

機上監視応用方式(ASA) の 検討状況



独立行政法人電子航法研究所
機上等技術領域 小瀬木 滋

あらまし

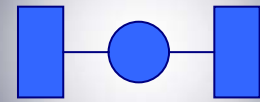
- 機上監視ASと応用ASAとその検討状況
 - 航空交通量増加への対応手段、安全性向上
 - ICAO, ASAS-RFG, 各国の研究
- 初期のASAの例: ATSA
 - ATSA-VSA、ATSA-ITP
- 今後の課題
- まとめ

航空通信衛星



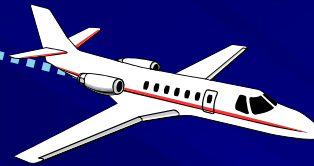
衛星位置と時刻の放送
= 時刻 & 航法情報

GNSS



空域・航空路の設計

航空機相互監視は？



FMS: 運航自動化

通信: C

航空無線通信

GNSS補強
情報放送

SBAS
GBAS

航法: N

航法援助施設
DMEなど

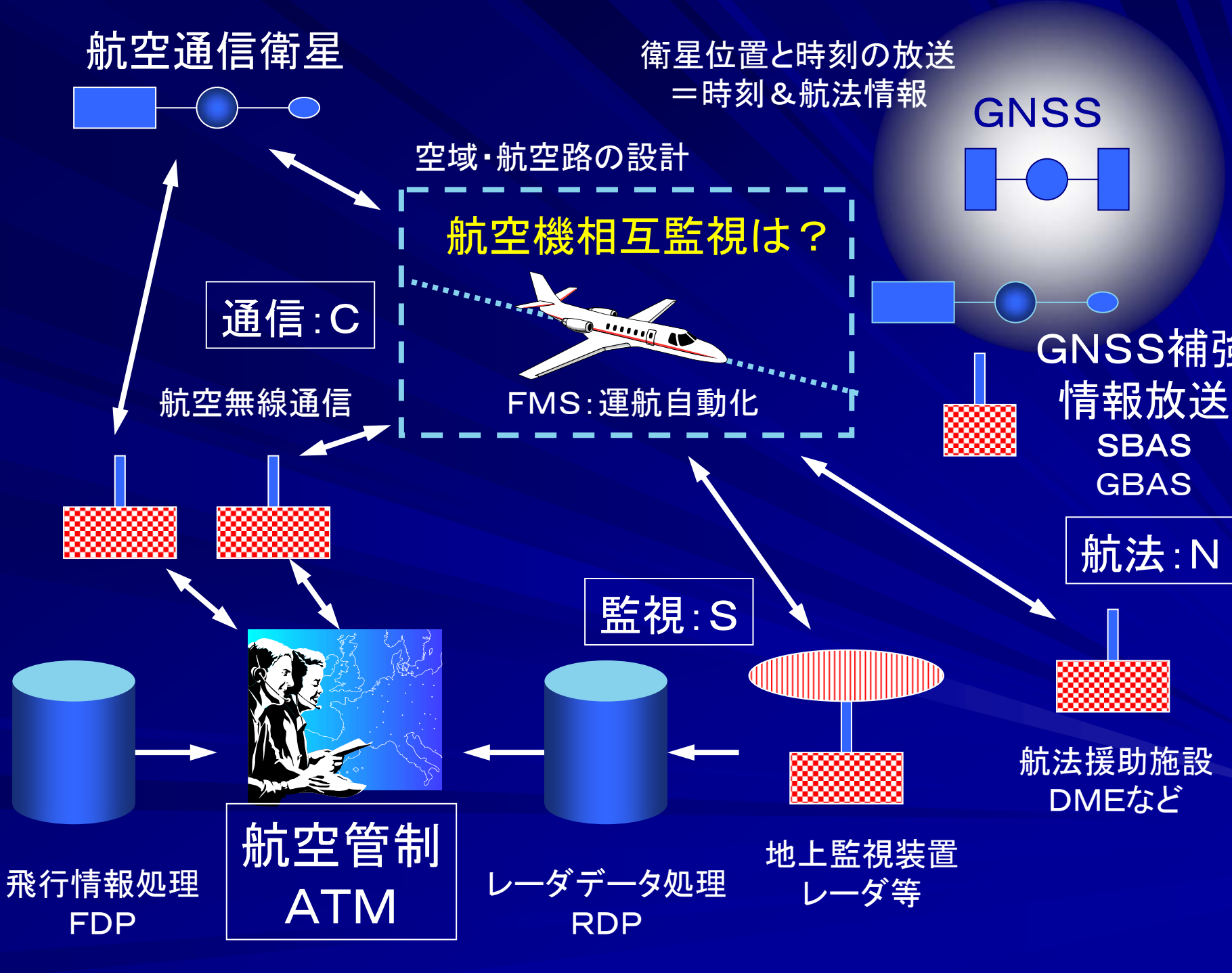
監視: S

地上監視装置
レーダ等

航空管制
ATM

飛行情報処理
FDP

レーダデータ処理
RDP



機上監視装置:ASAS

Airborne
Separation
Assistance
System



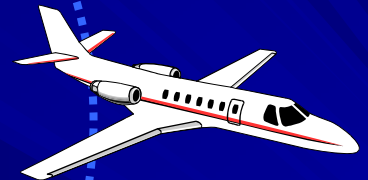
監視とその応用

機上監視応用:ASA

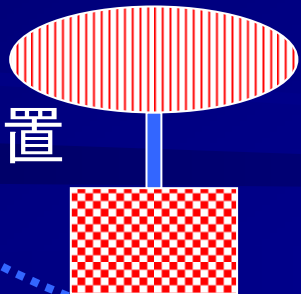
Airborne Surveillance Application

航空機間隔の相互確認 判断支援

間隔設定
Separation Provision
のための状況認識



地上監視装置
レーダ等



地上監視応用:GSA

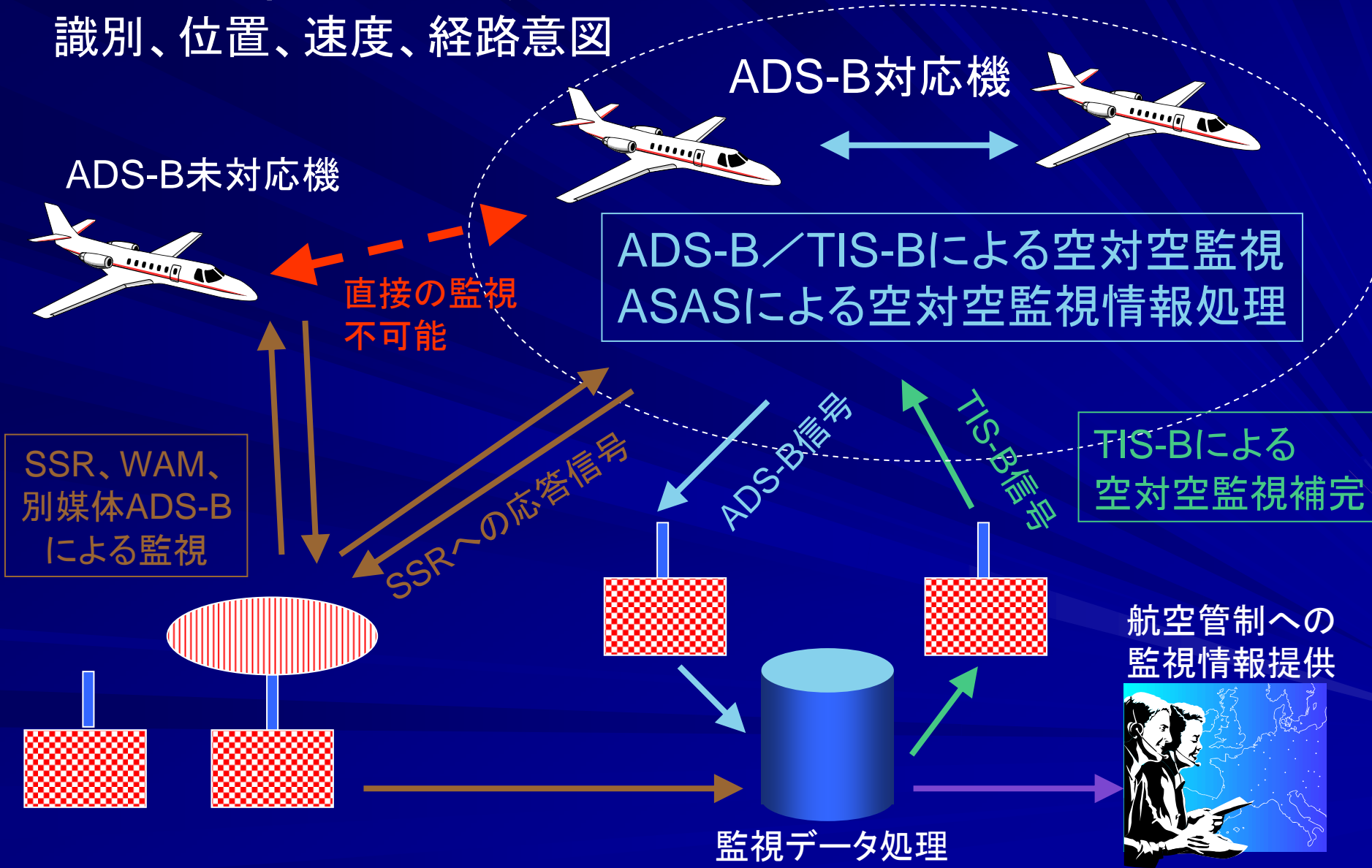
Ground Surveillance Application

航空管制:航空機間隔の設定

監視情報の交換

識別、位置、速度、経路意図

高性能の航法インフラが前提



ASAS標準化：要件の検討状況

- **基本方針：運用者の要件を満たす機器開発**
- **ICAO ASパネル会議 (Technical) 他**
 - ATM実現のための機上監視ASに関するICAO方針案
 - **パネル毎に異なるASAS応用概念：用語ASASの問題**
 - ASAS-RFGの成果導入を期待
- **ASAS-RFG： Requirement Focus Group**
 - 米国FAAとEUROCONTROL共同会議に日豪露を追加
 - RTCAとEUROCAE合同開催に変更
 - **応用定義から、性能分析、安全性分析、共用性要件へ**
- **ASAS Thematic Networkによる情報交換**
- **機上監視応用ASAとしてASAS応用概念を調整中**
 - Airborne Surveillance Application

