

航空交通管理の長期的展望と研究開発

平成20年2月21日

第8回CNS/ATMシンポジウム

電子航法研究所

研究企画統括 白川昌之



話の概要

- 背景
- 航空交通管理の長期計画
 - ICAOの長期ビジョンとANC11
 - 航空交通管理運用概念(Doc98**)と世界的航法計画(Doc9750)
 - SESARとNextGen
 - トラジェクトリ管理の概要
 - 日本における長期計画でどのようなことを実現するか
- 実現するには何が必要か
 - ビジョンの実現に必要なこと
 - 電子航法研究所における研究の現状と今後
 - 航空分科会答申との関係
- 今後の課題とまとめ

ビジョンを必要とする背景

- 世界的な航空交通量の増加(特にアジア地域)
- スループットの増加策の発想転換(空港の増設やセクタの細分化の限界)
- 航空コミュニティの間での認識の共有が必要
- 環境への配慮、CO2の低減



航空交通管理の長期計画



ICAOビジョンのもととなる文書の構成

長期的 / 抽象的

ATM/OCD Do9854
(ATM 概念)



世界航法計画 Do9750
(Global Navigation Plan)



Do9750
Operational Initiatives



短期的 / 具体的

地域プラン / 各国のプラン

学会での提案
ICAOのコンセプト会議
経済性 / 効率性

SARPsの制定
ICAO会議

国などの政策
計画

ICAO文書

研究活動など

ICAOの長期ビジョン

