

# 講演会プログラム

～ATM/CNSに係わる最近の技術開発～

参加費無料

開催日 平成22年3月12日（金）

時間 13:00～16:30

（受付開始 12:30～）

会場 大手町サンスカイルーム 24階E会議室  
主催 独立行政法人 電子航法研究所

## 開会の辞

13:00～

電子航法研究所 理事長 平澤 愛祥

## 1. GBASプロトタイプの開発

13:05～13:50

地上型衛星航法補強システム(GBAS:Ground-Based Augmentation System)は、計器着陸装置(ILS)に替わる衛星航法による次世代の精密進入システムである。

当所では、平成8年よりGBASの開発に着手してきた。GBAS実用化の大きな課題は、測位精度ではなく測位値の安全性、すなわち測位値が誤り無くどれだけ信頼が置けるかというインテグリティの確保の達成である。

当所では平成20,21年度の二カ年でインテグリティの確保を狙ったGBASプロトタイプを製作し、平成22,23年には評価を行うこととしている。

本講演では、GBAS研究の状況及び主な技術的課題とその解決への取組、今後の研究の方向性について述べる。

通信・航法・監視領域(CNS領域) 上席研究員 工藤 正博

## 2. 空港面マルチラレーションの導入評価と今後の動向

13:50～14:35

当研究所が実施したマルチラレーション導入評価の結果概要と今後の航空監視システムの動向について述べる。

通信・航法・監視領域(CNS領域) 主任研究員 宮崎 裕己

(休憩 15分)

14:35～14:50

## 3. 太平洋上のUPR(利用者設定経路)の導入動向と展望

14:50～15:35

ユーザーニーズや管制間隔の短縮に伴い、交通量の少ない路線からUPRの試行運用が始まっている。比較的交通量の多い成田ーハワイ間も昨年よりUPRの試行運用が始まった。今後はより交通量の多いアジアー北米路線がターゲットとなる。

UPRの導入動向と今後の課題・展望について述べる。

航空交通管理領域(ATM領域) 主幹研究員 福島 幸子

## 4. DATALINKを用いたCDAおよびDARPのトライアル

15:35～16:20

Datalinkを活用した運航としてSFOにおけるTailored Arrivalと、現在トライアルを行っている太平洋上でのDARPS(Dynamic Aircraft Route Planning System)について概要と実際のデータやビデオを基にその具体的な内容を紹介します。

株式会社日本航空インターナショナル 運航部調査役 吉田 謙一 氏

## 閉会の辞

16:20～

電子航法研究所 理事 中坪 克行

\*すべての講座は質疑応答を含みます。

\*ポスターとは題目が変更となっているものもあります。また、内容は予告無く変更することがあります。

講演会事務局(独立行政法人電子航法研究所)

TEL 0422-41-3168 FAX 0422-41-3186 E-mail kikaku@enri.go.jp

※1 事前登録が必要となりますので、弊所HPよりお申し込み下さい。  
(申し込み〆切は、平成22年3月9日までとさせていただきます。)

※2 詳しくはホームページをご参照下さい。

<http://www.enri.go.jp/>

# GBASプロトタイプの開発

通信・航法・監視領域 上席研究員

工藤正博



Electronic Navigation  
Research Institute

電子航法研究所

- GBASの概要
- GBASの開発経緯
- GBASプロトタイプの開発
  - 取り組んだ主な研究課題
- 今後の計画
- 課題
- 協力の枠組

## ➤ GBASの概要

## GBAS (Ground-Based Augmentation System: 地上型補強システム)

- 衛星航法を利用した進入着陸システム
- CAT-I~IIIの精密進入を目的 (ILSの後継)
- 覆域は空港周辺 (20NM)
- 1式の地上装置で複数の滑走路に進入コースを設定
  - 48経路まで放送可能
- 将来、曲線進入・出発・空港面誘導が可能

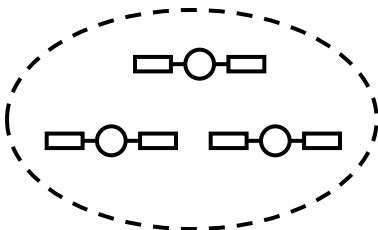


GPS衛星

航法精度・安全性を向上

機上装置

MMR



補強情報

1. GPSの補正值
2. 進入パス
3. 完全性情報

補強情報

VHF  
データ伝送

送信機

処理装置

基準局

GBAS地上装置

## ➤ GBASの開発経緯

## 国際動向

- ICAO GNSSP発足(1995)
- CAT-I 国際標準発効(2001)
- GBAS機上装置(MMR)を発表(RC社)(2004)
- B787, A380等にGLS装備の採用を発表(2004～)
- ハネウエル社、SLS-4000によりFAAにシステム設計承認(SDA)申請(2006)
- SLS-4000、SDA取得(2009)
  
- (米国における施設承認・運用承認(2010年4月?))



## ENRIの研究

- VHFデータ送受装置を開発(1997)
- 仙台空港にテストベットを設置(2001)
- GBAS航法精度の飛行評価実験(2004)
  - 垂直航法精度 **79 cm** (95%), 187進入  
(航法精度は十分であることを検証)
- インテグリティに係る重要な要素技術研究(2005～2008)
  - 電離層擾乱などによるGBAS誤差要因の解析
  - GBASの故障木解析及び完全性の概念設計
  - 信号品質モニターアルゴリズムの開発(特許申請中)

## ➤ GBASプロトタイプの開発

## ➤ 国際標準 (ICAO SARPs Annex10) の要求

➤ 航法精度 (アキュラシー)

➤ 警報動作の確実性 (インテグリティ)

➤ サービスの連続性 (コンティニューイティ)

➤ サービスが有効性 (アベイラビリティ)



} 安全性

➤ 安全性に関する3つの要求は互いに関係

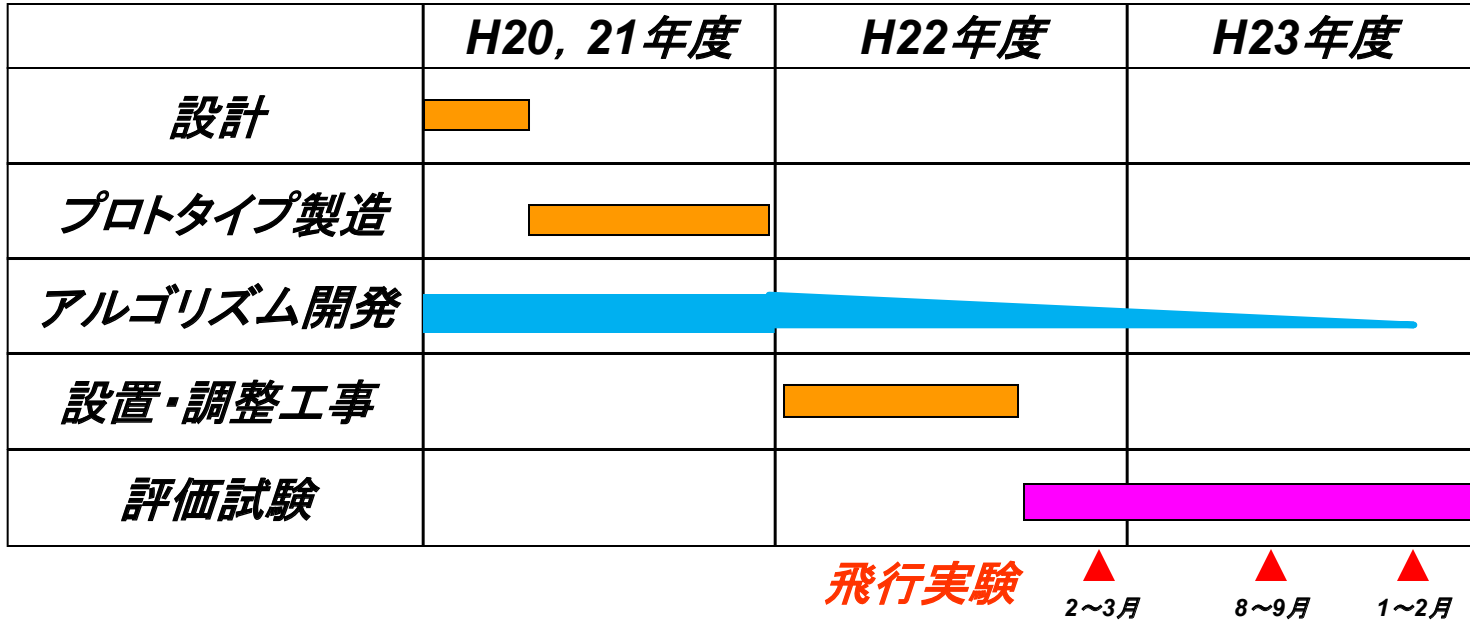
➤ 航法精度は実証されたが、安全性に関する要求は未確認

➤ 安全性に関する要求を達成するため新技術開発が不可欠

➤ 航空保安システムなどの安全性は各国の責務

➤ 製造メーカーが証明し、国が認証するプロセス

- 平成20年度～23年度の4カ年で実施
  
- 目標(GBAS関係)
  - 我が国でのCAT-IGBAS実現に必要な補強アルゴリズムを開発
    - 我が国の特徴を反映した電離層脅威に対応
    - 信号品質モニターなどの技術開発
  - GBASプロトタイプ<sup>o</sup>の製作と評価を通じた認証手法の確立
  - CAT-IIIGBAS国際標準化への寄与



## 評価試験

### 地上試験

(1) 長期安定性試験

### 飛行試験

- (1) 基本検証(機上装置適合性、覆域、データリンク、ILSライクアプローチ)
- (2) 新運航方式(RF旋回、曲線進入、高角度、スレッショルドのオフセット)

## ■ 実用化システムの安全性設計

--- GBASプロトタイプ製作を通じて実施 ---

- プロトタイプ開発(設計・製造) (安全性評価は一体)
- アルゴリズム記述文書 (モニタアルゴリズムの数式レベルの記述)
- 予備的安全性評価(PSSA) ➡ 安全性評価(SSA)
- デザインレビュー
  - 専門家(研究者)が設計段階から関与
  - 設計改善項目を指摘
  - PDR(基本審査), CDR(詳細設計審査), 定例会

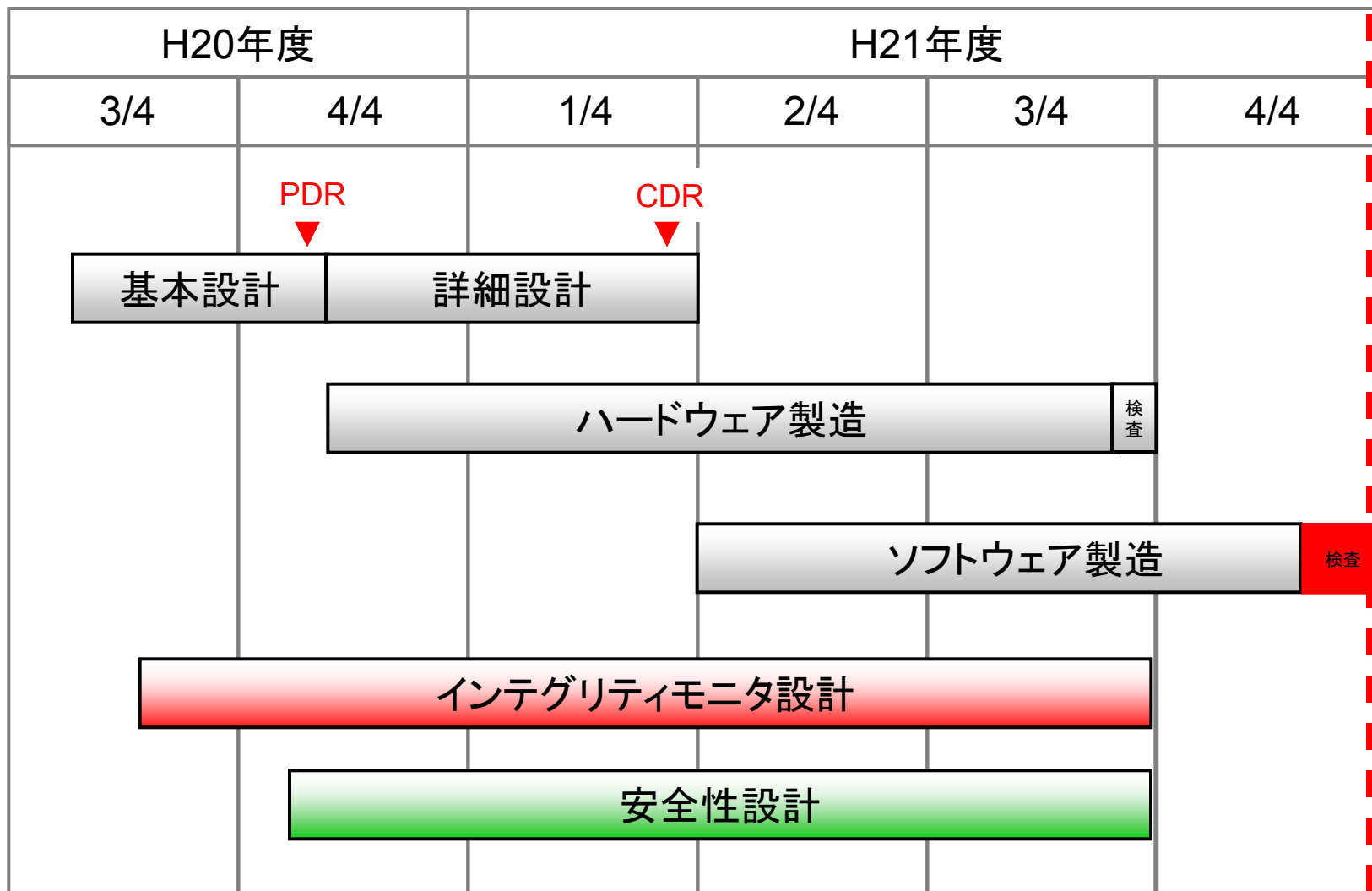
## 実用機と同様な部分

- 安全性評価に必要な全てのハードウェアを実装
- インテグリティモニタ(ソフトウェア)の組み込み
- ボードコンピュータ, リアルタイムOS採用

## 実用機と異なる部分

- ソフトウェアコーディング基準(DO178B)不採用
- 冗長系(切り替え制御)不採用
- 管制塔用GBAS監視装置無し

安全性設計の確立を目的(研究用)





➤ **取り組んだ主な技術課題**

### ➤ 各モニタのインテグリティ証明

- リスク割り当ての妥当性の検証
- モニタ検知失敗確率の正当性を証明
- フィールドデータ, 理論, 計算機シミュレーションによる
- 衛星故障に関するモニタは証明完了

### ➤ 電離層擾乱のモニタ

- 日本のSEDモデルとモニタ
- プラズマバブルのモデル化とモニタ

航法システムの故障・異常などによって装置を使用してはならない場合、**航空機側にタイムリーに警報を与える機能が確実に動作する確率**

CAT-I 要求値: 1 進入あたり

$$1 - 2 \times 10^{-7} = 99.99998 \%$$

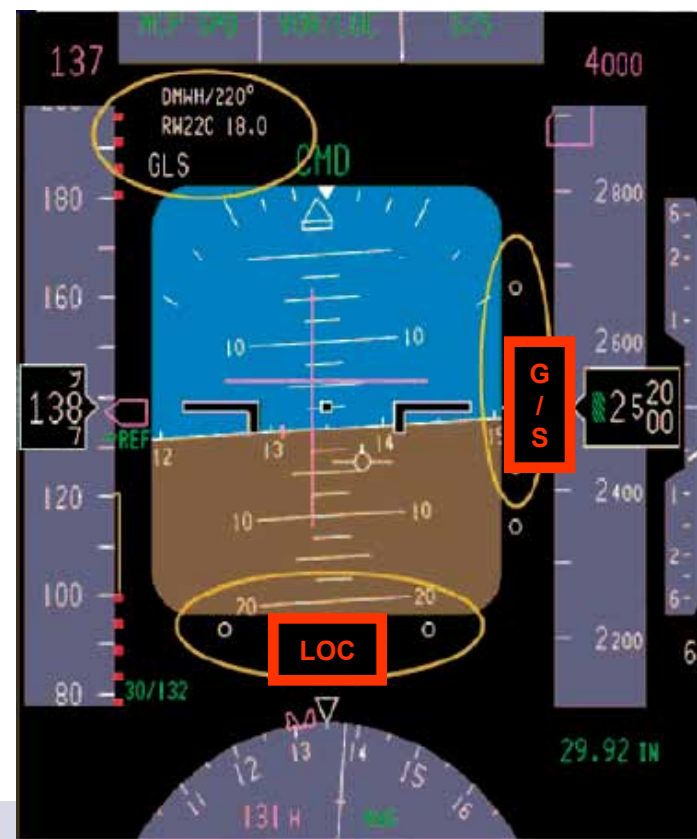
6秒以内

(500万着陸に1回の割合)

## 警報の例

- **コース偏差指示**の消去, フラグ表示
- **自動操縦**の切断

GLSのPFDの例



[DFS, "DFS Strategy for the use of satellite-based navigation in civil aviation", Dec. 1998]

CAT-I 要求値: 1 進入あたり

$$1 - 2 \times 10^{-7} = 99.99998 \%$$

6秒以内 (500万回に1回の割合)

## ➤ 非常にまれな確率

➤ 実データで検証するには長期間(10年~20年)必要

## ➤ 安全性解析上は、この確率以下の極めて希なインテグリティ破綻要因は検討対象外としてよい

➤ 社会的許容値と見なされるであろう目標値を設定

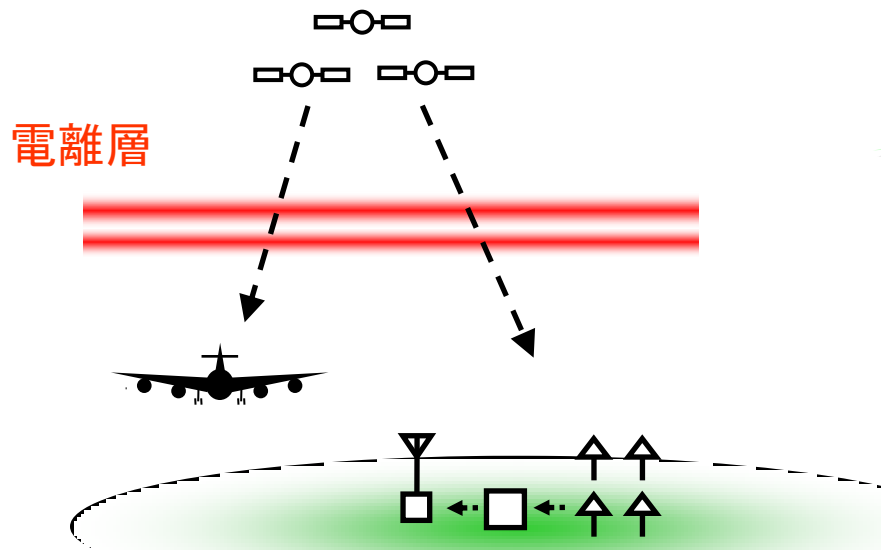
➤ 2010.2.25@羽田空港・・・霧により欠航→非常にまれ

**電離層の問題は十分検討するべきリスクである**

## 電離層とは？

プラズマ

- 高度60～1,000 km以上に存在する電離した大気
- 電波の速度が光速より遅い → 遅延 (垂直最大20 m)
- 時間的, 空間的な変動, 電離層現象の影響



距離が近い場合は, 誤差は小さい

脅威

電離層遅延の勾配が, 受信機内部処理により電離層誤差を増幅

## SED (Storm Enhanced Density)

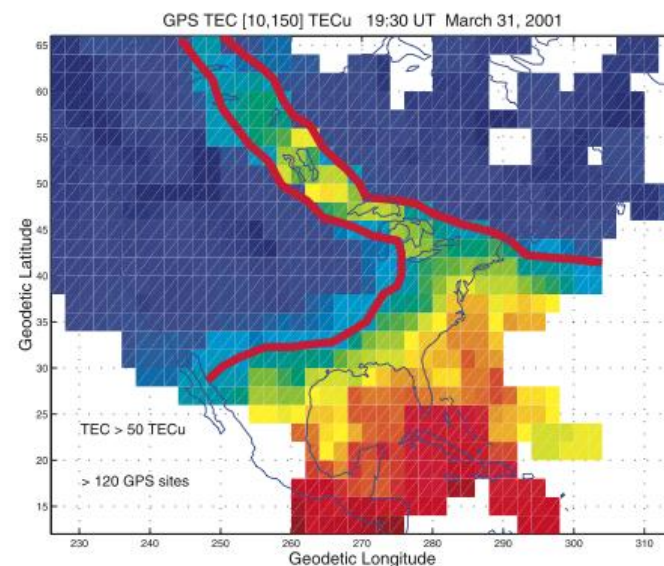
- 地磁気嵐に伴う電離層擾乱
- 電離層電子密度の急激な増加
- 北米大陸で大きな空間勾配

最大400 mm/km (斜方向)

- 日本では最大110 mm/km程度

▶ 10年で2回

- 日本独自の脅威モデルを構築



2001年3月31日  
北米大陸

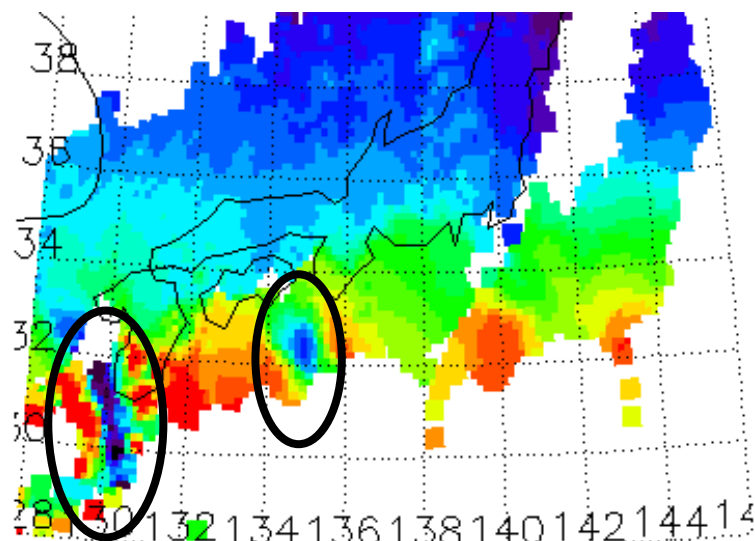
## ■ プラズマバブル

低磁気緯度

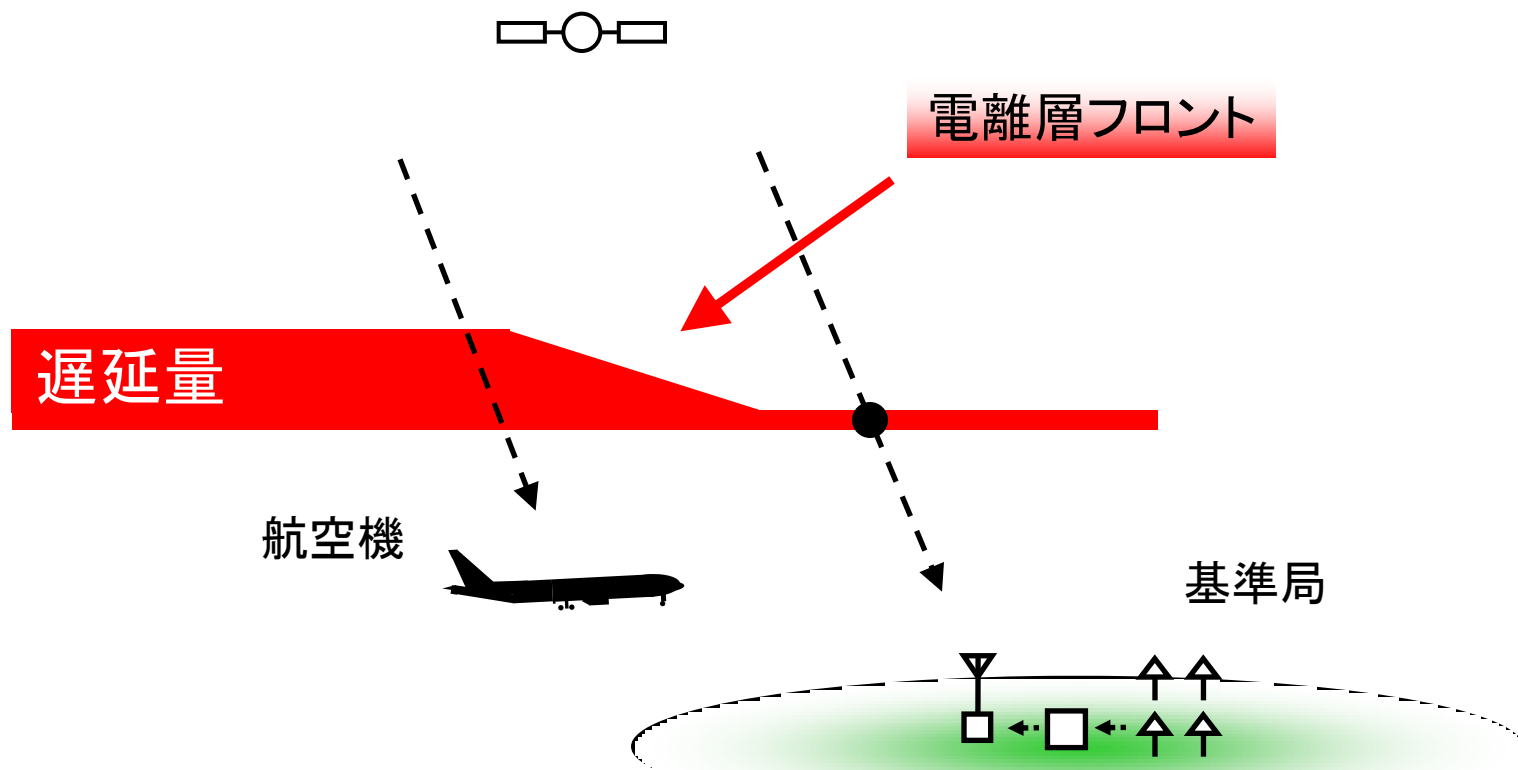
- 電離層に発生する“泡”
- 急激なプラズマ密度の減少，激しい勾配
- 磁気赤道で発生し日本に到達，沖縄で頻繁，本州にも
- 磁気緯度が高い欧米では考慮されない
- 日本で初めて

脅威モデルを構築

日本周辺の電離層遅延分布と  
プラズマバブルの例



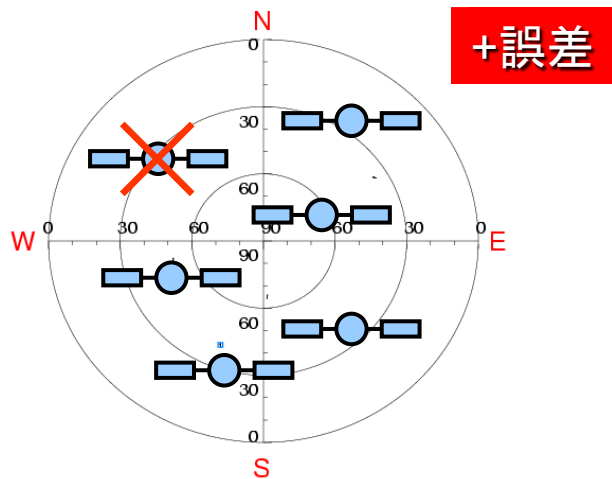
- 航空機のみ電離層フロントの影響を受ける場合が存在
- 基準局で異常を検知できない





## ジオメトリ・スクリーニング

- 電離層フロントが常にあると仮定して，航空機側の誤差を予測
- 航空機が危険なGPS衛星グループを利用した場合，警報を発生するように処置する



衛星-1個，-2個の全パターン

航空機側誤差

9 m → **OK**

航空機側誤差

12 m → **NG**

(閾値10 m)

