

2019年10月24日(木) 航空管制セミナー講演資料

羽田空港の遅延削減を目指した 拡張型到着管理システムの研究開発

伊藤 恵理

海上・港湾・航空技術研究所

電子航法研究所 航空交通管理領域

発表内容

□ 航空機の拡張型到着管理システム(E-AMAN)

- 世界動向
- Interval Management (IM)

□ 羽田空港の到着遅延を削減するE-AMAN設計

- E-AMANとRECATの導入効果予測
- 到着率の増加に伴う到着遅延予測
- 到着遅延時間を削減する運用の提案

□ 産学官連携プロジェクトの紹介

- 到着・出発・空港面管理 (AMAN/DMAN/SMAN)
- 航空交通流の可視化
- ヒューマンインザループシミュレーション
- 持続可能な航空輸送を目指して

航空機の拡張型到着管理システム(E-AMAN)

航空機の拡張型到着管理システム

E-AMAN: Extended-Arrival Management

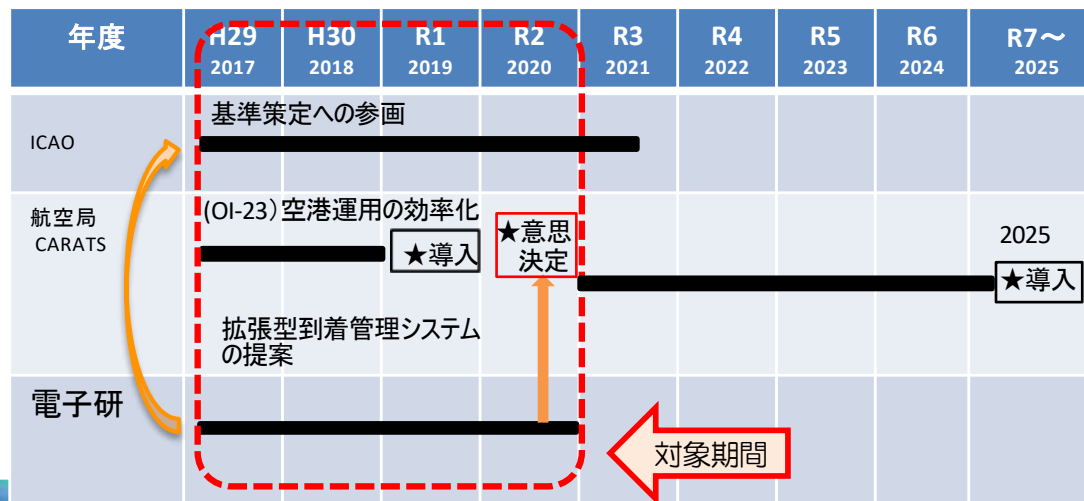


巡航・降下を含む広範囲の空域にわたって、到着スケジューリング(到着順序づけ・時間管理)を行う管制官を支援する自動化システム

諸外国におけるE-AMANの研究開発

- E-AMANの運用方法や設計は、対象とする空港や周辺の空域・航空交通流の性質に依存。
- 世界規模で、実用化に向けた研究開発が現在進行中
- 日本では、羽田空港を対象にしたE-AMANの実装を、2019年、2025年と段階的に実施予定

研究開発ロードマップ



航空機の拡張型到着管理システム(E-AMAN)

□ 諸外国におけるE-AMANの研究開発

欧州

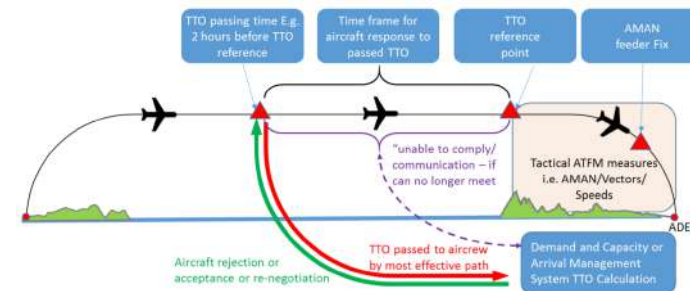
- SESAR Project 25が現在進行中
- ヒースロー, ガドウィック, チューリッヒ, CDG, オルリー等の主要空港が, 予定到着時刻などの情報を共有する仕組みを提案



CDGの例:
到着スケジュールの
範囲を, 隣接国の空域
に拡張

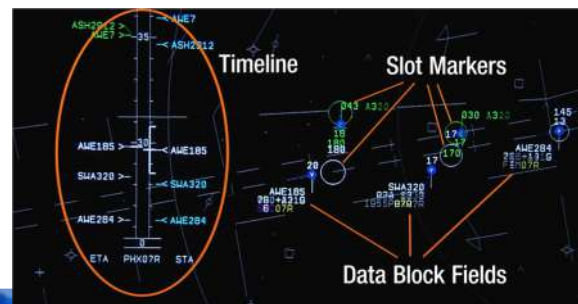
アジア環太平洋地域

- 将来的な航空交通需要が特に増加するASEAN地域を対象に, エアライン主導のLRATFM(Long Range Air Traffic Flow Management)の研究開発が進行中



米国

- 1990年代後半に航空管制の現場に導入されたTMA(Traffic Management Advisory)を改修し, エンルートではTBFM(Time-based Flow Management), ターミナルではTSAS(Terminal Sequencing and Spacing)と区別
- 2028年に, FIM(Flight-deck Interval Management)と合わせたIM(Interval Management)の実運用を計画



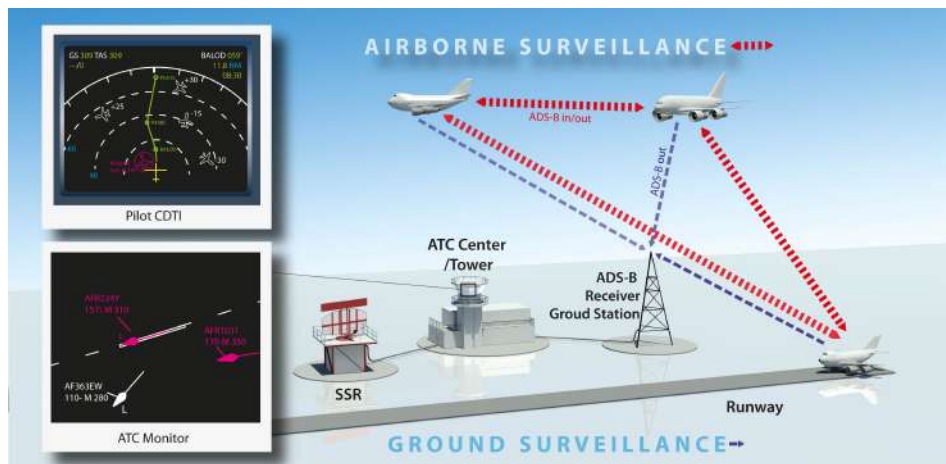
TSASのHMI(Human Machine Interface)設計案:
到着順序・時間間隔を示すだけでなく, 理想とする位置をスロットマーカーで示したり, 速度を指示したり, 大規模なHMIの改修を提案

航空機の拡張型到着管理システム(E-AMAN)

Interval Management (IM)

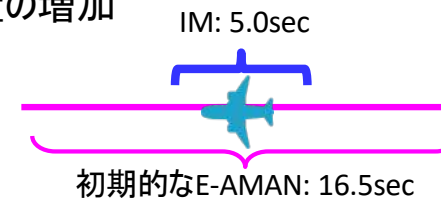
- ADS-B INを利用する航空機監視応用システム(Aircraft Surveillance Applications System)のFIM(Flight-deck Interval Management)応用方式と、E-AMANが連携する到着管理

ASASの概念図



IMの便益

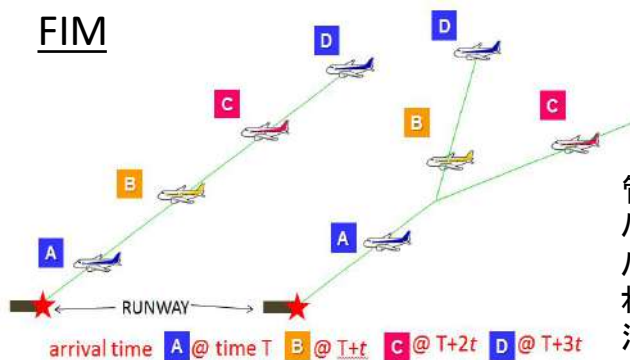
- 滑走路容量の増加



Capability	IAT Sigma (sec)	
No metering (baseline)	なし	18.0
Metering	初期的なE-AMAN	16.5
GIM-S, TSAS	高性能なE-AMAN	12.0 ¹
IM	ASASとの連携	5.0 ²

