

# 平成23年度 電子航法研究所講演会

～羽田を変えるENRIの技術～

開催日 平成23年11月21日（月）

時間 13:00～17:30

会場 羽田空港第一旅客ターミナル

ギャラクシーホール

---

講演会事務局


独立行政法人

 電子航法研究所

〒182-0012 東京都調布市深大寺東町7丁目42-23

TEL 0422-41-3168 FAX 0422-41-3186 E-mail [info-k@enri.go.jp](mailto:info-k@enri.go.jp)

電子航法研究所と研究員は共に、

- 
- A light blue, semi-transparent globe is centered in the background. It shows the outlines of continents and a grid of latitude and longitude lines. A small blue circle is positioned on the right side of the globe, connected to the main globe by a thin line, possibly representing a satellite or a specific location.
- 航空躍進の礎を担う —
  - 航空交通の安全性・効率性向上、  
地球環境保全に貢献する —
  - 世界に通じる中核的研究機関を目指す —

平成二十三年四月

# 【プログラム／目次】

13:00 開式の辞

13:10 招待講演

## 『安全の新しいとらえ方～レジリエンスエンジニアリングの視点から』

東北大学 名誉教授 北村 正晴 氏

P1

高い安全性を求める声は社会で広く聞かれており、対応してヒューマンエラーや組織の安全文化に注目した安全技法が関心を集めている。一方で、これら既存の安全技法を補完するための新しい方法論として「レジリエンスエンジニアリング」が構築されつつある。「理想的安全状態」を目指す従来の考え方に対して、「常に変化する環境や目的相克の中で能動的にリスクに対処し安全を維持し続ける」というダイナミックな安全の考え方を提起するという見方がその根幹である。本講演ではこの新しい方法論について解説する。

14:00 『電子航法研究所の最近の活動』

電子航法研究所 山本 憲夫 研究企画統括

P3

電子航法研究所における最近の研究長期ビジョンの見直し、アジア地区を中心とした国際連携の促進及び本講演に含まれる以外の主な研究成果などについて紹介する。

14:20 『マルチラレーション航空機監視システムの高度化』 電子航法研究所 通信・航法・監視領域 角張 泰之 研究員

P8

当研究所が研究・開発を進めている、マルチパス信号環境に耐性のある空港面用マルチラレーション(OCTPASS)と、空港周辺空域を高精度・高頻度に監視できる広域マルチラレーション(WAM)について、その開発状況を紹介します。

15:00 『羽田空港の空港面交通流の特徴について』

電子航法研究所 航空交通管理領域 山田 泉 主任研究員

P19

日本一の繁忙空港である羽田空港における空港面の効率的な運用は、より良い航空機運航を目指すために重要な課題である。この発表では、羽田空港の空港面監視データの分析を元に、離陸待ちの渋滞など空港面交通流の課題について分析した結果を報告し、空港面の効率的な運用のための対応策について考察を述べる。

15:40 休憩

16:00 『航空気象情報の見える化について』

電子航法研究所 航空交通管理領域 新井 直樹 主幹研究員

P28

航空機の効率的な運航や航空機事故の防止のためには、気象情報の活用は欠かすことができない。しかし多くの気象情報は、含まれる情報が多様でかつ平面的な資料が多いため、それらの情報だけに基づいて、様々な分野の利用者が大気の立体的な構造を短時間で理解することは必ずしも容易ではない。そのような背景から、気象情報と航空機の情報を3次元で可視化する航空気象情報可視化ツールAWvisの開発を開始した。

本稿では、開発中のAWvisの概要と可視化事例について紹介する。

16:40 『携帯電話の電波が航空機に与える影響の評価』

電子航法研究所 機上等技術領域 米本 成人 主幹研究員

P36

航空機には通信や航法等の多くの無線機器が搭載されているため、外来の電磁波による電磁干渉が懸念されている。他方で、携帯電話等の乗客が持ち込む電波を発生する電子機器の航空機内で使用したいという需要も高まっている。本講演では安全性を担保しながら電子機器の使用を許容するための検証手法について解説する。また、携帯電話の電波が我が国で使用されている代表的な航空機に対して与える影響を、実機試験で評価した結果について紹介する。

17:20 閉式の辞





## 『安全の新しいとらえ方～レジリエンスエンジニアリングの視点から』

講演者：東北大学 名誉教授 北村 正晴

### はじめに

航空の世界で安全が大きな関心事であり、その向上のために多大な努力が注がれてきた。その努力の成果は先進諸国における高い運航安全実績に明らかに示されている。

しかし安全の確保にはこれで十分ということはありません。努力はさらに継続されねばならない。その観点からは、在来手法を、よりリアリスティックな視点に立って進化させた安全追求技法の開発とその現場導入を目指すことは意義が大きい。近年急速に発展を続けているレジリエンスエンジニアリングはそのような方法論の最有力候補として国際的に注目されている。

### 課題の分析

本年3月11日に起こった東日本大震災とそれに続く原子力発電所事故は、技術システムの安全を担うすべての人々が真剣に受け止めるべき課題の存在を示した。最終的な原因究明と再発防止策に関しては事故調査委員会の結論を待ちたいが、原子力に限らず、大規模な技術システムの設計・運用を担う組織が共有すべき教訓は現時点でもある程度明らかと考える。

教訓1は、システムは動的に変化しつづけることが本質であるという基本認識の必要性である。安全を追求する組織は、自分のシステムとその環境を時間的に定常な(静的な)ものと考えてはならず動的に変化し続けるものと考えねばならない。

教訓1'は、教訓1から必然的に導出される。それは安全確保努力の形式化を未然防止することの必要性である。たとえば現行の規制への対応や社内規則の遵守だけで安全確保に十分で改良は必要ないなどと考えるべきではない。

教訓2は安全確保・向上活動の着目範囲である。実務の現場(Sharp-endと呼ばれる)だけに安全上の責任を担わせて、上位の組織や社会など(Blunt-endと呼ばれる)からの影響に目を塞ぐことはあってはならない。

教訓3は、事前情報への感受性と評価能力向上である。多くの事故において、後になってから考えれば事前の警告や兆候があったことが知られている。これらの事前情報に積極的に着目・評価して必要に応じた対応措置を講じるような姿勢が安全担当組織には不可欠である。

教訓4は、重要な資源(リソース)の用意と、その配備・運用の柔軟化である。危機の未然防止や効果的な対応は適切な資源の配備なしでは困難である。事前の想定と配備、訓練が望まれる。

### レジリエンスエンジニアリングの方法論

上記の教訓に対してレジリエンスエンジニアリングは的確に対処できる枠組みを有している。

この方法論の詳細に関しては、参考文献<sup>1,2)</sup>を参照されたい。上に示した教訓に重点を置いた問題認識と対応策立案は、従来までの安全工学の枠組みでは明確にはなされていなかった。

レジリエンスエンジニアリングでは、このような問題認識を基本として、実際にシステムと組織は以下の機能または能力を具備すべきとしている。

- 対応(Response): 今直ちに何をすべきか優先順位を含めて知っていること
- 監視(Monitoring): 事態の進行を何に注意を払って監視すべきか
- 予見(Anticipation): さらにこの先どのような脅威と好機が出現するか。
- 学習(Learning): 過去の成功と失敗双方からどんな教訓を引き出すのか。

これらのプロセスを常に活性化しておく必要がある。ただし、予見や学習は同じシステムについても様々な時間スケールにおいてなされるべきで、その時間スケールは着目する事象ごとに大きく異なっている。上記プロセスを機能させることで、教訓1～4を確実に反映できることは一般の原子力事故に関しては確認できている。教訓1～4が大組織には通弊として生じがちであることを考えれば、航空安全の問題に関しても上記レジリエンスエンジニアリングの仕組みは適用できると推測される。

### 方法論の具体化・適合化

本講演では、講演者独自の視点に立って、このような先進技法が我が国に適切に定着するための要件を指摘する。大組織において生じがち組織内コミュニケーションの劣化、視野狭窄の現場責任論、集団的思考停止、組織外との断絶などの弊害を回避することがその骨子である。また、問題の解決に際しては、実務の細部までルールや支援策を立案し提供する方式では、抜け落ちが生じる可能性を否定できない。それゆえ事前の手順化に加えて、能動的な「気づき」を重視し活用するという方が、我が国では効果的と考え提唱する。

### おわりに

本講演で説明上の引用した具体例は、原子力、医療などの問題が主体である。航空安全問題に関しては少数の事例を参照したに過ぎない。しかしながらレジリエンスエンジニアリングの導入と、上記の教訓の反映とが、高い安全性を実現するうえで必要であることは、複雑・大規模な技術システムを担う航空分野についても同様であろうと考える。積極的な活用を期待する次第である。

### 参考文献

- 1) E. Hollnagel, D.D. Woods, N. Leveson (Eds.): Resilience Engineering, Concepts and Precepts, Ashgate Publishing Co., 2006
- 2) E. Hollnagel, et al. (Eds.): Resilience Engineering in Practice, Ashgate Publishing Co. 2011

## 【付録】

### 簡潔版レジリエンスエンジニアリング説明

1. レジリエンスエンジニアリングでは、安全性向上を図る対象の属性(特性)を以下のように認識する。ここで対象とは、機械システムとその操作担当者(運転操作者、保守作業者など)、管理組織などを総合したものである。原子力の場合、原子力発電所の装置と運転員、保守員、発電所の管理職、電力会社本社機構などを含んだ概念である。

必要な場合には、さらにそれらを大きく包む環境までを考慮の対象としている。環境としては自然環境、経営環境、社会環境などがある。

1-1 対象は月日の経過とともに変化を続けている。同じ装置、同じ作業チーム、経営陣に見えても変化は必ず存在する。対象やシステムを定常的、固定的なものと考えてはならない。

1-2 その変化はしばしば予測困難な要素を含む。

1-3 変化の結果生じる危機は、突発的に生じることも、緩慢なドリフトとして生じることもある。

2. 安全性を向上させる方策は以下のような視点で検討される。

2-1 成果、達成度のような結果依存型の指標よりもプロセスに重点を置く。

2-2 失敗や過誤の回避だけでなく成功からの教訓抽出も重視する。

2-3 経営管理方針として以下の機能を重視する。

- 対処(Response):今直ちに何をすべきか優先順位を含めて知っていること
- 監視(Monitoring):事態の進行を何に注意を払って監視すべきか
- 予見(Anticipation):さらにこの先どのような脅威と好機が出現しうるか。
- 学習(Learning):過去の成功と失敗双方からどんな教訓を引き出すのか。

またこれらのそれぞれの機能を活性化させるための重要な視点として、東北大学グループは積極的な「気づき」の重要性を指摘し、その支援策を提言しつつある。さらに組織のトップや上位者が注意すべき留意点も整備しつつある。

2-4 これらの機能を実現可能にするリソース(人員、予算、設備など)の適正配備を重視する。

2-5 対象や環境の動的変化に対応する、組織の複数目的(業績、装置安全、労働安全、社会的  
高感度...)間の優先順位づけを動的に修正する能力が欠かせない。

3. 品質保証、安全マネジメントシステム、安全文化など既知の安全規範や指針を否定するものではない。それらを含めてより高い安全性を目指すために、対象の変化と復元力を重視した新しい方法論がレジリエンスエンジニアリングである。

以上

# 電子航法研究所の最近の活動

山本 憲夫

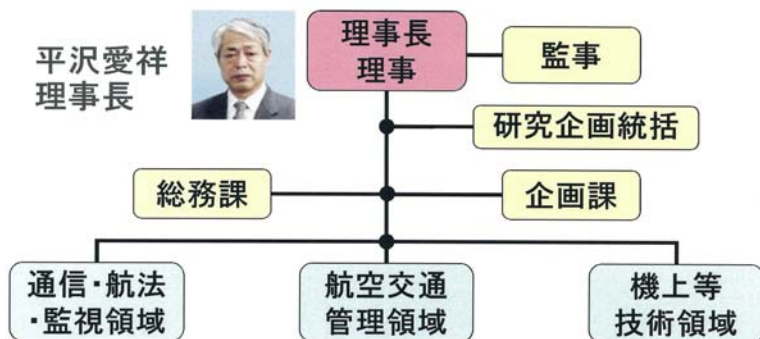
研究企画統括  
電子航法研究所 (ENRI)

## 内容

1. 電子航法研究所の概要
2. ENRI 研究長期ビジョン
3. 主な研究とその成果
4. 国際技術連携
5. まとめ

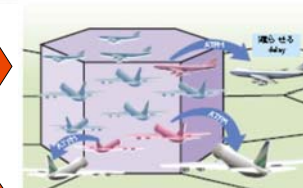
## 1. 電子航法研究所の概要

- 設立: 1967年
- 予算: 約19億円 (23年度, 人件費込み)
- 人員: 64 (研究職46, 事務職14, 役員4)
- 組織

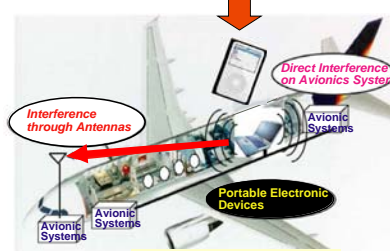


## ◆ 主な研究領域

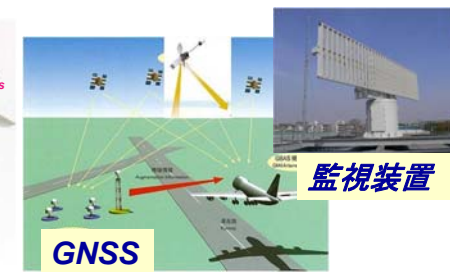
- ATM(Air Traffic Management) システム
- 通信・航法・監視システム
- 機上システム, 在来地上システム



管制間隔, 交通流管理

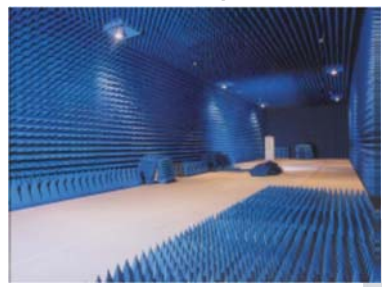


機上システム



# ◆ 主な実験施設

- 電波無響室



- 実験用航空機



- 実験用モードSレーダ



# 2. ENRI 研究長期ビジョン

## ◆ 背景

-今日の航空交通....-

- 空域/空港での交通量増
  - 効率的運航の要望大
  - 環境保全の必要性大
- 世界的傾向 ↓



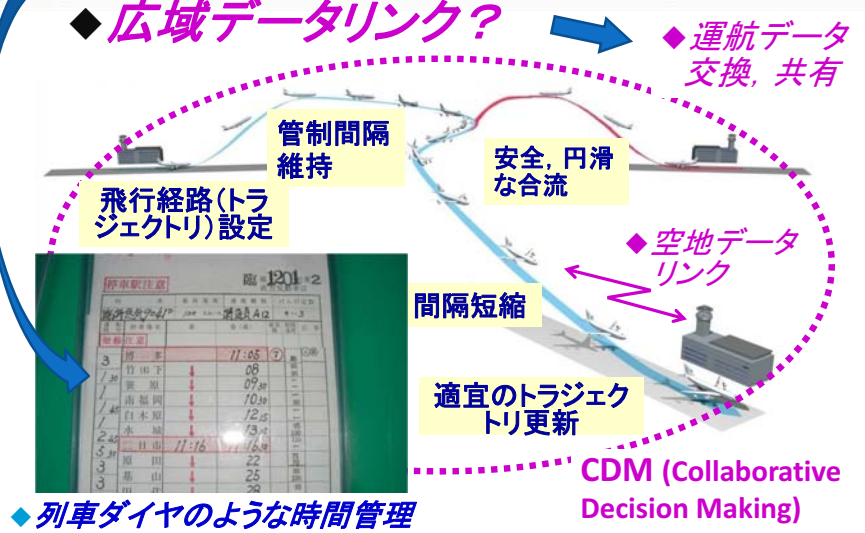
ICAO “全世界ATM運用概念” (2005)

- ✓ トrajekトリ・ベース運航
- ✓ 広域データリンク; CDM\*
- ✓ 衛星航法の活用 \* 協調的意志決定



## ◆ トrajekトリ・ベース運航?

## ◆ 広域データリンク?



◆ 列車ダイヤのような時間管理

- ENRI 研究長期ビジョン(2008年版)作成 -

# ◆ 長期ビジョンの見直し

2008年版長期ビジョン: 2008年までの情報!

- (1) 社会状況の変化
  - ・首都圏一極集中, ・CARATSの策定 など
- (2) 新たに得られた知見や技術

## ◆ 新長期長期ビジョン

H23年 3月公表

- 課題の具体化
  - ✓ 首都圏空港付近/面の混雑低減
  - ✓ 上空通過機と国内離着陸機の調和
  - ✓ 衛星航法システムの運用拡大
  - ✓ 燃費節減等に寄与する運航効率化 など
- 短・中・長期目標明白化 → 研究継続性



# ◆ 新研究長期ビジョンロードマップ - そのCARATSとの関連 -



## ✓ ATM関係

- ◆ 柔軟な空域運用
- ◆ 性能準拠型運用
- ◆ 協調的な軌道生成
- ◆ リアルタイム軌道修正
- ◆ 高密度運航

## ✓ Enabler関係

- ◆ 情報管理
- ◆ 航空気象
- ◆ 航法(N)
- ◆ 監視(S)

研究ロードマップ (Drafting Future Sky)



# ◆ 研究長期ビジョン作成の効果



- 新規研究の立案, 評価
- 将来の航空交通システムに関する長期ビジョン (CARATS), CARATS推進グループ
- 将来航空技術開発計画の支援 (NEDO\*)
- ENRI ATM/CNS国際ワークショップ (EIWAC2009, 2010)
- 国際交流の大幅な増加
- 次期研究所中期計画作成 (2011年~)



\* 新エネルギー産業開発機構

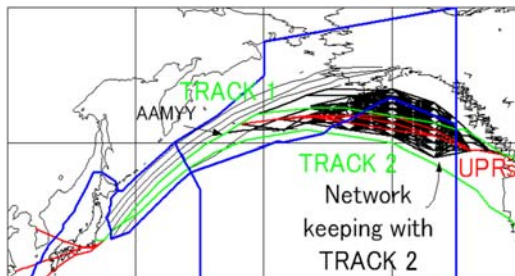
## 3. 主な研究とその成果



(本日の講演に含まれない課題)

### ① 洋上経路システムの高度化

- ✓ 高密度空域に利用者選択経路(UPR)導入時の運航想定
- ✓ UPR対応動的洋上経路設定シミュレータの確立



- PACOTS (Pacific Organized Track System)
- 最適経路の予測
- コンフリクト予防
- 上空通過機との調和など

✓ 日米航空管制調整会議などへ情報提供

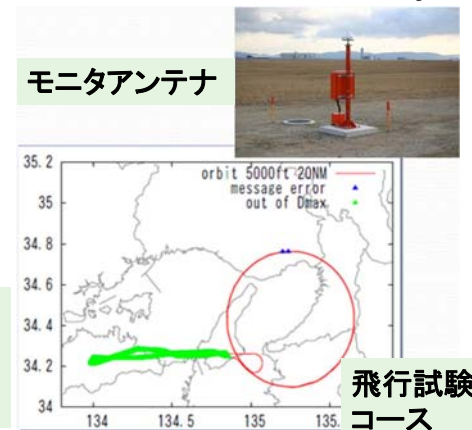
## ② 衛星航法システムの研究



- ✓ CAT-I GBASプロトタイプ開発, 関西空港設置
- ✓ 性能評価実験(地上, 実験用航空機, B-787)



Boeing 787 at KIX



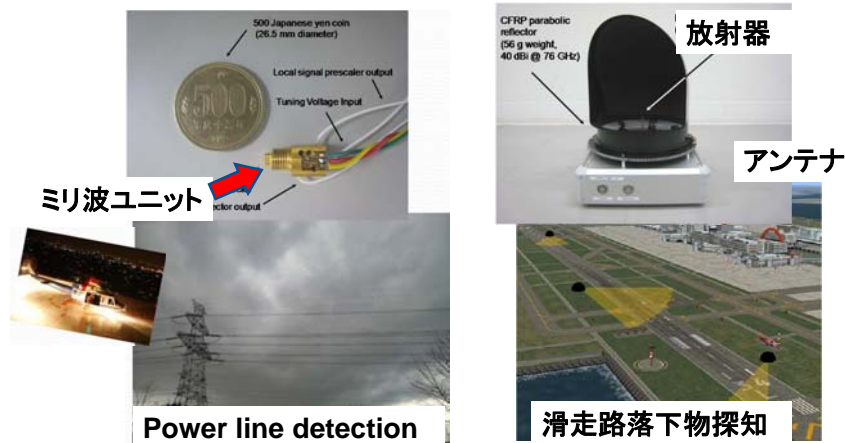
補強信号 → 機上受信機 (GLS) → B787 → 試験成功!