航空機側で  
警報がでる  
ように処置

## ■ ジオメトリ・スクリーニング

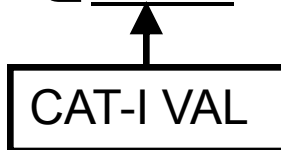


- FAAは、北米SEDモデルでアベイラビリティ(99%)を達成
- 電離層起因の垂直誤差限界を28.8 mとして電離層を北米大陸に限定

※ 各国が独自に電離層の影響を評価する必要がある



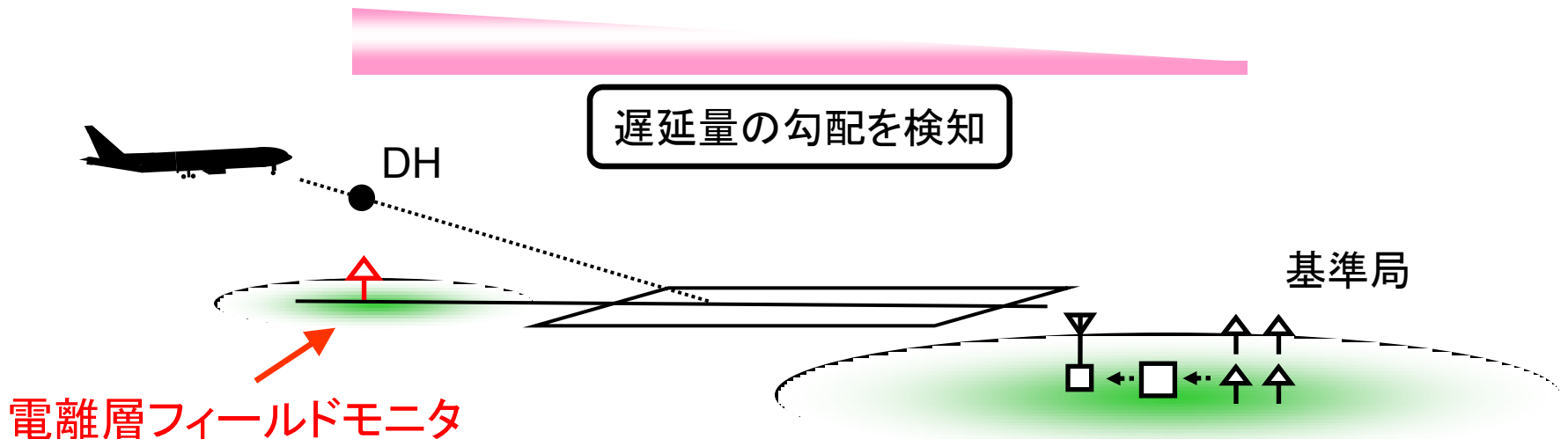
- 日本独自SEDモデルとプラズマバブルモデルを適用
- 閾値を10 mとした場合は、アベイラビリティ(99%)を満足しない





	米国(SED)	日本(プラズマバブル)
強度	大	中
頻度	まれ	頻繁(太陽活動のピークの春秋でほぼ毎日)
勾配	1つ	極性の異なるものが交互に到来(6つ)

## ■ 電離層フィールドモニタ方式を考案

- 滑走路延長線上の着陸側にモニタを設置
- 基準局とフィールドモニタ間で電離層遅延量の勾配を検知
- **日本SEDとプラズマバブルでアベイラビリティ(99%)を達成できる見込みがたった**



- 実用化システムの安全性設計
- 研究用プロトタイプを製作
- 現在の状況
  - 各モニタのインテグリティ証明を完了
  - 電離層擾乱モニタの開発を継続(IFM)→CAT-IIIにも寄与
-  ➤ 北米SED → ジオメトリ・スクリーニング(28.8m)
-  ➤ 日本SED+プラズマバブル → ジオメトリ・スクリーニング(10m)  
+フィールドモニタ

- 立会試験を平成22年3月1, 2日に実施
  - @NEC府中工場
  - 数量、外観・構造、電気的性能、ソフトウェア等の項目について実施
  - 合格と判定
  - 納入時に最終的に確認
  
- PDR、CDR、定例会、インテグリティモニタ検討会の全てのプロセスが含まれる。

## ➤ プロトタイプ長期安定性評価

## ➤ 設置基準

関西空港への設置

## ➤ 飛行評価実験

➤ ENRI: 実験用航空機 (B99)

・・・基本性能評価

➤ B787

・・・相互運用性等

## ➤ 次世代運用方式の検討

➤ ENRI、JAXA実験用航空機による曲線進入や高角度進入などの試験

- CAT-IIIに向けた検討
  - GNSSに残された最後のチャレンジ
  - 電離層フィールドモニタの検討
    - アルゴリズムの開発
    - 高カテゴリGBASへの貢献
- 電離層問題の解決
  - アルゴリズムの改良
  - 電離層観測データの蓄積
- GBASのキラードアプリケーションの提案
  - GBASへの投資を容易にするもの
  - アイデアを募集します！



- 航空関係者との協力
  - 航空局、JAL、ANA、ATEC、NAA、KIACほか
- 技術開発の協力
  - JAXA、NEC、名大、東北大、KARI
  - MRJ
- 電離層研究の協力
  - NICT、京大、名大
- 海外との協力
  - 韓国、台湾、シンガポール、タイ

ご静聴ありがとうございました。

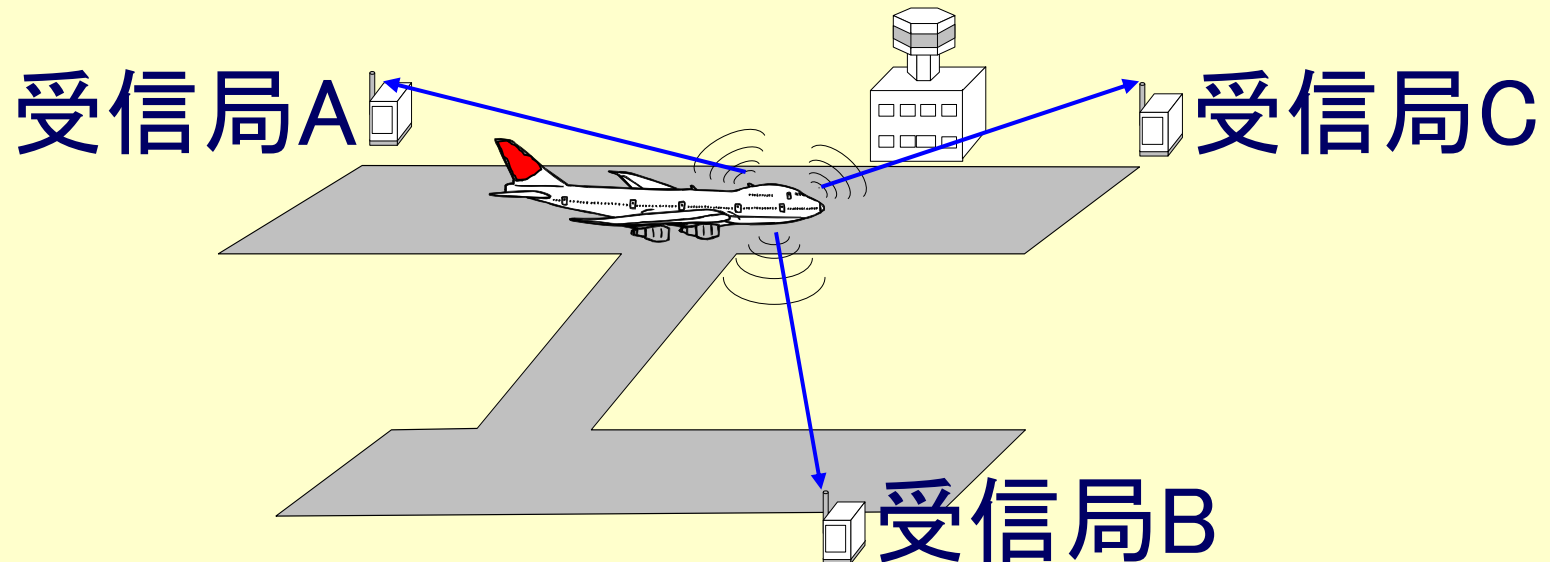
通信・航法・監視領域 上席研究員  
工藤正博

# 空港面マルチラレーションの導入評価 と今後の動向

電子航法研究所  
通信・航法・監視領域  
宮崎裕己

# マルチラレーションとは??

航空機トランスポンダから送信される信号を複数の受信局で検出して、検出時間差から航空機の位置を測定する監視システム

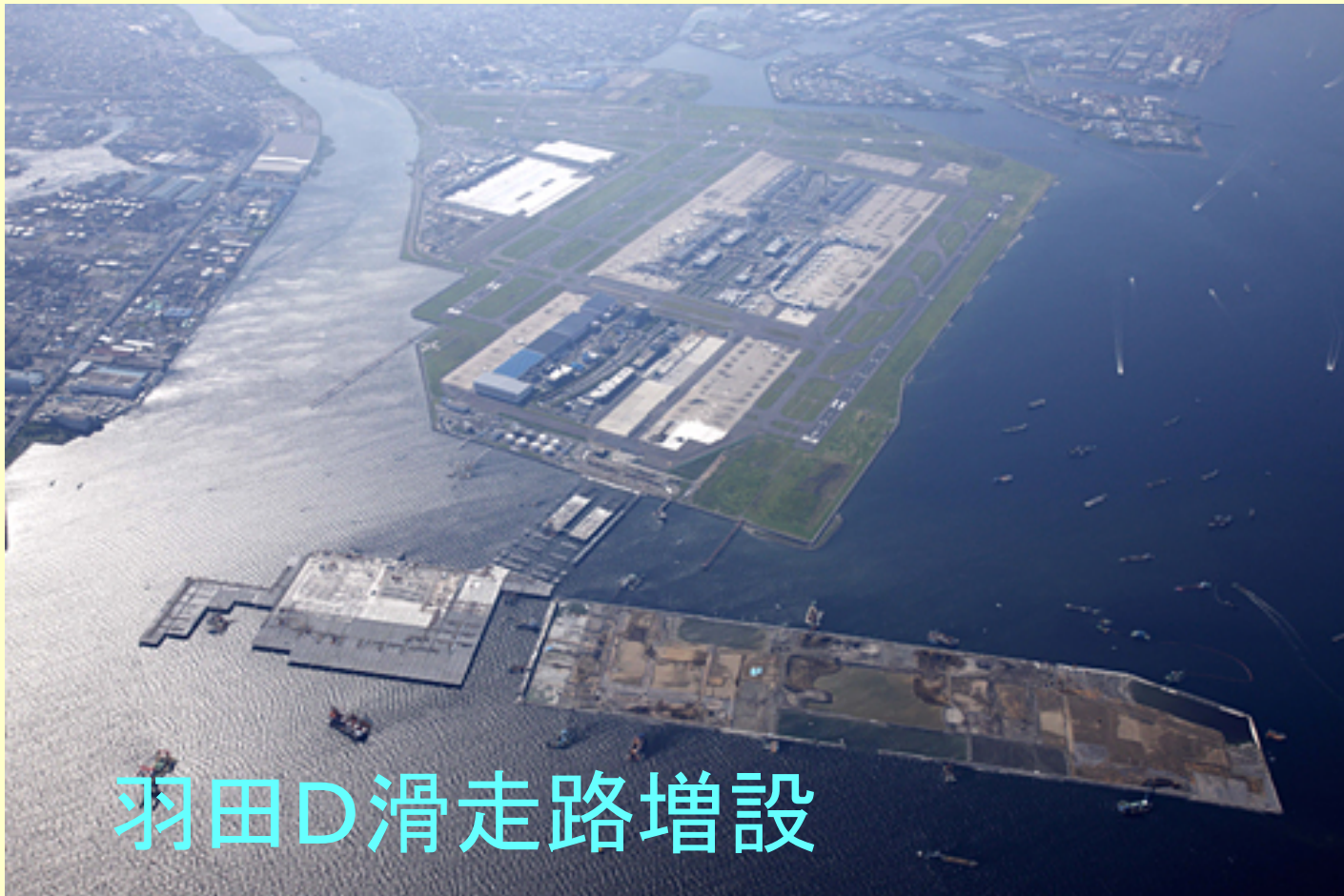


# 講演内容

- 導入・評価の背景
- マルチラテレーションの概要
- 評価結果（羽田、成田、関空）
- 今後の動向

# 導入の背景

○航空需要の増大→羽田・成田の容量拡張



# 導入の背景

- 航空需要の増大→羽田・成田の容量拡張
- 滑走路の増設・延伸や誘導路の新設
  - 交通量の増加、運用の複雑化
- 従来どおりに安全かつ円滑な運航
  - 管制を支援するシステムの検討

**マルチラレーションの導入**

# 評価の背景

- 我が国で初めて導入されるシステム  
→機能・性能が得られるか事前検証が必要

# 評価の目的

- 評価試験：性能を確認（位置精度・検出率）
- 性能低下：改善策を適用して再試験
- 評価結果：最適な受信局配置を提案



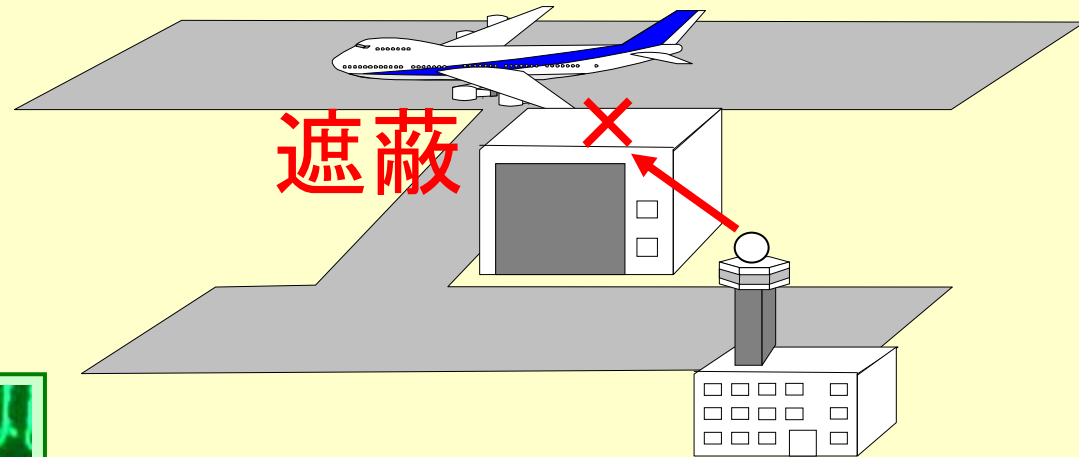
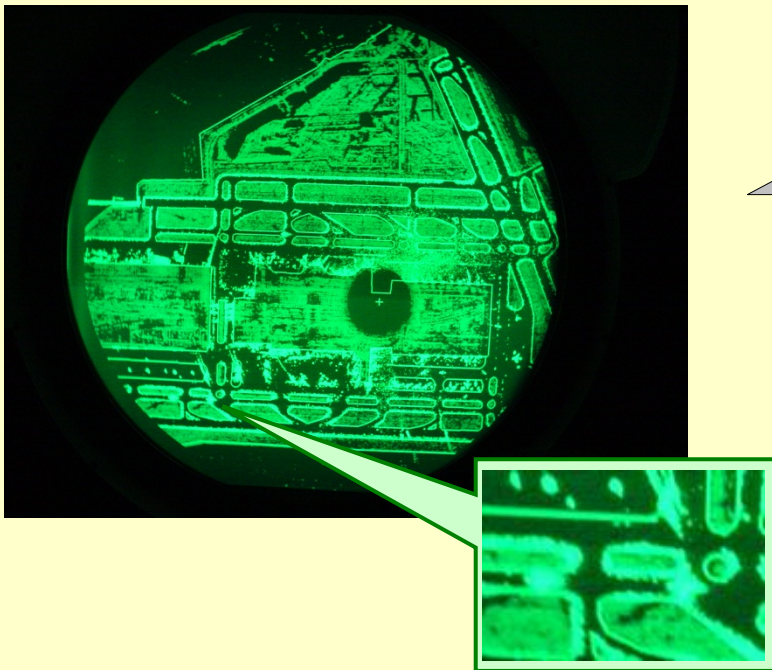
# 講演内容

- 導入・評価の背景
- マルチラテレーションの概要
- 評価結果（羽田、成田、関空）
- 今後の動向

# 空港面監視の課題

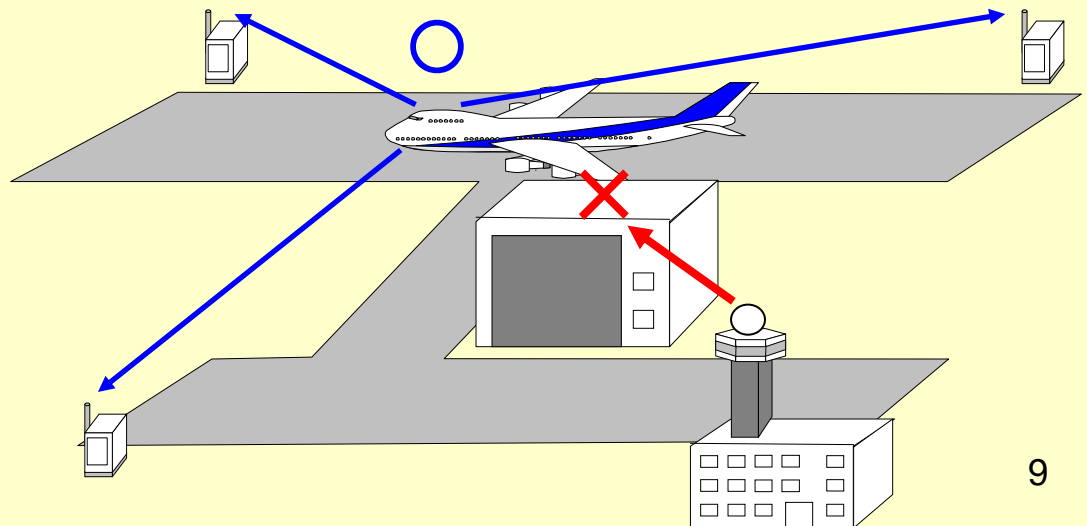
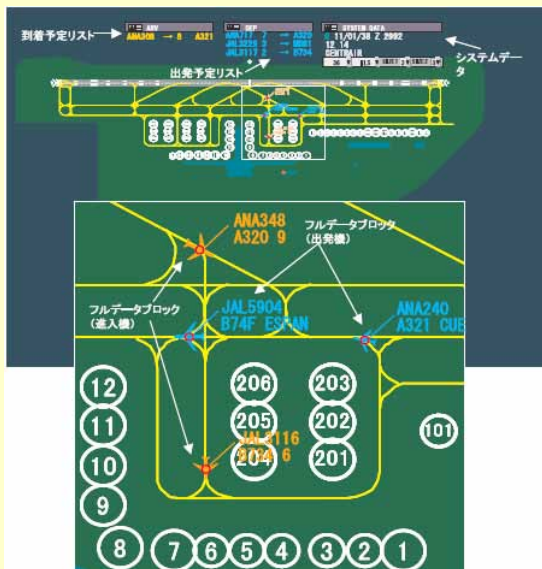
(空港面探知レーダー)

- 航空機便名を自動で表示できない
- 悪天候時に性能が低下する
- 遮蔽による非検出領域が存在する

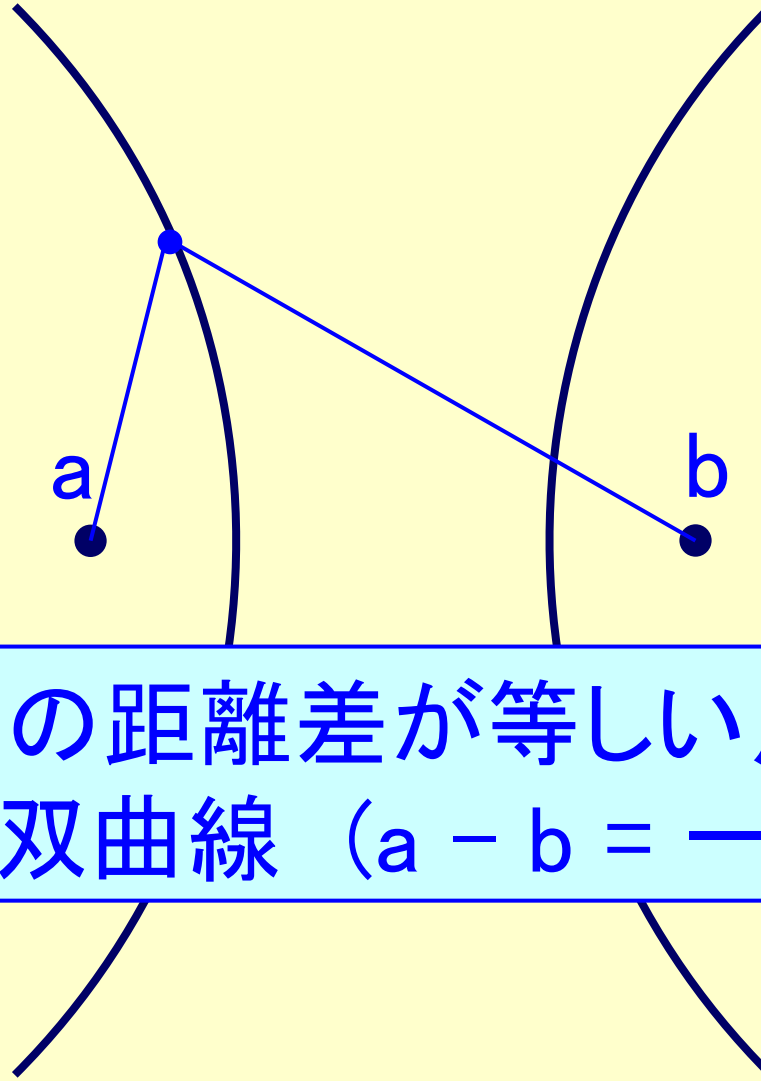


# マルチラテレーションの特徴

- 航空機便名を画面表示できる
- 悪天候時でも性能が低下しない
- 非検出領域に対して監視できる
- ◎航空機側に追加装備を必要としない



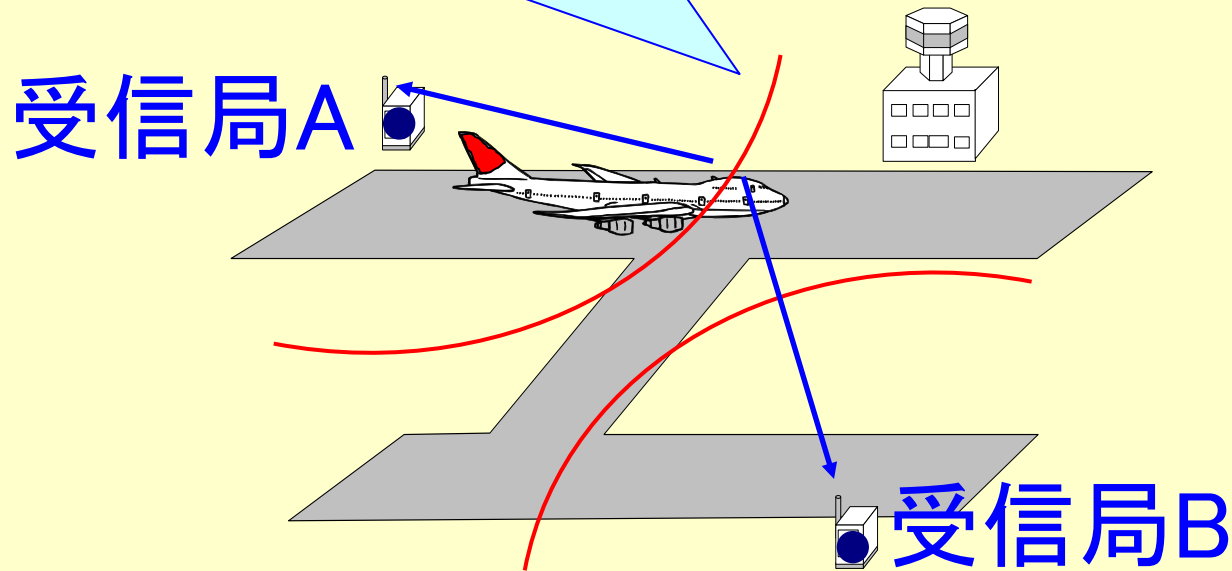
# 測位原理



2点からの距離差が等しい点の軌跡  
→双曲線 ( $a - b = \text{一定}$ )

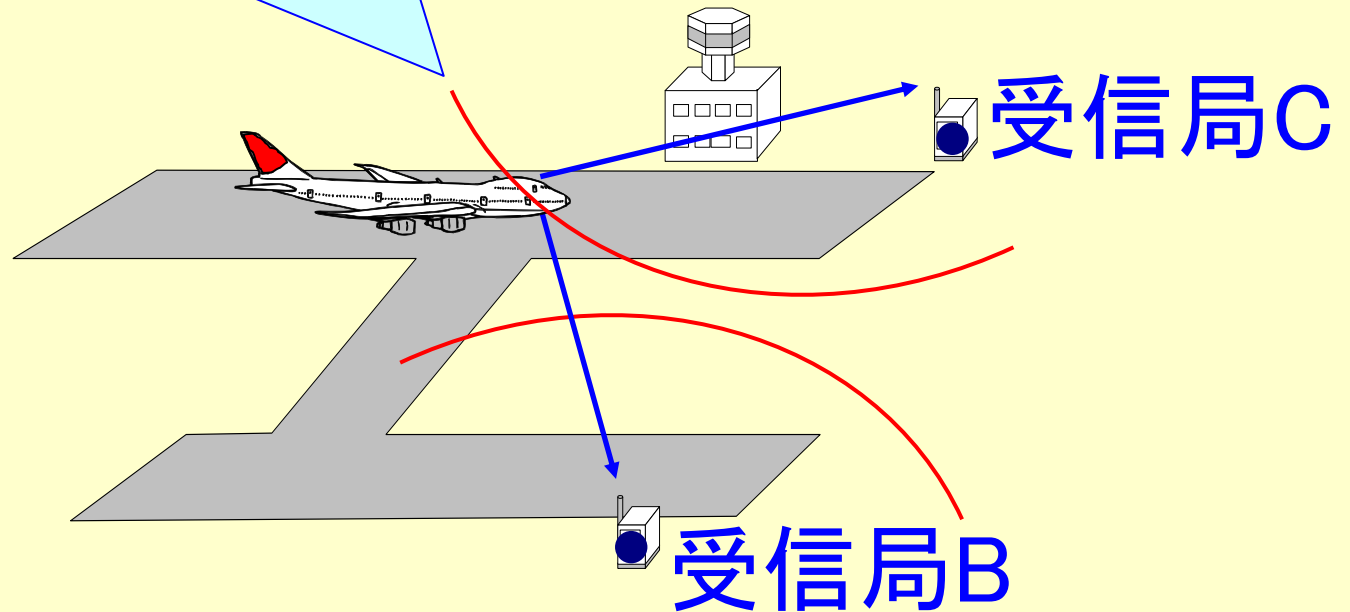
# 測位原理

受信局Aと受信局Bによる受信時刻差から  
計算される双曲線



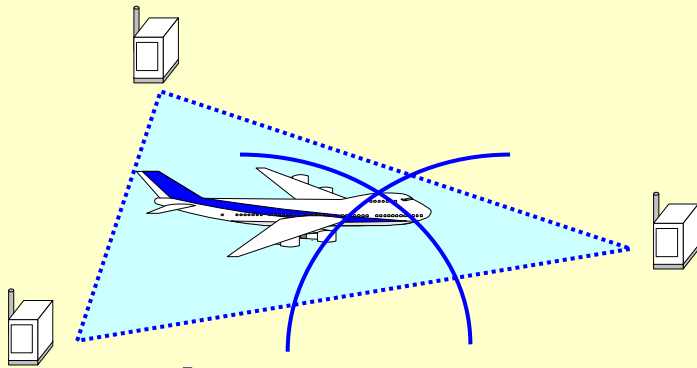
# 測位原理

受信局Bと受信局Cによる受信時刻差から計算される双曲線

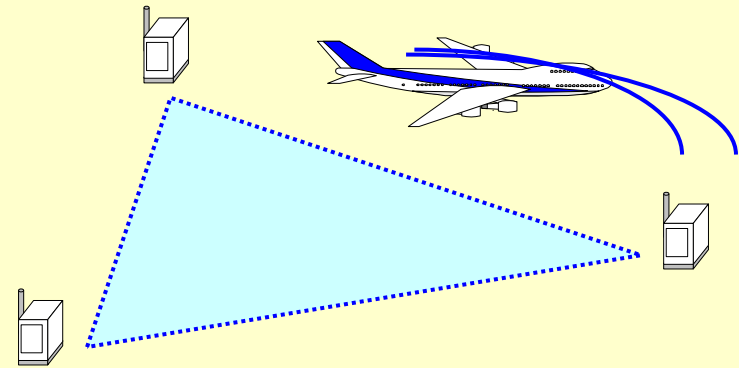


# 高い性能を得るには

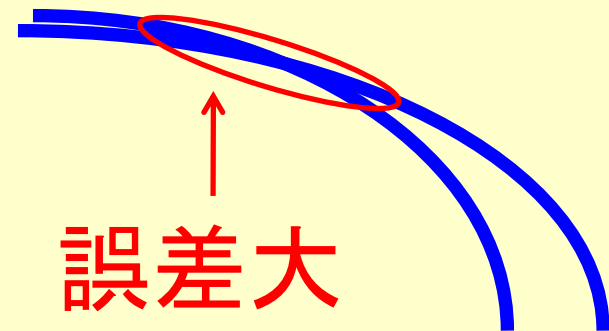
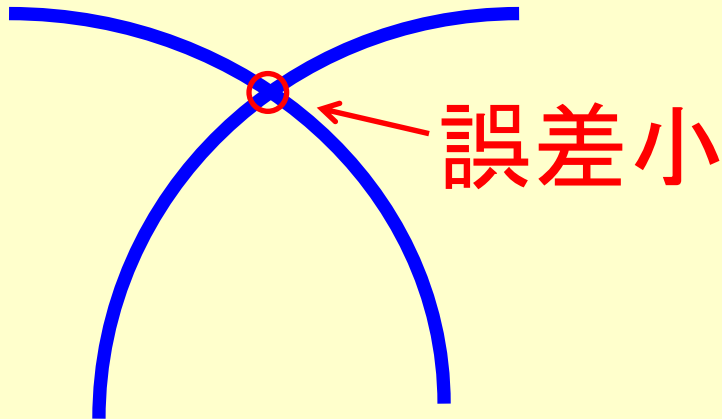
## ○航空機と受信局の位置関係が重要