管制官を支援する自動化システムのレベルが、滑走路処理容量を決定する。

FIM



管制官は、到着順序と間隔をパイロットに指示する。パイロットは、航空機に搭載された専用の自動化ツールを活用し、速度調整を行う。

- 速度調整による燃料消費の削減
- パイロット・管制官のワークロード削減



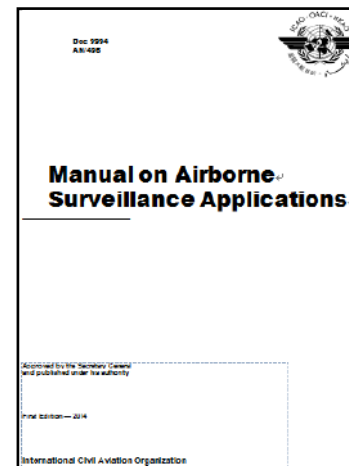
航空機の拡張型到着管理システム(E-AMAN)

□ IM実用化に向けて

- 米国は、2028年にIMの実運用化を計画
- ICAOによる国際基準・規格策定作業
(Surveillance Panel Airborne Surveillance Working Group: SP-AIRB)
- PANS-OPS (Procedures for Air Navigation Services for Air Navigation Services),
PANS-ATM (PANS for Air Traffic Management)の改正も視野に



ICAO ASA ワークショップ (バンコクにて)



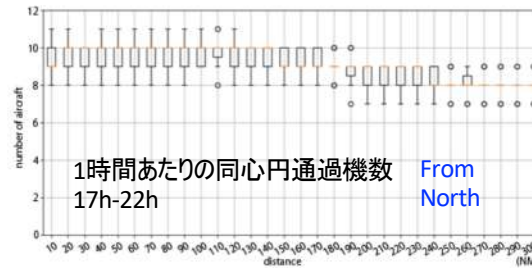
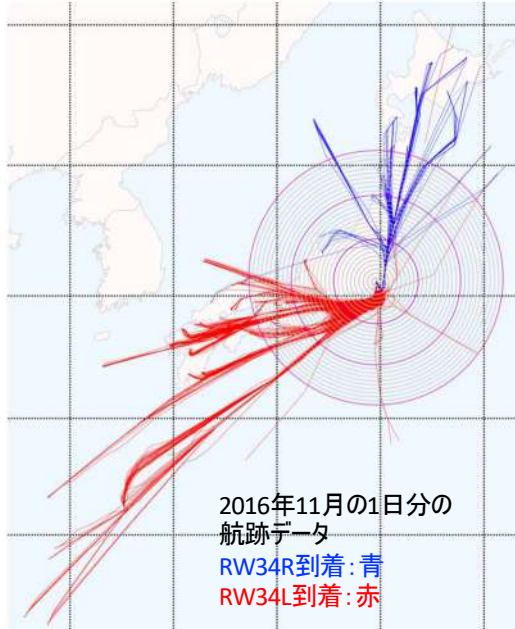
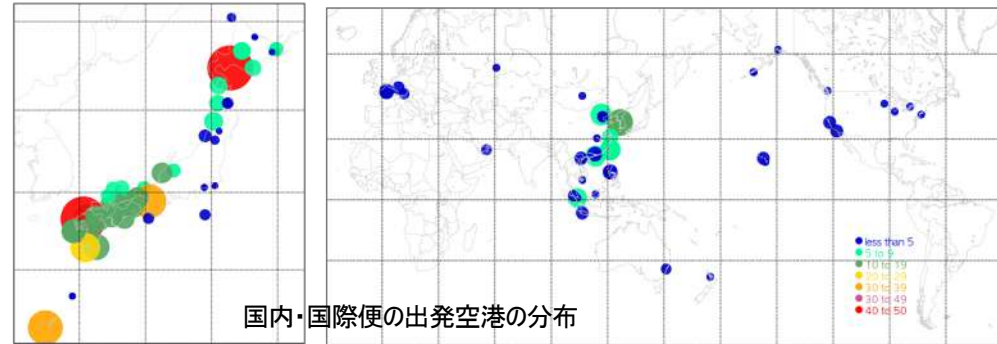
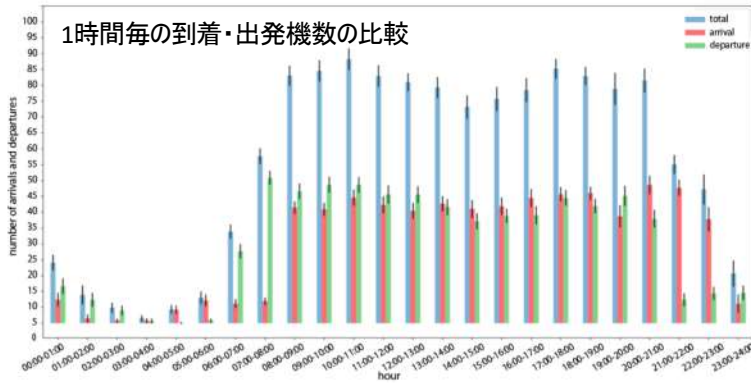
ICAO国際基準策定に参画



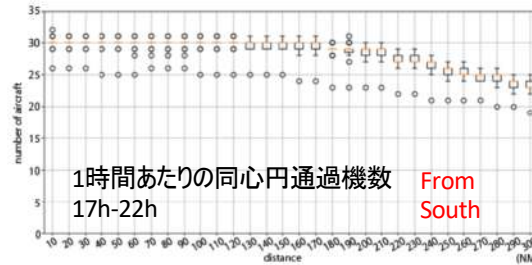
羽田空港の到着遅延を削減するE-AMAN設計

□ データサイエンスによる航空交通分析

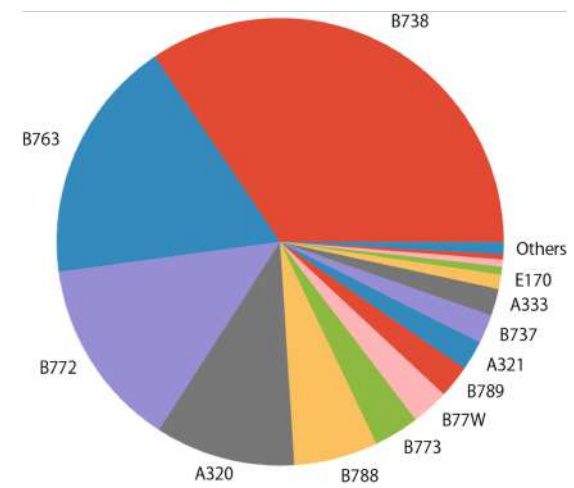
- 2016年および2017年の羽田空港への到着航空交通データ(航跡・飛行計画)を分析



(a) North traffic flow.



(b) South traffic flow.



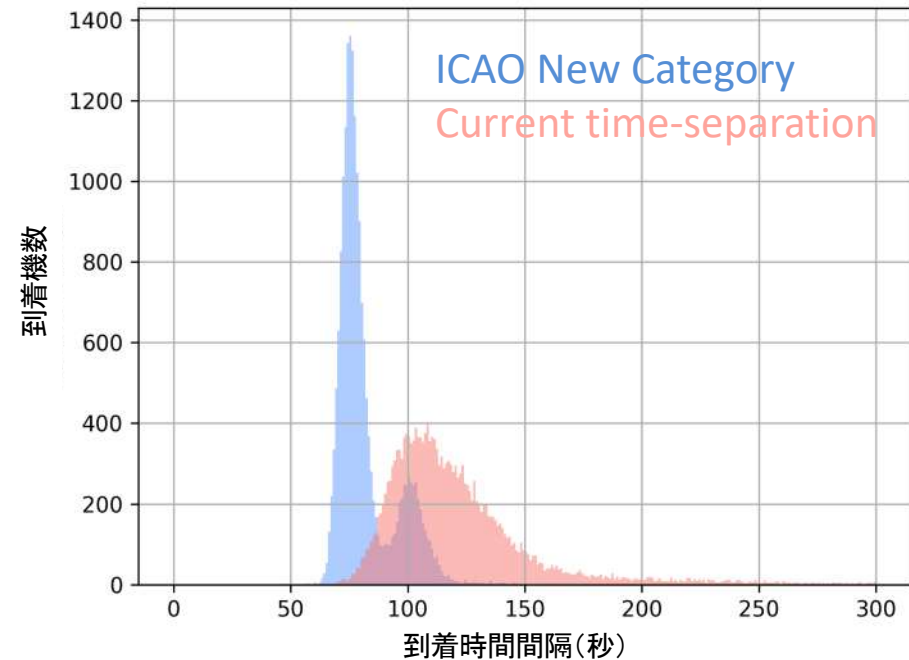
羽田空港における機種の割合

羽田空港の到着遅延を削減するE-AMAN設計

□ RECAT (Wake Turbulence Re-categorization) の導入効果予測

Preceding aircraft group	Succeeding aircraft group	Distance-based wake turbulence separation minima
A	B	7.4 km (4.0 NM)
	C	9.3 km (5.0 NM)
	D	9.3 km (5.0 NM)
	E	11.1 km (6.0 NM)
	F	11.1 km (6.0 NM)
	G	14.8 km (8.0 NM)
	B	B
C		7.4 km (4.0 NM)
D		7.4 km (4.0 NM)
E		9.3 km (5.0 NM)
F		9.3 km (5.0 NM)
G		13.0 km (7.0 NM)
C	D	5.6 km (3.0 NM)
	E	6.5 km (3.5 NM)
	F	6.5 km (3.5 NM)
	G	11.1 km (6.0 NM)
D	G	7.4 km (4 NM)
E	G	7.4 km (4 NM)

