

2021年6月10日 ENRI研究発表会

# 東京国際空港を対象とした 到着管理の研究開発と応用

伊藤恵理<sup>1,3</sup>, 蔭山康太<sup>1</sup>, 大津山卓也<sup>1</sup>, 天井治<sup>1</sup>, 宮沢与和<sup>1</sup>,  
立川智章<sup>2</sup>, 関根将弘<sup>2</sup>, 加藤古都<sup>3</sup>, 日笠航希<sup>3</sup>, 森川暢明<sup>3</sup>,  
Juergen Rataj<sup>4</sup>, Michael Fineke<sup>4</sup>, Mihaela Mitici<sup>5</sup>,  
Michael Schultz<sup>6</sup>, Srinivas Athota<sup>7</sup>, Vu Duong<sup>7</sup>

<sup>1</sup> 電子航法研究所, <sup>2</sup> 東京理科大学, <sup>3</sup> 東京大学, <sup>4</sup> ドイツ航空宇宙研究所 (DLR),  
<sup>5</sup> デルフト工科大学, <sup>6</sup> ドレスデン工科大学, <sup>7</sup> 南洋理工大学, ATMRI

# 発表内容

## 1. 研究背景と目的

## 2. 東京国際(羽田)空港を対象とした到着管理

- 羽田空港の運用
- 多段階到着管理の概念
- AMAN設計条件の提案と評価

## 3. 研究成果の応用

- ASEAN地域の到着交通流管理
- ICAO国際基準の策定

## 4. 今後の展望

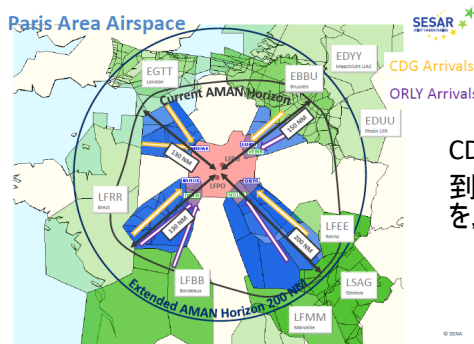
- AMAN/DMAN/SMAN統合運用
- 産学官連携によるHITLシミュレーション実験評価

# 研究背景

- 航空機の到着管理システム(AMAN: Arrival Manager)は、航空機の到着交通流を効率的に管理するよう、到着機の順序・間隔づけを支援する自動化システム
- 到着空港周辺のターミナル空域だけでなく、より広範囲のエンルート空域に対象範囲を広げるよう、AMANの研究開発と実装が世界各地で進行中
- 対象とする空域や航空交通流など、地域によって異なる特性に応じたシステム設計が必要

## 欧州

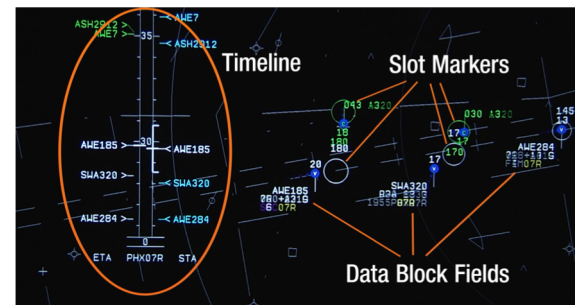
- SESAR Project 25
- ヒースロー, ガドウィック, チューリッヒ, CDG, オルリー等の主要空港が、予定到着時刻などの情報を共有



CDGの例:  
到着スケジューリングの範囲を、隣接国の空域に拡張

## 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

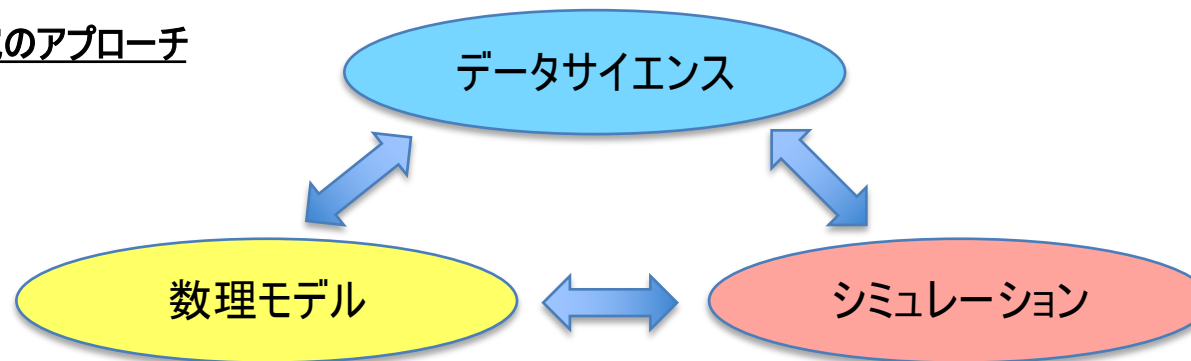


TSASのHMI:  
到着順序・時間間隔を示すだけでなく、理想とする位置をスロットマーカーで示す、速度を指示するなどHMIを改修

# 研究目的

- エンルート空域からターミナル空域の広範囲にわたって、羽田空港に到着する航空交通流を効率的に管理するAMAN設計条件を明らかにし、遅延削減効果を定量的に評価する。
- ICAOが実施している、AMANと航空機監視応用システム(ASAS: Aircraft Surveillance Applications System)を融合する新しい運航であるIM(Interval Management)の国際規格策定に貢献する。
- 本研究成果を日本だけでなく、ASEAN地域における到着交通流管理LRATFM(Long Range Air Traffic Flow Management)の運用概念の設計に発展させ、世界の航空交通管理システムの拡充に貢献する。