良い関係

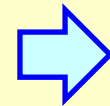
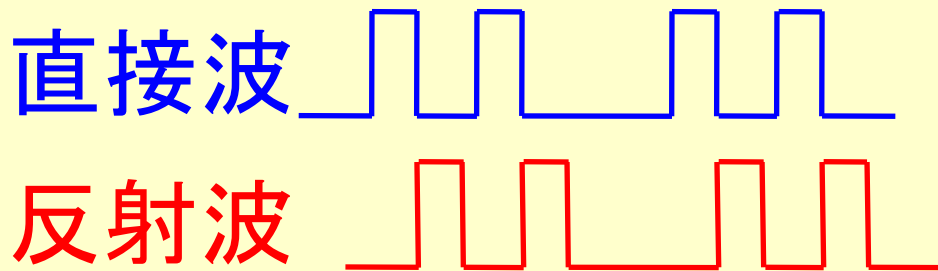
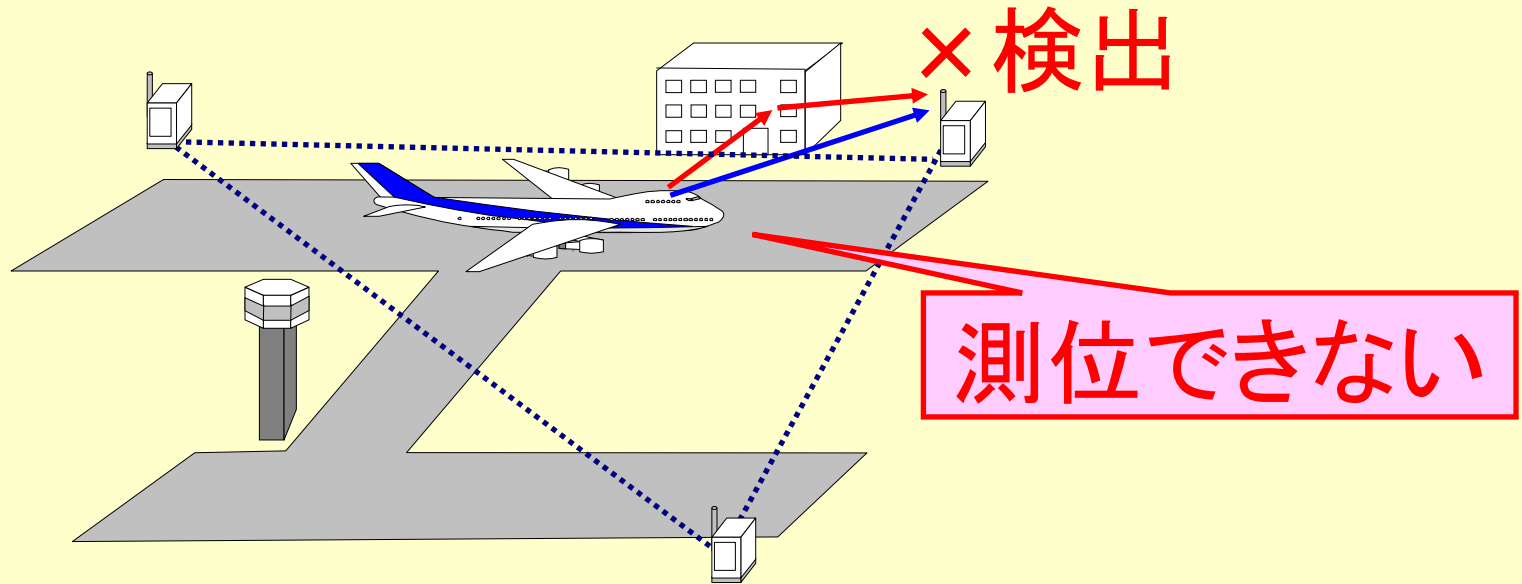


悪い関係

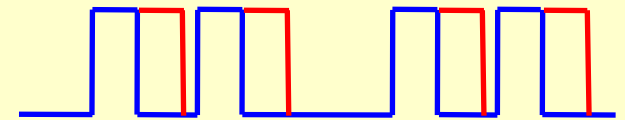


# 高い性能を得るには

○信号の干渉を避けることが重要



解読不能





# マルチラテレーションのポイント

## ○受信局の配置

→最低3局の受信局で信号を検出

→良い位置関係が重要(受信局で囲む)

## ○アンテナ取り付け位置

→建造物からの反射波を避ける

→なるべく高い場所に設置

# 講演内容

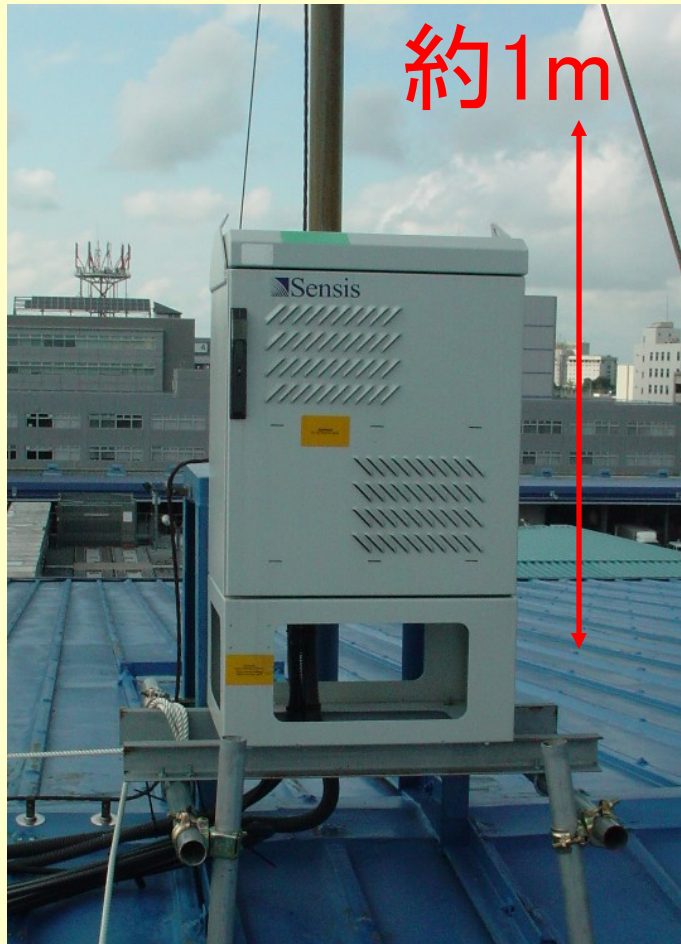
- 導入・評価の背景
- マルチラテレーションの概要
- 評価結果（羽田、成田、関空）
- 今後の動向

# 評価の流れ

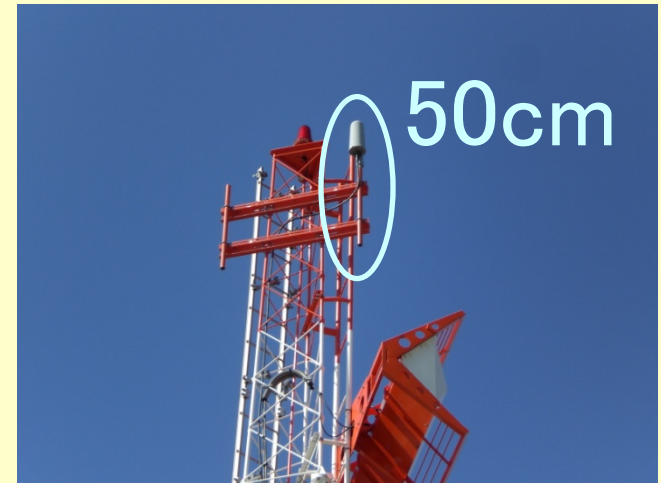
年度

17	18	19	20	21	22	
羽田空港		成田空港			関西空港	

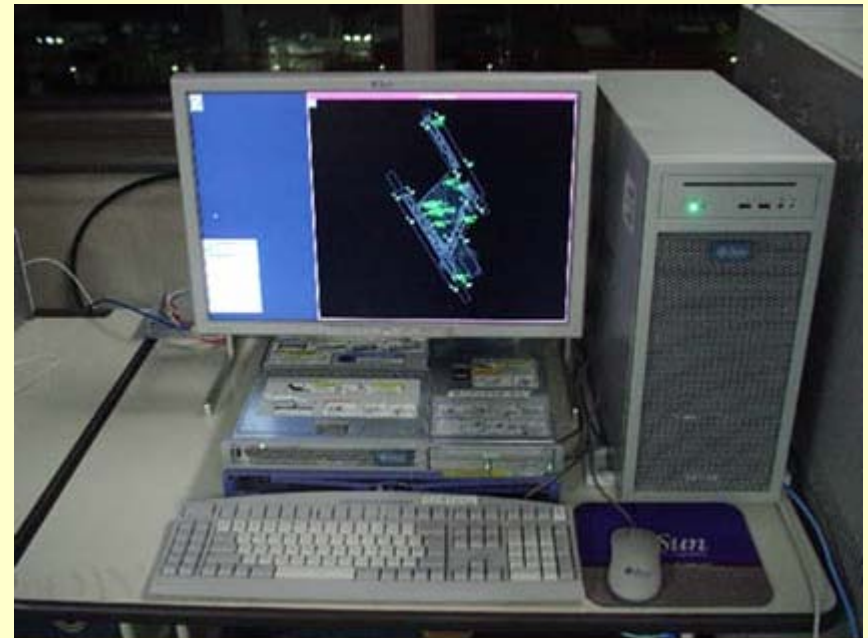
# 評価機材



受信局



アンテナ



処理装置

# 評価方法

## ○実験用車両を利用した評価

→ 広範囲なエリアのデータを効率的に取得

## ○飛行検査機を利用した評価

→ 運用時間帯におけるデータを取得



# 評価方法

○性能は欧州が制定した要求値を参照

	検出率	位置精度
滑走・誘導路	99.9%以上(2秒)	7.5m以上
スポット	99.9%以上(5秒)	20m以上

# 講演内容

- 導入・評価の背景
- マルチラテレーションの概要
- 評価結果（羽田、成田、関空）
- 今後の動向

# 羽田空港での評価

## ○評価のポイント

→ファースト・ステップ

→大規模空港でも正常に機能するか？

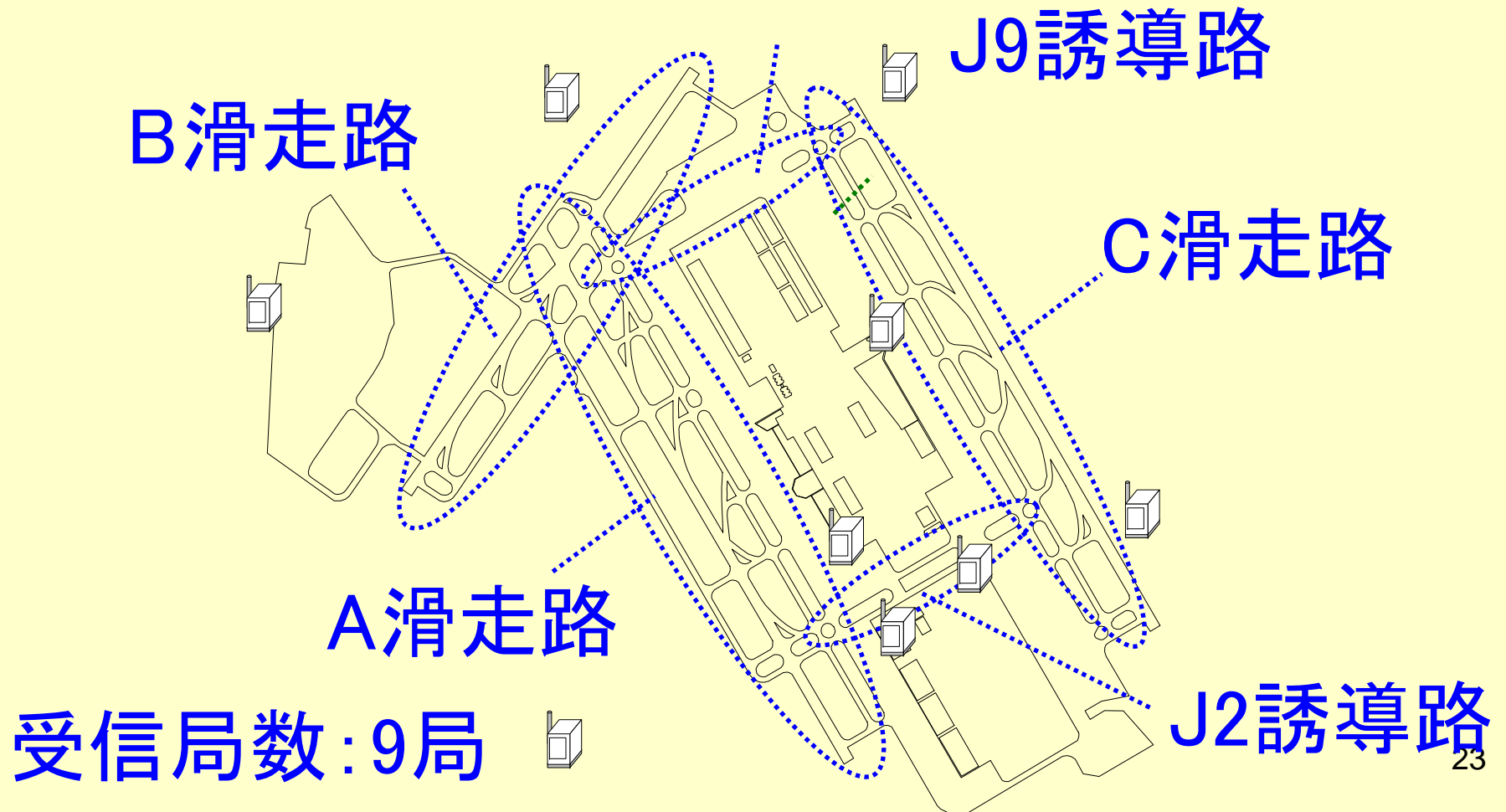
→十分な性能が得られるか??