- a) GROUP A — aircraft types of 136 000 kg or more, and a wing span less than or equal to 80 m but greater than 74.68 m;
- b) GROUP B — aircraft types of 136 000 kg or more, and a wing span less than or equal to 74.68 m but more than 53.34 m;
- c) GROUP C — aircraft types of 136 000 kg or more, and a wing span less than or equal to 53.34 m but more than 38.1 m;
- d) GROUP D — aircraft types less than 136 000 kg but more than 18 600 kg, and a wing span greater than 32 m;
- e) GROUP E — aircraft types less than 136 000 kg but more than 18 600 kg, and a wing span of 32 m or less but greater than 27.43 m;
- f) GROUP F — aircraft types less than 136 000 kg but more than 18 600 kg, and a wing span of 27.43 m or less;
- g) GROUP G — aircraft types of 18 600 kg or less (without wing span criterion).



北風運用時RW34Lにおける8:00-21:00の
到着時間間隔の比較

(北風運用時RW34Lにおいて8:00-21:00に
羽田空港に到着する機種・到着順序に
RECATを適用して比較)

羽田空港の到着遅延を削減するE-AMAN設計

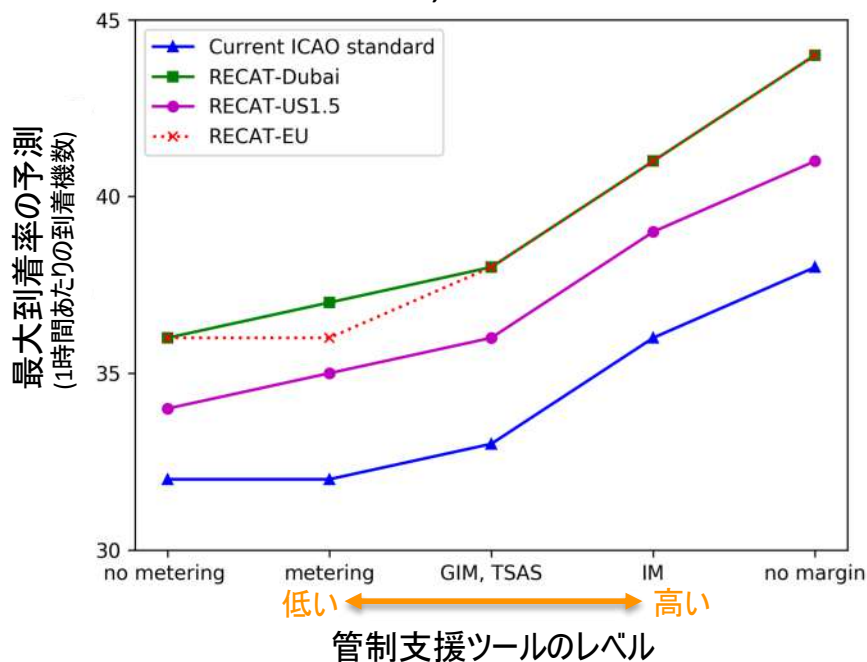
□ E-AMANとRECATの導入効果予測

- E-AMANの4つのレベル(右図表)と RECAT-Dubai(ICAO新基準), EU, US1.5の組み合わせにより、到着率を予測
- ただし、滑走路占有時間・管制官の操作による運用実現性は考慮していない

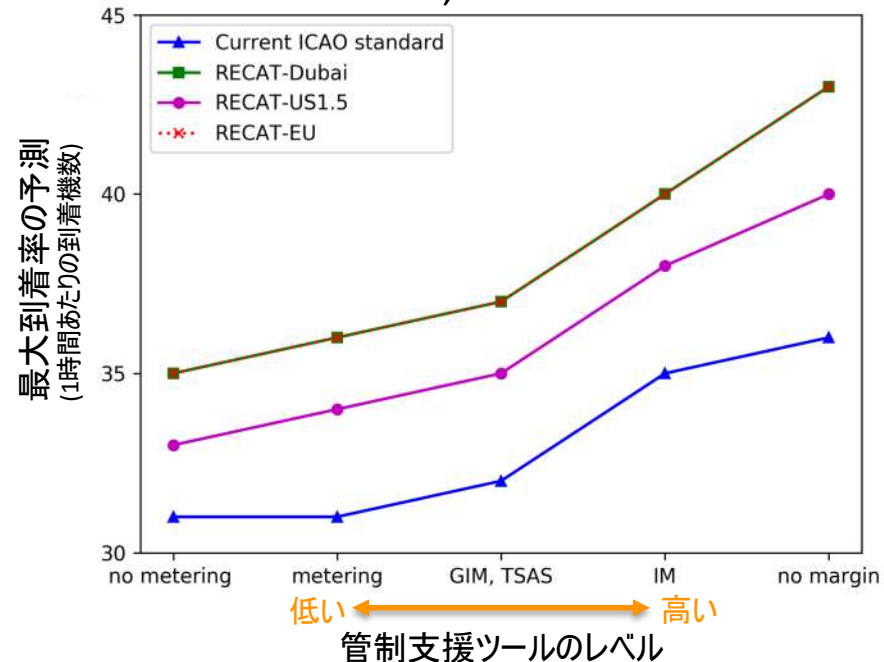


Capability		IAT Sigma (sec)
No metering (baseline)	なし	18.0
Metering	初期的なE-AMAN	16.5
GIM-S, TSAS	高性能なE-AMAN	12.0 ¹
IM	ASASとの連携	5.0 ²