CAT-III GBASの研究開発に着手 (2011)



### ③ ミリ波レーダの研究

- ✓ 76GHz帯レーダユニット, アンテナの開発
- ✓ 性能評価実験 (地上, 模型, ヘリコプタ)



レーダの性能確認!

### 4. 国際技術連携

#### なぜ必要?

- ◆ 約45の研究テーマを約55名の研究員で実施
- ◆ 社会, 行政要望にタイムリーに応え, 質の高い研究成果を上げる必要
- ◆ ATMに係わる研究機関はENRIを除いて我が国にはない
- ◆ ATM/CNS関係技術は世界共通のものが多く 研究・開発・評価には国際連携が必須



### ◆ 海外機関との連携例

- 仏 ニース・ソフィアアンティポリ大学 (University of Nice-Sophia Antipolis)
- 米国 航空宇宙局研究センター (NASA Research Center)
- オランダ 航空宇宙研究所 (Dutch National Aerospace Laboratory)
- 韓国 航空宇宙研究所 (Korea Aerospace Research Institute)
- 韓国交通研究院 (Korea Transport Institute)
- その他 10以上



### ◆ 技術連携の効果

- 研究の質向上
  - ✓ 共同研究者によるレビュー効果
- 成果公表範囲の拡大
  - ✓ 国内, 国際会議等での公表の機会拡大
- 研究員の資質向上
  - ✓ 研究連携の討議, 共同作業を通して
- 研究所の知名度の向上
  - ✓ 外国人訪問者数の増加 (H17:4 → H21:18)
  - ✓ ENRI主催国際会議(EIWAC) への多数の参加者



## 5. まとめ

- 電子航法研究所の概要
- ENRI研究長期ビジョン
  - 背景, 見直し, CARATSとの関係
- 主な研究と成果
  - 洋上経路システム高度化 他
- 最近の国際技術連携
  - 促進の理由, 具体的連携例, 効果

**世界の将来航空交通システム確立に貢献!**

## EWAC2013 開催のお知らせ!

**Invitation to ENRI 3<sup>rd</sup> International W/S  
on ATM/CNS (EWAC 2013)!**

- Date: February 19 - 22, 2013
- Abstract Submission: July 31, 2012
- Venue: Tokyo Japan
- Expected Subjects:

- ATM Modeling
- Trajectory Operation
- Airport Management
- C/N/S
- Future ATM Systems etc.



平成23年度 電子航法研究所 講演会

## マルチラテレーション 航空機監視システムの高度化

独立行政法人 電子航法研究所

角張 泰之, 宮崎 裕己, 古賀 禎,  
島田 浩樹, 二瓶 子朗

## マルチラテレーション(MLAT)の高度化

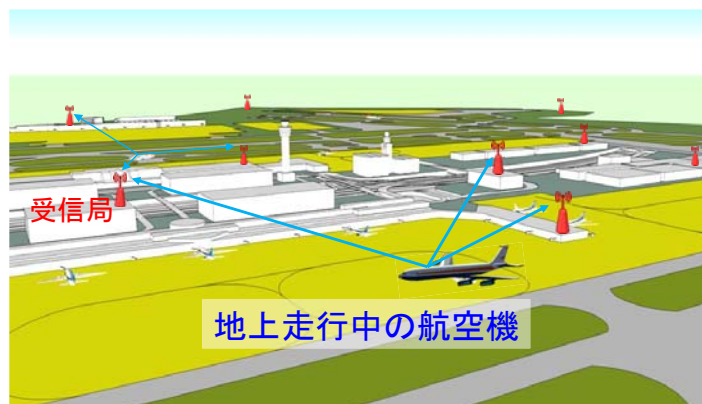
ENRIではマルチラテレーション導入評価※で得た知見を活用して、**MLAT技術の高度化**を進めている

(※羽田空港, 成田空港, 関西空港にて導入前評価を実施した)

- ✈️ 耐マルチパス干渉性技術
  - 空港面マルチラテレーション(OCTPASS)
- ✈️ 覆域拡大技術
  - 広域マルチラテレーション(WAM)

## (空港面)マルチラテレーション

✈️ 滑走路, 誘導路, エプロン等の空港面の監視

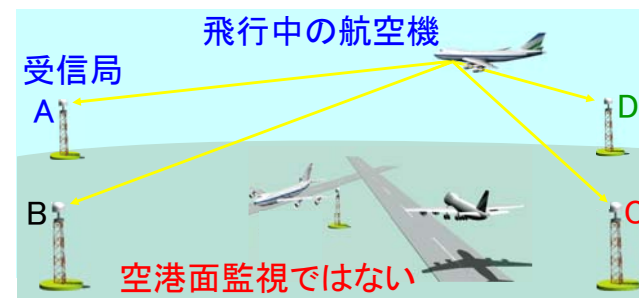


監視

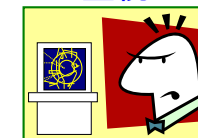


## 広域マルチラテレーション

✈️ アプローチ, ターミナル等の空域を監視



監視



(WAM: Wide Area Multilateration)

# 発表の流れ

- ✈️ 研究の背景
- ✈️ OCTPASSの開発・評価
- ✈️ WAMの開発・評価

# 研究の背景

# マルチラレーション導入の背景

首都圏空港における滑走路の増設・拡張  
 → 空港容量の拡張・・・円滑で安全な運行を維持



羽田空港D滑走路新設



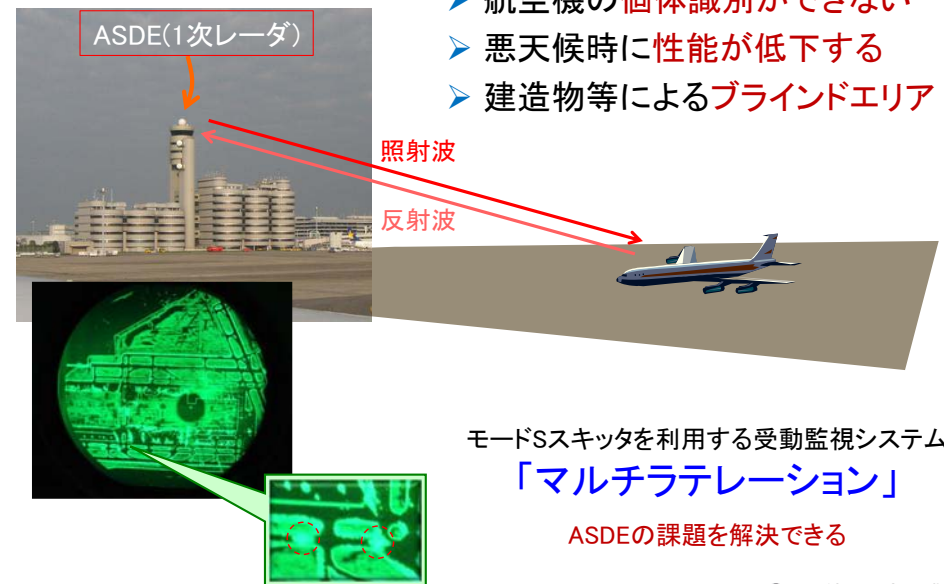
成田空港B滑走路北伸

**ENRI** 羽田空港, 成田空港, 関西空港にて導入評価を実施

# 空港面監視では

空港面探知レーダ(ASDE)の課題

- 航空機の**個体識別**ができない
- 悪天候時に**性能が低下**する
- 建造物等による**ブラインドエリア**



モードSスキッタを利用する受動監視システム  
**「マルチラレーション」**

ASDEの課題を解決できる



# マルチラレーションの誤差要因



✈️ 空港内（特にエプロンエリア）は建造物によるマルチパス反射波の影響を受けやすい

→ マルチパス干渉の影響が誤差要因に

ENRIでは、エプロンエリアにおける高性能化を目指し、「光ファイバ接続型受動監視システム」を提案してきた

Optically Connected Passive Surveillance System

マルチパスの影響を受けにくい新方式 → **OCTPASS**

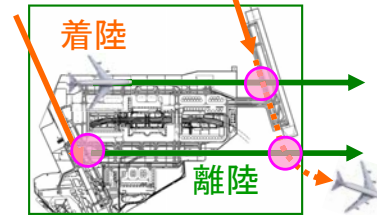
# 周辺空域に目を向けると

✈️ 空港拡張後：高度な運用方式

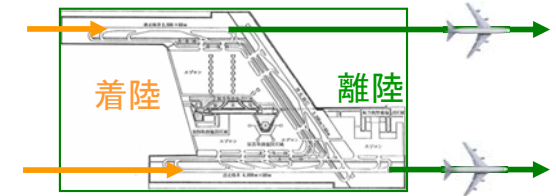
→ 井桁運用・並行滑走路の同時離着陸

羽田：井桁運用

成田：同時出発



離着陸のタイミングが滑走路間で影響



離陸後の並行区間が長い

空港周辺をより高頻度・高精度に監視 → **WAM**

# OCTPASSの開発・評価

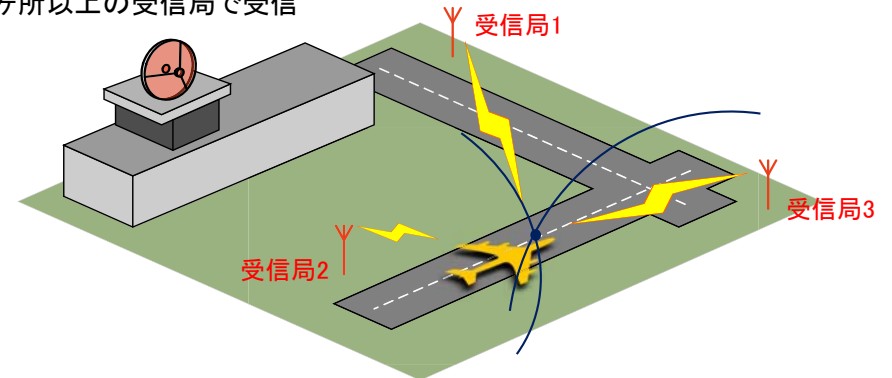
～ OCTPASSの特徴 ～

# 空港面マルチラレーションの測位原理

## マルチラレーション測位

トランスポンダが発する信号を3ヶ所以上の受信局で受信

受信時刻差から双曲線測位計算



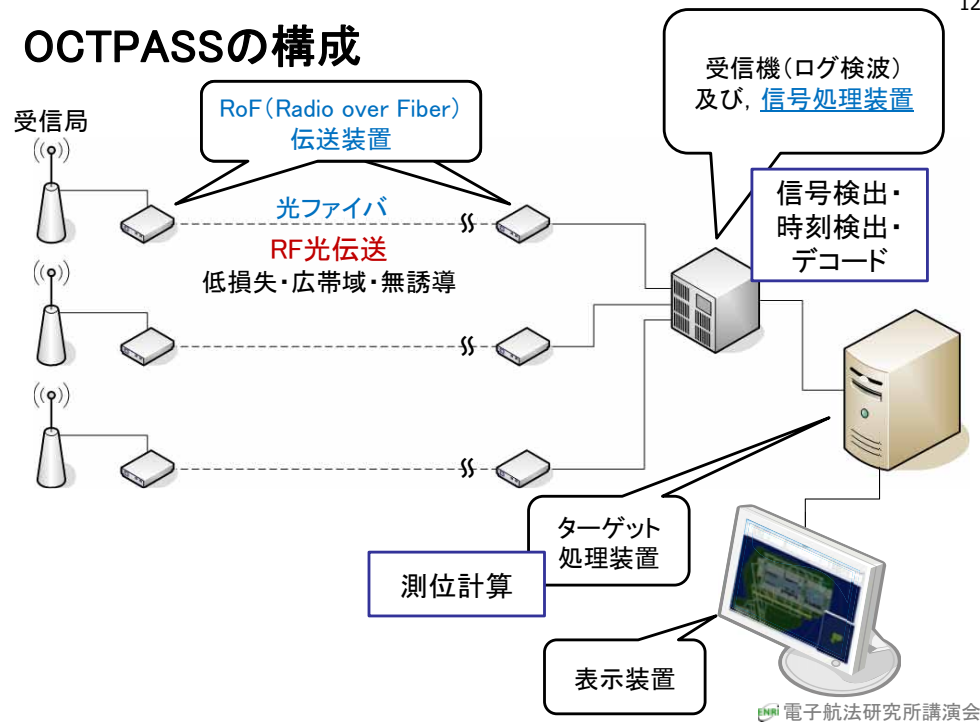
測位  
個体識別



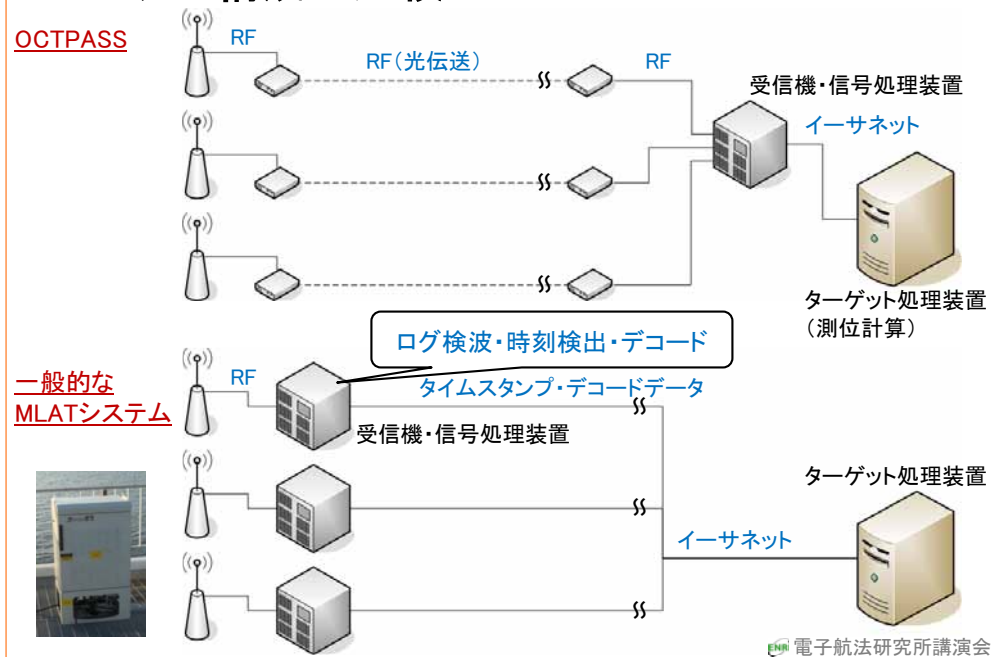
精密時刻検出, 信号グルーピング  
データデコード



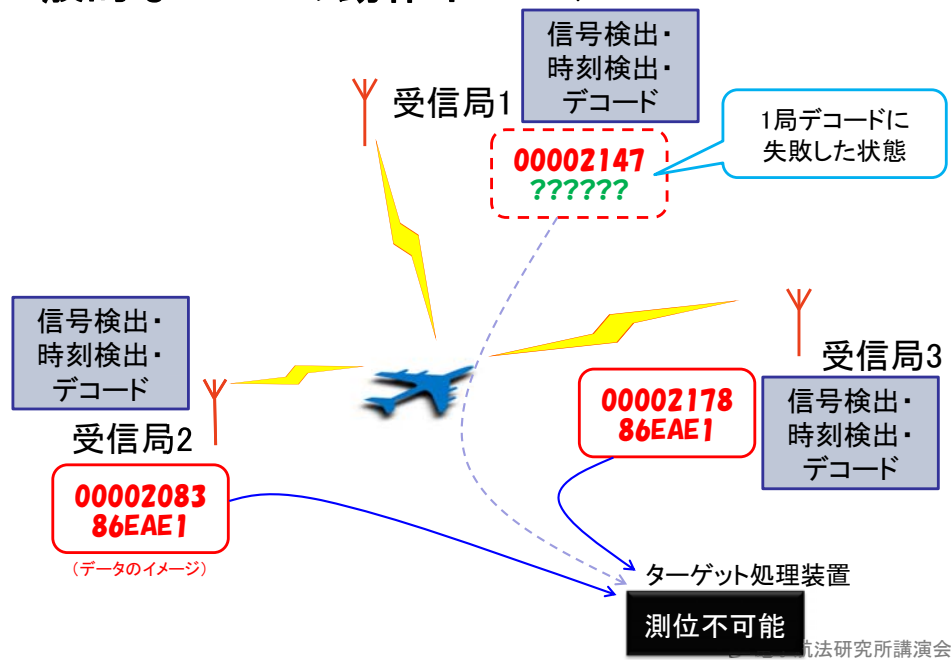
# OCTPASSの構成



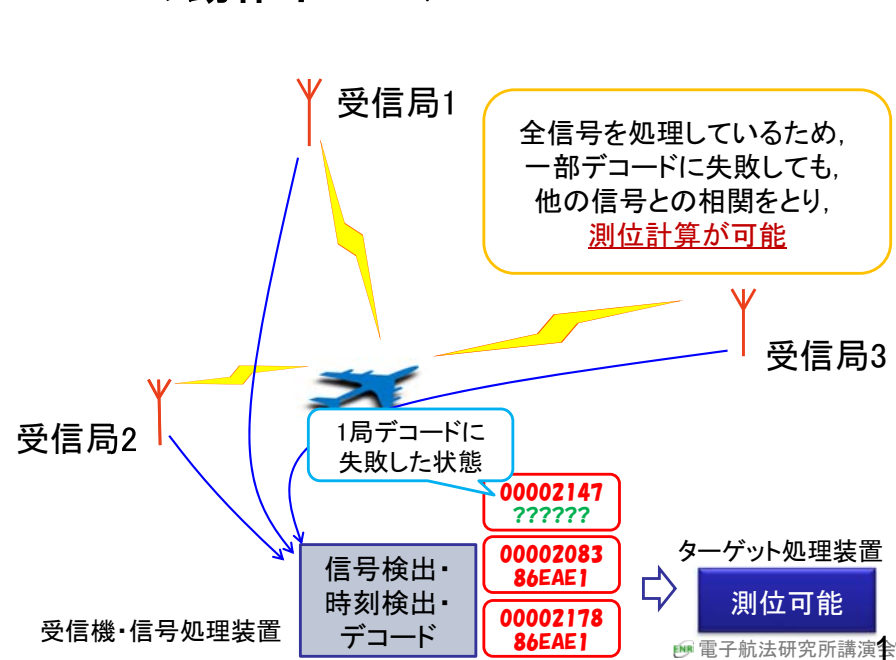
# システム構成の比較



# 一般的なMLATの動作イメージ



# OCTPASSの動作イメージ

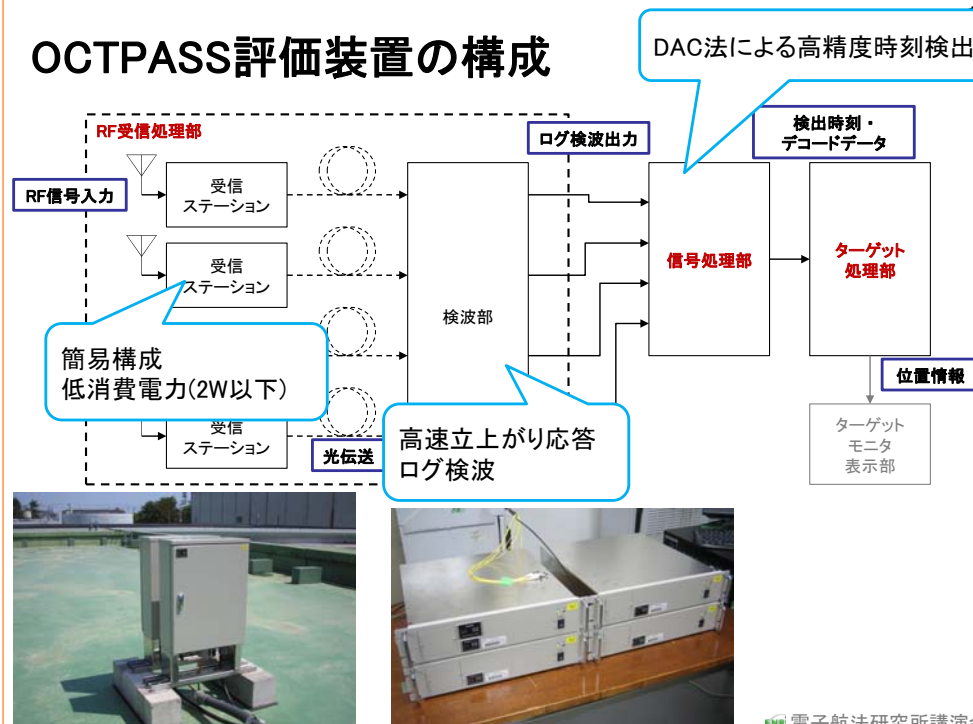


# OCTPASSの構成の利点

- ✈ 干渉信号の測位利用
  - 受信局数が必要最小限でよい
- ✈ 受信局間の時刻同期が原則不要
  - 集中制御型マルチラレーション
- ✈ 受信局部の小型化
  - 受信局構成が簡易
  - 設置レイアウトのフレキシブルな設計が可能に