ATMコンセプトの記述から



ATMコンセプトにおけるVisionとは？ 以下のようなATMを構築する

経済的な運用の提供

環境に適切

安全水準を維持

保安要件を満たす

すべての飛行段階、すべての利用者、すべての地域

ATMのあるべき姿とATMシステムの発展

ATMとは航空交通と空域を
以下のとおり管理すること

容量増加・安全改善
利用者の柔軟性・運航効率

2025年を目標

安全・経済的・効率的

共同的で継ぎ目がない

動的かつ集約的

ATMシステム

通信・航法・監視システム

人間・情報・施設・サービス



ATMコンセプト

コミュニティの期待

安全・容量・アクセス・効率性・柔軟性・全世界性・費用対効果・環境・参加

導入原則

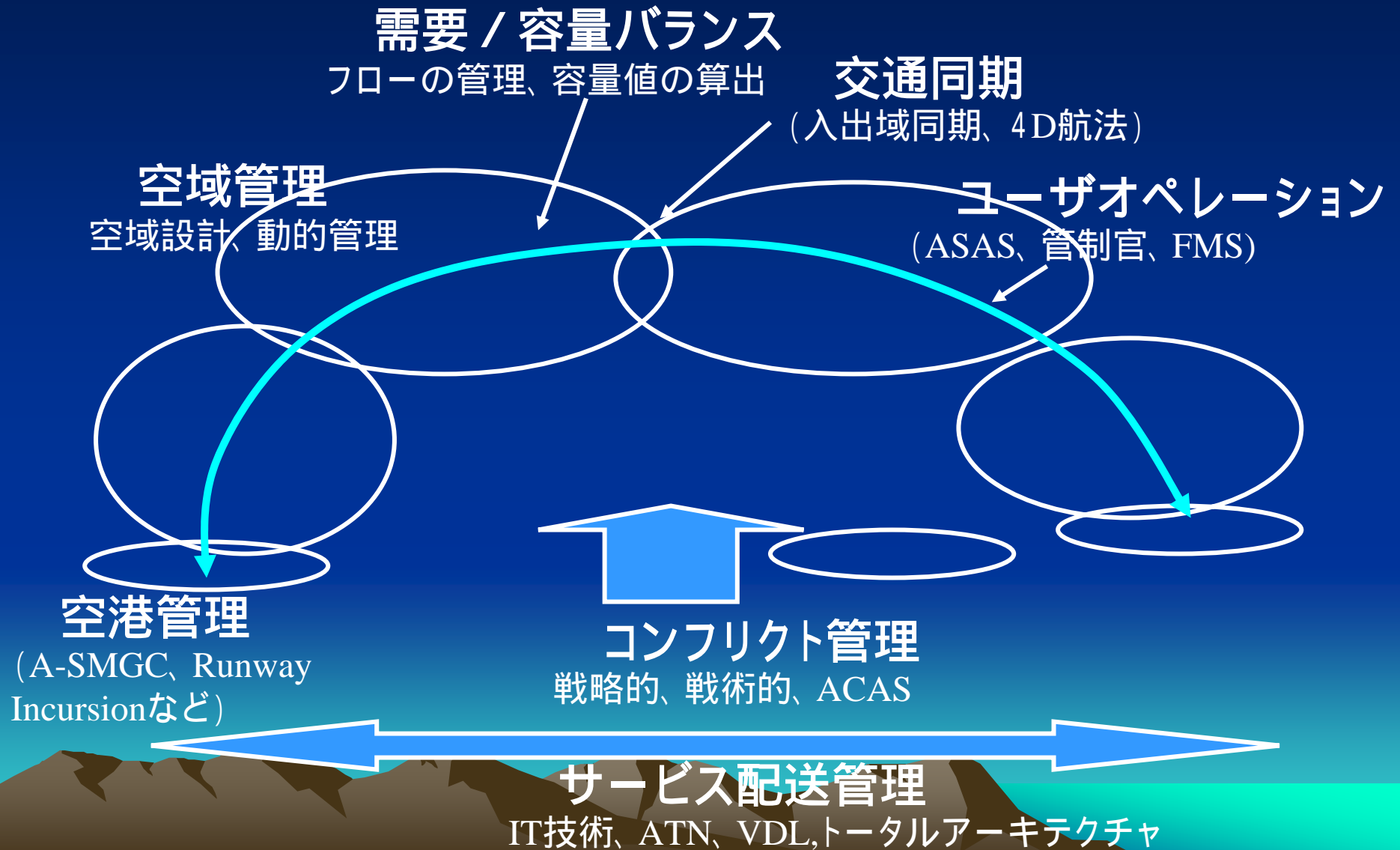
安全・人間・技術・情報・共同作業・連続性

実行要素

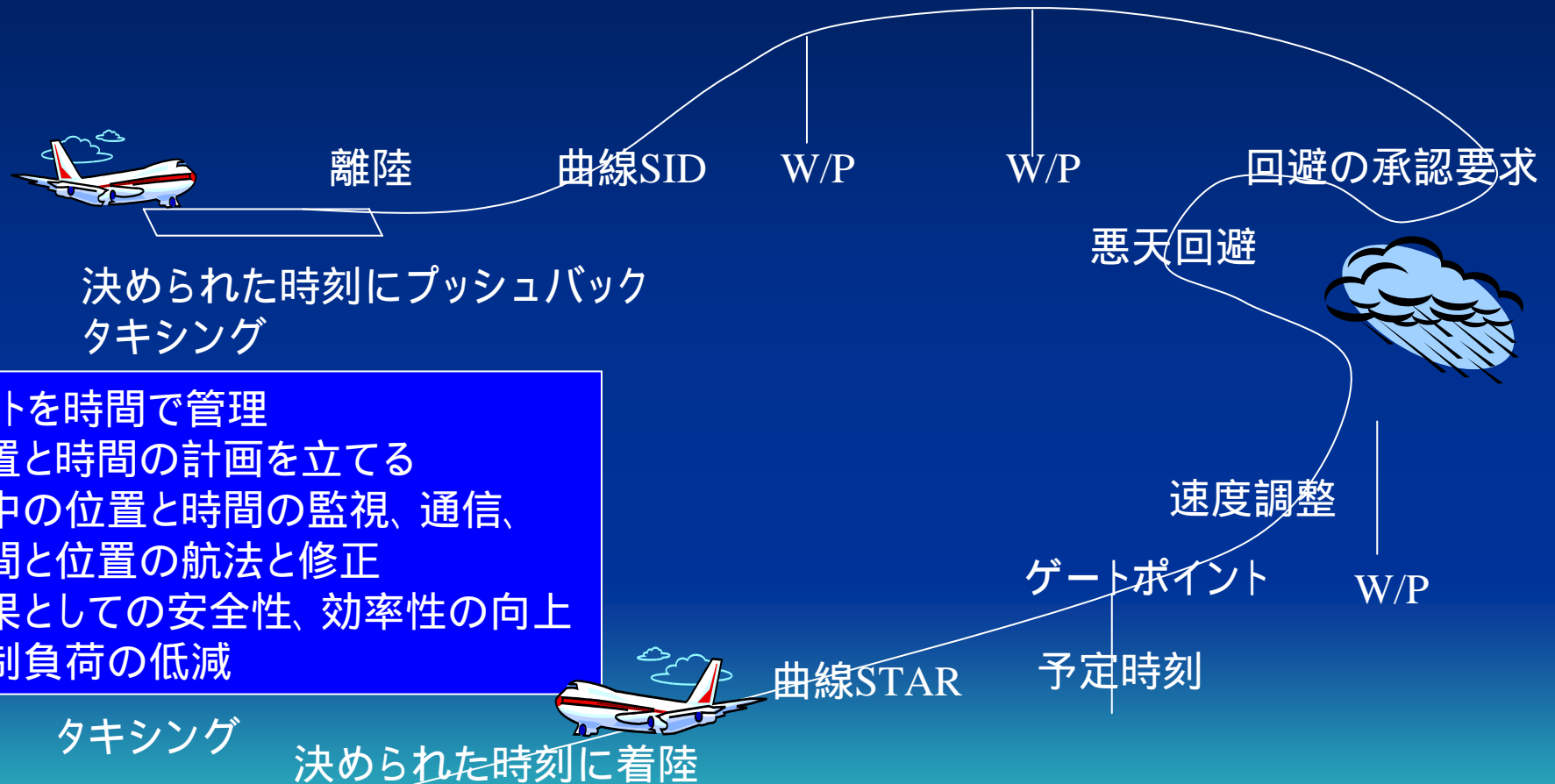
空港管理、空域管理、需要
/ 容量バランス、交通同期、
コンフリクト管理、空域ユー
ザ、サービス配送

ICAOの提唱する航空交通管理の概念図

7つの実行要素



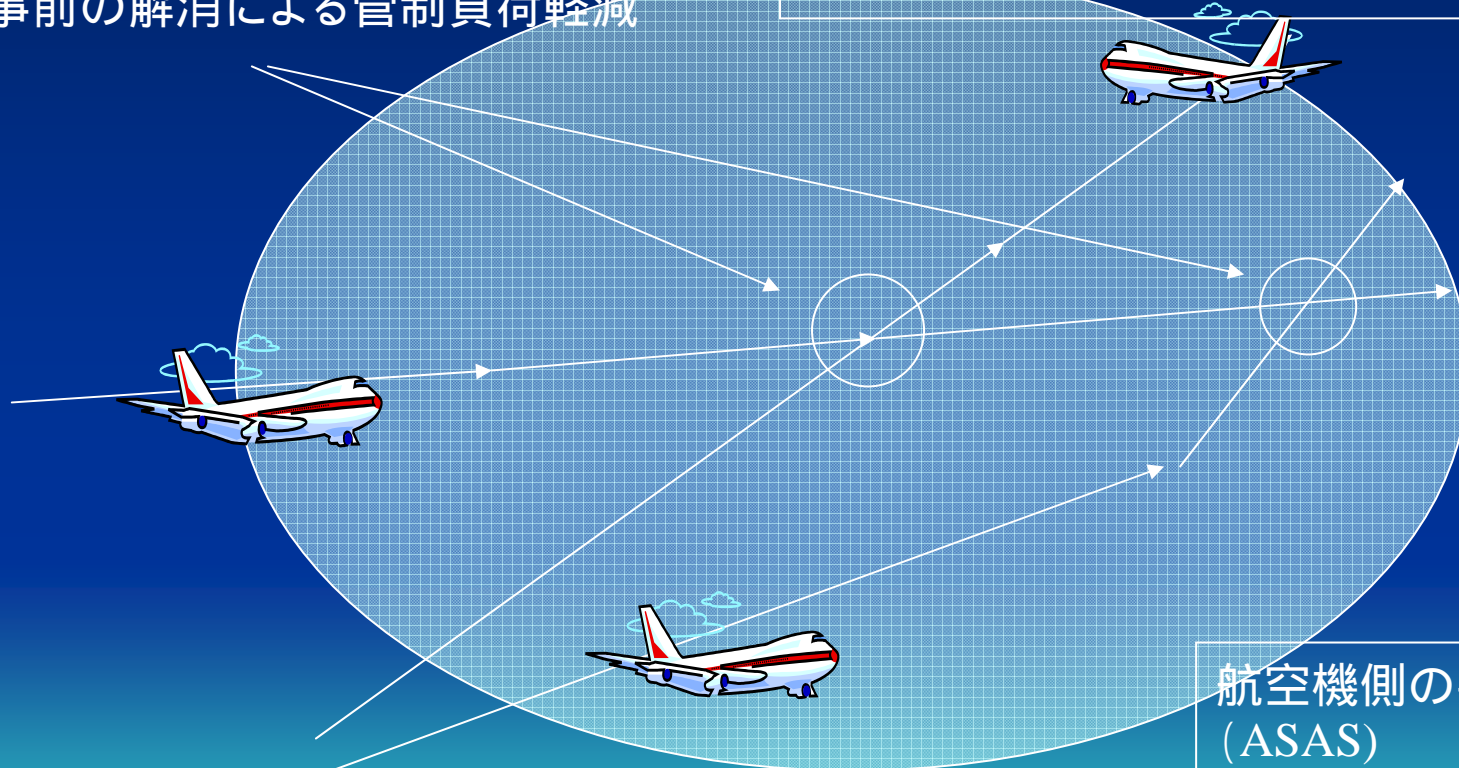
オペレーションシナリオの例 4次元管制 / 航法 航法の視点から



オペレーションのシナリオ 管制から見ると

コンフリクトの可能点
事前の解消による管制負荷軽減

フローの最適化
過負荷にならない作業量(需要 / 容量バランス)