RW34L, 17:00-22:00



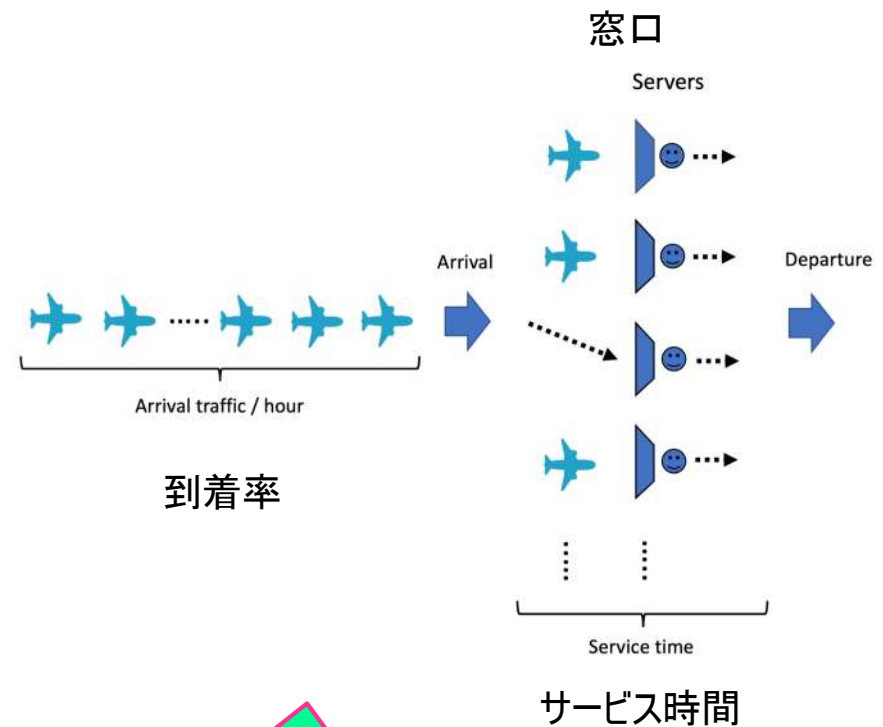
RW22, 17:00-22:00



羽田空港の到着遅延を削減するE-AMAN設計

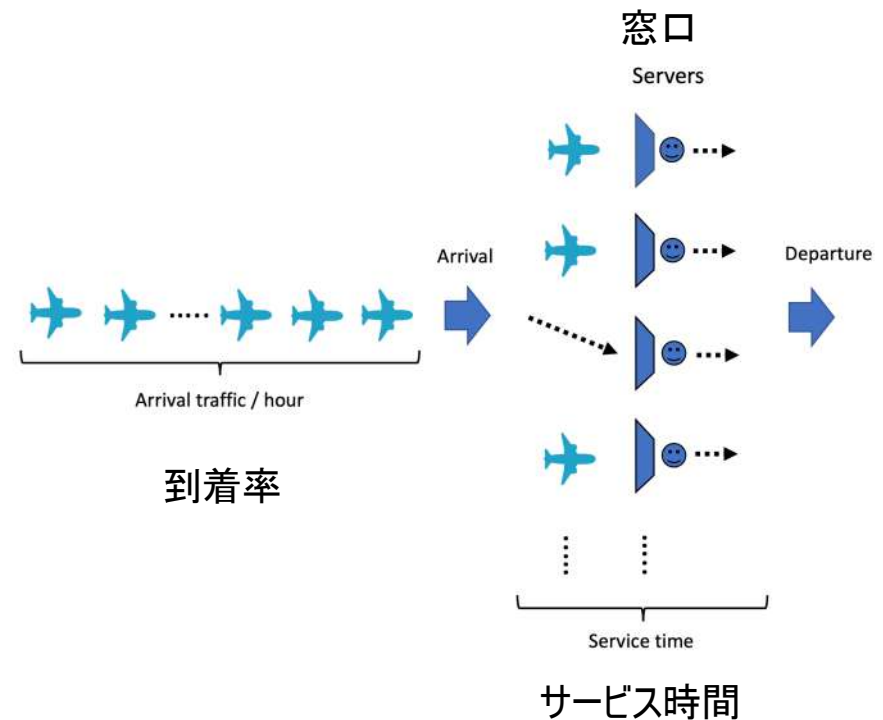
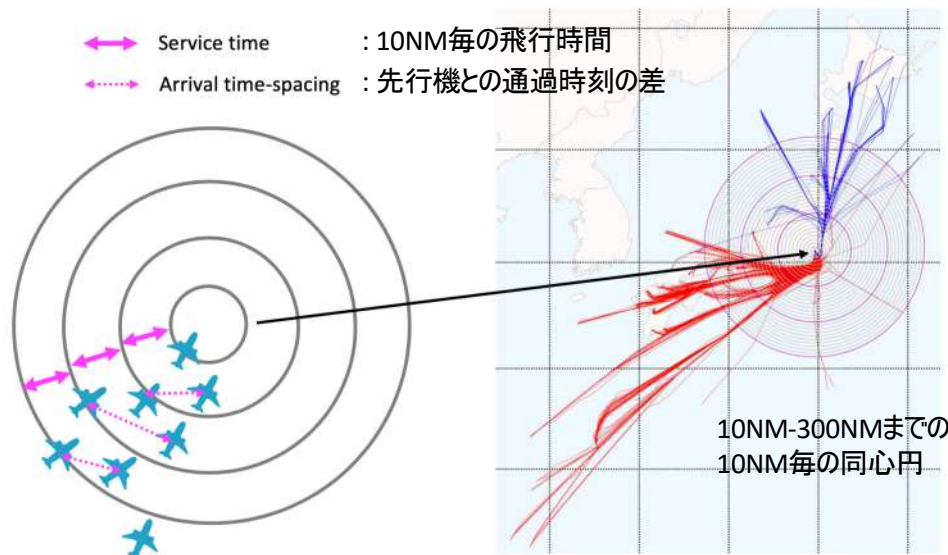
□ 待ち行列モデル(1/2)

- “みどりの窓口”と航空交通流の共通点...



羽田空港の到着遅延を削減するE-AMAN設計

□ 待ち行列モデル(2/2)



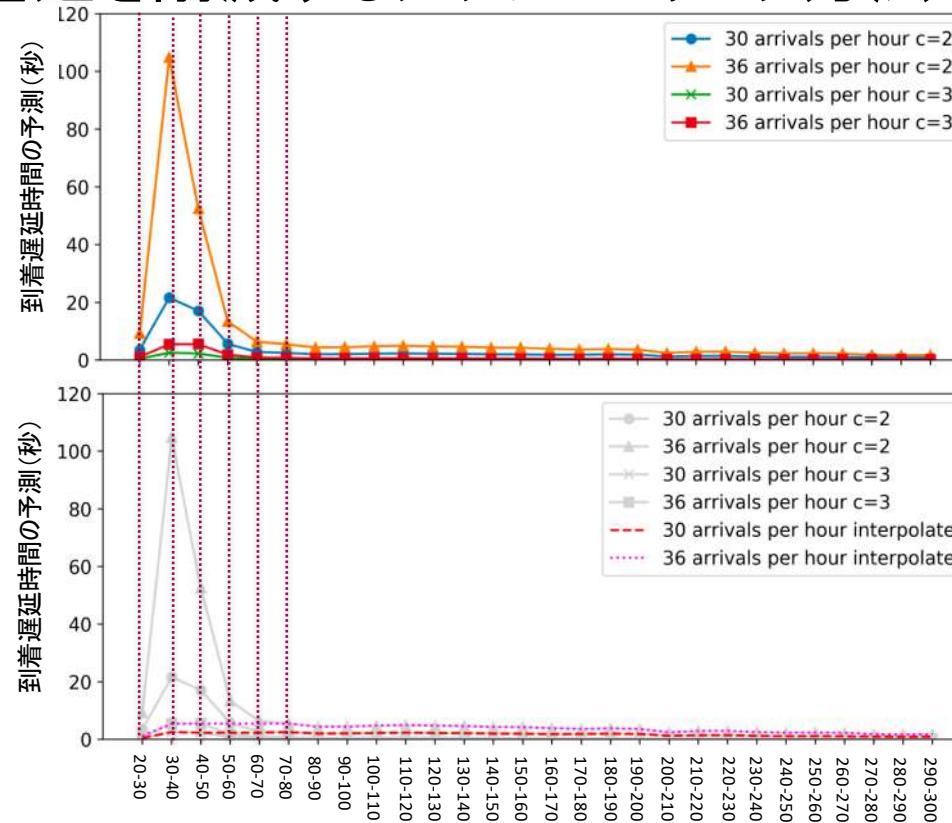
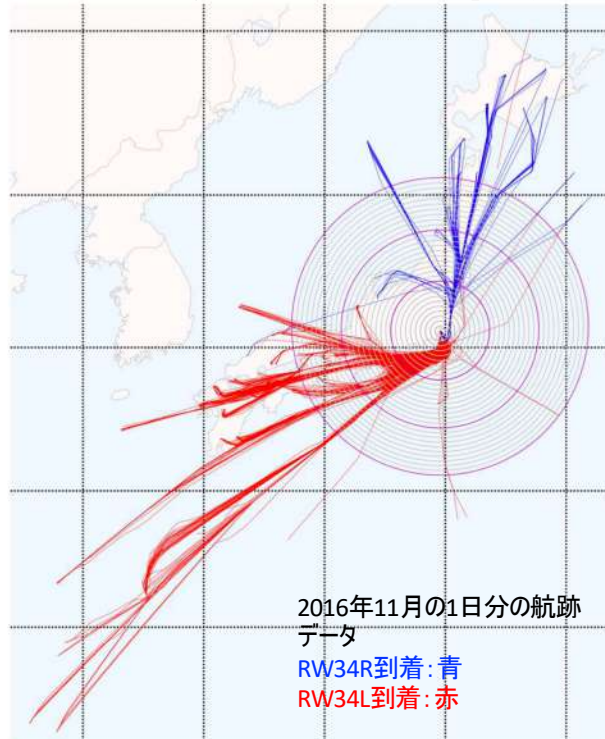
待ち時間 = 到着遅延時間

到着遅延時間に影響するのは、

- 1) 到着率
- 2) サービス時間=飛行時間の平均
- 3) サービス時間=飛行時間のばらつき
- 4) 航空機間隔のばらつき
- 5) 仮想窓口数=空域容量

羽田空港の到着遅延を削減するE-AMAN設計

□ 羽田空港の遅延予測と遅延を削減するスケジューリング方法(1/3)

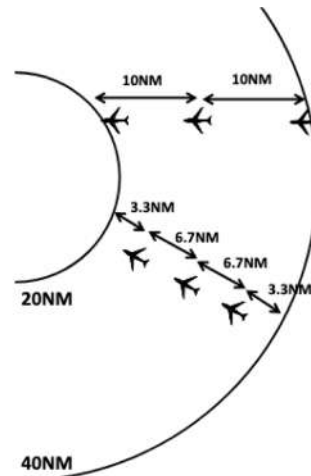


- 東京国際空港から半径20NMから300NMの同心円を10NM毎に描き、28個の空域における南西方面からの到着航空交通流について、2016および2017年の航跡・飛行計画データおよび待ち行列モデルを利用して、到着遅延時間を予測
- 50NM以内の空域容量を、現状より増加させることにより、将来的に交通容量が増加しても遅延時間を削減可能
- 70NM付近での到着時刻管理が理想的