異常接近防止手段の階層構造



目視回避（操縦者）
See & Avoid

衝突防止支援（ACAS）
Collision Avoidance

間隔設定（ATM：GSA/ASAも活用）
Separation Provision



交通流量事前調整
（ATM）

トライアル:UPS社のCDA支援

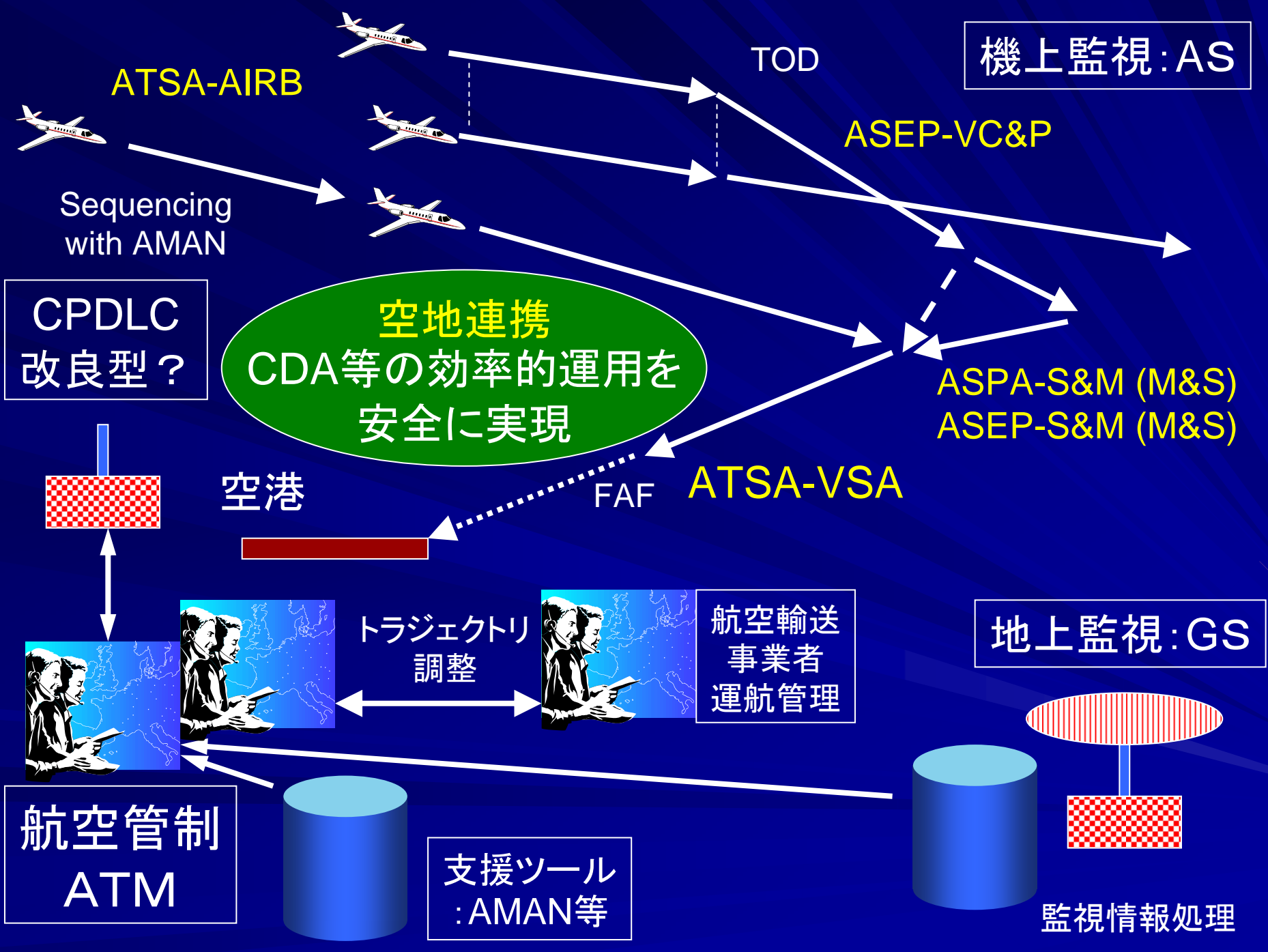
Continuous Descend Arrivalによる航空機運用効率改善
着陸経路にてエンジンは低出力一定状態を維持

騒音	6dB低減
NOx放出量	3000ftにて34%減少
燃料消費	飛行あたり250~465ポンド節約: 22000飛行の80%にCDA運用成功を 想定すると880,000ガロンの節約

CDA成功率向上:降下経路前に交通流円滑化が必要

＜本発表会講演番号3参照＞

ASA:合流支援、間隔付け支援、状況認識向上



ATSA-AIRB

Sequencing with AMAN

CPDLC
改良型?

空地連携
CDA等の効率的運用を
安全に実現

空港

航空管制
ATM

支援ツール
: AMAN等

トラジェクトリ
調整

航空輸送
事業者
運航管理

地上監視: GS

監視情報処理

机上監視: AS

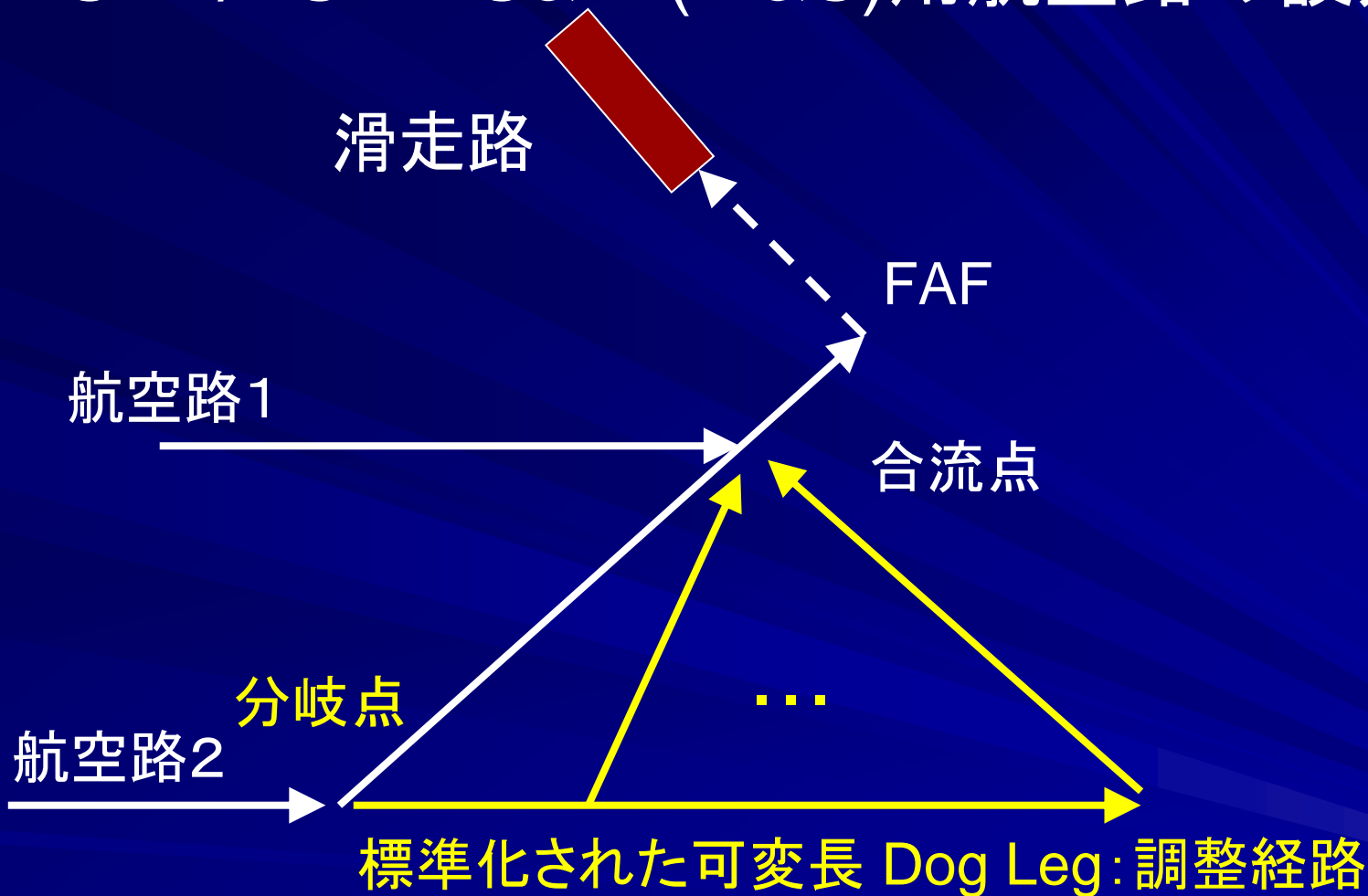
TOD

ASEP-VC&P

ASPAS&M (M&S)
ASEP-S&M (M&S)

