

航空交通管理に関する研究



平成29年6月9日
航空交通管理領域

- 航空交通量の増大
- 空域の制限
- 大規模空港への交通の集中
- 航空交通の高密度化



- 航空交通の滞留・渋滞
- 飛行時間の増加
- 管制官の過負荷

**航空交通管理
の改善により**

- ・航空機の運航を効率化
- ・管制官の負担を軽減

1. 「空地協調」の流れへの対応

- ・機上システム(FMS、ADS-B、etc.)の進歩をふまえ、機上～地上を統合した視点で研究開発 「空地間の情報共有」

2. 航空機の運航に関わる各種データの活用

- ・様々なソース(情報源)からのデータを用いて詳細な交通分析やシミュレーションを実施
- ・ASIAS(Aviation Safety Information Analysis and Sharing)等の国際的なデータ共有の流れ

3. 新たなシミュレーション実験環境の構築

- ・地上/機上、人/システムの最適な機能分担を検討する必要



重点

空港面交通
管理手法

陸域UPR
に対応した
空域編成

継続降下
運航の運
用拡大

リモート
タワー

フリールーティ
ング空域にお
けるPBO

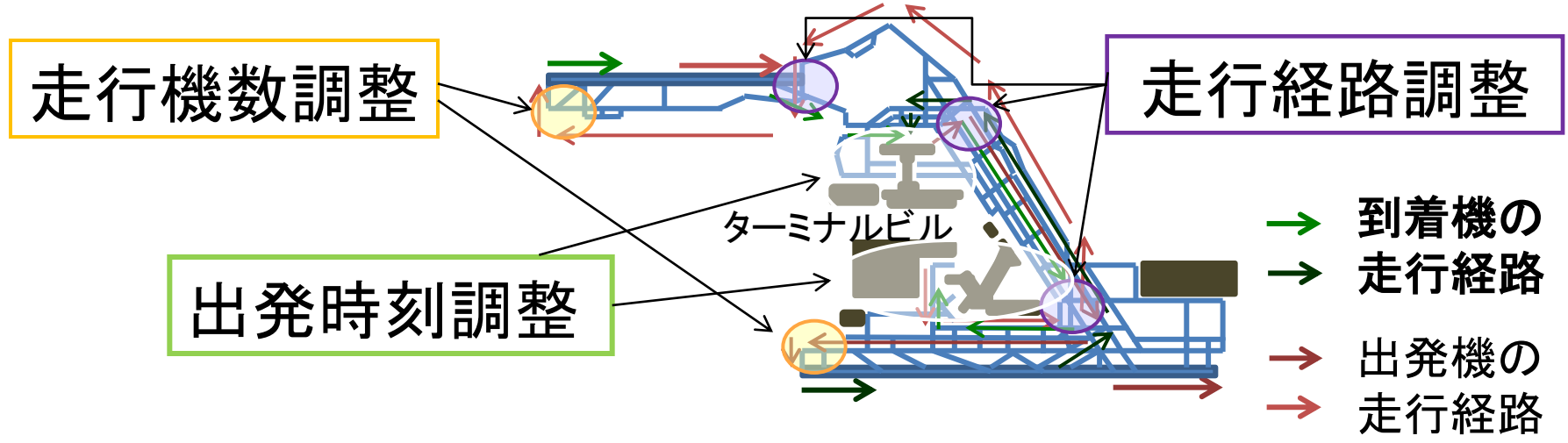
基盤

空域安全性
評価(RNP-AR
混合運用等)

ヒューマン
ファクター
(予防安全、管制
官訓練支援ツール
開発等)

その他
(到着管理、航空交
通データ分析、無人
機、管制シミュレー
ション環境設計等)

- ◆ 目的：成田空港の空港面の滞留を軽減する。
- ◆ 空港特性や滑走路運用形態をふまえて地上走行状況を分析し滞留状況の把握および離陸時刻の予測を行うアルゴリズムの開発
- ◆ 空港の走行経路アルゴリズム機能を強化したシミュレータを開発し、交通管理手法（走行機数調整、出発時刻調整、走行経路調整）を評価する。→ 交通状況の予測精度向上、空港面交通の効率化



リモートタワーによる空港オペレーションの高度化

空港(タワー)業務の現状

- ・オペレーターの視覚による監視が主な業務
- ・空港周辺および空港面内の交通管理

空港(タワー業務)の課題と研究のターゲット

- ・オペレーター要員の不足 ⇒ リモートによる配置の最適化とサービスレベルの向上
- ・天候、時間帯による視程環境負荷への対応 ⇒ 業務支援システム高度化による安全性向上
- ・業務の効率化と安全性向上 ⇒ システムの最適化

小規模空港や離島空港のリモート運用の拡大
 管制空港のリモートセンター化による効率化
 支援機器等による業務の安全性向上



- 【空港側に必要な技術開発】
- ・パノラマカメラ(光学、IR等)
 - ・PTZカメラ(光学、IR等)
 - ・監視センサー(レーダー、MLAT、ADS-B等)
 - ・気象情報センサー ・無線通信

- 【遠隔側に必要な技術開発】
- ・パノラマディスプレイ(合成)
 - ・パン・チルト・ズーム表示
 - ・カメラ操作・制御パネル
 - ・運用業務用支援情報パネル
 - ・監視センサー情報パネル
 - ・気象情報パネル
 - ・通信端末