## 本研究のアプローチ

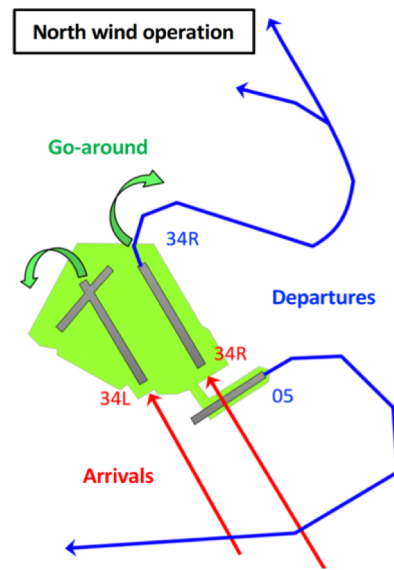


大量の航空交通データ分析、理論の実装、シミュレーション評価という性質の異なるアプローチを組み合わせ、航空交通管理システムを設計する体系的手法を提案・適用した

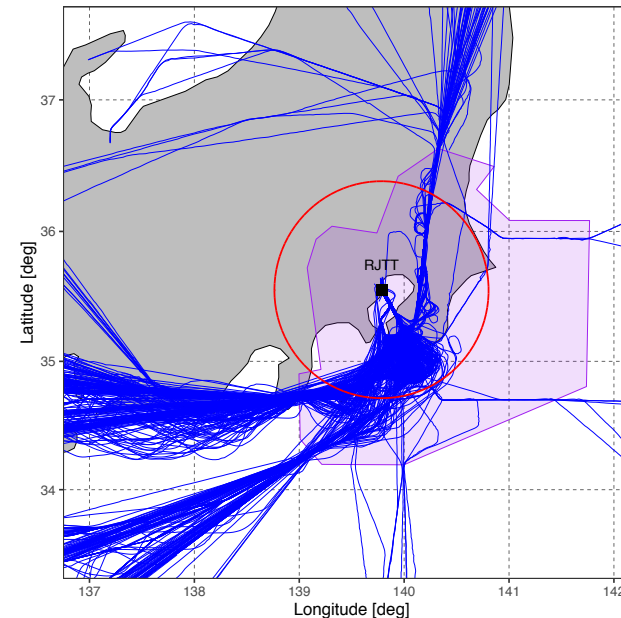
# 羽田空港を対象とした到着管理(1/6)

## □ 羽田空港の運用

- 北風運用時における南西方面からの到着交通流を対象
  - 離着陸機の約60%が北風運用を実施
  - 南西方面からの到着率は、北方面からの約3倍
- 2019年7月より、再編したターミナル空域内でのポイントマージ運用が開始
  - 南西方面からの主要な到着交通流は、2つのFIXを経由してターミナル空域に移管され、ポイントマージ経路を通過してから、滑走路に着陸



