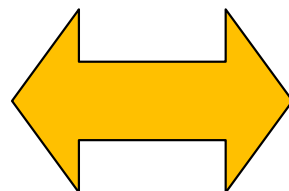
- GRACE (電子航法研究所)
- 出発機: 駐機場～滑走路端
 - 離陸開始点でRECATによる短縮
- 到着機: 滑走路進入端～駐機場
 - 滑走路進入端で到着機間隔短縮

■ ターミナル空域の交通流模擬

- 入域時刻
 - 滑走路進入端までの最短飛行時間
 - 最短経路と速度プロフィール
- ⇒ 最早滑走路進入端通過時刻



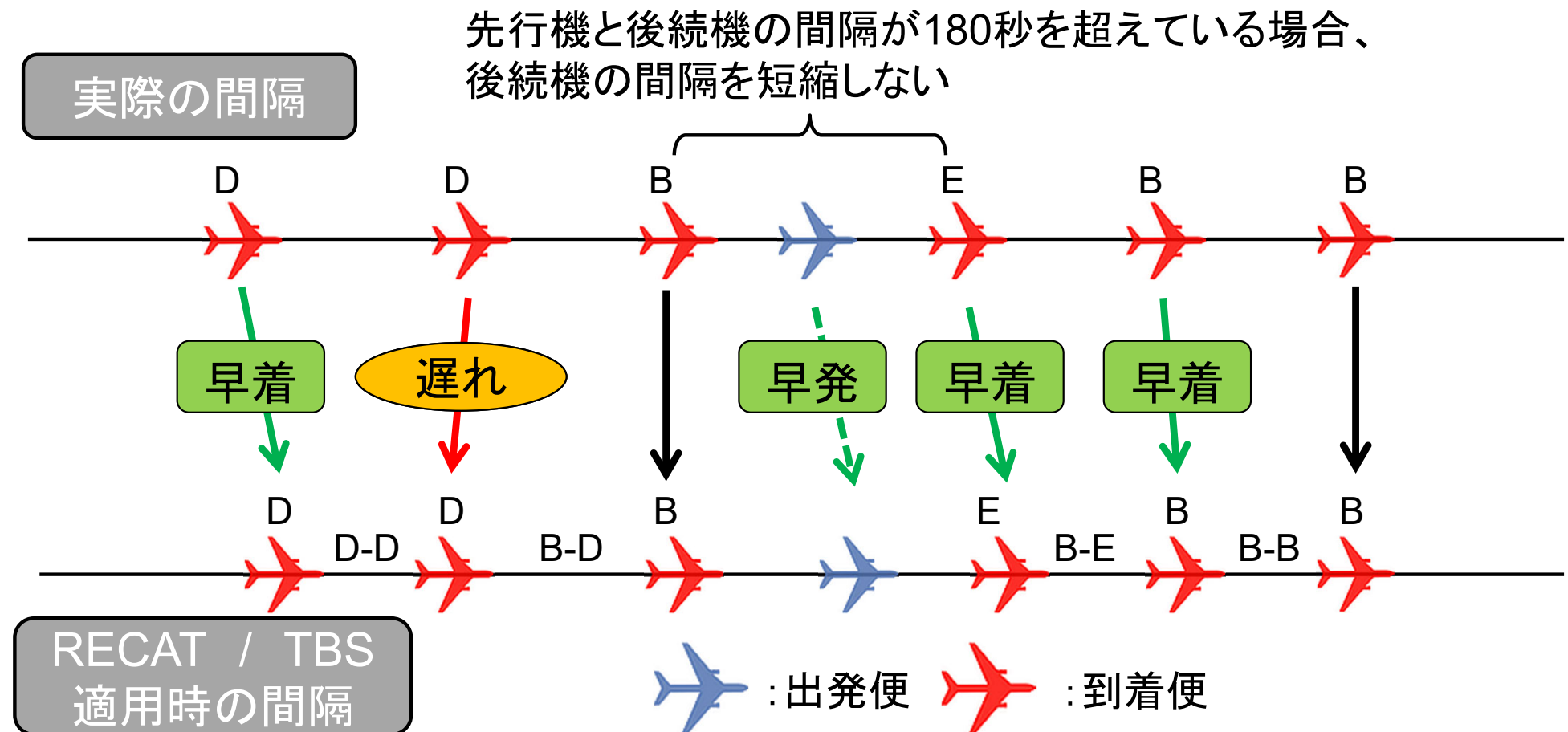
到着機に関して
滑走路進入端通過
時刻で整合を図る



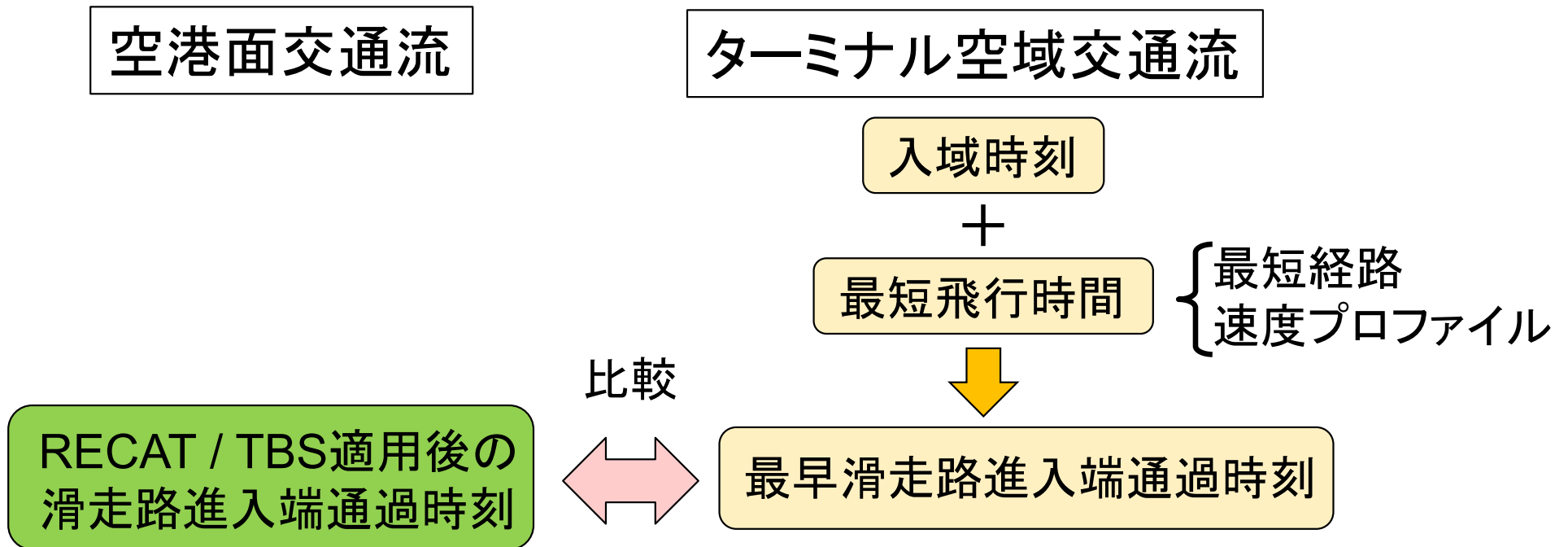
到着機航跡(青)と最短経路(赤)

国内でのTBS検討: 便益評価 空港面の交通流模擬

- 到着機: 滑走路進入端で到着機間隔の短縮



国内でのTBS検討: 便益評価 空港面とターミナル空域との整合



- 早着可能 ⇒ RECAT / TBS適用後の通過時刻を採用
- 早着不可 ⇒ 現実模擬の通過時刻を採用
(TBS早着不可で RECAT早着可能であればRECAT採用)
- 以降の便も影響を受けるので逐次比較して再計算

国内でのTBS検討: 便益評価

RECAT / TBSの時間間隔(1)

	A	B	C	D	E	F	G						
A		110 120	4	130 150	5	135 160	5	160 200	6	170 200	6	210 250	8
B		80 90	3	105 120	4	110 130	4	140 170	5	160 170	5	190 225	7
C					85 100	3	105 120	3.5	110 120	3.5	170 175	6	
D												120 145	4
E	黒: 弱風時RECAT(秒)、強風時TBS(秒) 赤: 強風時RECAT(秒)											120 145	4
F	青: 距離(NM)												
G													

国内でのTBS検討: 便益評価

RECAT / TBSの時間間隔(2)

- 向い風の強さと滑走路占有時間の考慮
 - 滑走路進入端1NM手前～誘導路ホールドポジション通過まで
 - バッファ: 0.4NM相当を加算
- 今回の交通流模擬では以下に設定
 - 弱風時: 102秒(対地速度75m/s, 滑走路上45m/s)
 - 強風時: 113秒(対地速度68m/s, 滑走路上41.5m/s)

弱風時のRECAT unit : sec

	A	B	C	D	E	F	G
A		110 (4)	130 (5)	135 (5)	160 (6)	170 (6)	210 (8)
B		80 (3)	105 (4)	110 (4)	140 (5)	160 (5)	190 (7)
C				85 (3)	105 (3.5)	110 (3.5)	170 (6)
D							120 (4)
E							120 (4)
F							
G							