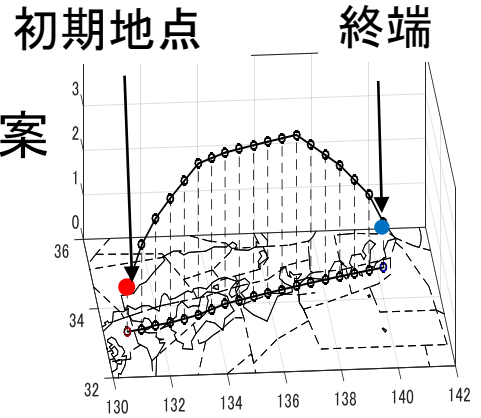
業務に最適化された効率的で安全な業務環境の実現

日本の運用環境に適した
 リモートタワーシステム設計

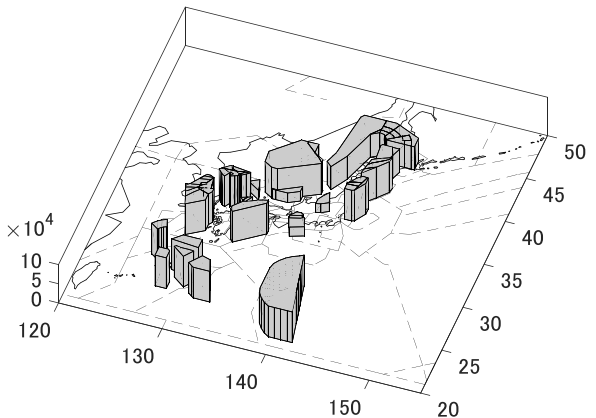
リモートタワー運用に必要な
 技術検証と要件策定

国際規格策定、検証活動
 国内整備に向けた支援

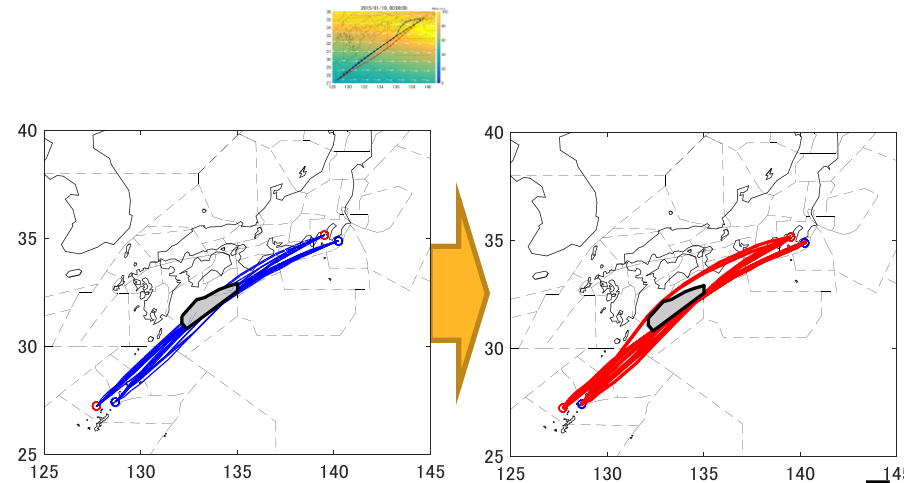
- ◆ 目的：陸域UPR導入時の空域編成を提案する。
- ◆ 管制官作業量に基づく空域編成の意思決定支援手法の提案
- ◆ 経路選択による潜在便益の推定
 - 異なる経路設定における最適軌道の比較
- ◆ 制限を考慮した軌道計算機能の実装
 - 制限の導入
 - ✓ 制限空域、他の交通流との干渉
 - 制限に対する回避
 - ✓ 高度指定、指定空域への侵入禁止



— : 計画
— : 大圏
— : 最適

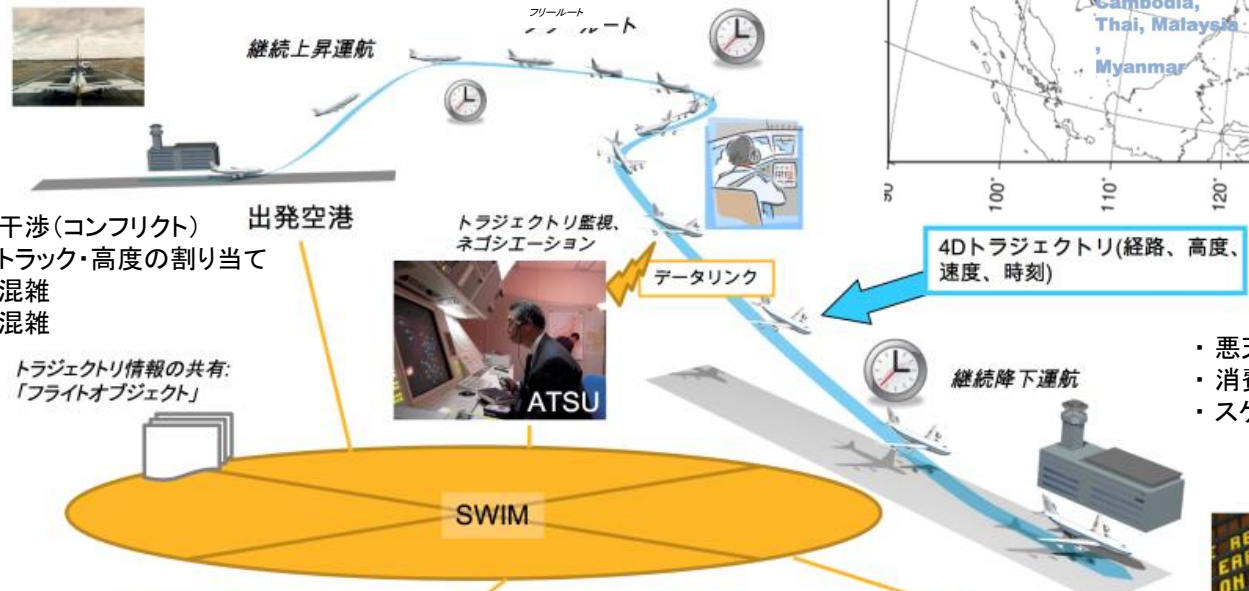
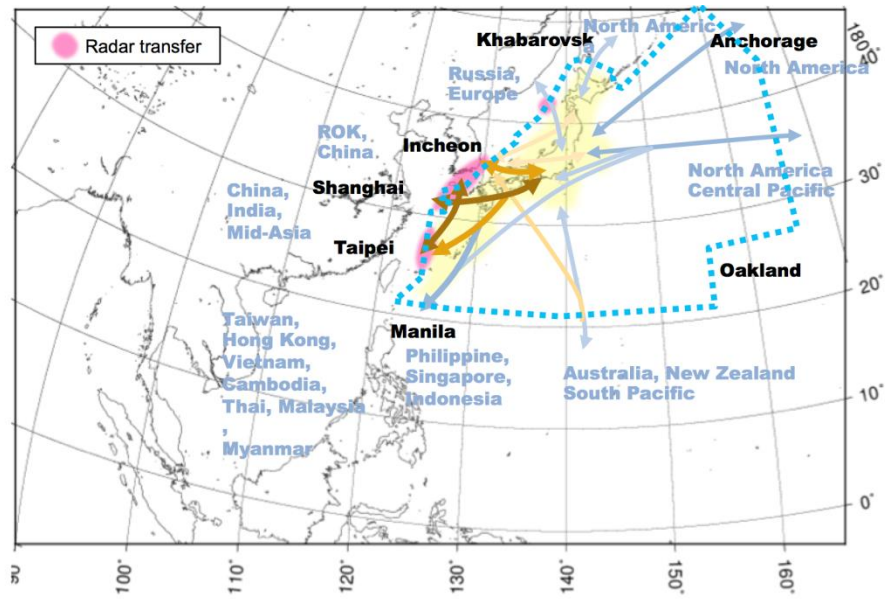