羽田空港の北風運用

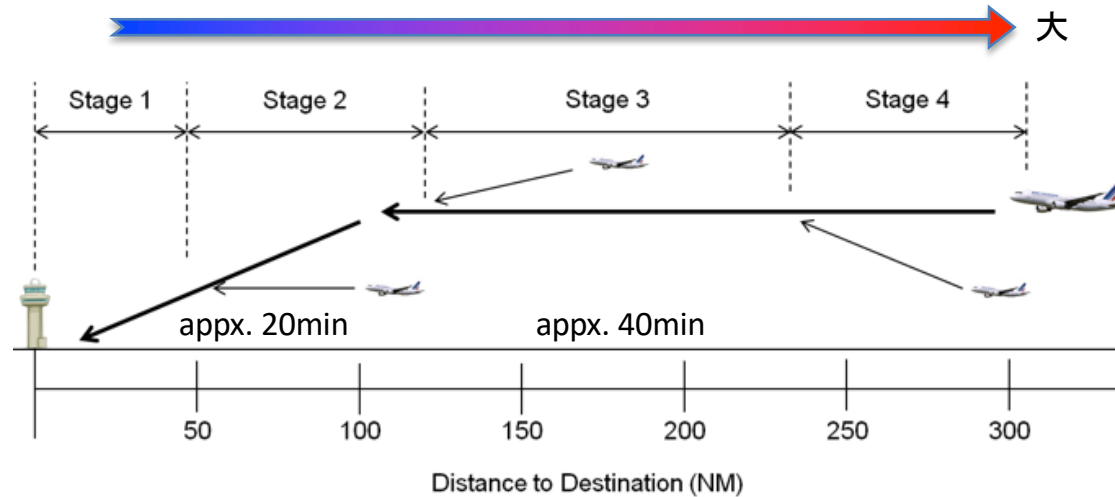


ターミナル空域の拡大とポイントマージ

# 羽田空港を対象とした到着管理(2/6)

## □ 多段階到着管理(Multi-stage Arrival Management)

運航に生じる不確実性(気象・ポップアップ機の出現・管制運用等の影響)の大きさ



Stage 4: 航空交通流制御を実施する空域

- 羽田空港や空域の容量制限に基づいて、航空交通の流量を制御

Stage 3: 航空交通流制御から時間管理(到着機の間隔づけ)に移行する空域

- 巡航区間を飛行する到着機に対して、間隔調整(メタリング)を実施・航空交通の流量管理から時間管理へ

Stage 2: 時間管理を実施する空域

- 巡航・降下区間を含み、Stage 3のメタリング効果を受けながら到着間隔の管理・ターミナル空域への入域間隔の調整

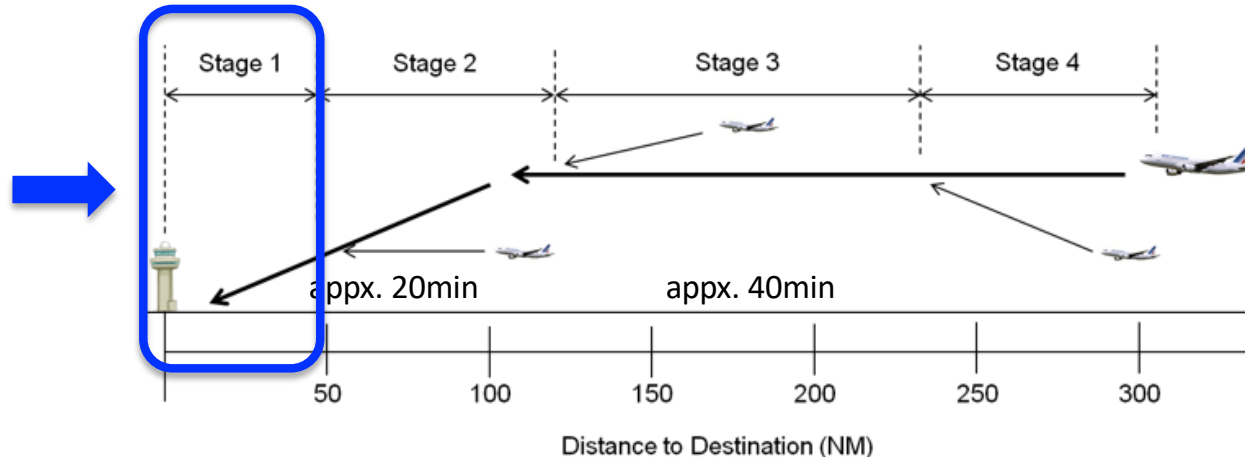
Stage 1: 正確な時間管理を実現する空域

- 到着空港に隣接しターミナル空域を含み、高度・速度制限のある飛行経路を最小間隔を確保して滑走路に着陸させる

# 羽田空港を対象とした到着管理(3/6)

## □ AMAN 設計条件の提案

- ターミナル空域での条件 (Stage 1)



RECAT\*管制間隔の適用 \*新しい後方乱気流間隔: Wake Turbulence Recategorization

- ◆ 航空機の到着率について、現状を維持した場合でも、到着間隔の短縮は滑走路の効率運用に効果的
- ◆ 羽田空港の機材バランスにおいて、RECAT管制間隔の適用により、到着間隔を短縮できる
- ◆ RECAT を適用すると、導入以前のICAO基準と比較して、全体の約40%の到着機の間隔が10秒程度短縮

## 空域容量の拡大

- ◆ ただちに実用化が可能であるか議論の余地があるが、ターミナル空域の容量拡大は、到着遅延時間を大幅に削減
- ◆ インフライトで発生する到着遅延時間を削減する方法は、150NM以遠のインルート空域において到着間隔のばらつきを削減する方法も有効 -> AMAN Stage 3

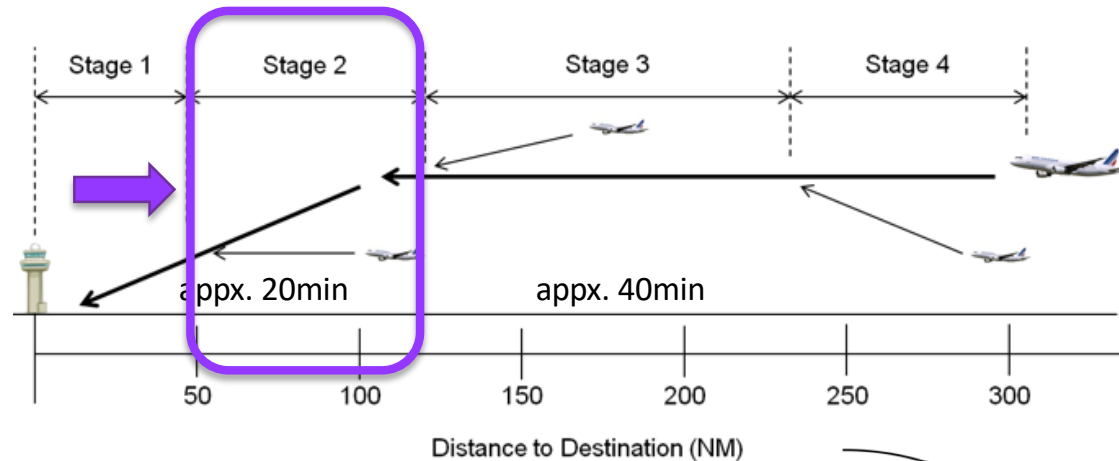
ターミナル空域の容量拡大に伴う遅延時間の削減効果

到着率 [ac/hr]	1機あたりの到着遅延時間 [min/ac]	1日あたりの到着遅延時間 [min/day]
40	10.97	3391.71
44	5.97	1463.36