**実際に導入する空港における事前検証**

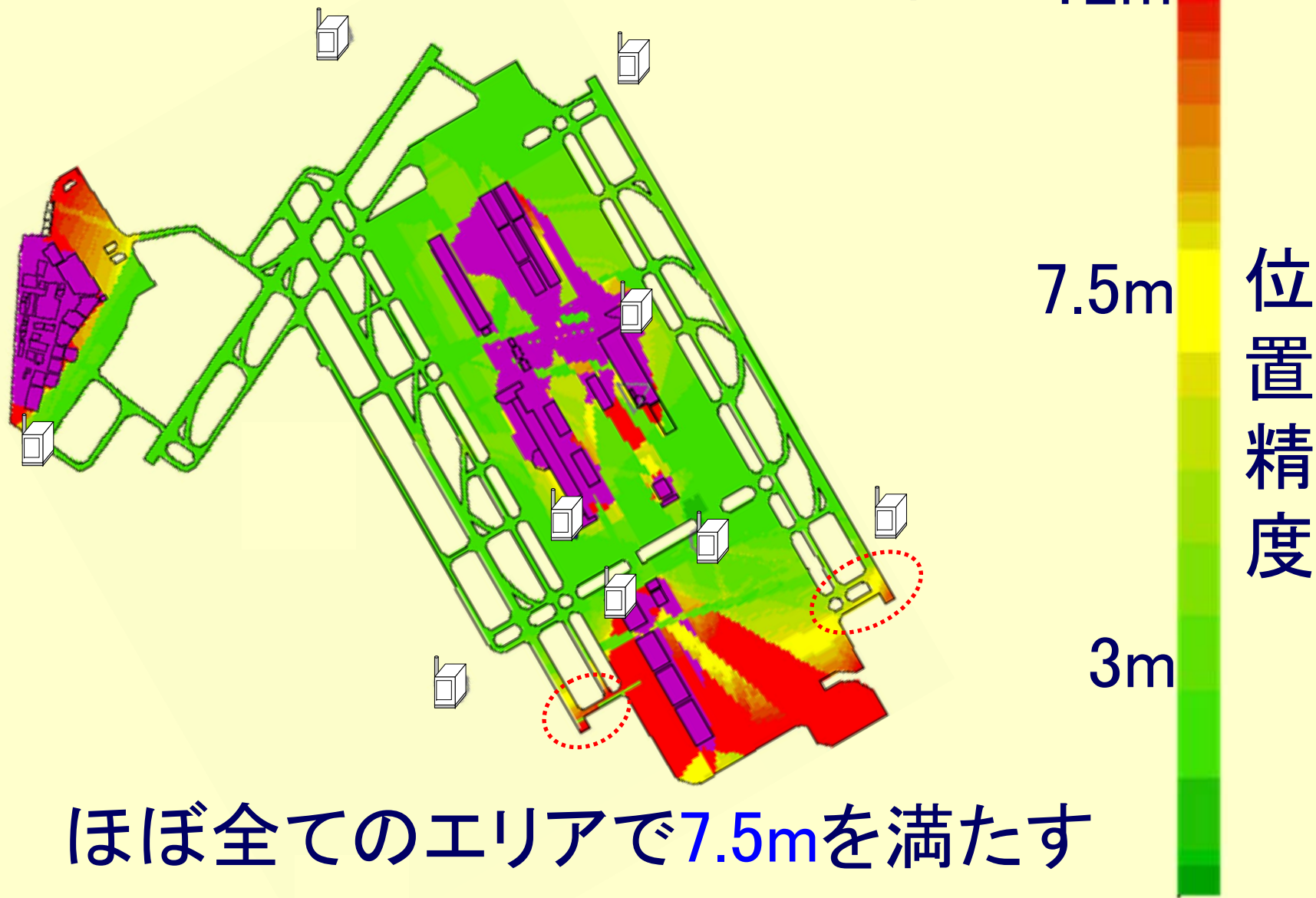


# 受信局配置と評価エリア

○対象エリア：滑走路・誘導路（エリア分割）

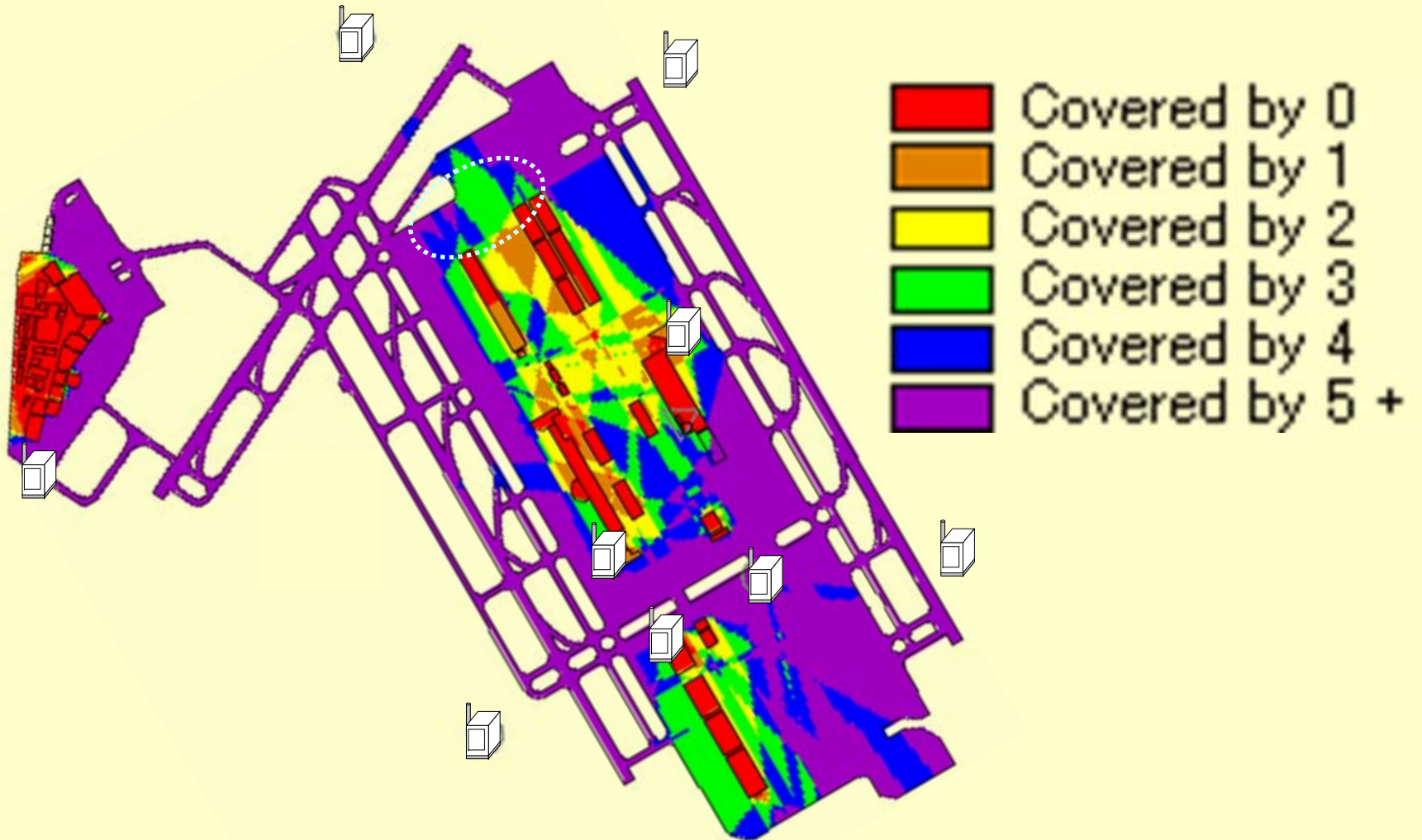


# シミュレーション結果



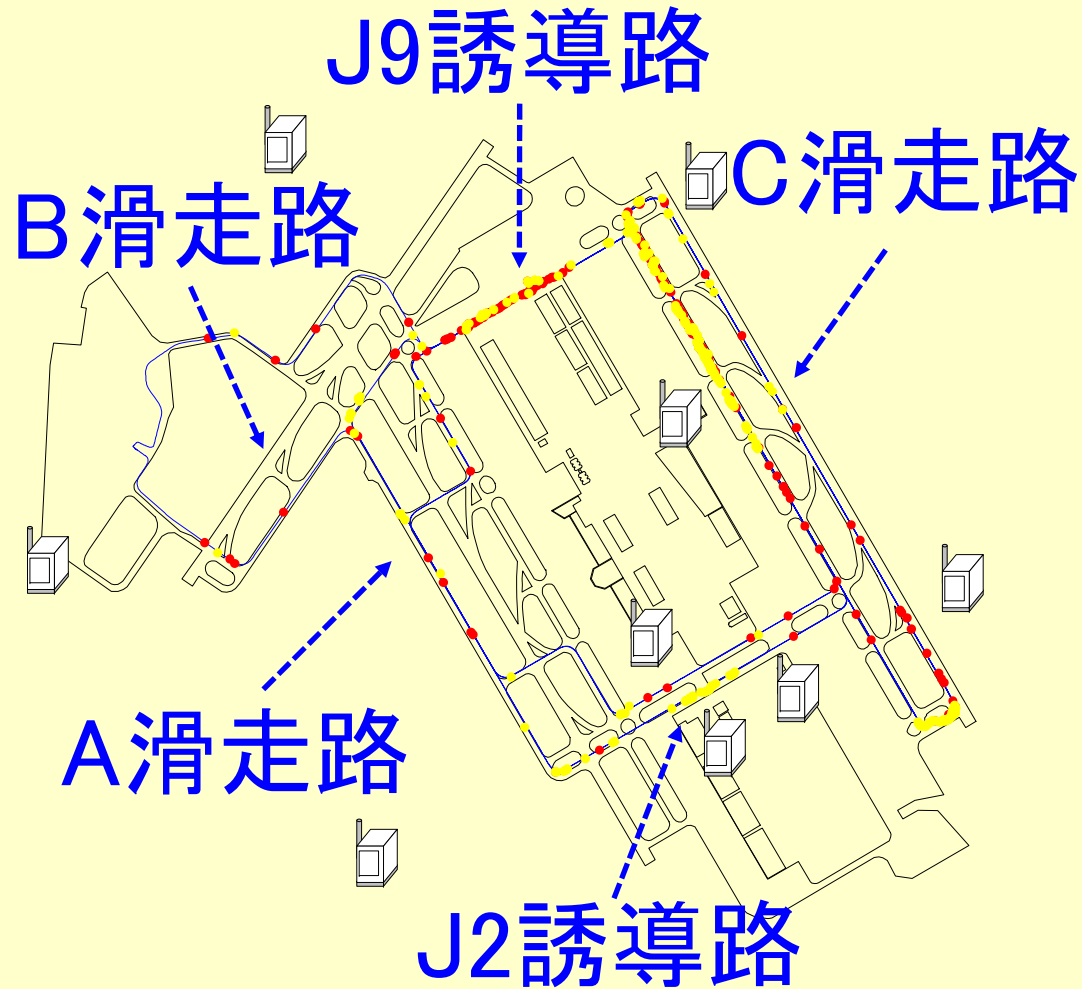
ほぼ全てのエリアで7.5mを満たす

# シミュレーション結果



全てのエリアで3局以上で受信可能

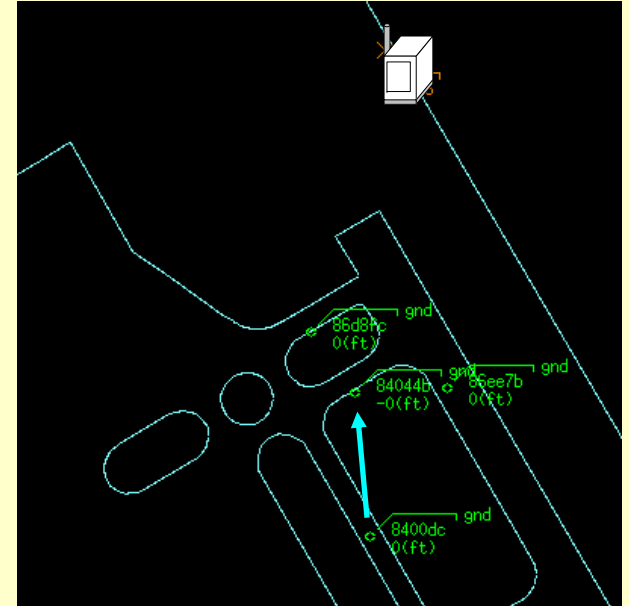
# 性能低下の発生状況



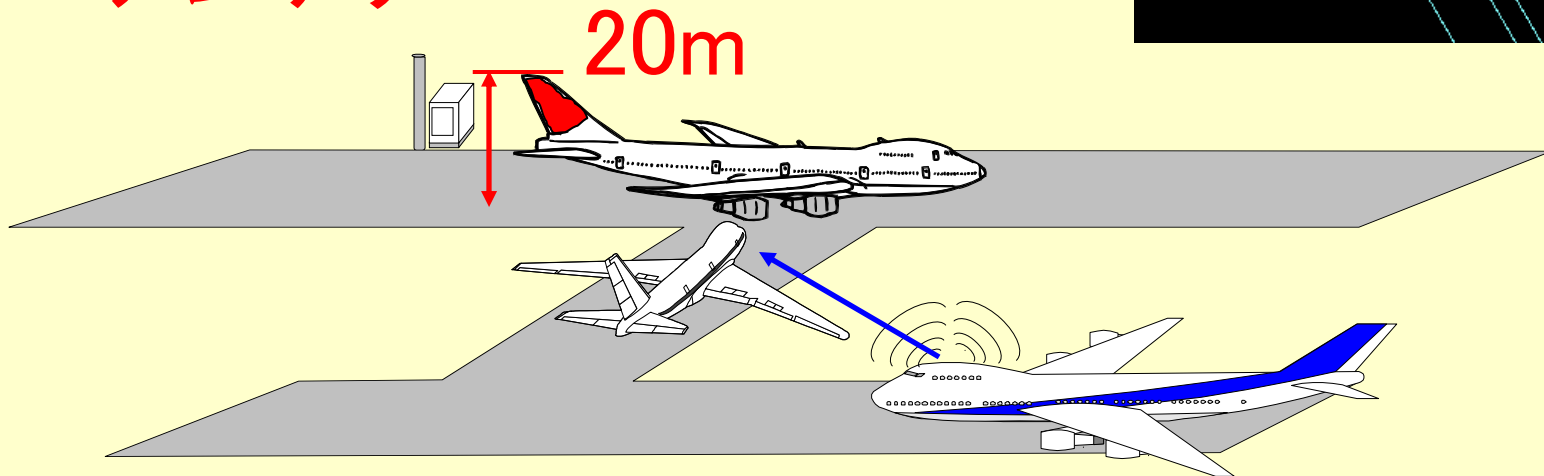
- 低検出率
- 測位誤差大

# 確認された問題点

- 受信局数の不足
- アンテナ設置高の不足



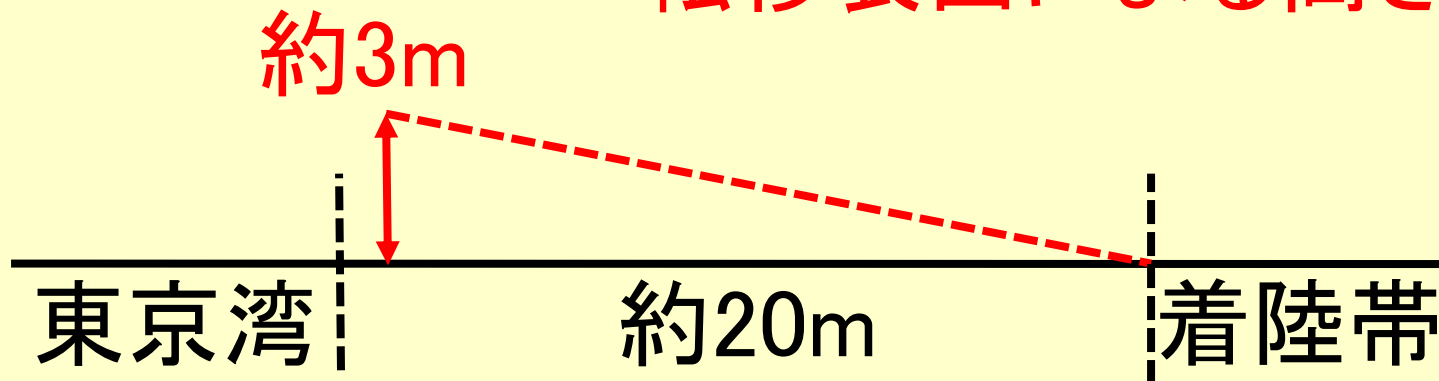
アンテナ



# アンテナ設置高の不足



転移表面による高さ制限

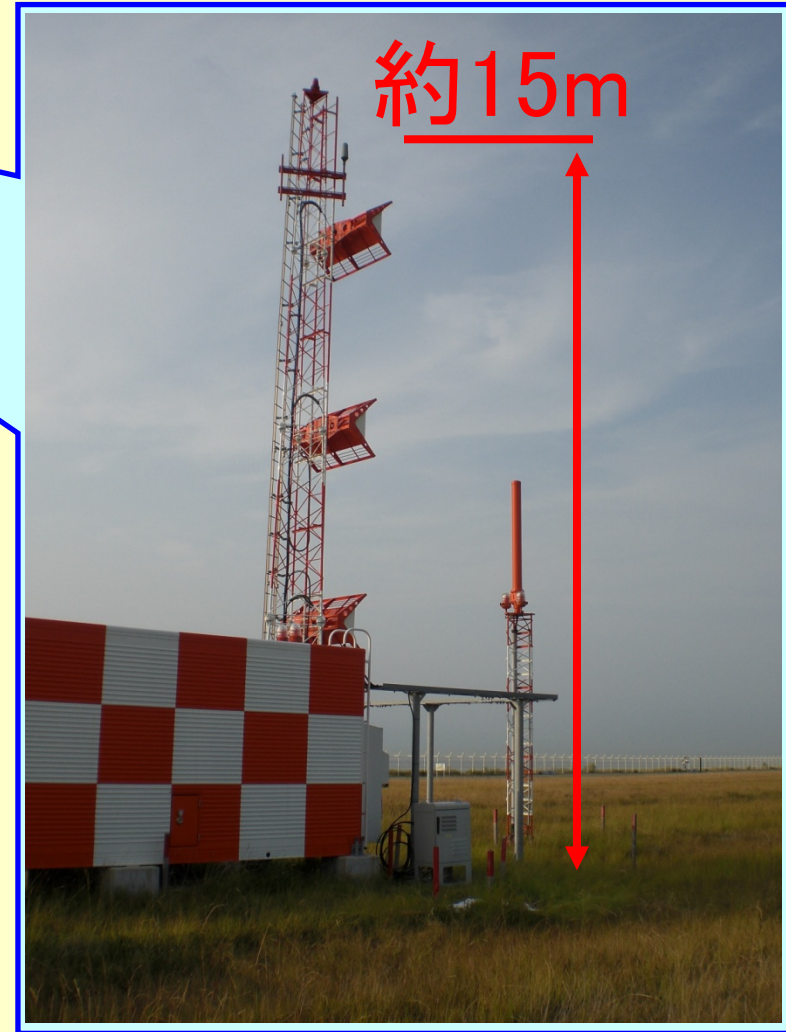


# 改善策の適用



進入灯橋脚部に移設  
設置高が約12mに増加

# アンテナ設置高の不足

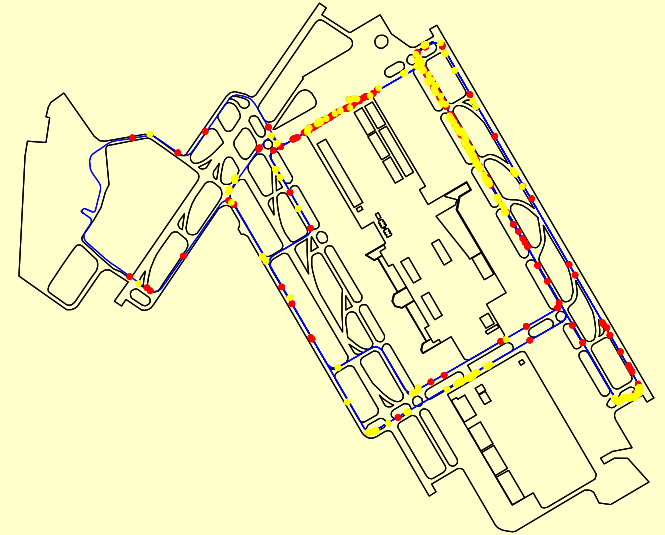
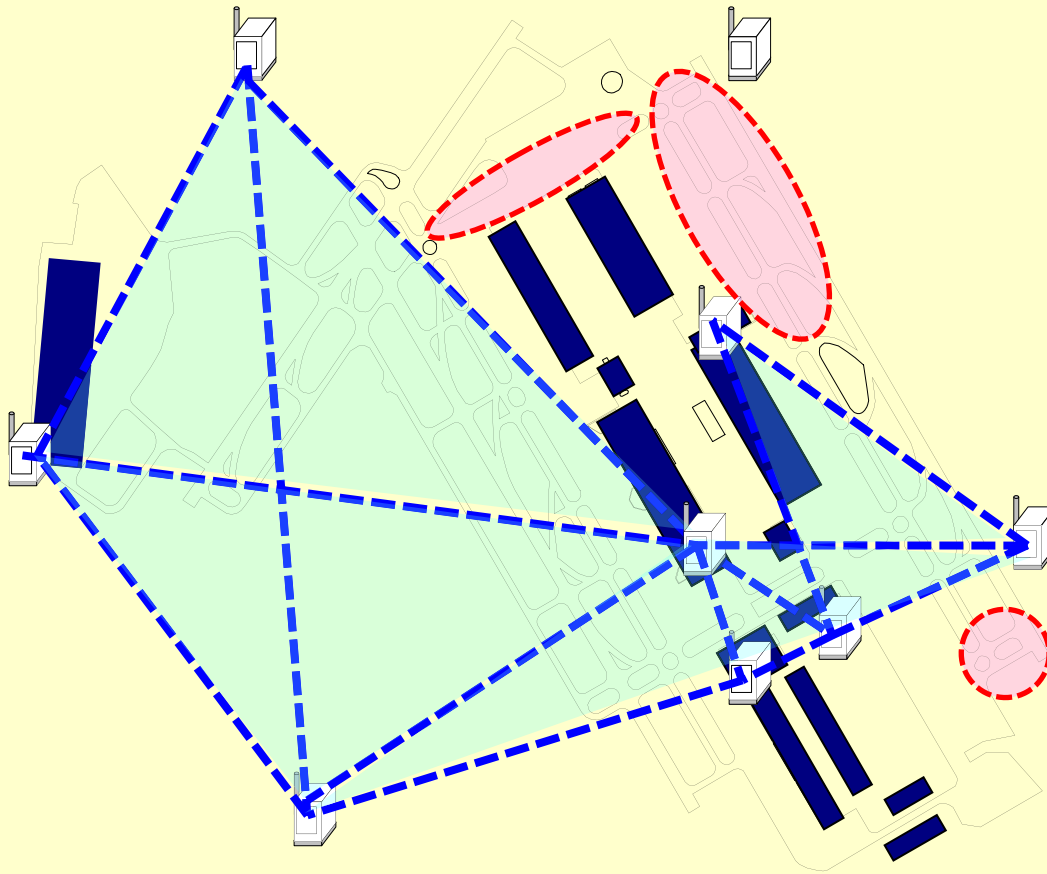


既存の無線施設  
ILS鉄塔に設置

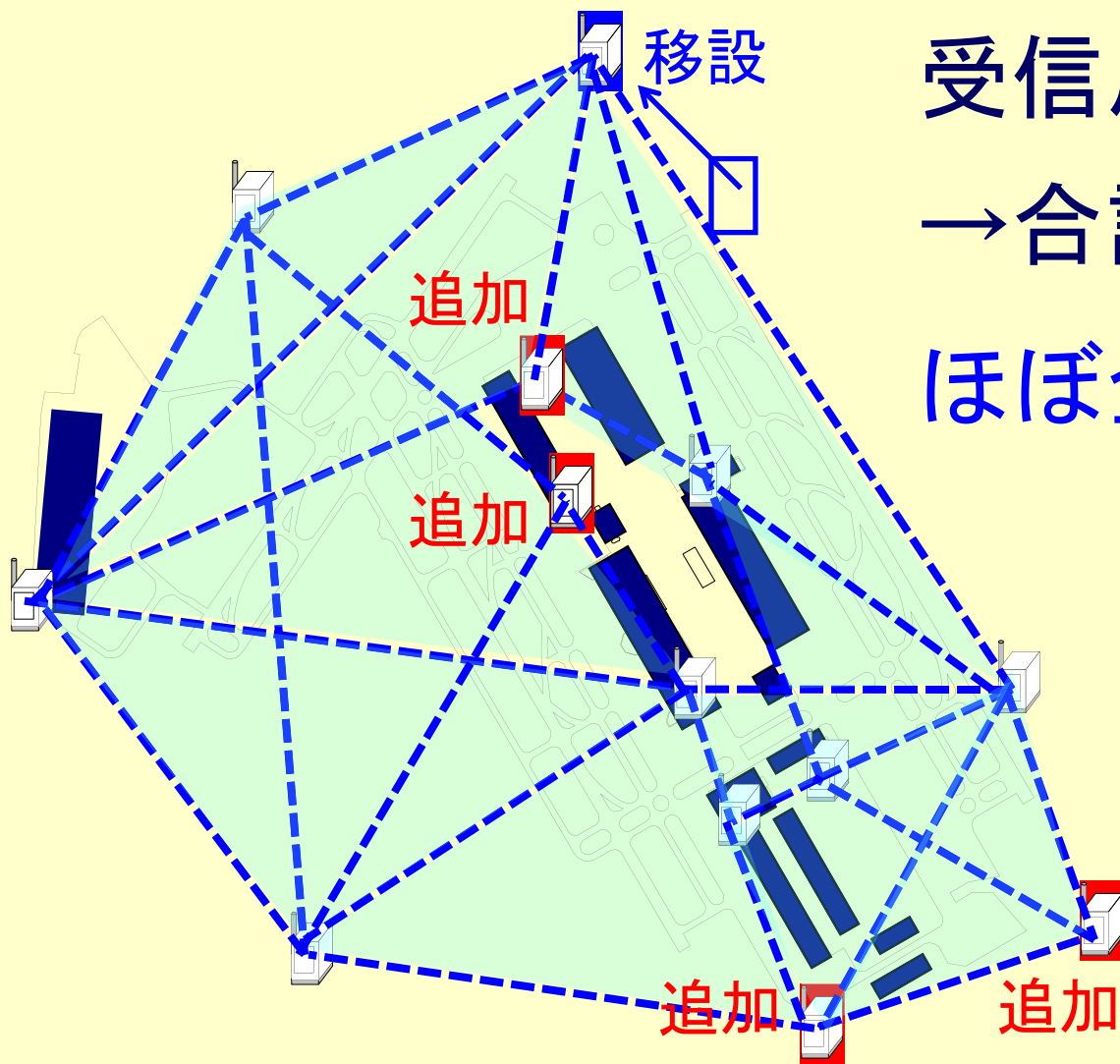


# 受信局数の不足

受信局に囲まれていない → 誤差大



# 改善策の適用

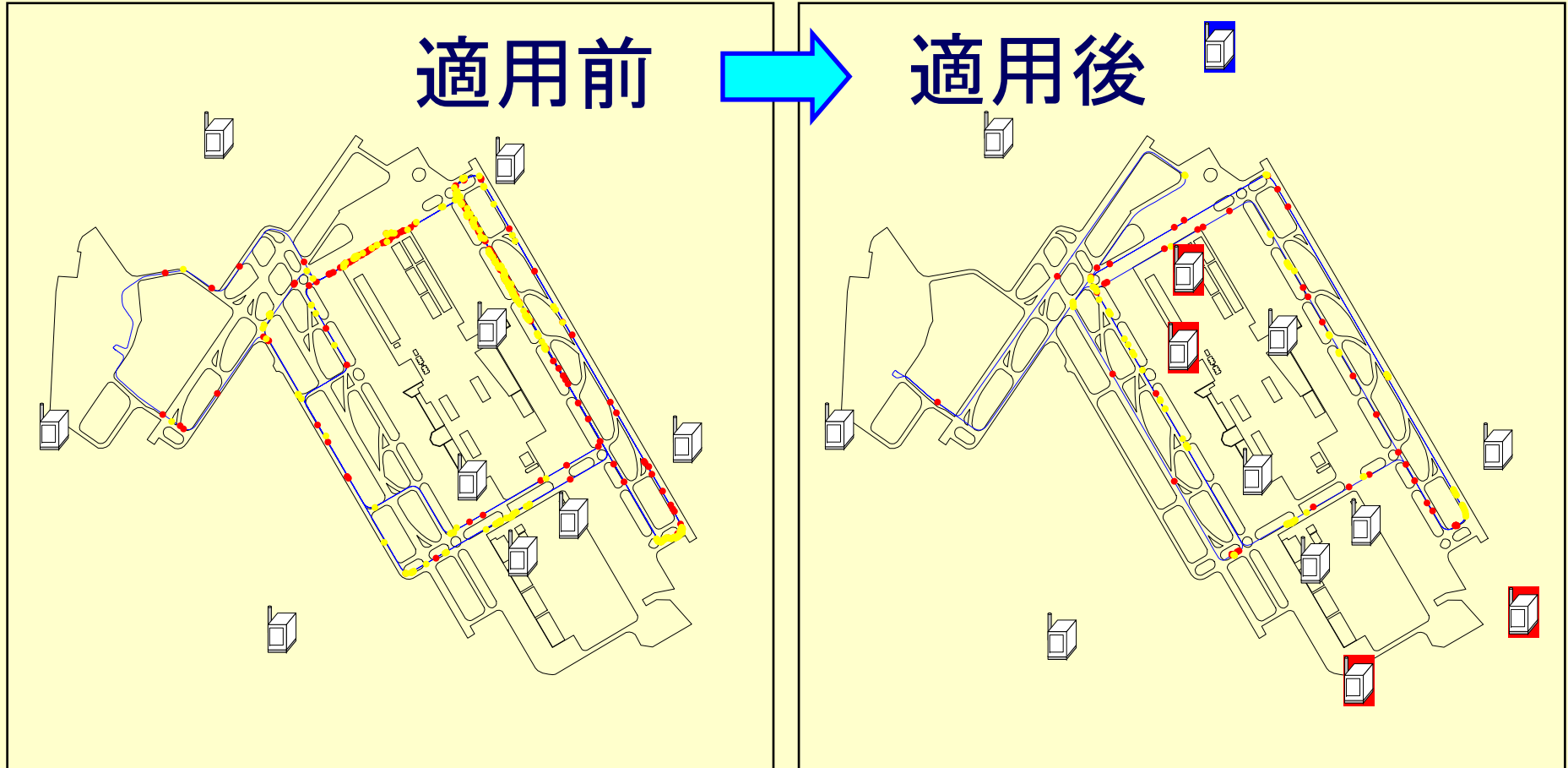


受信局を4局追加

→合計13局

ほぼ全域を囲む

# 適用前後での比較



- 低検出率
- 測位誤差大

# 適用前後での比較

	検出率		位置精度	
	適用前	適用後	適用前	適用後
A滑走路	99.9%	99.8%	12m	7.3m
B滑走路	99.9%	99.9%	7.0m	7.2m
C滑走路	99.8%	99.9%	11m	6.4m
J2誘導路	99.9%	99.9%	11m	11m
J9誘導路	99.5%	99.9%	9.1m	9.0m
性能要件	99.9%以上		7.5m以下	

改善策適用により性能の向上を確認

# 羽田空港での評価

## ○羽田評価の教訓

- 周囲の航空機が遮蔽・反射の要因となる
- 実環境はシミュレーションより厳しい
- 制限表面の規定には既存建造物が有効
- 冗長性を持たせた配置が有効(最低4局)

**おおむね性能を満足→導入の見通しを得た**

# 講演内容

- 導入・評価の背景
- マルチラテレーションの概要
- 評価結果（羽田、成田、関空）
- 今後の動向

# 成田空港での評価

## ○評価のポイント

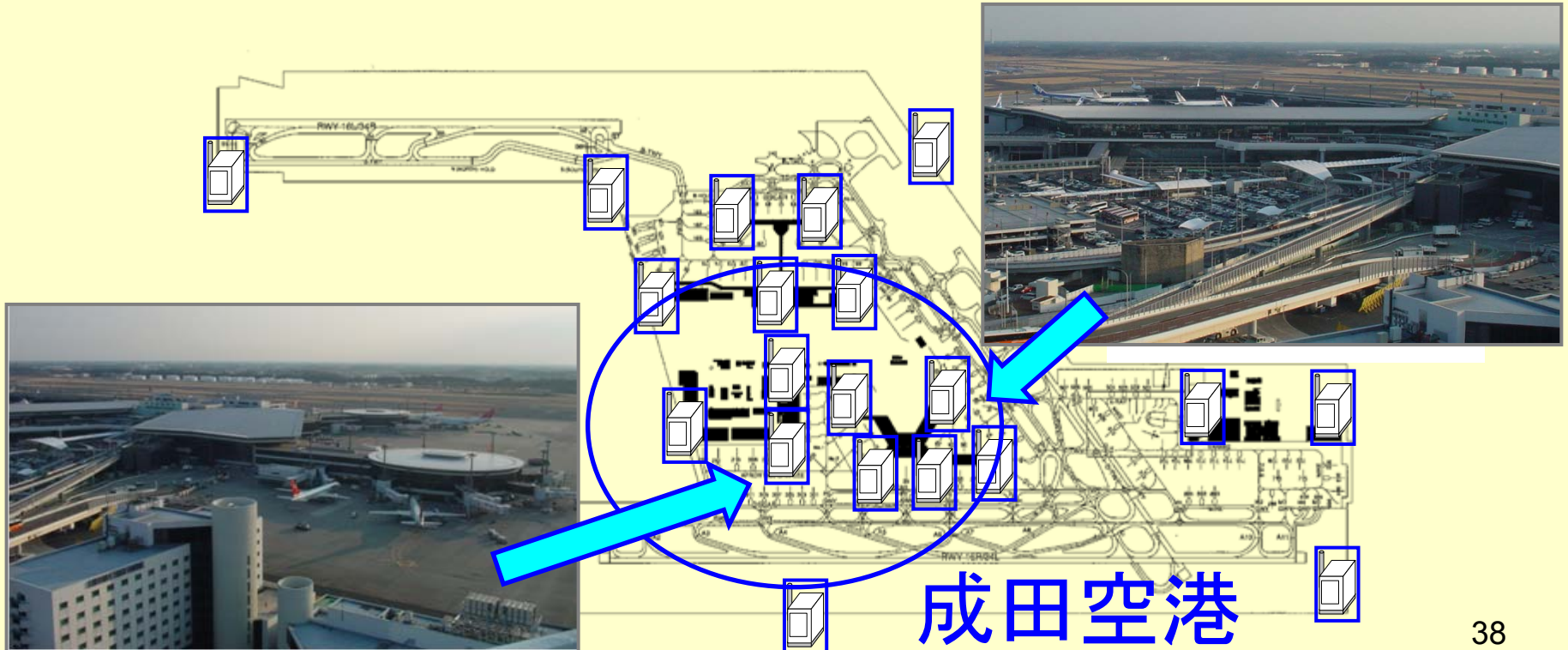
→日本一複雑なエプロンエリアでも  
十分な性能が得られるか??