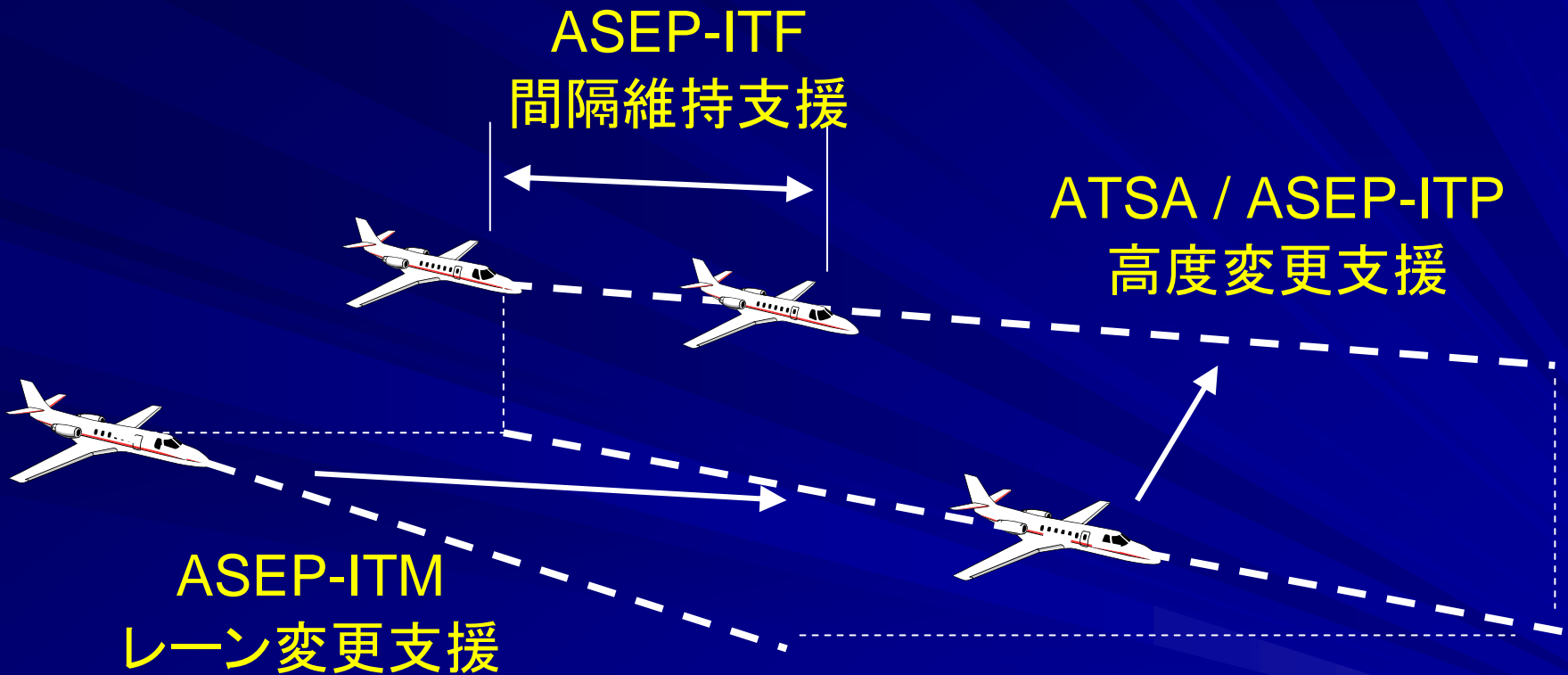
FAF ATSA-VSA

ASPA/ASEP-S&M (M&S)用航空路の設定例



DSNAがASPA-S&M / ASEP-S&M管制シミュレーションに使用
標準経路を設定し判断を定型化: 支援自動化機器も容易に実現
〈本発表会講演番号8参照: 図7にも類似の例〉

洋上航空路の運用改善



航空機の最適高度を選択し燃費向上 (ITP, ITF)
航空機の最適経路を選択し燃費向上 (ITM, ITF)
洋上航空路と到着空域との接続改善 (ITM, ITF)
編隊運用による通信負荷軽減 (ITF)

PO-ASASによる分類

- Airborne Traffic Situational Awareness: **ATSA**
 - 交通状況認識拡張強化による判断過程改善
- Airborne Spacing: **ASPA**
 - 交通状況認識共通化による管制通信の改善
- Airborne Separation: **ASEP**
 - 一時的な間隔付け責任の委譲による効率化
- Airborne Self-Separation: **SSEP**
 - 限定空域内で操縦者による飛行間隔の自律的維持

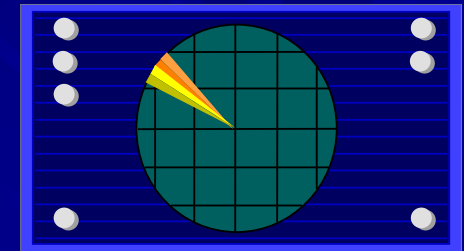
Principals of Operation for ASAS

Airborne Traffic Situational Awareness

パイロットへの監視装置提供



ASAS監視



従来の運用方式

+

ASAS監視追加と改善

航空管制



現状と同じ運用方式の円滑化と安全性向上

ASAS-RFG検討中の応用(AP1)

応用名称	ASAS応用の概要(報告目標)
ATSA-VSA	着陸経路目視間隔付け支援(2007)
ATSA-AIRB	飛行中の交通状況認識向上(2008)
ATSA-ITP	洋上航空路高度変更支援(2007)
ATSA-SURF	空港面相互監視支援(2008)
ASPA-S&M	合流間隔付け支援と通信改善(?)

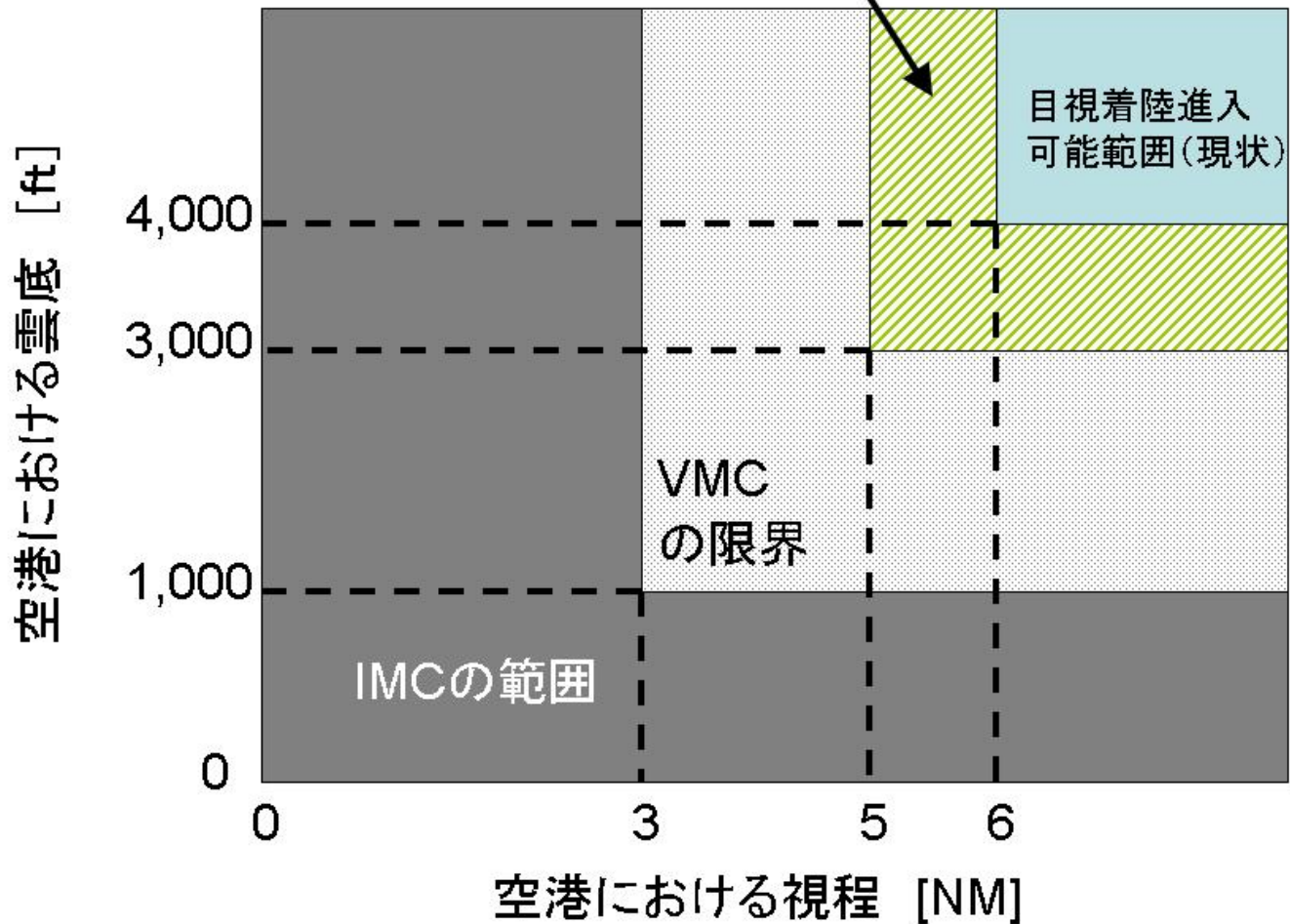
ADS-Bの航空管制への応用も検討中: ADS-B-NRA等
他の応用(ASEPや空地連携等AP23)は今後の課題

ATSA-VSAの概要

- Visual Separation Approach
- 応用: 着陸経路の目視間隔運用支援
- 効果: 安全性向上、空域利用率向上、VSA機会増加
 - パイロットの視認支援: 作業負荷軽減、VSA Minima改訂
 - 管制通信回数の減少: 管制官作業負荷軽減
 - 空域交通状況の認識: 速度微調整、CDA成功率向上
- 環境: 導入は比較的容易
 - 単一または平行滑走路、先行機にADS-B-OUT
 - 実施可否は管制官の判断
- 課題: 応用方式の標準化、安全性分析、Fall Back等
 - RFGではこれらの分析用の標準運用シナリオを選定中