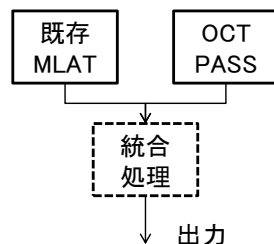
# OCTPASS評価装置の構成



# システム拡張・追加の容易さ

ENRIでは、監視情報を容易に統合化する検討も進めている

- ✈ 既存システムへの部分的追加
- ✈ 既存システムとの共存



# OCTPASSの開発・評価

～ フィールド評価試験 ～

# フィールド評価試験

電子研所内グラウンドに受信局を展開



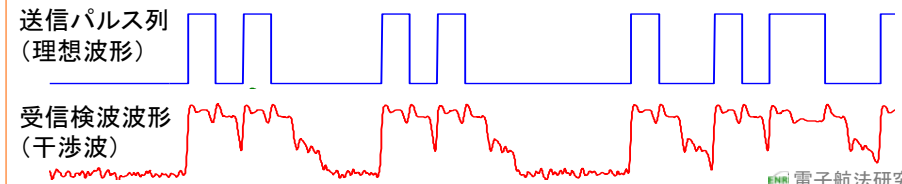
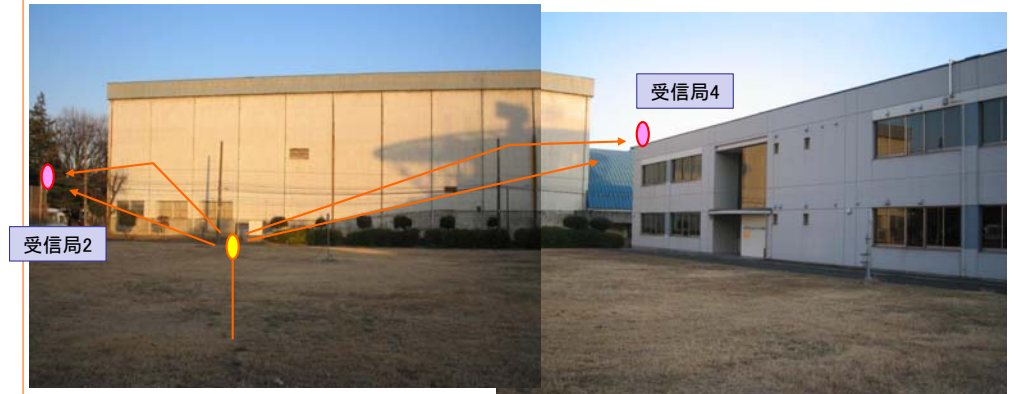
**【受信局】**  
各受信局～建屋内実験室  
光ケーブルにて接続

- ・定点測位試験
- ・走行車両測位試験を実施

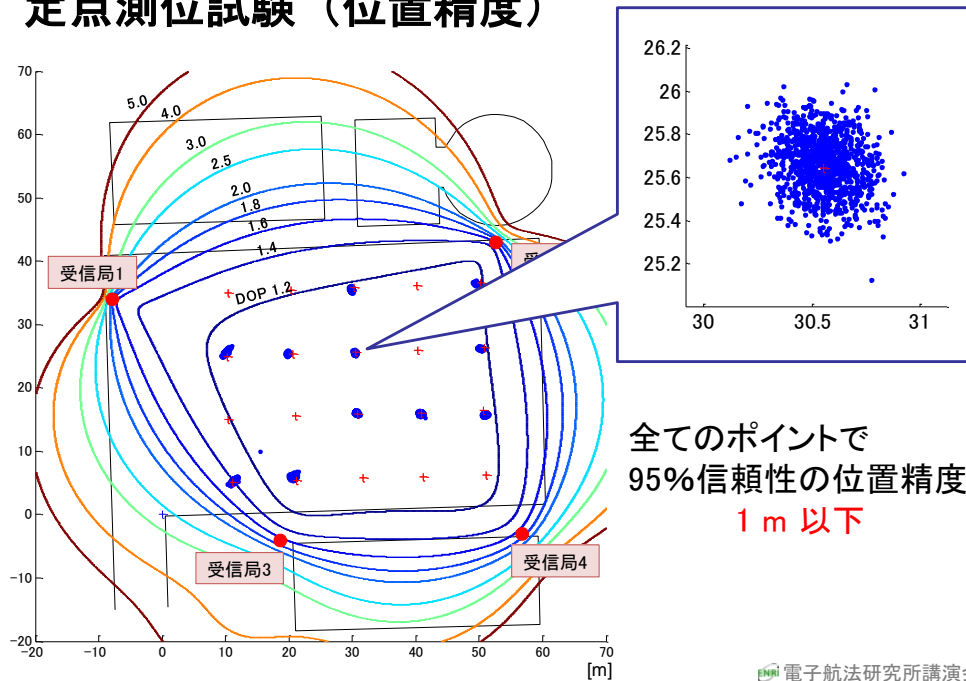
**【建造物の壁】**  
マルチパス  
干渉の発生源

# 建造物の壁の状況

所内グラウンドから見た東側の建造物

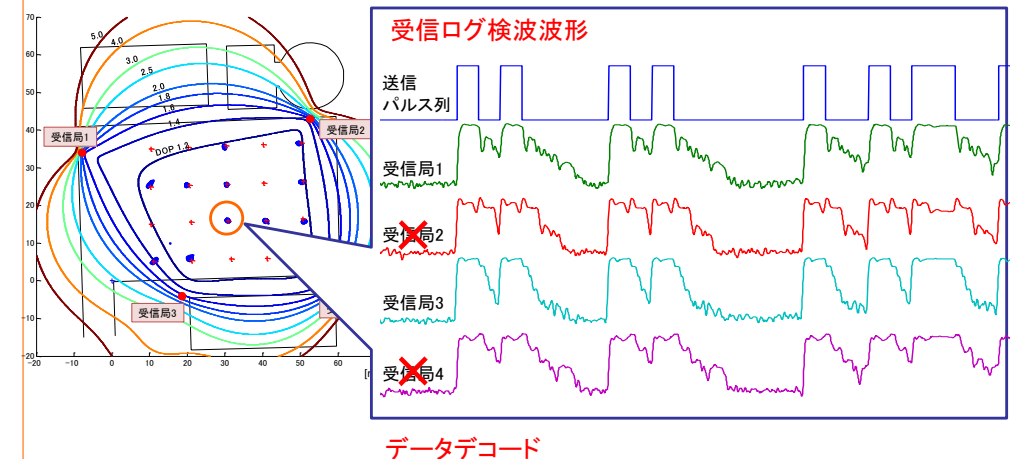


# 定点測位試験（位置精度）



全てのポイントで  
95%信頼性の位置精度  
**1 m 以下**

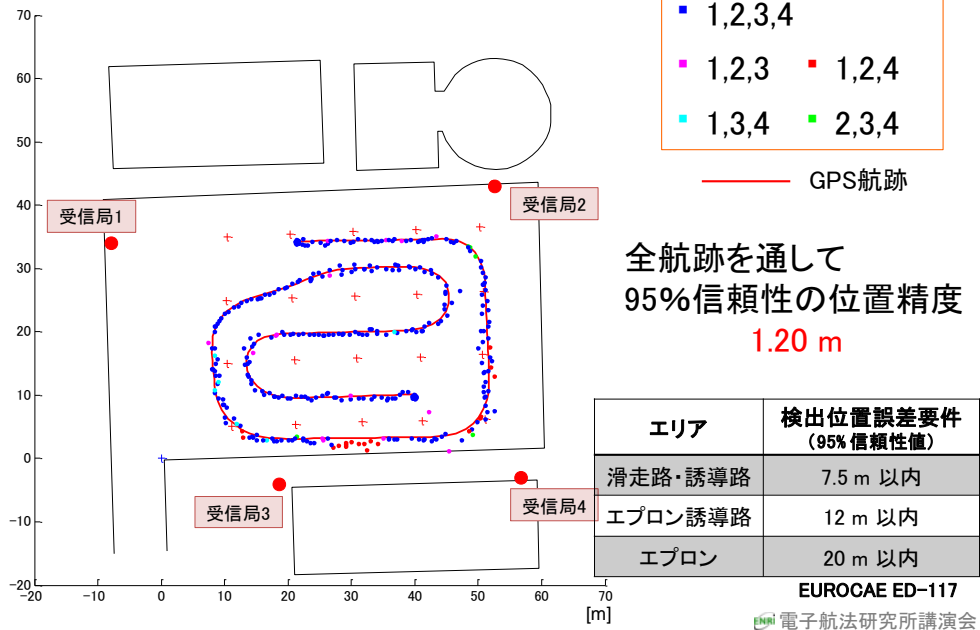
# 定点測位試験（干渉信号測位利用）



データデコード

信号グルーピングにより、データデコードに失敗した  
干渉信号も測位計算に利用している

## 走行車両測位試験



## まとめと課題

- ✈️ OCTPASS:  
高性能化を目指した新しいマルチラレーション
- ✈️ 試作評価装置による動作検証試験: 良好な結果
- ✈️ 実環境下での評価・検証の実施が必要  
→ 仙台空港内にテストベッドを整備中
- ✈️ メンテナンス性を高めたシステム構成を検討  
ランニングコストの低減を目指す

## WAMの開発・評価

～ WAMの特徴 ～

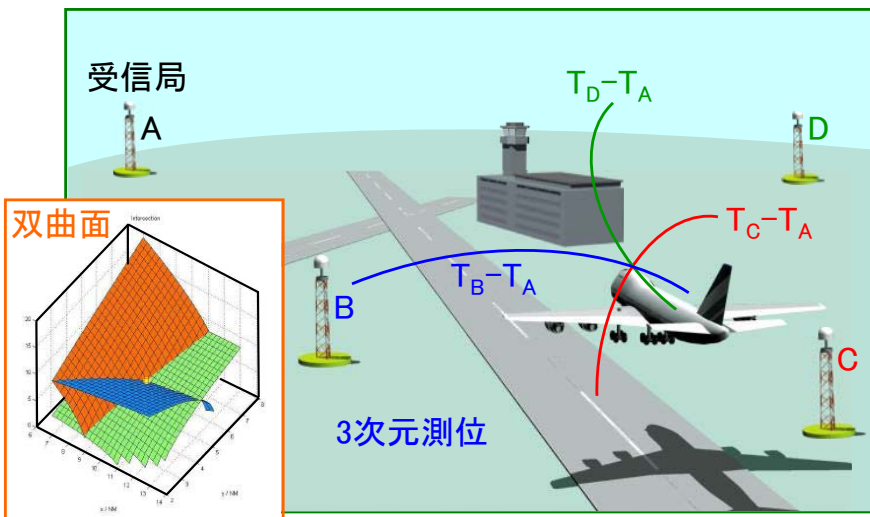
## WAM開発・評価の目的

- ✈️ WAM実験装置を製作  
→ 高度なWAM技術を確立  
→ 目標: WAM課題の解決(信頼性の確保)
- ✈️ 初期評価の実施目的  
→ 羽田空港周辺に実験装置を設置  
→ 実験装置の基本性能を確認

最小構成(受信局4局)



# WAMの測位原理



✈️ 最低4局の受信局で信号を検出

# 特徴

- ✈️ 二次監視レーダ(SSR)の課題を克服可能
- ✈️ ADS-Bとの共用が可能
- ✈️ 長期的に有効な監視技術

受信局配置を工夫

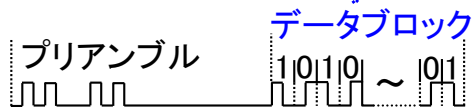
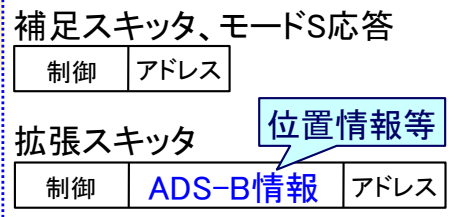
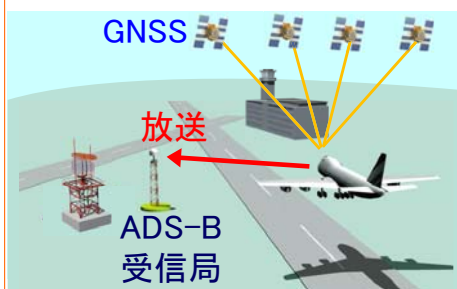
	ターミナルSSR	WAM
更新頻度	4秒	1秒平均
覆域	固定(地形に影響)	柔軟に設計可
非検出領域	近傍, 空中線直上	基本的になし

SSR: Secondary Surveillance Radar

ADS-B: Automatic Dependent Surveillance-Broadcast

# 特徴

✈️ ADS-Bとの共用が可能



ADS-B: 高機能・高性能な監視を実現

WAMとADS-Bの信号形式は同じ  
→ADS-B情報の解読機能を持たせる

# 特徴

✈️ 長期的に有効な監視技術

旅客機や貨物機: モードSトランスポンダを既に装備  
→ WAMは直ちに運用を開始できる

ADS-B: 航空機側に搭載装置が必要  
→ 運用開始は航空機側の装備状況に依存  
→ WAM導入時にADS-B機能を実装

時間を要する

効率的に移行

ADS-B運用開始後: 位置情報の検証が必要

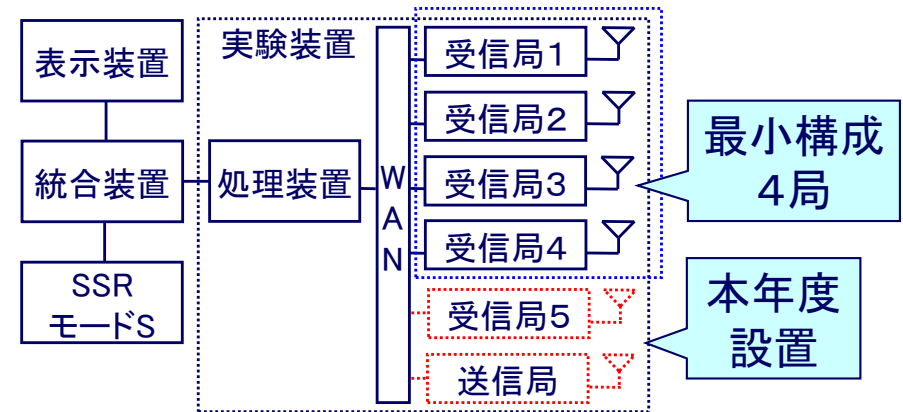
WAMが最適



## WAMの開発・評価

～ 評価実験装置 ～

## 実験装置の構成



→ 初期評価の対象：受信局4局（最小構成）

## 実験装置が行う特徴的な処理

### → 測位計算方式

- 幾何演算：DOPを基に最適な受信局を選択
- 収束演算：全ての受信局を利用する計算
- 平面演算：気圧高度を利用した2次元計算

### → 信号検出時刻の高精度測定

- 高精度な受信局間時刻同期
- 高分解能サンプリング周期

### → 質問機能の活用

- 検出率の向上
- 測距処理を利用した測位精度向上

## 信号検出時刻の高精度測定

$$\text{位置精度} = \sigma \times \text{DOP}$$

信号検出時刻の測定精度( $\sigma$ )  
精度劣化指数(DOP)

**重要**

- 信号検出時刻を高精度に測定
- DOPが悪い領域で相対的に位置精度を維持

評価実験装置では・・・

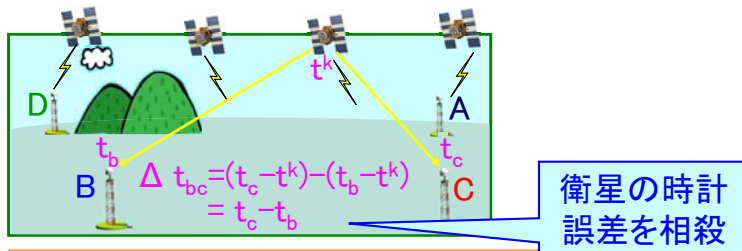
- 時刻検出分解能：2 ナノ秒（通常 10 ナノ秒程度）
- 受信局間時刻同期：GPS Common View方式  
→ GPS単独方式に対して2～4倍の同期精度

DOP: Dilution Of Precision

# 信号検出時刻の高精度測定

## ✈️ 受信局間の時刻同期

手法	同期精度
基準局方式	5~10ナノ秒
単独GPS方式	10~20ナノ秒
GPS Common View方式	2~5ナノ秒

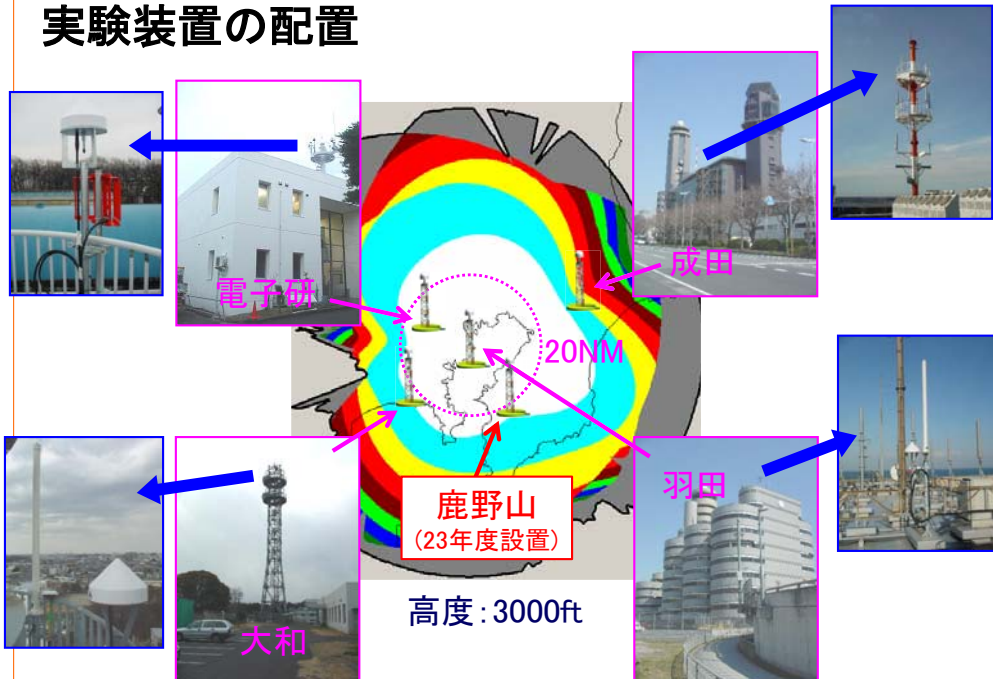


高い同期精度を達成可能

# WAMの開発・評価

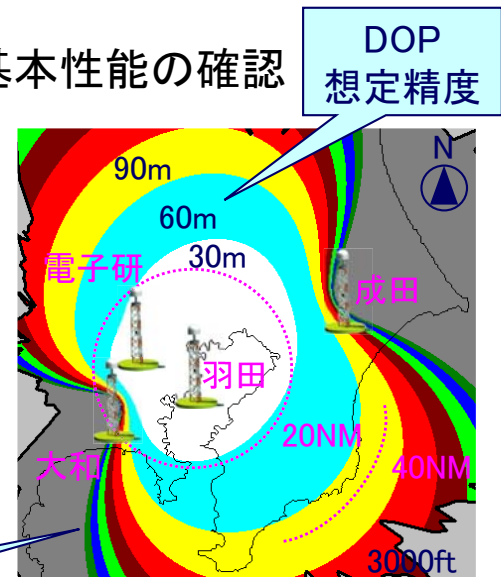
～ WAMの初期評価 ～

# 実験装置の配置



# 初期評価

- ✈️ 目的: 最小構成での基本性能の確認
- ✈️ 評価項目: 覆域  
位置精度  
検出率
- ✈️ 評価方法:  
→ 想定値と比較
- ✈️ 対象航空機:  
→ エアライン機