→羽田で得た教訓を踏まえてチャレンジ

**エプロンエリア評価も含めた事前検証**

# 複雑なエプロンエリア

- 高い建造物に囲まれた領域が多数存在
- 多数の受信局と高所へのアンテナ設置

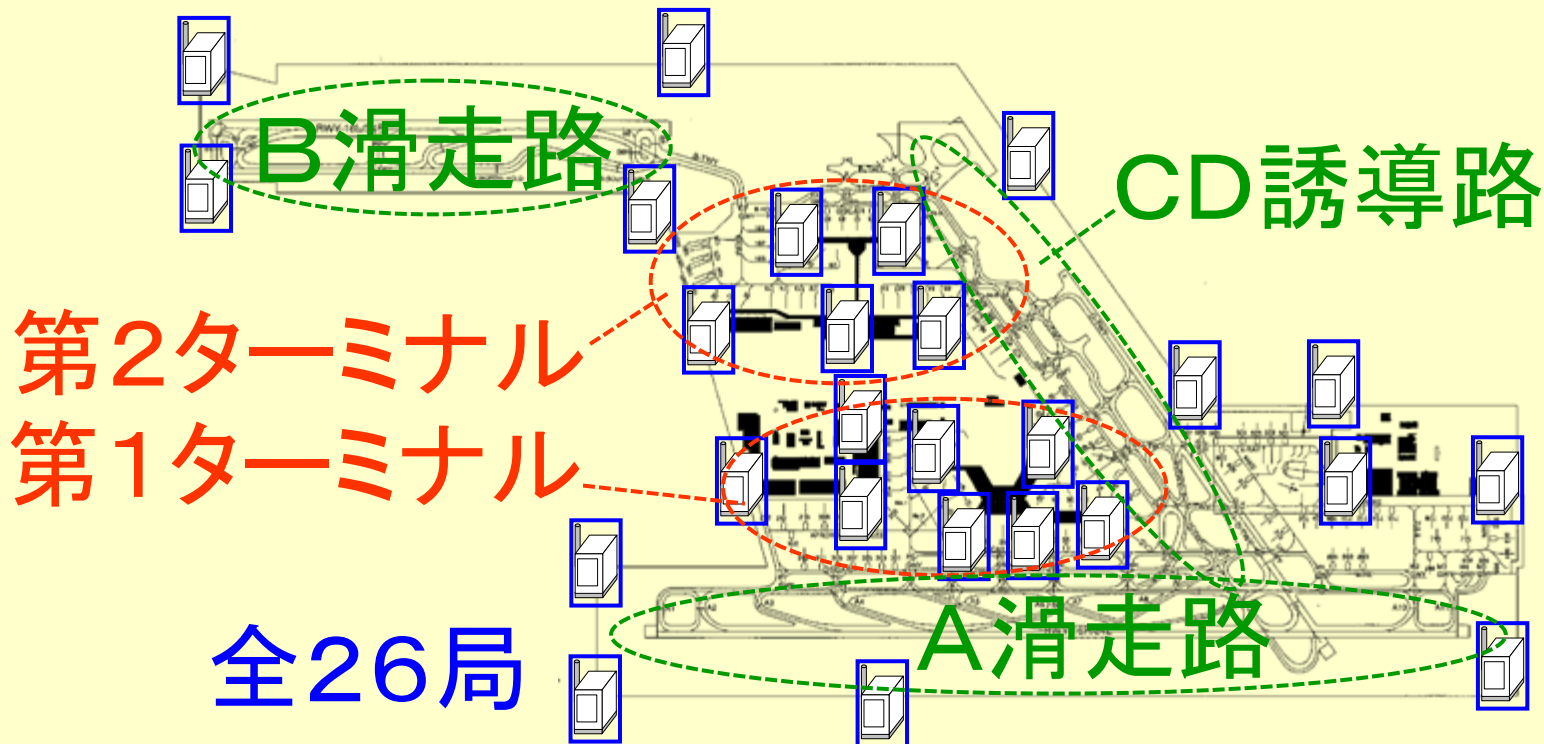




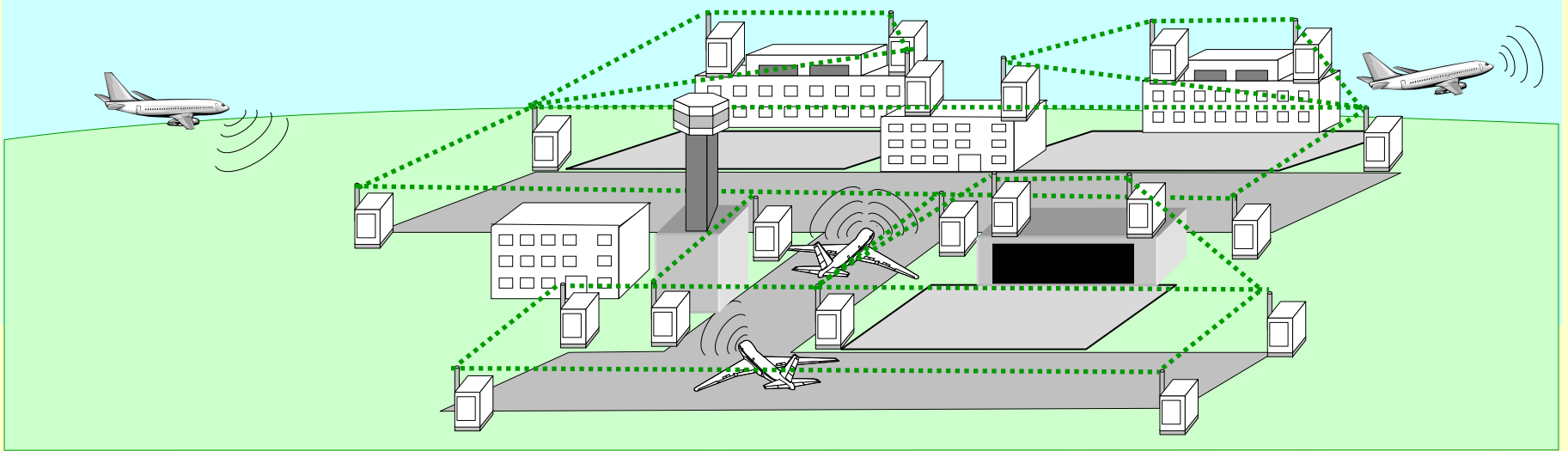
# 評価エリアと受信局配置

○羽田の教訓：冗長性を持たせた配置

→全エリアを最低4局の受信局で囲む



# 冗長性を持たせた配置



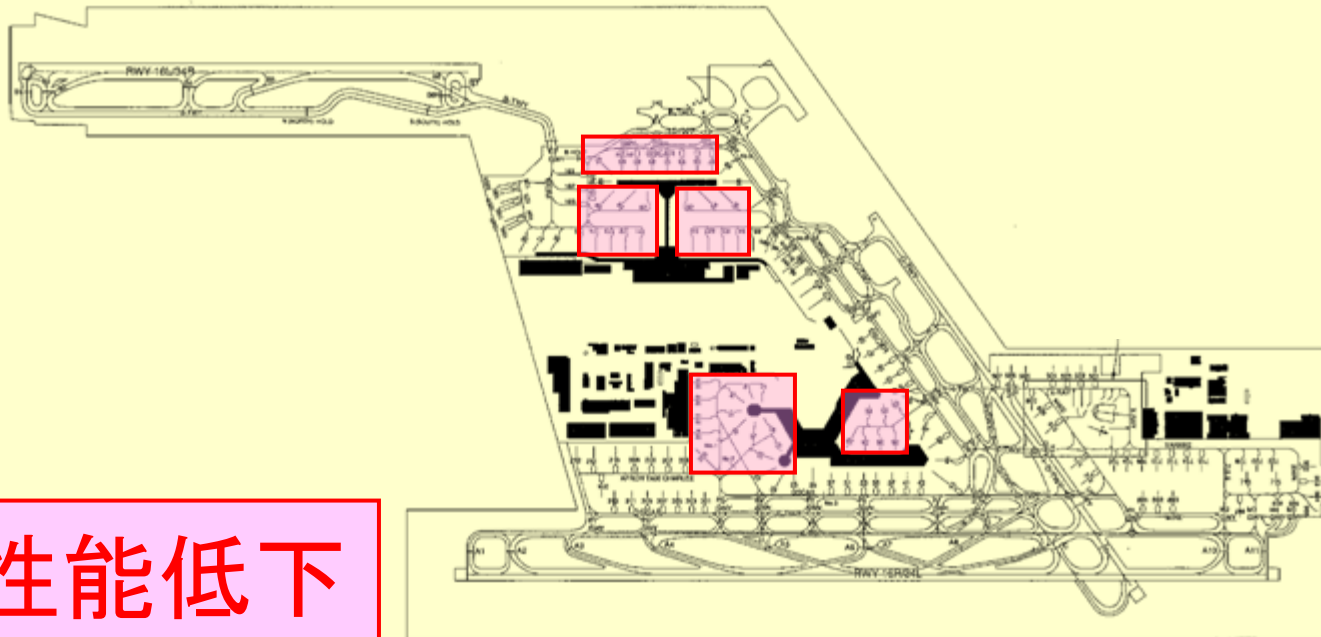
エリアを区切って四角形で囲む

# エプロンエリアの試験結果

○ほぼ全域で性能低下が発生

→検出すべき受信局で**信号が検出されない**

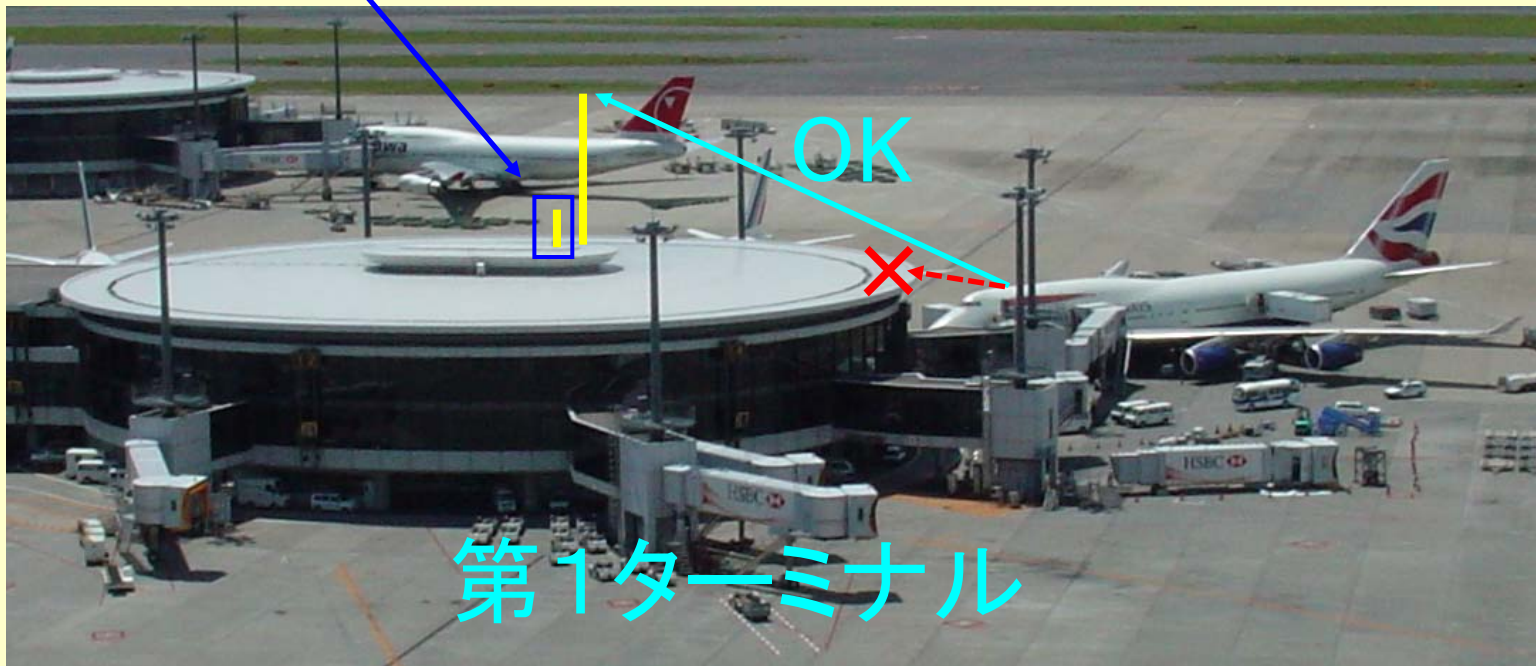
→理想的な位置に**アンテナを設置できない**



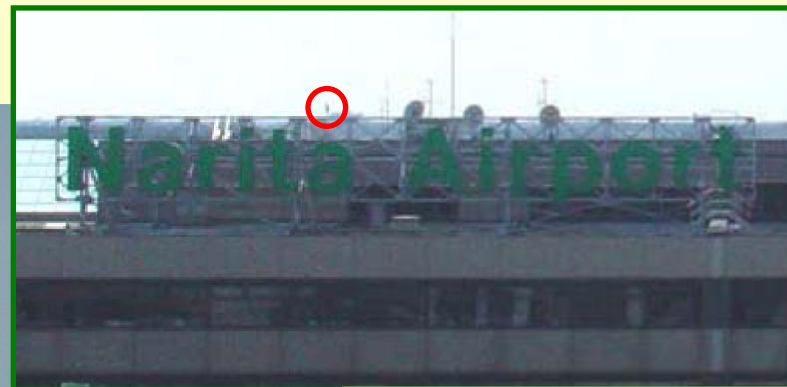
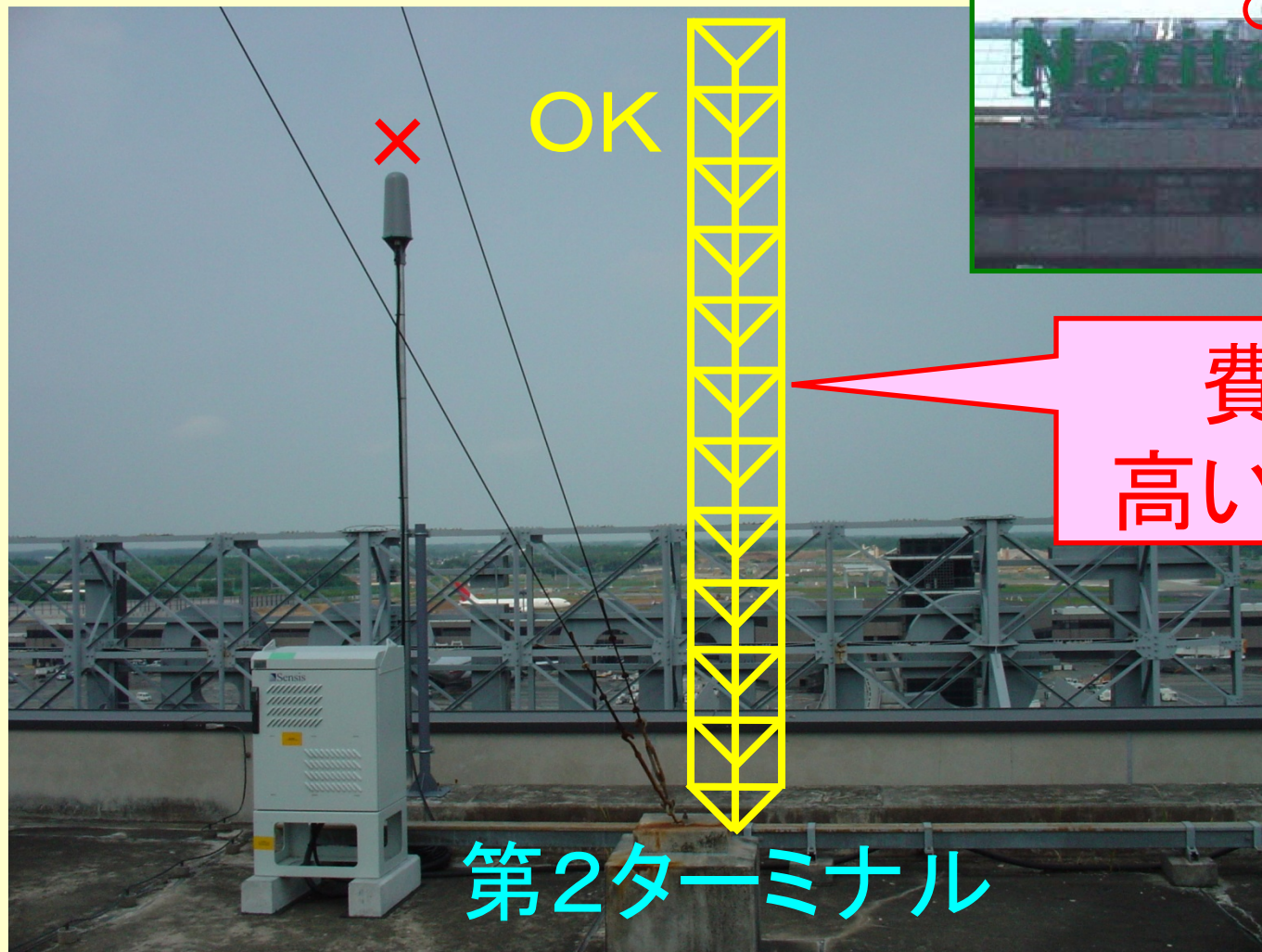
# 理想的でないアンテナ設置



構造的に  
高い設置不可



# 理想的でないアンテナ設置



費用的に  
高い設置不可

# 直面した課題

構造的・費用的な理由から理想的な位置にアンテナを設置できない

○受信局数を増やして対処も可能

→組み合わせ数の増加

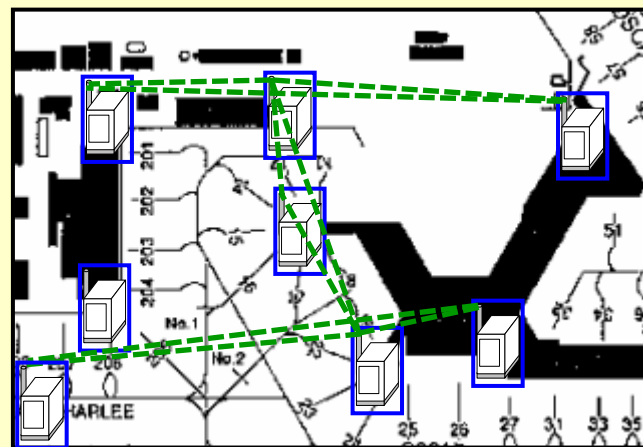
(8局検出:  $8C_3=56$ の解)

弊害も発生

- 処理装置負荷
- 悪い位置関係
- 機材設置費用

増大

直線に並ぶ×



# 課題に対する改善策

空港全体の広い範囲に見通しが得られる  
非常に高い建造物上部にアンテナを設置

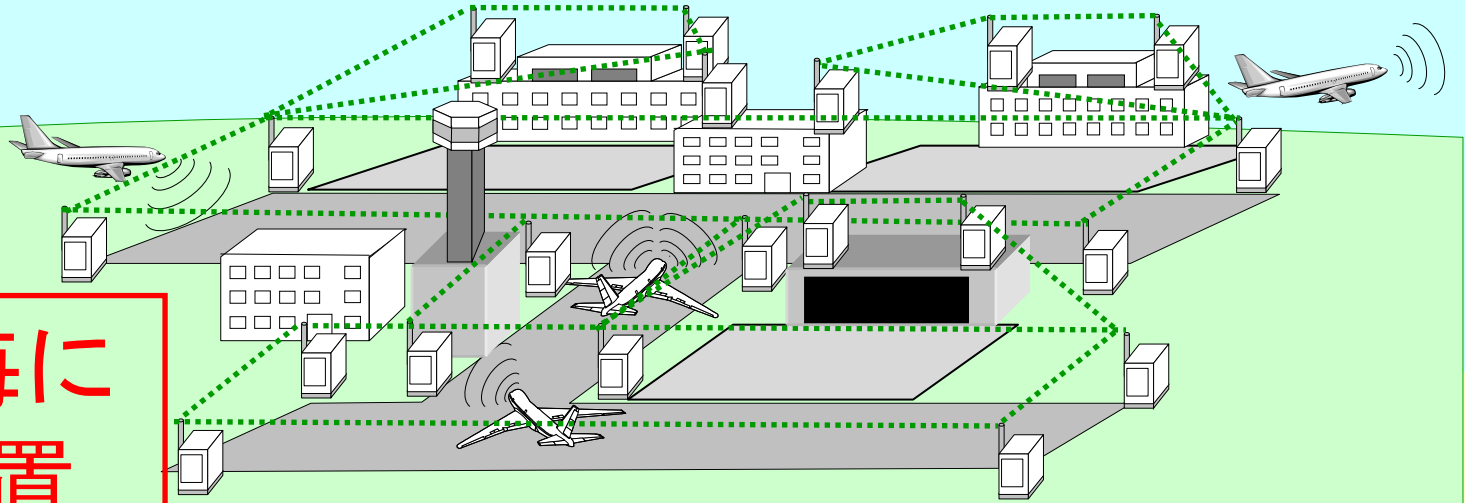
- 新たな鉄塔の整備が不要
- 受信局数が増加しない
- 信号干渉の影響が大幅に軽減
- より良好な位置関係が得られる

# 課題に対する改善策

従来策

20局

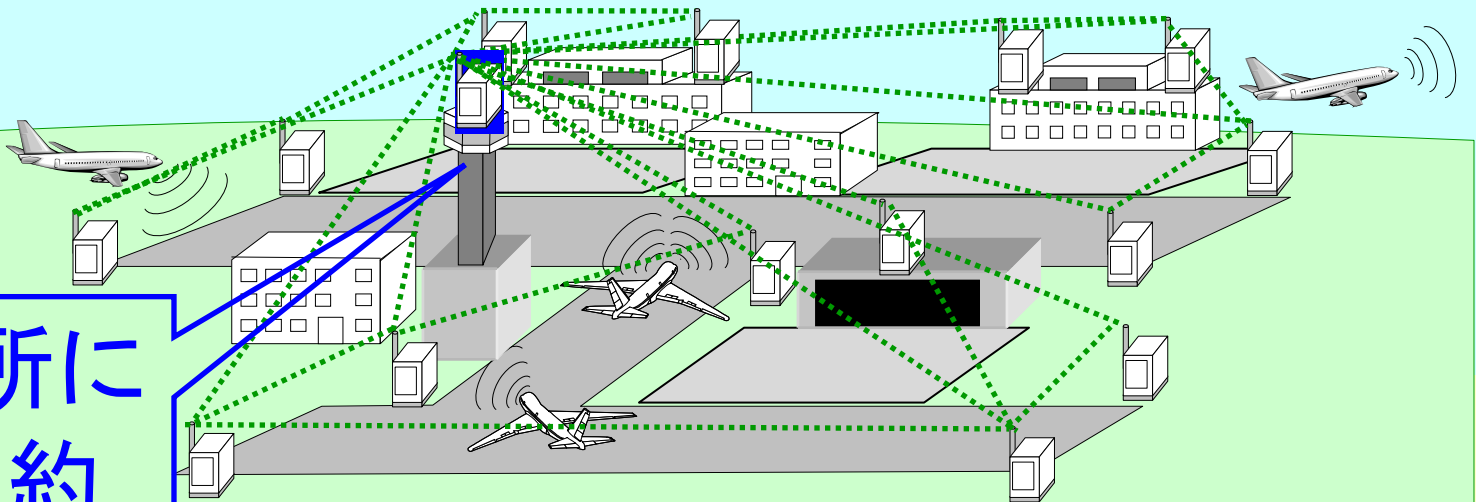
エリア毎に  
4局設置



改善策

15局

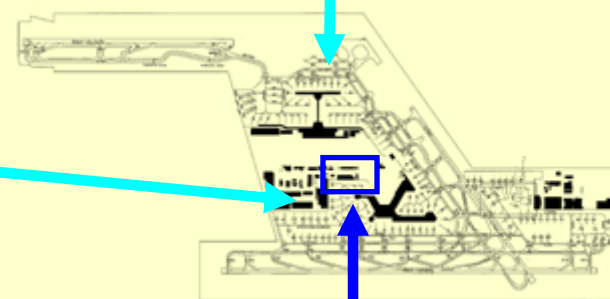
中央高所に  
局数集約





# ランプコントロールタワーを選定

各エリアに良好な見通し



# 改善策を適用した試験結果

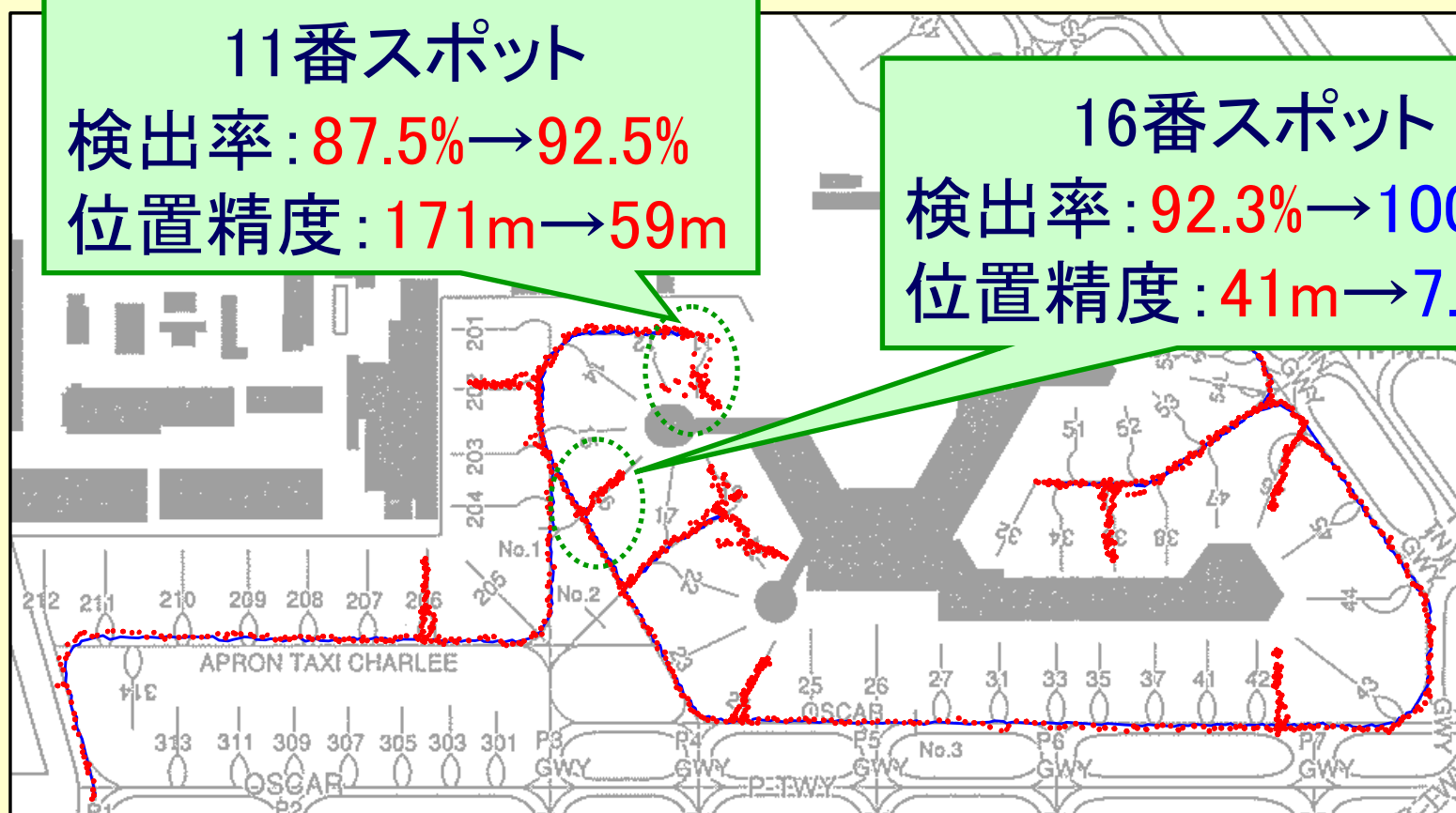
## (第1ターミナルエリア)

