

# 空の道のインテリジェント化

-その動向と交通工学研究の役割-

新道路研究会

平成27年10月16日

東京工業大学大学院総合理工学研究科

教授 屋井鉄雄

# 未来の高速道路の上下線

トータルリコール2012 Webより

(公開用のため画像は削除)

室温超伝導の世界でも事故は起こる  
地上の生活世界(通常の車)もある

# 生活感を感じられない？ 科学者達の世界

トモローランド2015 Webより

(公開用のため画像は削除)

車は空を自在に飛ぶ。どうやら世界  
そのものが実験場らしい。  
重力も操る？ 逆さの緑地

# 近い将来の飛行機

窓は無いが有機ELパネルを側面すべてに設置

(公開用のため画像は削除)

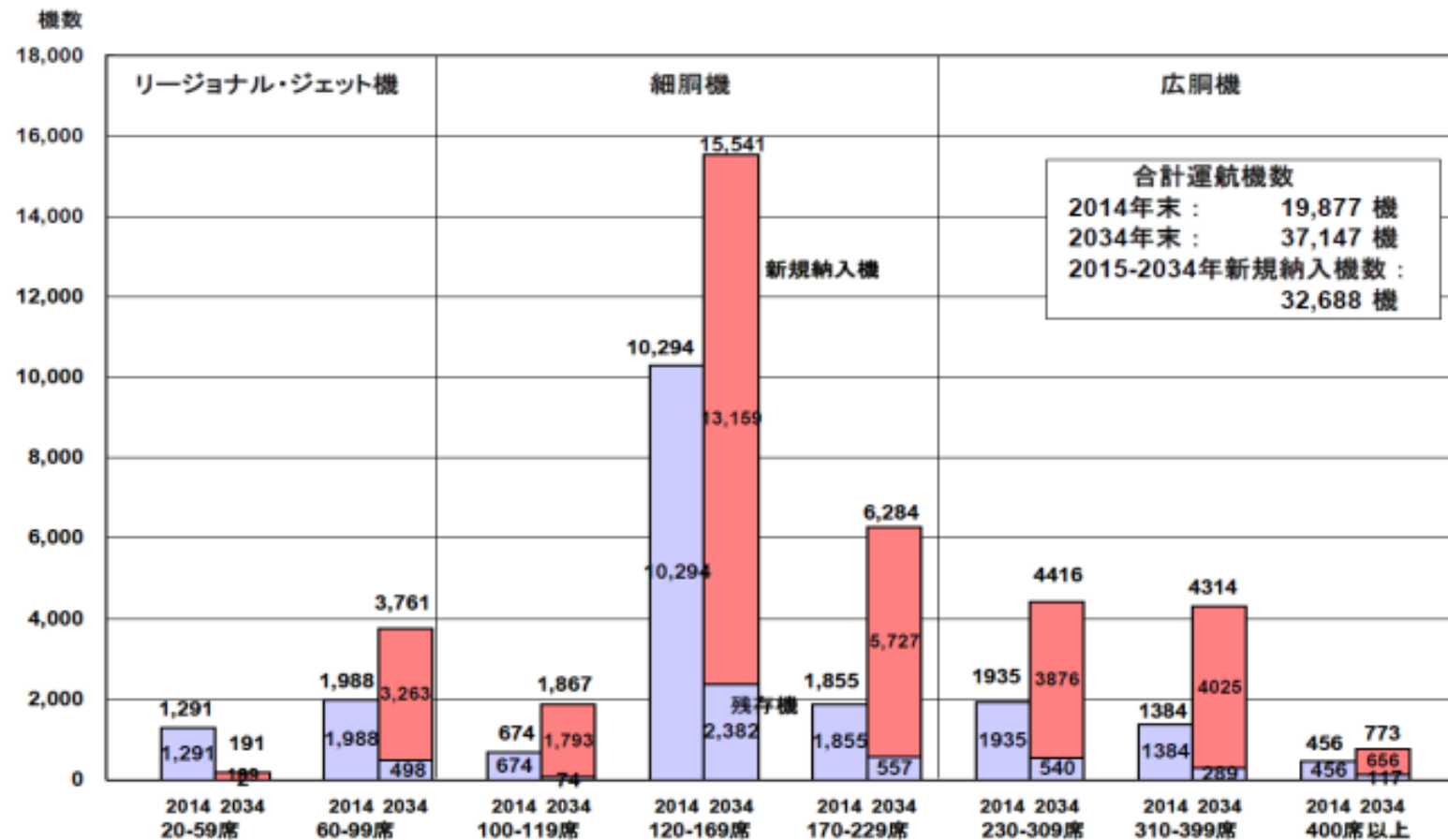
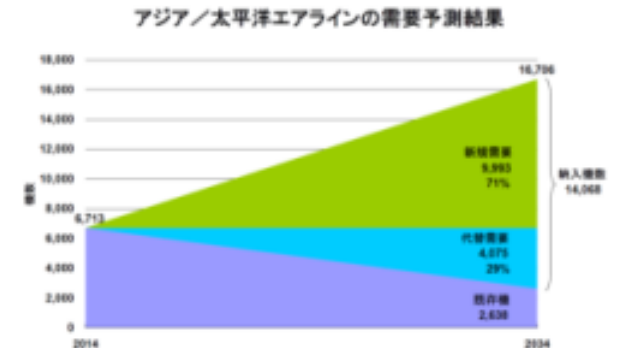
窓を無くして軽量化が可能  
というコンセプト提案(webより)

# 本日の発表内容

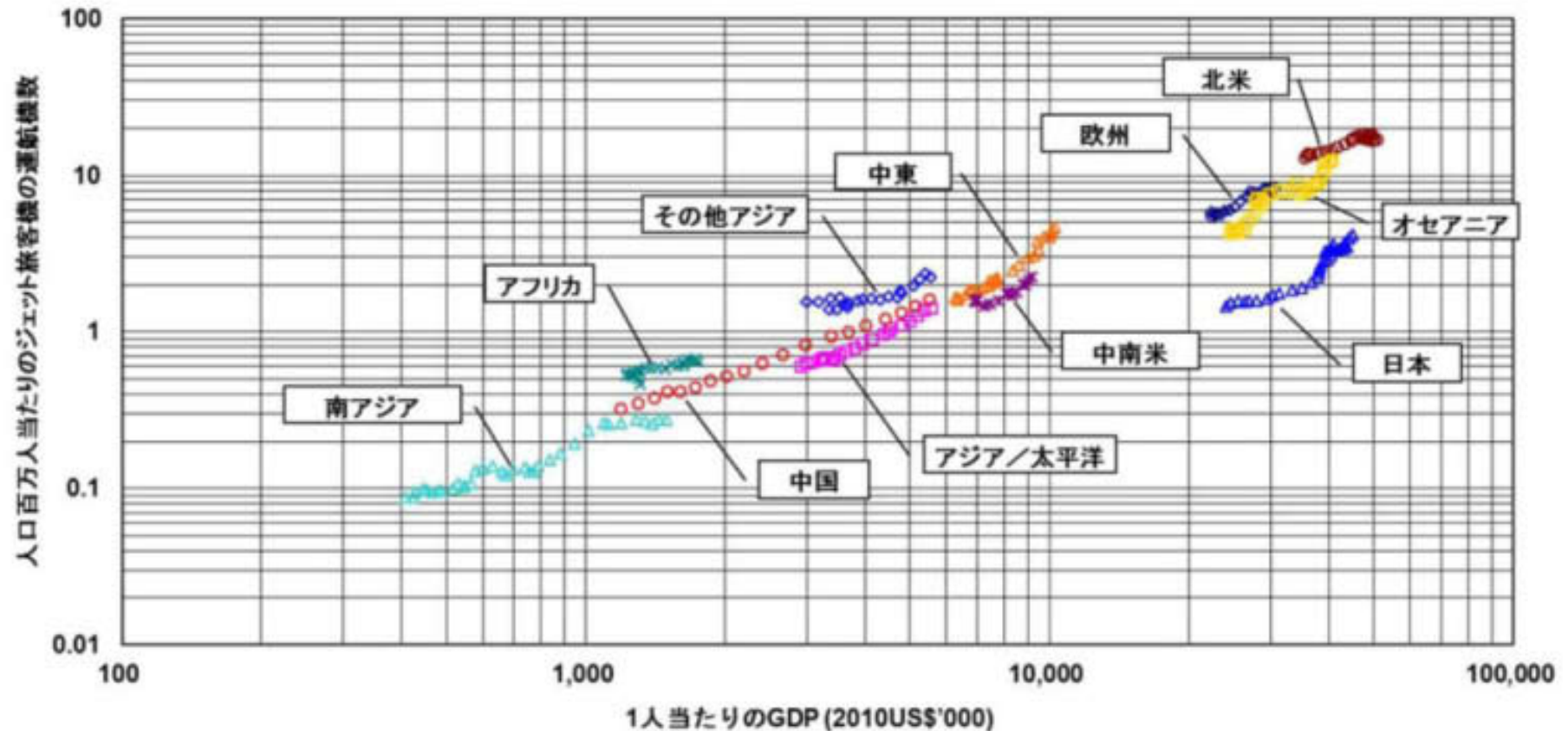
- 航空機市場の動向
- 我が国の航空交通システム構築  
    に関わる将来計画
- 各国の航空交通円滑化の取組み  
    -遅れ対策、容量増加、環境、効率化等-
- 航空交通データの公開とデータ利用環境  
    に関わる状況
- データ活用で徐々に進む分析  
    -今後の工学・計画上の研究進展に期待-
- 今後の期待