- ・時間と位置(W/P)で記述された多数のTrajectory
- ・衝突が起きないように、たくさんの航空機を円滑に流す

航空機側の共同作業
(ASAS)
時間管理による
コンフリクトの解消

世界的航法計画の概要



長期ビジョンと現在の課題との関係づけ

システムで規定

パフォーマンスベースで規定



NEAR TERM

MEDIUM TERM

LONG TERM

進化の第一段階

・現在我々が
持っているものを
ベースにする

- ・利用可能な手順、プロセス、
能力を取り込む
- ・短期的計画の活動に焦点を当てた、
将来起りうるギャップの要件を
識別する。

進化の第二段階

・我々が今日
知っているものを
ベースにする

- ・世に出ている手順やプロセス、
能力を取り込む
- ・gapの要件を明らかにし、
将来の研究開発を駆動する。

進化の第三段階

・CONCEPTの
期待に
基づくこと

- ・新しい手順、処理、能力を
取り込むこと
- ・gap要件を満たし、
継続的な改良のR&Dを
支持する

図3 長期計画策定の考え方[2]

Global Navigation Plan

OCDを具体化するもの:現状で何をすべきか

- 柔軟な空域
 - RVSM
 - 飛行レベルの調和
 - 高空の空域の分類
 - RNAV/RNP (PBN)
 - 航空交通流管理
 - 柔軟なATSルート設計
 - 協調的空域設計と管理
 - 状況認知
 - ターミナルエリアの設計と管理
 - RNP/RNAVのSID/STAR
 - 機上システムと地上システムの機能的統合
- 23のOperational Initiatives
- 空港設計と管理
 - 滑走路運用
 - IMCとVMCの運用の一致
 - 決定支援システムと警報システム
 - テータ通信応用
 - 航空情報
 - 気象システム
 - WGS-84
 - 航法システム
 - 通信インフラストラクチャ
 - 航空無線スペクトラム

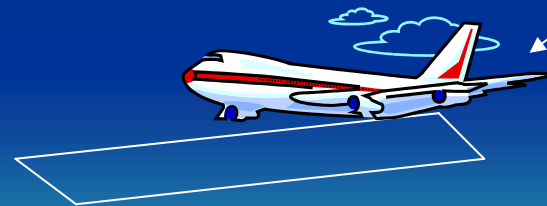
空港での運用(AO)

- ・OCDの記述は抽象的で側面からしか述べていない
- ・話を分かりやすくするため、具体的なイメージで述べる
- ・OCDの記述枠をはみ出して述べる
- ・若干の誤記述ご容赦！

関連するOI

- RNAV/RNP(PBN)
- 航空交通流管理
- 状況認知
- ターミナルエリアの設計と管理
- RNP/RNAVのSID/STAR
- 機上システムと地上システムの機能的統合
- 空港設計と管理
- 滑走路運用
- IMCとVMCの運用の一致
- データ通信応用
- 航空情報
- 気象システム
- WGS-84
- 航法システム
- 通信インフラストラクチャ
- 航空無線スペクトラム

空港の離発着量の増加
滑走路占有時間の低減
全天候離着陸
どこでも移動体の位置の把握
後方乱流間隔の短縮

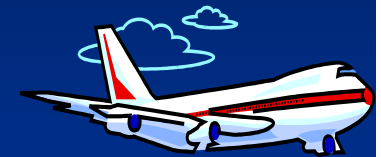
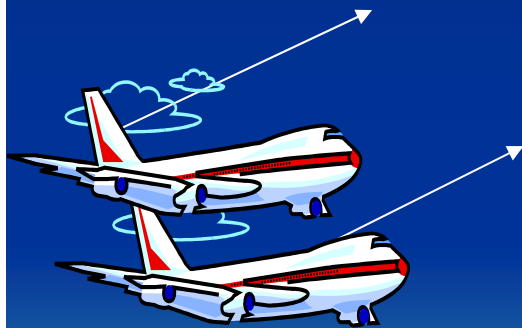


空域の構成と管理(AOM)

ダイナミック(空域、経路)な運用
4次元経路への適応
互いに矛盾する制約の最適化

関連するOI

- 柔軟な空域
- RVSM
- 飛行レベルの調和
- 高空の空域の分類
- RNAV/RNP (PBN)
- 航空交通流管理
- 柔軟なATSルート設計
- 協調的空域設計と管理
- ターミナルエリアの設計と管理
- RNP/RNAVのSID/STAR
- 機上システムと地上システムの機能的統合
- 航空情報
- 気象システム



需要 / 容量バランス(DCB)