ATSA-VSAの効果

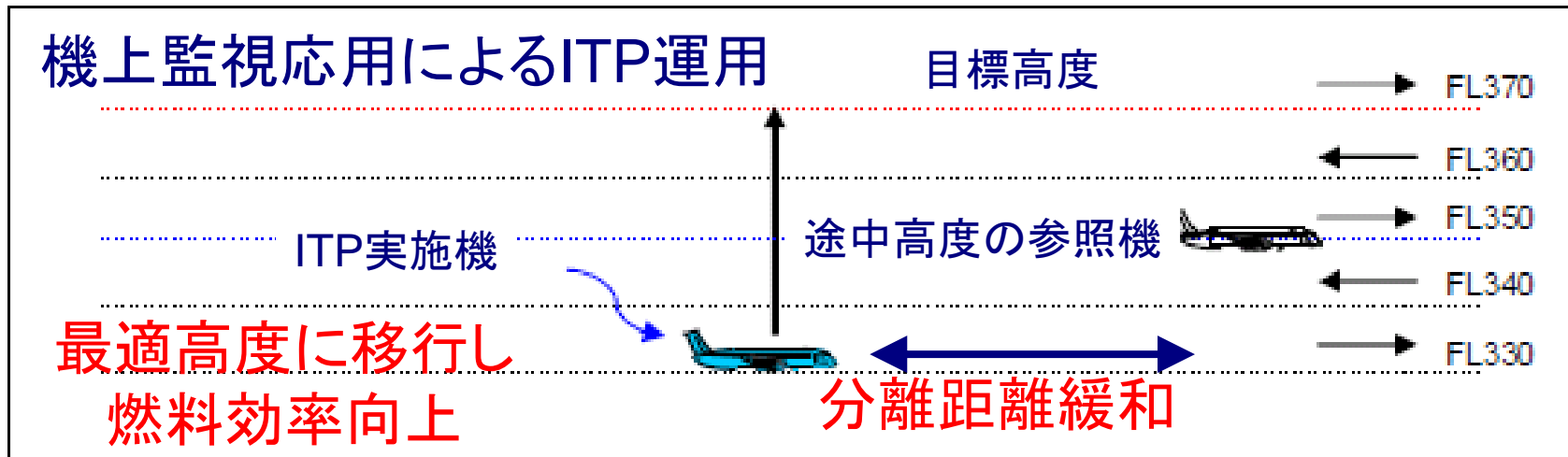
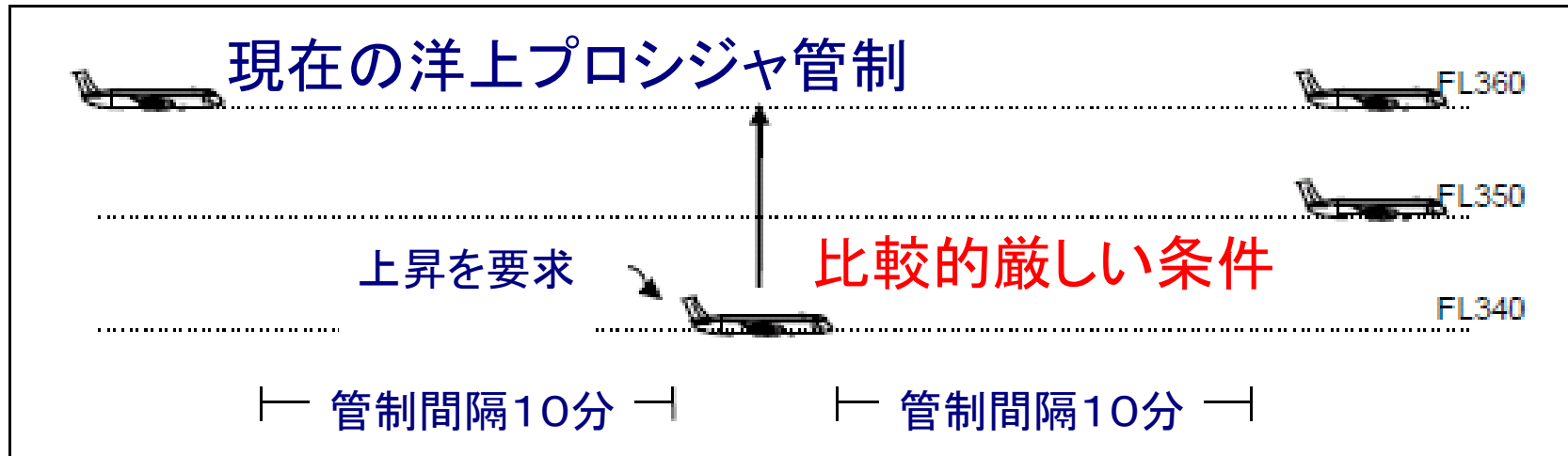
ATSA-VSAによる目視着陸の拡大部分 (FAA案)



ATSA-ITPの概要

- In-Trail Procedure
- 応用: 洋上航空路にて高度変更支援
- 効果: 最適高度への変更の機会増加: 燃費改善
 - パイロットの空域状況認識支援: 安全性向上
 - 短縮された安全確認間隔: 高度変更の機会増加
- 環境: 導入は比較的容易
 - 洋上航空路、参照航空機にADS-B-OUT搭載
 - 実施可否は管制官の判断: 短波通信またはCPDLC
- 課題: 応用方式の標準化、安全性分析、Fall Back等
 - DME手順を参考、安全性評価は独立に計算?

ATSA-ITP / ASEP-ITP

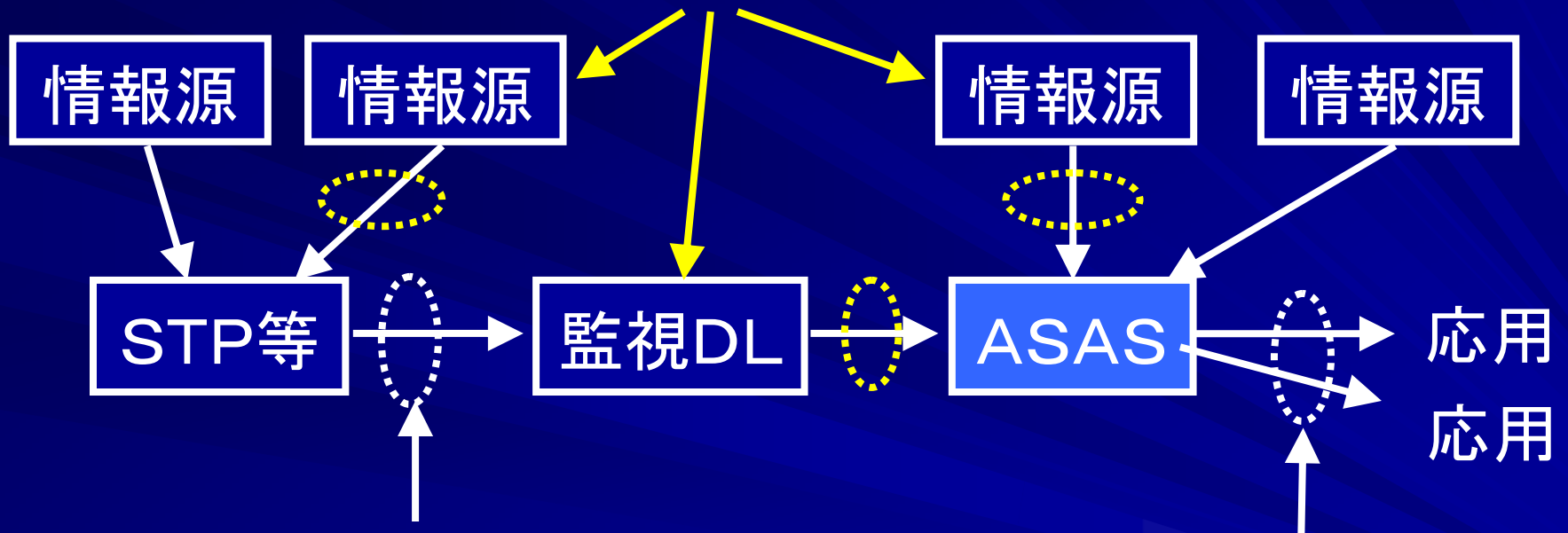


今後の課題

- 要件検討と標準化: ASAS-RFG、ADAS-DUG他
 - 運用方式開発、安全性分析、性能要件抽出など
 - 性能要件を基にしたASAS仕様標準化
 - より進んだATM適合応用方式
 - 空地連携、トラジェクトリ管理、CDM...
- 技術的課題の解決
 - ASAS入力情報の品質の評価
 - 補強技術の開発: 必要に応じて
 - 応用目的に応じた表示方式開発 (ITP用は他と異なる)
 - 総合的な安全性評価
- 運用上の課題の解決: Third Party Phraseology
 - 第三者航空機を明示する管制通信方式など

ASAS性能要件の要素

信号干渉発生: 情報更新レート等劣化



TQL: Transmit Quality Level
送信情報の品質を規定

ACL: ASA Capability Level
ASAS応用対応範囲を規定
ASAS性能 = 監視性能 + α

多様な応用への対応が必要
ASAS性能は相手機と環境に依存

応用毎に要件設定
実現性能は入力の質に依存

まとめ

- 機上監視応用ASAの概要紹介と現状報告
 - 空域運用者の情報共有支援によりATMに寄与
 - 状況認識支援から自律的間隔設定まで
- ASA標準化の動向： ASAS-RFG
 - 応用方式の要件から性能要件を抽出中
- 機上監視応用の例： ATSA-VSAおよびITP
- 今後の課題
 - 将来のATMに適した応用の選択と機器要件抽出、標準化
 - 運用環境と実現性能の予測などの技術課題
 - 第三者航空機を明示する管制通信方式など運用課題

Backups

ASASとは

- Airborne Separation Assistance System
- 航空機間隔維持支援装置
- An aircraft system based on airborne surveillance that provides assistance to the flight crew supporting the separation of their aircraft from other aircraft.
(by ICAO ASAS circular)
- 航空機間隔維持のために飛行乗務員を支援する**搭載監視装置**

TCASのTAディスプレイの例

これで十分か？



ASASの範囲

- 航空交通に関する状況認識を増強
- 他の航空機との間隔維持を支援
- 「完全な状況認識」ではない
 - 除外：航空気象、対地接近警報、空域構造
- バックアップとしての衝突防止警報とは別
 - ACAS/TCASとはある程度の独立性を持つ

機上監視応用ASAの検討経緯

- ACAS/TCAS開発とその目的外使用
 - Airborne Collision Avoidance System
 - 衝突防止警報以外への監視情報応用
 - トライアルにて問題: 監視性能不十分、識別機能欠如
- ICAO ASAS circularの作成と概念検討開始
 - Airborne Separation Assistance System
 - SICASパネル会議とSCRSパネル会議で討議
 - 運用関連パネル会議では異なる概念
- 将来のATMを支援する航空機搭載監視として
 - AS (Aeronautical Surveillance) パネル会議等で討議
 - ATM実現のための航空機搭載監視: AS Applications