想定覆域

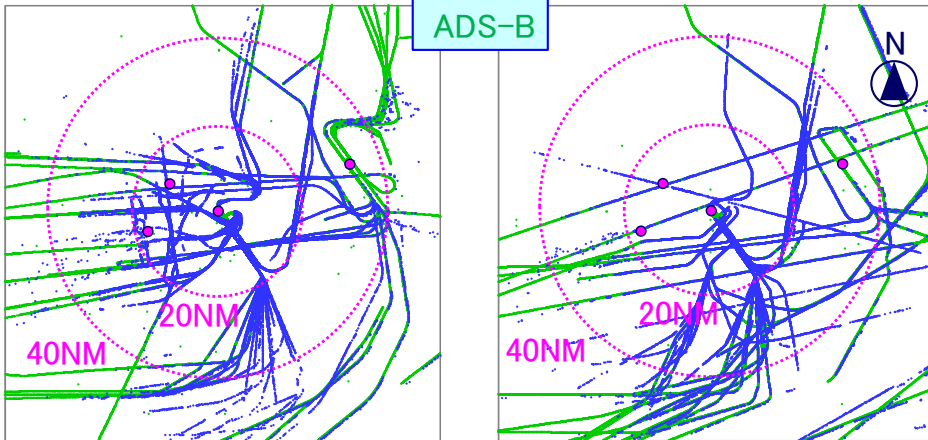
受信局配置(4局)

# 監視覆域

繁忙帯(10時頃)

WAM  
ADS-B

夜間(23時頃)



✈️ 想定される覆域(40NM)を確認

# 位置精度・検出率

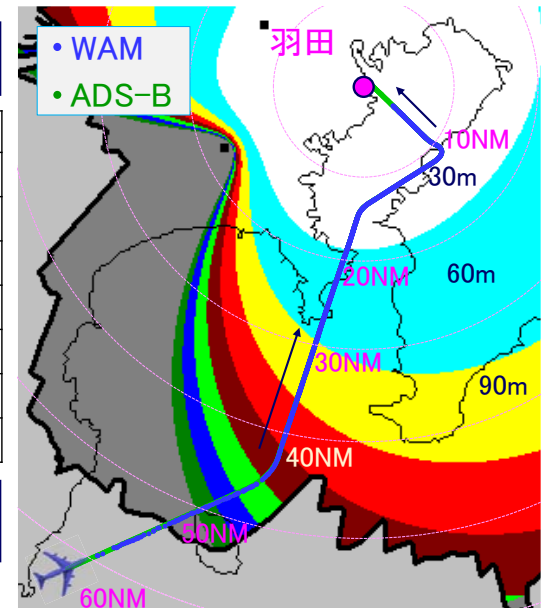
欧州要件  
150m

欧州要件  
97%

距離	位置精度	検出率
60NM~	204m	37.5%
50~60NM	206m	95.0%
40~50NM	165m	100%
30~40NM	92.8m	100%
20~30NM	46.8m	100%
10~20NM	19.2m	100%
~10NM	14.4m	97.4%

(23:40着陸のデータ)

空港近傍  
低高度



# まとめ

- ✈️ 羽田空港周辺でWAM初期評価
- ✈️ おおむね想定される性能を確認
- ✈️ 特に遠方で性能低下 (信号干渉)
- ✈️ 最小構成での基本性能を把握
  
- ✈️ 送信局と受信局を追加
- ✈️ 効果的に信頼性を高める技術の評価

# 謝辞

実験装置の設置にご協力頂きました

- ✈️ 国土交通省東京航空局
- ✈️ 東京空港事務所
- ✈️ 仙台空港事務所
- ✈️ 成田空港事務所
- ✈️ 大和航空路監視レーダー事務所
- ✈️ 国土地理院鹿野山測地観測所

関係者の皆様に深く感謝致します。

# 羽田空港の空港面交通流の特徴について

独立行政法人電子航法研究所

航空交通管理領域

山田 泉

i-yamada@enri.go.jp

## 発表の構成

- 背景と目的
- 空港面地上運航に関する分析
  - 交通流の概要
  - 主要な滞留箇所
  - 滞留のメカニズム
- 空港面交通管理に関する考察
  - 分析結果から得られる交通管理の方向性
  - 海外の導入事例
- まとめ

滞留 { どこで?  
なぜ?  
どれだけ?

滞留 どう減らす?

## 背景

- 研究対象: 羽田空港
  - 日本最大の繁忙空港
  - 世界有数の繁忙路線の起点: 主に国内線
    - 短時間の飛行: 1~2時間
      - 地上運航時間の占める割合が大きい
    - 同じ航空機が、一日に何度も羽田—地方間を行き来する
      - 空港面の滞留による遅延が各航空機に蓄積されるおそれ
  - 地上運航の円滑化が大きな課題

年間離着陸数  
(出発便+到着便)



グラフの出典: 国土交通省資料

## 研究の目的

- 空港面の混雑による滞留のメカニズムの定量的把握のための分析
  - 滞留の生じる場所
  - 滞留の原因、発生メカニズム
  - 滞留時間
- 滞留時間の予測・管理手法の検討
  - 効率性、定時性、柔軟性

どこで?

なぜ?

どれだけ?



## 発表の構成

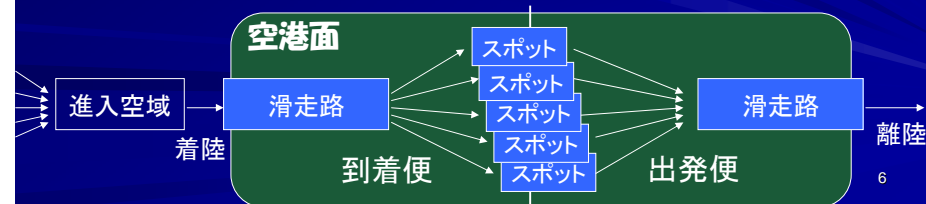
- 背景と目的
- 空港面地上運航に関する分析
  - 交通流の概要
  - 主要な滞留箇所
  - 滞留のメカニズム
- 空港面交通管理に関する考察
  - 分析結果から得られる交通管理の方向性
  - 海外の導入事例
- まとめ

滞留 { どこで?  
なぜ?  
どれだけ?

5

## 地上運航の交通流の特徴(概要)

- 2種類の交通流
  - 出発便: 滑走路に向かって合流
  - 到着便: 滑走路から分岐
- 空港面にあるボトルネック
  - 滑走路処理容量の制約
    - 出発便: 離陸滑走路の手前に待ち行列を形成し、滞留  
⇒ 運航データによる定量的把握



6

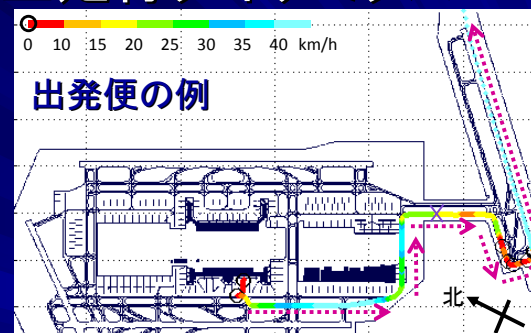
## 運航データ

- ARTSジャーナルデータに含まれる空港面監視データを使用
  - MLATIによる毎秒の航空機位置情報
  - ARTSによる便情報(便名、型式等)
    - 便ごとの航跡が抽出可能
- サンプルデータ
  - 平成22年12月以降のデータ
    - D滑走路供用開始後
  - 北風運用の分析について紹介

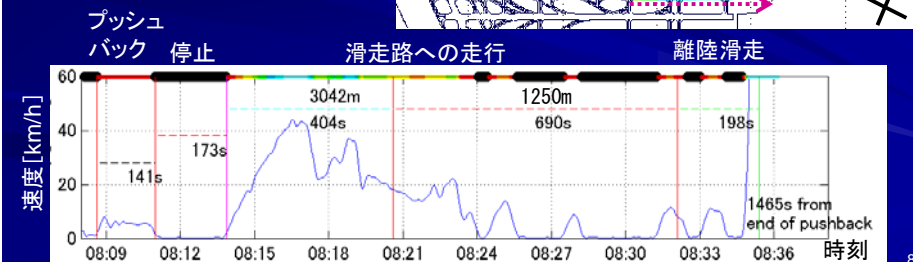
7

## 航空機の地上走行ダイナミクス

- 各便の監視データから得られる情報
  - 走行経路
  - 走行位置の時間履歴
  - 走行速度の時間履歴
  - 走行距離

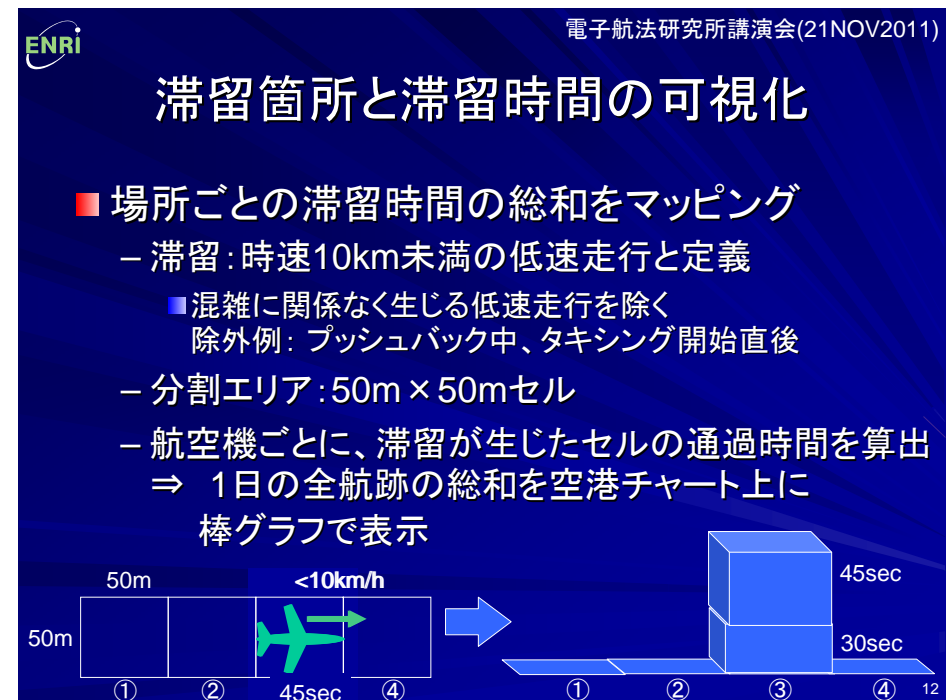
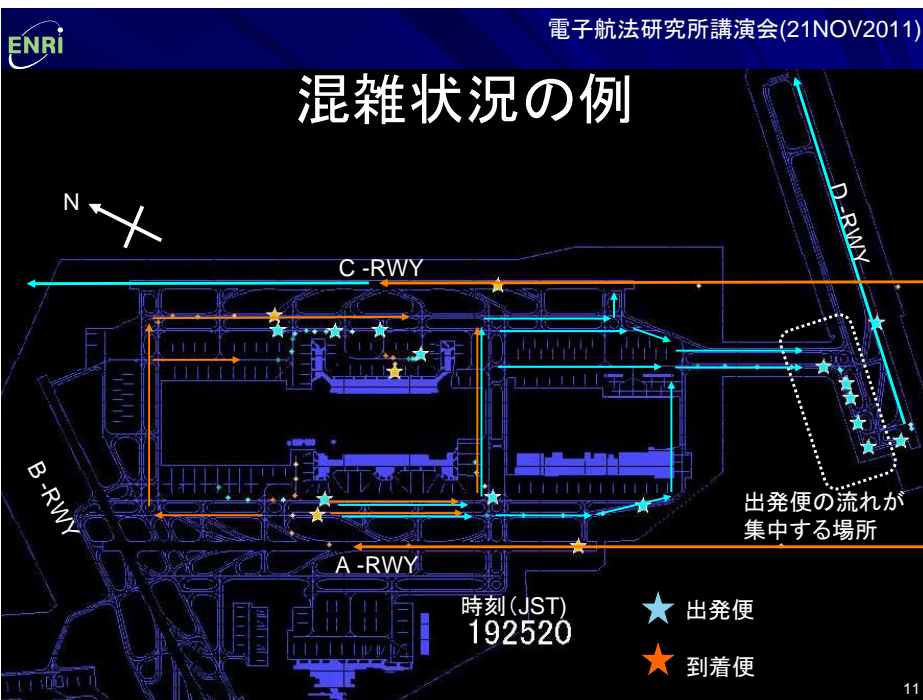
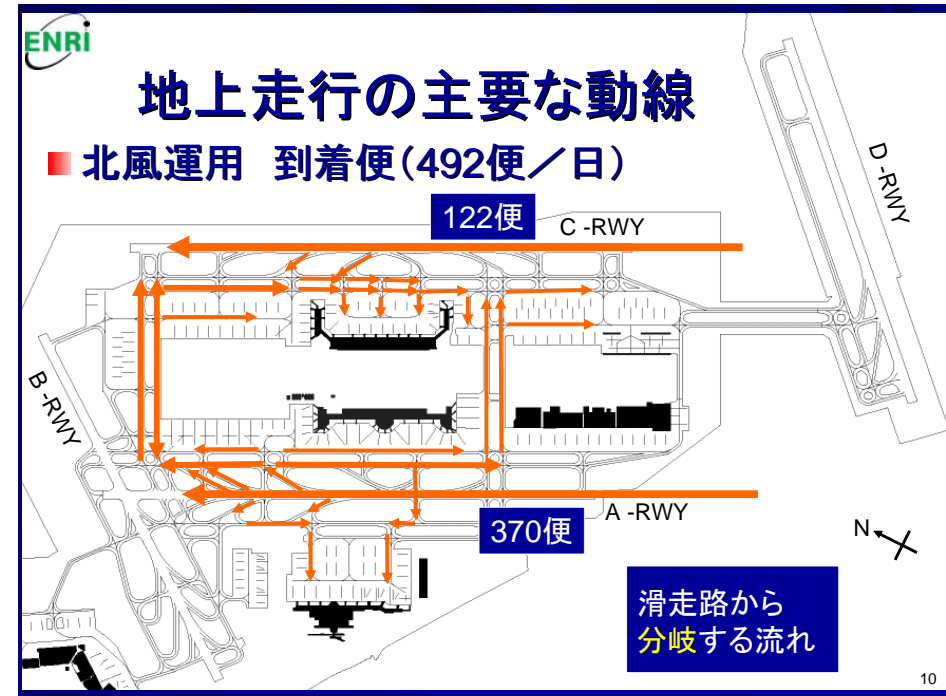
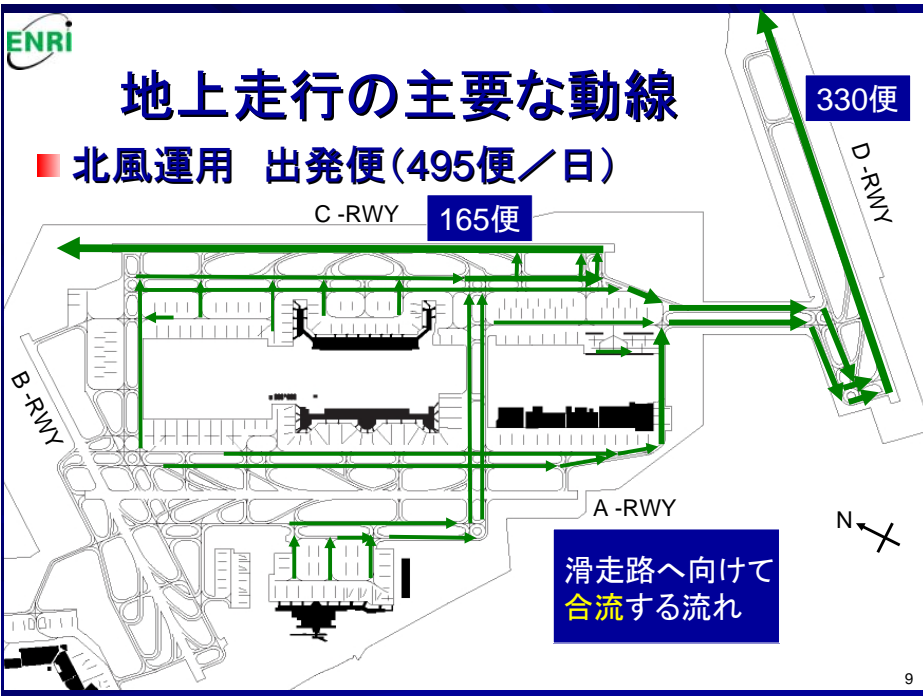