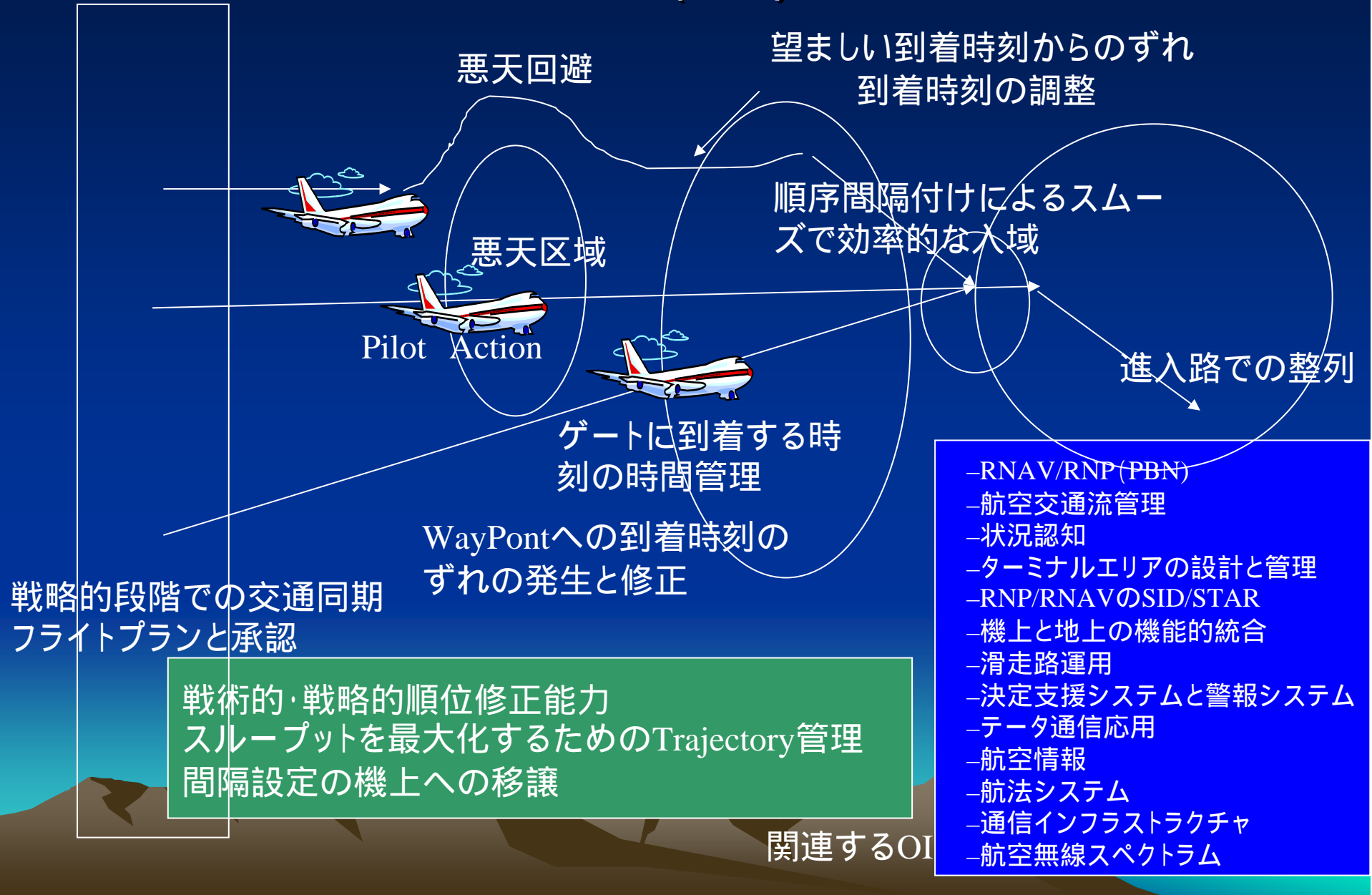
関連するOI

- 航空交通流管理
- 決定支援システムと警報システム
- データ通信応用
- 航空情報
- 気象システム

管制官作業量を超えない航空機数の制御
戦略的：季節変化や需要の変化への対応
前・戦術的、戦術的
ゲートからゲートまでを予測
スループットの最大化
空域経路と容量バランスの動的調整



交通同期(TS)



コンフリクト管理(CM)

関連するOI

- RVSM
- 飛行レベルの調和
- 高空の空域の分類
- RNAV/RNP (PBN)
- 航空交通流管理
- 状況認知
- ターミナルエリアの設計管理
- RNP/RNAVのSID/STAR
- 機上と地上の機能的統合
- 空港設計と管理
- 滑走路運用
- IMCとVMCの運用の一致
- 決定支援システムと警報
- データ通信応用
- 航空情報
- WGS-84
- 航法システム
- 通信インフラストラクチャ
- 航空無線スペクトラム

計画段階

飛行中

戦略的コンフリクト予測
空域構成、交通同期
需要 / 容量バランス

プランの修正

プランの確定

戦略的レベルの
コンフリクト管理

コンフリクト
(ハザード) 検知

解決法(4次元経
路等)の提案

実施と監視

主として管制官
間隔設定
Separation provision

衝突危険の検知

ACASによる回避

パイロットサイド
衝突回避

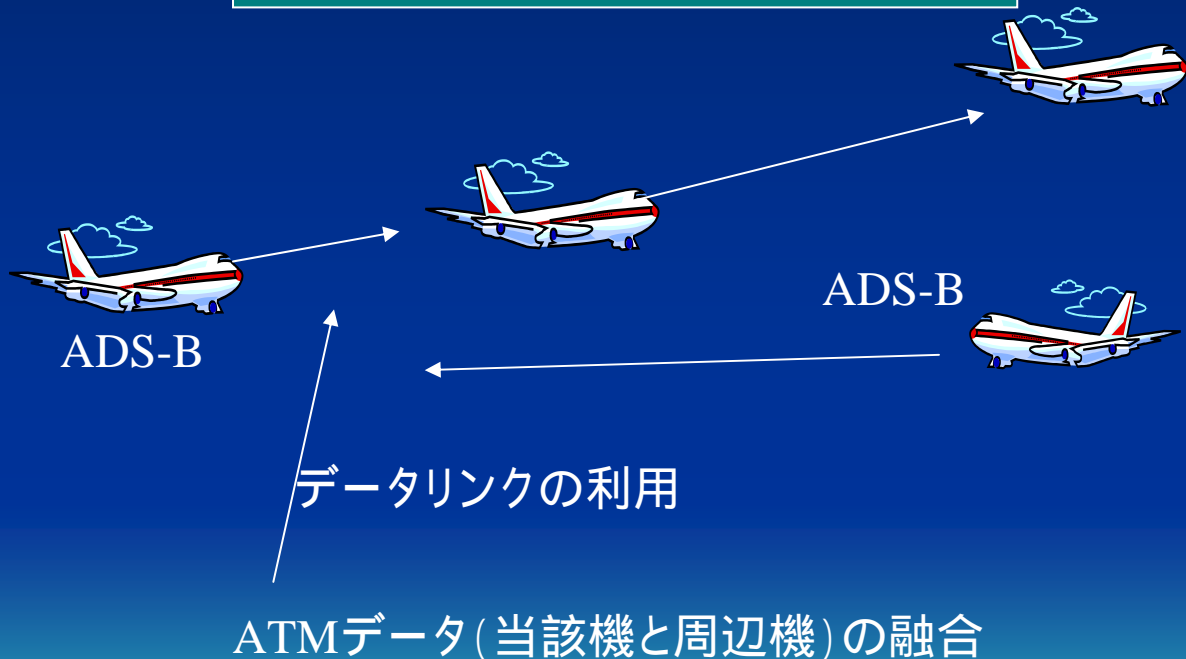
支援ツール

空域利用者の運用(AUO)

関連するOI

- 柔軟な空域
- 飛行レベルの調和
- 高空の空域の分類
- RNAV/RNP (PBN)
- 航空交通流管理
- 柔軟なATSルート設計
- 協調的空域設計と管理
- 状況認知
- ターミナルエリアの設計と管理
- RNP/RNAVのSID/STAR
- 機上との機能的統合
- 空港設計と管理
- 滑走路運用
- IMCとVMCの運用の一致
- 決定支援システムと警報システム
- データ通信応用
- 航空情報
- 気象システム
- WGS-84
- 航法システム
- 通信インフラストラクチャ
- 航空無線スペクトラム

