

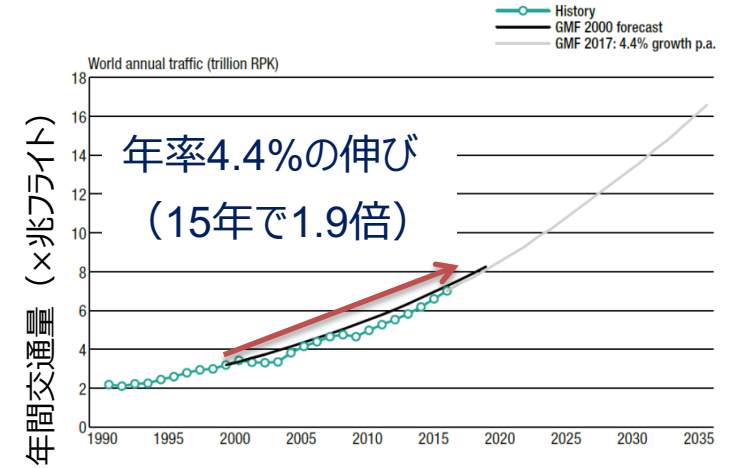
パイロット高度判断支援技術の研究開発 ～スマートなフライトを目指して～

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Hub スマートフライト・装備品技術チーム長
伊藤 健

1. 航空交通における課題

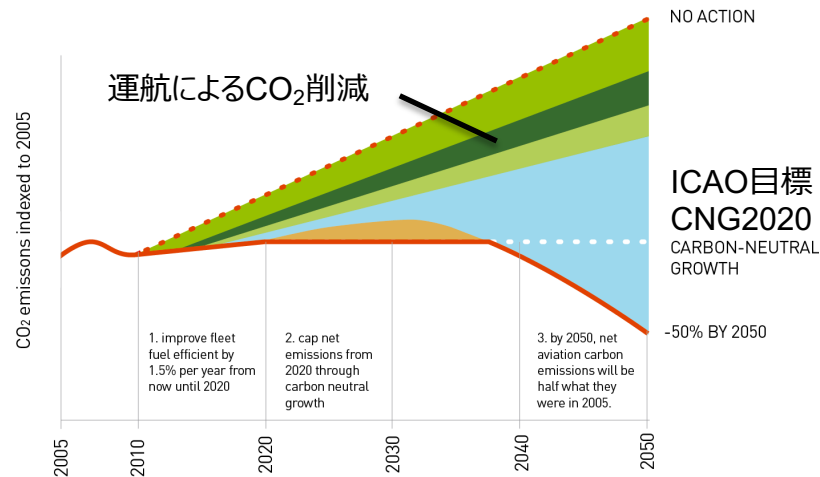
■ 航空交通量の増大とそれに伴う課題

- **航空交通量は15年毎に概ね倍増**（ICAO、主要航空機メーカーの予測）
- 交通量増大に伴う課題：
 - ① **利便性**：空港・空域の容量不足による遅延増大
 - ② **環境適合性**：負荷（CO₂、騒音等）の増大
 - ③ **安全性**：航空機事故の増加



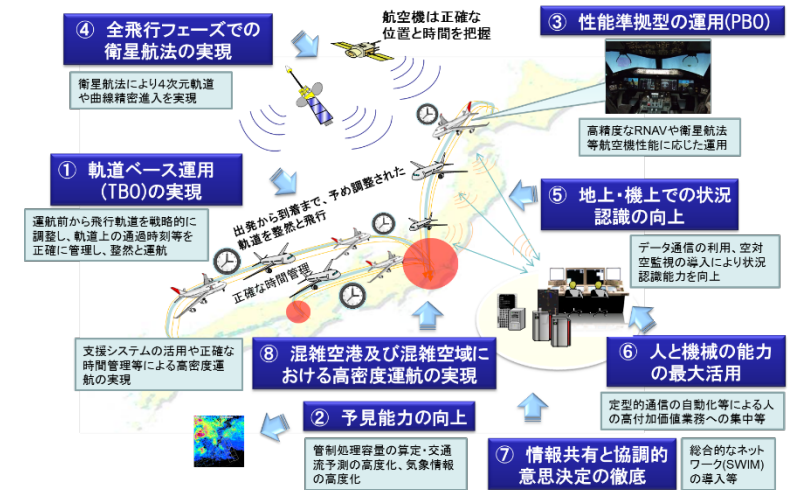
エアバスの市場予測

出典：Airbus Global Market Forecast 2017-2036



CO₂排出削減に関する目標：出典：IATA資料

ICAOは2020年以降CO₂排出を増やさない目標（Carbon Neutral Growth 2020: CNG2020）を設定。運航技術もCO₂低減への寄与が求められている。



CARATSでの変革の方向性

（出典：航空局、飛行機シンポジウム（2018））

これらの課題解決も念頭に、日本でも'CARATS'を通じて航空機運航の変革を目指している。

1. 航空機運航における利便性と環境適合性：4D運航技術

■ 4D運航技術

- 混雑する航空機をスムーズに運用し、利便性（時間精度）を向上させることが必須。
- 航空機の場所と時間を指定する「4D運航」により、高密度運航を実現
- CARATSでも中核的な技術課題として研究開発が行われている。

■ 当面の課題

航空局でも2022年から「固定FIXでの4D運航」を予定。ただし、以下の課題がある。

- 航空機が指定地点を指定時刻に通過する機能（RTA機能）が、高頻度で加減速を行い、燃費と快適性が悪化→①。
- 地上の管制システムの到着時間予測の精度が悪く、管制の指定時刻に航空機が到着できないケースが多い→②
- 4D運航の普及には全ステークホルダの理解が不可欠であるが、4D運航による各ステークホルダ（特にエアライン）のメリット・デメリットが明らかでない。

■ 課題解決に向けて

- ①→時間管理精度、低燃費、快適性を両立
- ②→個々の機体性能とリアルタイムの航空交通流状況（混雑状況）を考慮



(出典: 将来の航空交通システムに関する長期ビジョン(CARATS), 2010)