# 航空機市場の動向

# ジェット機サイズ別の就航機数 現在と将来



# 人口百万人当たりのジェット旅客機の推移



運行中のジェット旅客機のみ。  
アジア/太平洋は、中国、日本、南アジア、その他アジアおよびオセアニアを含む。  
出所: Ascend, UN



# 航空機の燃費改善と低騒音化の推移

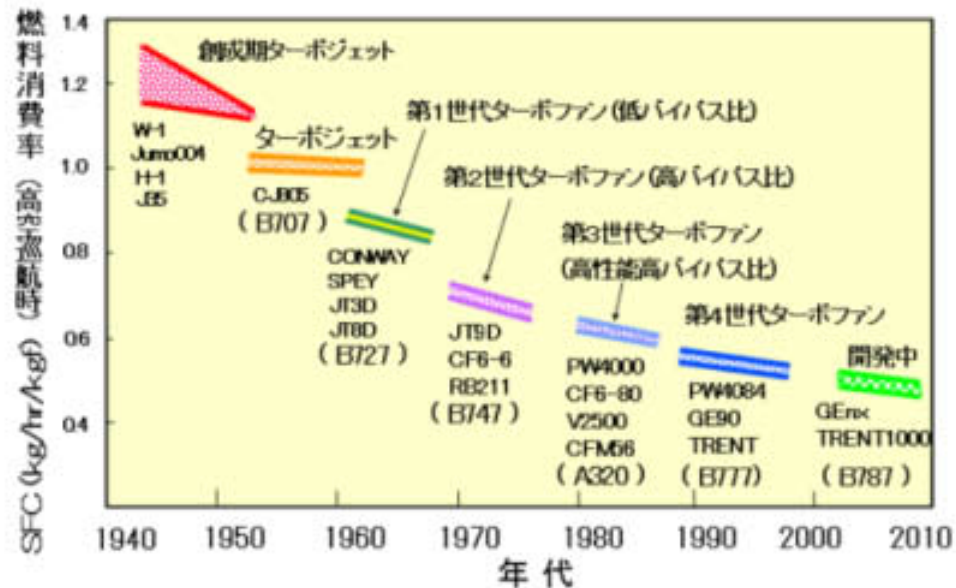


図 3.1-1 燃料消費率低減のトレンド

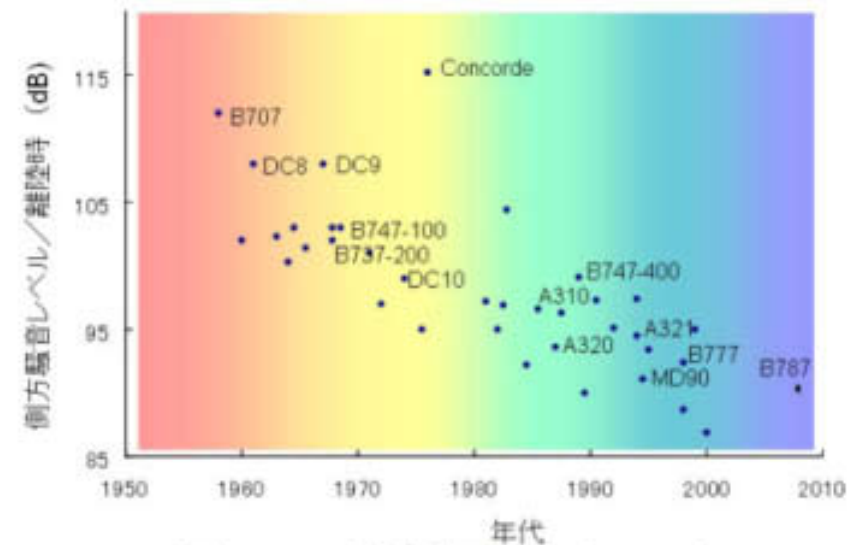


図 3.4-1 低騒音化のトレンド

近年の民間航空機用エンジン開発の動向について、(財)航空機国際共同開発促進基金

# 我が国の航空交通システム構築に 関わる将来計画

# CARATS 将来の航空交通システム 長期ビジョン

- 2010年：「将来の航空交通システムに関する長期ビジョン(CARATS)」の策定

CARATS: Collaborative Actions for Renovation of Air Traffic Services

- 2011年：ロードマップの作成
- 2011年以降：施策の実施



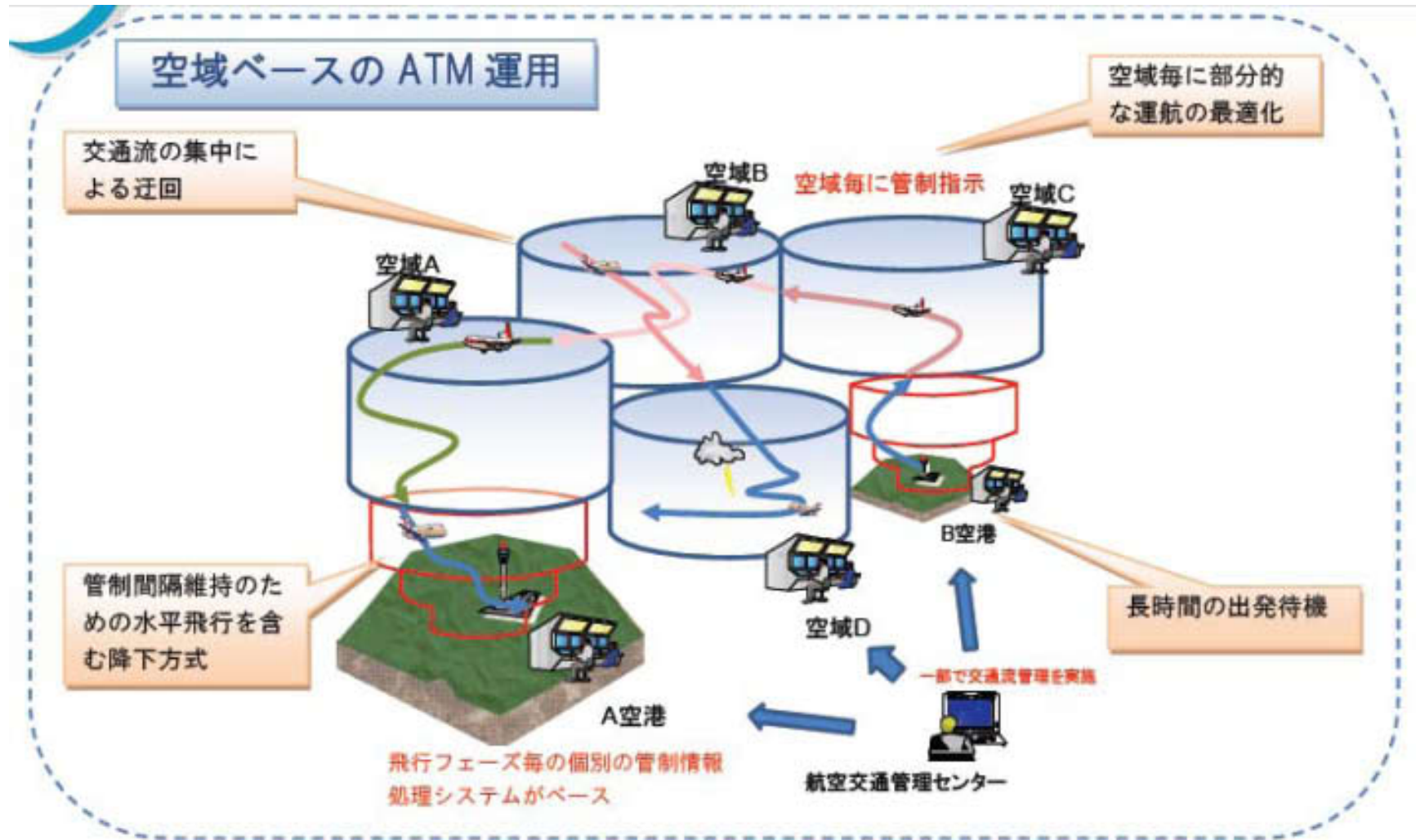
|              | 2009年度<br>(H21年度) | 2010年度<br>(H22年度) | 実施フェーズ<br>(2011～2025年度) |
|--------------|-------------------|-------------------|-------------------------|
| 長期ビジョン       | 検討                | 策定                |                         |
| ロードマップ<br>指標 |                   | 作成                | 適宜修正 →                  |
| 短期的な施策       |                   | ■ ■ ■             | 実施 →                    |
| 長期的な施策       |                   | ■ ■ ■             | 研究・開発 → 実施 →            |



国土交通省航空局

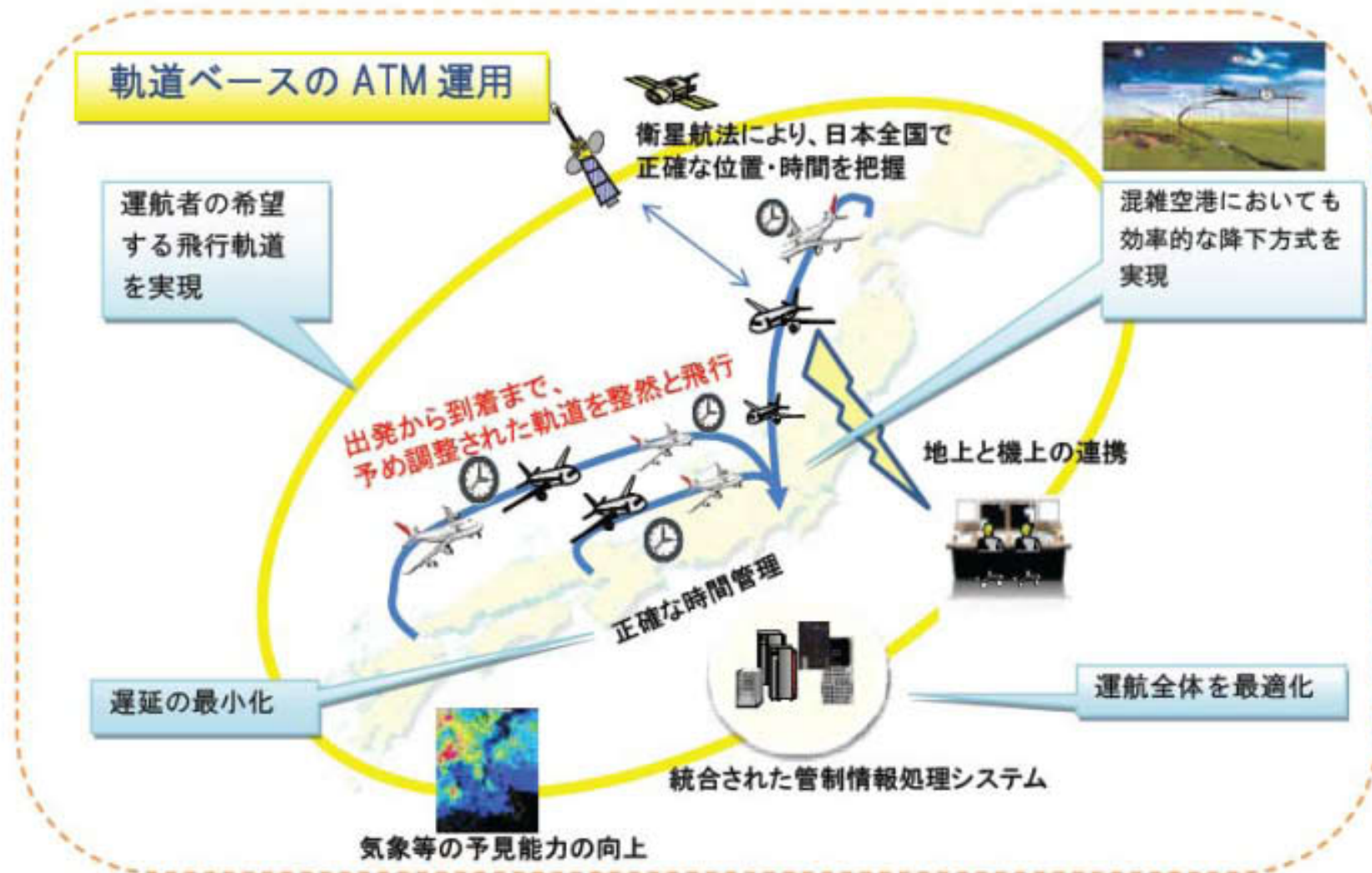
| 項 目                    | 数値目標                               |
|------------------------|------------------------------------|
| 安全性の向上                 | 安全性を5倍に向上                          |
| 航空交通量増大への対応            | 混雑空域における管制の処理容量を2倍に向上              |
| 利便性の向上                 | サービスレベル(定時性、就航率及び速達性)を10%向上        |
| 運航の効率性の向上              | 1フライト当たりの燃料消費量を10%削減               |
| 航空保安業務の効率性の向上          | 航空保安業務の効率性を50%以上向上                 |
| 環境への配慮                 | 1フライト当たりのCO <sub>2</sub> 排出量を10%削減 |
| 航空分野における我が国の国際プレゼンスの向上 | (国際会議の開催、国際協力の案件等で評価)              |

# 空域ベースのATM運用



(将来の航空交通システムに関する長期ビジョン(案)(2010.2)より)

# 軌道ベースのATM運用



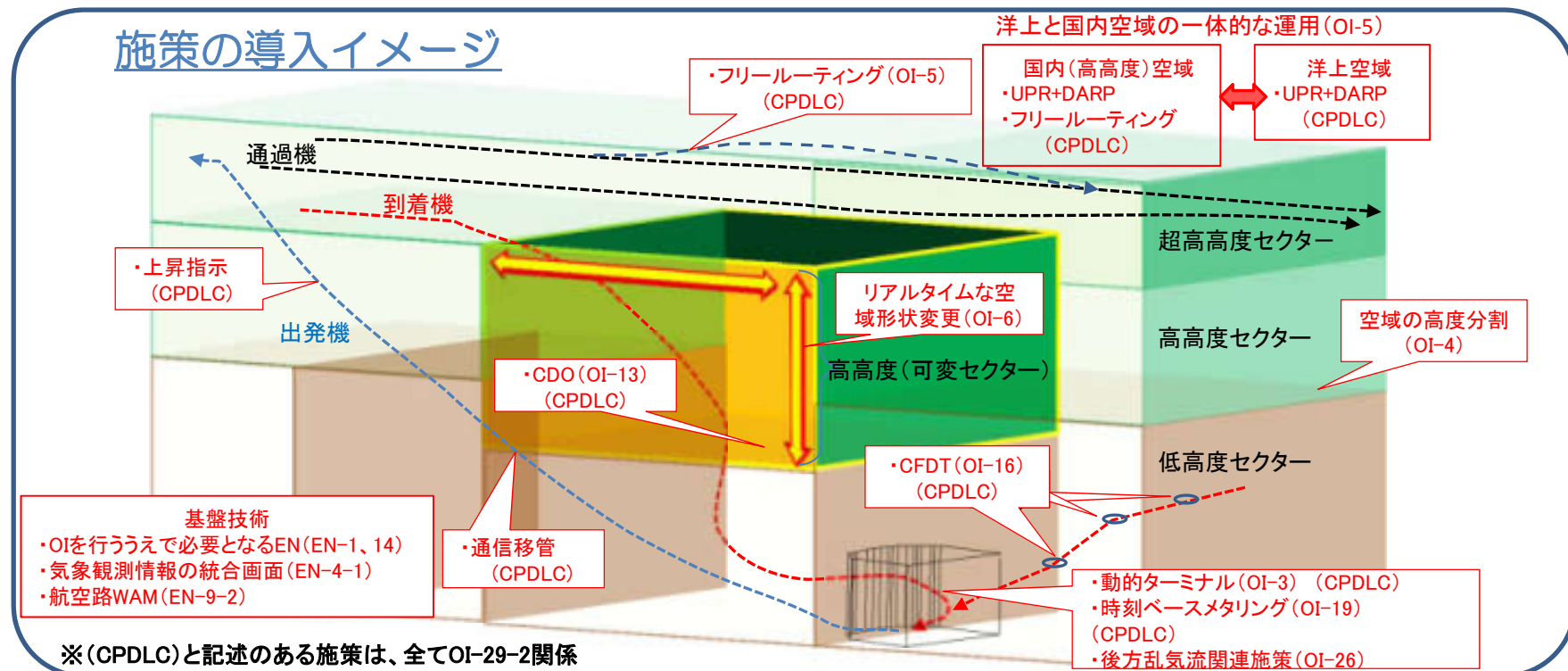
(将来の航空交通システムに関する長期ビジョン(案)(2010.2)より)



# CARATSで導入する施策(個別事項)

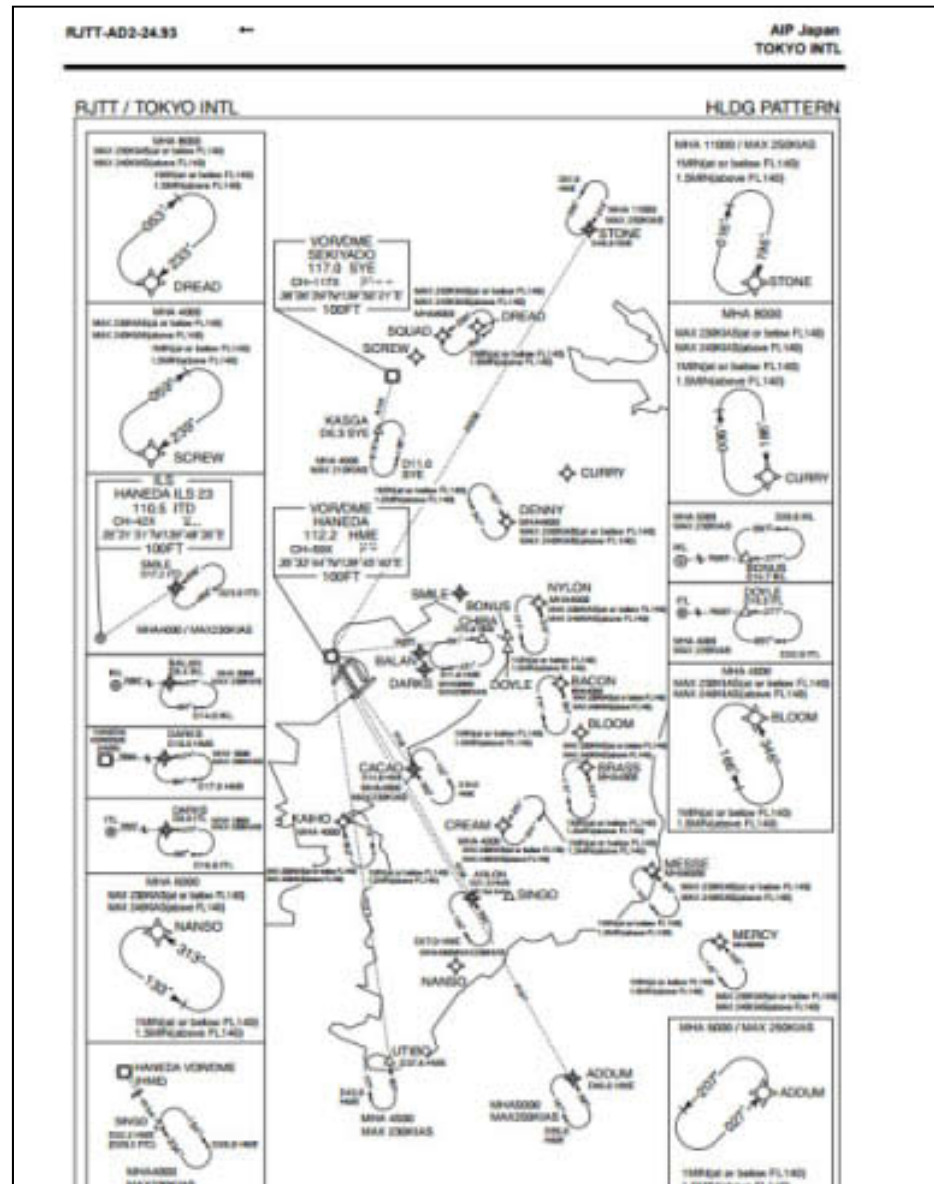
CARATS資料より

- ・CARATSとして、平成25年度導入を意思決定する施策は、以下に係る施策
  - いくつかの施策は、予定を前倒しをして導入を意思決定(OI-4、5、6、16)
  - 空域再編・それに伴う運用方式等の改善に係る施策
  - 航空局の統合情報処理システムの更新に伴い導入する施策
- ・具体的な導入までの工程を検討し、ロードマップの見直し(詳細化等)を実施  
(システムの導入等に併せて、平成30年度(2018年度)以降に順次導入)
- ・フリールーティング等による短縮経路による運航効率化、空域の高度分割・データリンク通信導入など管制官のワークロード低減に伴う管制処理容量の拡大等を目指す