11番スポット

検出率: 87.5% → 92.5%  
位置精度: 171m → 59m

16番スポット

検出率: 92.3% → 100%  
位置精度: 41m → 7.2m



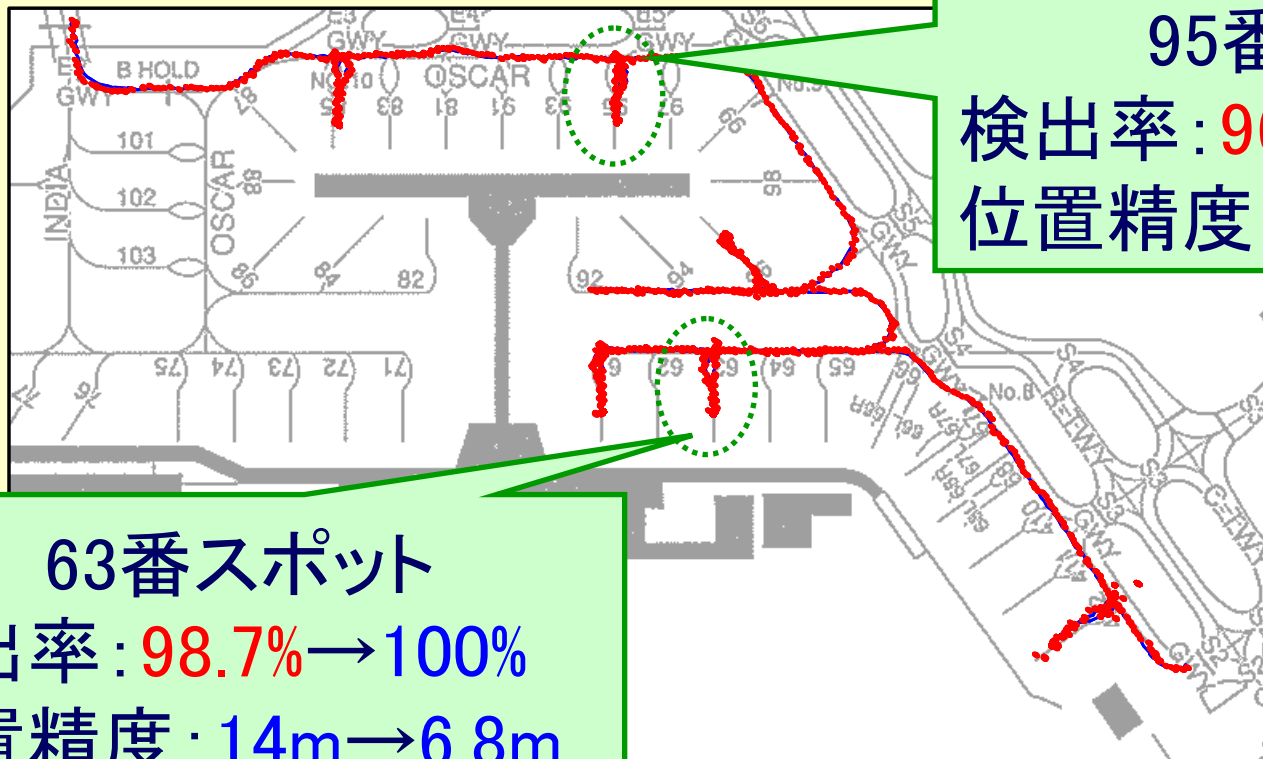
性能要件

検出率: 99.9%以上

位置精度: 20m以下

# 改善策を適用した試験結果

## (第2ターミナルエリア)



性能要件

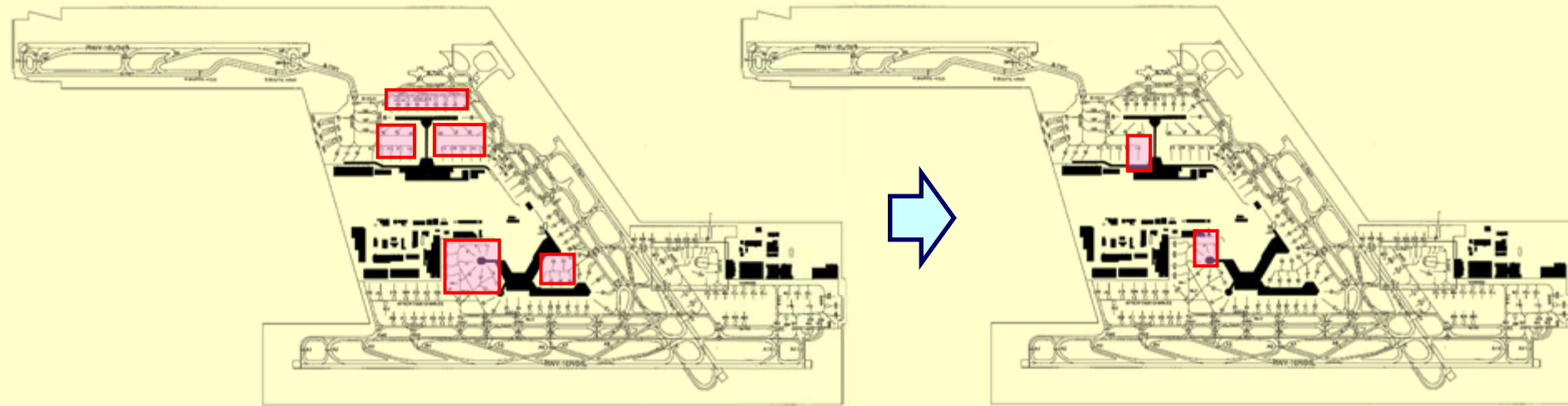
検出率: 99.9%以上

位置精度: 20m以下

# 性能低下発生状況の比較

適用前

適用後

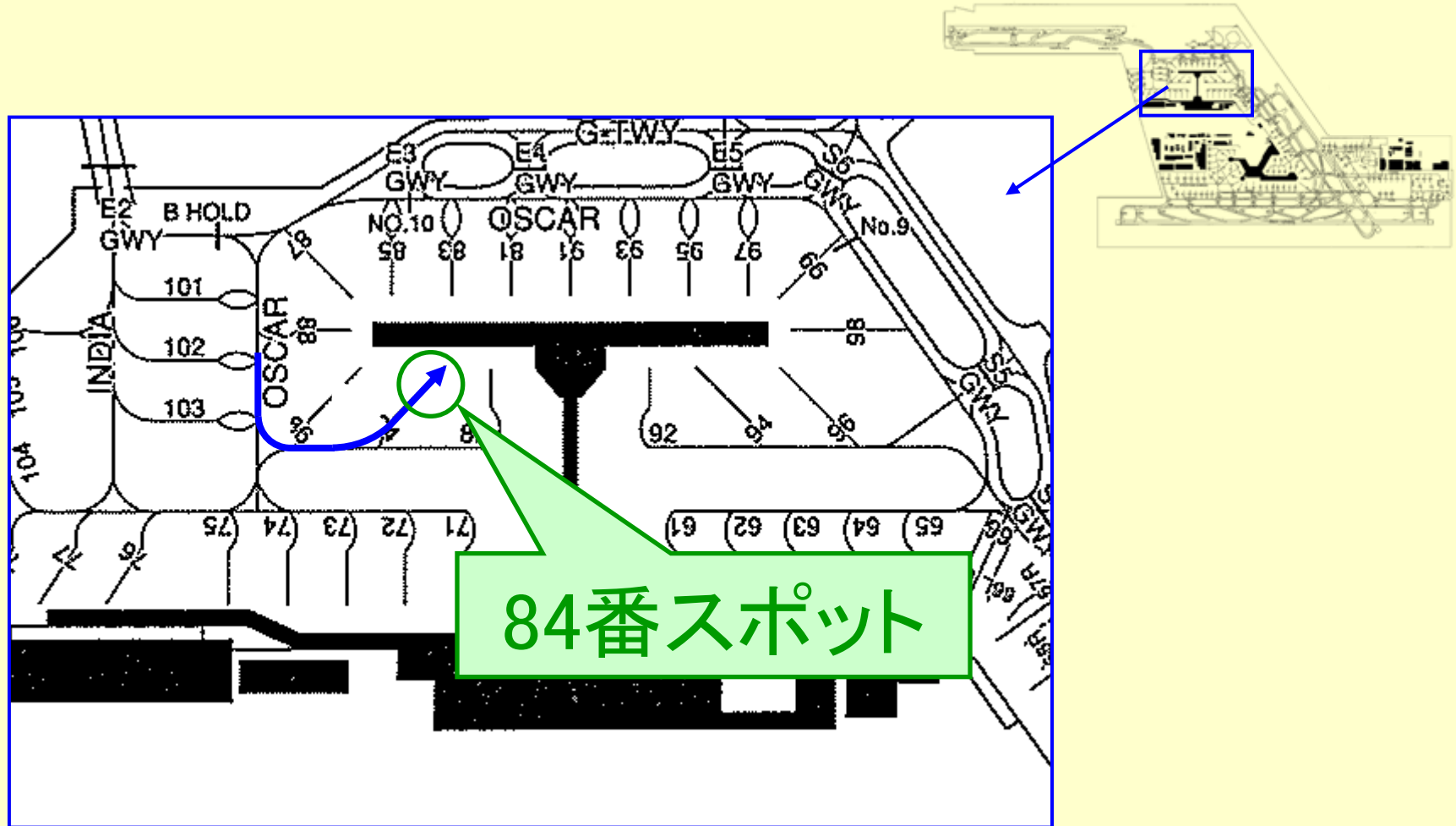


○改善策適用→性能低下発生が大幅減少

○適用後も発生→実システムにて性能向上

管制塔に受信局2局を設置

# 改善策適用前後で航跡比較



# 成田空港での評価

## ○成田評価の教訓

- 構造的にアンテナを高く設置できない
- 高所へのアンテナ設置は高額となる
- 受信局数の増加は弊害をもたらす
- 既存高所設置への集約は利点多数

**ほぼ性能を満足→導入の見通しを得た**

# 講演内容

- 導入・評価の背景
- マルチラテレーションの概要
- 評価結果（羽田、成田、関空）
- 今後の動向

# 関西空港での評価

## ○評価のポイント

- 周囲が全て海に囲まれている
- ターミナルビルでのアンテナ設置は不可
- 少ない受信局数でもOKか？
- 羽田・成田での教訓を踏まえてチャレンジ

**厳しい条件に対する事前検証(集大成)**



# 厳しい条件

○周囲が全て海に囲まれている

→アンテナを高く設置できない(制限表面)

→進入灯や既設鉄塔にアンテナを設置



# 厳しい条件

○ターミナルビルでのアンテナ設置は不可

→デザイナーの許可が必要

→これまでに許可された例が無い



# コンセプト

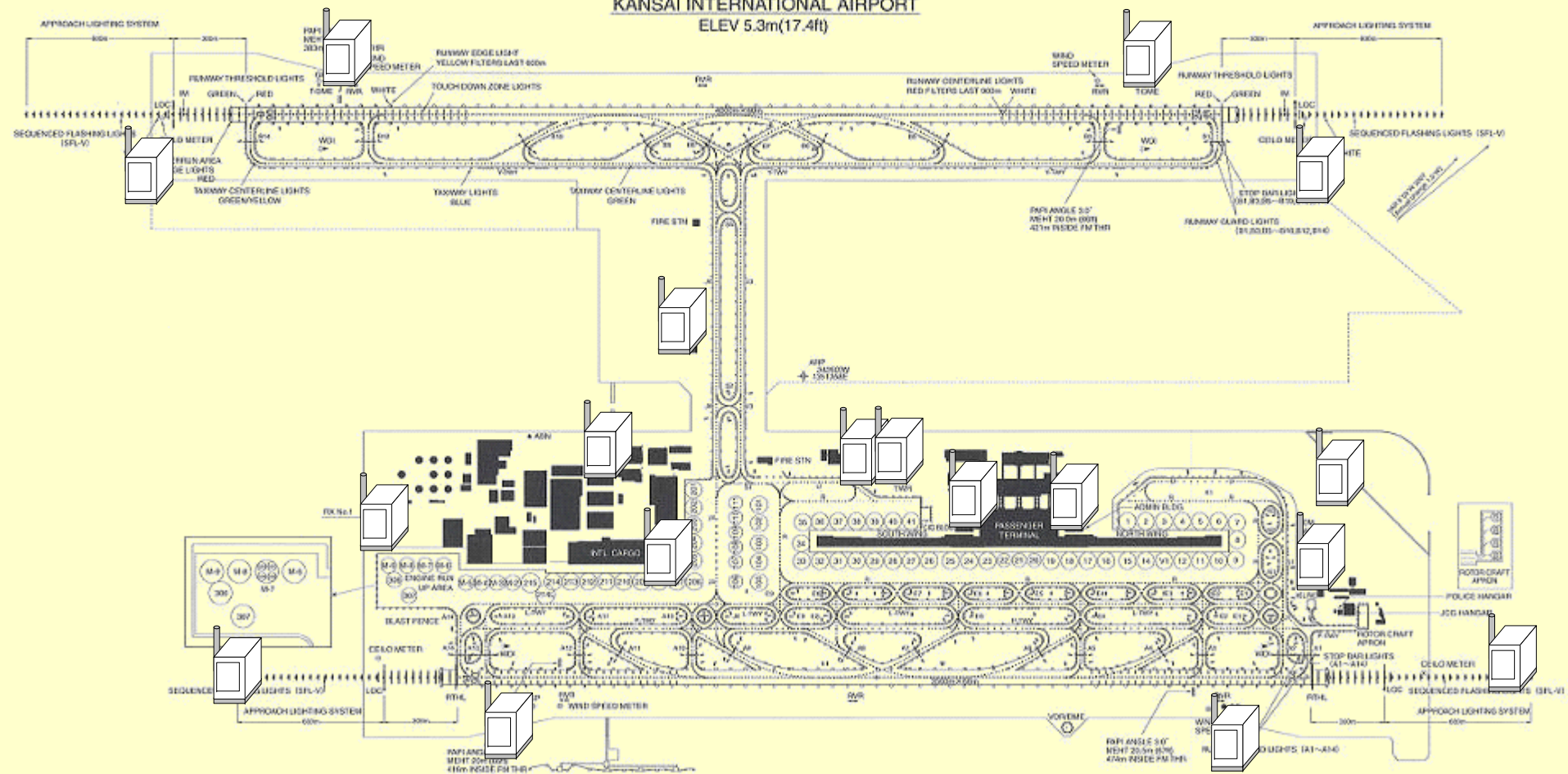
○少ない受信局数でもOKか？

- 設置費用の大幅な上昇を抑える
- 処理装置の負荷増大を抑える
- 受信局の悪い組み合わせを抑える
- 管制塔の上に2局設置して受信局を集約
- 既設建造物を利用



# 受信局の配置

KANSAI INTERNATIONAL AIRPORT  
ELEV 5.3m(17.4ft)



全16局

# 滑走路・誘導路の試験結果

KANSAI INTERNATIONAL AIRPORT  
ELEV 5.3m(17.4ft)

B滑走路

位置精度: 6.3m  
検出率: 100%

位置精度: 6.5m  
検出率: 100%

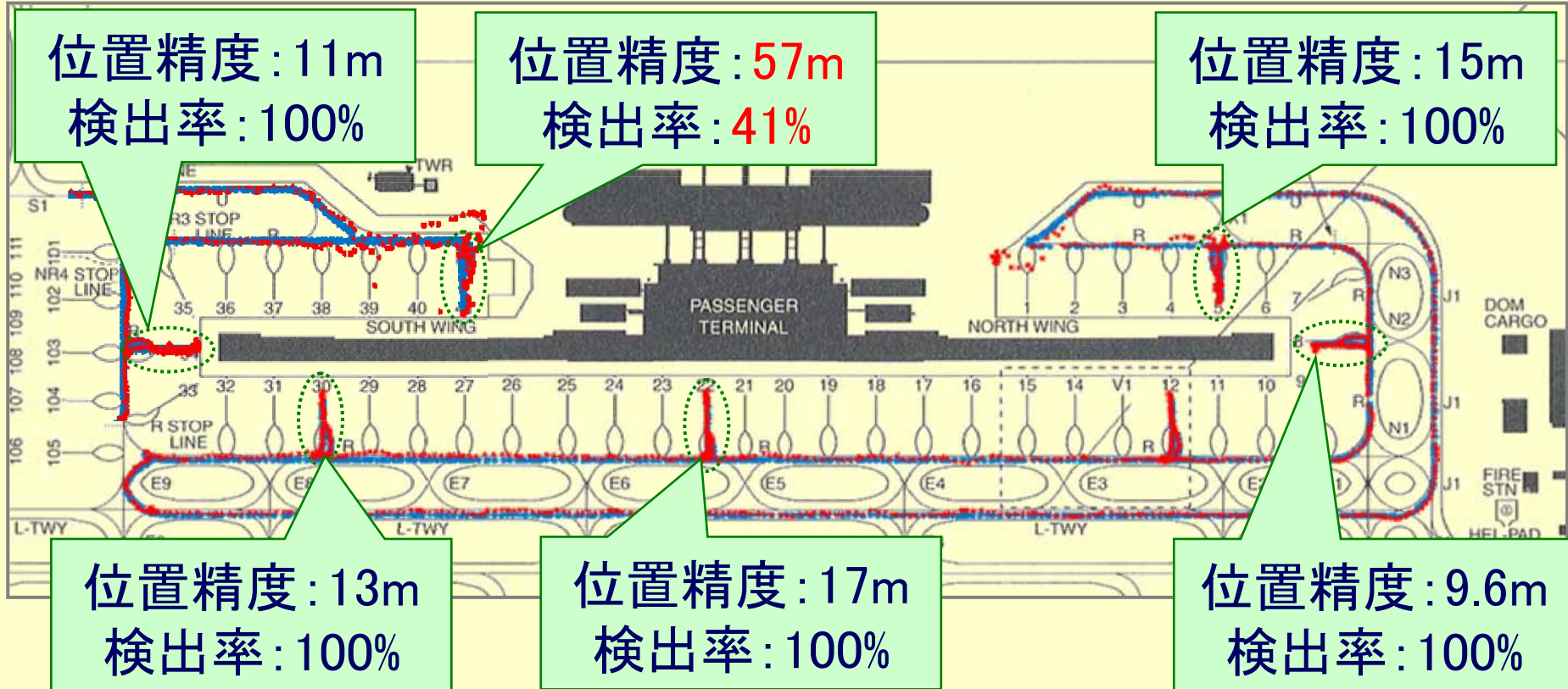
A滑走路

性能要件

検出率: 99.9%以上

位置精度: 7.5m以下

# スポットの試験結果



性能要件

検出率: 99.9%以上

位置精度: 20m以下

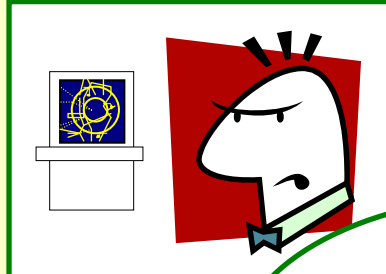
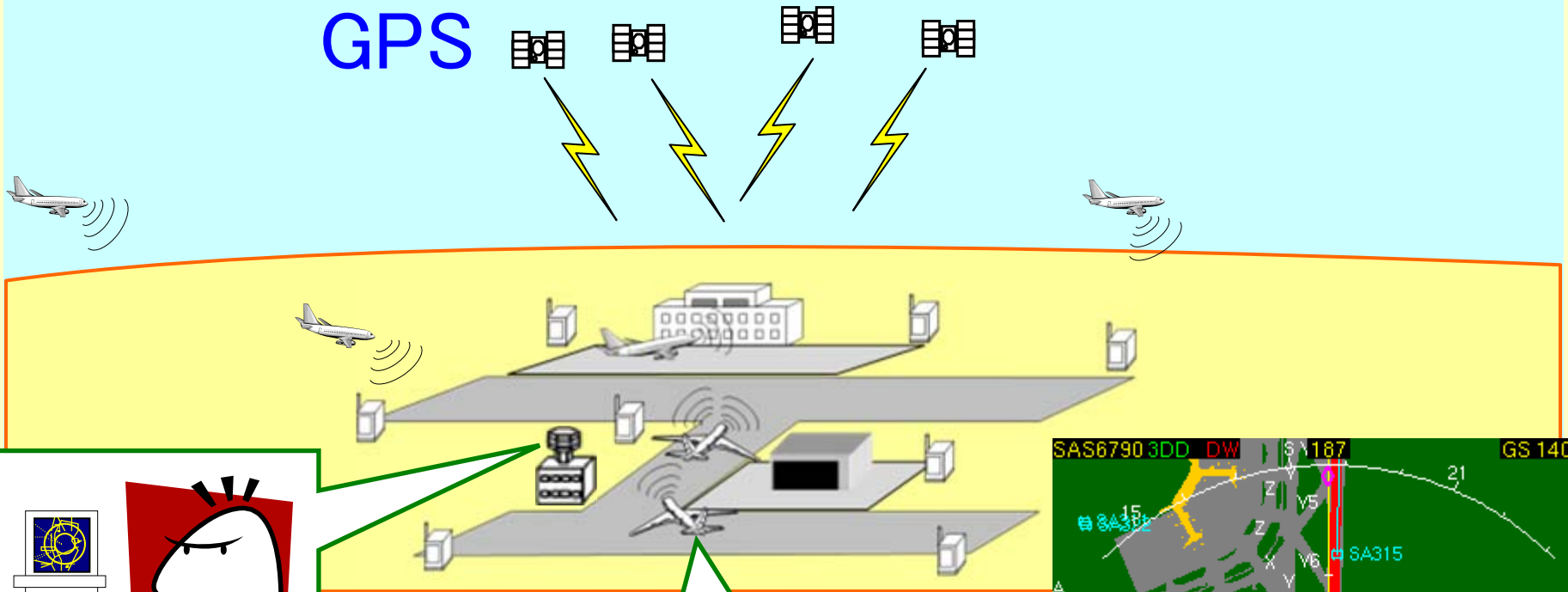
# 講演内容

- 導入・評価の背景
- マルチラテレーションの概要
- 評価結果（羽田、成田、関空）
- 今後の動向

# ADS-Bによる監視

(Automatic Dependent Surveillance – Broadcast)

GPS



情報共有





# ADS-Bの特徴

- 高機能、高性能、空域を選ばない
- 管制官とパイロットの情報共有を実現
- 動態情報やWaypointを送信(4D対応)
- 航空機側に対応装備が必要

世界的に導入予定

北米・欧州・豪州等で装備義務化計画

# 実運用マルチラテレーション

○羽田空港・成田空港

→2010年1月に運用開始

○関西空港・大阪空港・福岡空港

→平成22年度に運用開始予定

○中部空港・那覇空港

→その後に運用開始予定

質問などよろしくお願ひします

# 太平洋上のUPR(利用者設定経路)の 導入動向と展望

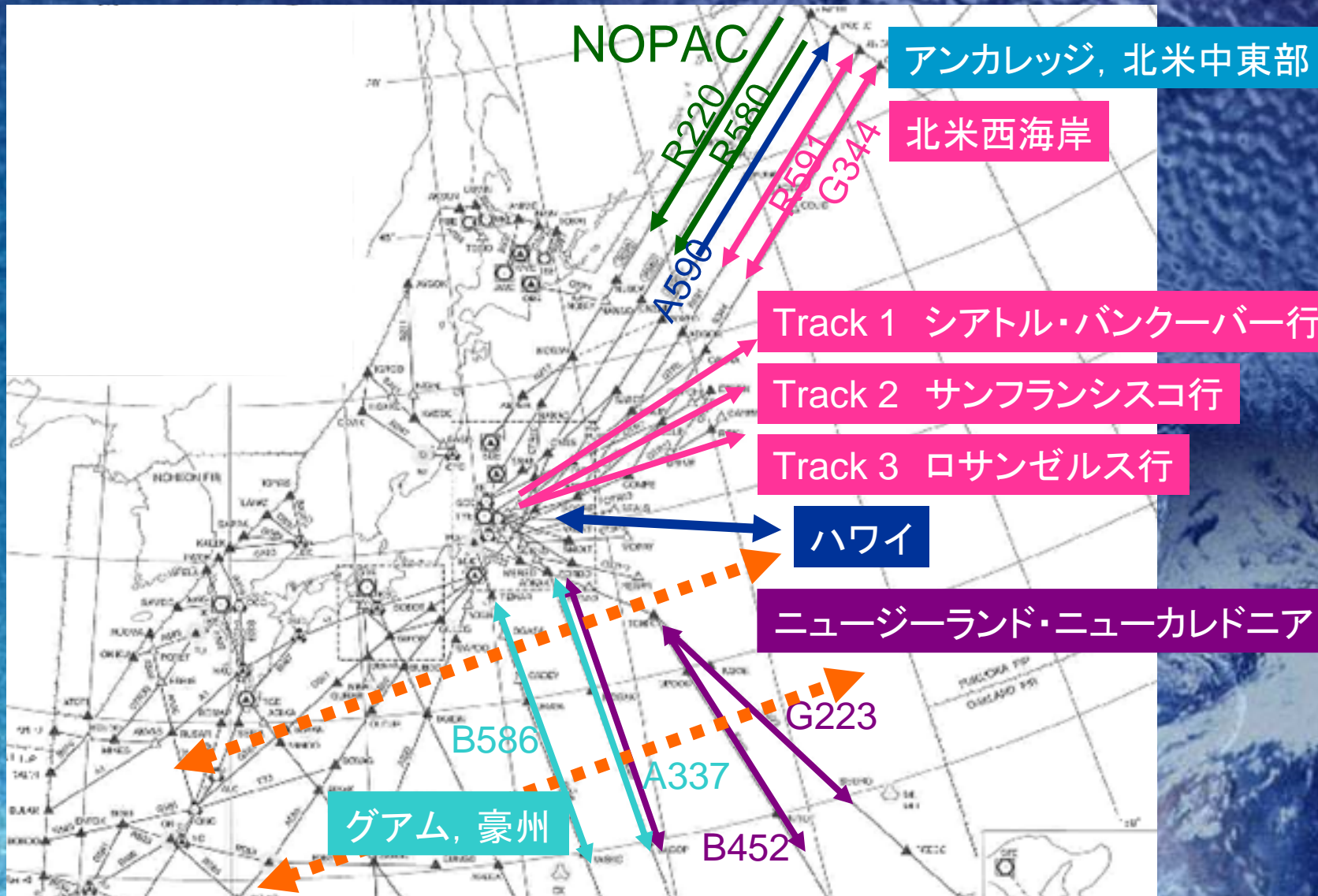
電子航法研究所 航空交通管理領域

福島 幸子

# 発表の概要

- 洋上経路
- UPR (User Preferred Route)
  - 導入の利点, 課題
  - 電子航法研究所での検討
- 太平洋上のUPR導入状況
- 今後の展望

# 洋上経路



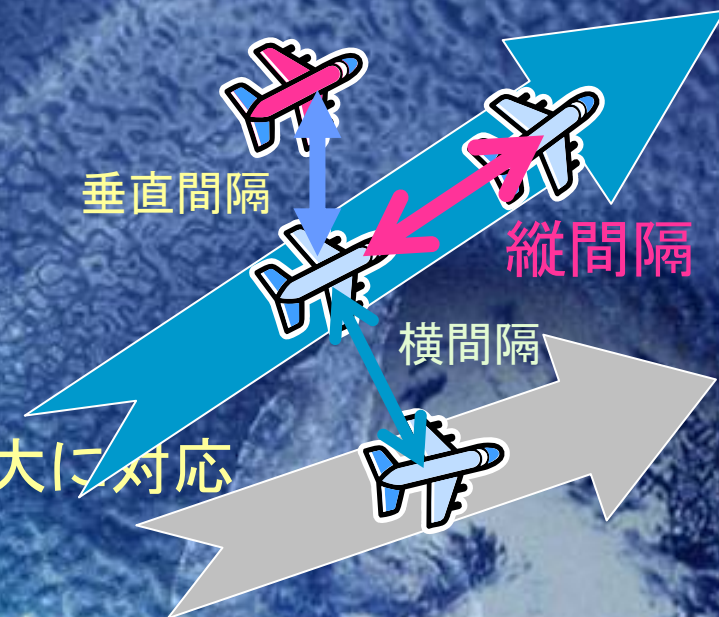
# 洋上経路

## 管制間隔

- RNP10で縦横50NM, RNP4で縦横30NM

## 経路間隔

- 横間隔50NMを確保
- NOPAC経路(固定経路)
- PACOTS経路(可変経路)
  - 複線化により交通容量の増大に対応



# 固定経路・可変経路の課題

- 最適でないときがある
  - － 管制間隔
    - 隣の経路との管制横間隔
    - 固定経路への遷移
  - － 個々の航空機依存
    - 離陸重量
  - － 気象予報
    - 出発時刻
    - PACOTS公示は24時間前の予報
- 個々に最適経路で飛行したい

# UPR (User Preferred Route)

- 運航者がフライトごとに設定する
  - 出発時刻, 機種, 離陸重量を反映
  - 最適経路
- 経路を固定する利点
  - 横間隔を考慮しなくてよい
  - 縦間隔と高度のみ
- UPRが増加→コンフリクト増加の可能性
  - 固定してもコンフリクトは起こる(2方向)
  - コンフリクトの確率(3方向)
  - 交通量

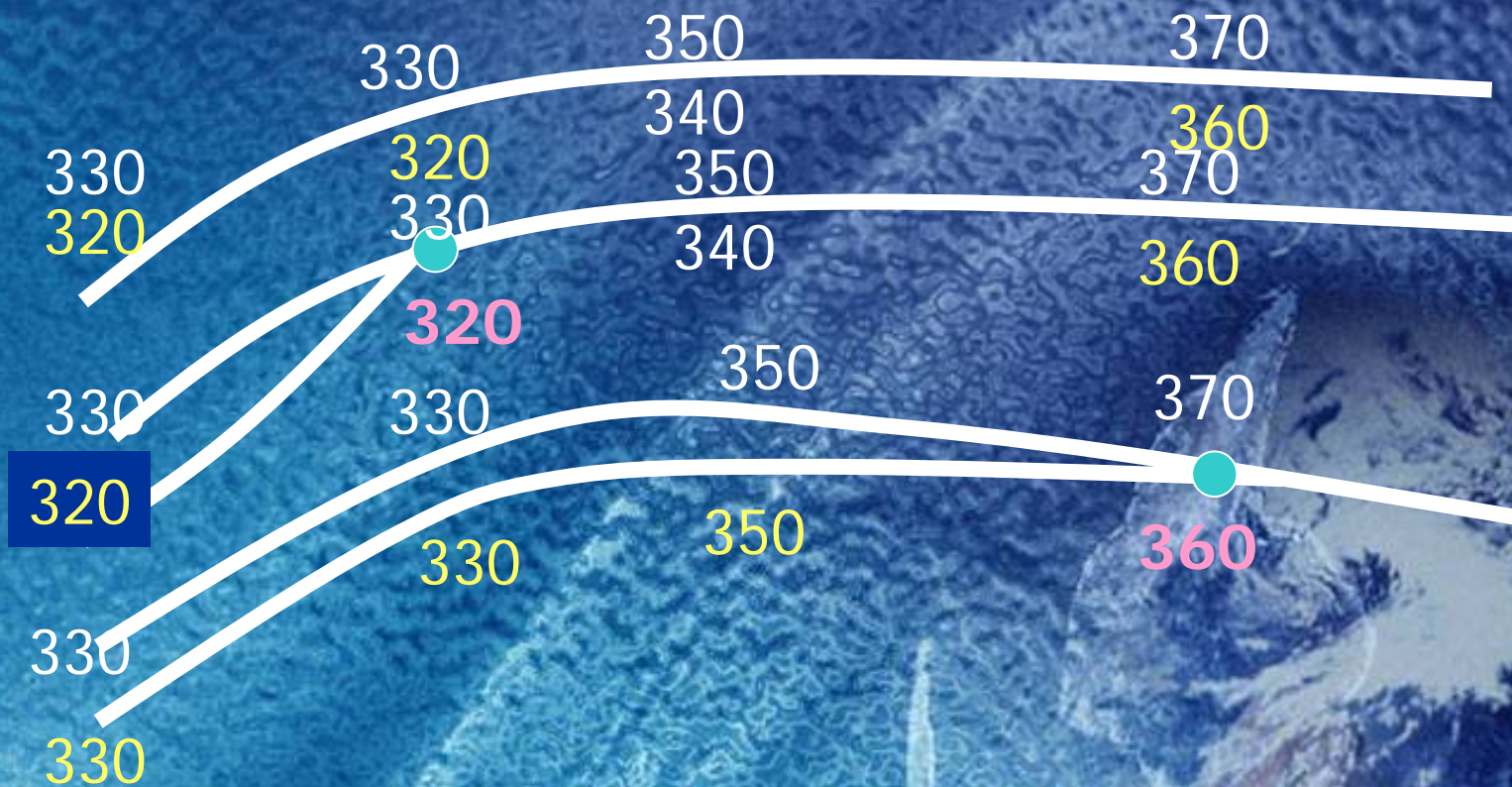
最適高度  
での飛行

困難!?