# 羽田空港を対象とした到着管理(4/6)

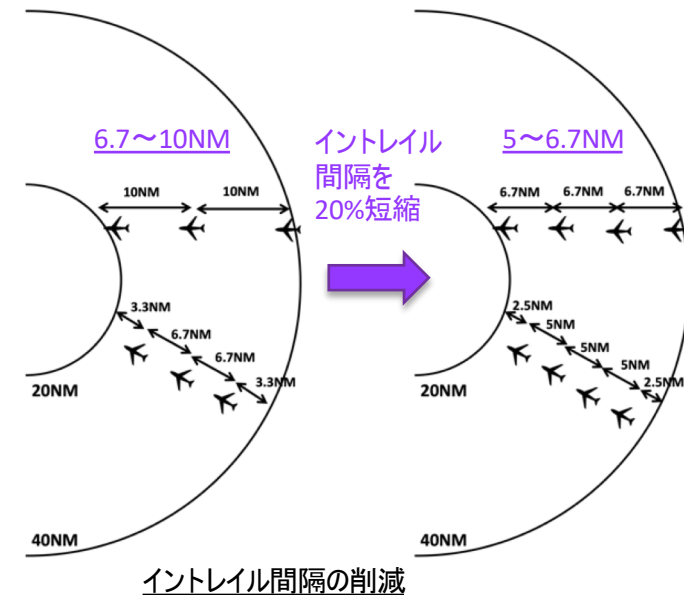
## □ AMAN 設計条件の提案

- ターミナル空域への移管FIXでの条件(Stage 2)



## 移管間隔の短縮

- ◆ 安全のために裕度を大きくとったイントレイル間隔の適用は、遅延時間を増加させる
- ◆ 最小間隔を確保しながらイントレイル間隔を20%程度短縮することで、RW34Lの到着率が1時間あたり36機まで増加しても、遅延時間を現状より削減可能
- ◆ RW34Lの到着率が1時間あたり30機だった場合は、移管地点での遅延を解消できる

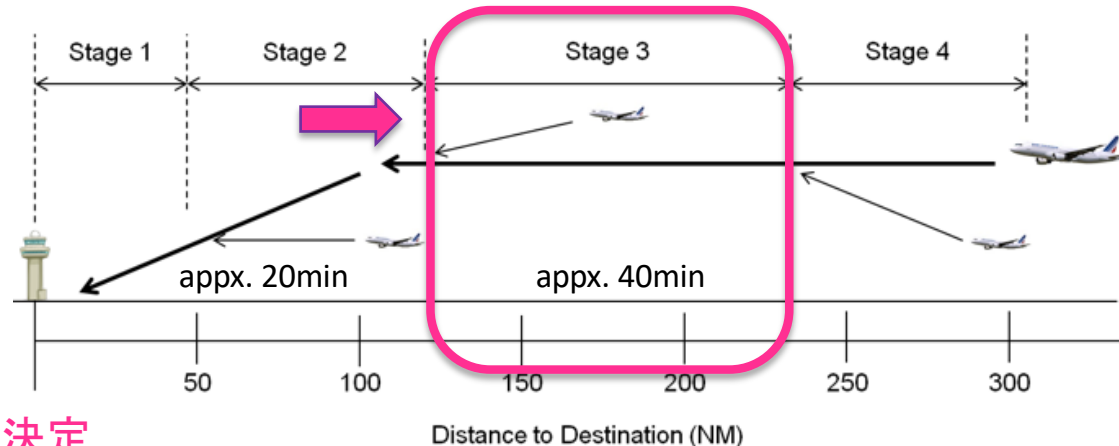




# 羽田空港を対象とした到着管理(5/6)

## □ AMAN 設計条件の提案

- エンルート空域での条件 (Stage 3)



### 到着順序の決定

- ◆ 滑走路の効率運用のため、到着の約40分前を目安に到着順序を決定し、空港での出発管理と調整を行う
- ◆ 羽田の機材バランスにおいては、RECATを適用すると、1時間あたりの滑走路処理容量が36機以下の場合、先着順則に沿った到着順序づけにより、滑走路を有効活用できる

### 滑走路割り振り

- ◆ 通常、北風運用時に南西方面からの到着機はRW34Lを使用するが、ピーク時においてもRW34Rに到着する国際便と1時間あたり3機程度、滑走路を割り振ることで、到着遅延時間が削減する