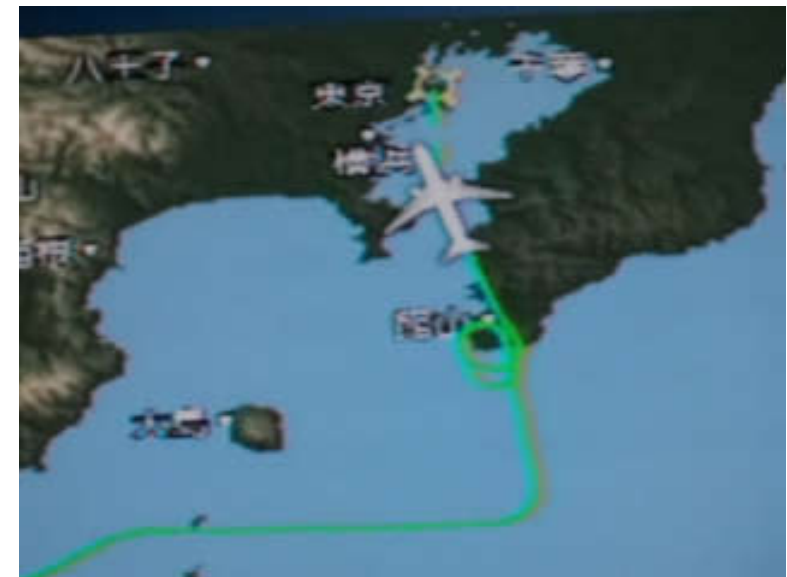


# 各国の航空交通円滑化の取組み (遅れ対策、容量増加、環境、効率化)

# ターミナルリーダー管制の工夫

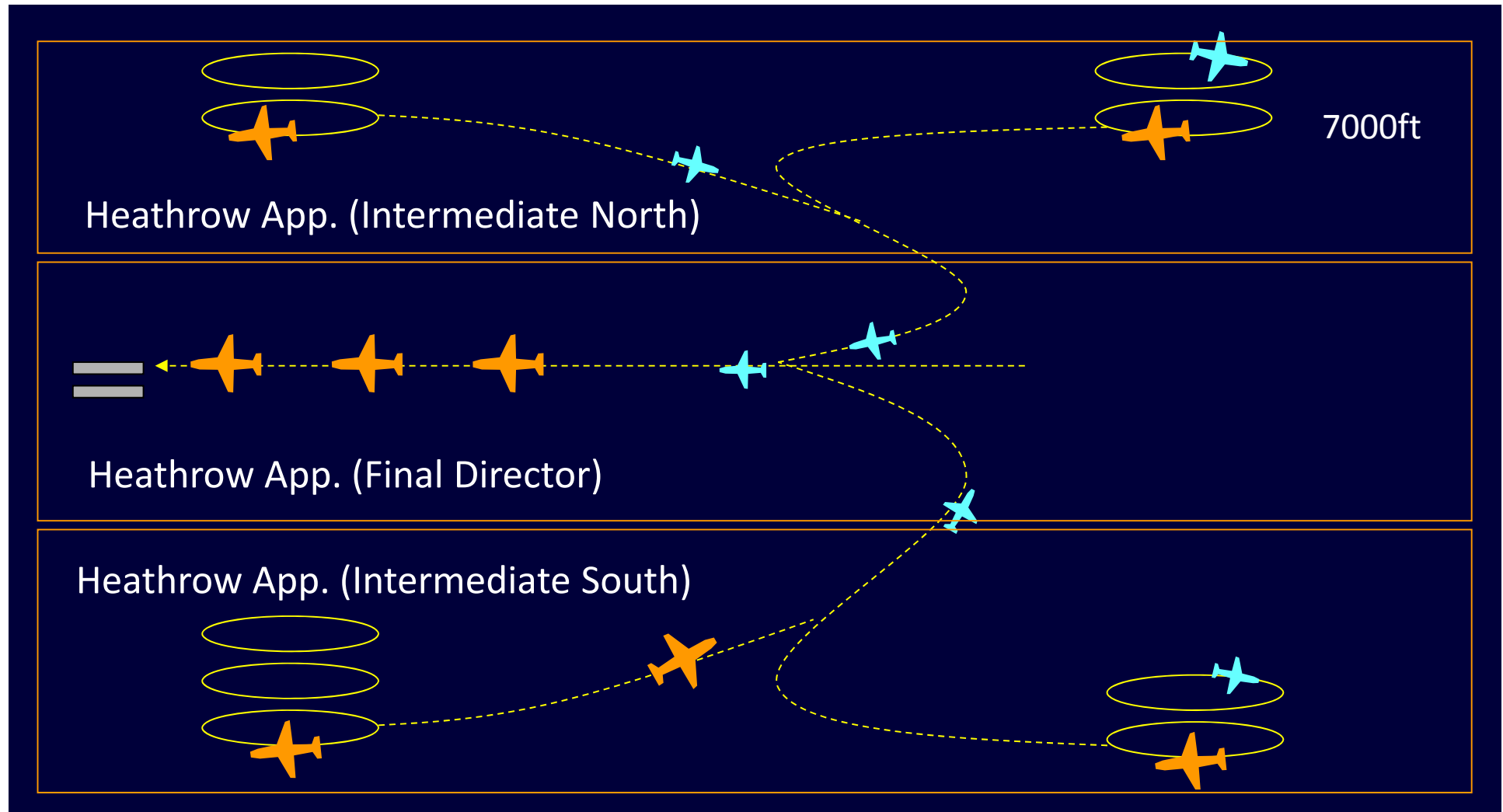


羽田空港周辺のホールディングエリア





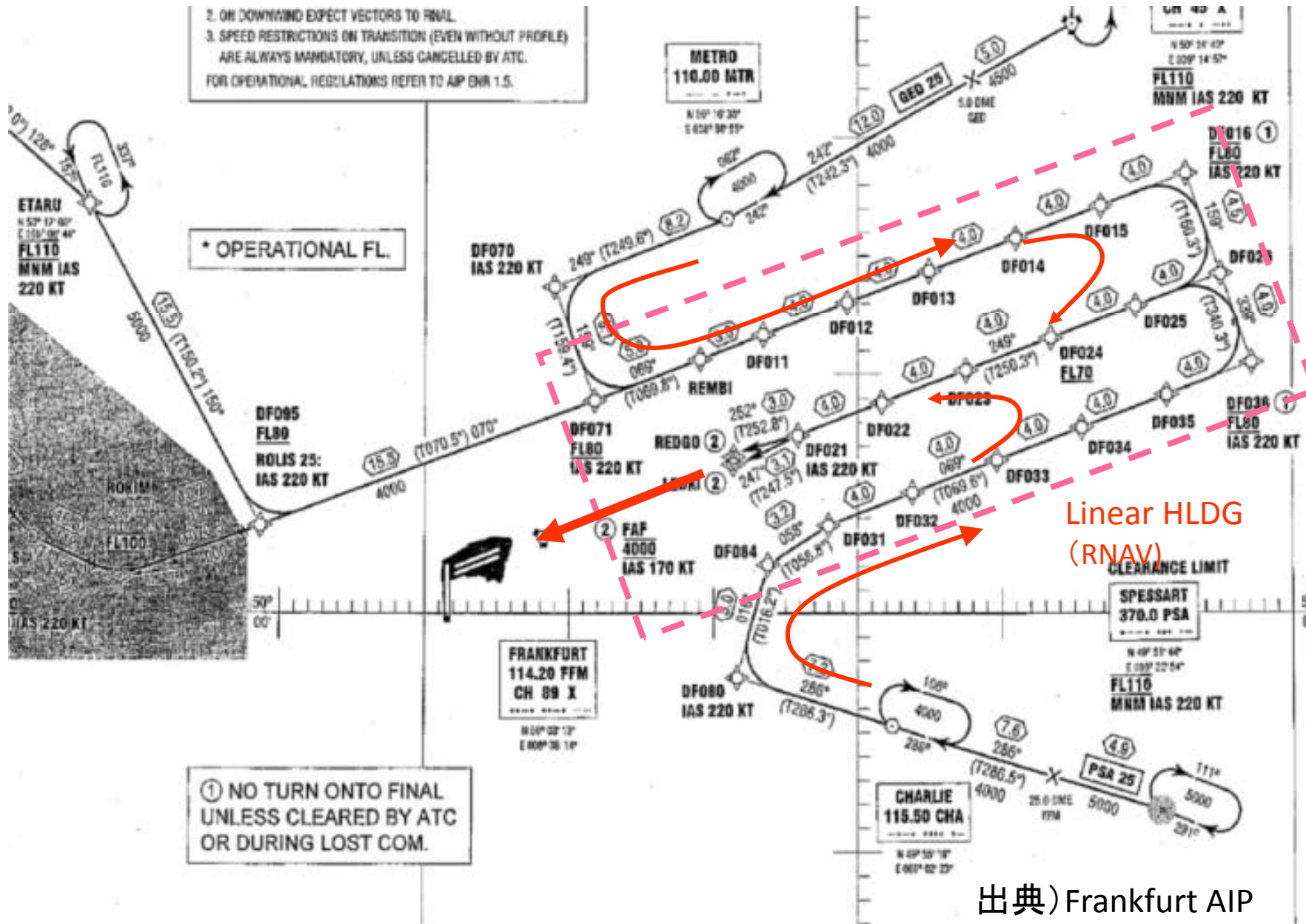
# 着陸間隔短縮のための順序付け



4つのHLD Stackからの着陸機をFinalに引き出す際、管制支援システムから推奨順序が提供される(Delayが10分を越えている時)

\* ある程度の遅れ時間の許容(10分)(管制機関, 空港, エアライン等で組織したCommitteeで合意)  
→過去, 許容遅れ時間を段階的に大きくし, 容量(スロット数)を拡大

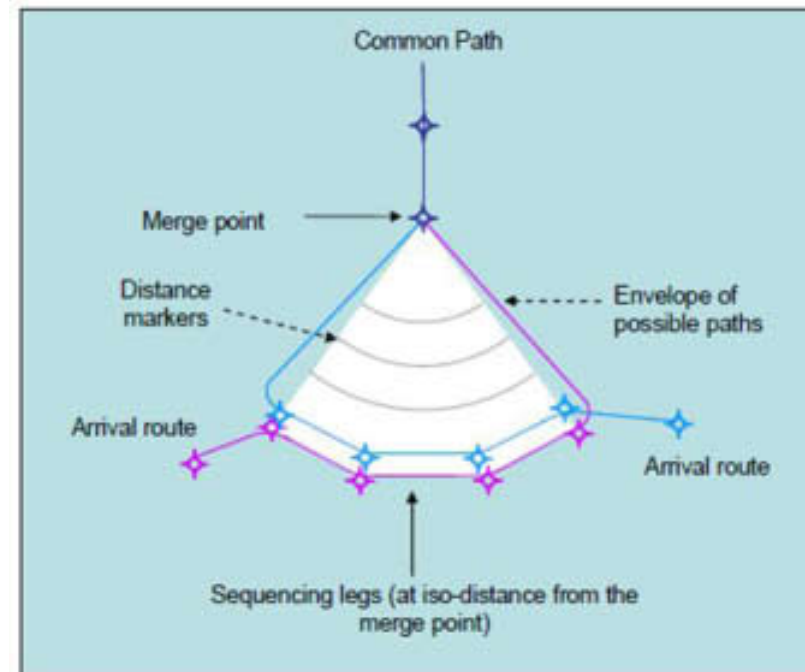
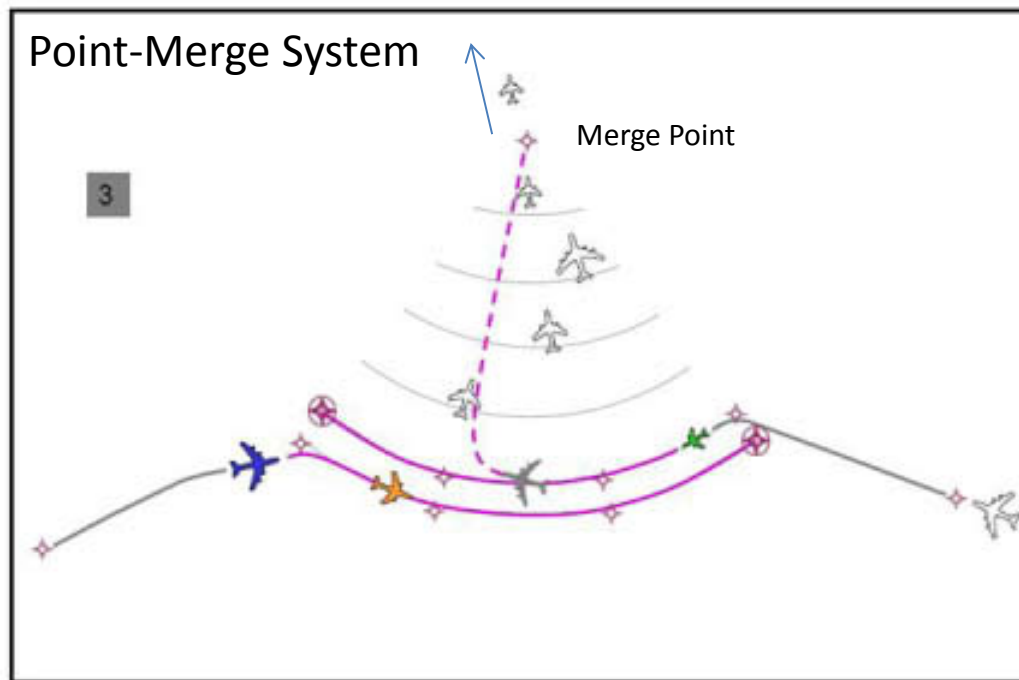
# Linear Holding for efficient merging of arrivals with lower ATC workload



# Point-merge system

- New efficient and lower ATC workload system for merging task for landing (Oslo (2011), Dublin (2012), Seoul (2012), Paris (2013), Gatwick and London City (2015))

A specific route structure with an inherent converging geometry and an embedded path stretching capability



合流点から等距離のアーチ上を飛行させ、先行機との間隔がとれたら合流点へ直行指示するだけ。リニアホールディングより高効率で混雑時にも適用可能

出典)Eurocontrol

## OI-3 動的ターミナル空域の運用

### → OI-3の施策概要

空港の運用(使用滑走路の変更等)により変化する航空交通流に併せ、ターミナル空域の形状や入域及び出域フィックスを柔軟に変更する。

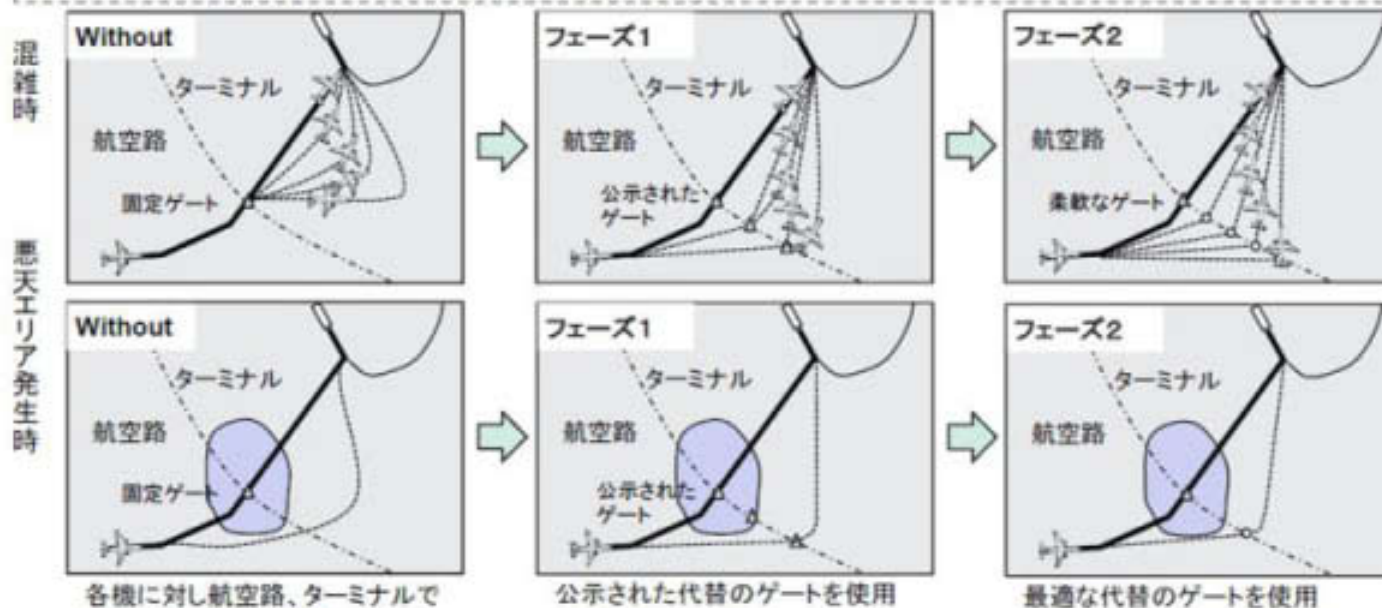
### → 運用の概要および段階的導入の想定

- フェーズ1(2019年～): 入出域フィックスの変更(公示された複数フィックスからの選択)
  - ✓ 高密度ターミナルにおいて、混雑時に入域フィックスをレーダー誘導の外側の領域にシフトしていく運用を実施。
  - ✓ また、入域フィックス付近に悪天エリアが存在する場合に、柔軟に入域フィックスを変更し悪天を回避した運用を実施。
- フェーズ2(2021年～): 入出域フィックスの変更(緯度経度指定での柔軟なフィックス変更)
  - ✓ フェーズ1の運用を拡張し、データリンクにより任意の点を入域フィックスとし、当該フィックスに直行、必要に応じてCTA付加