羽田空港の到着遅延を削減するE-AMAN設計

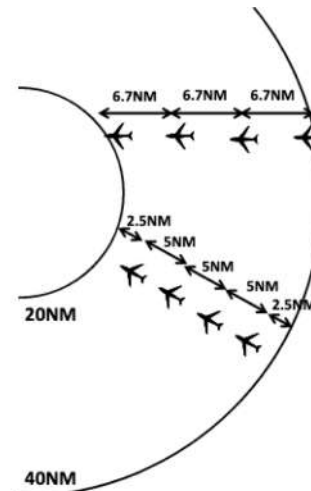
□ 羽田空港の遅延を削減するスケジューリング手法(2/3)

20NMに3機がイントレイル



現状

20NMに4機がイントレイル

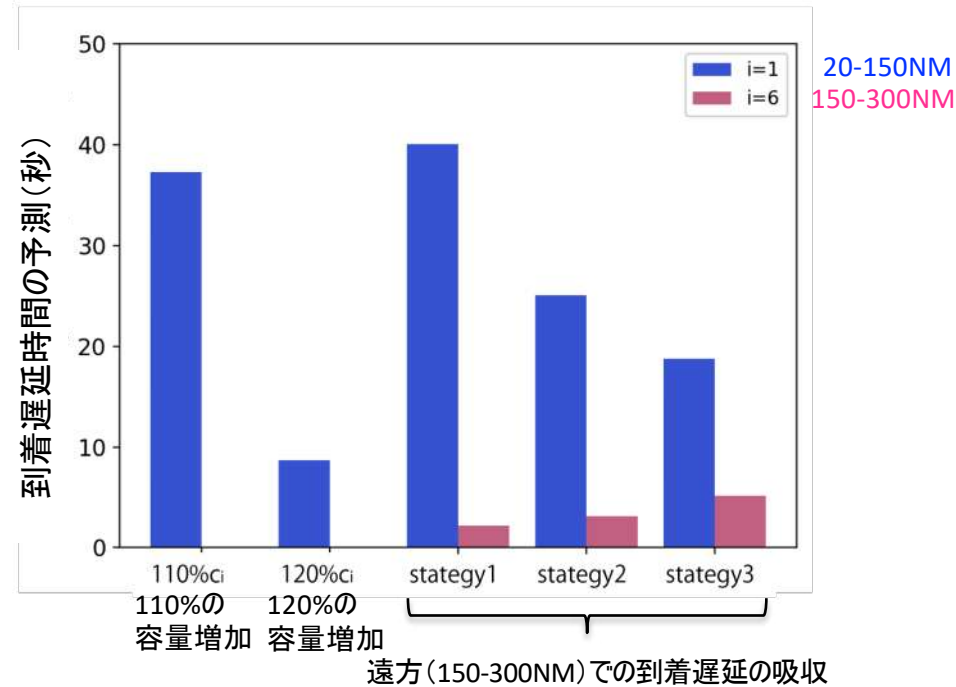


理想 (120%の容量増加)

- 50NM以内の空域において、容量を120%増加させると、1時間あたり36機の到着率でも現状より遅延時間を削減させながら実現可能・1時間あたり40機の到着率においても安定した到着交通を実現可能
- 120%の容量増加は、例えば20から40NMの空域で現状3機が飛行(イントレイルで6.7-10NMの機体間隔)しているところを、4機(イントレイルで5.0-6.7NMの機体間隔)に増加させることを意味する
- 現場経験者の意見を参考にすると、6.0NM間隔での飛行は現実的

羽田空港の到着遅延を削減するE-AMAN設計

□ 羽田空港の遅延を削減するスケジューリング手法 (3/3)

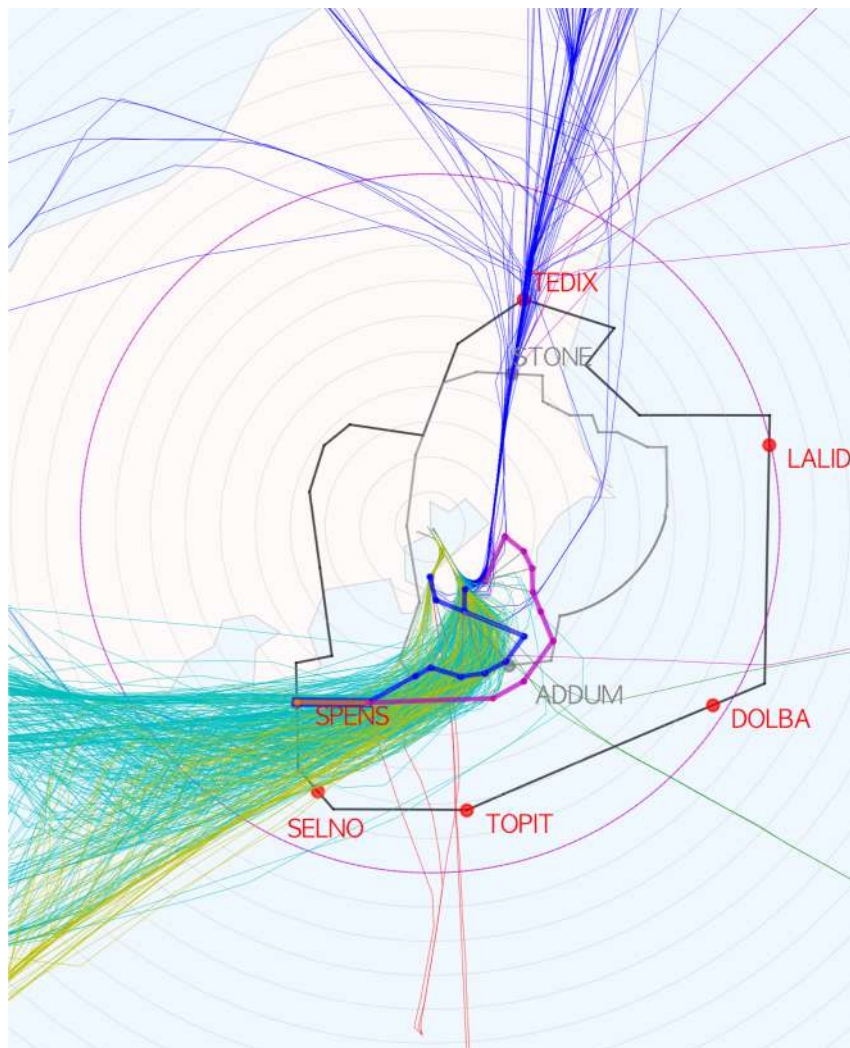


Airspace i	1 (20-150NM)	6 (150-300NM)	
Strategy 1	$E[B_1] - 100\text{sec}$	$E[B_6] + 100\text{sec}$	150-300NMで100秒の遅延を吸収
Strategy 2	$E[B_1] - 150\text{sec}$	$E[B_6] + 150\text{sec}$	150-300NMで150秒の遅延を吸収
Strategy 3	$E[B_1] - 180\text{sec}$	$E[B_6] + 180\text{sec}$	150-300NMで300秒の遅延を吸収

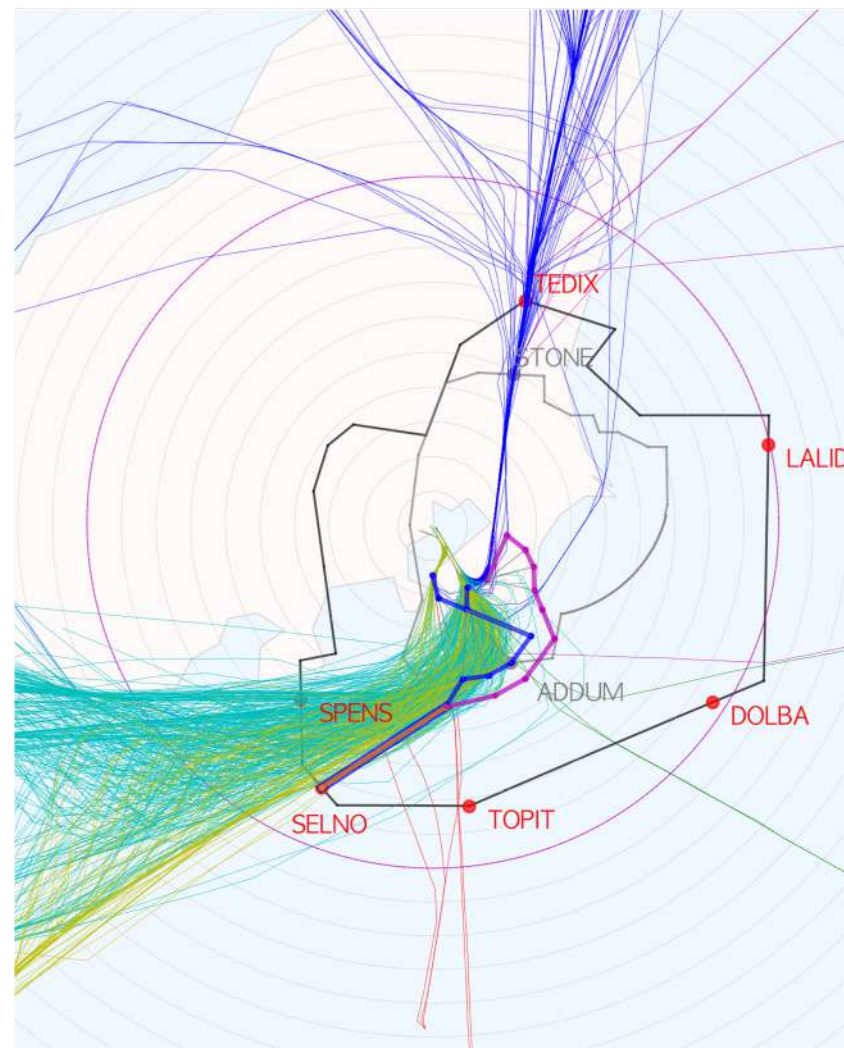
- 遠方(東京国際空港から150-300NMの空域)において近方(東京国際空港から20-150NMの空域)の遅延時間を吸収する時間管理は、50NM以内の容量増加と比較して、効果的ではない
- その理由は、空港から遠方では到着順序に沿った間隔づけのばらつきが大きくなるため