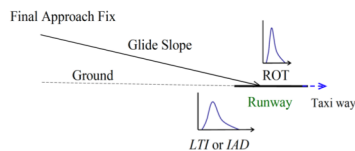
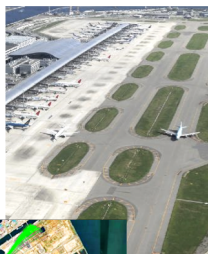
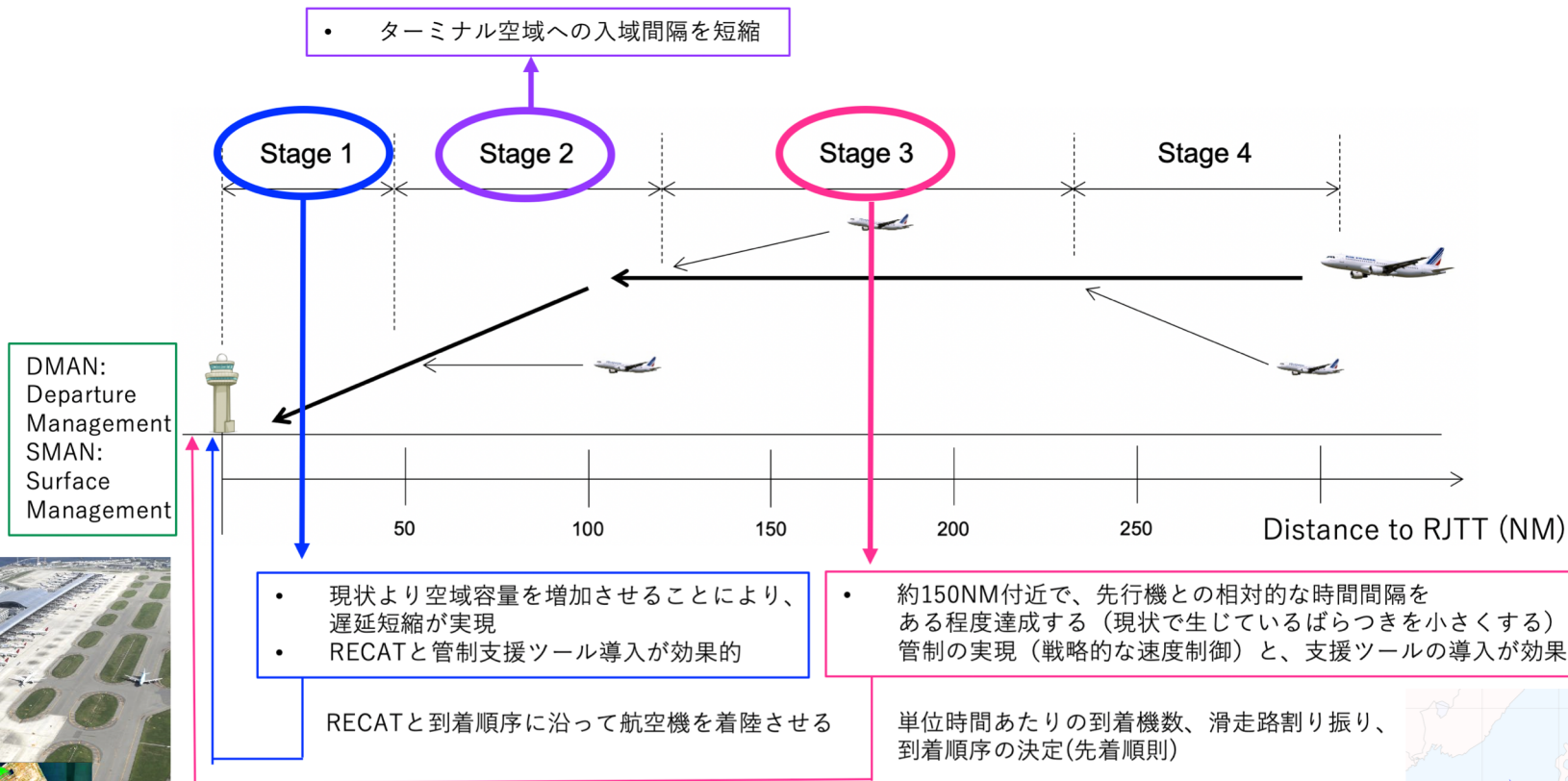
### 到着間隔のばらつきを削減

- ◆ 先着順則に沿って決定した到着順序に基づいて、先行の到着機との時間間隔のばらつきを削減する到着管理が、到着交通全体の遅延時間削減に有効
- ◆ 羽田空港から150NM以遠のエンルート空域において、実現可能な範囲で到着間隔のばらつきを削減すると、ターミナル空域の容量を10%拡大するよりも、遅延時間の削減に効果的 →戦略的な速度制御

# 羽田空港を対象とした到着管理 (6/6)

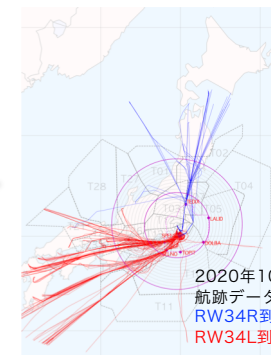
## □ AMAN設計条件のまとめ

- ターミナル空域への入域間隔を短縮



空港では、滑走路の有効活用・地上面混雑の緩和のため、到着・出発・空港面管理の統合が必要

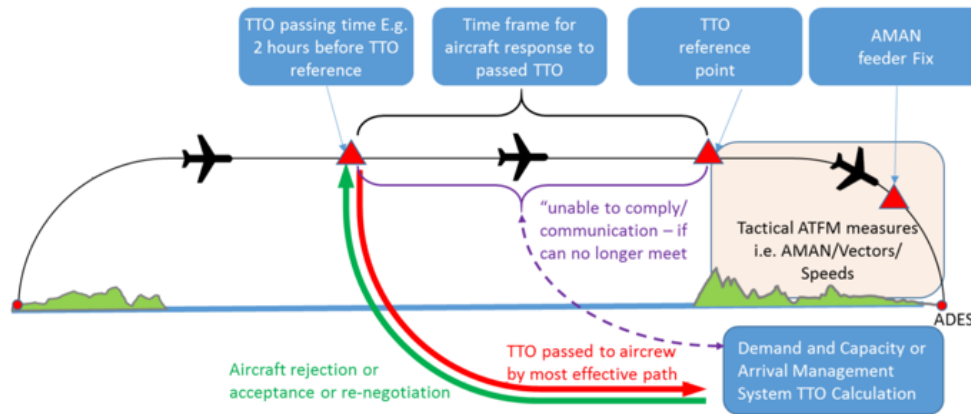
航空交通量が多く、将来の需要増加が見込まれる南西方面からの到着航空交通流を対象とした