ASASとACASの独立性

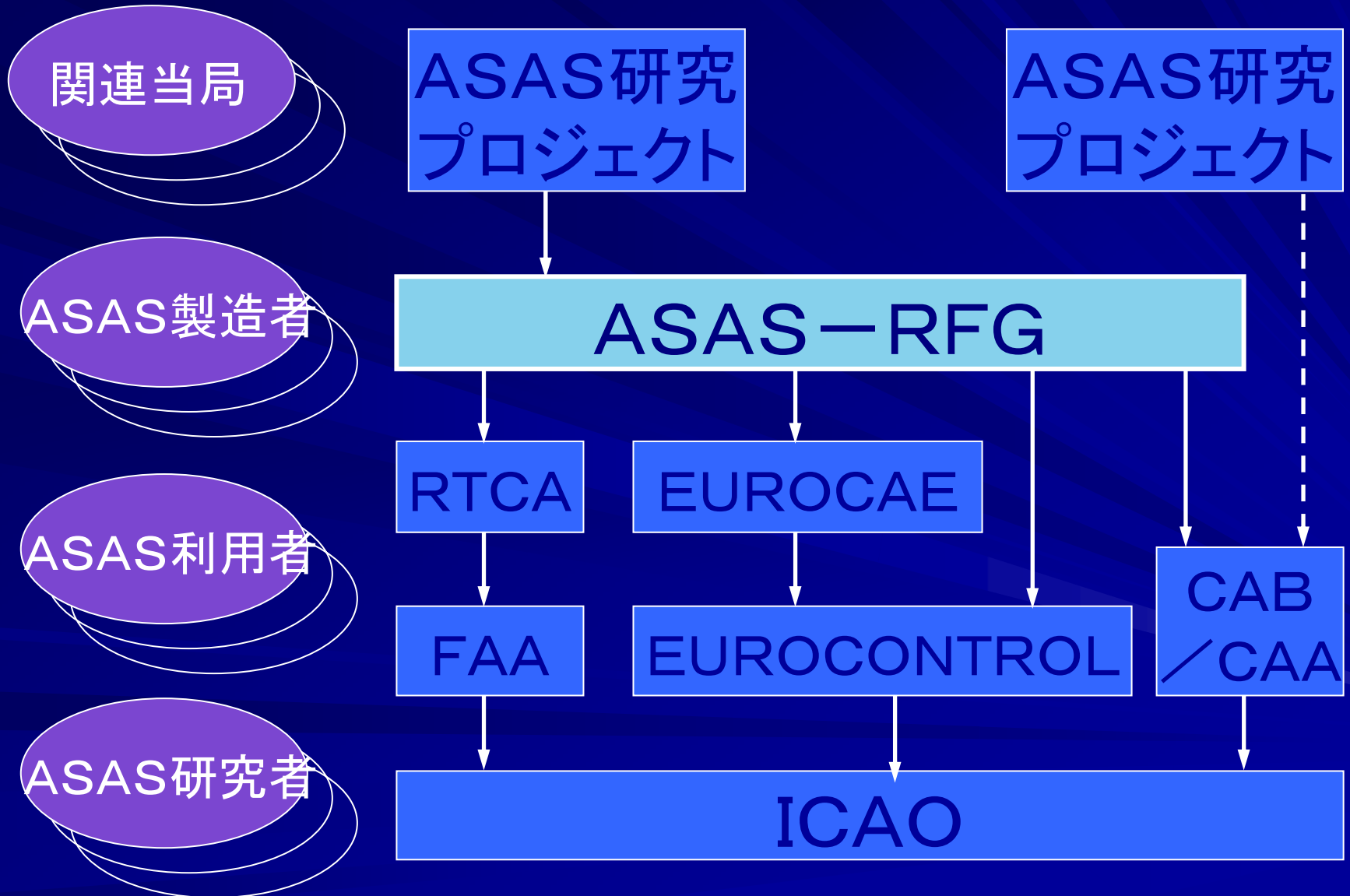
- ASASとACASは独立した安全手段
 - ASAS: 飛行間隔を維持する主たる手段の一部
 - ACAS: 衝突防止のためのバックアップ
- 独立性維持のための技術的手段

	ASAS	ACAS
監視方式	放送型監視DL	二次レーダ
判断方式	ASSAP処理方式	ACASアルゴリズム
ATM	構成要素の一つ	要素外:バックアップ

ACASとの相互作用：課題

- ASASとACASの警報の整合性
 - ACASの不要警報低減に課題
- 一部のACAS不要警報をASASが抑圧
 - 独立性の維持と抑圧判定方法
- CDTIの共用
 - 両者の位置情報に品質の差
- ACAS複合監視方式と独立性維持
 - 接近機への二次レーダ監視方式適用

ASASの標準化



導入までの課題：応用毎

- ASAS応用の定義：改善目標設定
- ASAS運用要件の定義
- ASAS機能・性能要件の定義
- 有効性や安全性の評価：導入判定
- ASAS運用方式や機能性能の標準化
- 訓練方式や導入移行方式の策定

ASAS-RFGの作業

現場の要望 > システム開発 > 標準化 > 導入

ASAS-RFG

- 運用方式標準化日程案を報告
 - 2007年12月: ADS-B-RAD
 - 2007年12月: ATSA-VSA, ATSA-ITP
 - 2008年9月: ADS-B-APT、ATSA-SURF
 - 2008年9月: ATSA-AIRB
 - 検討中: ADS-B-ADD
 - 検討中: ASPA-S&M(UPS社評価に依存)
- RTCA/EUROCAEのMASPS, MOPS案作成
 - STP, ASSAP, CDTIなど

ASAS—RFG作業の流れ

- 応用の定義(応用毎): AD
 - **OSD** : Operational Service & Environment Description
- 性能や安全性の要件検討(応用毎): SPR
 - **OPA** : Operational Performance Analysis
 - **OSA** : Operational Safety Analysis
 - **OHA** : Operational Hazard Analysis
- 共用性要件抽出 (応用に共通): INTEROP
 - **INTEROP** : Interoperability

ASASの応用

- ASAS Applications
- A set of operational procedures for controllers and flight crews that makes use of an ASAS to meet a defined operational goal.
 - by ICAO ASAS circular
- 運用目標実現のためのASAS運用方式
 - 管制官とパイロットの両方が関与
- PO-ASAS
 - Principles of Operations for the use of ASAS
 - FAA/EUROCONTROL co-operative R&D, Action Plan 1, June, 2001

飛行間隔維持の責任

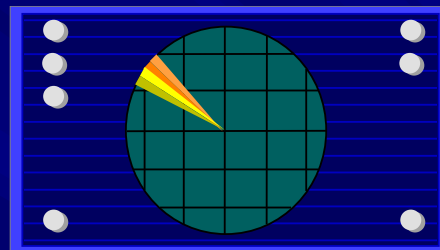
PO-ASAS	責任分担	管制官の変化	操縦者の変化
Traffic Situ. Awareness	変化なし	情報管理改善 通信負荷軽減	空域情報取得
Airborne Spacing	変化なし	通信負荷軽減	高レベル管制用語を具体化
Airborne Separation	戦術的委譲	戦略的空域運用に重点	管制指示により戦術的判断
Airborne Self-Sep.	戦略的委譲	戦略的判断に専念	操縦者による総合的な判断

ICAO内でも異なるパネル会議の間で整理方法が異なる

Airborne Spacing

監視情報の共有と管制通信の効率化

JA8801



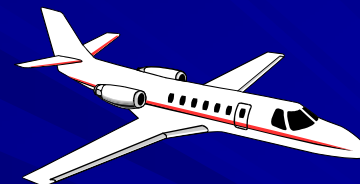
ASAS監視

航空管制



状況確認支援
管制通信方式改良

JA8804



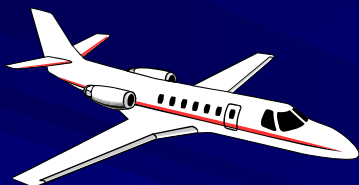
- JA8801, keep 5 NM after JA8804
- Tokyo ACC, 5NM after JA8804 kept by JA8801 (用語は検討中)

情報共有による管制通信方式の円滑化と安全性向上

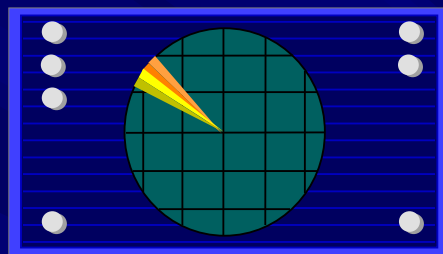
Airborne Separation

管制官の指示による判断権限の限定的委譲

JA8801



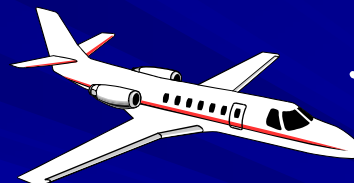
航空管制



ASAS

状況認識支援
回避判断支援
間隔維持支援

JA8804

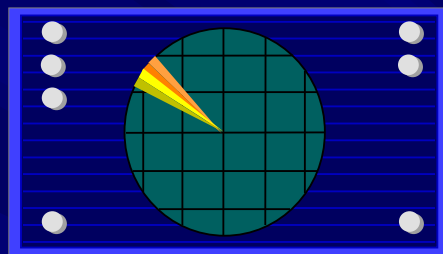
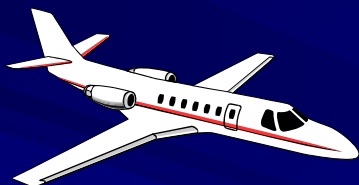


- JA8801 and JA8804, ASAS turn
- Tokyo ACC, JA8801
- Tokyo ACC, JA8804

パイロット／管制官の作業分担最適化による円滑化と安全性向上

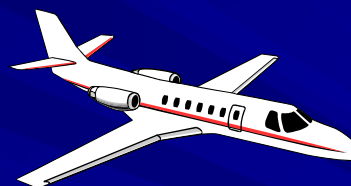
Airborne Self-Separation

適用空域内で自律的な間隔維持



ASAS

状況認識支援
回避判断支援
間隔維持支援



航空機による自律的な間隔維持
航空管制は交通流制御に専念

パイロット／管制官の作業分担最適化による円滑化と安全性向上

ICAO AS Timeline (ASP案)

ASAS関連研究やRFGの動向調査結果に基づく立案

- 2008: 3rd party ID管制通信手順作成
- 2008: 多目的トラフィック表示のACAS対応
- 2008: 航空機監視データの高レベル要件
- 2009: AS(機上監視)システムの定義
- 2011: AS RSPの定義

パネル会議からICAO/ANCへの提案であり変更があり得る

ICAO AS Timeline (ASP案)

■ ITP関連

- 2008: ITP管制間隔規準
- 2009: ITP機能要件の定義
- 2010: ITP運用基準と他のICAO文書の整合

■ M&S関連

- N/A: M&S間隔付け規準作成
- 2011: M&S機能要件の定義
- 2011: M&S運用基準と他のICAO文書の整合

パネル会議からICAO/ANCへの提案であり変更があり得る

EUROCONTROL

- ELS/EHS機能の搭載期限2007年3月31日
- 1090MHz信号環境改善方策を検討
 - 新技術: ADS-B, M-LAT導入
 - レーダ: 運用最適化、クラスタ化、軍民運用協調
 - 1090MHzスキッタの延命が可能と期待
- SESAR計画の立案と実施: インフラ更新
 - Single European Sky ATM Research
 - 2005-2008 定義・方針決定
 - 2008-2013 開発
 - 2014-2020 導入評価