出発便の例

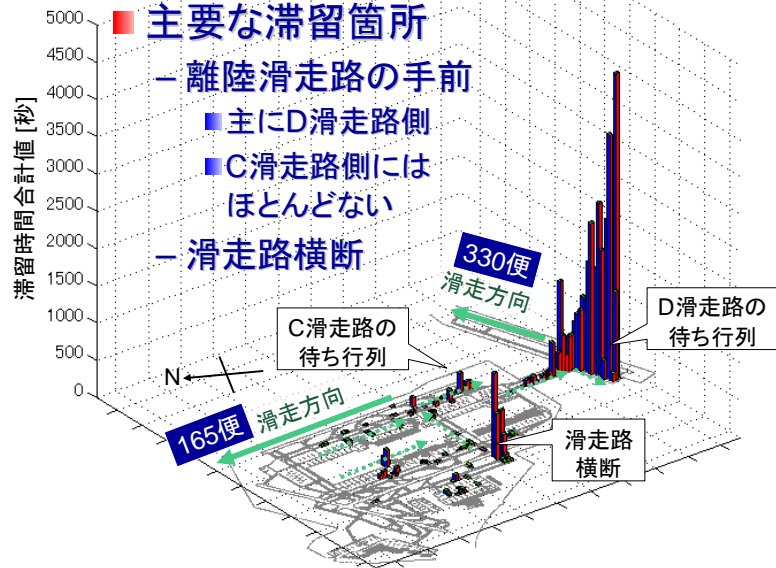


8

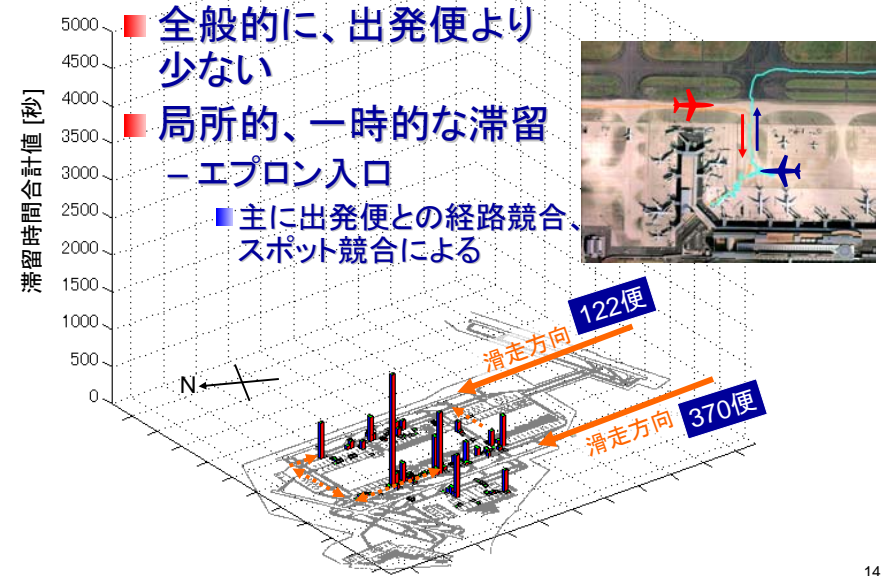




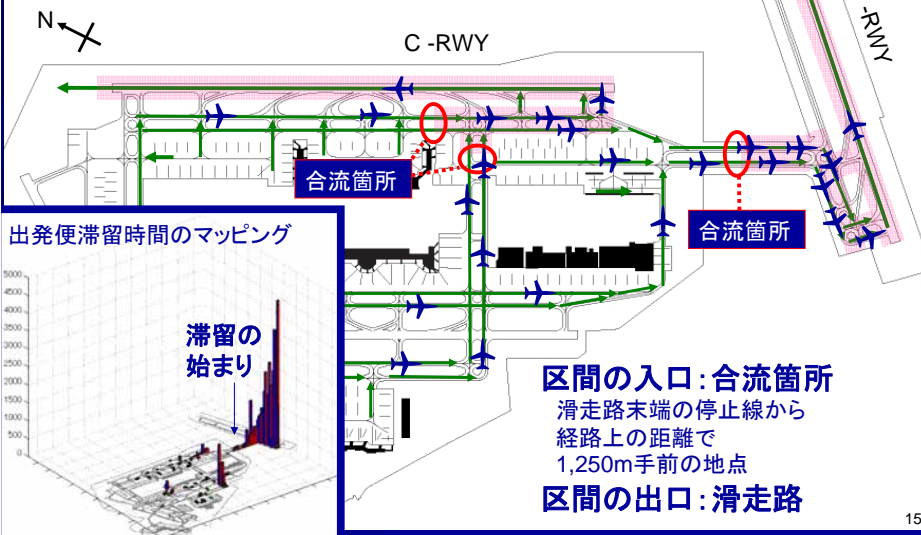
# 滞留時間の可視化: 出発便



# 滞留時間の可視化: 到着便

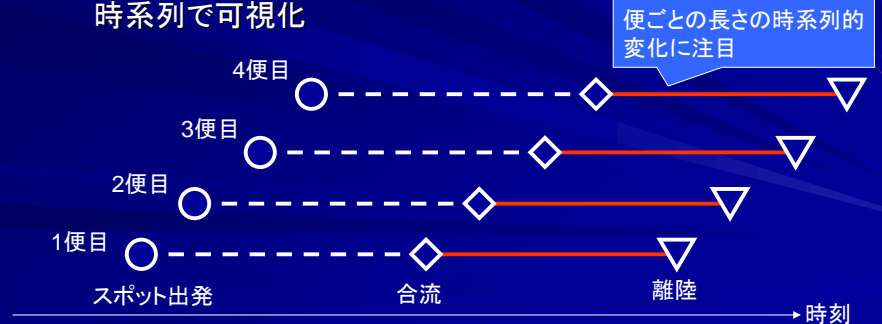


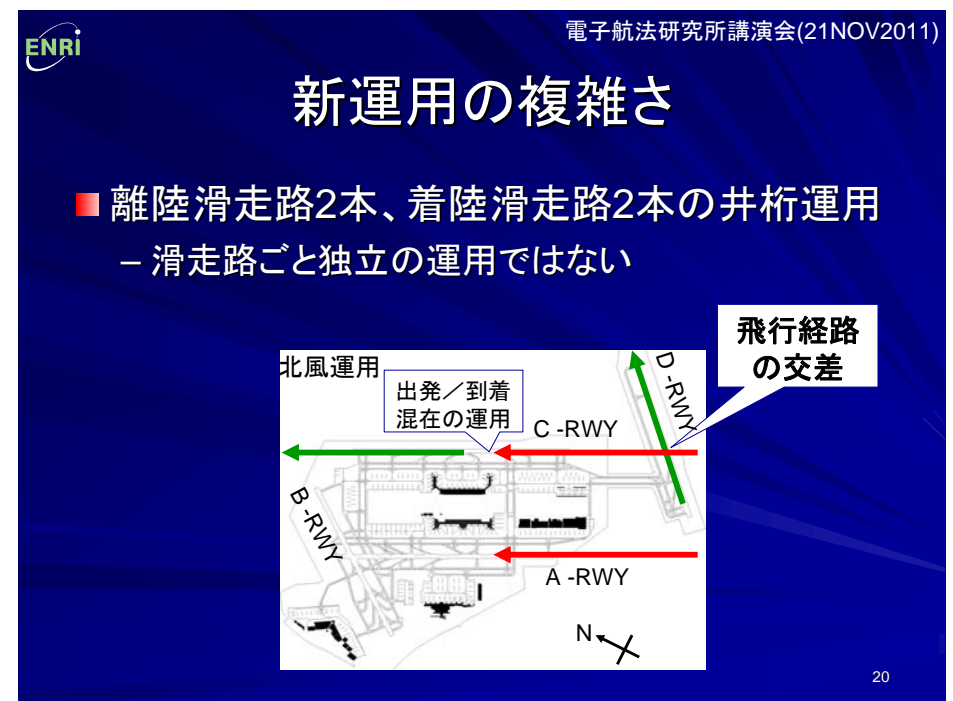
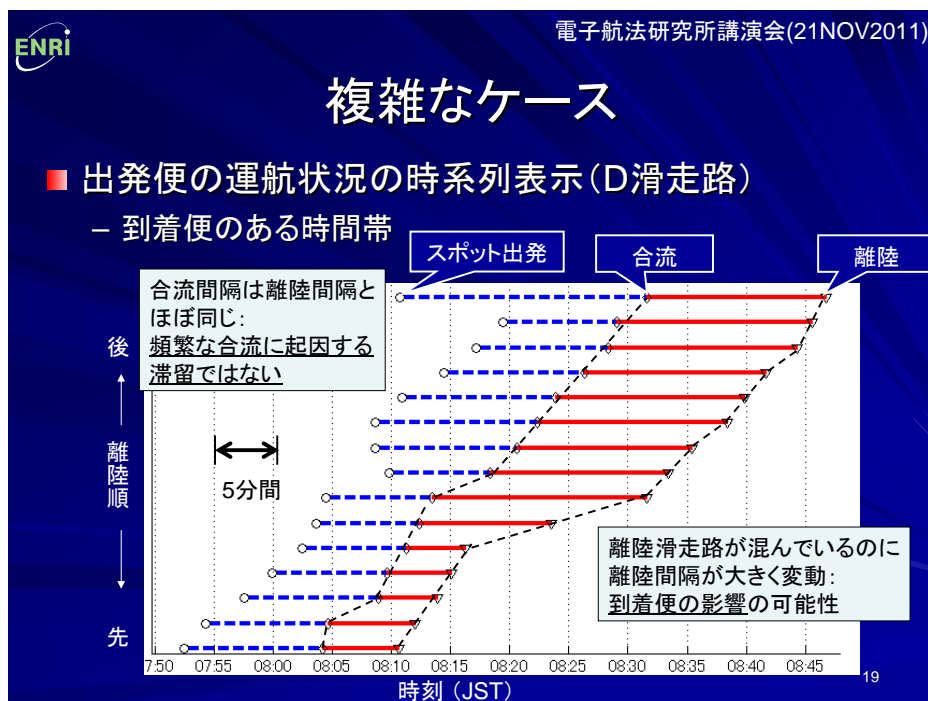
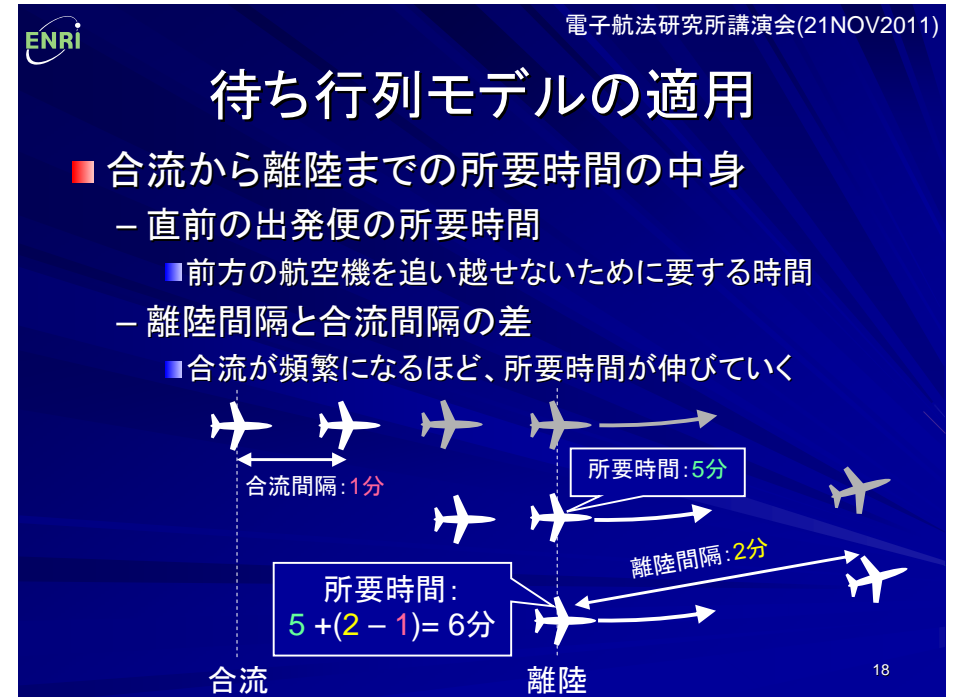
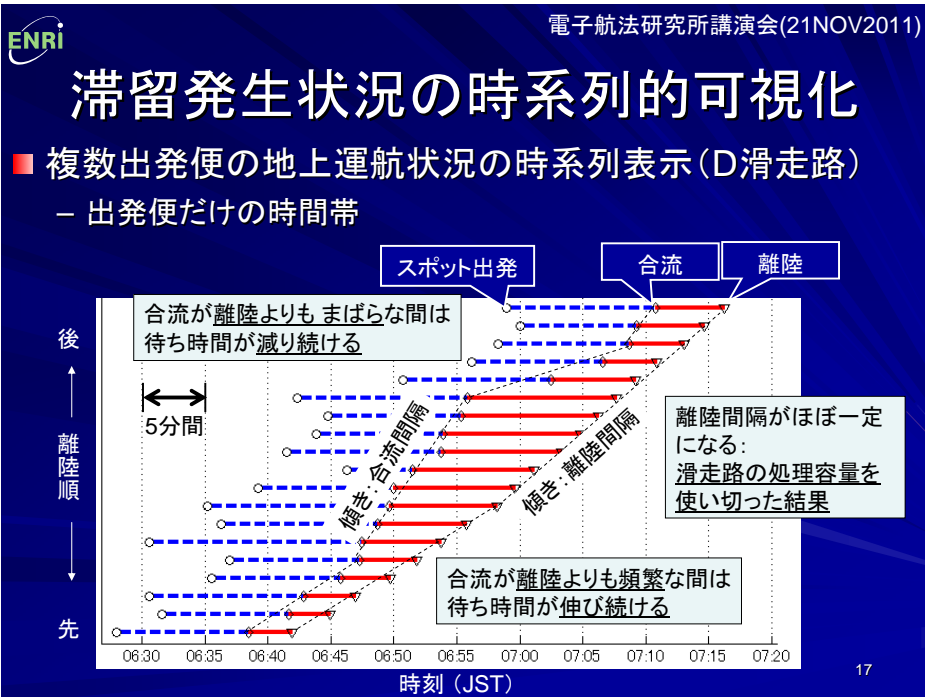
# 滞留状況の時系列的可視化 —注目する滞留区間の定義—



# 滞留発生状況の時系列的可視化

- 合流後の地上走行時間に注目した複数航空機の運航状況表示
  - 交通工学(道路)の「交通量累積図」を応用
  - 合流から離陸までの所要時間の増加/減少を時系列で可視化

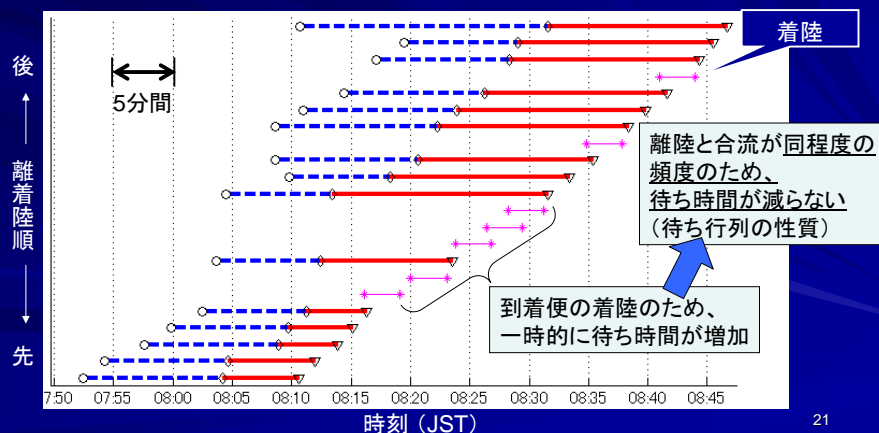






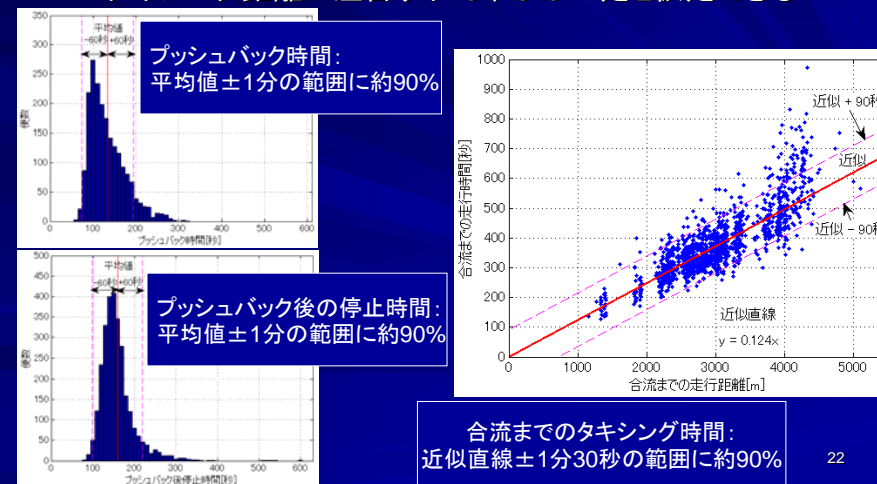
## 到着便の影響を考慮した可視化

- 出発便の運航状況の時系列表示(D滑走路)
  - C滑走路の到着便の運航状況を追記



## 合流までの地上運航時間

- プッシュバック+停止+合流までのタキシング
  - タキシング距離に注目すれば、ほぼ一定と仮定できる



## 分析結果まとめ

- 空港面の混雑による滞留の特徴
  - 主要な滞留は、出発便で生じる
  - 到着便の滞留は、出発便に比べて少ない
- 出発便の地上運航時間の特徴
  - 交通流の合流から離陸までの時間が、混雑により大きく変動する
  - 滑走路処理容量を超える合流により滞留が生じる
    - 待ち行列モデルが適用できる
  - 合流までの地上運航時間は、タキシング距離によるほぼ一定の値となる
    - 混雑の影響をあまり受けない

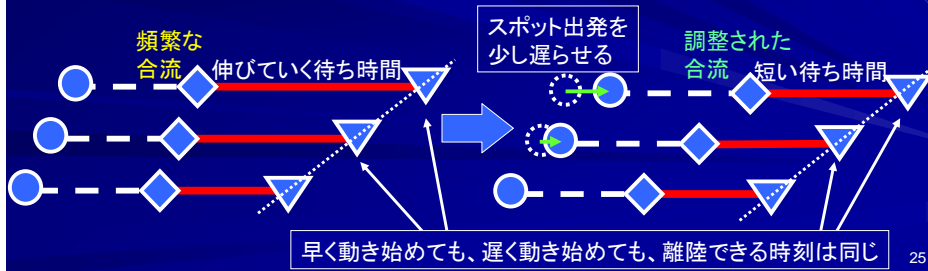
## 発表の構成

- 背景と目的
  - 空港面地上運航に関する分析
    - 交通流の概要
    - 主要な滞留箇所
    - 滞留のメカニズム
  - 空港面交通管理に関する考察
    - 分析結果から得られる交通管理の方向性
    - 海外の導入事例
  - まとめ
- 滞留 どう減らす？



# 分析から得られる交通管理の方向性

- 待ち行列の予測性： 行列が途切れなければ、前に並んだ便数と離陸間隔から離陸時刻が決まる
  - 少数の出発便が待っている状態を維持しつつ合流頻度を調整すれば、滞留の低減と離陸時刻の予測が両立可能 (混雑時に有効)
  - ⇒ 空港面交通管理の基本コンセプト(待ち行列管理)

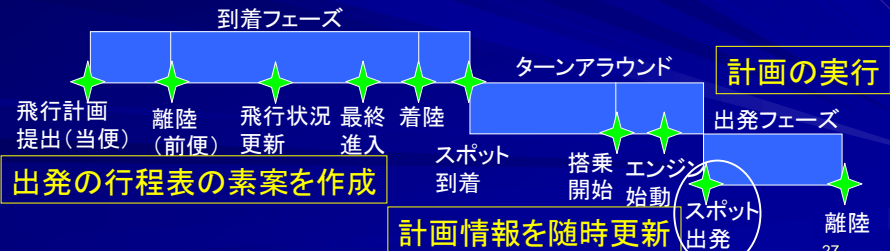


# スポット出発時刻調整の例



# 海外の導入事例：概要

- 欧州：空港CDM(協調的意思決定)
  - “Milestone Approach”
    - 航空機運航の行程表を用いた時間管理
    - 行程の節目 (Milestone)になるイベントの時刻情報 (予測値・実績値)を共有し、随時更新
    - ⇒ 実行が近づくにつれ、スケジュールの精度を向上



# Milestone Approachによる時間管理

- スポット出発予定時刻 (TOBT)を収集
- TOBT情報を元に各便の地上運航時間を計算 (VTT)
  - スポット出発前に離陸順を確定
  - 離陸予定時刻 (TTOT)を算出
- 混雑せずに各便がTTOTで離陸できるよう、スポット出発時刻 (TSAT)を割り当てる

TOBT: Target Off-Block Time  
 VTT: Variable Taxi Time  
 TTOT: Target Take-Off Time  
 TSAT: Target Start-up Approval Time

## 空港CDMと従来運用の違い

- あらかじめ設定した離陸予定時刻に応じて  
プッシュバック開始時刻を設定する
  - プッシュバック要求順の運航(first come, first served)ではない
    - TOBTの設定方法等により、便ごとの優先順位設定は可能
- Milestoneの時刻情報の共有が重要
  - 特にスポット出発予定時刻(TOBT)
- 運航状況の見通しが向上

29

## 海外の導入状況

- 欧州: 33空港による検討会
  - 「空港CDM実装マニュアル」等による仕様定義
  - 正式な方式化
    - ミュンヘン(2007年)、パリ(CDG、2010年)、ブリュッセル(2010年)、フランクフルト(2011年)
    - 航空交通流管理システム(CFMU)との接続
      - … Gate-to-Gateの時間管理の実現を目指す
- 米国
  - FAA: 空港CDM運用コンセプトを策定(2010年)
    - 欧州の方式との整合性を重視
  - MLAT応用機能として導入開始
    - アトランタ、ニューアーク、JFK等

参考: ICAO GANIS資料 <http://www2.icao.int/en/GANIS/Documents/06-Metron.ppt>

30

## 発表の構成

- 背景と目的
- 空港面地上運航に関する分析
  - 交通流の概要
  - 主要な滞留箇所
  - 滞留のメカニズム
- 空港面交通管理に関する考察
  - 分析結果から得られる交通管理の方向性
  - 海外の導入事例
- まとめ

31

## まとめ

- 空港面監視データの分析から、空港面交通流について豊富な情報が得られる
  - 空港面交通流の現状把握
  - 滞留解決策の方向性
- 地上運航における主要な滞留は...
  - 出発便の離陸滑走路の手前で生じる
  - 滑走路容量を超える頻繁な合流により生じる
  - 待ち行列モデルが適用できる
- 空港面交通管理の基本的な考え方
  - 待ち行列に対応したスポット出発時刻調整

32

## 今後の予定(現在進行中の研究)

- スポット出発時刻調整のシミュレーション検証
  - 滞留低減効果
  - 時刻調整の許容幅
    - 到着便とのスポット競合を生じない範囲について
- 井桁運用に対応した待ち行列モデル
  - 到着便の影響を含んだ離陸間隔のモデル化