■ 安全性の向上に向けて

航空機の運航に関しては、パイロットに起因するもの、機器に起因するもの、気象に起因するものなどが存在する。

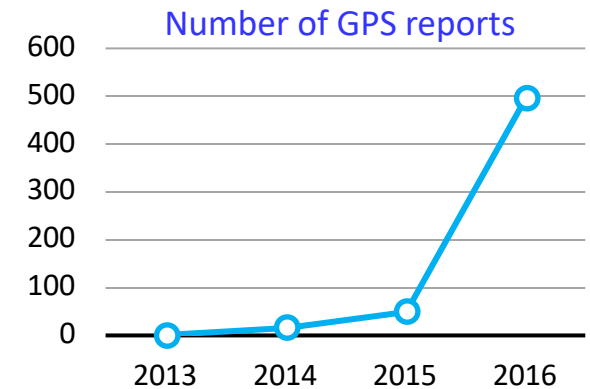
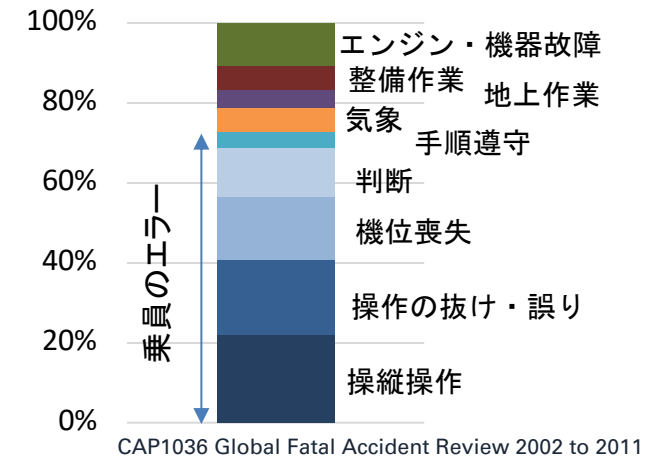
【パイロット:ヒューマンエラー】

- 航空機事故の主原因の半分以上にヒューマンエラーが関与している。安全性の向上にはエラーに起因する事故の低減が必要
- 旅客機運航では2名の乗員が相互に協調・補完することでエラーを管理。乗員間のエラーマネジメントが課題。

【機器：衛星航法】

- 航法誘導制御機器や通信機器、レーダ機器などに故障や障害が起こりうるが、特に、航空機運航では、電波を使った技術に対する障害は重要な課題
- CARATSでも「全飛行フェーズでの衛星航法の実現」を掲げる一方、衛星航法(GNSS)の脆弱性が、近年急速に高まっている。意図的な電波干渉が、技術的なハードルの低下に伴い、民間航空分野を含む実社会生活への影響に懸念。

主要事故要因の内訳



Ref: EUROCONTROL Voluntary ATM Incident Reporting (EVAIR) Bulletin No 19, 2018

衛星航法における電波障害の報告件数

意図的な電波干渉のハードルが下がり(必要装置:数千万⇒数十万)、衛星航法における電波障害が航空機事故の新たな要因になる可能性がある。また航空分野のみならず他分野への影響も懸念され始めている。

① 利便性：空港・空域の容量拡大

注) 4D管制、4D飛行は4D運航の構成要素

- 航空交通システムの変革（航空局長期ビジョンCARATS）では、空域容量拡大のため、4D運航により時間管理を行い航空機間隔を短縮を目指している。

⇒ 管制能力の高度化（4D管制）は航空局、電子航法研究所が主、JAXA等も協力して対応中。
一方で、管制に対応する航空機の運航技術の高度化（4D飛行能力）が遅れている。

② 環境適合性：環境負荷（CO₂、騒音等）の低減

- 4D飛行は時間管理の制約が付加されているため、燃費は悪化する傾向がある。
- 最終的に4D運航が普及すれば、空域容量が拡大して遅延が低減し低燃費化するが、部分的な4D運航では低燃費効果が得られにくい。

⇒ 4D運航の普及が必須。そのためには、4D飛行そのものの低燃費化への対応、それを実現するため機上／地上の情報を統合したパイロット支援が必要。

③ 安全性：事故要因の低減

- 事故の代表的な要因：気象、機材故障、ヒューマンエラー。
- 特に、ヒューマンエラーは、回避が主で、検知・予測の対応が遅れている、
- その他、衛星航法の信頼性確保は重要。意図的な干渉を含む電波障害への対処も課題

⇒ ヒューマンエラーの検知・予測、パイロットの判断支援が未対応の課題。
衛星航法における電波障害に対する防御も社会インフラとして波及効果が高い。

2. スマートフライト技術の研究開発：概要

航空交通量増大に伴う課題解決を目指し、「スマートフライト（高度判断支援）技術」に取り組む

SF3 耐障害高信頼性航法

電波干渉等の障害の影響を低減し、耐障害高信頼性航法を提供

⇒ **確実な管制、事故要因の低減**

SF1.1 **航空機**：気象情報を活用し
経路を最適化

燃費低減

SF1 低燃費4D飛行

航空機と管制が連携し、4D飛行と低燃費を両立

⇒ **4D運航の導入を促進し、空域容量の拡大、環境負荷の低減に貢献**

SF1.2 **管制**：航空交通流等の状況に応じて**時間管理を動的に変更**

SF2 パイロットモニタリング（E-Crew）

パイロットの状態をモニタし、ヒューマンエラーを低減

⇒ **事故要因の低減**

参考：DREAMSの対象範囲（最終進入フェーズ）

- ・ 後方乱気流間隔の短縮
- ・ 低騒音運航
- ・ GBAS進入の利用性向上

SF1 低燃費4D飛行

→ 飛行経路／到着時間の**選択肢生成を自動化・最適化**

SF2 **パイロットモニタリング**

→ ヒューマンエラーの**監視**、手順の**選択肢生成を自動化・最適化**

SF3 耐障害高信頼性航法

→ 機体位置の**監視を自動化**

2.1 研究開発対象となる航空機運航の状況と4D運航の課題



■ コクピット内の環境整備

- タブレット型補助計器EFB (Electronic Flight Bag) の普及
- コクピット内wifiにより、EFBでも飛行データのリアルタイム利用が可能 (Boeing、Airbus)