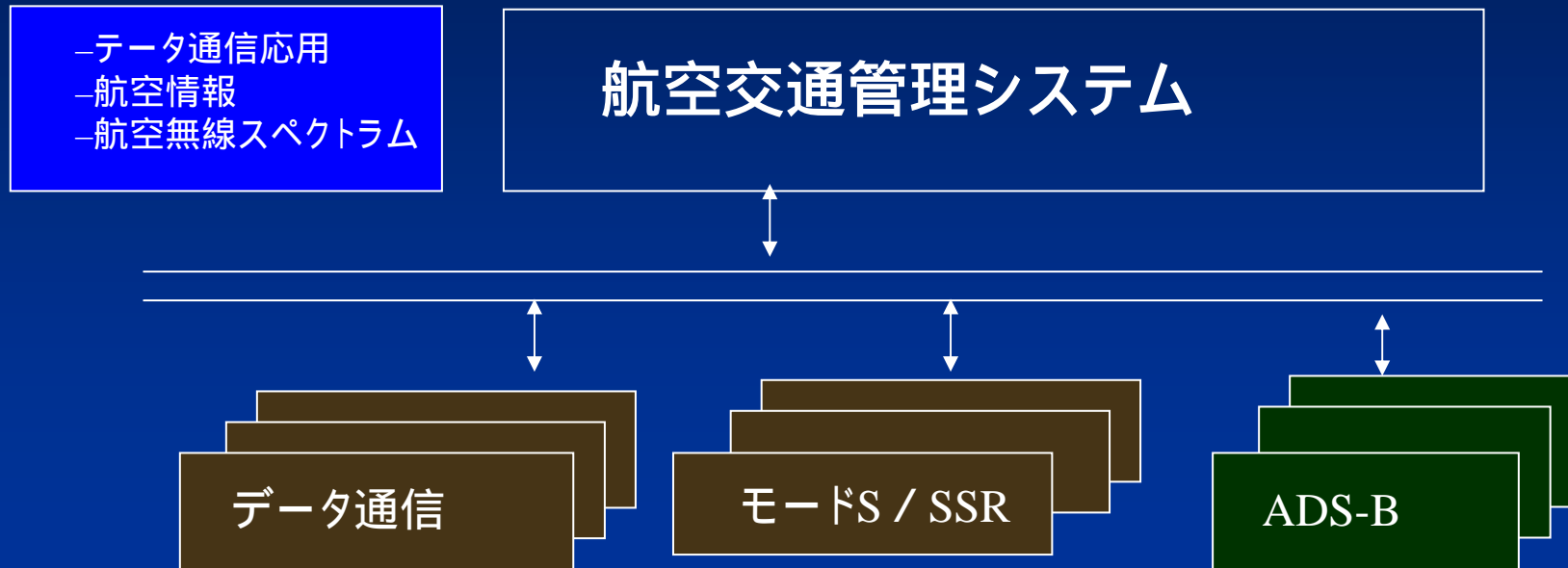
地上と機上の運航情報共有
(ADS-Bが想定されている)
自律的状況認識、コンフリクト管理
4次元航法を可能にする装備



ATMデータ(当該機と周辺機)の融合

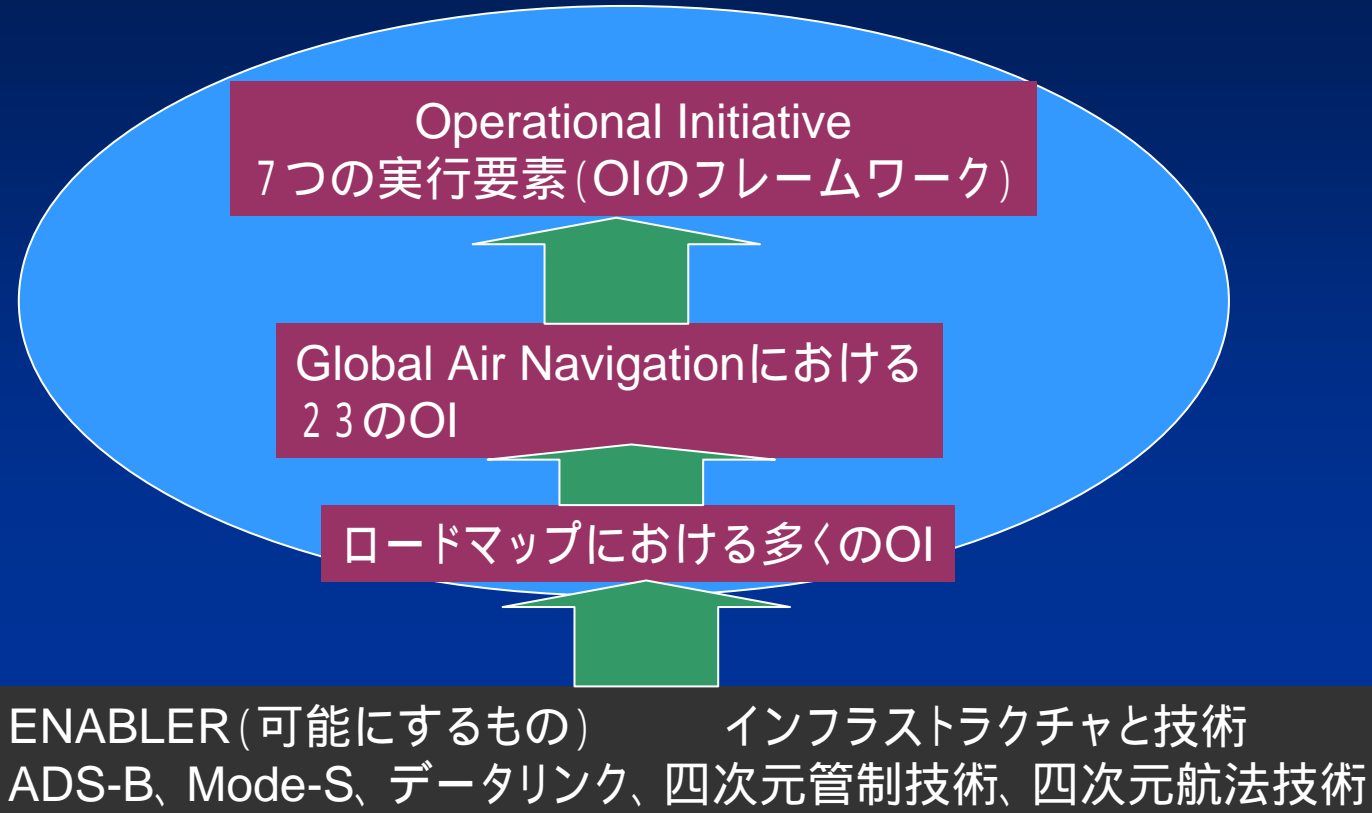
ATMサービス配送管理(ATMSDM)

関連するOI



運航情報 / 管制情報の共有によるCDM(協調的意思決定)
合意がシステムの基本であり、そのための時間遅れのない通信網が必要
トータルシステムとして動作する
情報のグローバル化とトータル的な最適化
コンフリクト管理や交通同期などの要素機能の統合

OI(運用)とEnabler(技術)



トラジェクトリの役割

- トラジェクトリが効率的な航法を支え、かつ共有することで効率性をできるだけ保ったままでの管制を可能にする。
- トラジェクトリがSWIMを介して共有される
 - フライトオブジェクト: オブジェクト指向のプログラムにおけるクラスの概念