33

## 開発中のシミュレータ

- 自由度の高いマップ/走行経路編集GUI
  - 羽田空港の複雑なエプロン運用を模擬
- 簡易なシナリオ定義
- 実データ/シミュレーション重畳リプレイ機能
  - 交通管理実施効果を直感的に把握可能



## 謝辞

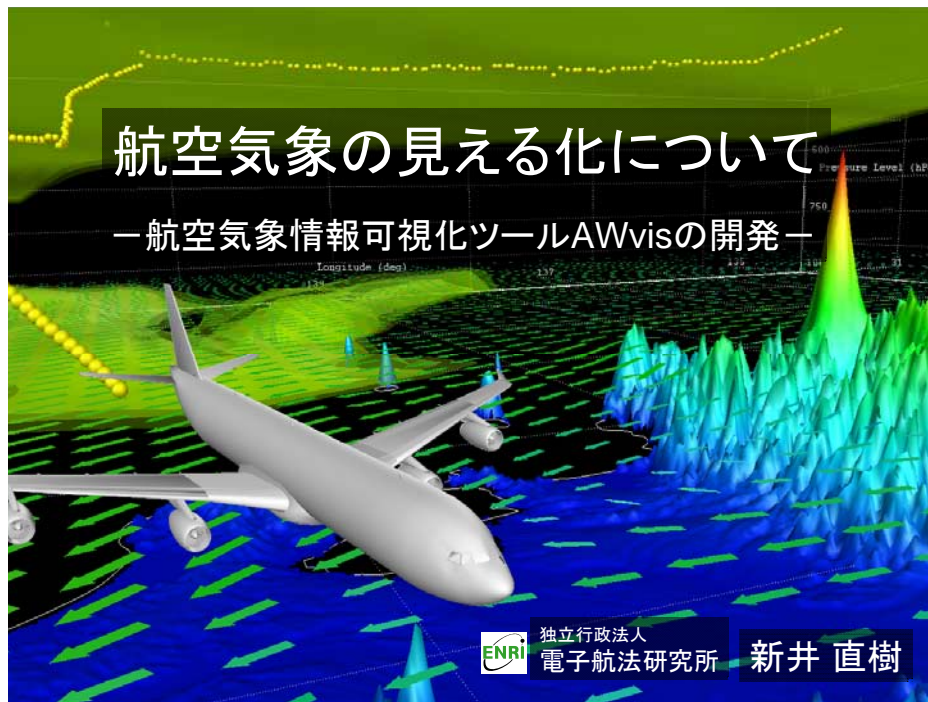
空港面監視データの使用について  
ご協力を賜りました国土交通省航空局  
の関係各位に、厚く御礼申し上げます。

35

ご清聴ありがとうございました

36





## 航空気象情報可視化ツール

- 数値予報(気象庁提供)を、3Dで直感的に分りやすく表示する
- マウス操作で、自由に視点・大きさを変えられる
- アニメーション(流線)表示ができる
- 気象と航空の情報を、同一の画面に表示できる
- ライセンスを保有し、公開・販売できる

航空気象情報可視化ツール

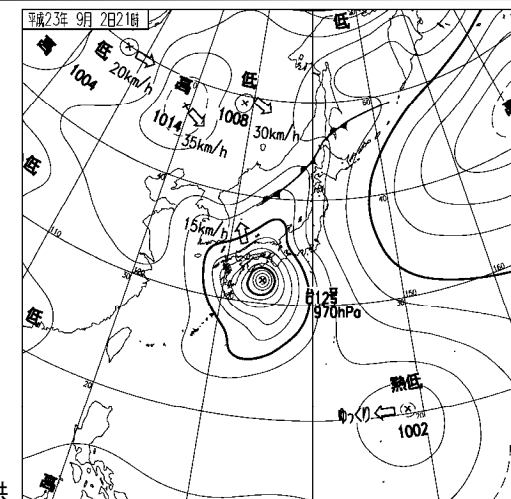
**AWvis** Aviation Weather Data Visualization Tool

## 可視化事例

- ➡ ■ 事例1. 台風
  - 2011年9月: 台風12号
- 事例2. 前線(面)
  - 2011年9月30日
- 事例3. 乱気流: 山岳波
  - 2010年12月: 鈴鹿山脈
- 事例4. 乱気流: 対流
  - 2011年1月

数値予報データ: 気象庁提供

## 気象概況 2011年9月2日 12:00UTC

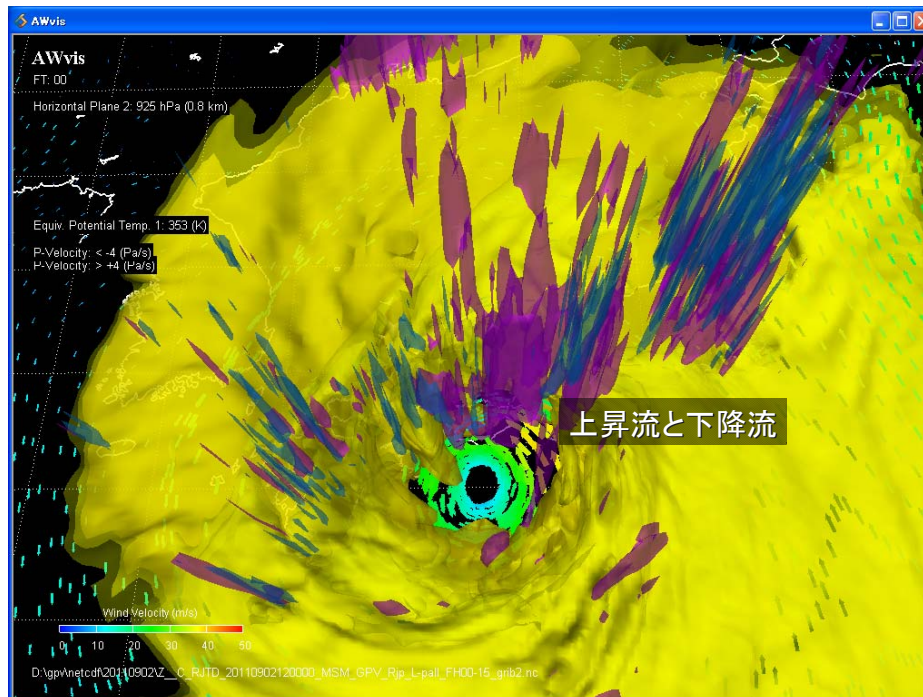
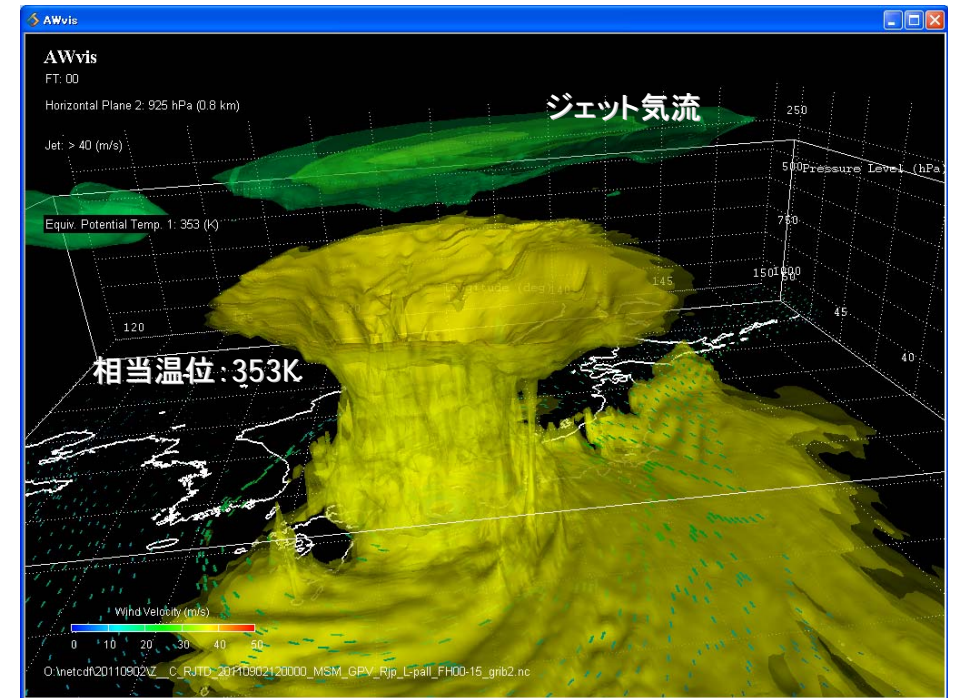


気象庁提供



## 相当温位

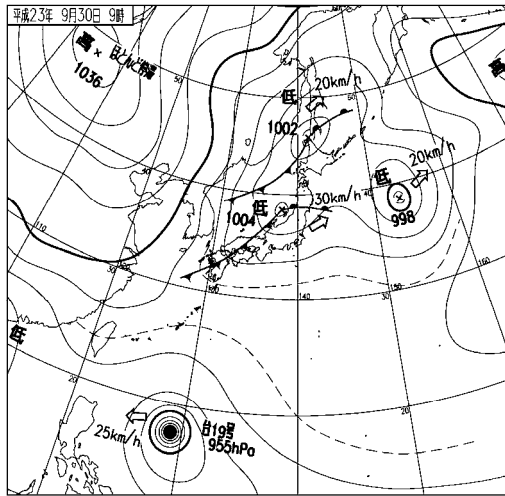
- 空気塊に含まれる水蒸気が、すべて凝結した時の温位。
  - 空気中に含まれる水蒸気の量が多いほど、気温が高いほど、相当温位の値は大きくなる。
  - 静的エネルギーの保存則から、空気塊は等相当温位面上を運動する。



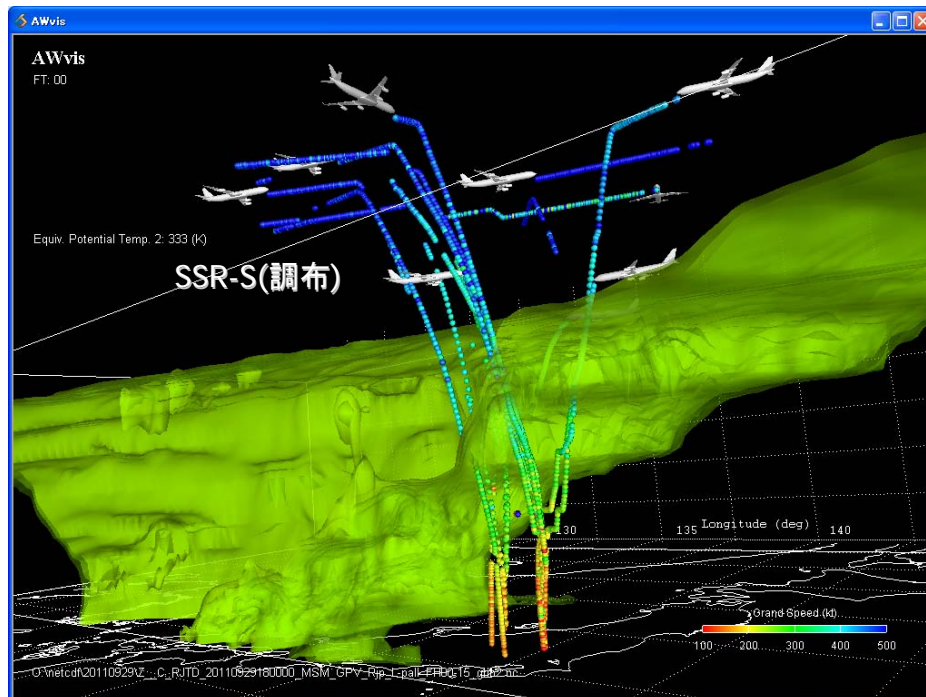
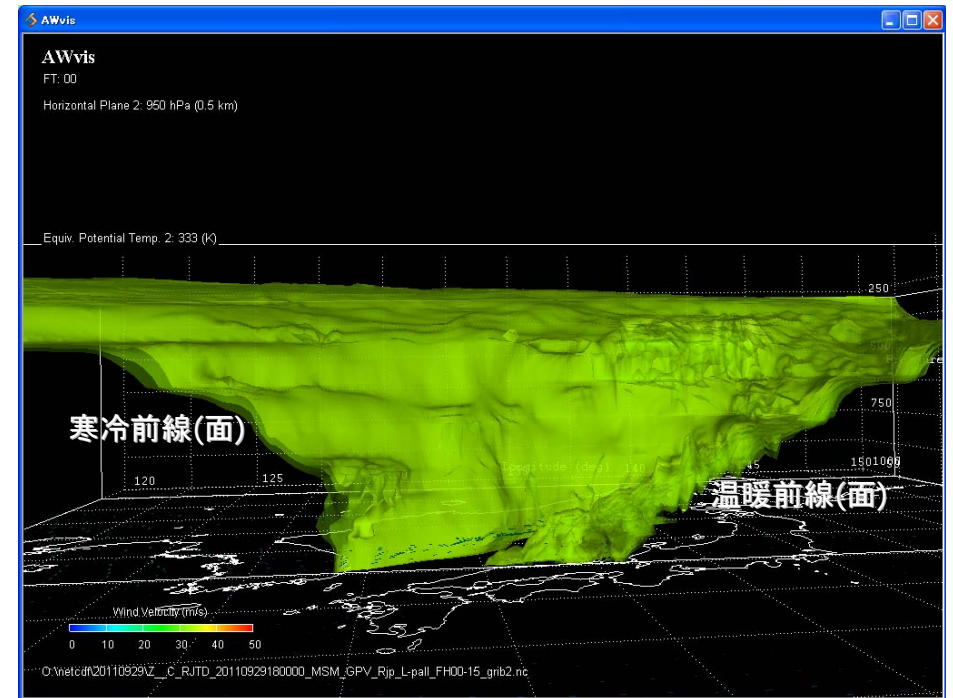
## 可視化事例

- 事例1. 台風
  - 2011年9月: 台風12号
- ➡ ■ 事例2. 前線(面)
  - 2011年9月30日
- 事例3. 乱気流: 山岳波
  - 2010年12月: 鈴鹿山脈
- 事例4. 乱気流: 対流
  - 2011年1月

# 気象概況 2011年9月30日 00:00UTC



気象庁提供

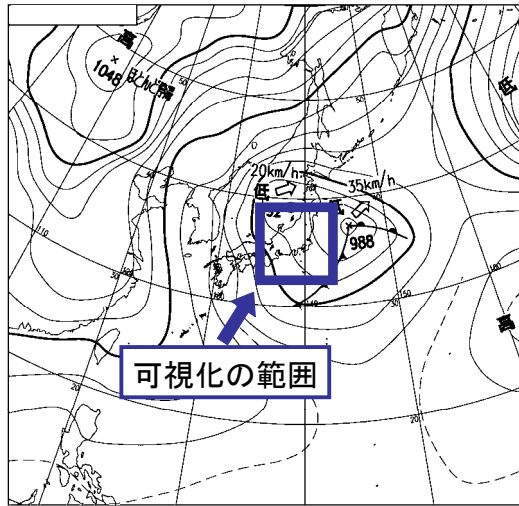


## 事例3. 乱気流: 山岳波

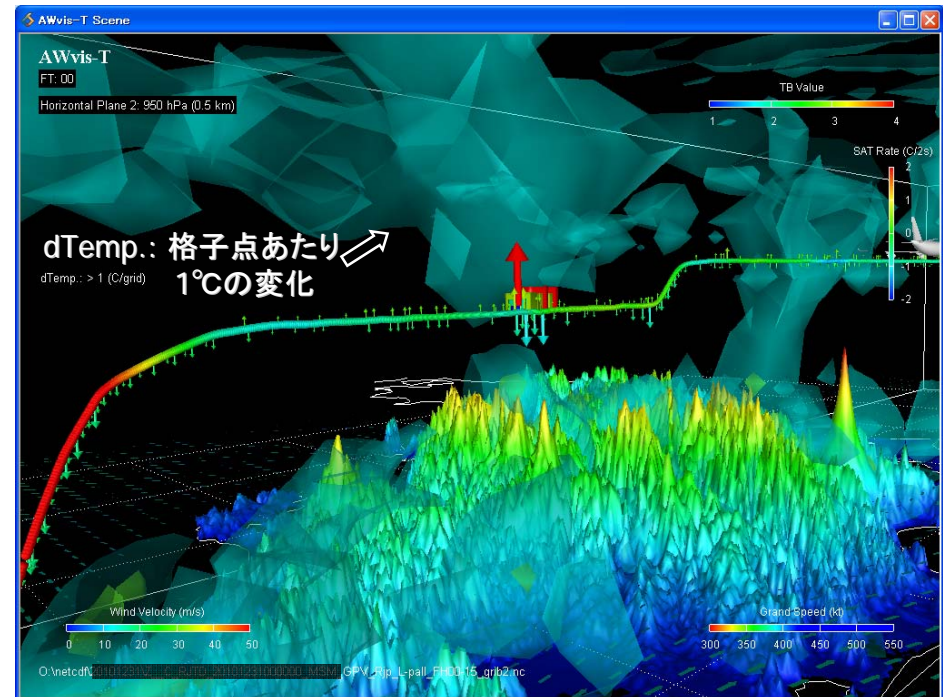
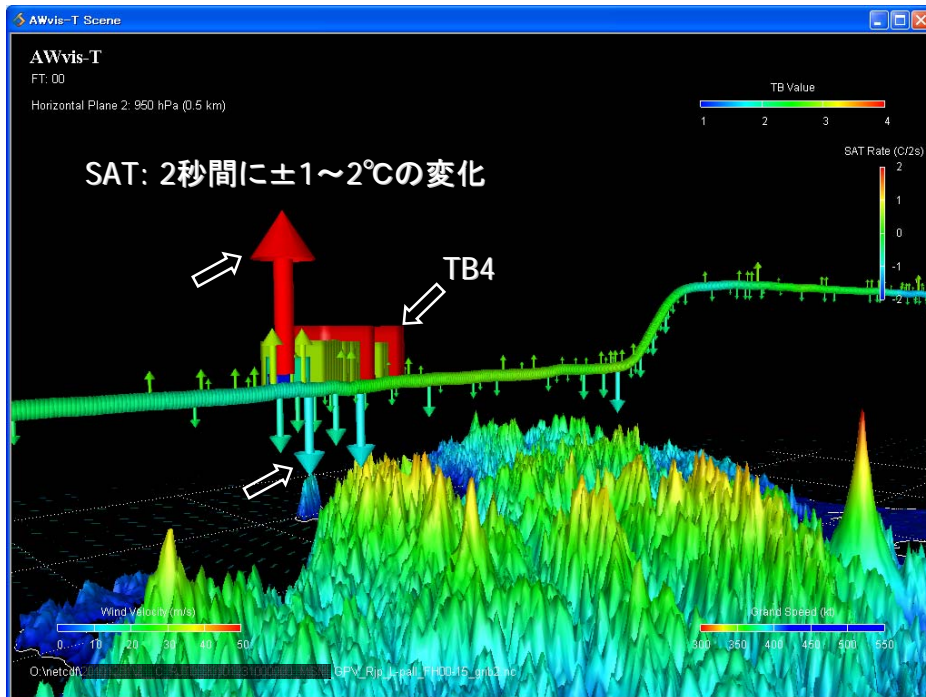
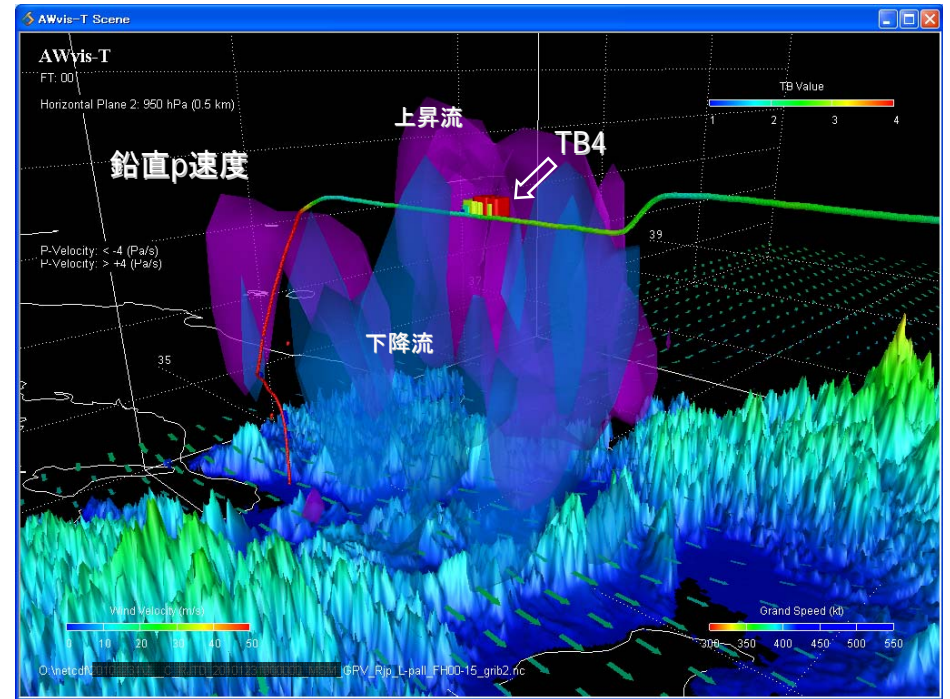
- 2010年12月
- 鈴鹿山脈上空付近
- 17,000ft
- MOD. Turb.
- 数値予報はMSMを利用