■ 詳細な気象予測情報の提供

- 気象庁が詳細な空域予報 (MEPS航空確率情報) を2019年度から提供予定。

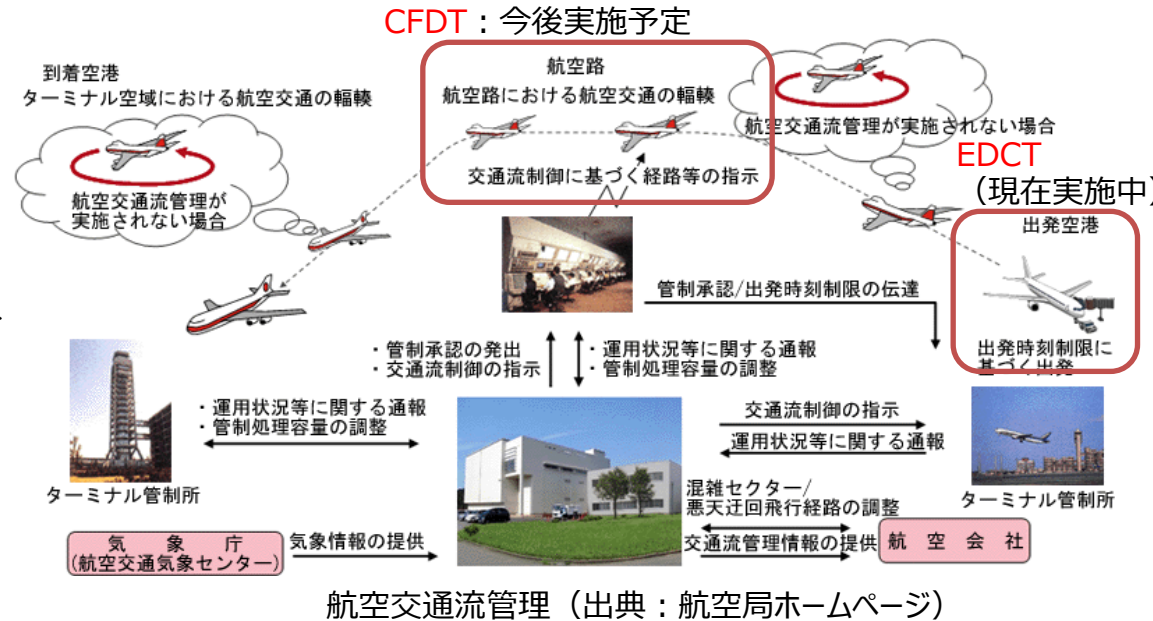
⇒ 詳細な乱気流予測の利用*や、風を始めとする気象予測の誤差情報の利用が可能に
*従来の鉛直ウインドシアだけでなく、山岳波、対流雲、ジェット気流等も考慮した総合的な乱気流予測指標が提供される。

■ 管制による時間管理の強化

- 空域・空港容量拡大のため、出発時刻指定 (EDCT) だけでなく、巡航時のFIX通過時刻指定 (CFDT) が開始される
- 2020年度から外国出発機へ適用、順次、国内出発機へも適用予定

⇒ CFDTを満たすため、巡航中も速度の選択肢が狭まり、燃費が悪化する可能性

■ 時間管理が強化される中で、EFBの活用により、詳細な気象予測も適用し、燃費の良い最適なフライトを支援

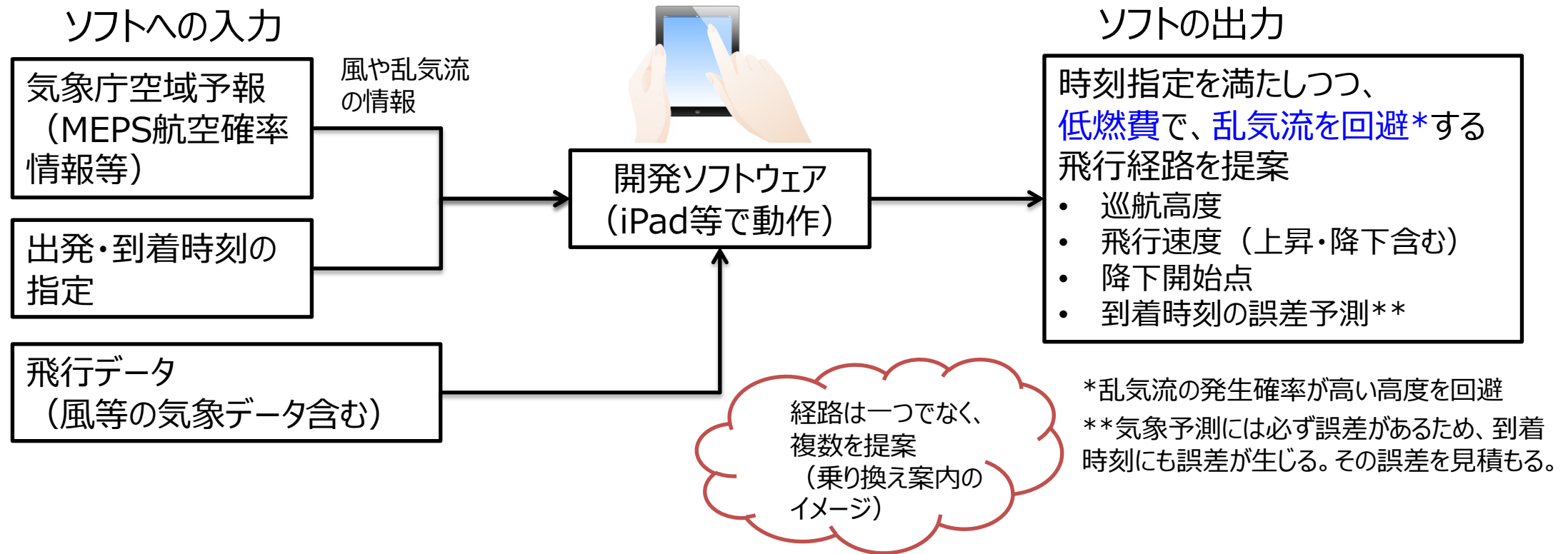


2.1 低燃費4D誘導ソフトウェア(SF1.1)