Trajectoryと航空路の違い

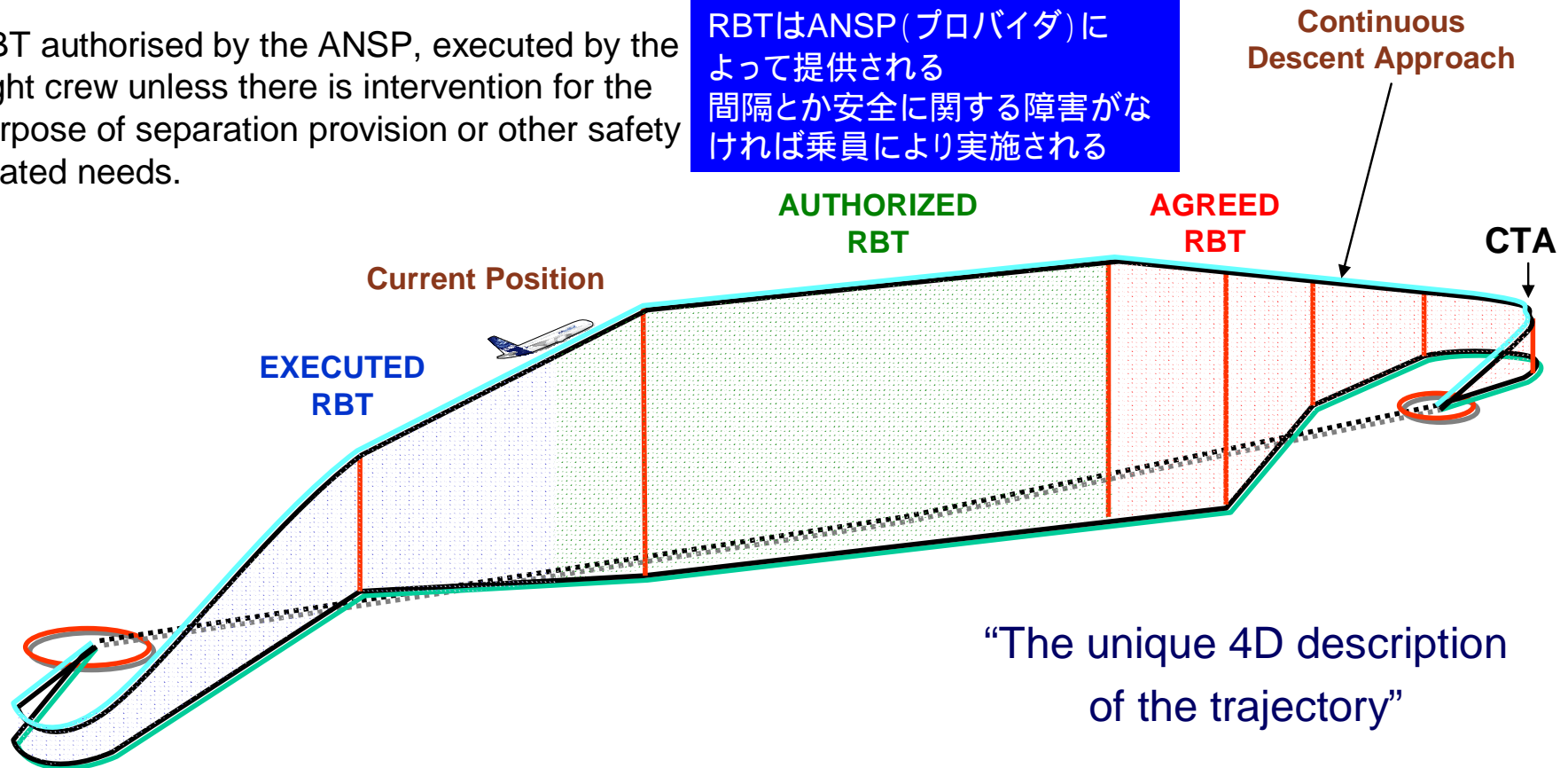
- 地上FIXにとらわれないルート
 - RNAVとの違いは？
 - RNAV / RNPは2次元トラジェクトリの様なもの
- トラジェクトリの次元
 - 2次元、3次元、4次元
- トラジェクトリの種類(設定時期により異なる)
 - Business Development Trajectory(長期的)
 - Shared Business Trajectory
 - Reference Business Trajectory(リアルタイム)



Reference Business Trajectory (RBT)

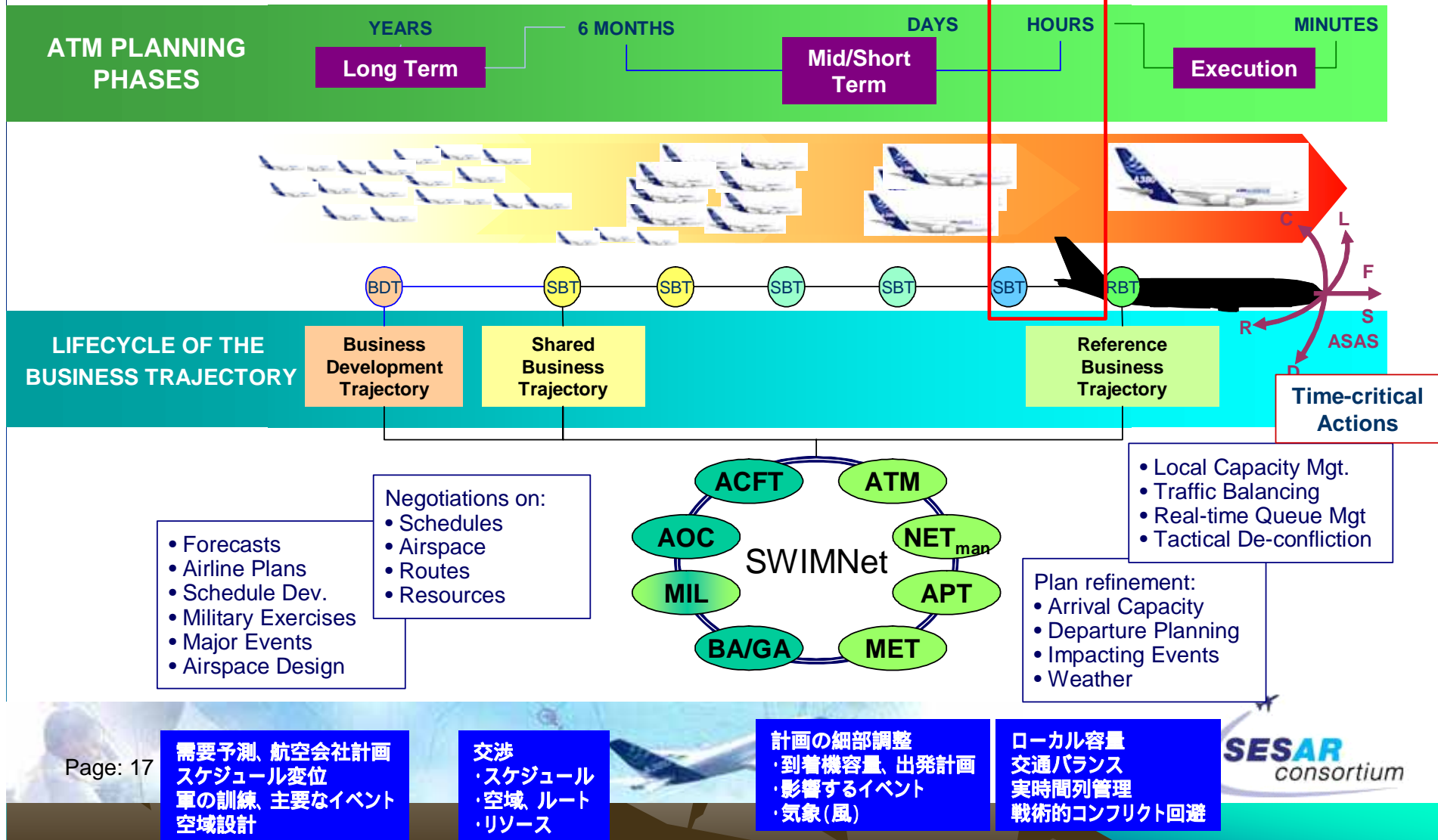
RBT authorised by the ANSP, executed by the flight crew unless there is intervention for the purpose of separation provision or other safety related needs.