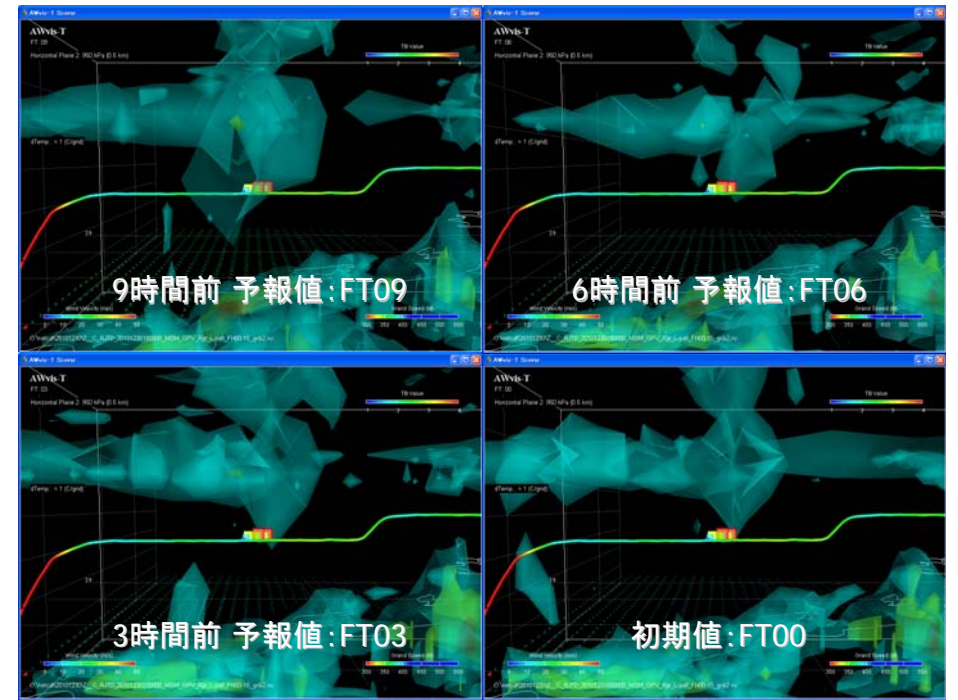
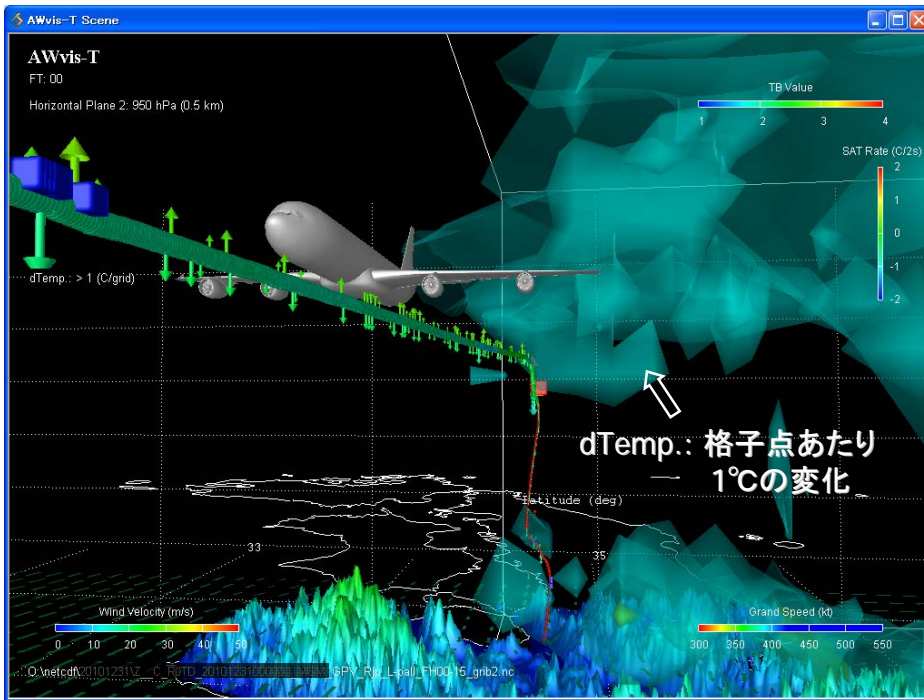
# 気象概況



AWvis-T



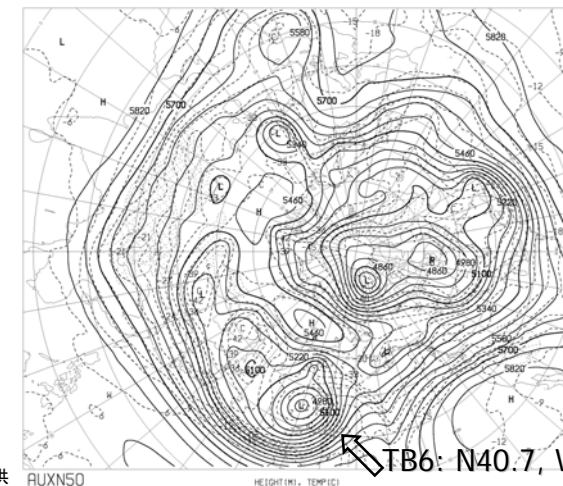




## 事例4. 乱気流: 対流

- 2011年1月
- N40.7, W174.8
- 34,000ft
- SEV. Turb.
- 数値予報はGSMを利用

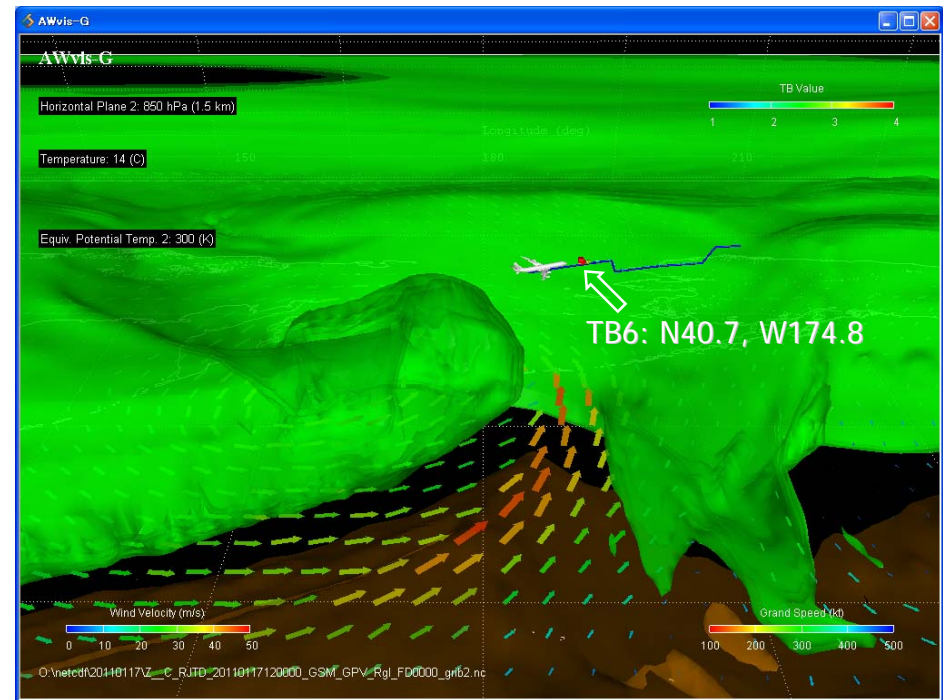
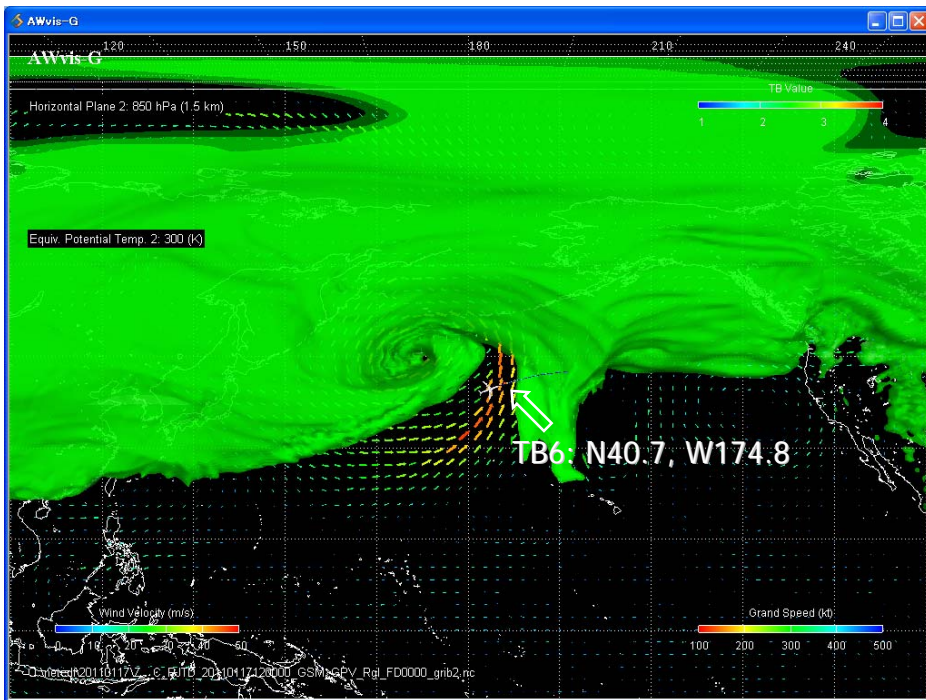
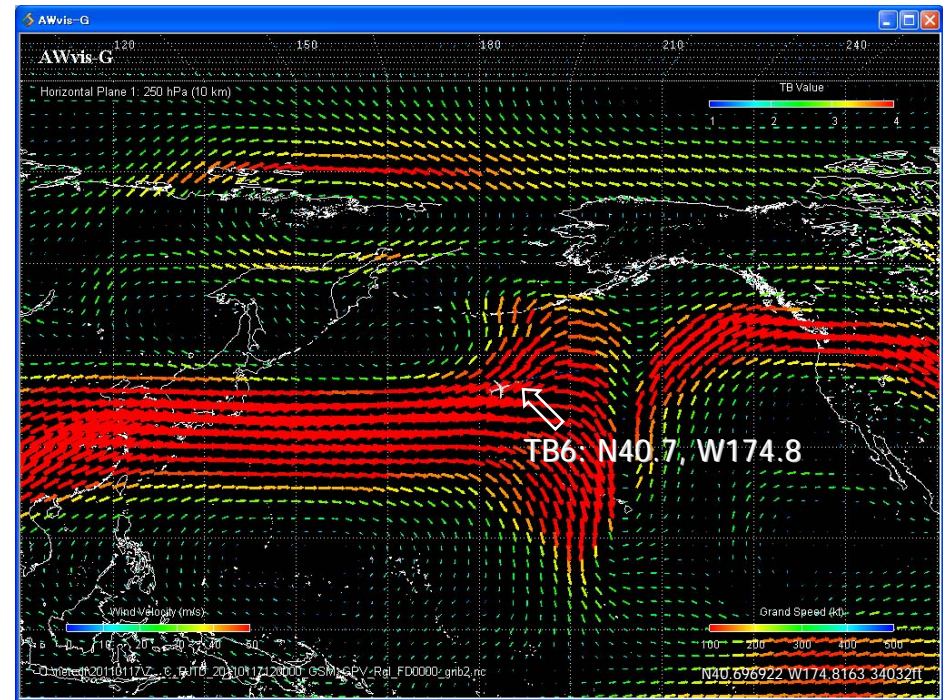
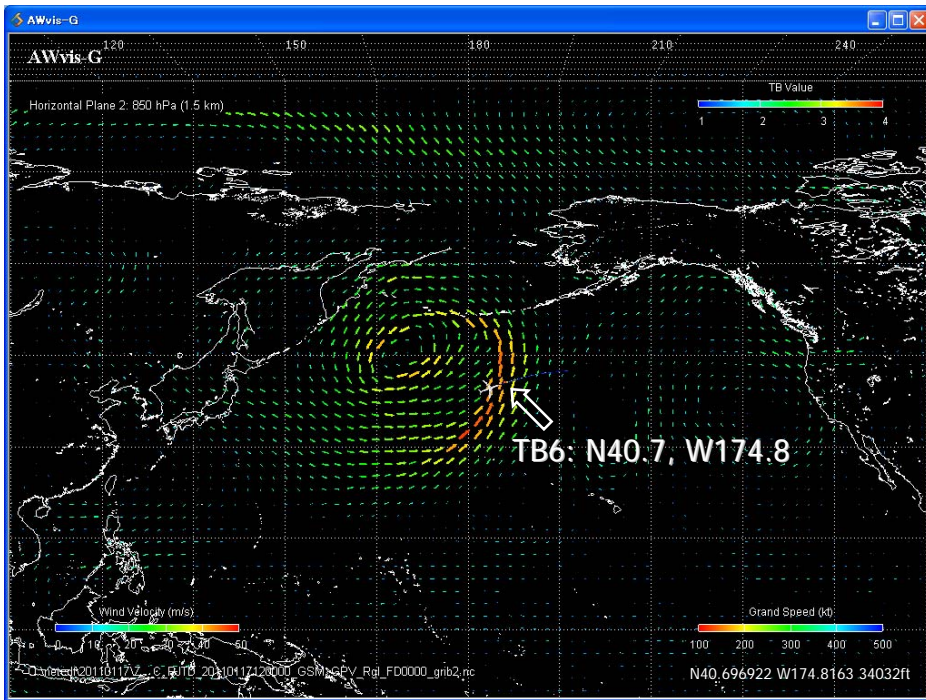
## 気象概況 2011.1



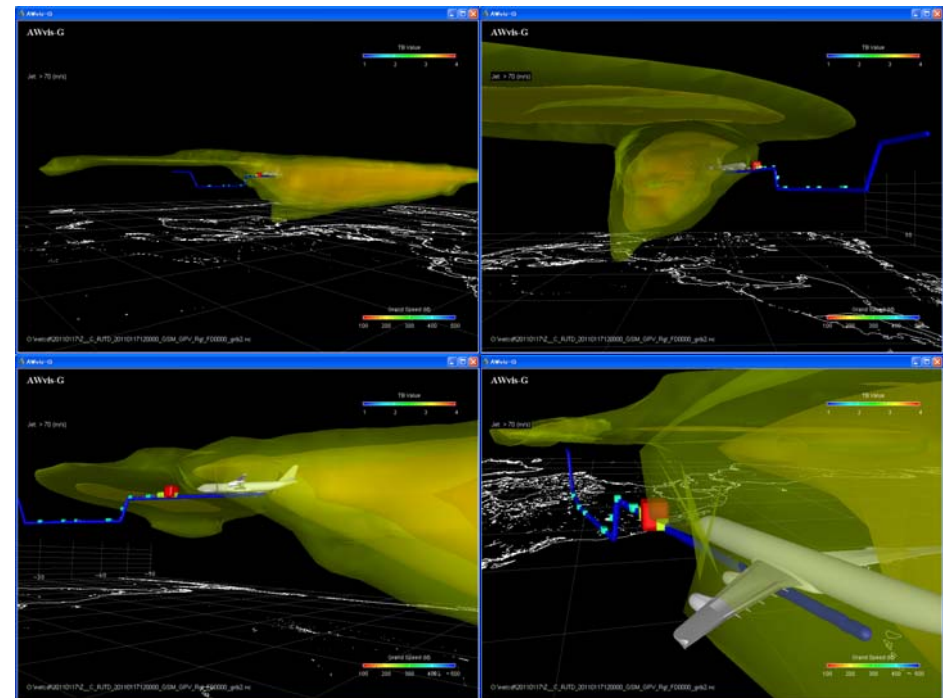
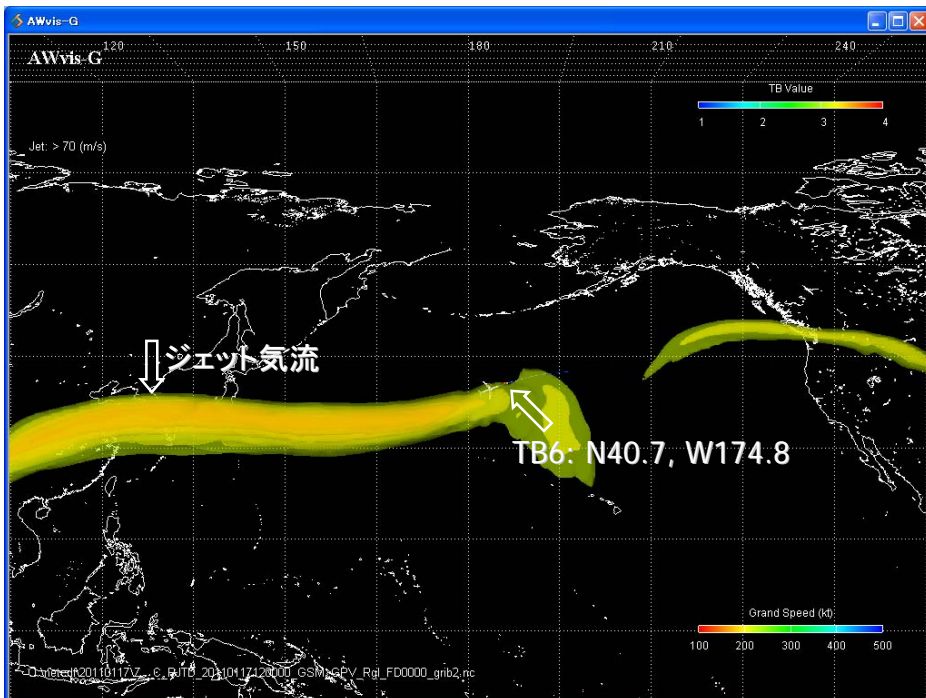
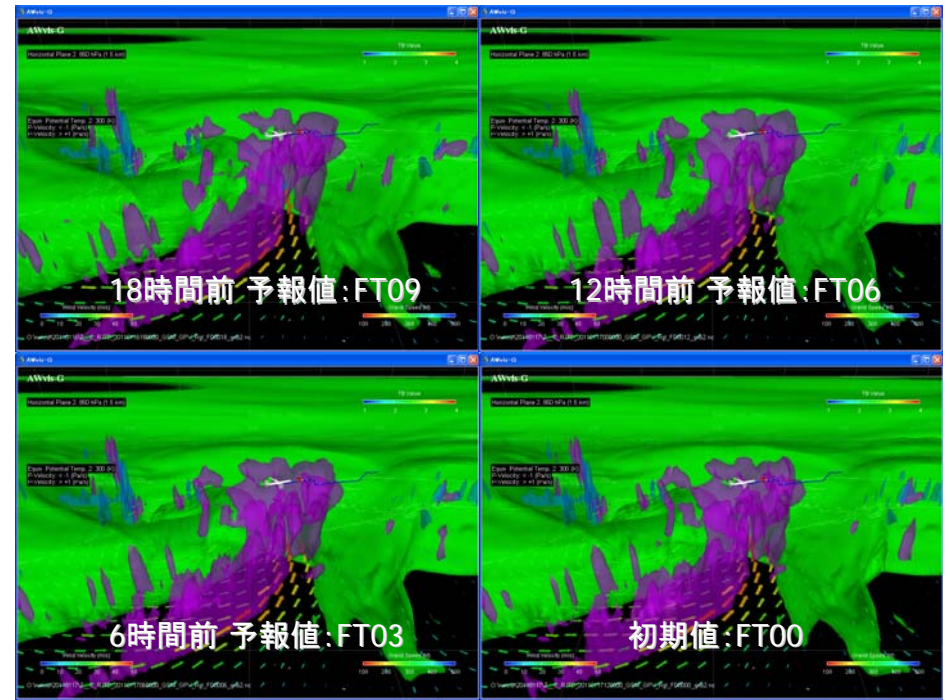
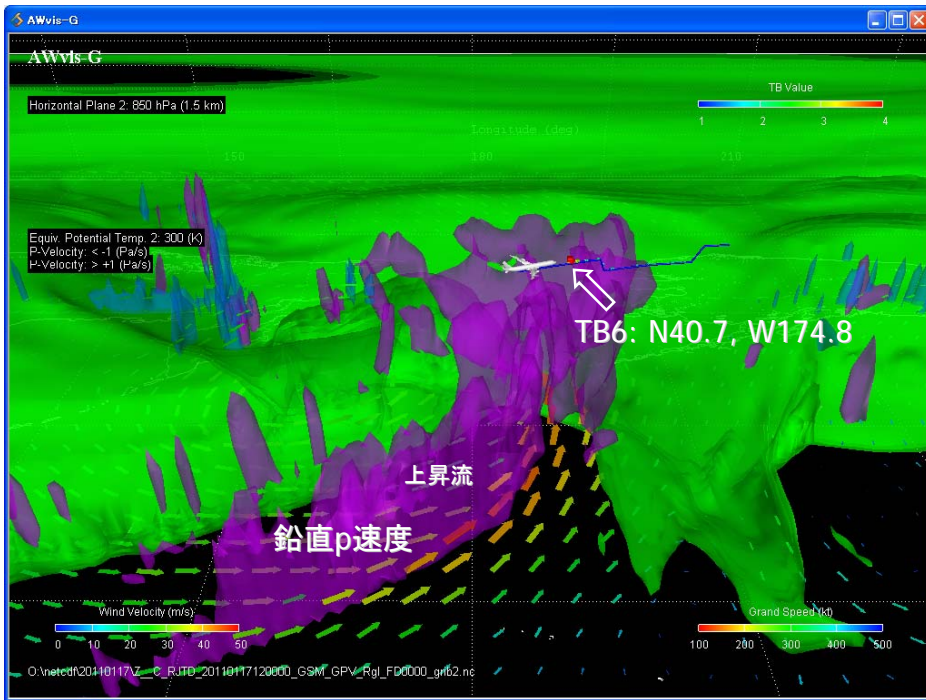
気象庁提供 AUXN50