→ 今回の分析対象

- フェーズ3(将来計画): ターミナル境界線の動的変更

→ 統合管制情報処理システムに未実装。今回の分析対象外。

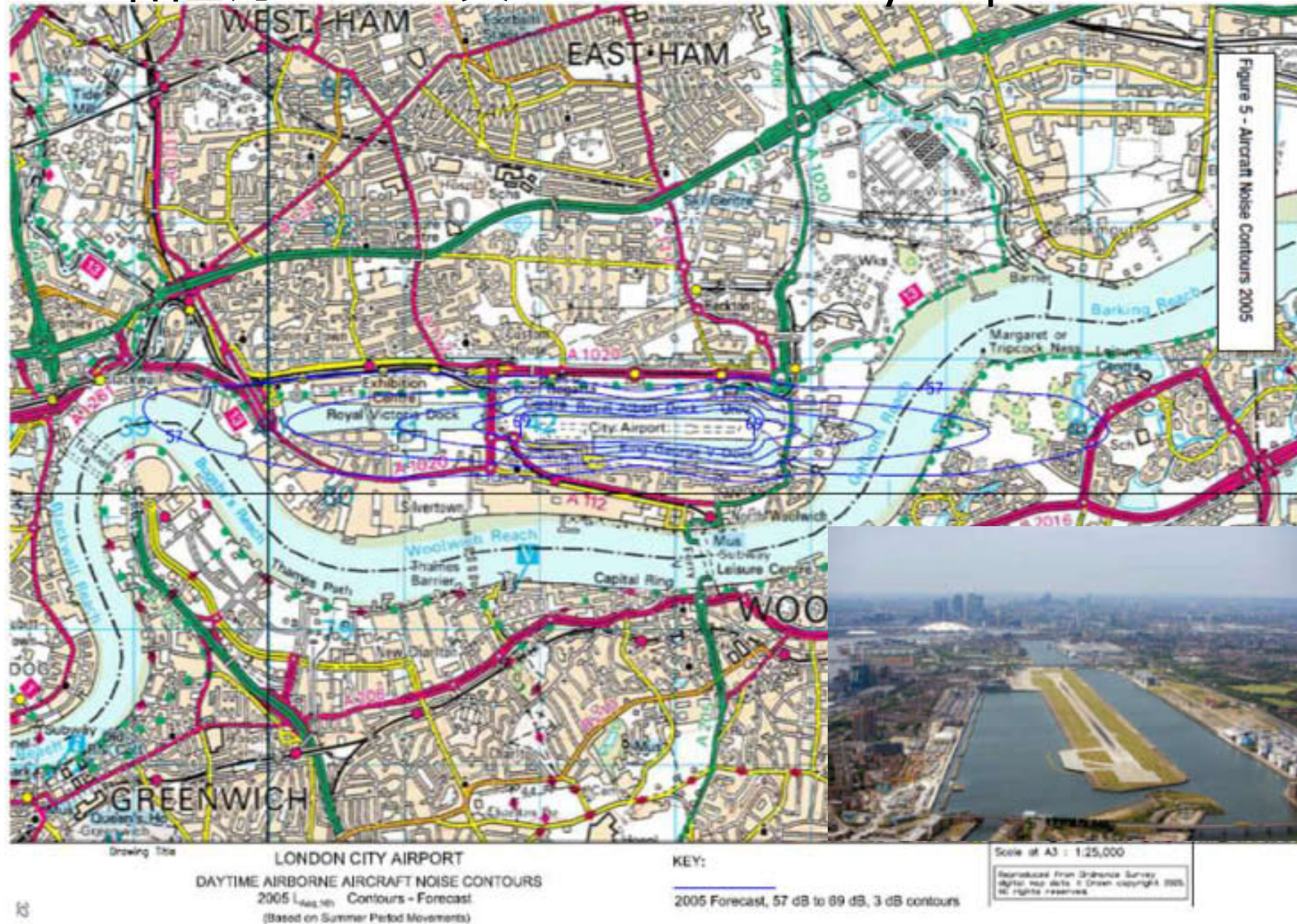


各機に対し航空路、ターミナルでのレーダー誘導を実施  
Civil Aviation Bureau Japan





# 着陸方式の工夫 London City Airport

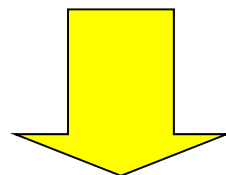
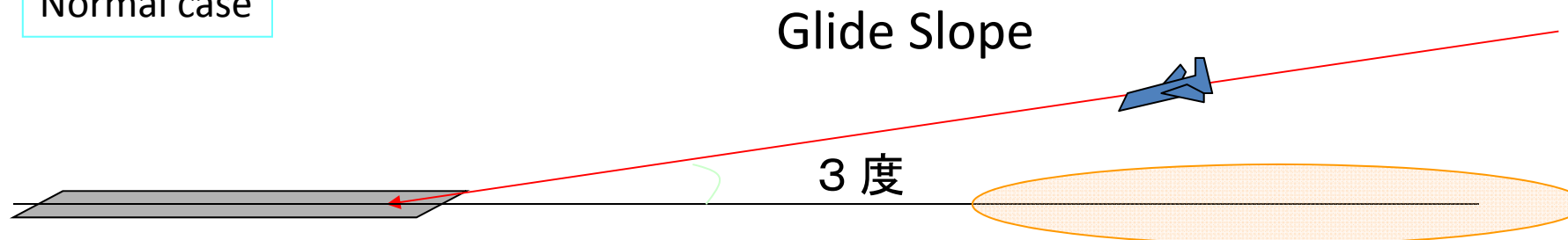


出典) London City Airport Master Plan 2006

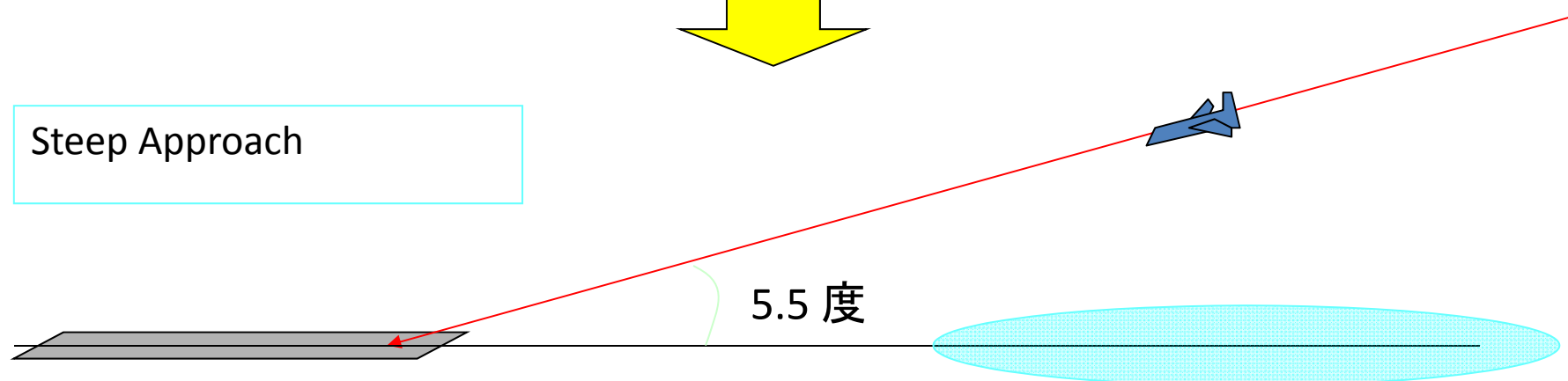
# Noise mitigation by Steep Approach



Normal case



Steep Approach



STOL機のみ可能  
(Short Take-Off & Landing)

Noise mitigation under the flight path

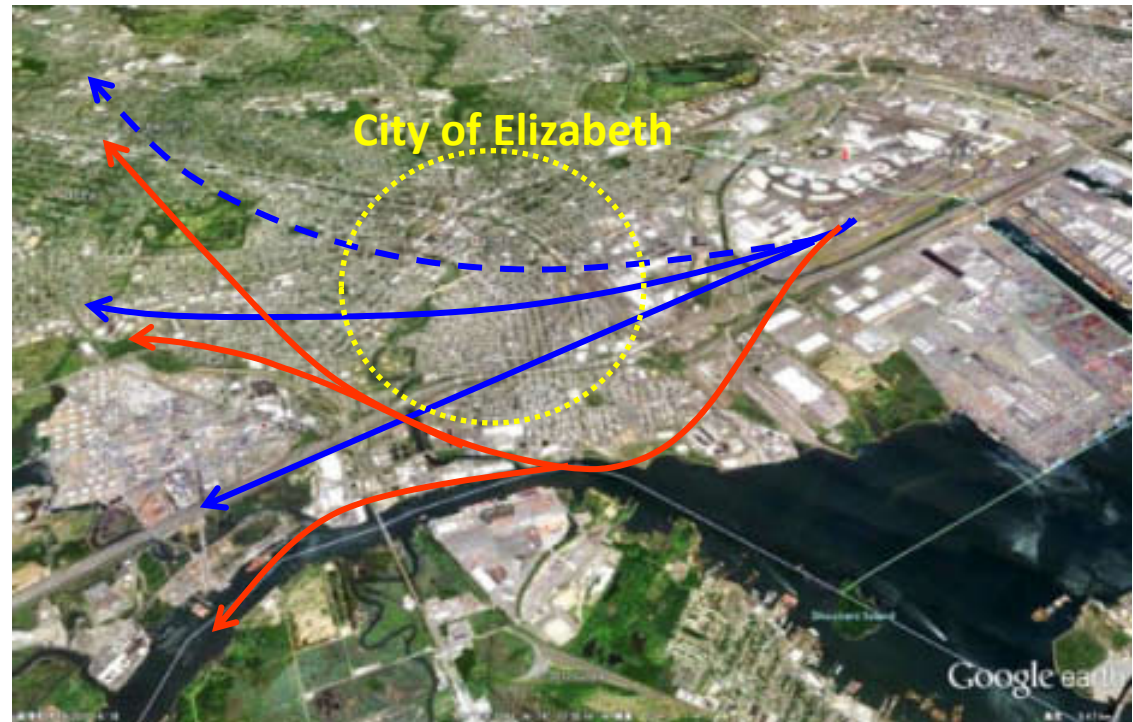
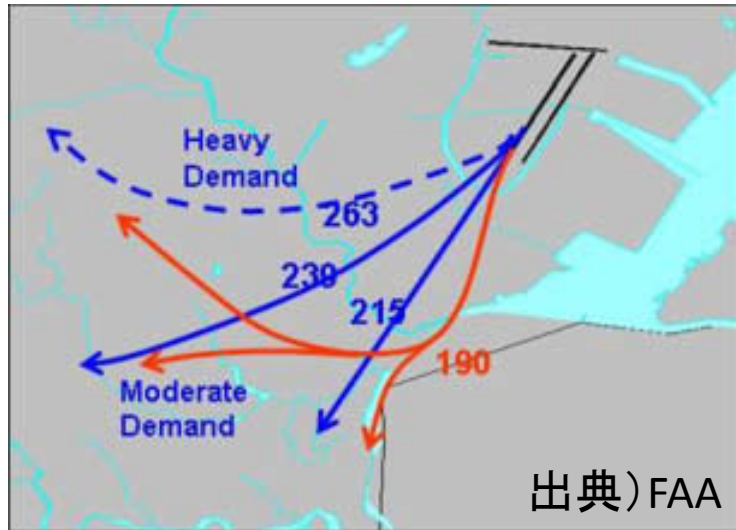
# Tailored Arrival (TA) at SFIA

(公開用のため画像は削除)

Noise counter at SFIA (FAA)



# Fanned Departure (dispersal headings) in Newark

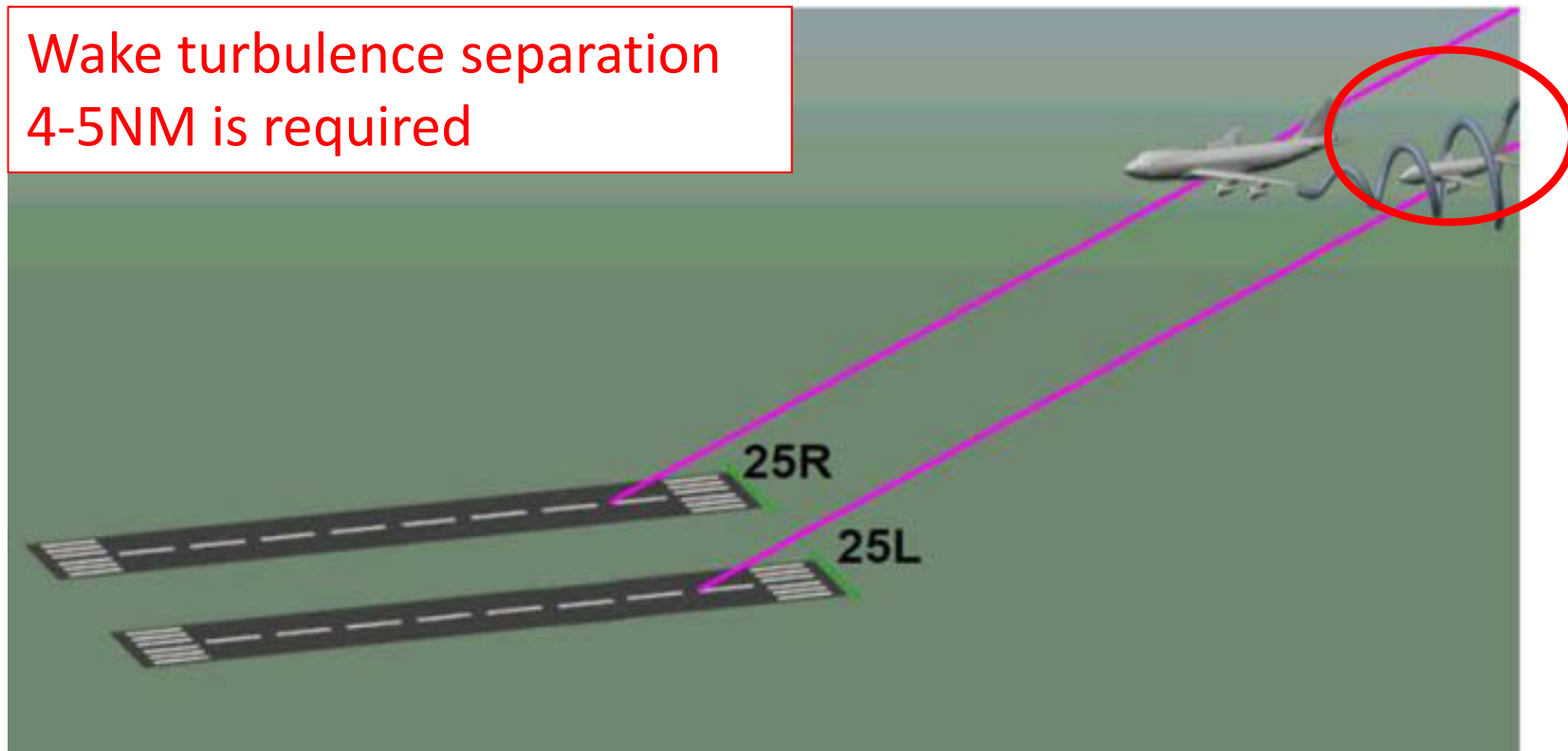


- ✓ Dispersal headings can reduce the separation of successive departure
- ✓ Newark airport has introduced new dispersal headings above downtown city for increasing departure capacity only in peak time