# 研究成果の応用(1/2)

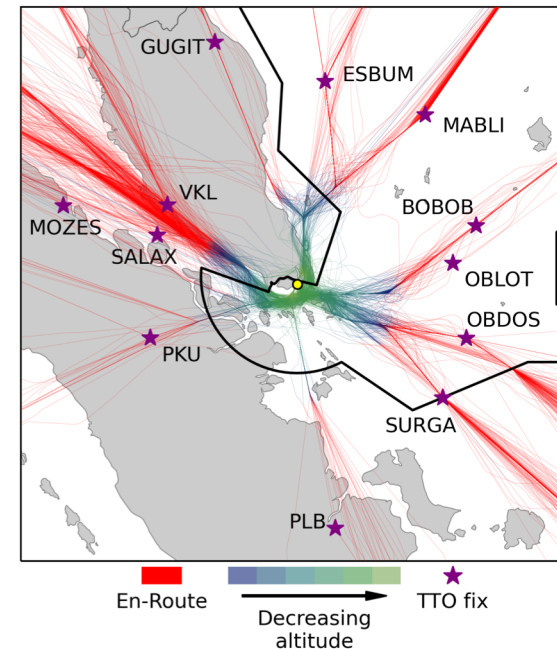
## □ ASEAN地域の到着交通流管理

- LRATFM (Long-Range Air Traffic Flow Management) 運用概念の設計
- 到着機のFIX通過時刻指定とAMANの対象範囲
  - 目標通過時刻 TTO (Target Time Over) を指定するFIXは、チャンギ空港から約220NM以遠の地点が妥当
  - チャンギ空港から約220NM以遠の空域はATFMの範囲・到着機がTTOを指定したFIXを通過する時刻を調整
  - 約220NM以内の空域ではAMANによる時間間隔づけ・近距離便の出発時刻を調整



LRATFMの概念:

目標通過時刻(TTO)を指定するFIXにおいて、到着機の通過時刻をTTOに近づけるよう、エアラインと管制機関が連携する運用

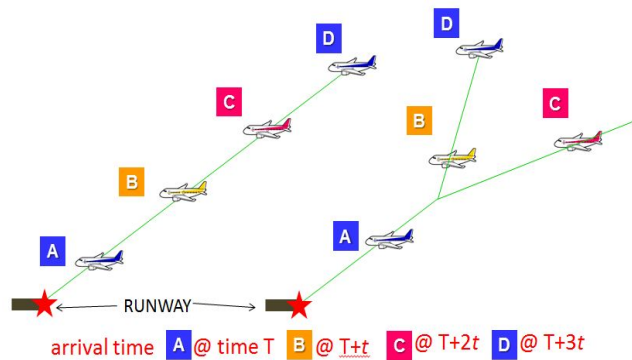
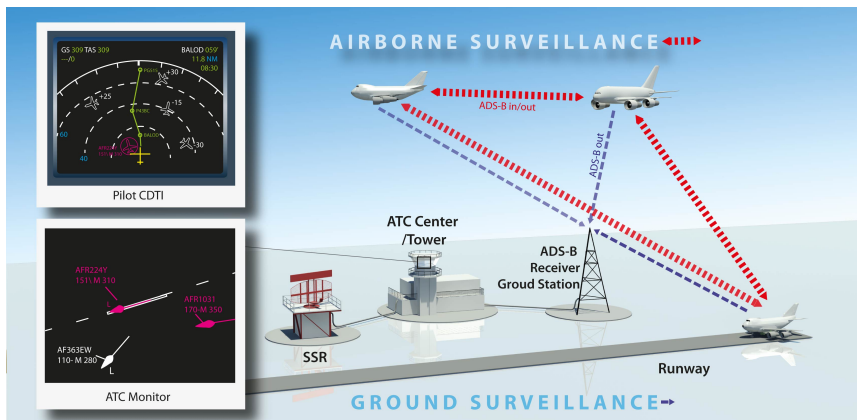