■ 研究開発目標

以下の機能を有するタブレット端末用のソフトウェアを開発し、エアラインでの試行運用に供する。

⇒EFBとして実用化を目指す



飛行中に当日の気象条件に合わせ最適な経路を提案

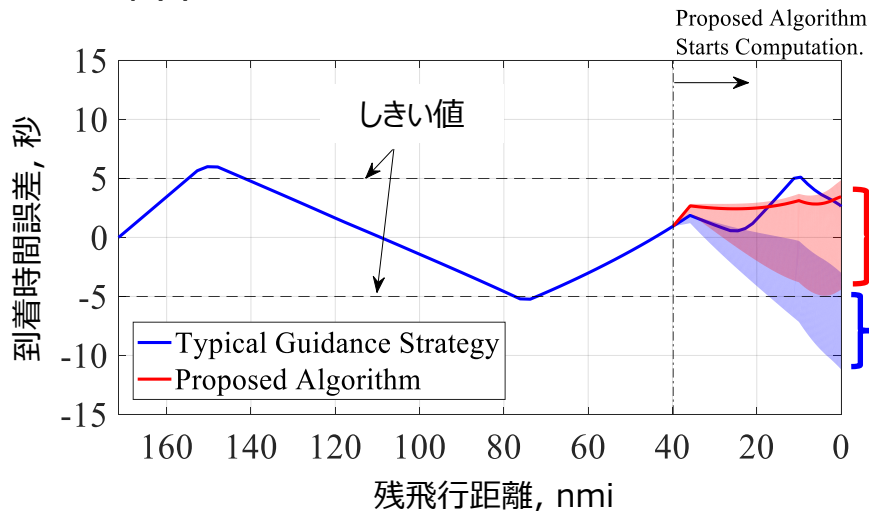
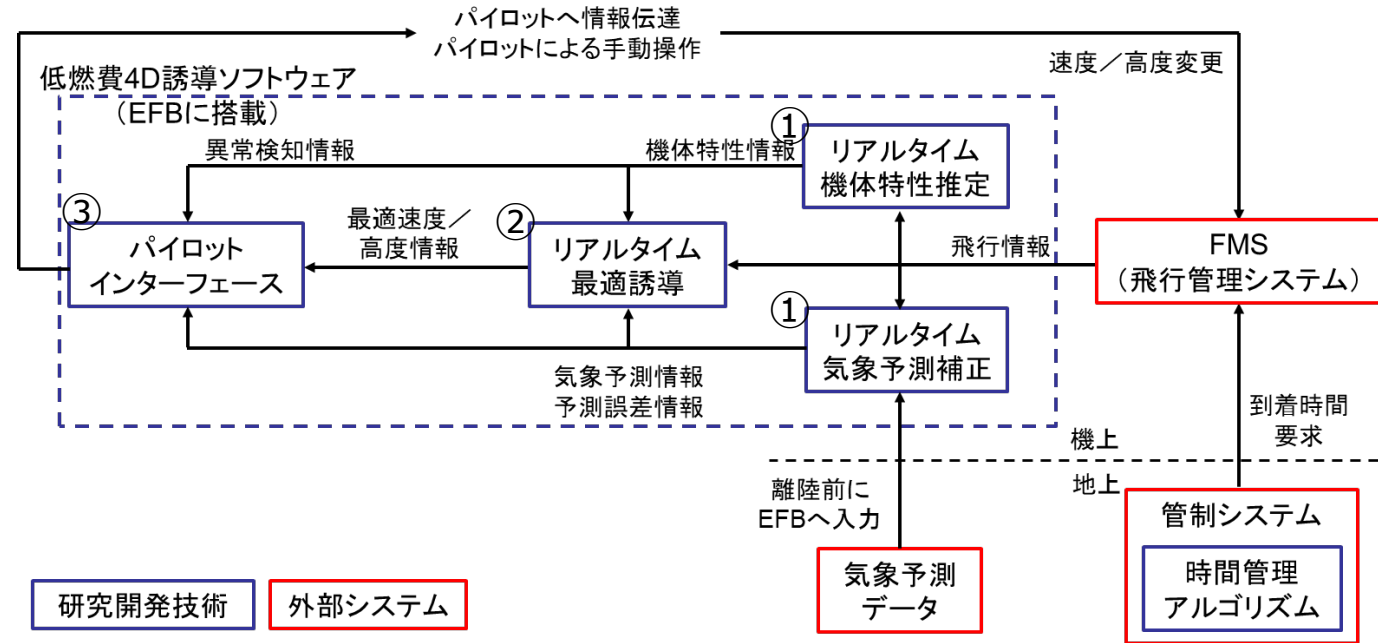
2.1 低燃費4D誘導ソフトウェア(SF1.1) :技術構成と成果

■ 技術構成

- 時間管理**精度**、**低燃費**、**快適性**を同時に成り立たせる航空機の**誘導ソフトウェア**（EFBに搭載）を開発
 - 離陸前に気象予測やフライトプランを入力
 - 飛行中にリアルタイムで気象予測補正、機体特性推定を行い、最適な経路をパイロットに提示