RBTはANSP(プロバイダ)によって提供される
間隔とか安全に関する障害がなければ乗員により実施される



“The unique 4D description of the trajectory”

Trajectories in all the ATM processes



需要予測、航空会社計画
スケジュール変位
軍の訓練、主要なイベント
空域設計

交渉
・スケジュール
・空域、ルート
・リソース

計画の細部調整
・到着機容量、出発計画
・影響するイベント
・気象(風)

ローカル容量
交通バランス
実時間列管理
戦術的コンフリクト回避

列の管理

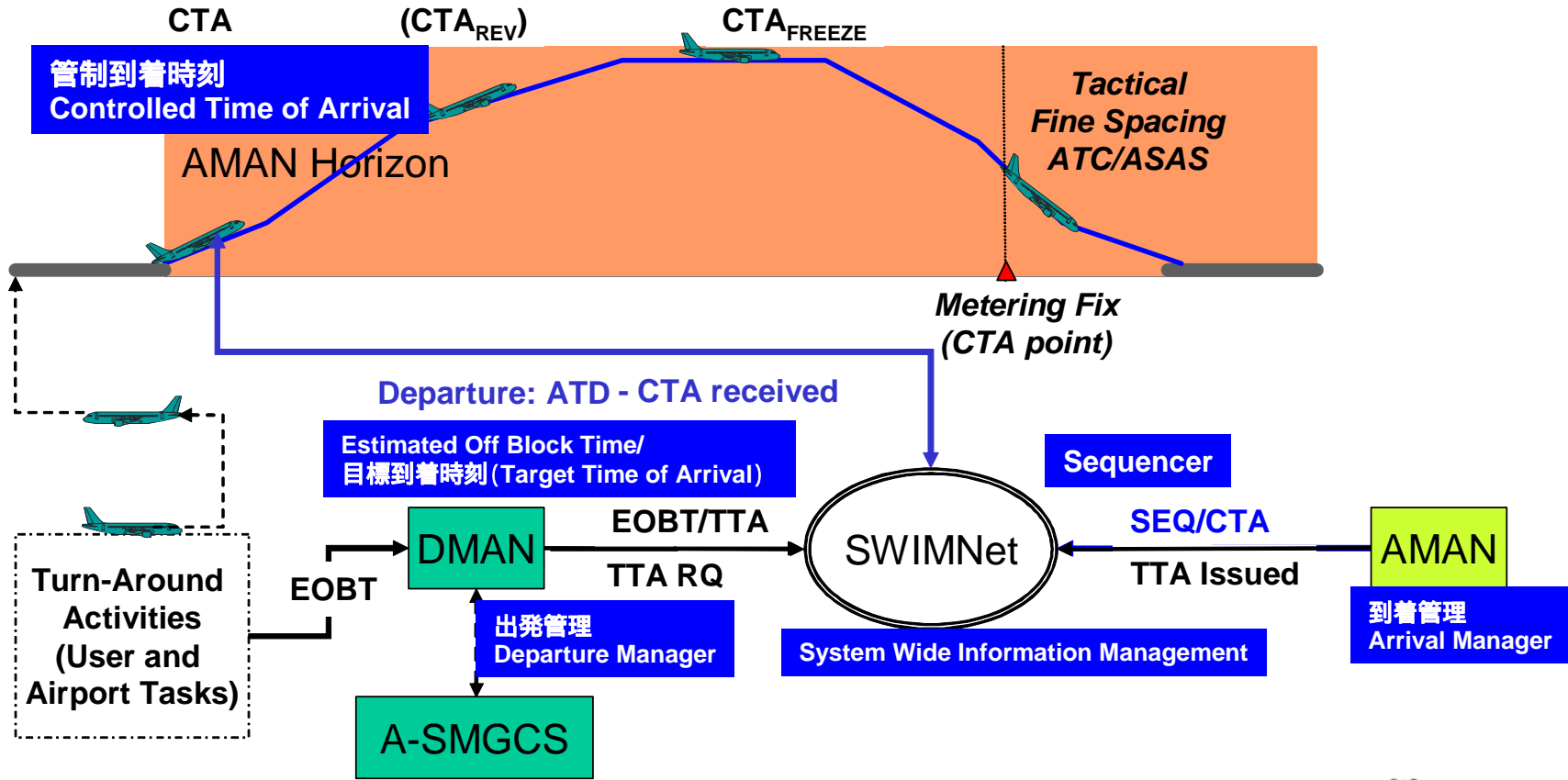
現実の世界では、全ての可能な最適化をした後でも需要が容量を上回ることがある
列を作ると言うことが容量を超えた需要の結果としてごく自然に発生する

列の管理は、交通の安全、秩序、効率性の戦術的確立および維持のためのものである。

空中と地上の両方の列のハンドリングを含む
個別のフライトについての運用
間隔付けのプロセスと非常に関連している

列の管理はそれ自身では遅延を軽減したり容量を増加させることはない
ゴールはスループット(通過処理容量)のよりよき管理, 遅延が最も燃料を削減でき、かつ環境的に受け入れられるように管理される。

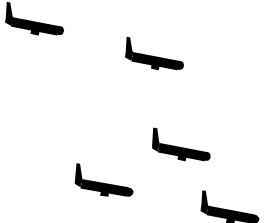
Queue Management (2)



SEQUENCE

Arrival Management processes assure an optimum arrival sequence by the allocation of **Controlled Time of Arrival (CTA)** at an appropriate fix