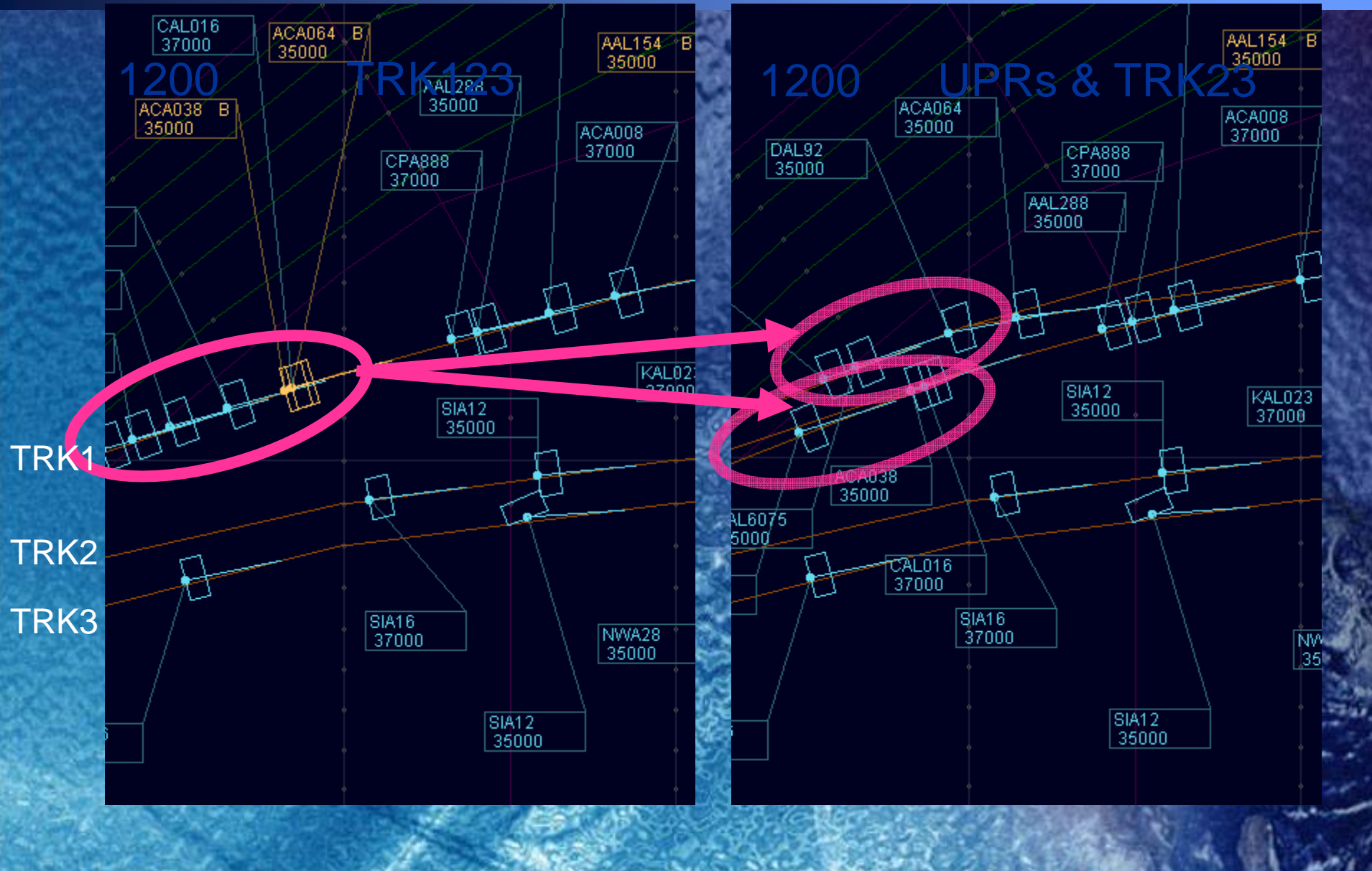


# UPRによるコンフリクトと高度上昇

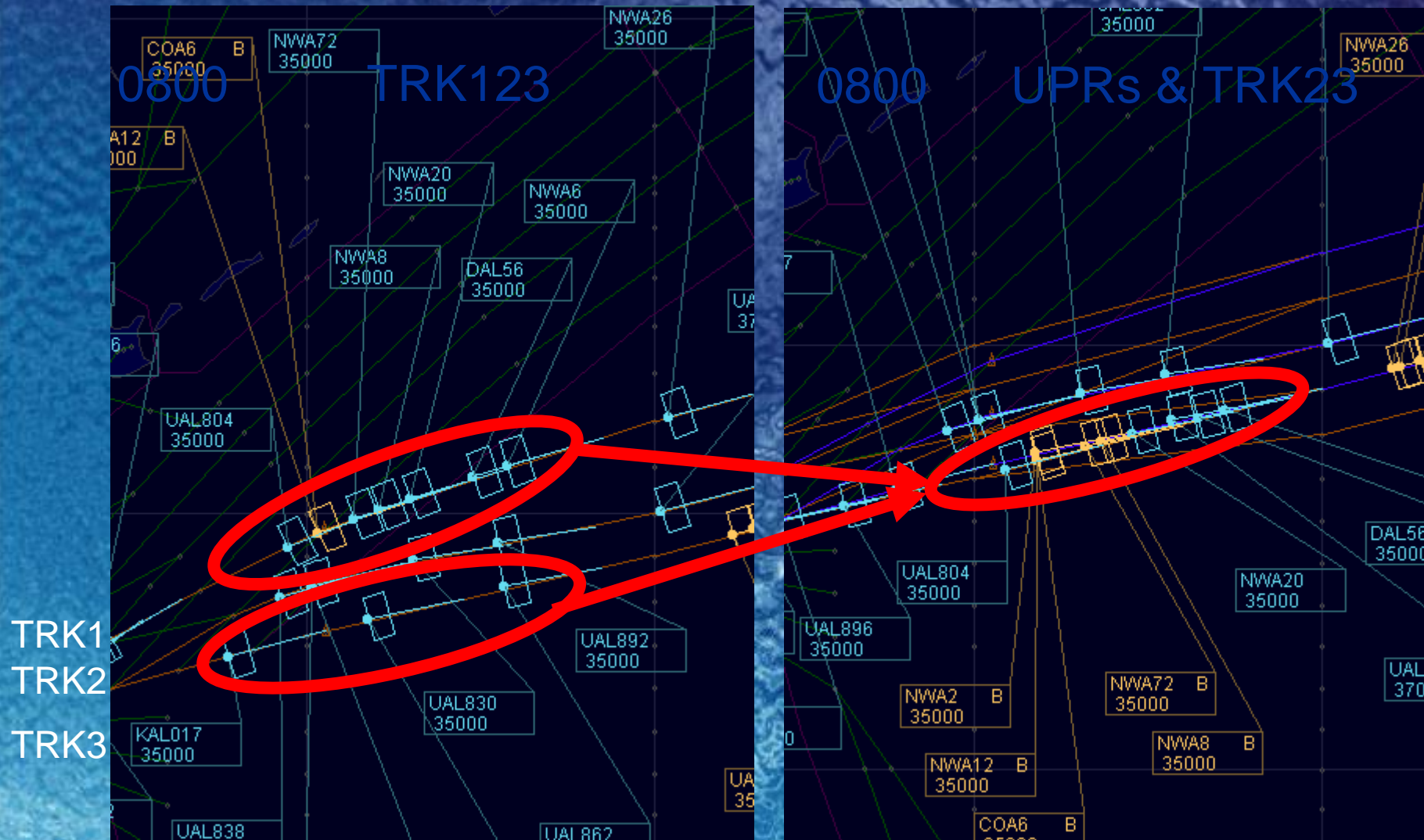
- UPRは合流点によって状況が異なる



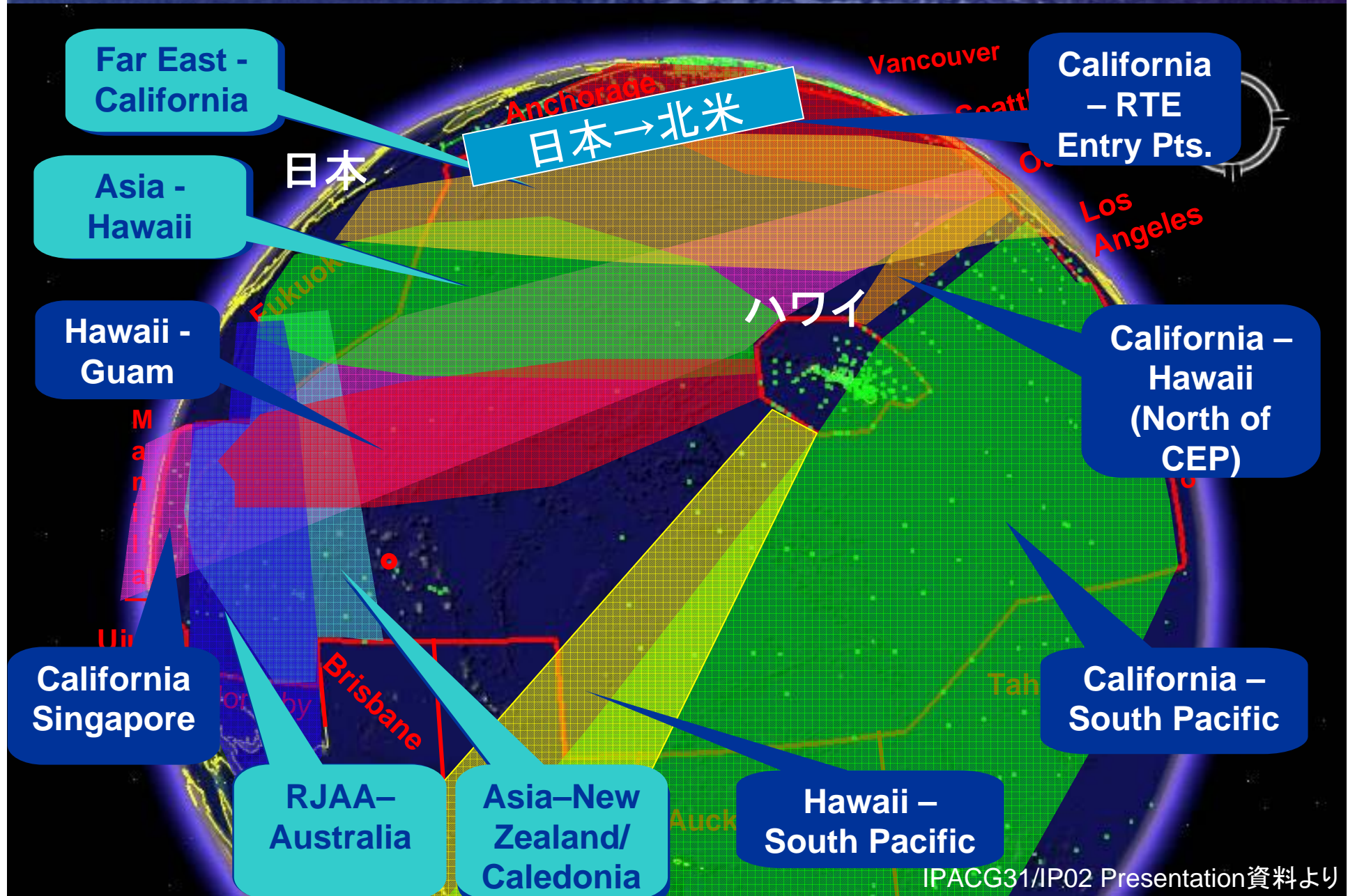
# コンフリクト検出例～秋



# コンフリクト検出例～冬(1)



# 太平洋上のUPR導入状況



# 太平洋上のUPR導入状況

- 2000年12月～米国－南太平洋でStart
- 成田－ニュージーランド・ニューカレドニア  
2007年9月
- 成田－豪州東海岸  
2009年6月から試行運用
- 成田－ハワイ  
2009年6月から試行運用  
TRACK11/12, A/Bと優先順位はつけない
- アジア－カリフォルニア  
2009年9月から運用デモ

# 成田一豪州東海岸

- 2009年5月からデモ運用, 6月から試行運用
- コンフリクトの変化を電子航法研究所で評価
  - 季節による違い
  - UPRによる効果
- 制限をつけて試行運用

# 成田ーシドニー間のUPR

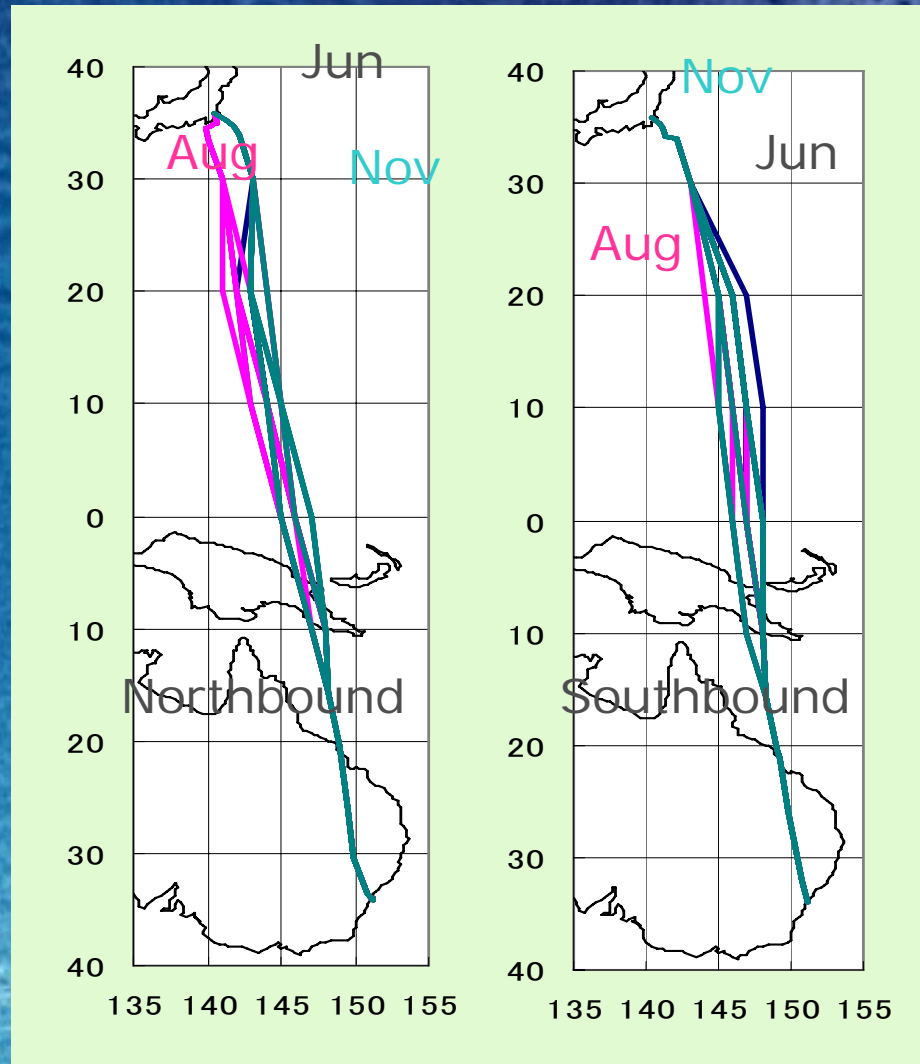


Fig. 8 Flex Routes

- 北行き
    - 夏にはB586の西になることがある。
  
  - 南行き
    - いつも B586の東
- B586の混雑緩和にも!  
→B586の東でUPR

# UPRの今後の展望

- 混雑経路での導入
- TRACK1 (成田→シアトル・バンクーバー)
  - 条件付導入を検討中
- TRACK2 (成田→サンフランシスコ) ?
- TRACK3 (成田→ロサンゼルス) ?
  - それぞれのUPRは位置が近い(重複, 交差が多い)
- NOPAC ?
- TRACK C,E,F ?



# TRACK1のUPR

- 季節毎のUPRの傾向
  - TRACK2との位置関係～重複すると便益↓
- TRACK2との管制間隔
  - TRACK2の北50NMならOK?
- FAAからの提案
  - TRACK2の北50NM
  - オークランド→アンカレッジという経路は×
- ネットワークで制限を

# TRACK2 or TRACK3 ?

- サンフランシスコ (KSFO) 行きにどちらを使うか?  
早い時間はTRACK2でKSFO,  
遅い時間はTRACK3でKSFOの日も

気象情報の誤差

- TRACK3でKSFOに行くとき

距離はTRACK3の方が長い  
が、あまり変わらない日もある

TAによる  
燃料削減分と比較

- トータルに比較 (Gate to Gate)

KSFOはTA (Tailored Arrivalを行っている)

# 将来の課題

## ○ 管制間隔

- RNP4, 位置把握 (ADSレポート周期)
- コンフリクト回避方法
  - 高度変更のみ → 経路変更??
  - CDP, ITPによる高度上昇

## ○ 交通量

- 交通量と管制間隔の関係
- ゲートウェイ通過時刻の予測精度

## ○ 気象

- 予測精度の向上

より制限の少ない  
UPRの導入を!

# まとめ

- UPR(利用者設定経路)について紹介
- UPRの導入状況, 将来の導入予定
- 将来的な課題を提示
- UPR導入へのステップ

# Tailored Arrival Dynamic Airborne Reroute Procedure



(株)日本航空インターナショナル 運航部 調査役 吉田謙一(B747-400機長)