国内の関連する制限空域



将来運用(～2030年)の前提(『Full4D』の運用方式に関する研究)から

- ・ 国際・上空通過便の最大運航便益を得るための **高高度空域、洋上空域における「フリールーティング」**
- ・ FIR間交通流の円滑化、効率化のための **FIR間の軌道管理**
- ・ 軌道間干渉や空域混雑における、より効果的な意思決定のための **CDM**



- ・ 軌道干渉(コンフリクト)
- ・ 洋上トラック・高度の割り当て
- ・ 空域混雑
- ・ 空港混雑

- ・ 悪天の回避
- ・ 消費燃料の削減
- ・ スケジュールの維持



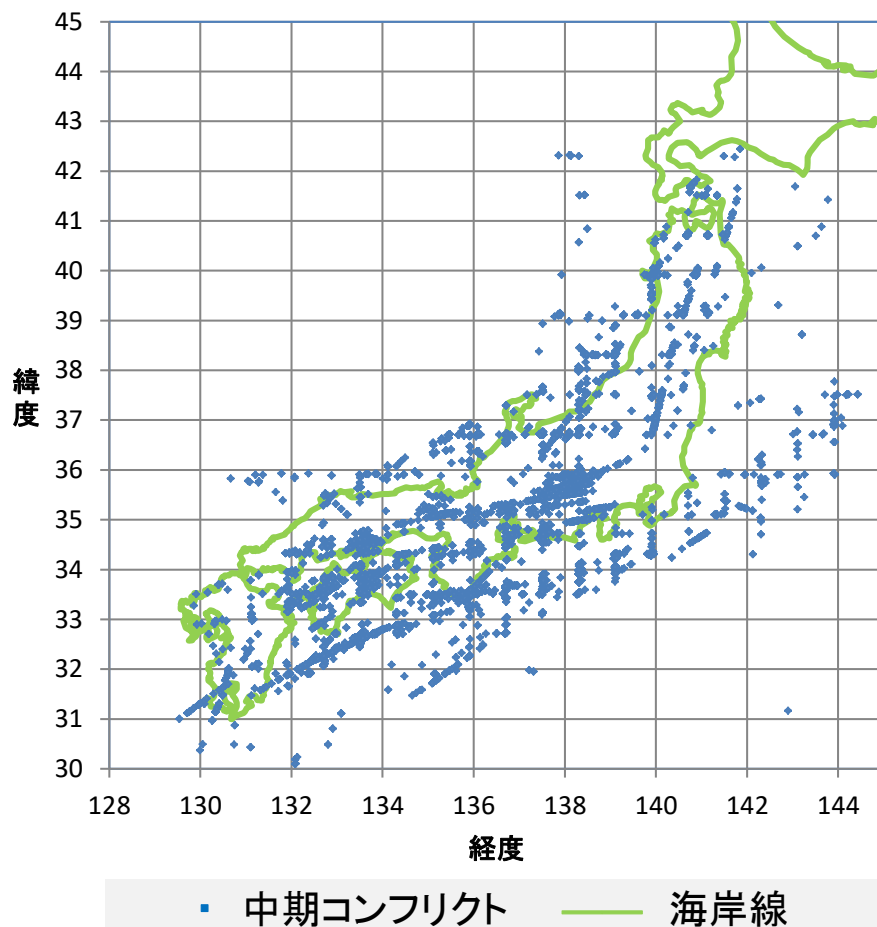
軌道情報共有
「軌道CDM」
便益バランス



- ◆ 航空機の中期コンフリクト検出技術を通じて、データリンクを活用した必要最小限の軌道修正の実現を検討する。
- ◆ データに基づいて中期コンフリクト発生数を具体的に算出するなど、実運用に有効な検出閾値等のMTCD (Medium-Term Conflict Detection) のシステム詳細を検討中。

- 右図：中期コンフリクトの検出例
- データ範囲：東京管制部広域
 - ✓ 検出対象は巡航飛行のみ
 - ✓ 航空路に沿った発生傾向
 - ✓ 経路の交差付近でも目立つ
 - ✓ 管制上の問題はなかった
 - 20分後はクリアに
 - ✓ 表示例は重複あり

中期コンフリクトの検出例
(10,000ft以上)



- ◆ 到着経路を対象として、シミュレーションを実施
 - ◆ 関西国際空港について、「混雑時間帯でのCDO実現」を目指す
- 運用拡大に条件を示し
管制官の判断を支援する
ツールを作成する