順序づけ 到着管理プロセスは、適切なFIXでのCTAを割り付けることにより最適な順序づけを保証する。



合流 ASPA(必要な間隔付け、ASAS)合流技術はFIXにおける精密な時間ベースの間隔付けを実現する

MERGE

ASPA Merging technique achieves precise pair-wise time-based spacing at fix

間隔付け ASPA In-Trail時間基準間隔付け 精密な最終進入時の間隔付けをあらゆる風の状態でも実現

SPACE

ASPA in trail time-based spacing - precise final approach spacing in all wind conditions

Continuous Descent Approach
Fuel Savings: 100-200kg (UPS, NUP2+)
30% less noise (6db) 34% less NOx

Increased consistent runway utilisation

CDA
燃料の節約

滑走路の利用性の向上



通信

SESARにおける通信の概要

データリンクが主要な方法となり、音声はバックアップとして残る

共通のネットワークプロトコル

全ての通信メディアについてseamlessである

(衛星、空地陸域、地上間)

2つの独立し、かつ補足的な方法に基づいた空地
データリンク:陸域と衛星

空港面通信データリンク WIMAX(IEEE 802.16)

統合された固定地上間IPベースネットワーク

(SWIM、Voice Over IP)

航法

SESARにおける航法の概要

GNSS (Galileo、GPS、必要に応じた補強システム
(GBAS、SBAS))

現在使われている援助施設の縮退

FMSと他の航空機機能の性能向上 (4D Trajectory
のサポート)

着陸 (ILS、MLSからGLS、HUD、EVS/SVSへ、滑走路効率
の改善など)

空港面移動 (SBAS、GBAS、Moving Mapなど)

航空機の主要な機能の変化

現在

長期的

飛行管理

気象情報と航空会社のパフォーマンス方針に基づいてプロファイルの最適化したRTを維持する

飛行管理

新しいIRBTの動作を監視し、現在のPTとRBTの許容を監視する

フライトガイダンス

ガイダンスの目標と位置データ、パイロット入力、その他のシステムからのRT (Reference Trajectory)の対応を提供する

飛行誘導

複数のCTO/CTAの垂直・水平のcontainmentを満たすように誘導する
戦術的なASPA、ASEPにより誘導する

ハザード認知

アラートを出すため、予測された軌道を陸地のデータベースと比較する

交通認識と回避

必要なspacing (ASPA)に入っていること、あるいはseparation (ASEP)が乗員に警報を与えることの監視

気象認知と回避

低視程時の陸域視認 (EVS)

陸域認知と回避

後方乱流と晴天乱流の検出

空地相互運用性

航空機と地上の点から点のデータ通信機能

空地 IOP/SWIM管理

タクシールートの目標時刻あるいはゲートのアップリンク、ASASの承認と情報、機上データベースの更新

空対空の相互運用性

放送データ通信機能 (例えばADS-B out)

空対空の情報交換

RBTとPTの放送

監視

SESARにおける監視の概要

主要な方法: 独立した協調的な監視

WAM、SSRモードS

ASASによる空対空の監視、間隔付けと安全間隔
(ADS-B)

協調的従属監視(ADS-B/out)

洋上の衛星をベースにしたADS-C

空港面

非協調システムによって支援される協調的監視

MLAT、SMR、ADS-B/outの統合

機上と地上の後方乱流と気象レーダ

後方乱流検知、LIDARによる予測、ドップラーレーダ

航空交通管理 (運用面)

SESARにおけるATMの考え方
Trajectory管理
SWIMによる、データのオブジェクト管理
2Dから3D、4Dへ

実現するには何をすればいいか 研究開発の要素



将来の航空交通管理のイメージ

- 4次元航法と効率的管理を実現するソフト
 - 効率的な航法(4次元航法による経路の効率化)
 - それを可能にする4次元管制への発展
- インフラの開発
 - 地上と機上との連携を実現するASAS/CDTI
 - 正確な予測技術を支える気象予測・ADS-B、モードS動態情報(監視)
 - 時間管理を可能にするFMS(航法、機上)
 - 広範囲な情報を管理できるOATA(SWIM)と通信技術



将来の航空交通管理を実現するためには 何が実現すればよいか(提案)

- 機上要件 (FMS要件等)
 - 4次元航法を可能とする時間管理機能を持つFMS
 - プロファイル管理を含めた通信機能と一体化
 - ASASを可能とする装備
- 監視機能
 - 位置、速度、時間の正確な地上センサ
 - 多くのセンサを統合した追尾機能
 - リアルタイムのフライトプラン管理
 - パイロットintentionや風の影響を考慮した精度の良い予測
 - 相互にコンフリクトを防止できる自律調整機能 (ADS-B/ASAS)
- 通信機能
 - 随時のプロファイルの交換を可能とする高速通信 (VDL-M2で可能かどうか?)
- 情報の一体化
 - SWIMなどのネットワークによる機上、地上通信、情報の一元化、一体化
 - 統合された情報を外部 (外国など) と協調できるCDM
- 4次元管制の機能を実現できる要素の開発
 - それぞれのプロファイルを管理し、順序間隔付けをスムーズに行える管理機能(管制)
 - 個々のプロファイルの管理、修正、機上との通信などが可能な機能
 - 修正可能な解を提供できるコアな機能

日本における長期計画

航空分科会答申



航空分科会の提言と電子航法研究所の研究

- 航空交通量増大への対応
- 円滑かつ効率的な航空交通の形成
- 就航率の改善等による利便性の改善
- 危機管理対応を含む高い安全性の確保
- 国際連携等



航空分科会答申(1)

航空交通量増大への対応

- 空域の処理容量拡大および有効利用
 - － 関東空域再編関連実時間シミュレーション
 - － 空域の柔軟な利用(H20から「ターミナル空域の評価手法に関する研究」が関連している)
 - － 空域や経路構成の評価と再設計をし、空域構成の最適化をはかる(H20から「ターミナル空域の評価手法に関する研究」が関連している)
 - － 太平洋上空でのMTSATを活用した管制間隔短縮(衛星航法関連研究、安全性評価の研究)

電子航法研究所における 将来ビジョンにむけた研究の現状と今後

- ATM
 - trajectory管制を将来的に目指した研究の開始
 - 支援ツールの研究開発
 - ATMパフォーマンスの推定など
 - コンフリクト解決、コンフリクト管理
- C(通信)
 - 将来通信システム関連研究
- N(航法)
 - ASAS(ES)の研究の継続、Tailored Arrival
 - GNSS関係の研究継続
- S(監視)
 - ADS-B、MLAT
 - モードS(動態情報を含む)の研究
- 全体システム(SWIMなど)
 - ATNの部分は実施、空地通信の部分は継続予定
- 安全性研究(RNAVなど、今後も継続する)
- ヒューマンファクタ(航空管制官について実施)

最後に

- ご静聴ありがとうございました
- 今後ともご支援よろしくお願いいたします。