2007年3月に
最初の報告が

各国の関連将来計画

■ オーストラリア

– ADS-B-NRAによる管制監視:高々度から義務化

■ 米国:NAS改訂版、NEXTGEN

– ADS-Bによる管制監視補強:2012~

– 空対空監視による運用改善:2019~

■ 欧州:CASCADE、CRISTAL、SESARなど

– ADS-Bを活用する管制監視:2010~

2010-2015:ADS-Bの管制応用開始

2015-2022:機上監視応用の本格化

データリンク活用

各国動向

- ADS-B-NRA: 米、瑞、豪
- SSRモードS: 米、欧、タイ、日
- トラポン異常調査: 米、欧、豪、日
- 信号環境調査: 米、欧(独:対策)、日
- **ASAS trial**: 米、欧、豪
- WAM: 米、英、独、豪
- 空港面M-LAT: 米、欧、豪、日
- 小型機モードS: 英、独 (米はUAT)

動向分析:発表者見解

- ADS-B-NRA機器導入 インフラ偏在国で早期
- ADS-B情報検証が必要 SSRとWAM
- ASAS実現条件 搭載率向上とTIS-B
- CDA実現条件 ATSA-VSA, ASPA-S&M(M&S)
- ATSA-ITP促進 経済効果、空域内性能均一
- 監視戦略に信号環境配慮 独の例
- 不安要素 搭載機器の品質管理
- 小型機監視近代化 欧:モードS、米:UAT

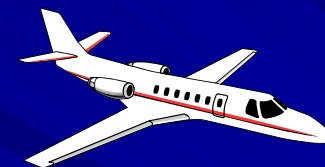
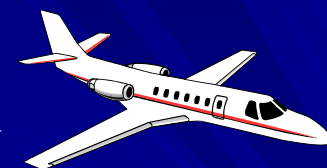
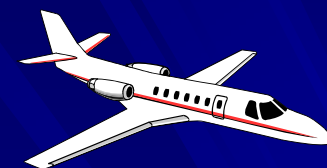
機上監視ASの情報源

- 監視 : Surveillance : 位置、速度、識別、意図
 - ADS-B : Automatic Dependent Surveillance – Broadcast 航空機が相互に放送
 - TIS-B : Traffic Information Service – Broadcast レーダ等地上の監視装置からの情報を放送
 - ACAS監視情報による検証
 - 自機の位置、速度、意図が必要
- 必要な精度と信頼性は応用ごとに決定
- 多様な情報源の時刻同期や伝送遅延が課題

監視情報の交換

識別、位置、速度、_intent

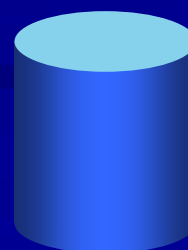
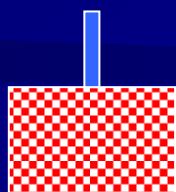
ADS-B対応機



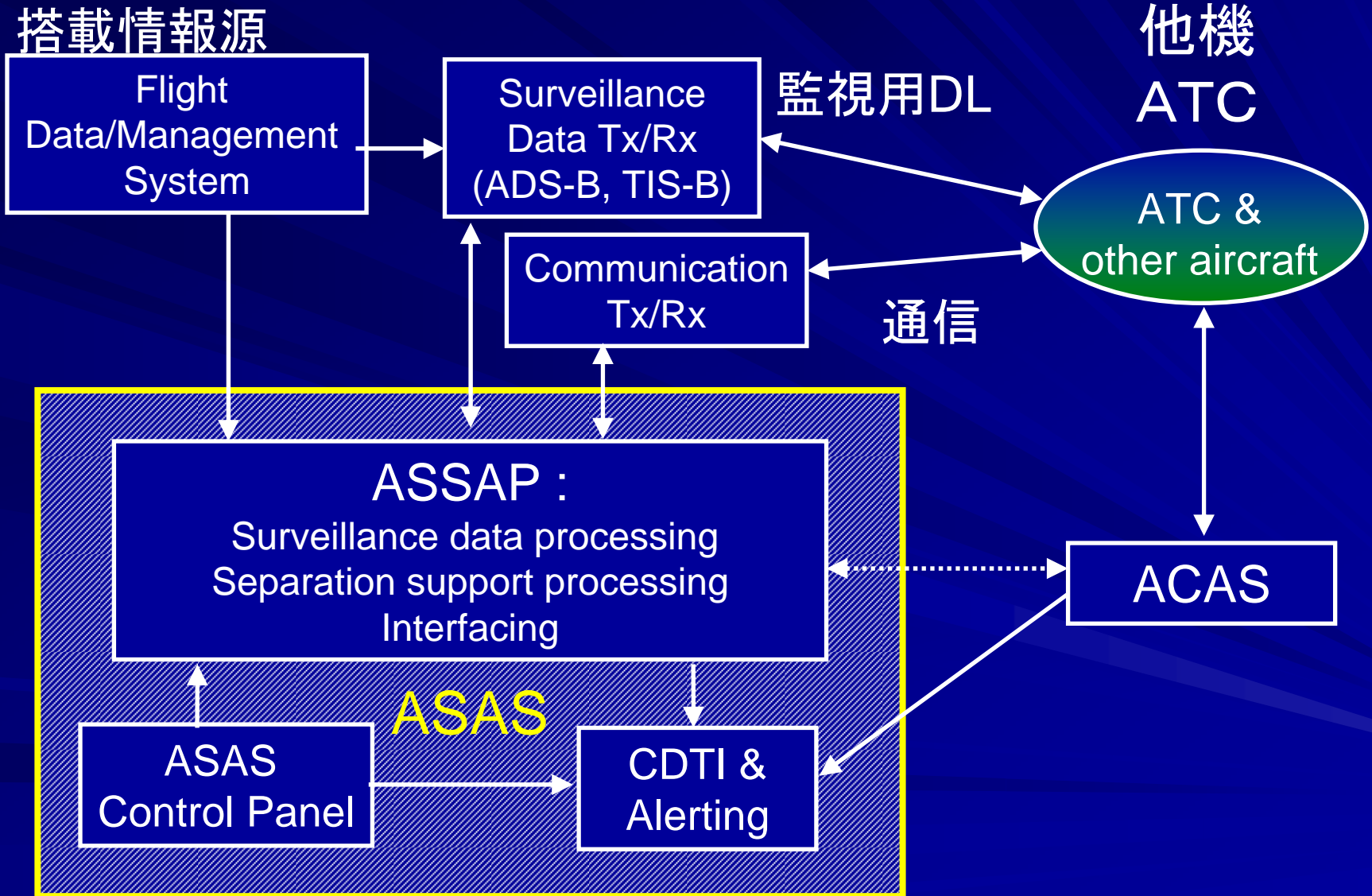
ADS-B未対応



地上監視装置
レーダ
別媒体監視DL



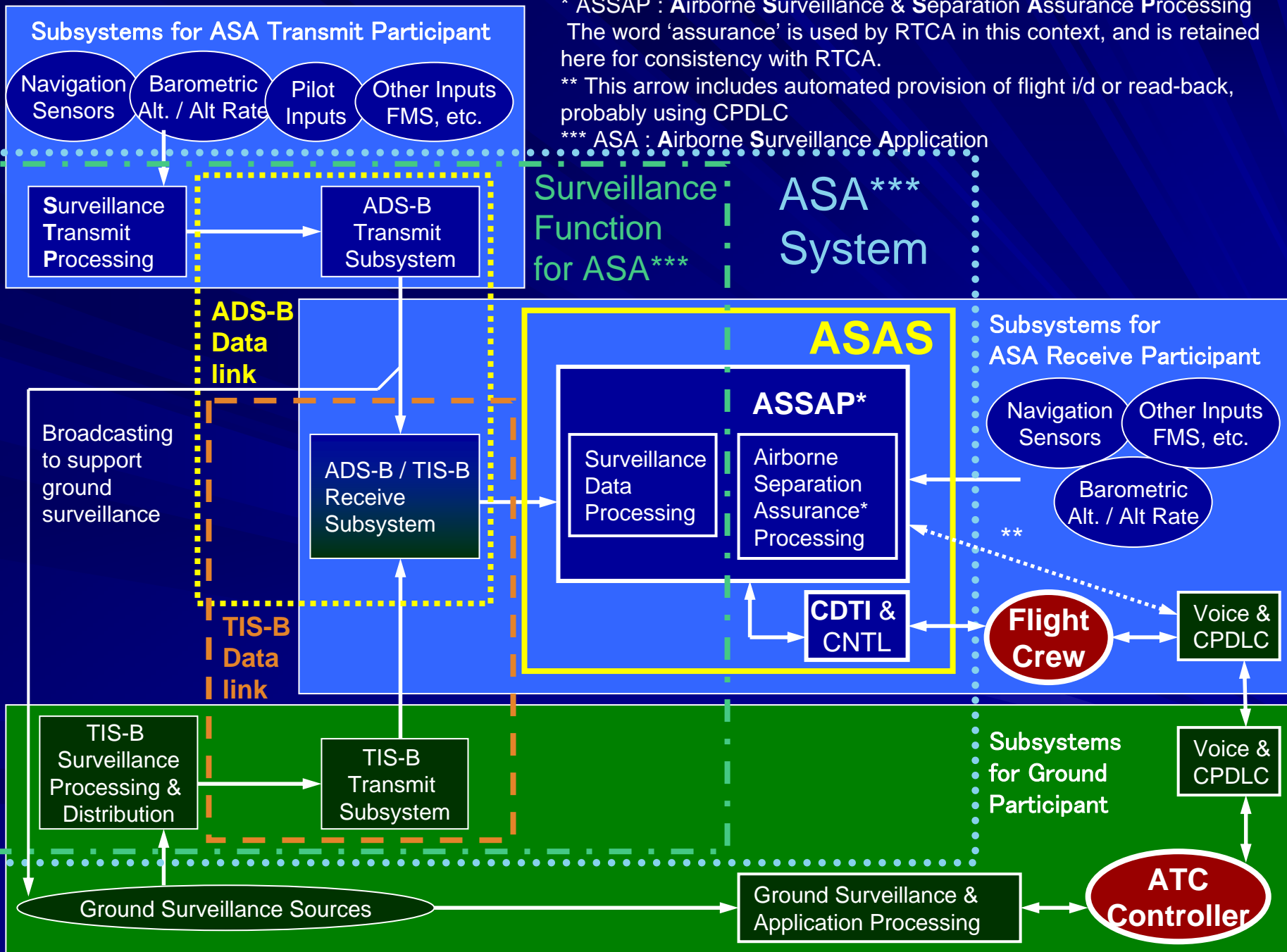
ASAS機能の概要



* ASSAP : Airborne Surveillance & Separation Assurance Processing
 The word 'assurance' is used by RTCA in this context, and is retained here for consistency with RTCA.