TBS unit : sec

	A	B	C	D	E	F	G
A		110 (4)	130 (5)	135 (5)	160 (6)	170 (6)	210 (8)
B		80 (3)	105 (4)	110 (4)	140 (5)	160 (5)	190 (7)
C				85 (3)	105 (3.5)	110 (3.5)	170 (6)
D							120 (4)
E							120 (4)
F							
G							

国内でのTBS検討: 便益評価

効果の指標: 飛行短縮時間の総和

日付	運用	風況	RWY	到着機数	RECAT		TBS	
					適用機数	効果	適用機数	効果
20190815	南風	強風	16L	295	202	3:10:53	202	3:30:45 19:52増加
20190817	南風	弱風	16L	303	203	1:48:32	—	—
20200206	北風	強風	34R	280	172	3:40:42	172	4:21:32 40:50増加
20200112	北風	弱風	34R	320	239	8:11:01	—	—


- TBS適用でRECATよりも飛行短縮時間の総和が増加
 - 増加量: 19分52秒(2019年8月15日)、40分50秒(2020年2月6日)
- RECAT、TBSとも現実模擬からの短縮効果は大きめである可能性

国内でのTBS検討: 便益評価 課題

- 最早滑走路進入端通過時刻の精度向上
 - 他機との関係性
 - RECAT、TBSについてそれぞれの現実模擬からの飛行短縮時間の精度改善を図る
- 風が強い日(一定時間持続)の発生確率調査
- AMAN/DMANとの連携
 - ターミナル空域への入域時間
- 滑走路占有時間短縮
可能性の検討
 - 強風時113秒
- 解析事例の蓄積
 - RECAT導入後の交通流
 - 強風事例

unit : sec

	A	B	C	D	E	F	G
A		110 (4)	130 (5)	135 (5)	160 (6)	170 (6)	210 (8)
B		80 (3)	105 (4)	110 (4)	140 (5)	160 (5)	190 (7)
C				85 (3)	105 (3.5)	110 (3.5)	170 (6)
D			113				120 (4)
E							120 (4)
F							
G							



国内混雑空港を対象とした TBSの技術的検討

- 便益評価
- 管制官支援システムの要件
- 安全性評価の概要と手順

国内でのTBS検討: 管制官支援システム、安全性評価の概要

- 管制官支援システムの要件
 - 簡易的な支援情報計算アルゴリズムを試作
 - 4つの機能
 - 航空機情報、予測軌道計算、間隔支援情報計算、表示・警報
 - 課題: 軌道予測の向上、風況情報の取得など
- 安全性評価の概要と導入に必要な手順
 - 後方乱気流の残存リスク評価
 - 東京国際空港においてドップラーライダーによる観測
 - 欧州で観測・蓄積されている結果と比較して大きな相違はない
 - 課題: データ蓄積(A380、グループCより小、新機種)
 - 進入セグメント毎の飛行時間
 - 東京国際空港でのADS-B受信データを中心とした解析
 - 課題: データ蓄積(成田国際空港)、TBS表へのフィードバック

まとめと今後の課題

まとめと今後の課題



- TBS導入の便益評価
 - 計算機による交通流模擬：空港面およびターミナル空域
 - 成田国際空港での効果：RECATと比較した短縮時間の総和で評価
 - 2019年8月15日：19分52秒、2020年2月6日：40分50秒
 - 課題
 - 最早滑走路進入端通過時刻の精度向上、風が強い日の発生確率
 - AMAN/DMANとの連携、ターミナル空域への入域時間調整など
- 管制官支援システムの要件
 - 簡易的な支援情報計算アルゴリズムを試作
 - 課題：軌道予測の向上、風況情報の取得など
- 安全性評価の概要と導入に必要な手順
 - ドップラーライダー観測による後方乱気流の残存リスク評価と進入セグメント毎の飛行時間
 - 課題：データ蓄積、設定間隔、管制官支援システムへのフィードバック

- 本研究を進めるにあたり、TAPS等の航跡データのご提供や後方乱気流観測装置の設置場所のご提供、保守作業へのご協力を賜りました国土交通省航空局交通管制部管制課、並びに東京航空局東京空港事務所の関係各位に感謝申し上げます。
- 成田国際空港の空港面交通流模擬に際してご協力を賜りました成田国際空港(株)の関係各位に感謝を申し上げます。
- 東京国際空港での後方乱気流観測において共同研究によりドップラーライダーに係る機材をご提供いただきました三菱電機株式会社の関係各位に感謝申し上げます。