羽田空港の到着遅延を削減するE-AMAN設計

□ ポイントマージ



SPENS-34L,34R

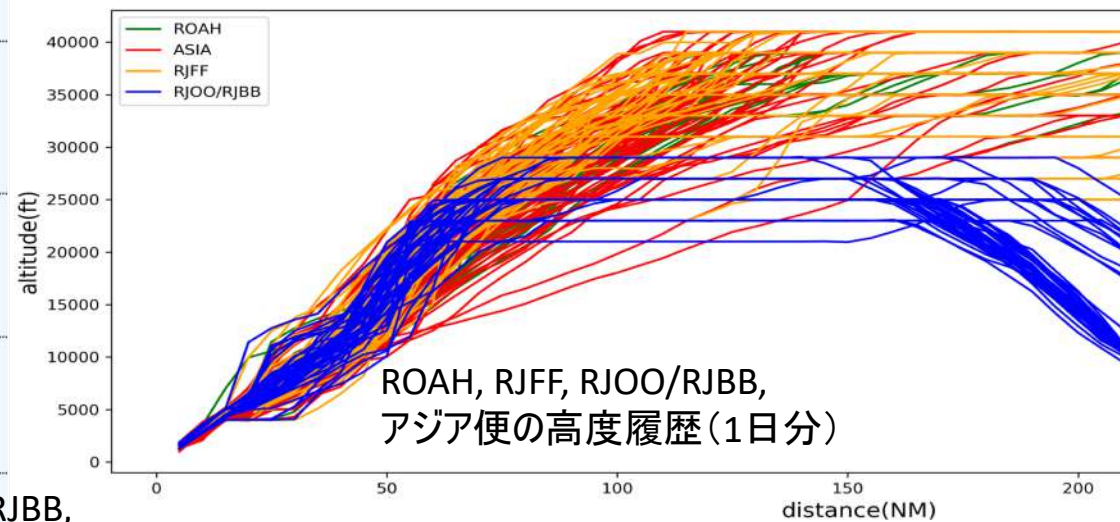
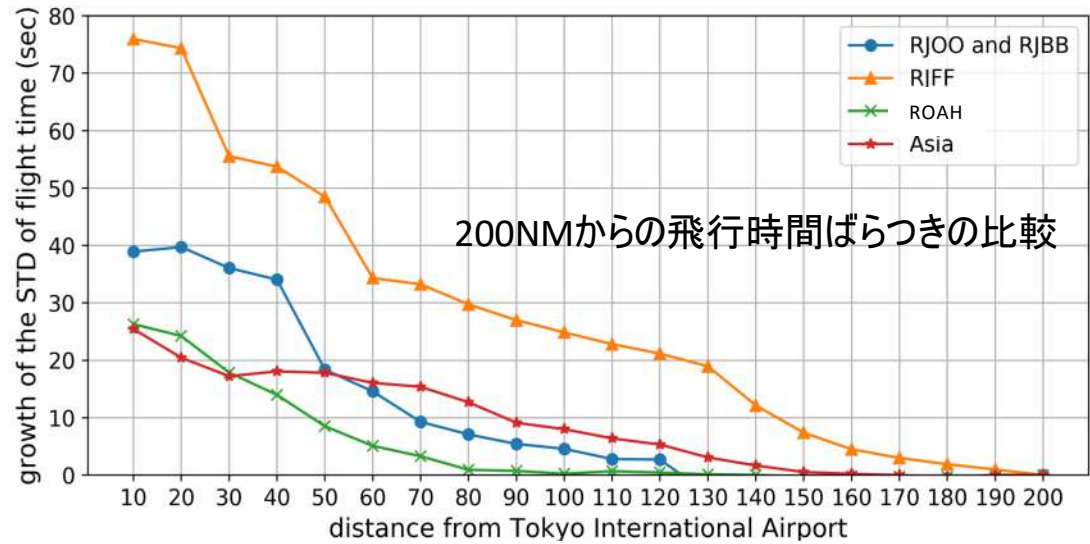
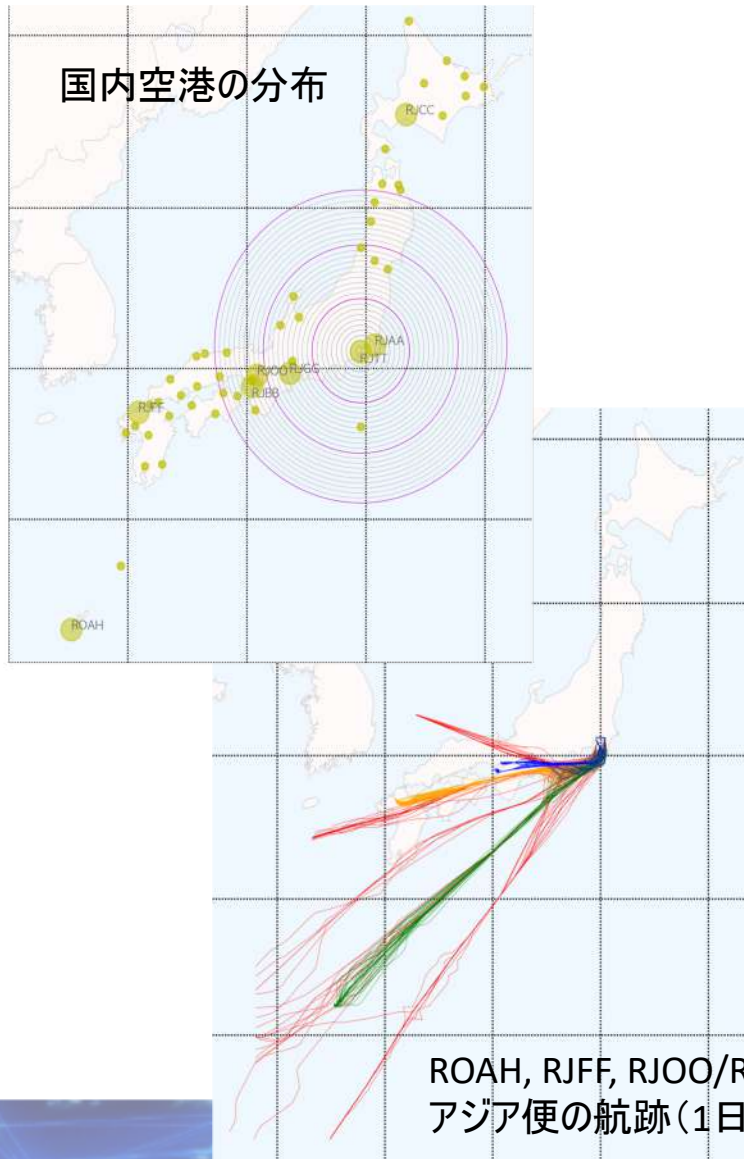