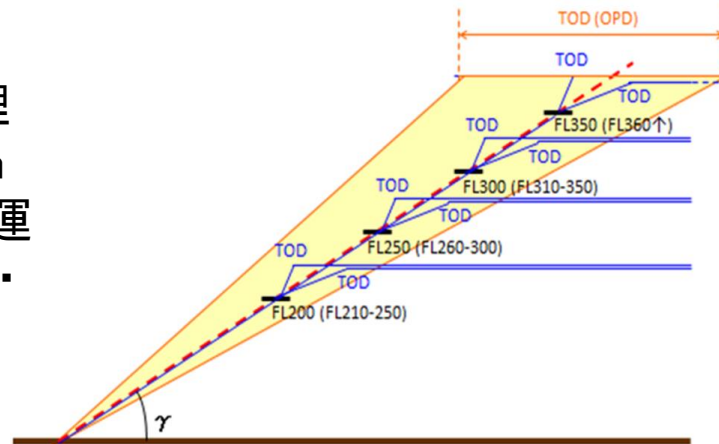
B777-200フルフライトシミュレータ実験の様子(協力:JAL)

研究課題

- ◆ ターミナルとエンルート空域を統合した到着管理
 - ・E-AMAN; Extended Arrival MANagement System
- ◆ 羽田空港を対象に拡張型到着管理システムの運用プロトコルとスケジューリングアルゴリズムを設計・シミュレーション検証



図1 E-AMANのイメージ図



FPA降下の概念図: あらかじめ指定した降下角の垂直経路上における継続降下運航(CDO)・縦方向の4DTBO

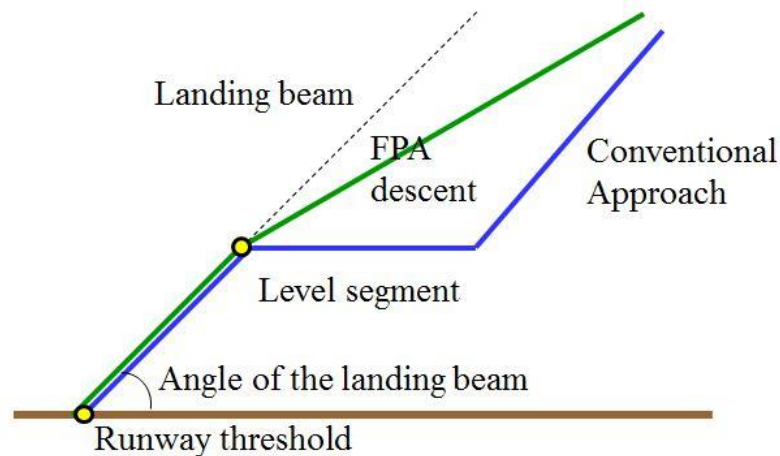


図2 GLS/ILSとの継続的な接合

背景

- ◆ 我が国では、近い将来に初期的な到着管理システムを導入する見込みであり、その後の継続的なシステムの発展が計画されている。
- ◆ 新旧の機材が混在する飛行状況を想定し機上の搭載品を活用する性能準拠型運航(PBO)と協調する到着スケジューリングが必要。
- ◆ 管制官やパイロットが運用可能なプロトコルを備えなければならない。

最終達成目標

- ◆ PBOと協調する航空機の到着スケジューリングアルゴリズムと運用プロトコルを研究開発する。
- ◆ 管制官やパイロットによる実際の運用手順を考慮した到着スケジューリング最適化手法を研究開発する。
- ◆ 数値シミュレーションにより、提案手法の有効性を評価する

研究の概要と現状

◆ 将来のPBOと協調する到着スケジューリング手法を提案し、基礎評価を実施する。

- エンルートからターミナルをカバーする空域に適用する到着スケジューリング手法の研究開発
- IMや4DTなどのPBOと協調する到着スケジューリングの検討
- ASAS IM (Interval Management)の検討
- NASA ATD-1飛行実験への参加

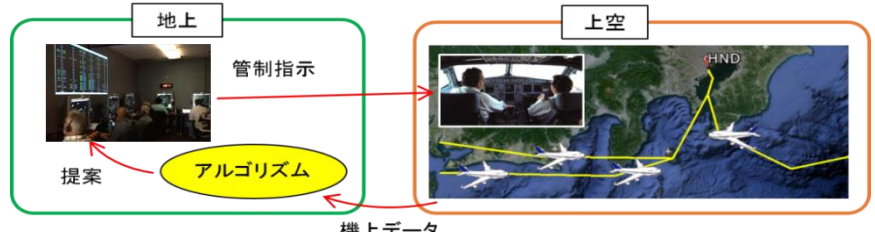


図1 到着スケジューリングアルゴリズムの導入イメージ

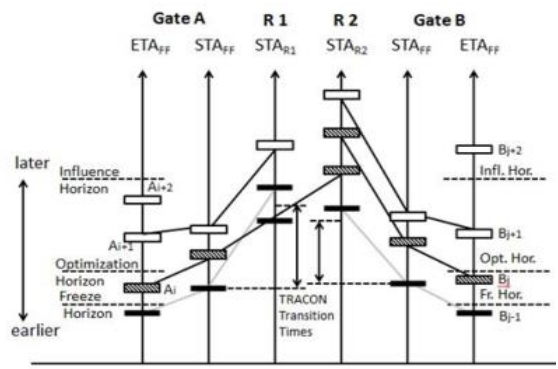


図2 到着スケジューリングアルゴリズムの例

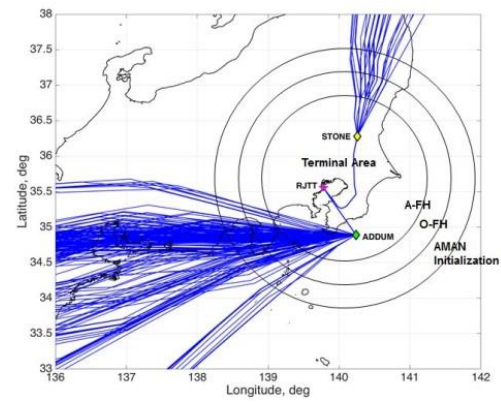


図3 最適化計算を実行する時間軸の例



EFBのFIMページ

ヒューマンインザループシミュレーション環境の調査

- ◆ NASA ラングレーおよびエイムズ研究所での調査
 - ヒューマンインザループシミュレーション実験の最小単位
最小でレーダー卓4卓、8名必要

概念設計とDLRとの共同研究

- ◆ FlexiGuide研究チームと連携
- ◆ DLRが所有するNARSIMで評価実験
- ◆ 航空管制シミュレーション環境の詳細設計はDLRと共同で実施予定