## Displaced runway threshold at Closed-Parallel runway for reducing wake turbulence separation

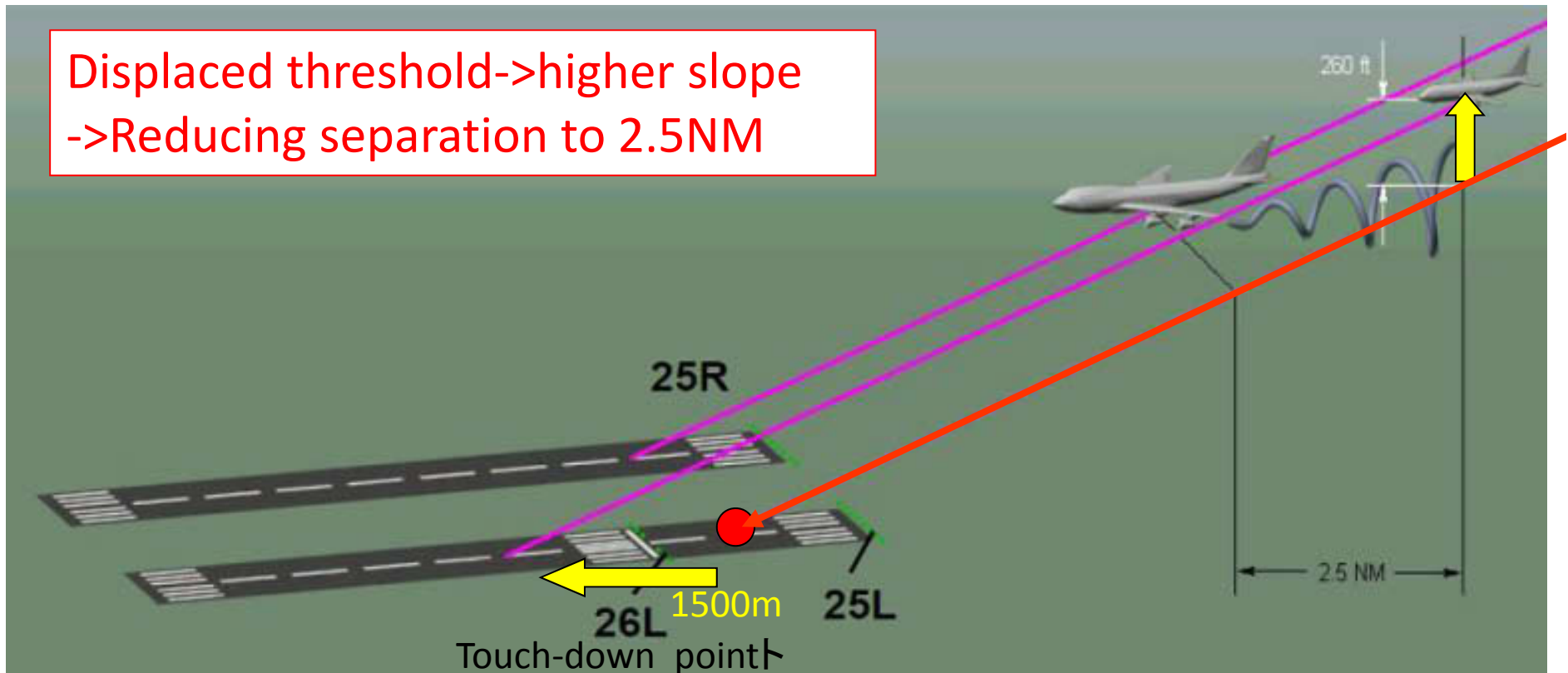
Wake turbulence separation  
4-5NM is required



出典) Stefan Mauel: Frankfurt Airport Capacity Enhancement Program  
The Role of Wake Vortex Reducing Measures, 2nd WakeNet 2 - Europe Workshop, 2004

# Displaced runway threshold at Closed-Parallel runway for reducing wake turbulence separation

Displaced threshold->higher slope  
->Reducing separation to 2.5NM

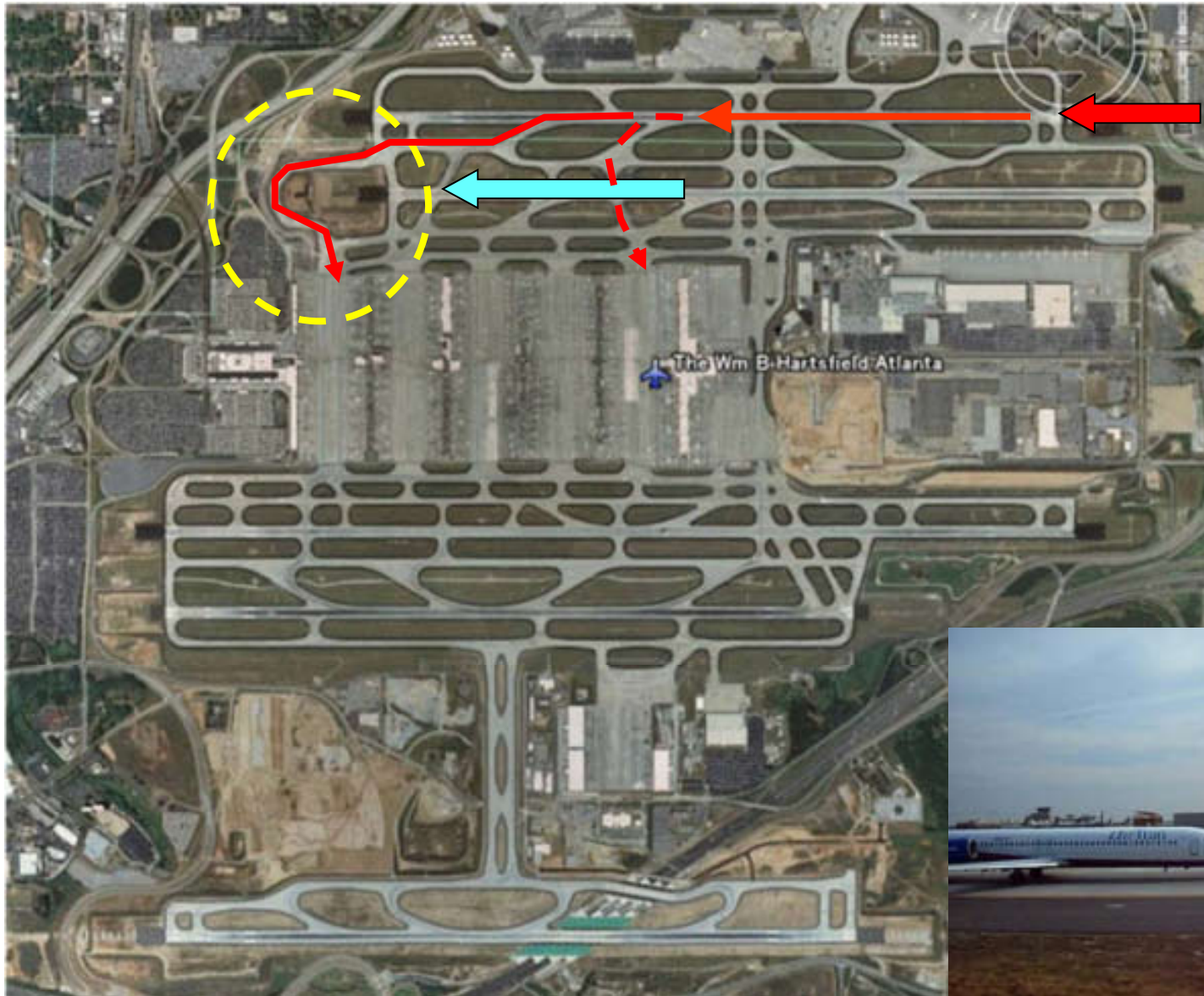


出典) Stefan Mauel: Frankfurt Airport Capacity Enhancement Program  
The Role of Wake Vortex Reducing Measures, 2nd WakeNet 2 - Europe Workshop, 2004

出典) 茨城大学 平田輝満氏資料より

# 空港の滑走路容量の拡大方策

ATLANTA Perimeter Taxiway (Runway crossing under OLS)



5th Runway (2006～)



出典) 茨城大学 平田輝満氏資料より

# 航空交通データの公開とデータ利用環境に関わる状況



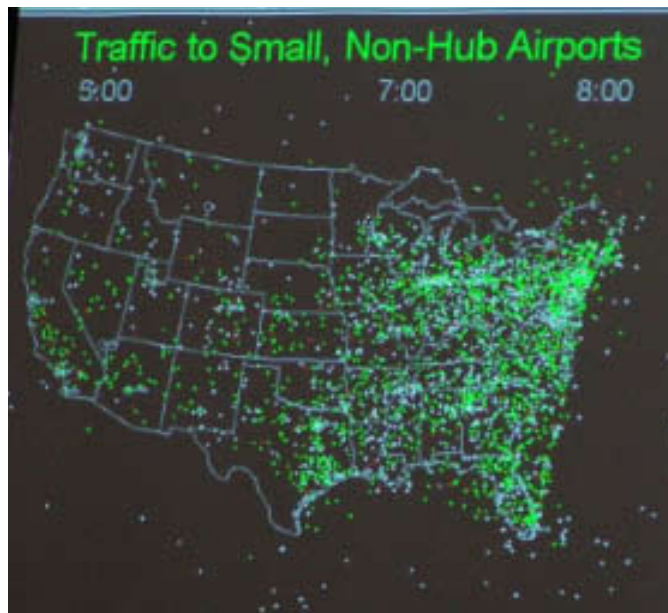
2004.2

同時刻に飛行中の航空機

(RJは従来のコンピュータとは異なり

大型機と同じ高高度を飛行するため

航空路容量が今後問題になる可能性あり)



(NASA資料より)



# ○米国の航空管制データの公開状況

- たとえば, NY都市圏では, 現地時間朝9:00に,  
左下画面の範囲(約150x100km)に50機が飛行している
- この種の管制情報が広く公開されるようになり、研究が急速に進展している
- 日本の情報公開レベルは未だ低い⇔研究者の拡大・理解と支援の増進・技術発展

米国の航空機の航行状態モニター



(表示情報は, AL名, 高度, 離着陸, 出発目的地)

世界の航空・空港管制の交信モニター



衛星, ターミナル, タワーのそれぞれの管制官とパイロットとの交信をリアルタイムに聞くことができる

→管制の重要性を広く理解させるための公開でもあろう

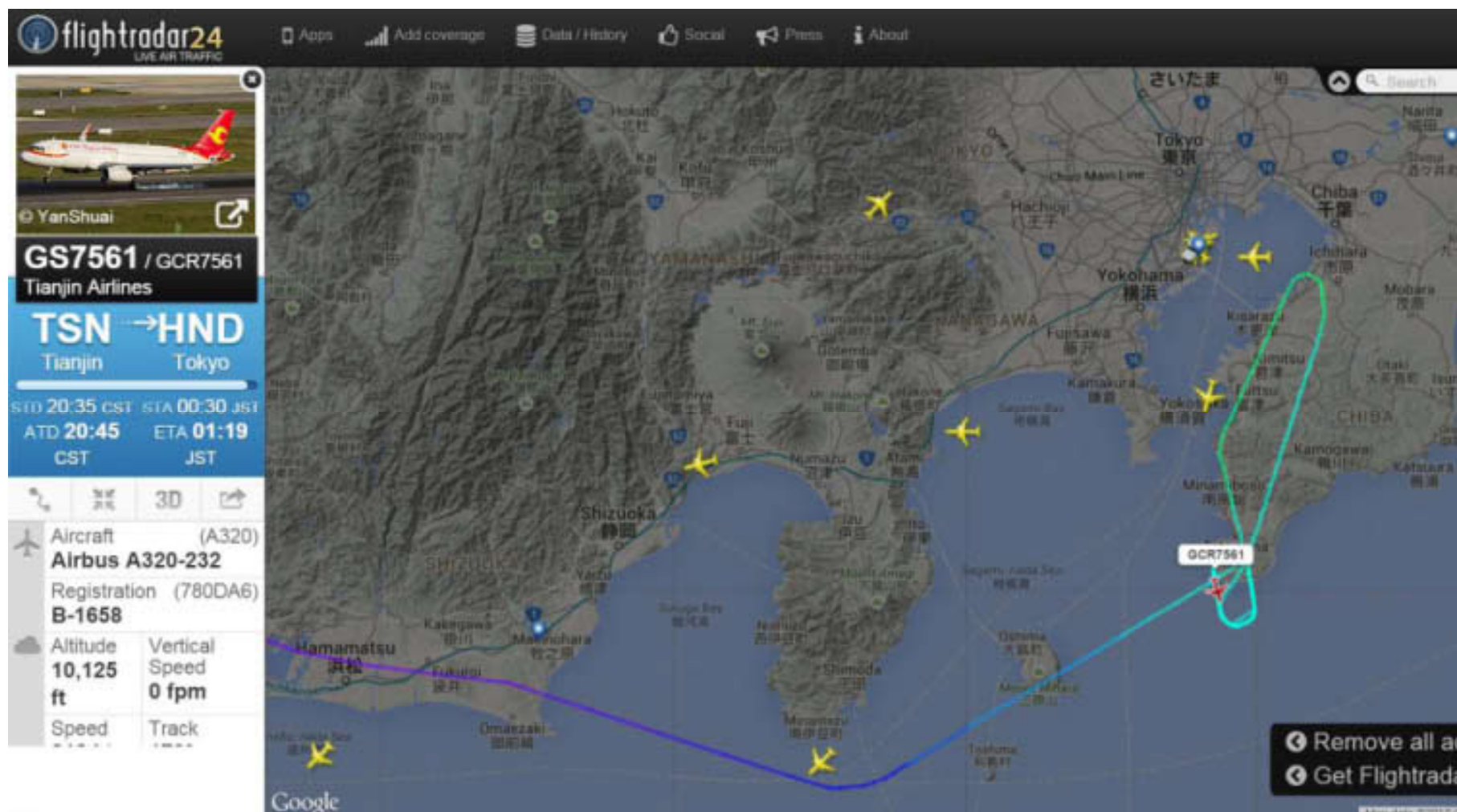


# 航空管制データ(レーダーデータ)の 審議会での公開 2007年



# ADS-B\*受信情報等をFlightRader24のサーバーに送ることで成り立つオープンデータ

たまたま見ていた天津航空機が不可解な飛行をした様子(その後、関空にダイバート)