SELNO-34L,34R



羽田空港の到着遅延を削減するE-AMAN設計

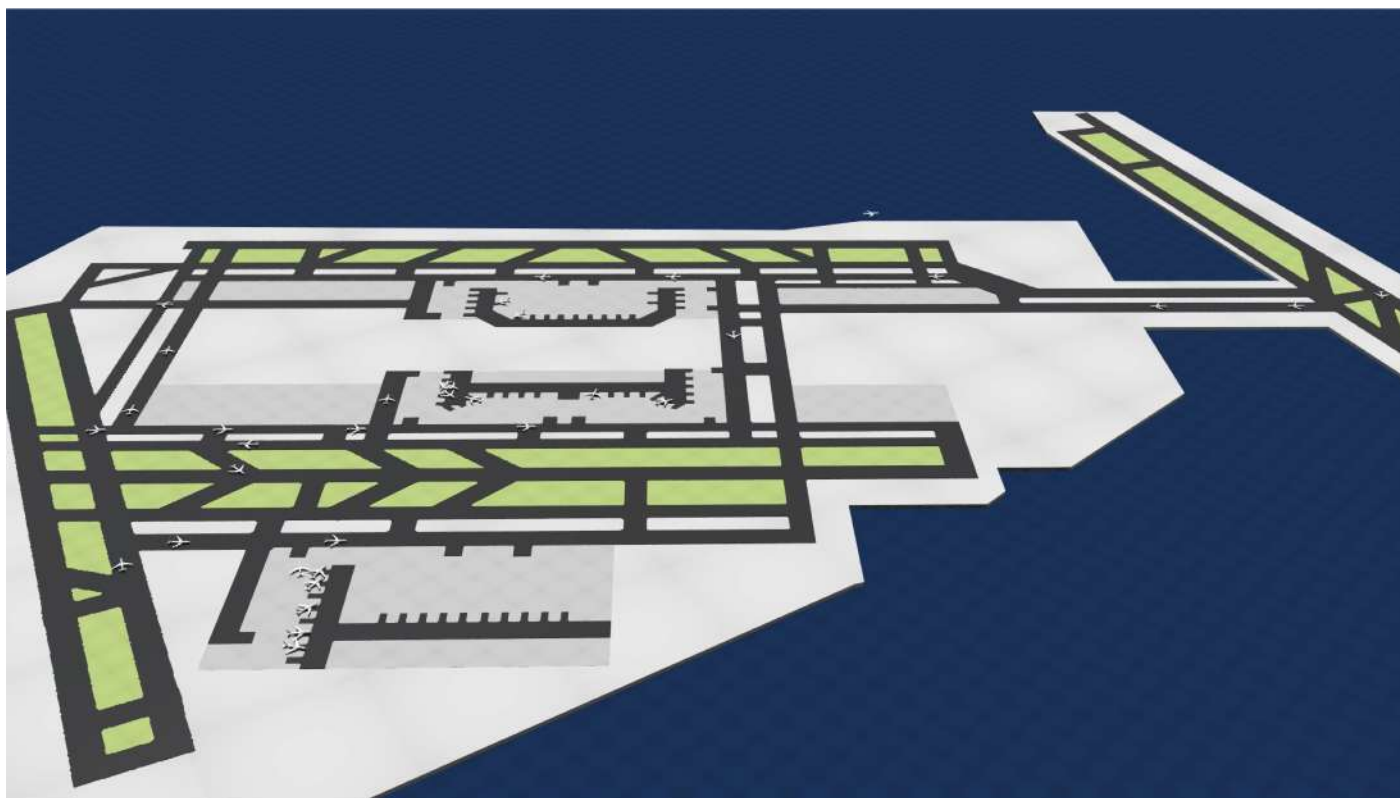
□ Pop-up機の影響



産学官連携プロジェクトの紹介

□ 到着・出発・空港面管理 (AMAN/DMAN/SMAN)

- 京コンピュータを利用して、日本国内の航空交通流を対象に、空港面・ターミナル空域・エンルート空域を結合して模擬できる数値シミュレータを構築・羽田空港の遅延時間を削減する運用の評価