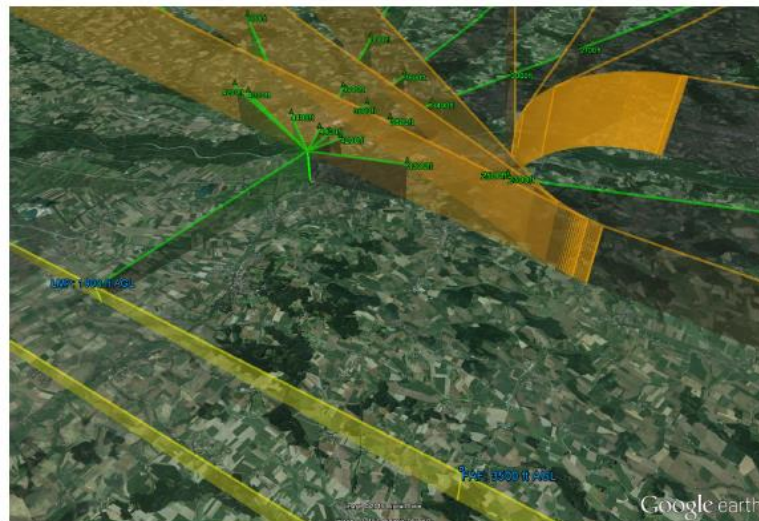


図1 FlexiGuideの研究例。CDO用の専用経路を設計し、NARSIMでシミュレーション評価を行った。

研究成果の社会発信

さまざまな学術分野を横断して次世代の航空管制システム(人間と自動化システムが協調するシステム)の基盤となる学問を『航空管制科学』と名付け、その成り立ちと研究を社会に発信した。

- ◆ 書籍(1冊)
『空の旅を科学する 人工知能がひらく!? 21世紀の航空管制』
2016年9月 河出書房新社刊
- ◆ 新聞(3件以上)
毎日新聞、上毛新聞、北陸新聞など
(時事通信社)
- ◆ Web(3件以上)
Web毎日、Wedge、SYNODOSなど



背景

- ◆ 航空機、列車、船舶といった計画に基づいて運行される大規模輸送システムは近年急速に複雑化している。
- ◆ 混雑、システムや乗客トラブル、気象の影響などにより、これらの輸送システムに日常的な遅延が生じている。
- ◆ 複数運行システムに跨がる相互作用を有する全体問題と捉える努力はほとんど見られない。

最終達成目標

- ◆ 航空機、列車、船舶といった計画運行される大規模輸送システムを対象に、さまざまな不確定要素を加味した最適な運行策定手法を構築する。
- ◆ 理化学研究所の所有するスーパーコンピュータ「京」を利用し、多目的最適化とデータマイニング技術等を活用した全体運行の最適化を目指す。

研究の概要と現状

【概要】

東京国際空港に到着する航空交通流を中心に、航空機、列車、船舶といった複数の大規模輸送システムを相互作用を有する全体問題と捉えて数学モデルに記述する。そして、さまざまな不確定要素を加味し、理化学研究所の所有するスーパーコンピュータ「京」を利用して全体運航の最適化を行い、「究極の時刻表」を提案する。

【進め方】

- ◆ 航空交通流の数学モデル化と並列計算化の検討
- ◆ 航空交通流のシミュレーション結果の可視化ツールの開発
- ◆ 「京」を利用した初期的なシミュレーション結果の分析

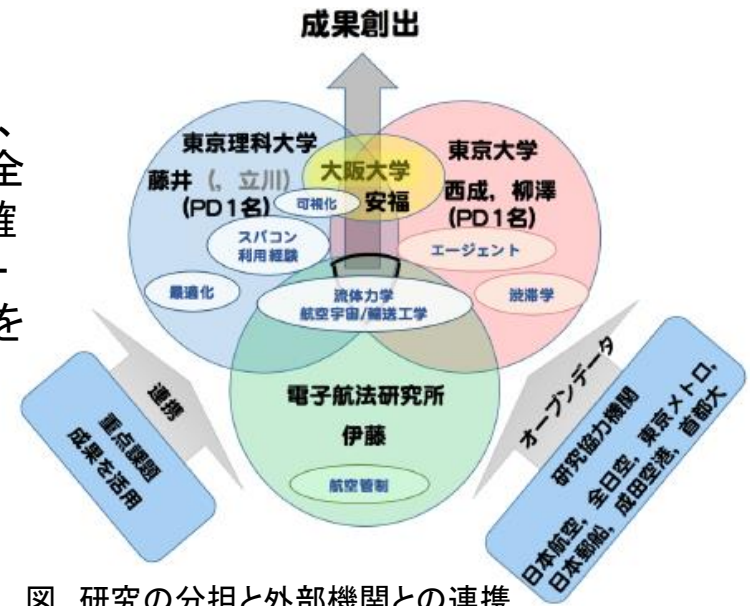


図 研究の分担と外部機関との連携

今後の見通し

- ◆ 航空機の拡張型到着管理システムの実現に貢献 (CARATS OI-23-1 空港運用の効率化 (AMAN/DMAN/SMAN))
- ◆ 航空機監視応用システムや四次元軌道運用などの新しい運航の導入に貢献 (CARATS OI-19 合流地点における時刻ベースの順序づけ、間隔設定 (メタリング)、CARATS OI-30-5 空対空監視 (ASAS) の活用/ASPA-IM 運航)

背景

- ◆ 航空管制官など高いレジリエンスやスキルを必要とする航空保安業務従事者の業務には、ヒューマンファクターに関する分析とそれに基づく安全管理に対する支援が今後さらに必要
- ◆ 限られた時間で有能な業務担当者を養成するための科学的な知見に基づく教育・訓練が必要

最終達成目標

- ◆ 管制官訓練支援ツールとしてのCOMPASiの機能向上
- ◆ COMPASiを用いた管制業務効率の可視化
- ◆ 認知プロセスの分析に基づく状況認識の支援手法の開発