** This arrow includes automated provision of flight i/d or read-back, probably using CPDLC

*** ASA : Airborne Surveillance Application



Surveillance Function for ASA***

ASA*** System

ASAS

ASSAP*

Subsystems for ASA Receive Participant

Navigation Sensors
 Other Inputs FMS, etc.
 Barometric Alt. / Alt Rate

Flight Crew

Voice & CPDLC

Subsystems for Ground Participant

Voice & CPDLC

ATC Controller

Surveillance Transmit Processing

ADS-B Transmit Subsystem

ADS-B Data link

Broadcasting to support ground surveillance

ADS-B / TIS-B Receive Subsystem

TIS-B Data link

Surveillance Data Processing

Airborne Separation Assurance* Processing

CDTI & CNTL

TIS-B Surveillance Processing & Distribution

TIS-B Transmit Subsystem

Ground Surveillance Sources

Ground Surveillance & Application Processing

性能要件と技術的課題

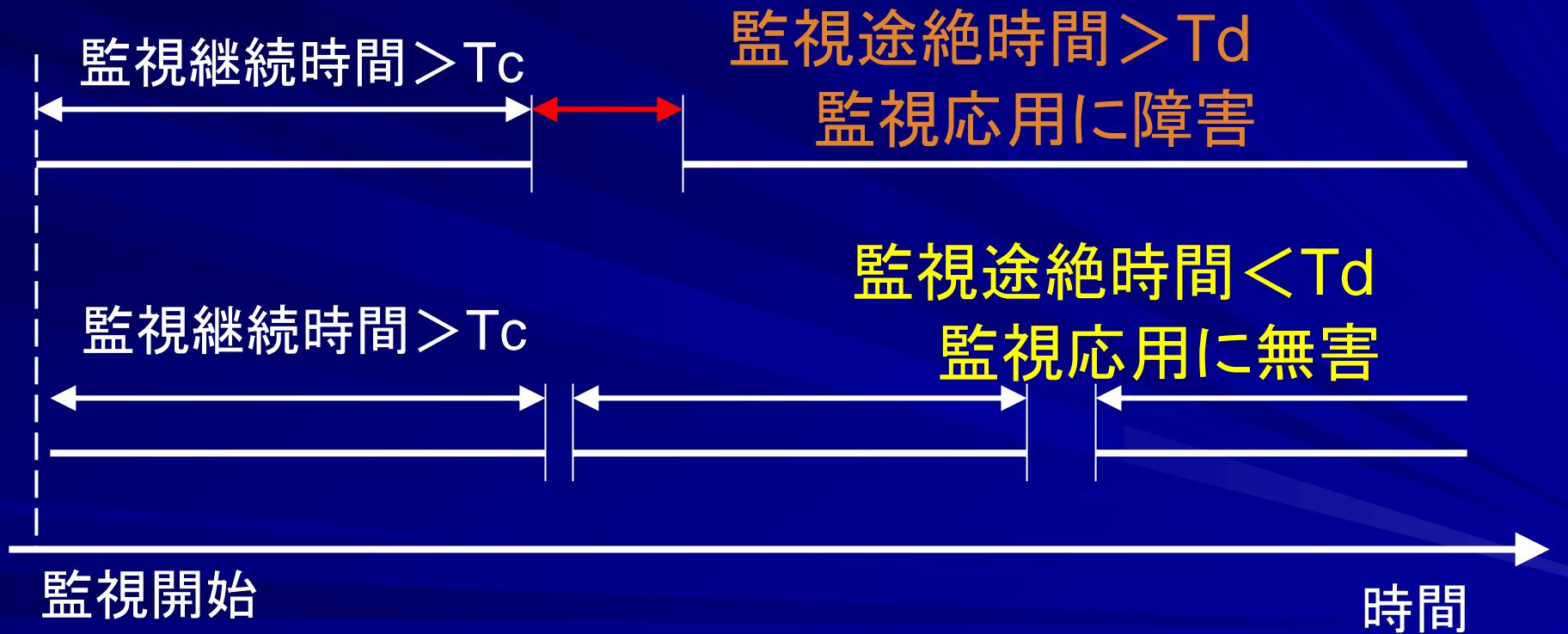
- ASAS/ACAS共通構成要素の信頼性
 - 気圧高度情報源、トランスポンダ、信号環境
- 機上監視と地上監視の監視情報品質差
 - 情報更新頻度
- 監視情報のインテグリティ検証
 - 誤情報発見と対応例外処理起動の判定基準
- 監視性能要件から航法や通信への要請
 - 情報や通信の途絶は監視に大きな影響

性能要件と技術的課題

- 利用者が求める応用から要求される性能要件
 - ASAS-RFG等において開発中
 - ASAS-RFG等の成果を参考にICAO標準作成: 共用性
- 実現可能な性能の決定要素: 入力データの質
 - ASASに入力されるデータの質
 - 自機航法情報源の性能
 - 相手機航法情報源の性能
 - 情報源からの情報の合成: STPの性能
 - 監視用データリンクの性能: 伝送確率、情報信頼性
- 得られた監視情報の検証と補強
 - 要件と方式の開発
- 表示方式や作業負荷等のHMI関連の課題

不連続性の制限

航法と同等のAvailabilityとContinuityでも異なる監視障害



不連続性要件: 監視途絶時間 < 制限途絶時間 T_d

日本におけるASASの研究

■ 国際的にも先進的なプロジェクト例

– FURUNO: 空域状況認識支援用監視DL

■ ドクターヘリ等に活用

– NAL/JAXA: 空域状況認識支援

■ FURUNOの機材、米国のUATなどを試験

■ 運用方式基礎概念

■ 標準化支援のための研究

– ENRI: 監視DL信号環境、運用方式調査、RFG

■ 運用環境の一つとしての信号環境の調査

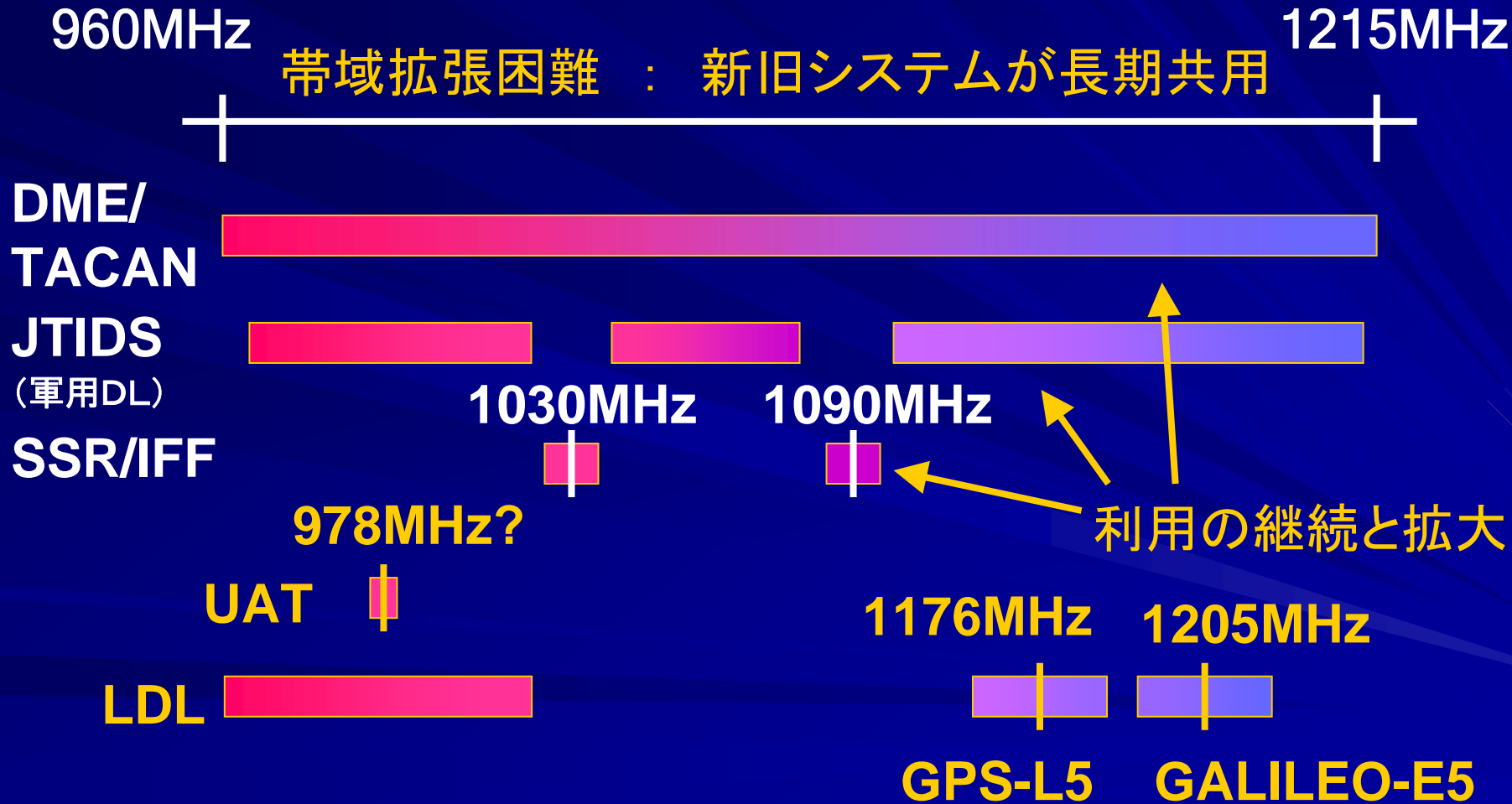
■ 次年度よりスキッタ方式の基礎実験機器の試作

電子航法研究所における研究

- 要件調査 開発目標設定
 - ASAS運用要件と性能要件
 - 委員会活動、ICAO/SCRSP、ASAS-RFG
- 機器要素の性能予測 実現可能性調査
 - 運用環境の予測：性能要件定義の条件設定
 - 特に将来の信号環境に着目
 - 監視用データリンクの試験：ASAS入力品質
 - 関連機器の実環境における性能測定