■ 性能確認

- 本アルゴリズムを適用したシミュレーションを実施し、妥当性と性能を評価



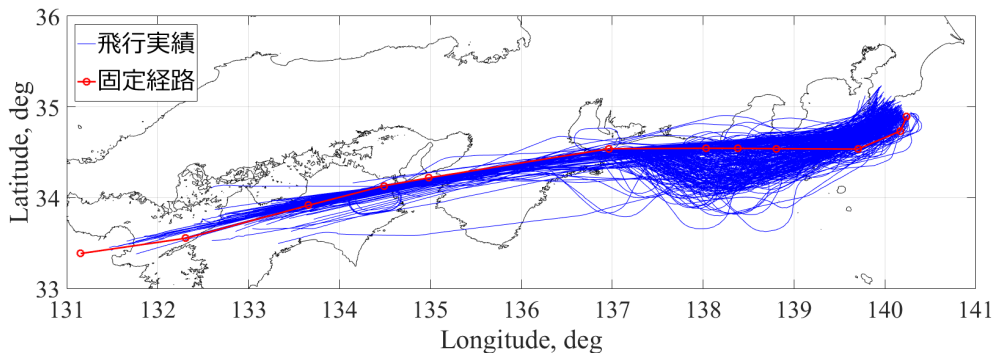
提案技術（赤）では、気象予測誤差を考慮し、到着時間が時間管理精度内に収まる確率を最大化するように速度決定

従来技術（青）では、気象予測誤差により、到着時間誤差が時間管理精度内に収まる確率が低下

2.1 低燃費4D誘導ソフトウェア(SF1.1) :技術構成と成果



燃費削減効果



従来運航（経路延長による時間管理、青）に比べ、飛行時間は同一の**4D運航**（固定経路上の速度調整による時間管理、赤）により、**最大4%の低燃費化**が可能であることを確認

（上昇・巡航・降下の全飛行フェーズに対する割合、全343便の平均値）

→**燃料費の削減、環境負荷の低減**が可能

□ これらの性能を実飛行で効果的に得るため、EFBへ実装するソフトウェアを開発中。

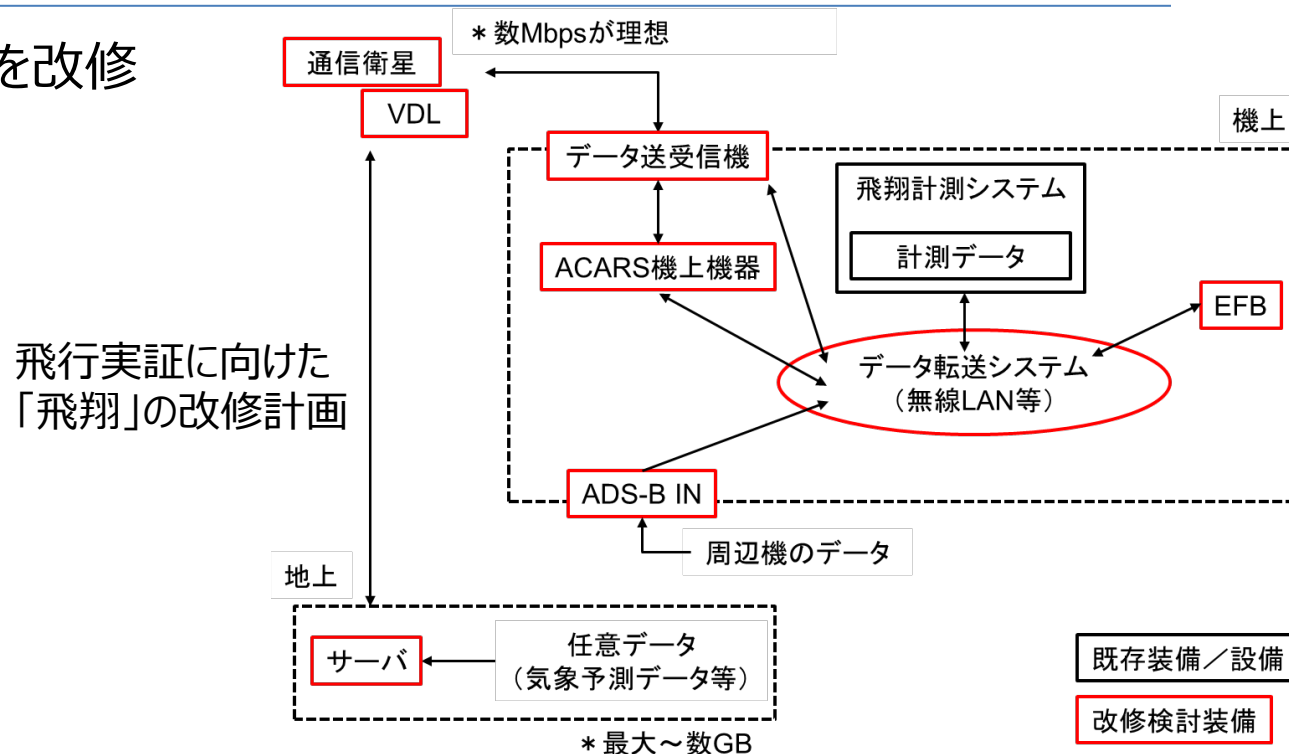
2014/12、2015/1 の福岡→羽田の343便 (B772)