HEIGHT(M), TEMPC(









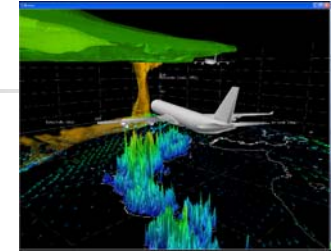
## まとめ

- 航空気象情報可視化ツールAWvisにより
  - 大気の立体構造の直感的な理解が可能
  - 気象現象と航空機との空間的な関係の把握に有効
    - 気象情報: 数値予報
    - 航空機の情報: フライトデータ、レーダデータ
- 今後の予定
  - 効果的な可視化環境を構築する
  - 乱気流等の特徴的な気象状況と航空機の情報を可視化し、両者の関係进行评估

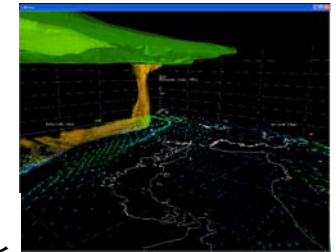
## AWvis と Wvis

- AWvis: 航空気象情報可視化ツール
  - 航空気象関係者向けに開発
- Wvis: 気象情報可視化ツール
  - 気象情報の表示に特化
  - インターネットで公開
  - 利用者からのフィードバックをAWvisの開発に活用

<http://www.enri.go.jp/~naoki>  
→ 気象の見える化



AWvis



Wvis

## 謝辞

- 日本航空機操縦士協会 航空気象委員会
- データ提供 航空会社



# 携帯電話の電波が 航空機に与える影響の評価

機上等技術領域  
米本 成人



## 講演の概要

- 背景, 調査の目的, 内容
- 航空機航法装置に与える影響の評価手法
- 携帯電話電波の影響評価
- 結論



平成23年11月21日

電子航法研究所講演会

2

## 航空機における電磁両立性研究

航空機は様々な無線設備の電波を使用



航空機搭載機器に対する電磁干渉の懸念



真に危険なものは何かを明らかにする。

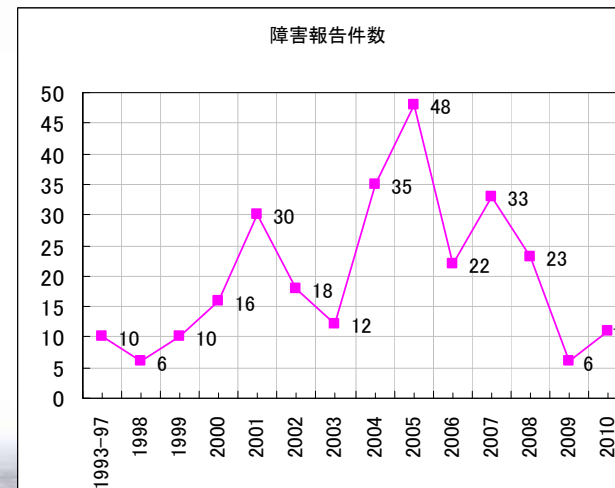


平成23年11月21日

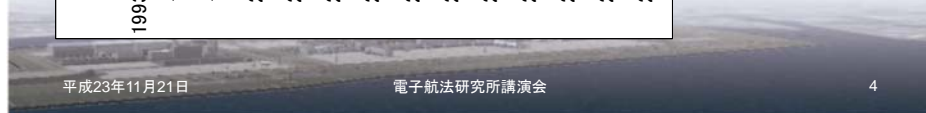
電子航法研究所講演会

3

## 航空機内の電磁干渉事例報告



- 飛行時間  
約数万時間  
に1回  
発生



平成23年11月21日

電子航法研究所講演会

4

## 調査の目的

- 航空機搭載機器への電磁干渉が懸念
- 改正航空法:平成16年施行
- 携帯電話等を正当な理由なく動作させる行為  
→規制
- 国際的には電波を発する電子機器(T-PED)を使用  
(携帯電話, 無線LAN等)  
→許容するための技術指針を策定

地上停止中の航空機で携帯電話を  
使用した場合の影響は？

## 航空機搭載機器における電磁干渉対策

- 航空無線技術協会(RTCA)では航空機搭載機器に関する様々な技術基準を作成
- RTCAの文書160(DO-160, JISW0812)に記載の環境試験に適合することが必要
- DO-160では電波以外にも, 温度, 湿度, 衝撃などあらゆる環境試験を記載



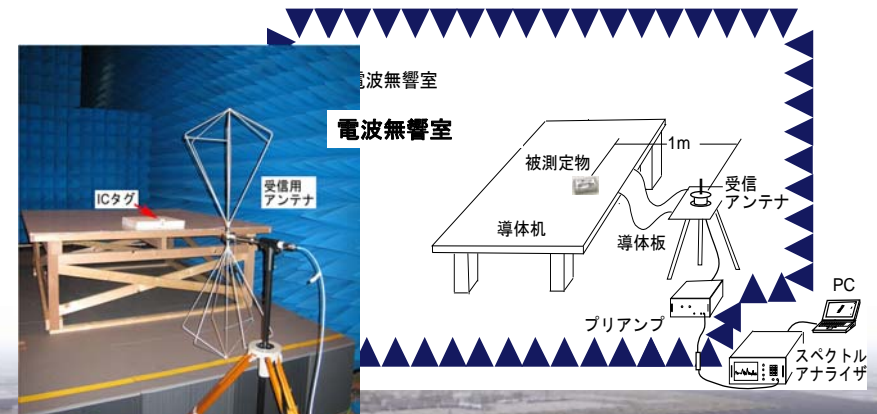
型式認証段階で問題を回避

## RTCA DO-160の電波関連規定

- 電磁波感受性試験(第20節, Sec.20)  
搭載機器が**耐えうる電波の強さ**を規定
  - ・誘導試験(ケーブルを介した干渉)
  - ・放射電界試験(放射電界による干渉:Cat.T)
- 電磁放射試験(第21節, Sec.21)  
搭載機器が**出してもよい電波の強さ**を規定
  - ・誘導試験
  - ・放射電界試験(Cat.M)

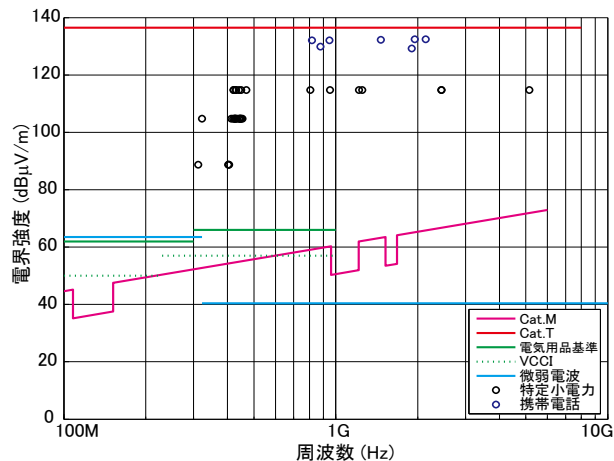
## 放射電界測定法

- RTCA DO-160 Sec. 21



測定周波数範囲: 100MHz~6GHz

## DO-160Fに記載の電磁放射基準



- Cat.TとCat.Mでは60dB以上の余裕

## 乗客が持ち込む電子機器の電磁干渉対策

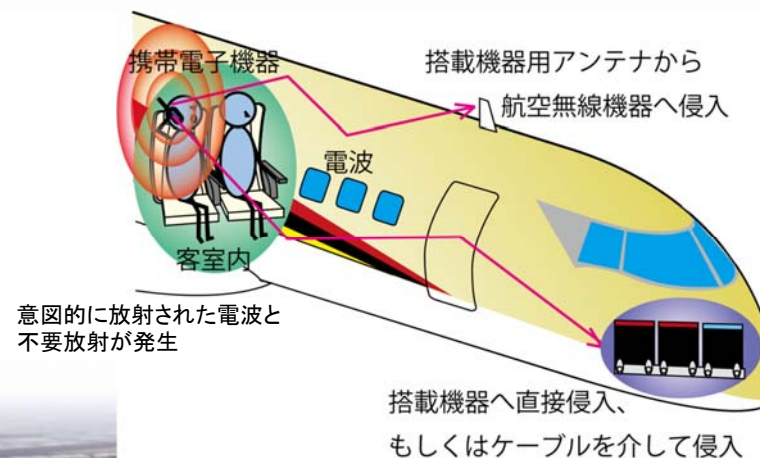
- 1990年代後半には専用の技術指針が無かった。
  - よって、航空機搭載機器と同じ基準を準用した。(RTCA DO-160 Sec.21 Cat.M)
  - 民生用の電磁放射基準ではCat.Mより高いところがある。→ **別途安全性を証明する必要性**
- 参考:一部の医療機器メーカー等ではCat.Mを満たすよう製作されているものもある。

## 電波を発する機器の使用を許容する基準

- 米国航空無線技術協会 (RTCA) で策定
  - 航空機1機種とT-PED1機種 DO-294
  - あらゆるT-PEDを許容する場合 DO-307

試験をクリアした航空機1機種に対して認証  
→DO-307に適合した航空機はまだ無い

## 電磁干渉発生のメカニズム





## 電磁干渉の影響を検討すべき事項

電波の形態	結合経路	過去の研究の結論
意図的に放射された電波 (有用な信号)	無線用アンテナを介した結合(IRA)	干渉の可能性なし
	機器筐体への直接結合(IRU)	検討する必要あり
	機器入力と配線に対する結合(IRC)	検討する必要あり
意図せず放射された電波 (不要放射)	無線用アンテナを介した結合(NIRA)	検討する必要あり
	機器筐体への直接結合(NIRU)	干渉の可能性なし
	機器入力と配線に対する結合(NIRC)	干渉の可能性なし
伝導不要放射(接続線上の不要放射)	機器入力との結合(CEI)	搭載機器の認証の過程で検討済み
	混信(CCT)	搭載機器の認証の過程で検討済み

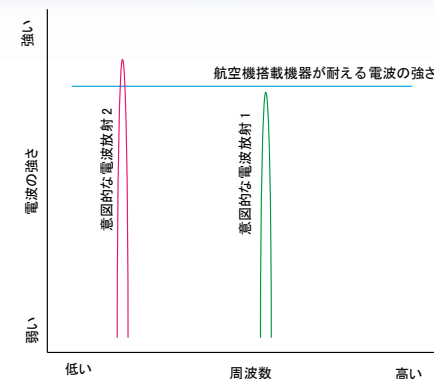
## 地上停止中の航空機への影響調査

- 専用の判断基準がない  
→先ほどの基準を準用
- 電磁干渉の起こりうる可能性を携帯電話の仕様から
  - 理論計算
  - 代表的な航空機に対する実測定
 によって可能性を見積もる

## 携帯電話の電波放射規格の上限

- 意図的な放射
  - 第2世代 800mW (29dBm),
  - 第3世代 250mW (24dBm)
- 不要放射
  - 第2世代 -36dBm,
  - 第3世代 -30dBm

## 意図的な放射の影響評価



- 通信用電波の強さが搭載機器が耐える電波の強さを超える可能性を評価

## 携帯電話と必要離隔距離

搭載電子機器が耐える電波の強さ(134dB $\mu$ V/m)を超えないように必要となる離隔距離

第2世代 0.98m、第3世代 0.55m

通常の運航中に重要な機器に近づく可能性

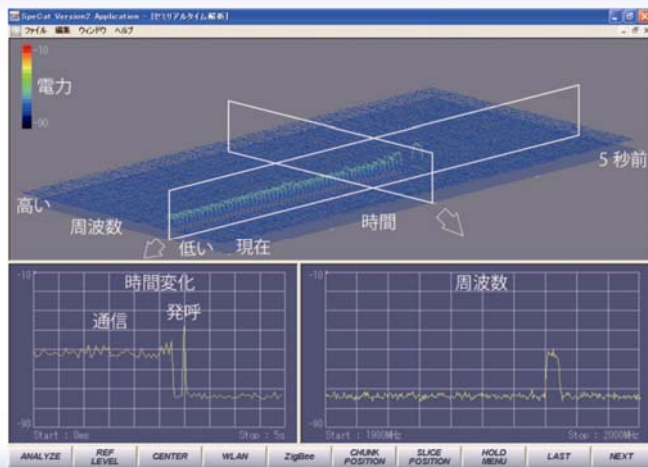
→ほとんど0に近い

1個の携帯電話で電磁干渉が起こる可能性は無い

## 複数機器の影響

- 複数の機器から電波が放射される
  - 1個の機器よりも電波が強くなる可能性
  - 強くなる度合いを**複数装置係数**で評価
- 複数装置係数の特徴
  - 使われる機器の台数 → 大きい
  - 強い電波が出る時間が短い → 小さい

## 携帯電話の電波放射例



強い電波が出るのは50msec以下

→複数装置係数は小さい

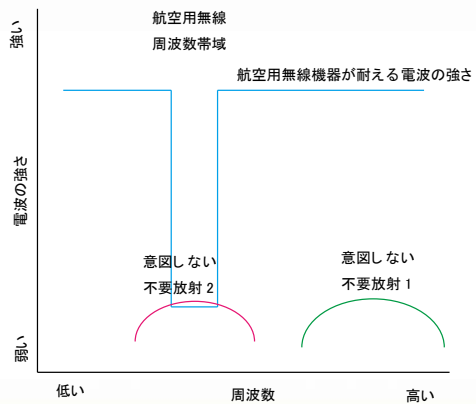
→電話機一個の影響と同等

## 意図的に出る電波の影響

- 機器単体では
  - 搭載電子機器が耐える電波の強さを超えるくらいに近づく可能性はない
- 複数機器では
  - 複数機器係数は小さく、機器単体の影響と同等

結論:通常の運航時には携帯電話から意図的に出る電波の影響はない

## 不要放射の影響評価



- 不要放射が航空用帯域に侵入する可能性を評価

## 不要放射の影響評価

- 搭載無線機への侵入量  
= 携帯電話からの最悪の不要放射強度  
- 干渉経路損失  
これが、航空用無線機器の受信感度より高くなるか？

干渉経路損失：  
航空機の客室内で放射された電波が搭載無線機へ侵入するまでに減衰する量  
→ 代表的な航空機で干渉経路損失を測定

## 干渉経路損失測定の方法



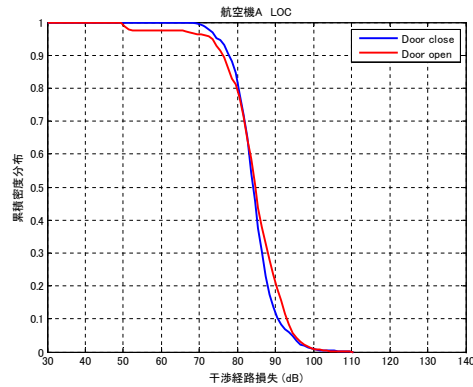
## 測定した航空機



- 代表的な航空機6機種について実測



## 干渉経路損失の分布



- 中央(50%)値と最悪値を見れば傾向が分かる

## 各航空機の干渉経路損失

無線機	干渉経路損失最悪値	航空機	DO-307
	dB		目標干渉経路損失
			dB
LOC	65.60	B	44
VOR	67.16	A	48
VHF	50.39	A	37
GS	57.55	C	46
DME	60.96	A	43
ATC	51.35	A	38
TCAS	57.87	A	43
GPS	63.21 (0.14%が不足)	A	65

- おおむねDO-307の目標干渉経路損失より大きな値

## 搭載無線機が耐える干渉波レベル

無線機	受信機帯域	チャンネル外 許容スプリアス	受信機感度から 推定される有害 干渉波レベル	ノイズ干渉波電力
	kHz	dBm	dBm	
LOC	6	-26	-92	-105
VOR	6	-13	-100	-109
VHF	6	-33	-99	-114
GS	2	-16	-93	-104
DME	450	-40	-89	-99
ATC	6000	-9	-82	-94
TCAS	10000	-9	-80	-93
GPS	20000	-10	-134	-110

- 最大のスプリアス-30dBmが受信機許容レベルを超えるか評価

## 不要放射の影響

- 受信チャンネル外では規格上の最悪のスプリアスであっても電磁干渉の可能性は無い
- 受信チャンネル内では  
→VHF 5機種、VOR 1機種、ATC 1機種、GPS 2機種で受信機に侵入する可能性がある。

→これらの事象は通常使用では起こり得ない条件

結論：電波法に則った携帯電話を地上で使用する場合電磁干渉の可能性はほとんど0と言ってよい。

## 結論

- 地上停止中の航空機内で携帯電話を使用した場合の搭載電子機器に対する影響を評価
- 携帯電話電波の影響を意図的な放射と不要放射とに分けて分析
- 通常の運航形態では意図的に放射する強い電波による電磁干渉の影響はない。
- 意図しない不要放射は最悪の条件が重なれば受信機に侵入する可能性は残されるが、その確率はほとんど0と言ってよい。

## 注意すべきリスク

- 意図的な電波放射の高調波
  - 使用する周波数の整数倍が航空用無線帯域（トランシーバー、ラジコン、ワイヤレスマイク等）
- 故障した無線機
  - 使用する周波数が航空用無線帯域に隣接（業務用無線、アマチュア無線、RFID、特定小電力無線等）
- 意図的な妨害

## 今後の予定

- 今回得られたデータをさらに詳細に分析し、スプリアスの上限値が携帯電話よりも高い新しい電子機器の影響を検討する。
- GPS等の受信機に電波が混入した場合の振る舞い、電磁障害の程度を分析

## 謝辞

- この調査は国土交通省航空局監理部航空安全推進課の依頼により実施されました。
- 航空機の測定は、定期航空協会、各航空会社の協力のもと実施されました。
- ご協力頂きました関係各位に深く御礼申し上げます。

ご清聴ありがとうございました。



独立行政法人  
**電子航法研究所**  
Electronic Navigation Research Institute

[www.enri.go.jp](http://www.enri.go.jp)