\* 放送型自動従属監視 (Automatic Dependent Surveillance-Broadcast : ADS-B) 出典)Flightradar24

# CARATSオープンデータの公開

(2014年よりエンルートのレーダーデータの公開開始)

## 1. データ内容

「2012 年度の福岡飛行情報区内における定期航空便のデータ(6 週間分)」

### ○データの項目

時刻(日本標準時)、便名(仮想便名)、緯度(度)、経度(度)、高度(ft)、型式  
※機器の誤差、座標変換による誤差等を含むことをご了承ください。

### ○データの期間

2012 年度の以下の 6 週間分のデータ

2012 年 5 月 7 日(月)から 13 日(日)、7 月 9 日(月)から 15 日(日)

9 月 3 日(月)から 9 日(日)、11 月 5 日(月)から 11 日(日)

2013 年 1 月 7 日(月)から 13 日(日)、2 月 4 日(月)から 10 日(日)

※一部、データの欠落している時間帯があります。

### ○データの形式及び格納例

データは CSV 形式にて、時刻,仮想便名,緯度(度),経度(度),高度(ft),型式の順に格納しております。

(格納例)08:00:00,FLT0300,42.413533,141.681313,6247,B763

# 現在の航空局HP

ホーム > 政策・仕事 > 航空 > 航空管制官 公式

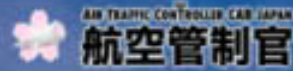
## 航空行政の概要

- 航空局の役割
- 組織図
- 政策評価
- 法律関係
- 予算・税制
- 審議会・委員会等

## 各種情報

- 採用情報
- 調達・契約に

## 航空管制官 公式



今日も、安全で快適な空のために。

|          |         |          |        |         |
|----------|---------|----------|--------|---------|
| トップページ   | 管制官ってな  | 管制官のO&A  | 管制官の一日 | めざせ！管制官 |
| 管制塔バーチャル | これがレーダー | エアバンドを聞き | おたのしみ  | 職場紹介MAP |

### エアバンドを聞いてみよう

管制官とパイロットは航空無線を使用して話をしていいますが、その内容は「エアバンドレシーバー」という無線機を使えば誰でも聞くことができます。

ただし、傍受した通信の内容を漏らしたり、窃用することは電波法で禁じられています。

管制官やパイロットは一体どのようなことを話しているのか、架空の航空会社「CAB航空」の飛行機が、東京の羽田空港で出発、到着する場面をまともに解説していきます。



# 研究で利用可能なデータの例

|            | 航空管制音声                   | ADS-B                          | CARATS Open Data           |
|------------|--------------------------|--------------------------------|----------------------------|
|            | 自己観測データ                  |                                | 航空局公開データ                   |
| データの概要     | パイロットと管制官の音声             | 航空機の運航軌跡と飛行状態                  | 航空機の運航軌跡                   |
| データソース     | 航空管制無線                   | GPS                            | 航空路管制で用いられているレーダ           |
| データの期間     | 2014/12/3<br>16:45～20:20 |                                | 2012年度 各奇数月<br>第1月曜日～日曜日   |
| 記録間隔       | 受信感度による                  |                                | 概ね10秒                      |
| 記録対象       | 対象空域に入域した全航空機            | ADS-Bを搭載した航空機(約70%)            | 計器飛行方式による全定期便              |
| 記録されているデータ | 対象空域を飛行する航空機と管制官との音声     | 時刻, 緯度, 経度, 高度, 機種, 便名, 速度, 針路 | 時刻, 緯度, 経度, 高度, 機種, 便名(仮想) |
| メリット       | 飛行軌跡と管制指示を同時取得可能         |                                | 全数                         |
| デメリット      | 飛行軌跡は全数ではない              |                                | 管制指示なし                     |



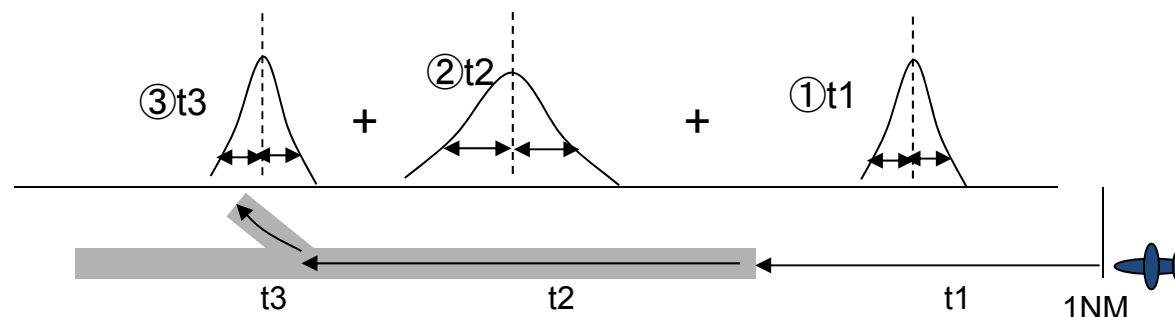
データ活用で徐々に進む分析  
-今後の工学・計画上の研究進展に期待-

# 滑走路容量の検討方式: データ提供を受けて試算(事例)

2005.9

仮説: 現在,  $t_1$  および  $t_3$  を定数として扱っているが, 先行機と後続機とのトータルの時間間隔をどのように想定するかが, 最終的に検討すべき数字であることから, 3つの時間の合計時間を確率変数と考えて, その全分散をもとに信頼区間を算出する

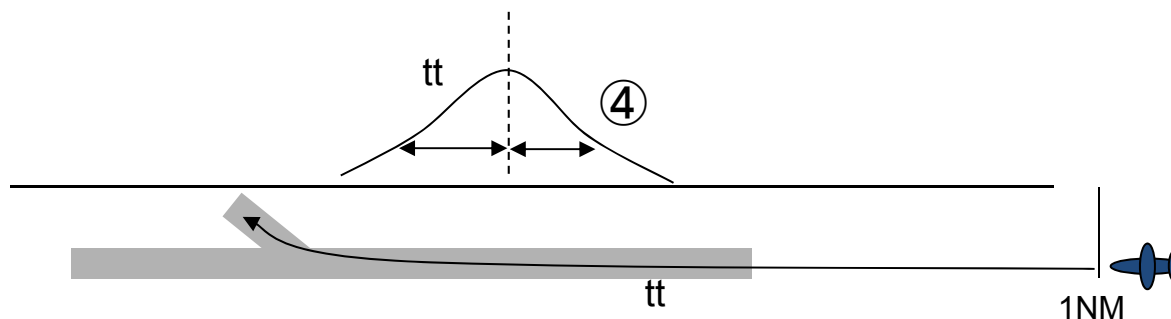
従来



従来は3区間(①②③)に分割して, それぞれの所要時間の平均, 変動を算出し, 合計していた.



新



$$* \textcircled{4} = \textcircled{1} + \textcircled{2} + \textcircled{3} + (\text{各時間相互の分散})$$

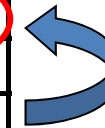
この3区間を1つにし, トータルの所要時間の平均, 変動で処理容量を算出.

→ 従来定数で仮定していた $t_1$ と $t_3$ の大きさと, トータル時間で考えた際に考慮する共分散の大きさの大小関係で容量の大小も異なる.

# 共変動を考慮して安全率を算出する場合

・2005年1月の観測データ (\* A6系(A6, A6/6N)とA8系(A8, A8/A9)を使用した機材のデータのみ使用)

|                                 |        |        |
|---------------------------------|--------|--------|
| 新ケース(共分散あり)                     | 占有時間   | 処理容量/h |
| $tt=t1+E(t2+t3)+c\sigma(t2+t3)$ | 117.88 | 30.54  |
| 従来ケース(共分散なし)                    | 占有時間   | 処理容量/h |
| $tt=t1+t3+E(t2)+c\sigma(t2)$    | 122.66 | 29.35  |



時間当たり1機増加

\* 2004年11月のデータでは逆に減少  
(「Appendix」を参照)

[参考データ]

|                            |       |
|----------------------------|-------|
| t1                         | 30    |
| t2+t3の平均 $E(t2+t3)$        | 65.19 |
| t2+t3の標準偏差 $\sigma(t2+t3)$ | 8.73  |

| t2とt3の... | サンプル数 | 共分散   | 相関係数  | 相関係数の<br>有意判定(P値) |
|-----------|-------|-------|-------|-------------------|
| 全誘導路データ   | 539   | -0.73 | -0.02 | P=0.58            |
| A6&A6/6N  | 317   | 0.13  | 0.01  | P=0.91            |
| A8&A8/A9  | 222   | -5.69 | -0.19 | P=0.01**          |
| A6        | 225   | -1.57 | -0.08 | P=0.24            |
| A6/6N     | 92    | -0.06 | 0.00  | P=0.96            |
| A8        | 111   | 0.62  | 0.02  | P=0.82            |
| A8/A9     | 111   | -6.23 | -0.32 | P=0.00**          |

これに更にt1の3秒  
の減少を加味すると  
 $3600/114.88 > 31$

# 羽田内陸上空ルートの活用

## ポイント:

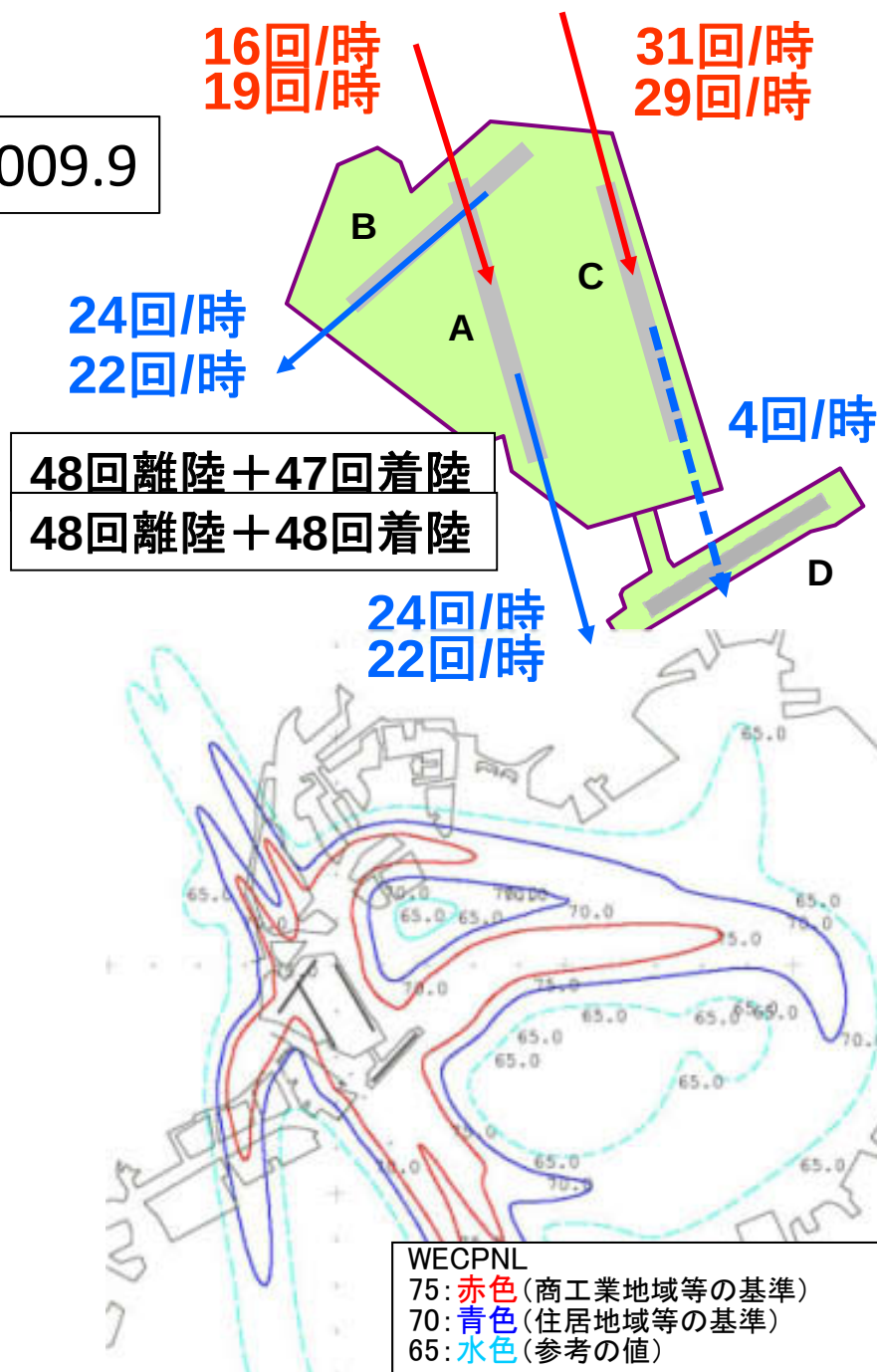
- 羽田の北側からのA・C滑走路への直線進入および川崎方面へのB滑走路からの離陸を実施
- C滑走路を着陸専用なら47回/時,
- C滑走路を離着陸共用にすれば48回/時まで可能(北風時はハミングバード)

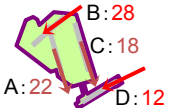
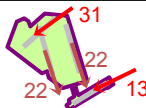
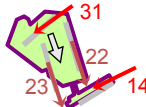
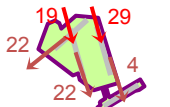
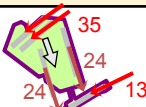
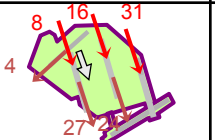
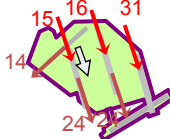
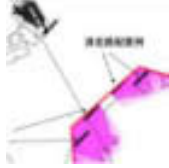
↓  
「48回離陸」+「47回着陸/時」  
「48回離陸」+「48回着陸/時」  
(48.8万回/年)