EFB開発と並行して、飛行実証に向けて、飛翔を改修



主な改修内容

- EFBの装備、EFBへのデータ転送
- 各種データリンク（空対地、空対空）の装備

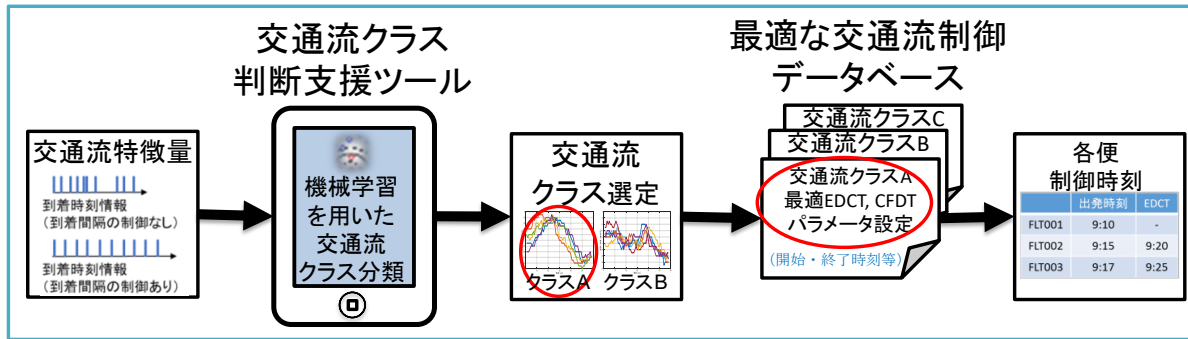
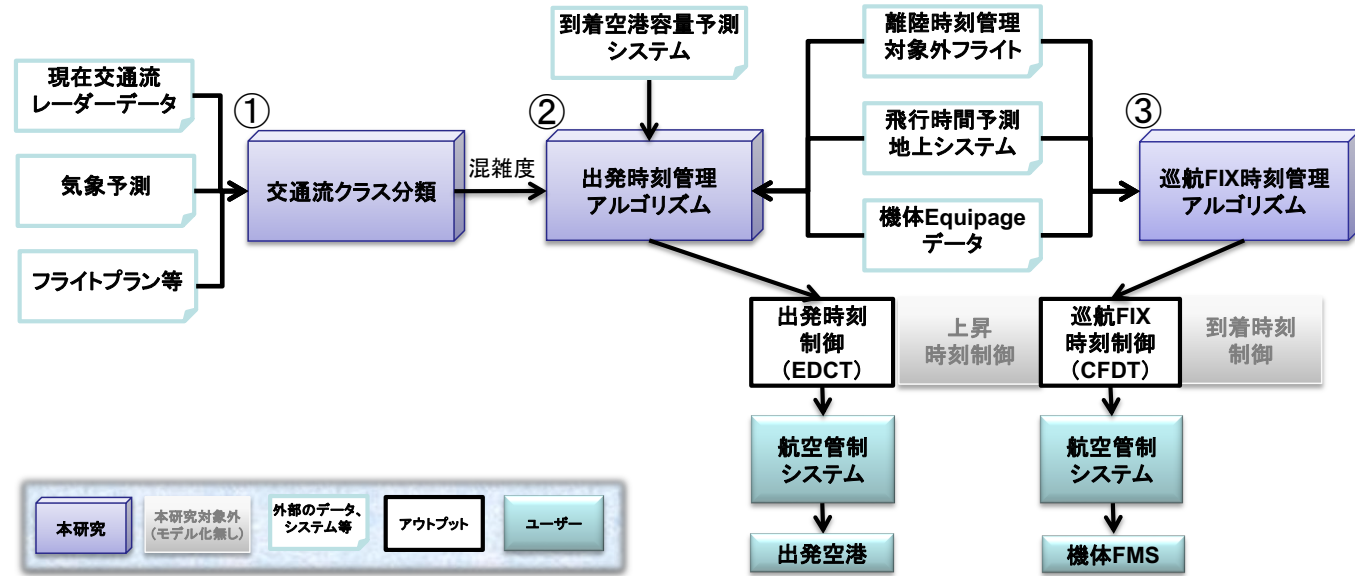


飛行実証に向けた「飛翔」の改修計画

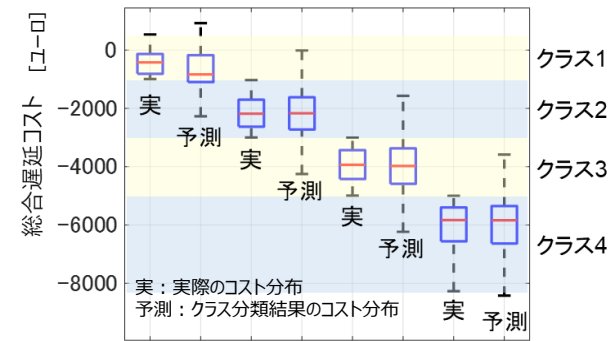
適応型時間管理

航空管制の効率化を目指し、状況に応じて時間管理要求を動的に変更し容量拡大と燃費低減を両立する管制システムの時間管理アルゴリズムを開発

- 交通流データを混雑度に応じたクラス分類を行い、各クラスの状況に応じた適切な出発時刻制御や、巡航FIX時刻制御を行う。
- 機械学習による実用性と最適性の両立、離陸時刻や飛行時間の不確定性の考慮、日本の空域や交通流に適した運航