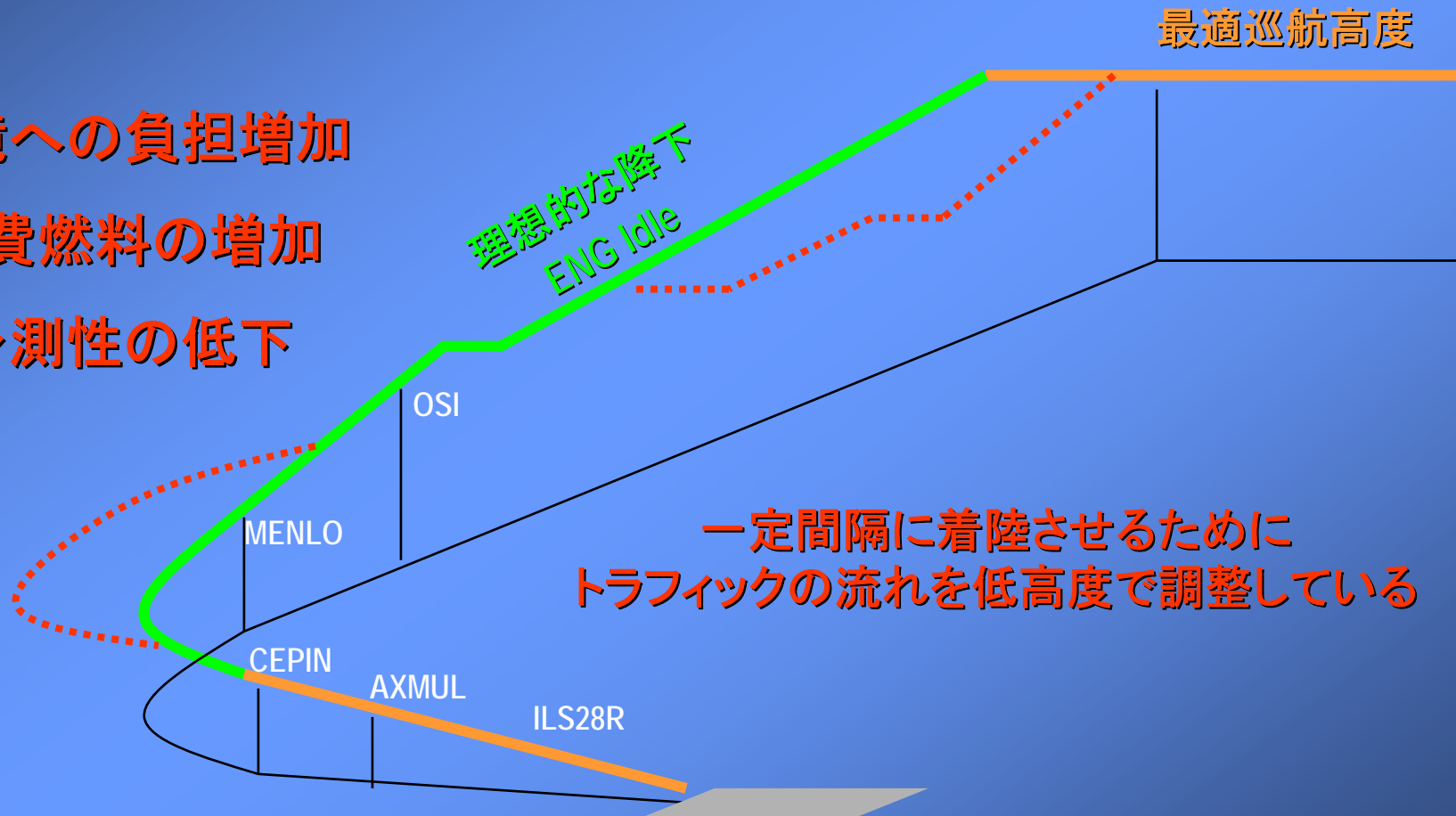
# 現在のArrival方式



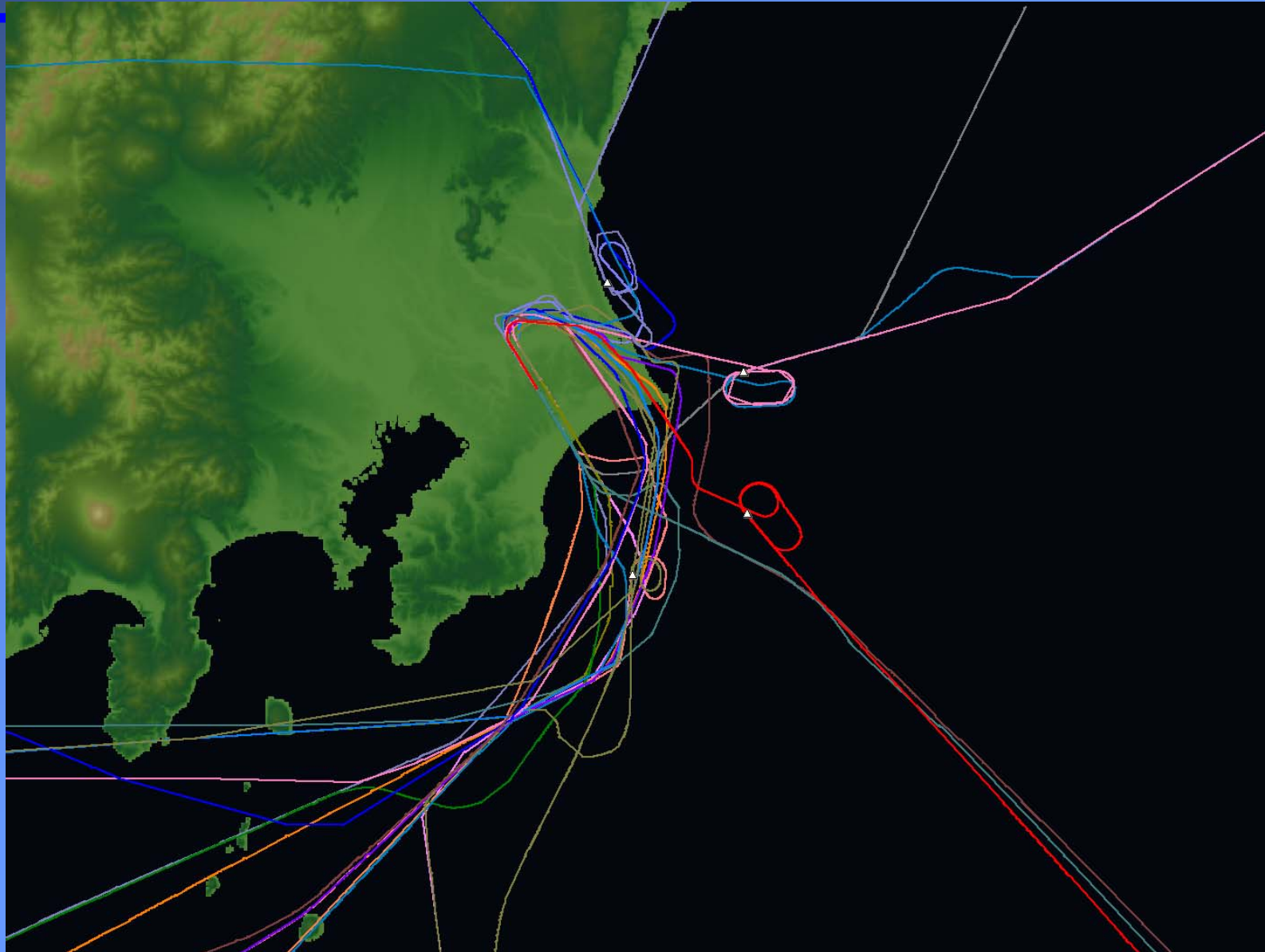
環境への負担増加

消費燃料の増加

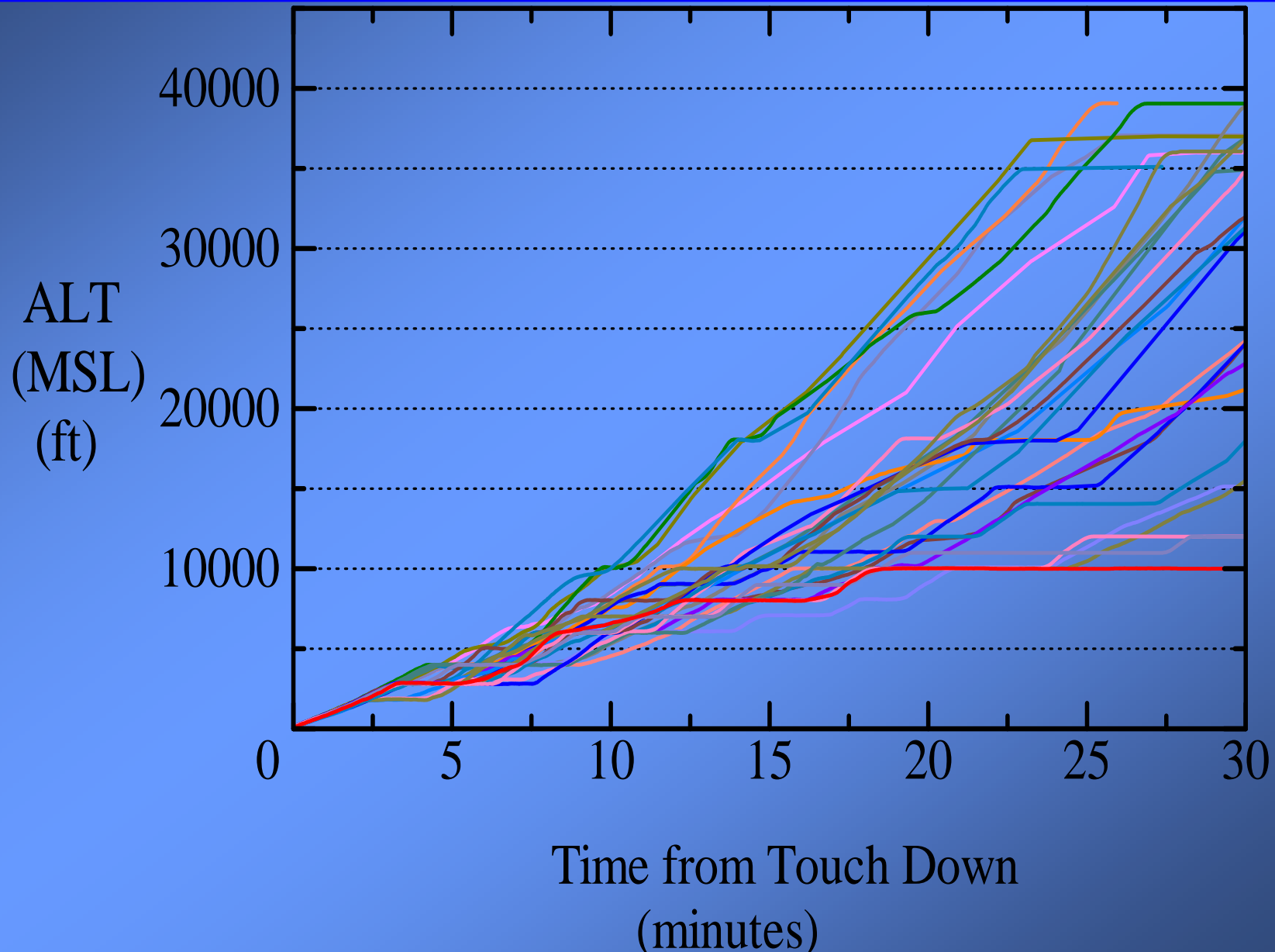
予測性の低下



# 成田空港 (JAL便/1日)



# 成田空港 (JAL便/1日)

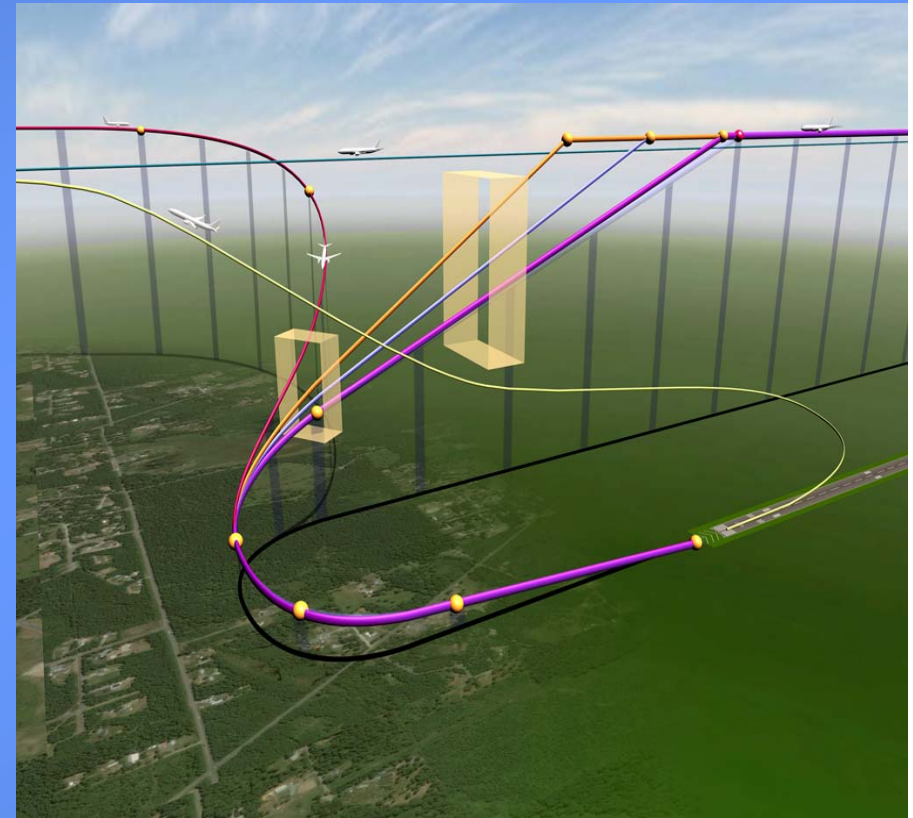




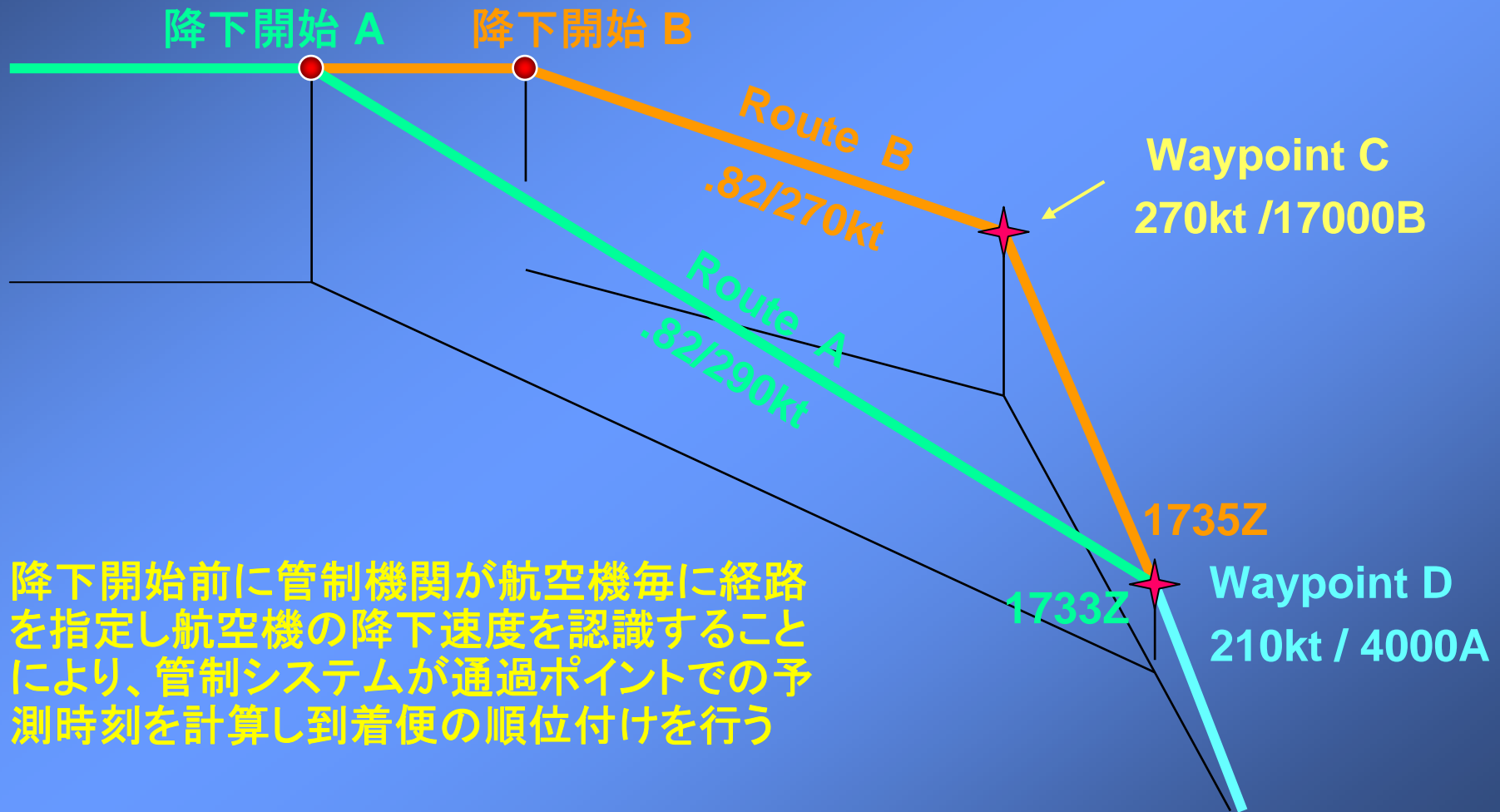
# Tailored Arrivalとは



- 巡航高度から着陸まで  
継続して降下していく(CDA)
- 飛行経路が複数の管制セクター  
にまたがる
- 空間と時間を組み合わせた  
4次元Navigation
- 経路指示など航空機と管制官  
との通信にDatalinkを使用



# Tailored Arrivalとは



降下開始前に管制機関が航空機毎に経路を指定し航空機の降下速度を認識することにより、管制システムが通過ポイントでの予測時刻を計算し到着便の順位付けを行う

# Tailored Arrivalとは

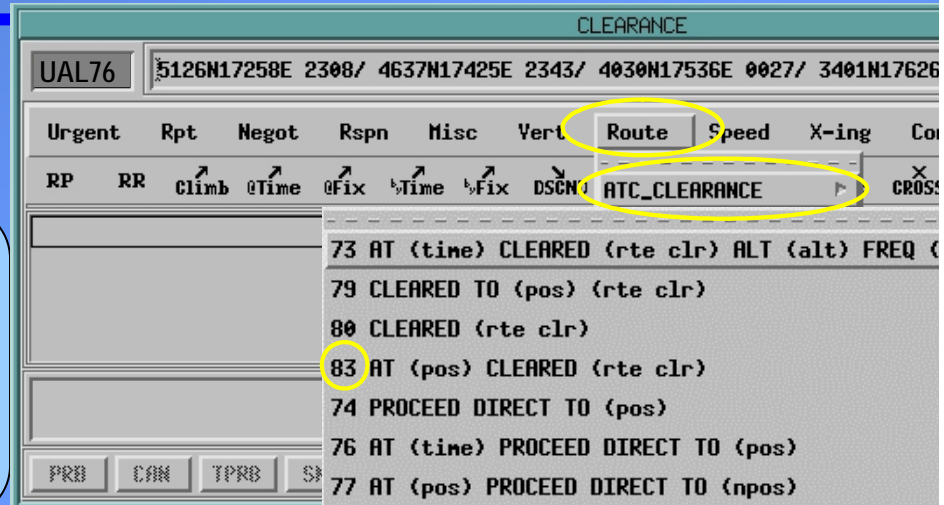


## 実施手順

FANS (又はその他の完全なデータリンク機能)



④ TA軌道を受信し  
パイロットの確認後  
FMSにロードされる



地上管制機能

③ CPDLC  
データリンクを介して  
TA Clearanceが  
発出される



① 地上管制機能の  
クリアランスの算出

② ATC関連システム  
間で調整された  
TA Clearance

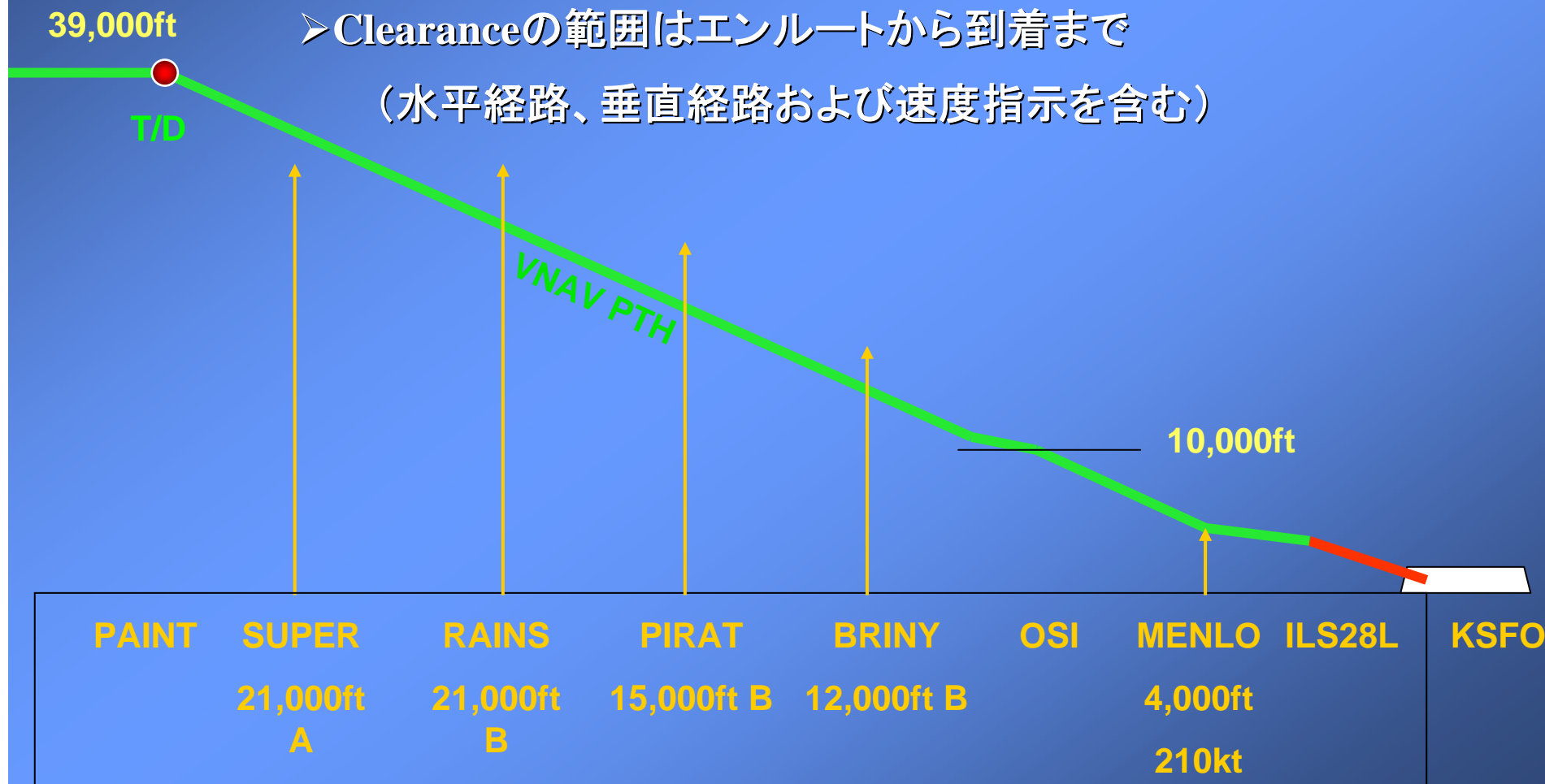
← ポイントとなるハードル



# SFOにおけるJAL機でのトライアル



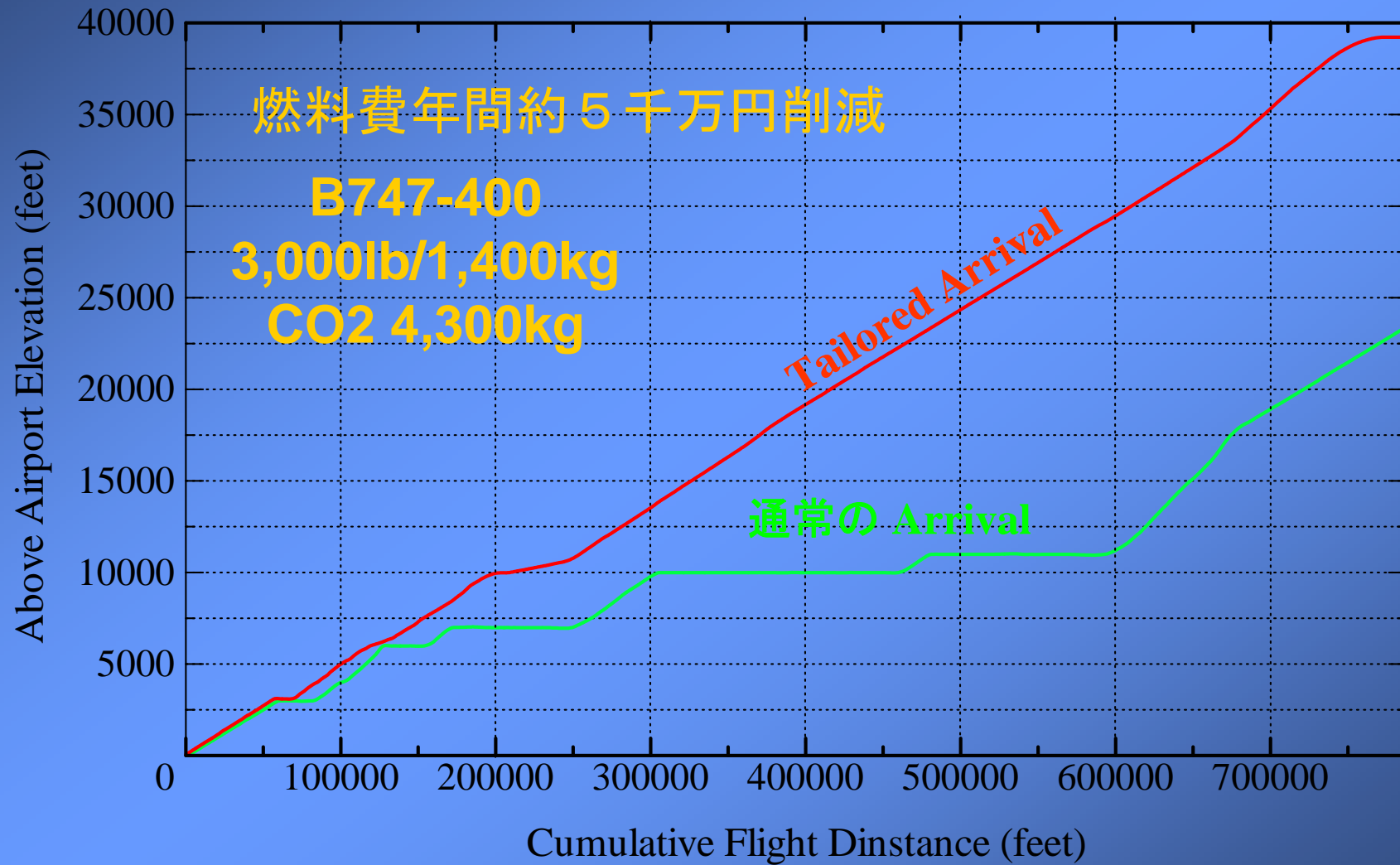
- 洋上出域点通過45分前までにPilotから管制官にTAを要求
- 管制官から航空機にTA RouteをFMSのActive RouteにUplink
- Clearanceの範囲はエンルートから到着まで  
(水平経路、垂直経路および速度指示を含む)



# SFOにおけるJAL機でのトライアル



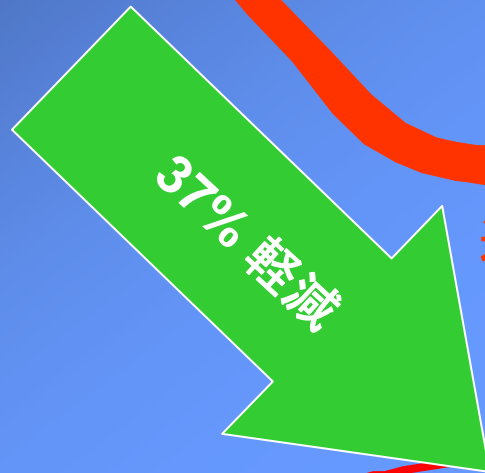
# SFOにおけるJAL機でのトライアル



# Tailored Arrivalのメリット



## 騒音軽減効果



通常のarrival

Continuous descent arrival

747-400 65 dBA contours

-120,000    -100,000    -80,000    -60,000    -40,000    -20,000    0    20,000

Boeing Data

飛行経路に沿った距離 (ft)

# Tailored Arrivalのメリット



## 管制からの指示の減少



AutopilotやComputerを操作する頻度の減少



フライトのモニターに専念



安全性の向上



# Tailored Arrivalのメリット



## 運航全体の効率化

航空機の時間予測性向上



管制処理能力の拡大

運航費用の削減及び定時制向上

# Tailored Arrival の課題



## ➤ 時間ベースによるトラフィックの順位付け

航空機通過時刻の予測精度

降下中の予想風の精度

航空機毎の性能を網羅

## ➤ 管制セクター間でのクリアランスの調整

## ➤ 国内への導入

(2009年5月から関西空港で深夜・早朝にCDAを開始)

# Dynamic Airborne Reroute Procedure (DARP)

## PACOTS (国際洋上可変経路)

日本—北米西海岸、ホノルル間のルートを管制機関が設定しNOTAMで周知される  
航空機出発は約24時間後、フライト時間帯の悪天候/Restricted Areaの回避は考慮されない

## UPR (User Preferred Route)

最新の気象情報(予想風、台風、揺れなど)を元に運航者が効率的なルートを設定

離陸後



## DARP (Dynamic Airborne Reroute Procedure)

更新され予想風から燃料消費の少ない効率的な新ルートを運航者が計算し巡航中の航空機に送信



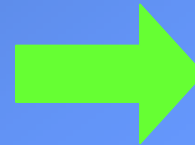
# Dynamic Airborne Reroute Procedure (DARP)



- 航空機と管制との通信にDatalinkを使用
- 太平洋上のOakland Centerで実施
- 分岐するWaypoint通過20分前までにPilotから管制官に要求  
*[REQUEST (departure airport) (destination airport) (fix1)(fix2) (fix3)...]*
- 管制官から航空機に新RouteをFMSのActive RouteにUplink  
*[AT (fix) CLEARED (departure airport) (destination airport) (fix1)(fix2) (fix3)...]*
- 新RouteがAcceptableでない場合、管制官は *[UNABLE]* を発信

# DARPの手順

```
VERIFY REPORT  
FREE TEXT  
REQUEST RJAA CYVR  
  
N44E180 N46W170 N47W160  
N48W150 N48W140 PRETY  
TAMRU YAZ FOCHE  
  
REPORT  
SEND>  
-----  
<REPORT
```



```
>FMC MESSAGE  
  
1014  
900  
  
VHF DATA OFF  
ATC MESSAGE
```



```
-----  
1158Z ATC UPLINK  
FLT NO: JAL18  
  
FMC 180212  
TAIL NO: .JA8882  
  
/CLEARED  
ROUTE CLEARANCE  
ARRIVAL: SHARK7  
N4400.0E18000.0 N4600.0W17000.0  
N4700.0W16000.0 N4800.0W15000.0  
N4800.0W14000.0 PRETY TAMRU YAZ FOCHE  
---- RESPONSE 1205Z ----  
/WILCO
```



```
1158z ATC UPLINK 1/1  
STATUS  
OPEN  
CLEARED ROUTE CLEARANCE  
  
<STANDBY LOAD>  
<REJECT ACCEPT>  
-----  
<PRINT LOG>
```

INIT BPC DEP ATC VMAU BRT

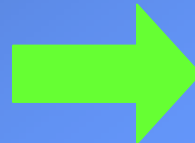
# DARPの手順



```

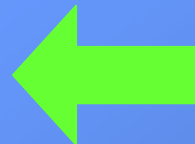
1158z ATC UPLINK 1/1
                        STATUS
                        OPEN
CLEARED ROUTE CLEARANCE

<STANDBY
<REJECT                ACCEPT>
-----
<PRINT                LOG>
ROUTE 1 UPLINK LOADING
    
```



```

MOD RTE 1 2/3
VIA TO
DIRECT N44E179
DIRECT N46W170
DIRECT N47W160
DIRECT N48W150
DIRECT N48W140
-----
<ERASE
PARTIAL CLEARANCE LOADED
    
```



# DARP手順



1158z ATC UPLINK 1/1  
STATUS  
OPEN  
CLEARED ROUTE CLEARANCE

<STANDBY

<REJECT ACCEPT>

-----

<PRINT LOG>  
PARTIAL CLEARANCE LOADED

Detailed description: A terminal screen with green text on a black background. It displays the time 1158z and ATC UPLINK 1/1. The status is 'OPEN' and 'CLEARED ROUTE CLEARANCE'. Below are menu options: '<STANDBY', '<REJECT ACCEPT>', a dashed line separator, and '<PRINT LOG> PARTIAL CLEARANCE LOADED'. A green arrow points from this screen down to the next one.

1158z ATC UPLINK 1/1  
STATUS  
ACCEPTED  
CLEARED ROUTE CLEARANCE

--- RESPONSE 1205Z ---  
WILCO

LOAD>

-----

<PRINT LOG>

Detailed description: A terminal screen with green text on a black background. It shows the time 1158z and ATC UPLINK 1/1. The status is now 'ACCEPTED' and 'CLEARED ROUTE CLEARANCE'. Below is a response: '--- RESPONSE 1205Z --- WILCO'. There is a 'LOAD>' prompt, a dashed line separator, and '<PRINT LOG>' at the bottom. A green arrow points from this screen left towards the next one.

VERIFY RESPONSE 1/1  
WILCO

RESPONSE  
SENDING

-----

<UPLINK

Detailed description: A terminal screen with green text on a black background. It shows 'VERIFY RESPONSE 1/1' and 'WILCO'. Below is 'RESPONSE SENDING', a dashed line separator, and '<UPLINK' at the bottom.

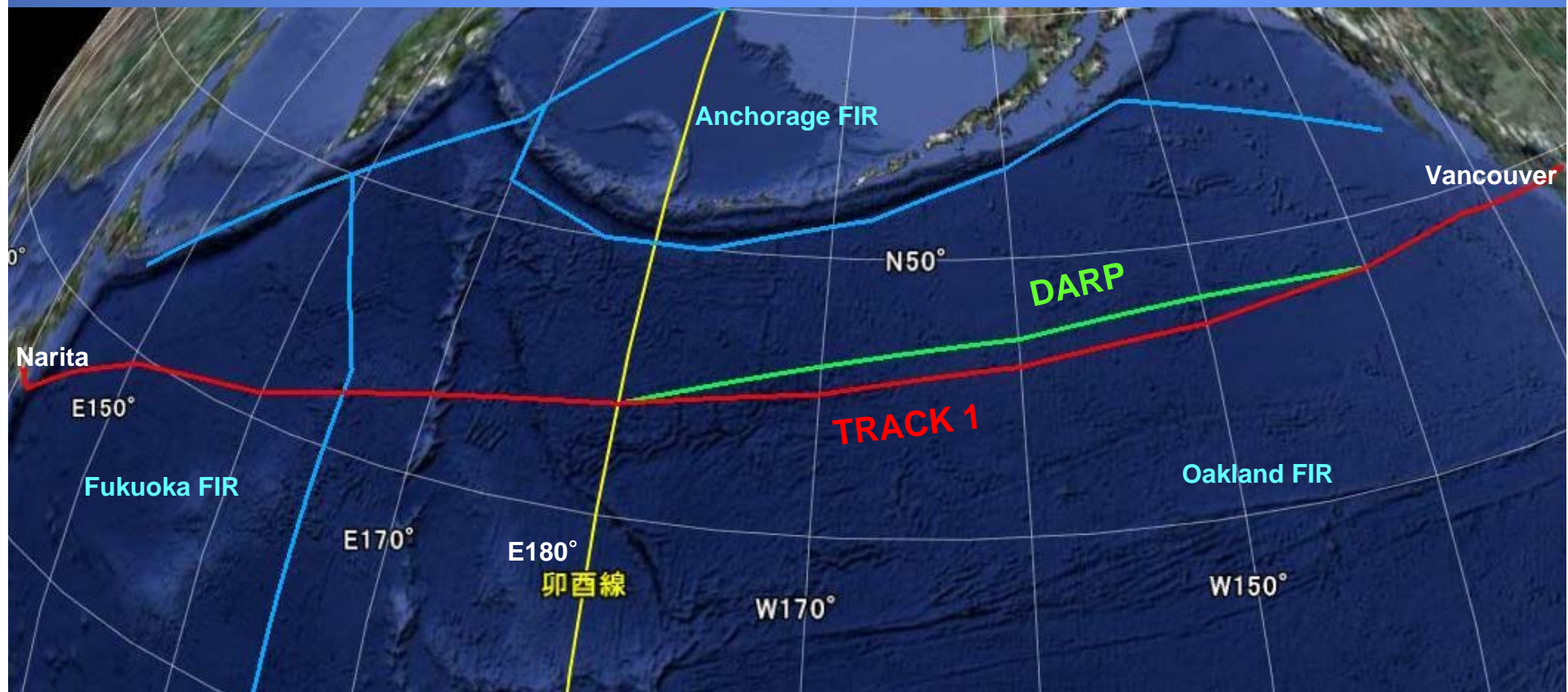
# DARPによる効果



JAL18便 (NRT-YVR線) / 2010年2月12日 トライアル

飛行時間 1分 短縮

燃料消費量 400lb削減





御清聴ありがとうございました