- 東京, 川崎方面に環境基準を超える騒音影響が発生

\* 北風時も対照型の運用

2009.9



| ケース名                                    | 滑走路の<br>配置・運用<br>(南風時)                                                              | 発着容量<br>(離着陸合計)                                      | 管制運用に<br>対する制約                                                  | 整備・拡張<br>の必要性                 | 空港近傍の内陸飛行：<br>回数／時                     |                |
|-----------------------------------------|-------------------------------------------------------------------------------------|------------------------------------------------------|-----------------------------------------------------------------|-------------------------------|----------------------------------------|----------------|
|                                         |                                                                                     |                                                      |                                                                 |                               | 羽田北方                                   | 羽田西方           |
| 基本(D滑走路供用後)                             |    | 80回／時<br>(40.7万回/年)                                  | —                                                               | —                             | なし                                     | なし             |
| (1) 滑走路4本(Dラン供用後の既存ストック)の有効活用           |                                                                                     |                                                      |                                                                 |                               |                                        |                |
| 管制運用の高度化                                |    | 88回／時<br>(44.7万回/年)                                  | 戦略的な間隔制御・<br>機材配置ともに必要                                          | なし                            | なし                                     | なし             |
| 管制運用の高度化＋<br>A滑走路の南伸                    |    | 90回／時<br>(45.8万回/年)                                  | 戦略的な間隔制御・<br>機材配置ともに必要                                          | 多摩川河口部の<br>用地展開               | なし                                     | なし             |
| 内陸上空ルート活用<br>(南風時のみ)                    |    | 96回／時<br>(48.8万回/年)                                  | 戦略的な間隔制御が<br>必要                                                 | なし                            | A:4離陸(北風)<br>A:19着陸(南風)<br>C:29着陸(南風)  | B:22離陸<br>(南風) |
| (2) 滑走路5本(第5滑走路の新設)の運用 * Aランの南伸は実施を前提   |                                                                                     |                                                      |                                                                 |                               |                                        |                |
| B滑走路平行<br>(旧Bラン復活)                      |   | 96回／時<br>(48.8万回/年)                                  | 戦略的な間隔制御・<br>機材配置ともに必要                                          | 旧B滑走路跡地<br>の再整備のみ             | なし～<br>A:4離陸(北風)                       | なし             |
| C滑走路平行(オープン<br>パラレル)＋Dラン延伸<br>:環境基準考慮   |  | 110回／時<br>(56.0万回/年)                                 | 戦略的な間隔制御が<br>必要                                                 | C滑走路沖に用地<br>拡張(大規模)<br>＋Dラン延伸 | A:8着陸(南風)<br>C:16着陸(南風)<br>E:31着陸(南風)  | B:4 離陸<br>(南風) |
| C滑走路平行(オープン<br>パラレル)＋Dラン延伸<br>:環境基準考慮なし |  | 124回／時<br>(63.0万回/年)                                 | 戦略的な間隔制御が<br>必要                                                 | C滑走路沖に用地<br>拡張(大規模)<br>＋Dラン延伸 | A:15着陸(南風)<br>C:16着陸(南風)<br>E:31着陸(南風) | B:14離陸<br>(南風) |
| 羽田(再拡張後)と<br>独立の滑走路                     |  | 132回／時<br>(68.3万回/年)<br>羽田45.8万回/年)＋新<br>規滑走路22.5万回) | ・戦略的な間隔制御と機材<br>配置ともに必要<br>・羽田および新規滑走路<br>の離着陸機に対する飛行<br>高度制限あり | 東京湾内に<br>滑走路新設                | なし                                     | なし             |



## ワシントンダレス空港



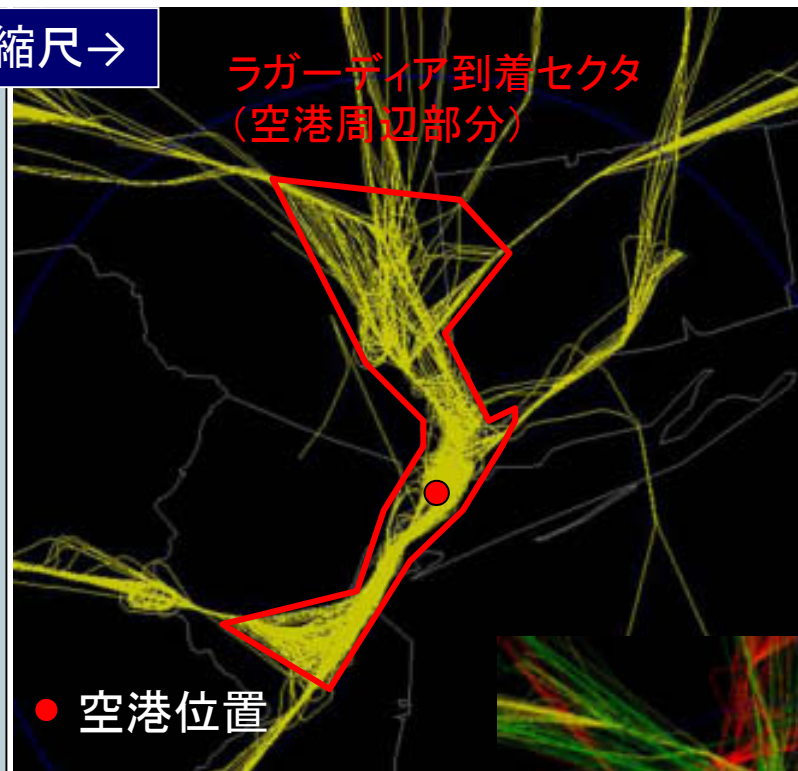
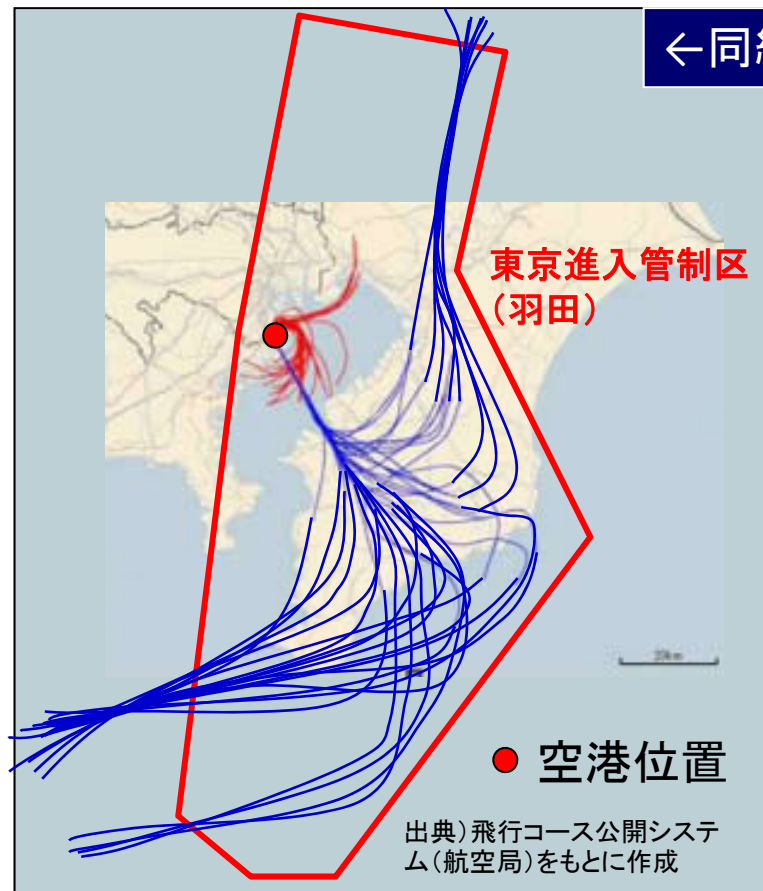
機材は見えない

2004.2



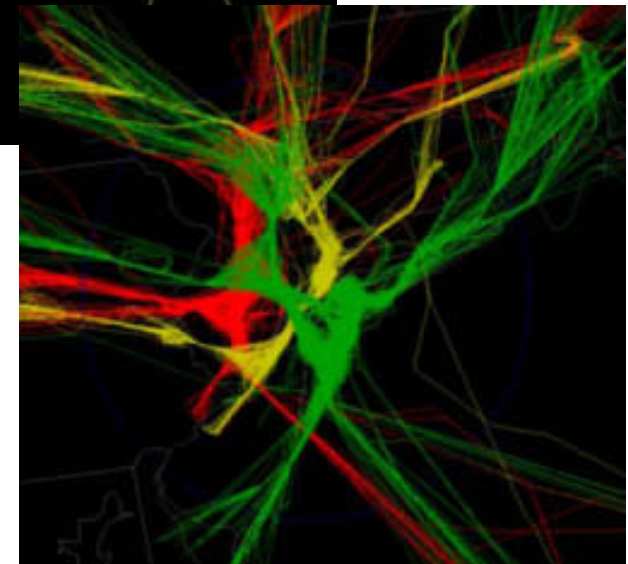
ACAのハブDulles空港 36ゲートを2時間おきに集中運用

# 首都圏とニューヨークの空域・航空路の利用状況



出典) MITRE社 提供資料

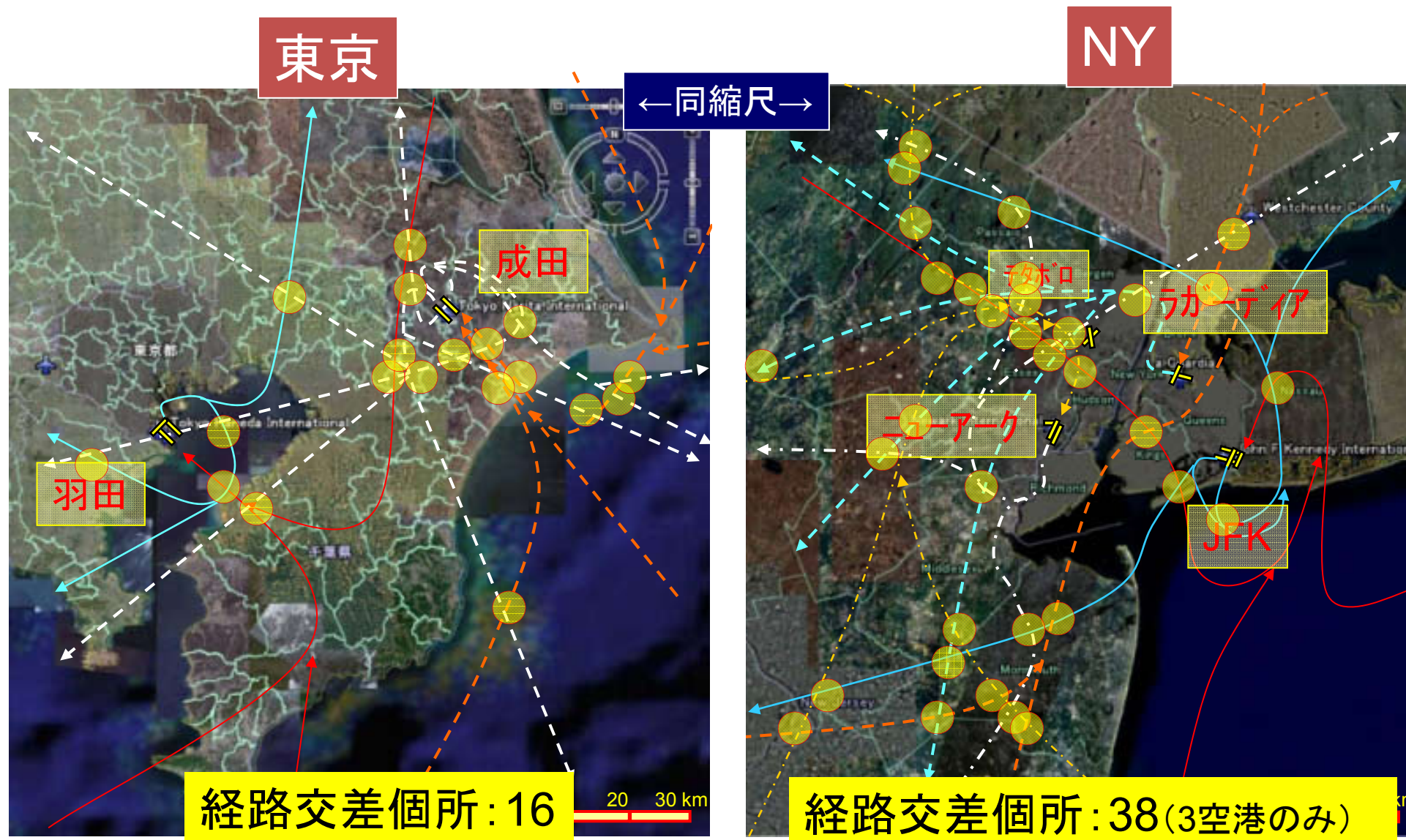
羽田の空域(進入管制区)よりもさらに狭隘な空域で、より多くの到着機の処理を実施



首都圏空港将来像シンポジウム(2009年9月24日より)



# NYの例～空域の高度利用



NYでは空域を3次元に高度利用し, 多くの離着陸経路を設定

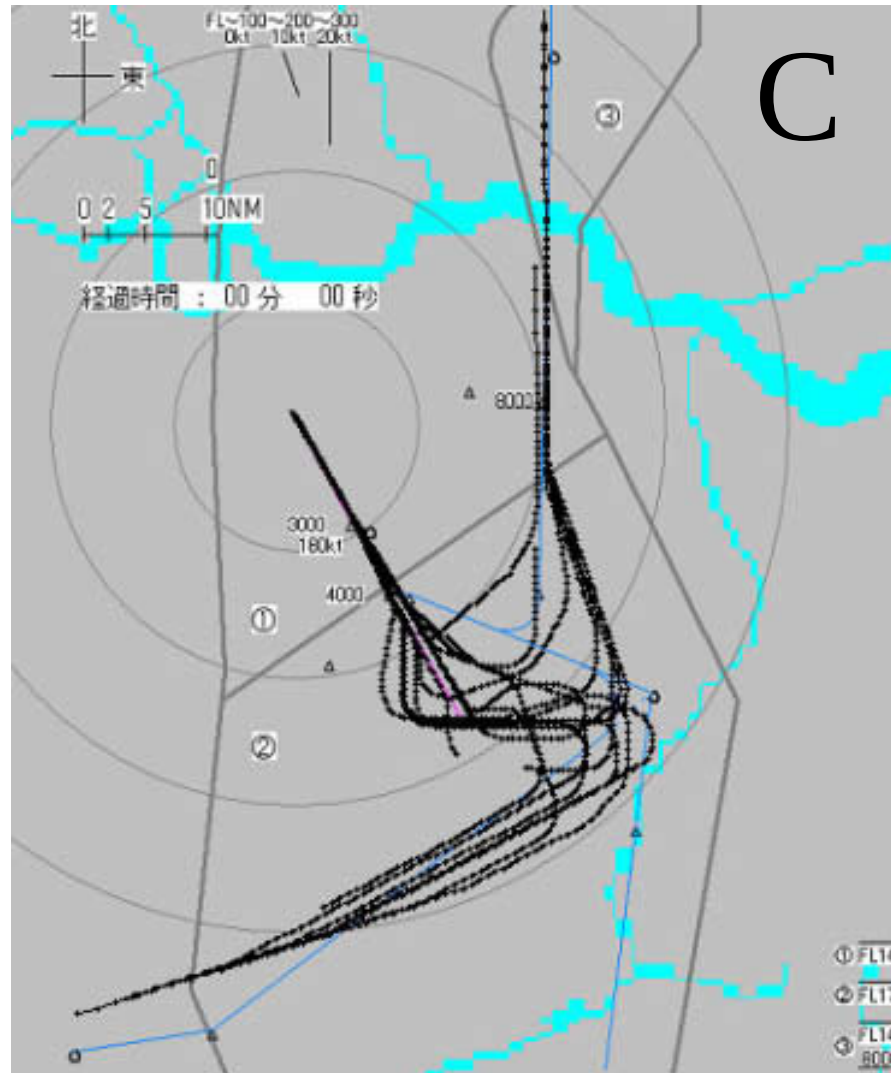
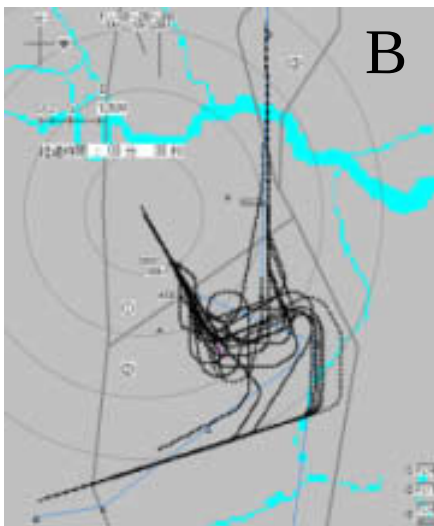
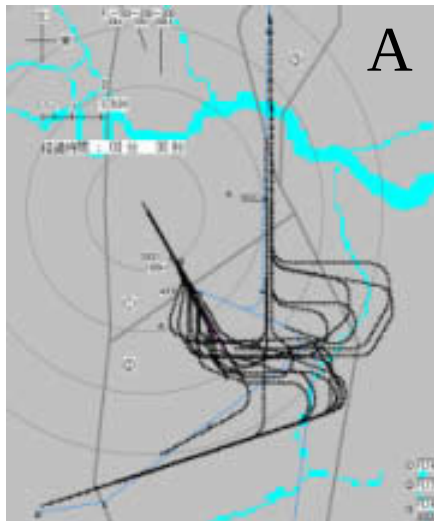
首都圏空港将来像シンポジウム(2009.9)より