交通流クラス分類ツールの概要



交通流クラス予測

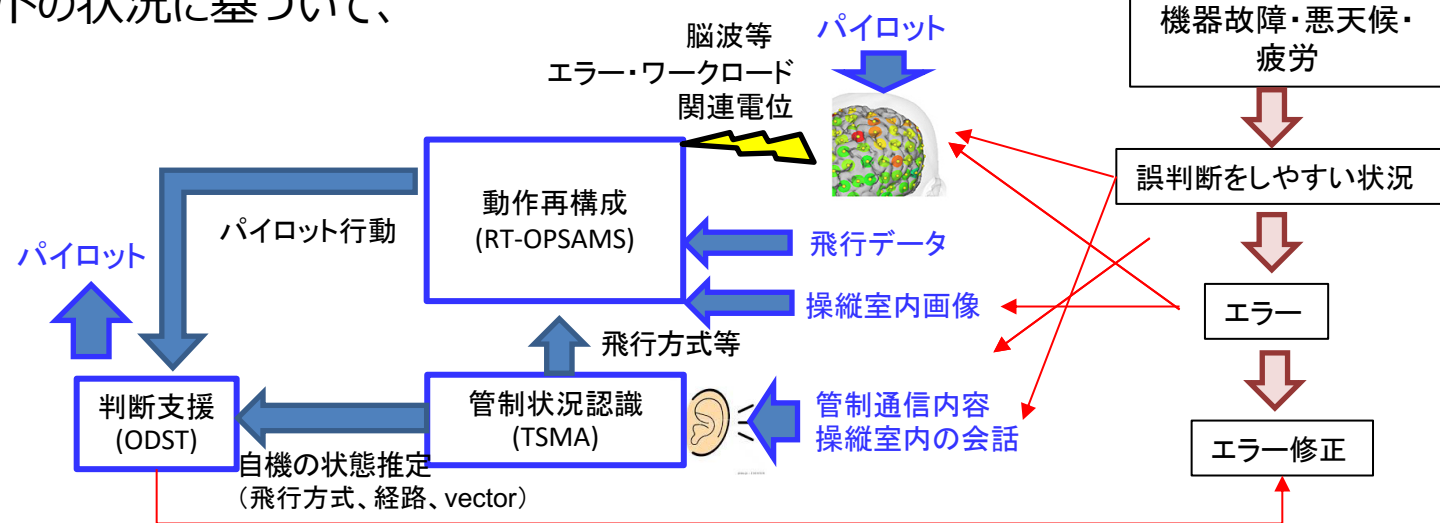
適応型時間管理アルゴリズムの構成・概要

2.3 パイロットモニタリング技術～E-Crew～ (SF2)

■ E-Crew (電人計画) : パイロット間の相互補完タスクの電子的手段による代替

パイロットのエラーや予兆となる状態を検出し、アドバイスする技術により、ヒューマンエラーの低減とコックピットの省力化に貢献する。

- **OPSAMS** (Operational Procedure Safety Analysis Monitoring System):
飛行データからオフラインでパイロットの行動を推定
- **RT-OPSAMS** (Real-time OPSAMS):
OPSAMSのコアに画像認識、脳波などを加えて実時間でパイロットの行動をモニタ
- **TSMA** (Traffic Situation Monitoring and Awareness):
管制通信やコックピット内の会話を解析し、航空機の状態やパイロットの意図を推定
- **ODST** (Operational Decision Support Tool):
推定・認識した機体やパイロットの状況に基づいて、パイロットにアドバイス

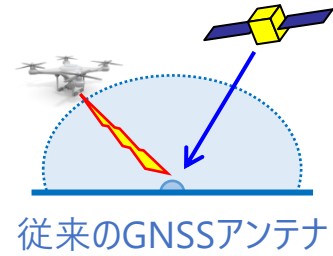


事故の要因 (関与率%)	
1.手順の抜け・誤り	43
2.CRMの不適切	37
3.操縦の誤り	31
4.判断の不適切	31
5.位置認識喪失	26
6.心理的圧力等による不適切な判断*	15
7.状況認識の誤り	13
8.オートパイロットの不適切な使用	13

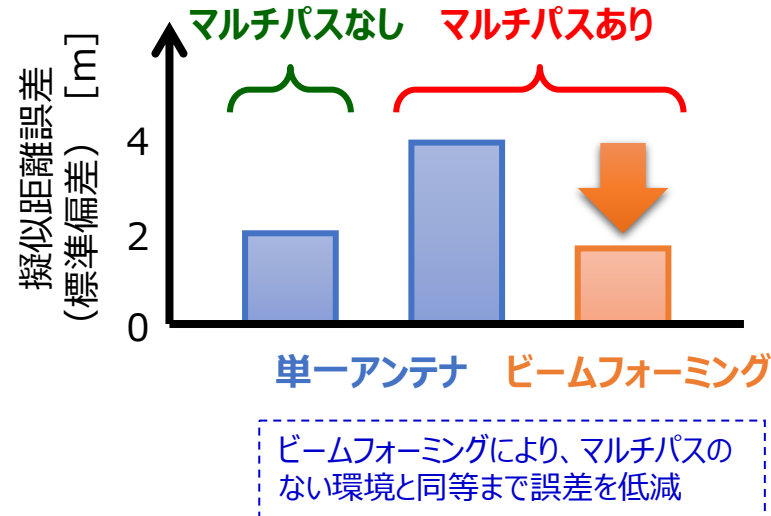
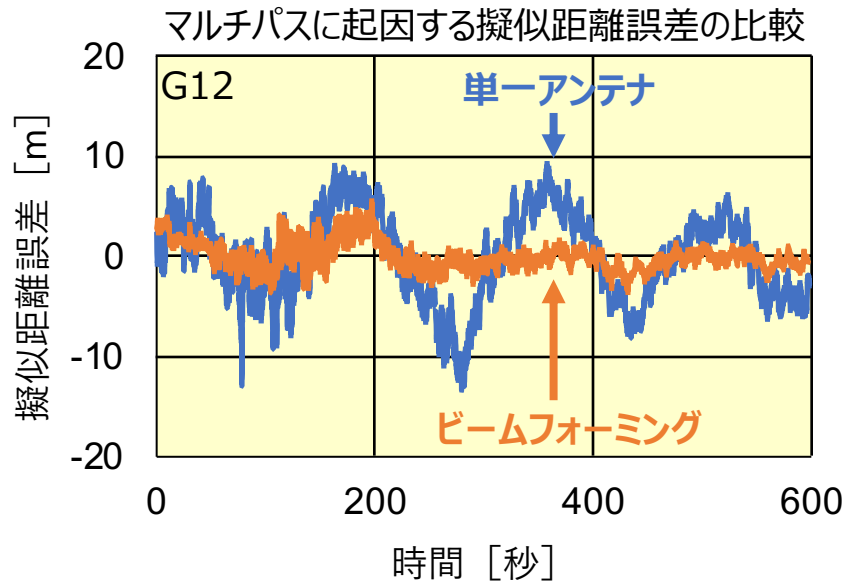
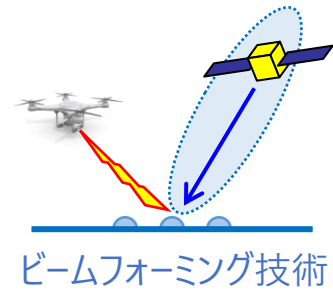
2.4 耐障害高信頼性航法技術(SF3)