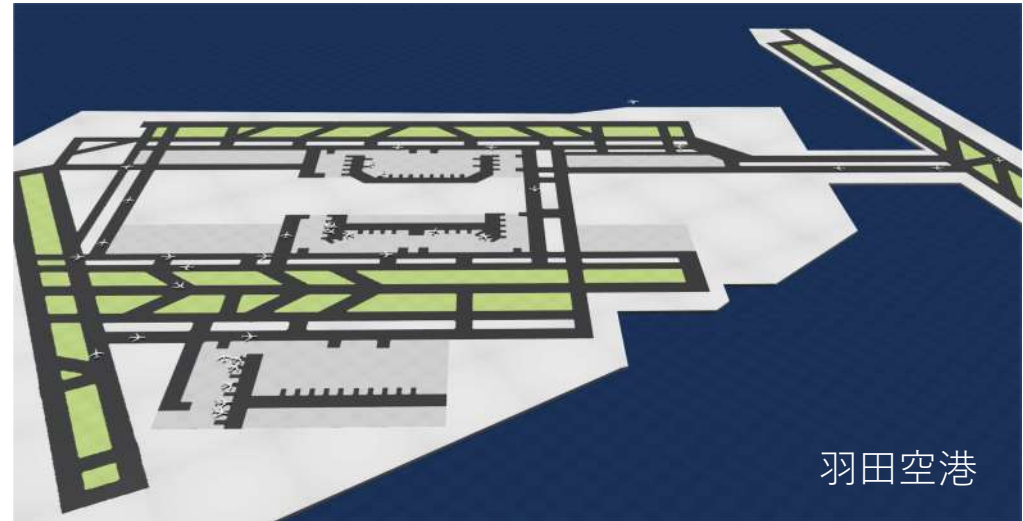
作成: 東京大学 都築 怜理 先生

産学官連携プロジェクトの紹介

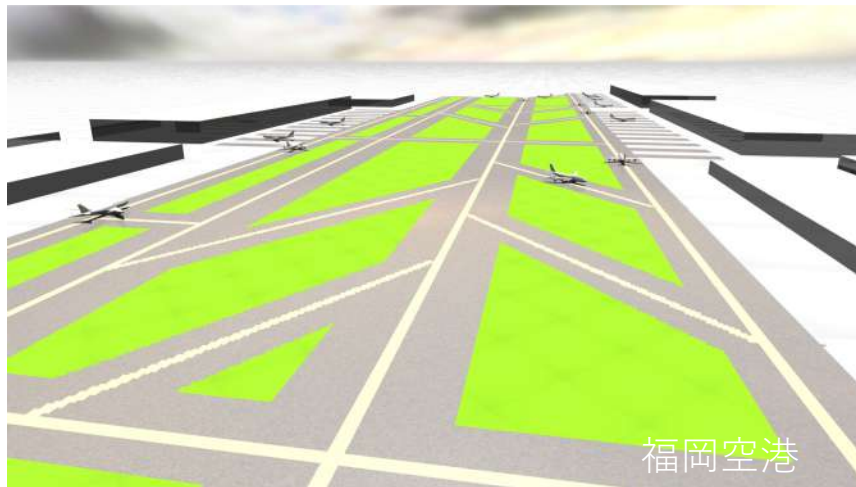
□ 空港面シミュレータ

三大主要空港
(羽田、福岡、新千歳)の
地上交通シミュレーション

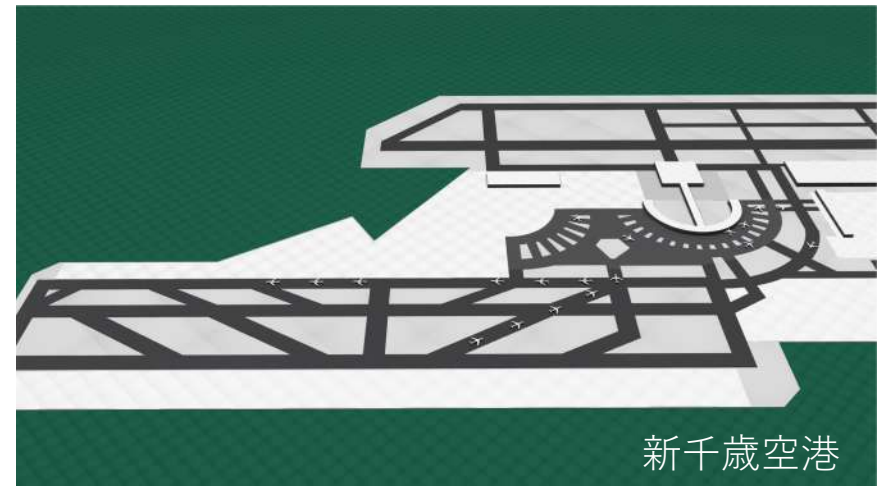
作成: 東京大学 都築 怜理 先生



羽田空港



福岡空港

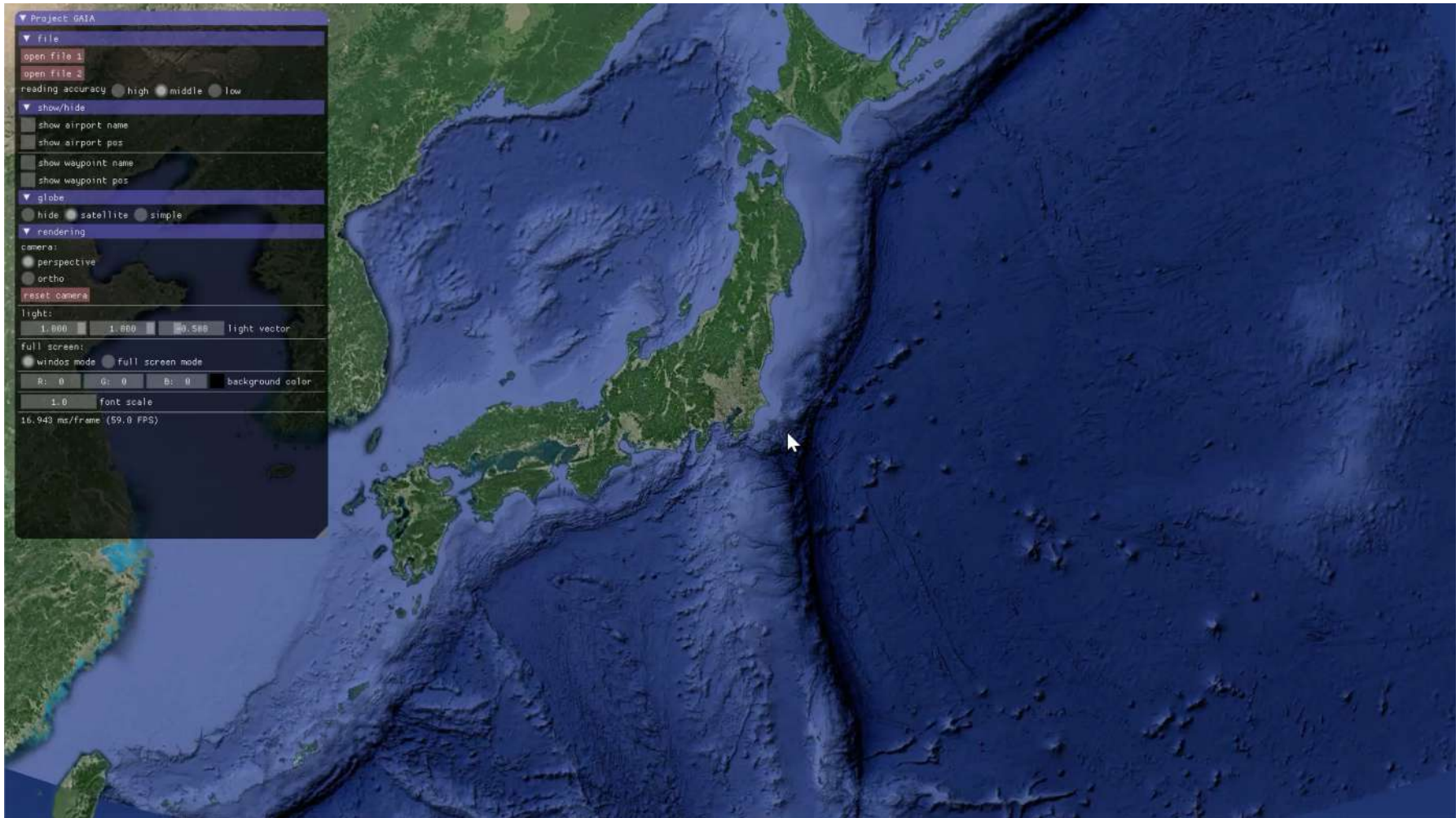


新千歳空港



産学官連携プロジェクトの紹介

航空交通流の可視化



作成: 大阪大学 サイバーメディアセンター 安福 健祐 先生



産学官連携プロジェクトの紹介

□ ヒューマンインザループシミュレーション

- 提案するE-AMANの導入効果を、管制官の実際操作環境を模擬して評価する航空管制シミュレーション環境を構築
- ユーロコントロール実験研究所のESCAPE Lightプロジェクトに参画し、世界13機関と連携したヒューマンインザループシミュレーション実験グループに参加・連携した実験評価の体制を構築

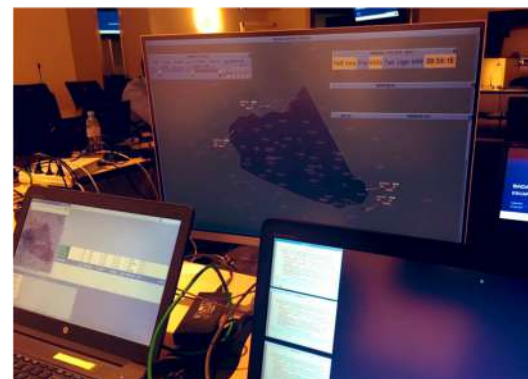


ESCAPE ヒューマンインザループシミュレータ

EUROCONTROL - ESCAPE Light
May 20-24, 2019 - Brétigny, France



ESCAPE Light プロジェクトの参画メンバー

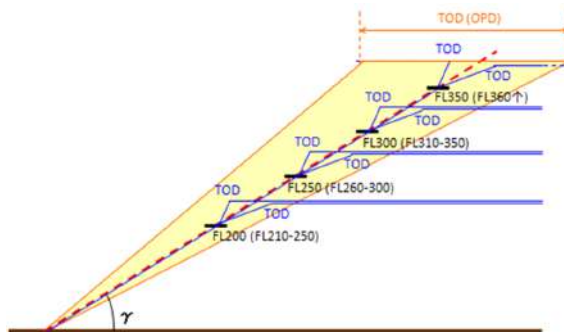


モバイルワークステーションで作動するESCAPE Light HITL シミュレータ

産学官連携プロジェクトの紹介

□ エコ(環境に優しく経済的)なフライトを目指して

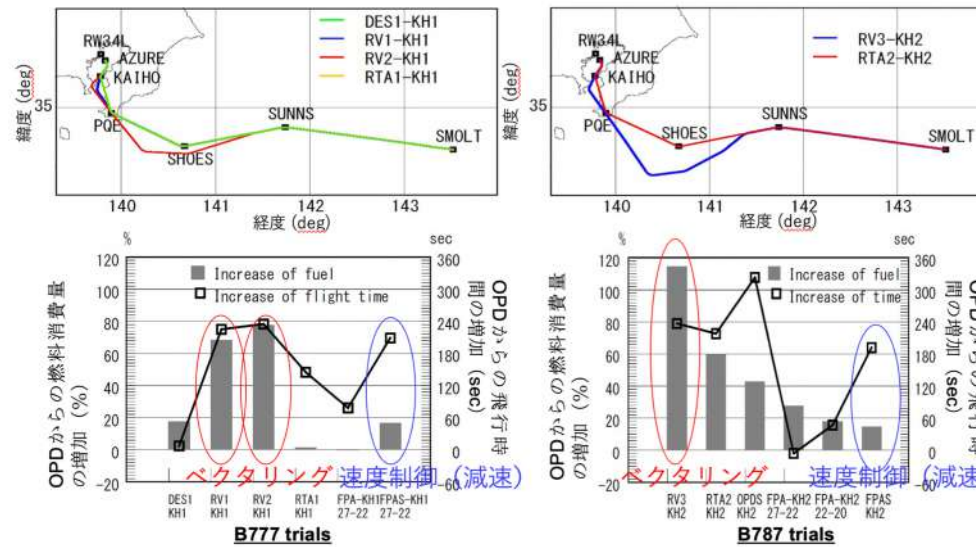
- 航空管制官の高度予測性を向上しながら燃料消費量を削減できるよう、降下角度を固定した継続降下運用であるFixed-flight Path Angle Descent (FPA降下)を提案
- エアラインが所有するB777, B787, B737, A320型機のフライトシミュレータを利用した実験により、運用実現性を確認
- 2.2度程度の浅めの降下角度を選択し、速度を調整(減速)することで、既存の管制運用と比較して、最大で1フライトあたり500-1000lbs程度の燃料削減を実現することを示唆
- ボーイング社のecoDemonstratorプロジェクトに参画が実現し、2018年にB777型機による飛行実験に成功



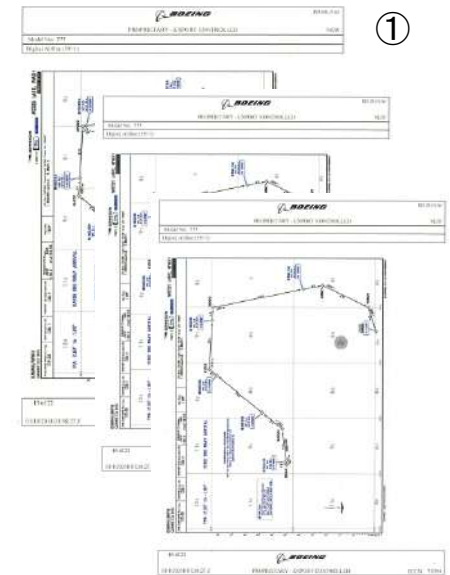
FPA降下の概念図



エアラインの協力によるフライトシミュレータ実験



羽田空港にFPA降下を導入した場合の燃料削減効果



- ① ecoDemonstrator実験用に、ボーイング、ジェプセン、ENRIが共同作成したモーゼスレイク空港に到着する実験用の飛行チャート
- ② 2018年に、B777型機によるモーゼスレイク空港、メンフィス空港での実証実験に成功



②

おわりに