研究の概要

- ◆ COMPASiを用いた管制業務効率の可視化
- ◆ 状況認識能力向上の支援手法の開発
 - ・ 他分野における状況認識とその類似性
 - ・ 状況認識能力向上の為の支援手法の検討
 - ・ 支援ツールの開発
- ◆ COMPASiの教育現場における機能向上
 - ・ 航空保安大学校における管制官訓練支援ツールとしての実用性評価
 - ・ 上記評価に基づく機能向上
- ◆ 東北大学との共同研究
 - ・ 管制システムに関わる評価手法の検討
 - ・ 管制官のコミュニケーションテクニックの効果の検証に使用可能な一般的なタスク環境の開発
 - ・ COMPASiを簡易テストベンチとした新たな支援表示の検討



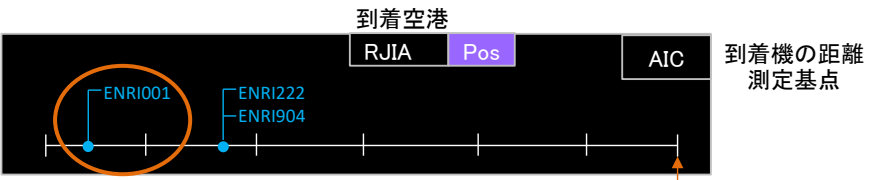
COMPASi
(管制処理プロセス可視化ツール)



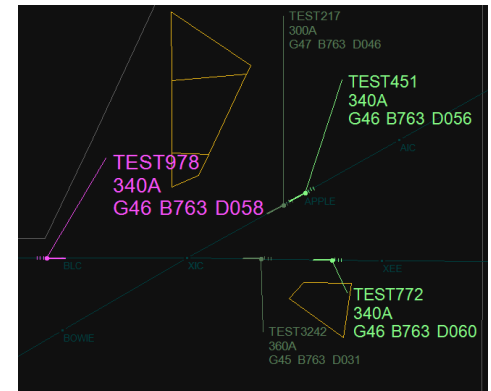
危険予知トレーニングツール
(電力中央研究所)

東京大学との共同研究

- ・ COMPASiを利用した誘目度の実タスクへの影響検証するための実験用の改修



COMPASiの支援表示



誘目度を使った表示例

背景

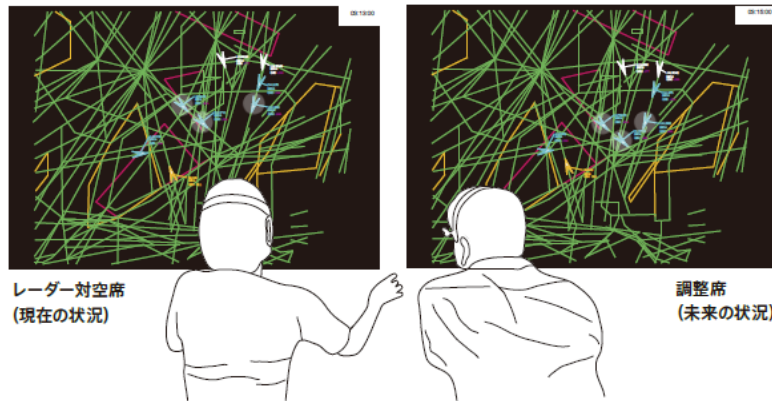
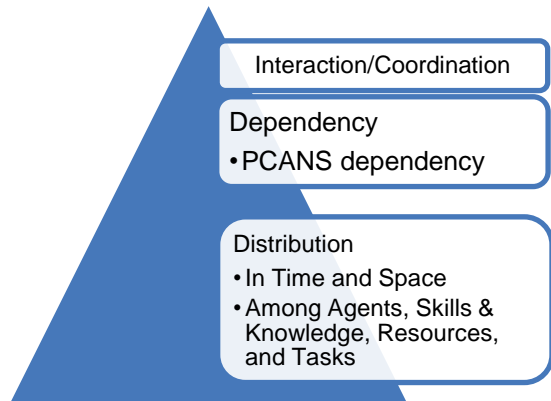
- ◆ 安全を阻害する不測の事態・外乱に柔軟に対応、対処するチームの能力(チームレジリエンス)には高い関心が集まっている。
- ◆ レジリエントなチームパフォーマンスの背後にある認知メカニズムの解明や、それに基づくチーム協調支援方法の開発は産業界からも強く望まれている。

最終達成目標

- ◆ チームタスク遂行時の様々な外乱シリオに対応する実験の設計
- ◆ 外乱対処プロセスにおける多様な認知・行動の観測手法開発
- ◆ 外乱・行動・認知に関する多元的データの統合的分析と、柔軟な対応やパフォーマンス回復における特徴的な認知行動パターンの抽出

<チームの類型化>

- > チームレジリエンスの定義にむけて、チームの捉え方(類型化)を検討中
- > Team SettingとTaskの間にあるCommunication/Interactionの関係の定義について引き続き検討する



- ・ 世の中の複雑なシステムは、殆どが組織やチームであり、航空管制業務も同様である。
- ・ レジリエンスの枠組みを組織やチームとして捉える概念が重要。
- ・ チームとしてのレジリエンスの推定、計測手法や訓練などへの活用を目指す。

成果の活用

- ◆ レジリエンス指標・推定モデルによって、観測可能な行動情報の変化から予期せぬ外乱の発生や当該チームによる対処状況・状態のリアルタイム推定が可能になり、具体的なチーム協調支援技術開発へ役立てることができる。
- ◆ チームレジリエンス指標・推定法を開発する方法論の確立によって、様々な実務領域(現場や教育・育成課程)における教育・訓練、リアルタイムのチーム協調支援技術開発、チーム作業環境の設計等への貢献が期待できる。

背景

- ◆ RNP AR進入方式(AR進入方式)の導入は飛行時間の短縮、燃料削減、騒音低減などが期待できる
- ◆ 繁忙空港を含めた混合運用の導入が不可欠であり、導入前に、安全性の担保などの実現可能性の検証が必要