TTOを指定するFIXの位置

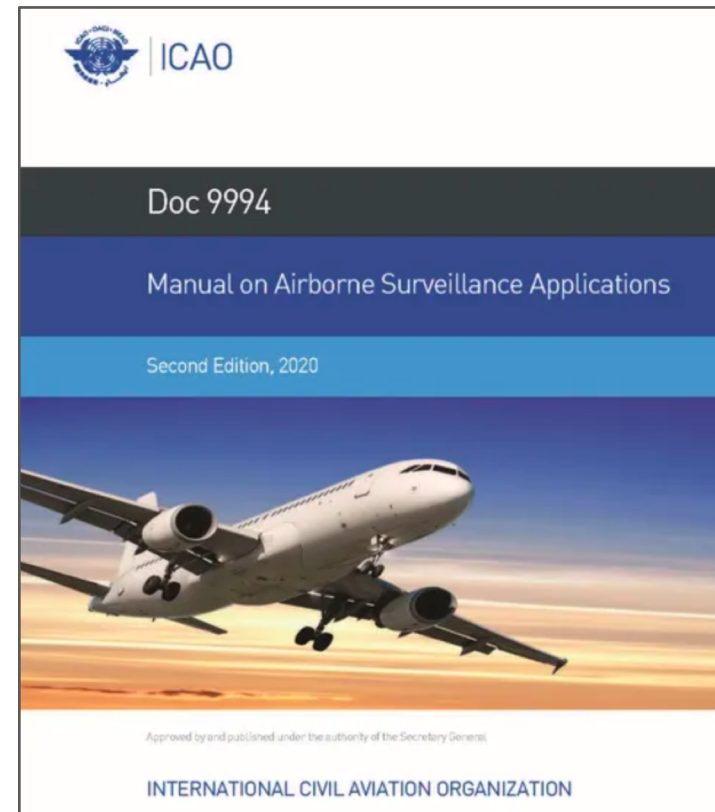
# 研究成果の応用(2/2)

## □ ICAO国際基準の策定

- 航空機監視応用システム(ASAS: Aircraft Surveillance Applications System)とAMAN
- IM (Interval Management) 国際基準策定に研究成果を反映し、マニュアル執筆に貢献



ASAS(上図)とAMANが連携するIM運用



IM国際基準をDoc 9994に追加・2020年刊行

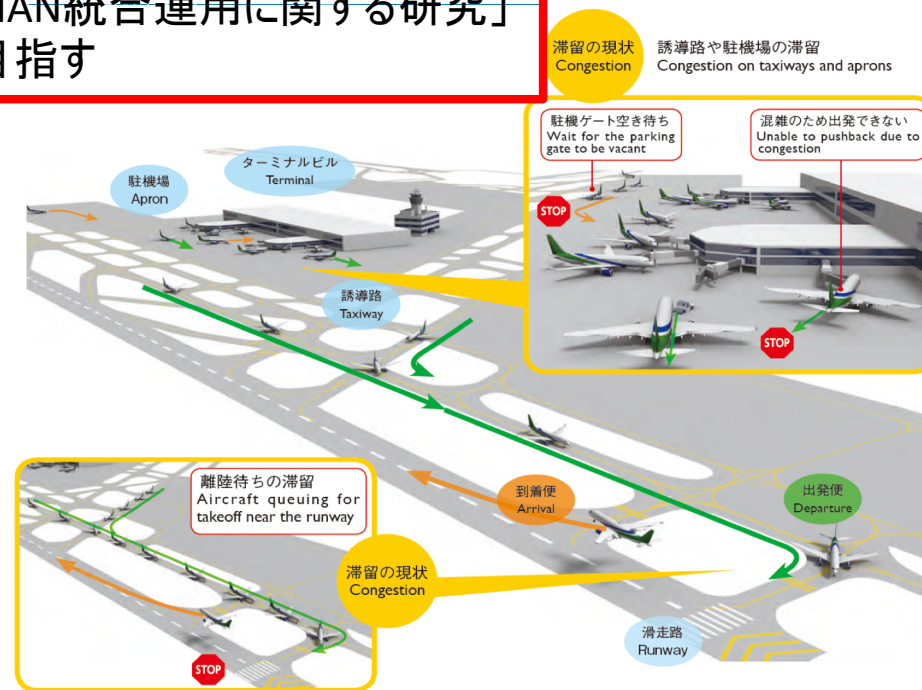
# 今度の展望(1/2)

## □ AMAN/DMAN/SMAN 統合運用

- DMAN (Departure Manager): 出発機のスポット出発時刻や滑走路離陸時刻を予測し、滑走路の有効活用等を支援する管理機能を持つシステム
- SMAN (Surface Manager): 地上走行時間を削減し、空港面での混雑を緩和する管理機能を持つシステム
- 到着遅延時間を短縮する滑走路・ターミナル空域の容量拡大 (AMAN Stage 1) については、出発・空港面の管理機能と統合して議論すべき (RW34Lにおける第3ターミナルの出発・到着機が横断など)