航空無線航法帯域の動向

ARNS : Aeronautical Radio Navigation Service



信号環境とASASの性能

■ 信号環境が監視用DLに与える影響

– モードS拡張スキッタ：ランダムアクセス

- 最初の国際標準：各国で運用検討中

- SSR, ACAS等と周波数共用：干渉を前提とした設計

- 共用機材の運用状況に応じた性能劣化

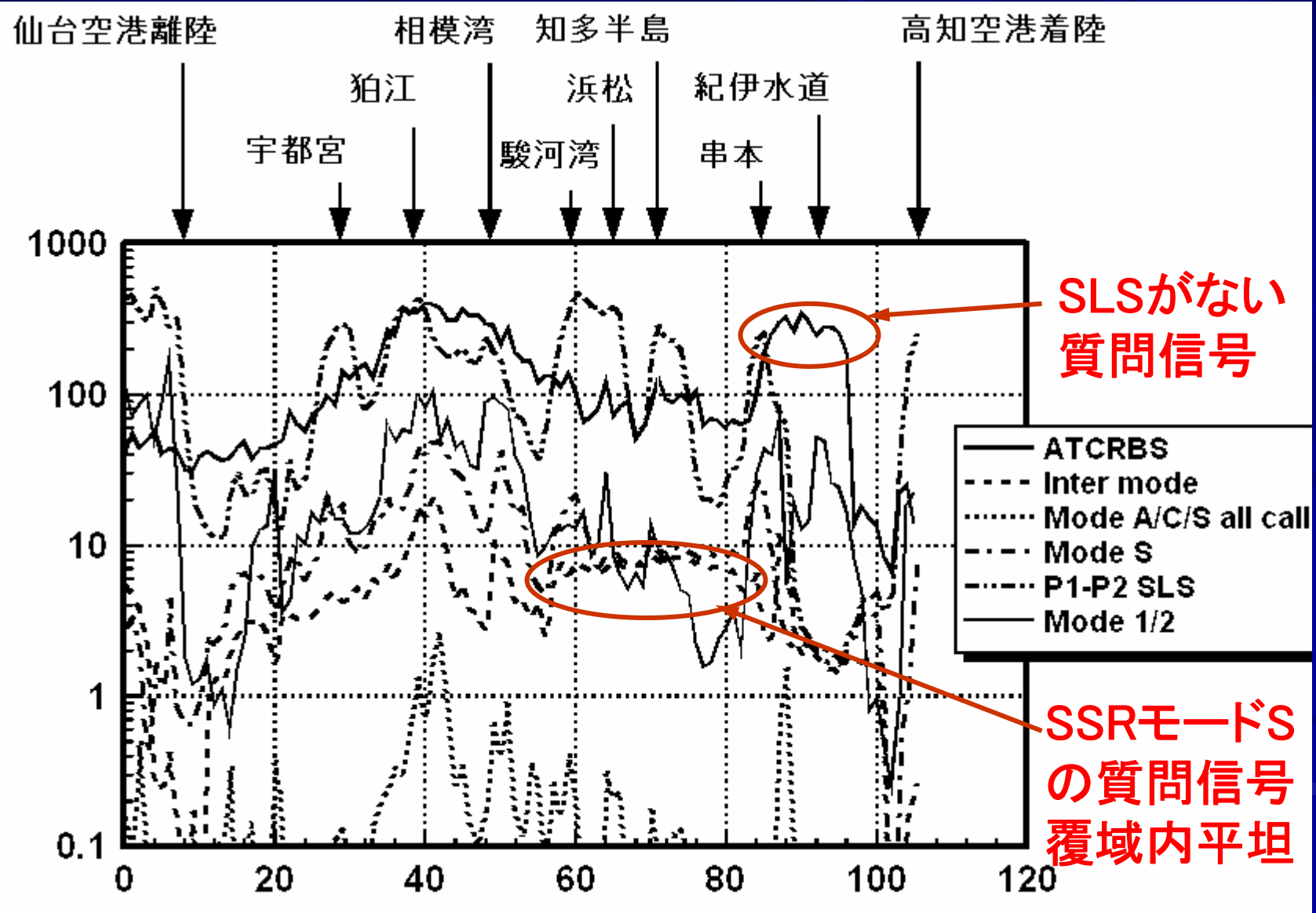
– UAT：TDMA & 離散化ランダムアクセス

- 国際標準あり：米国内小型機用に採用、978MHz

- 比較的少ない干渉を想定したシステム設計

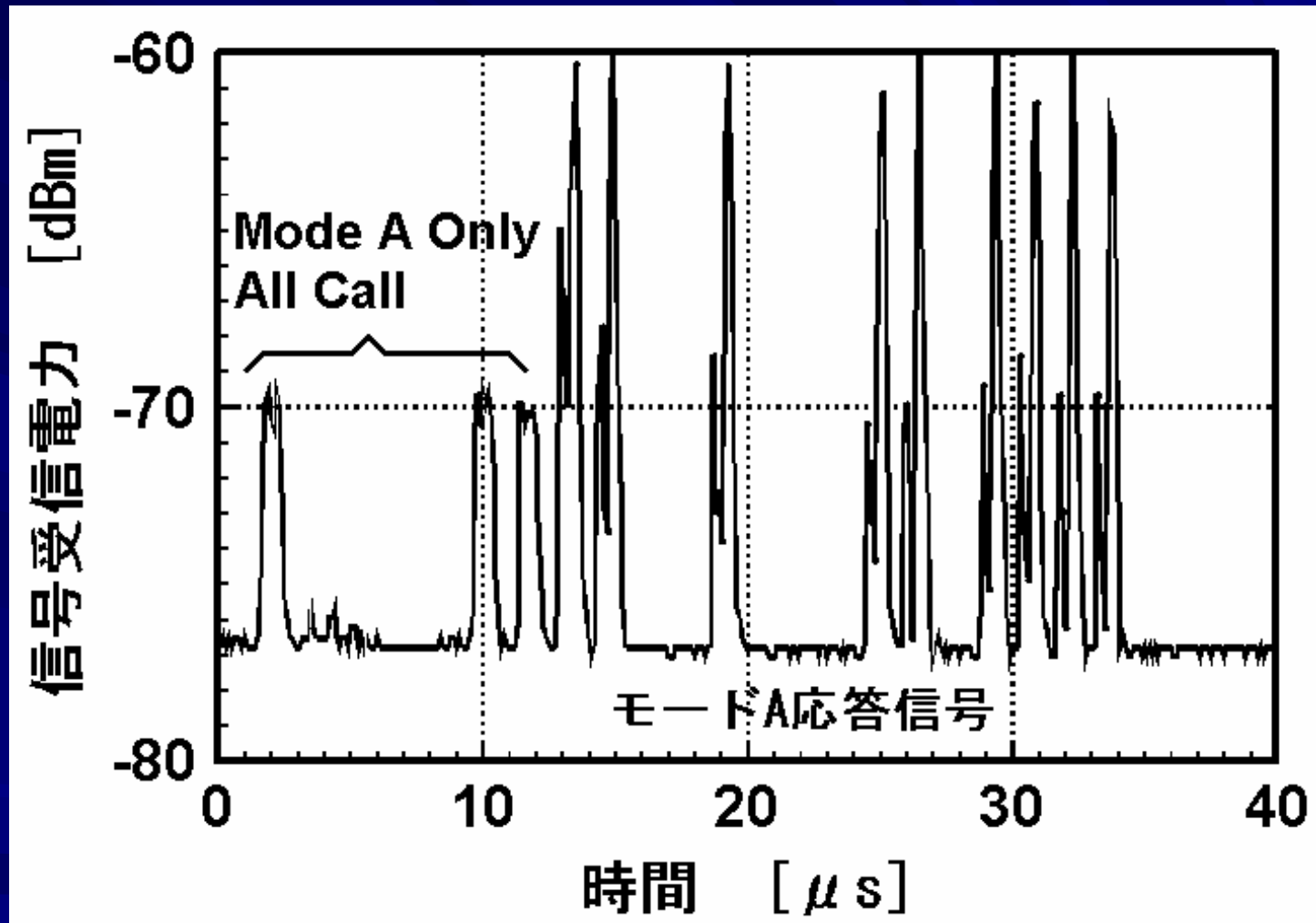
– 監視情報の放送：再送信はなく情報が欠落

信号検出しート(Hz)



離陸後経過時間(100秒)

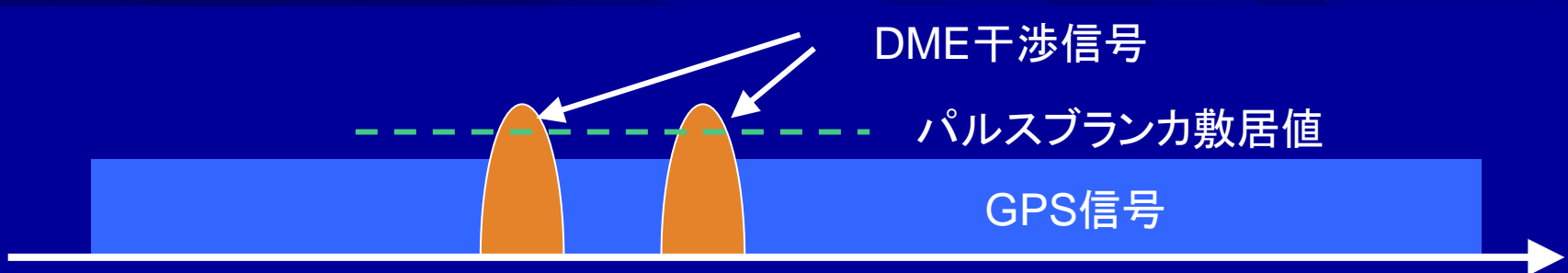
信号環境予測の課題



モードSトランスポンダがモードA質問と誤認して応答
想定外の動作による信号環境予測誤差の発生

信号環境とASASの性能

- 信号環境が航法情報源に与える影響
 - GPS-L1への干渉：帯域保護、希に干渉事例
 - GPS-L5への干渉：帯域共用（DME, TACAN等）
 - パルスブランカによるAGC機能保護が有効
 - パルスブランカによる等価S/N劣化による限界



敷居値を超える信号によるAGC制御を禁止：ブランキング
ブランキング中の信号はGPS信号解読に用いられない：等価SN劣化
SN劣化は干渉発生量により決まる数dB：リンクマージン減少