最終達成目標

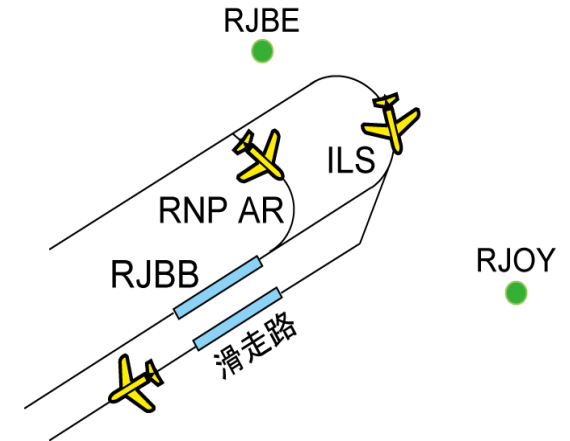
- ◆ 関西国際空港での混合運用の可能性に関する資料の作成
- ◆ 関西国際空港におけるハザード解析結果のとりまとめ

RJOO

研究の概要

- ◆ これまでの研究にてRNP AR機最優先(Best-Equipped Best-Served方式)を適用した環境での混合運用の実現可能性が見えた。
- ◆ 本研究では混合運用の導入対象空港を関西国際空港を定めて、シミュレーション環境をより現実近づけて実験を行うことにより関西国際空港での混合運用導入の促進を目指す。
- ◆ これまでの研究で作成してきたハザード解析手法を関西国際空港固有の環境に起因するハザードや新たに顕在化したハザードに適用しハザード解析手法の有効性も確認する。

関西国際空港での混合運用のイメージ



背景

航空機運航における効率の向上のために、空港のスポットアウトからスポットインまでの各フェーズにおいて運航の効率化が求められている。

最終達成目標

- ◆ 地上面におけるより効率的かつ現状の問題に対処できるTSAT運用手法を提案する
- ◆ 運航効率、パイロットのワークロードを改善する、方式設計の改善案を提示する

◆ 研究の概要と現状

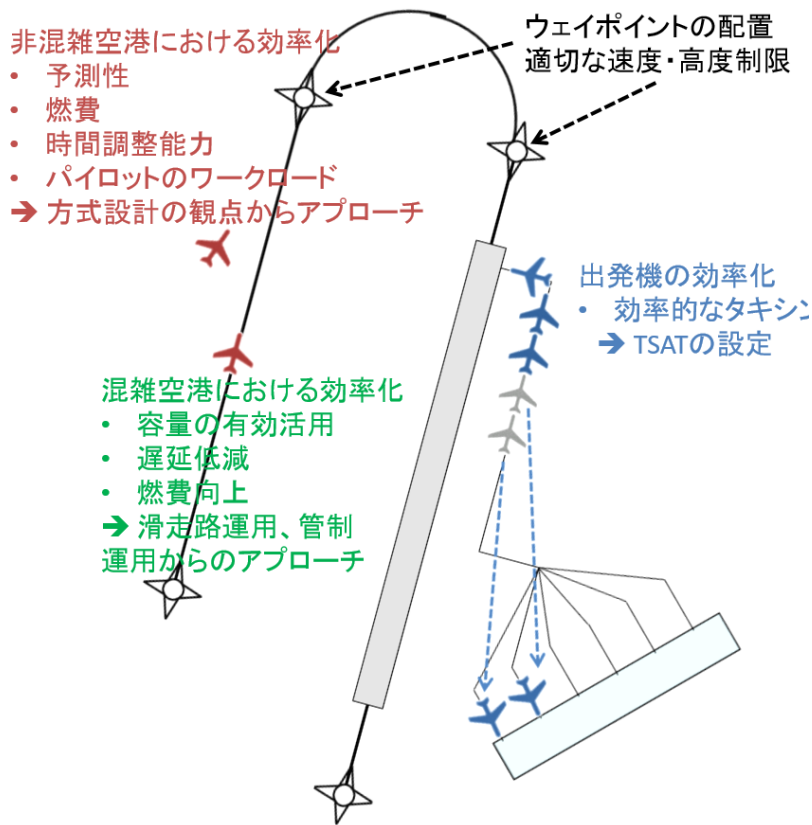
- 混雑空港における出発機のタキシングの離陸待ち時間を削減する一手法として、TSAT(Target Start-up Approved Time)の設定が知られている。
- TSATは、各々の出発機に対してプッシュバック時刻を指定することで、離陸待ちの混雑を減少させる手法である。
- 本研究ではTSAT運用の改善への提案、到着機の制御を行うことで、全体としてさらなる運航効率化をはかるための検討と、RNP AR方式の改善を検討する。

◆ TSAT運用について

- タキシング時間削減とそれによる遅れを考慮したTSATアルゴリズムを開発

◆ RNP-AR方式の改善について

- JALからの実飛行データをもとにしたデータ分析、計算結果から、いくつかの空港について改善の余地があることが判明
- 特定の2空港について、RNP ARの方式改善の素案を作成

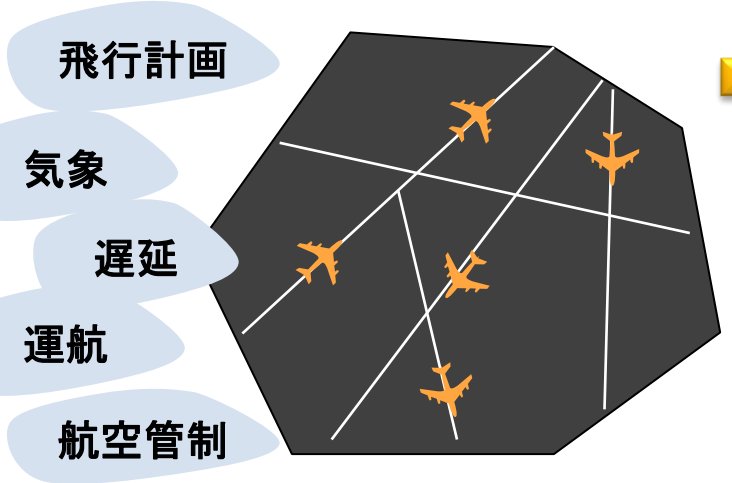


研究の概要

- ◆ 航空交通データへ機械学習を適用するためには、航空管制や航空機の運航などの知識に基づいて適切な課題設定や手法の選択を行う必要がある。
 - 飛行計画やレーダーデータなど多くの実運用データを使用し、実際に機械学習を適用することで、課題整理から改善案の策定までの一連の流れを、航空交通データの分析への機械学習の適用手法として開発する。
- ◆ 適用例の一つとして、航空交通流管理手法の高度化を目的に、飛行時間の予測と到着機の順序付けのモデル化を行う。また、他のATMの課題への適用も検討する。