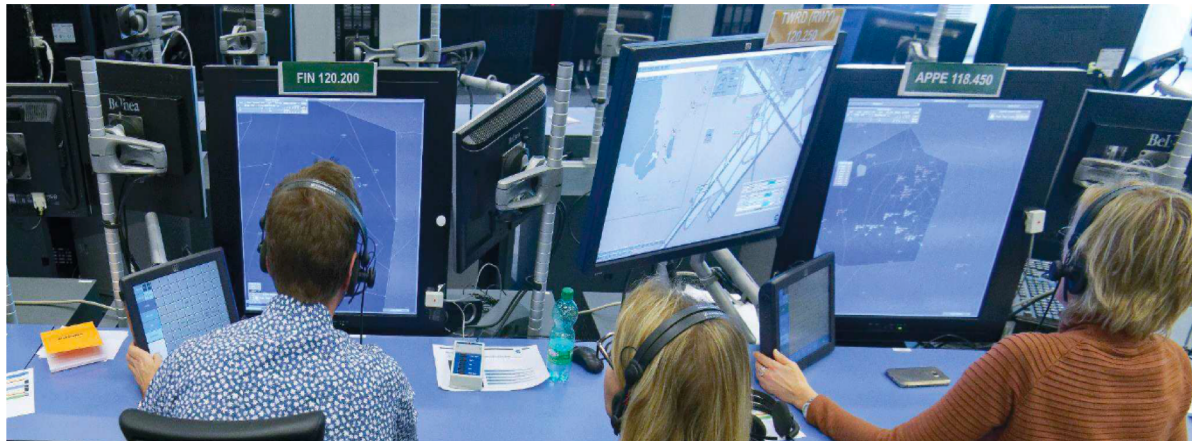


令和3年度より重点研究「AMAN/DMAN/SMAN統合運用に関する研究」を実施し、より効率的な空港運用の実現を目指す

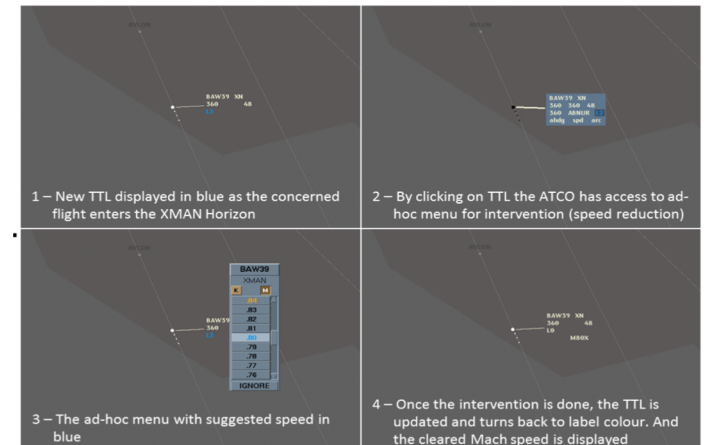


# 今度の展望(2/2)

- HITL (Human-In-The-Loop) シミュレーション実験による評価
  - AMAN stage 3が対象とするエンルート空域において、到着間隔のばらつきを小さくするための戦略的な速度制御の実現性を、HITLシミュレーション実験で評価
    - 運用方法・レーダー卓のHMI (Human Machine Interface) 設計
    - 国内メーカーと連携し、統合管制情報システムへの実装を検討
  - 本研究では、ユーロコントロール実験研究所と連携し、レーダー管制を模擬するESCAPE Lightシミュレータを導入・継続研究である「AMAN/DMAN/SMAN統合運用に関する研究」において、HITLシミュレーション実験を予定



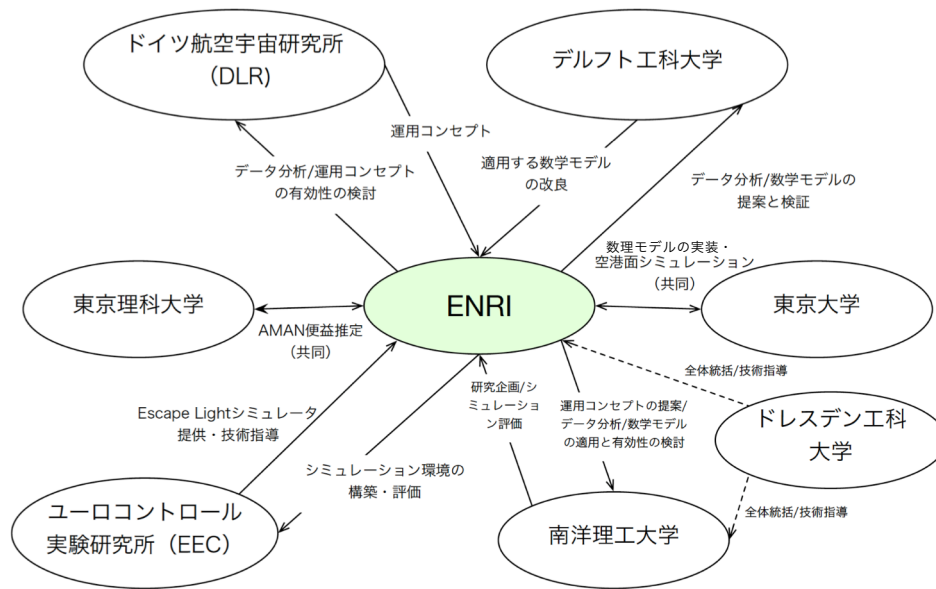
レーダー管制を模擬する ESCAPE Light シミュレータ (ユーロコントロール実験研究所提供)



AMAN Stage 3 における速度変更指示の表示例

# まとめ

- 本研究(平成29年度から令和2年度実施の指定研究「航空機の拡張型到着管理システムの研究」)では、羽田空港を対象としたAMAN設計条件を明らかにした
- 研究成果を、ASEAN地域の到着管理システムの設計およびICAO国際基準策定に応用した
- 本研究成果を発展させ、令和3年度開始の重点研究「AMAN/DMAN/SMAN統合運用に関する研究」を実施し、空港の効率運用への寄与を目指す



本研究において実施した研究連携

本研究を実施するにあたり、航空局から、データ提供や技術支援を頂きました。本研究は、国内外の研究機関と連携して実施しました。関係各所の皆様に感謝いたします。