ソフトウェア・無線技術の発展にともない、スプーフィング（欺瞞波、なりすまし）と呼ばれる新たな脅威が出現しつつある。民間航空分野を含む実社会生活への影響に懸念。

- 複数のアンテナ素子で受信した信号の位相を制御
- 特定の方向から到来する信号の受信感度だけを上げる→他の方向から到来する不要波の受信を抑制

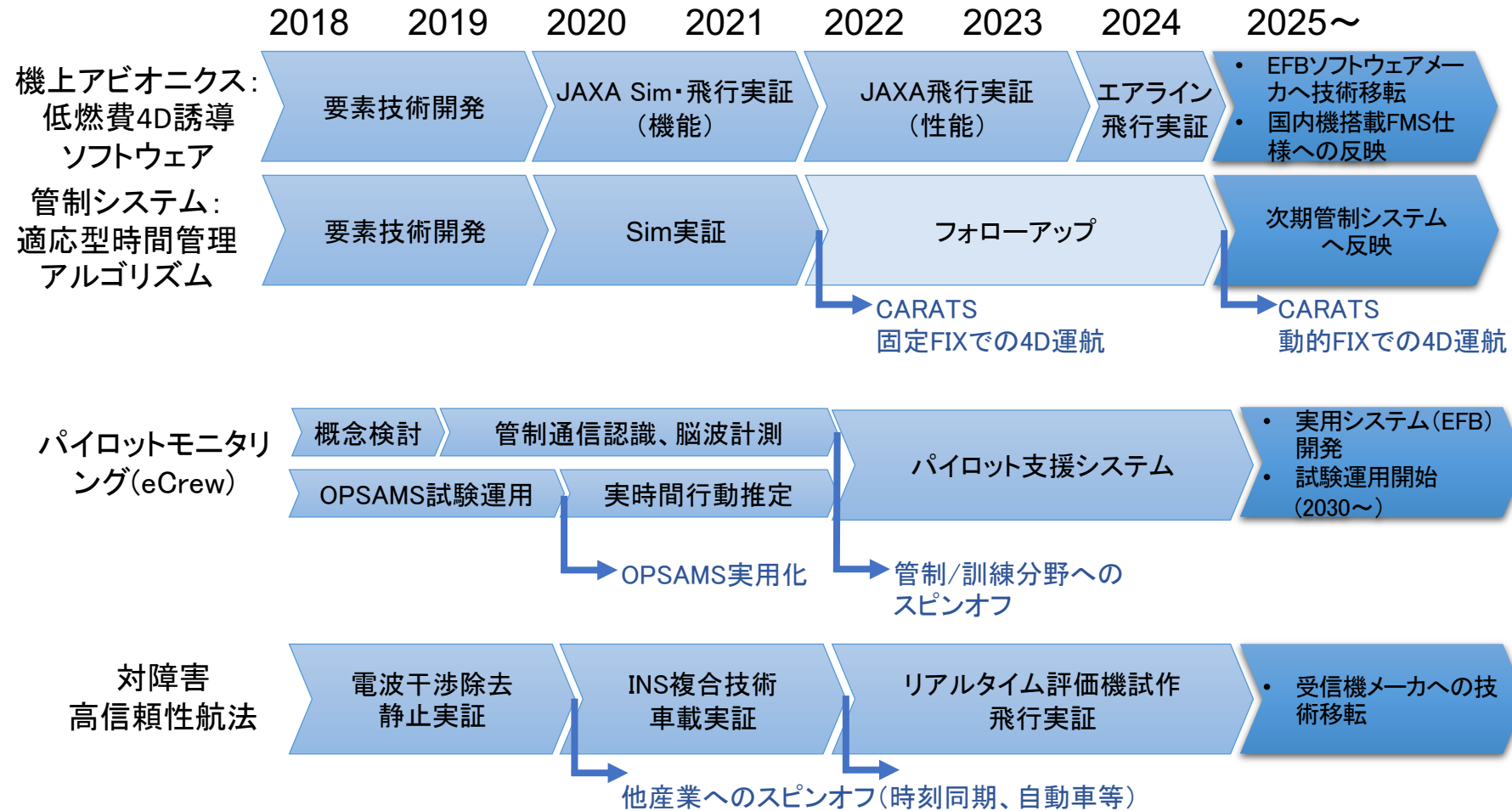


- 通信やレーダーの分野で実績のあるフェーズドアレイ技術の応用
- 衛星測位の分野でも、防衛用途では実績あり
- 5G通信機器の技術を適用して実現可能性が高まる。
- 慣性航法と複合することで移動体へ適用範囲を拡大



➡ **不要波の抑制に成功**

3. 研究開発スケジュール



- 今後増大する航空機と混雑する空港、航空路の中で、航空機の運航を安全に効率化するため、パイロット高度判断支援技術（スマートフライト技術）の研究開発を行っている。具体的には、
 - ① 低燃費 4 D運航技術
 - 4 D運航を効率的に行うため、詳細な気象予測補正、機体特性推定を行い、最適な経路をパイロットに提示するEFB（Electric Flight Bag）ソフトウェアを開発、実装を目指す。
 - ② 適応型時間管理アルゴリズム
 - 航空管制の効率化を目指し、状況に応じて時間管理要求を動的に変更し容量拡大と燃費低減を両立する管制システムの時間管理アルゴリズムを開発
 - ③ パイロットモニタリング技術（E-Crew）
 - パイロットのエラーや予兆となる状態を検出し、アドバイスする技術により、ヒューマンエラーの低減とコックピットの省力化に貢献する。
 - ④ 耐障害高信頼性航法技術
 - 衛星航法に対するスプーフィング（欺瞞波、なりすまし）と呼ばれる新たな脅威に対抗し、最新の5G通信機器の技術等も適用することで不要波の受信を抑制し、安全な航法を実現する。

- 今中長期計画の期間において、これらの研究開発を進め、エアラインを中心とした航空機運航の社会実装を目指す。

ご清聴ありがとうございました。