現実の課題

混雑を解消したい、
燃料消費量を抑えたい、
など



課題を整理し、機械学習を適用できる形に翻訳



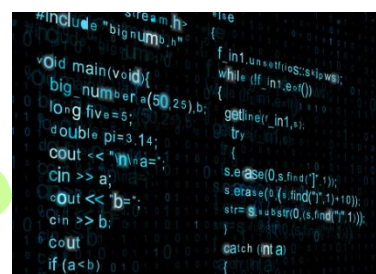
機械学習

特徴量

モデル

アルゴリズム

ライブラリ



出力結果が表す意味を現実の事象へ翻訳



改善案の策定



背景

- ◆ 空港面の活性化には、空港の設計および維持管理の効率化が重要な課題。
- ◆ このような課題に取り組むために空港面の諸地点での正確な交通量を継続的かつ定量的に行うことが必要。
- 本研究では、空港面交通データやシミュレーションを用いて現状の交通流特性の把握から将来の交通状況の予測を行っていくことにより、今後の空港設計および維持管理をより見通しよく進める一助となることが期待される。

最終達成目標

- ◆ 関西空港における地上走行の特性把握
- ◆ 関西空港の空港面交通シミュレーション環境の整備
- ◆ 諸地点交通量把握手法の技術要件整理

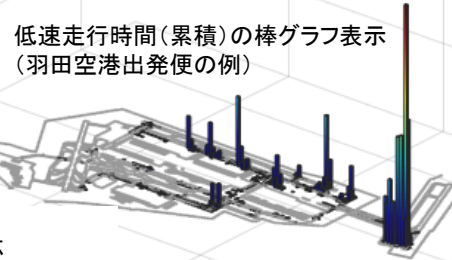
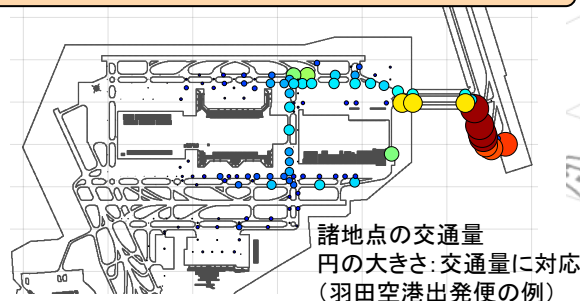
- 舗装設計、点検・補修計画のための交通状況の実態把握
 - 交通量増加により、地上走行が空港舗装に与える負荷が増している
 - ⇒ より効率的な設計、維持管理のために、日常の交通の実態把握が必要
- 将来レイアウト検討のための交通状況予測
 - 現在の交通状況の実態をもとに、交通量増加条件下の交通状況を予測する必要性

日常の経路？
交通量？
どこが傷む？
レイアウト改善？

空港面交通データから得られる豊富な情報の活用

諸地点の交通量と内訳(航空機型式など)

滞留を生じやすい場所



空港面交通データを用いた
地上走行の特性調査

シミュレーションによる
現状模擬

空港面交通データと
シミュレーションを用いた
交通量把握

本研究の対象空港：
関西国際空港

■今後の見通し

- ◆ 連携機関との意見交換により、空港面運用の効率化を図るための要件出しを進め、空港レイアウトおよび舗装の設計の検討に資する
- ◆ 関西空港事務所等、航空局関係者への情報提供
- ◆ 他空港への適用可能性

低高度の航空情報は管制空域と比較するとあまり管理されていないが、今後、無人航空機の交通管理にはよりローカルでミクロな情報管理が求められると考えられる。(H28年度無人航空機の交通管理に関する調査)
 ⇒無人機運行に必要な情報、有人機と共有すべき情報を反映した低高度での無人機交通環境を模擬するための技術の開発

安全上影響の大きい以下の二点に注目する

- 有人機との間隔維持
- C2リンク(Command & Control)の電波依存

場外離着陸場に離着陸するヘリコプター等有人航空機情報

低高度を飛行するヘリ等の動態情報を取得しモデル化する

電波環境

電波シミュレーションについて検討する
(監視通信領域から知見を得る)

気球等のスカイスポーツ

風向・風速等、気象情報

無人機の動態情報を取得しモデル化する

鉄塔、植生等の障害物情報

地形等、地図情報

500フィート

安全で効率的な無人機交通管理を実現するために、無人機運行に必要な情報、有人機と共有すべき情報を反映した低高度での無人機交通環境を模擬するための技術の構築が求められる。

背景

- ◆ 画像システムは、自動車分野などに普及しつつあるが、航空分野ではまだ普及していない。
- ◆ 画像システムの技術を、航法や故障検知など有益と思われる部分に適用していくことが求められている。

最終達成目標

- ◆ 画像を航法にどの程度使用できるかどうかを明らかにして、検証実験により実証する。

■研究の概要と現状

- 本研究は、欧州のプロジェクト(Horizon 2020)との共同プロジェクトである。

欧州側：EUからの資金提供

日本側：NEDOからの資金提供

- 研究の内容

1. GPSやILSが使用できなくなった場合に、航空機に搭載されたカメラから滑走路の相対位置をリアルタイムで検出し、進入を続けられるようなシステム開発

2. 航空機の舵面故障をカメラによる画像により検知し、故障時においても安定飛行の自動維持を可能とするシステムの研究開発

- 実証方法：実験用航空機を用いた飛行実証
- 担当部分：当研究所では、1.を担当し、主にGPS/ILSの航法に係る部分の担当を行う。





航空交通管理に関する研究