## ●管制指示方法に関する基礎的分析

2007.2

### 実験協力者5名の指示した航跡図

(レーダー間隔を10nm維持した例)



⇔当然ながら，誘導方式，ベクター方式の判断に個人差がある



### 3. 管制指示方法に関する基礎的分析

2007.2

#### 3. 1 プレ実験の概要

##### プレ実験要旨

- システムの**改良点を明確**にする
- 今後本格的に行う実験の**実験方法・実験条件の検討**を行う
- 管制指示**データ取得**

##### プレ実験条件・方法

- 管制官役, パイロット役の2名
- 最大管制機数 ➡ 7機程度
- 最終進入セパレーション ➡ 10NM
- 最終進入開始点で180kt, 3000ftと  
るように誘導

##### 実験サンプル, 実験時間

- 5名, 60分 (2007/02/02実施)





# 管制指示と航空機の挙動とのタイムラグの観測

## Tokyo ACC

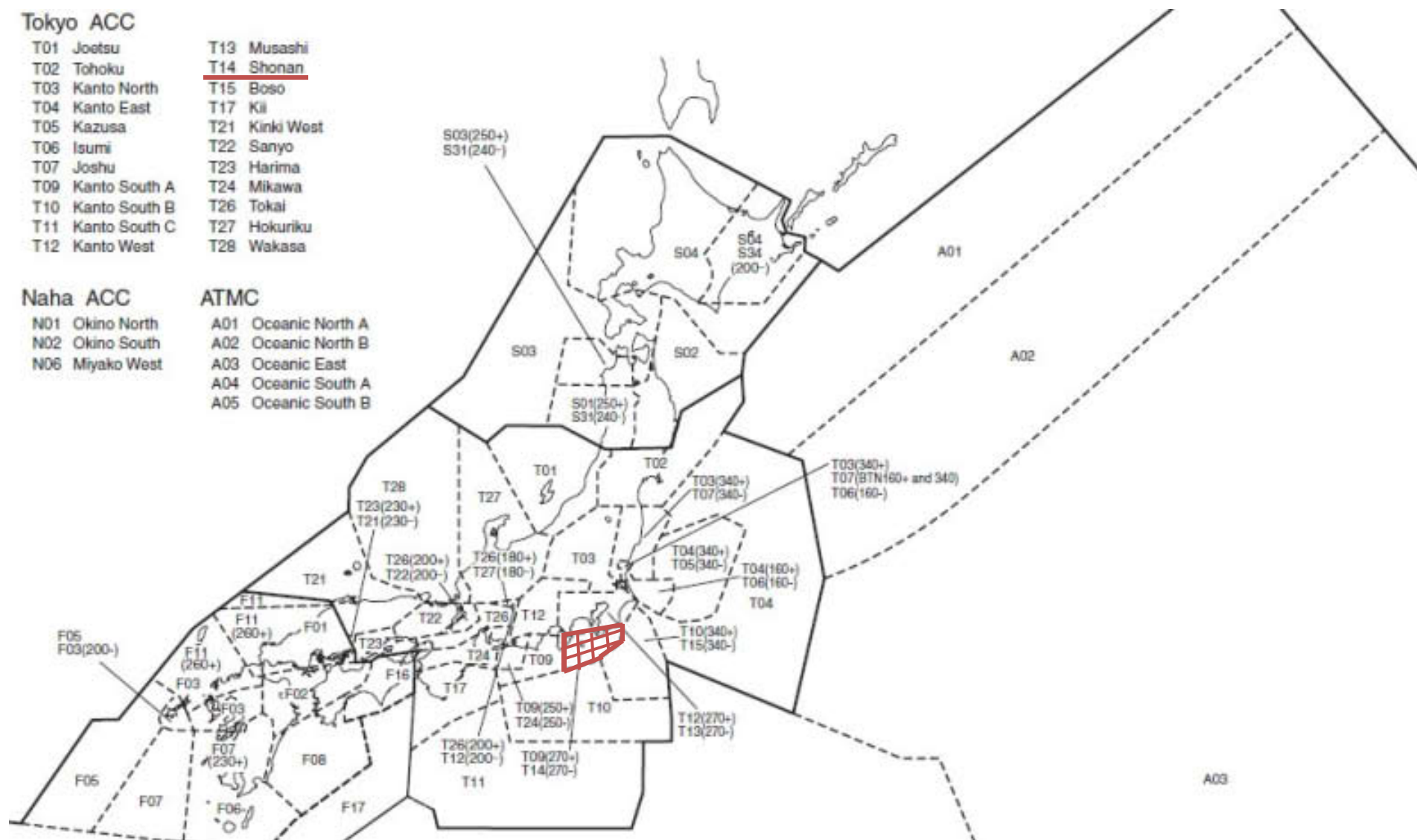
|                   |                   |
|-------------------|-------------------|
| T01 Joetsu        | T13 Musashi       |
| T02 Tohoku        | <u>T14 Shonan</u> |
| T03 Kanto North   | T15 Boso          |
| T04 Kanto East    | T17 Kai           |
| T05 Kazusa        | T21 Kinki West    |
| T06 Isumi         | T22 Sanyo         |
| T07 Josu          | T23 Harima        |
| T09 Kanto South A | T24 Mikawa        |
| T10 Kanto South B | T26 Tokai         |
| T11 Kanto South C | T27 Hokuriku      |
| T12 Kanto West    | T28 Wakasa        |

## Naha ACC

|                 |
|-----------------|
| N01 Okino North |
| N02 Okino South |
| N06 Miyako West |

## ATMC

|                     |
|---------------------|
| A01 Oceanic North A |
| A02 Oceanic North B |
| A03 Oceanic East    |
| A04 Oceanic South A |
| A05 Oceanic South B |



## 観測実験の詳細

- ・観測機数は2日間合計で427機  
(内, 分析対象空域を飛行し, 管制通信音声  
および飛行軌跡ログデータともに収集できた  
機体は51機)
- ・羽田空港への着陸機を対象

### 実験概要

| 観測日   | 2015.9.16          | 2015.9.17         |
|-------|--------------------|-------------------|
| 観測時間  | 12:45-14:15 (1時間半) | 12:30-14:30 (2時間) |
| 観測データ | 管制通信音声データ          |                   |
|       | 飛行軌跡ログデータ          |                   |
| 観測機数  | 180機               | 247機              |
| 天候    | 曇り                 | 雨                 |

## 分析方法

音声データと軌跡ログデータを照らし合わせ, 管制指示一挙動終了のタイムラグを計測  
今回の分析では, **高度指示**と**速度指示**の2つを対象



①管制通信音声データ収集用アンテナ

②飛行軌跡ログデータ(ADS-Bデータ)収集用アンテナ

ADS-Bデータとは...

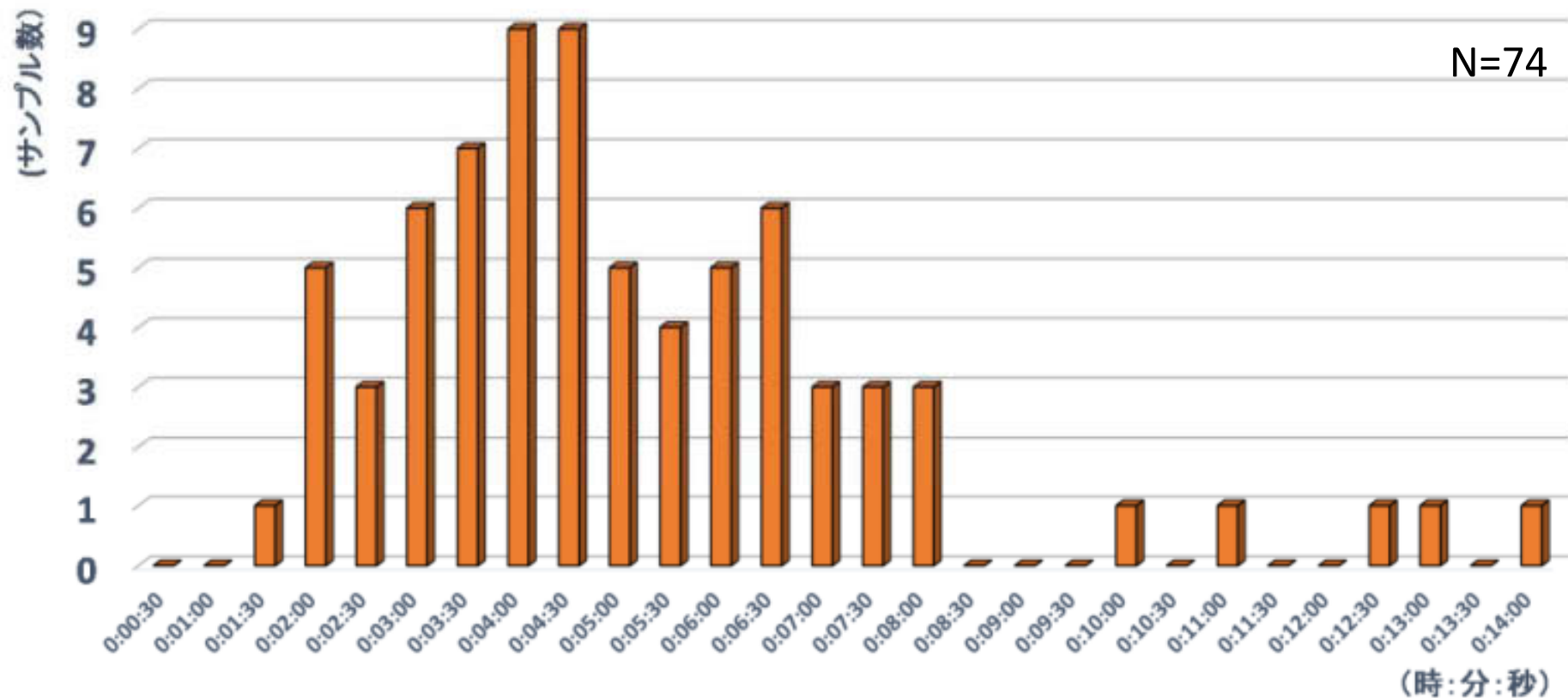
- ・航空機が自機の位置情報を自動的に測位・発信する仕組み
- ・位置情報の送信間隔は, 飛行中の場合0.4~0.6秒の間に  
一様分布するランダムな間隔で送信

# 分析結果(高度指示)

各観測日のタイムラグ平均と標準偏差

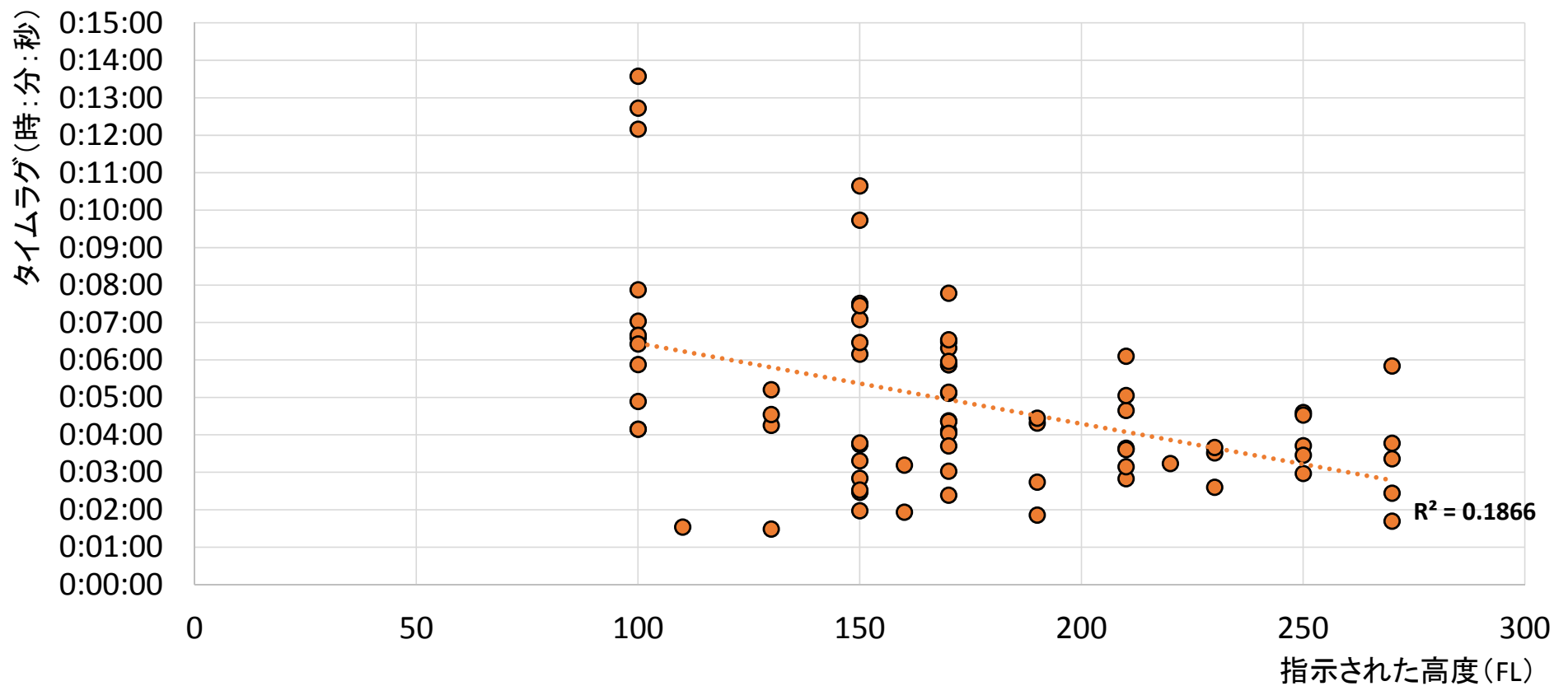
|       |     |         |
|-------|-----|---------|
| 9月16日 | AVE | 0:05:29 |
|       | STD | 0.00202 |
| 9月17日 | AVE | 0:04:28 |
|       | STD | 0.00138 |
| 2日合計  | AVE | 0:04:54 |
|       | STD | 0.00172 |

- ✈ タイムラグ平均は約5分(2日間合計)
- ✈ 指示高度に達するまでに10分以上要する機も数便みられた



# タイムラグと指示高度の関係

- ✈ 指示高度が低いほどタイムラグが長くなる傾向
- ✈ 相関係数は-0.43となり, 中程度の負の相関が認められた

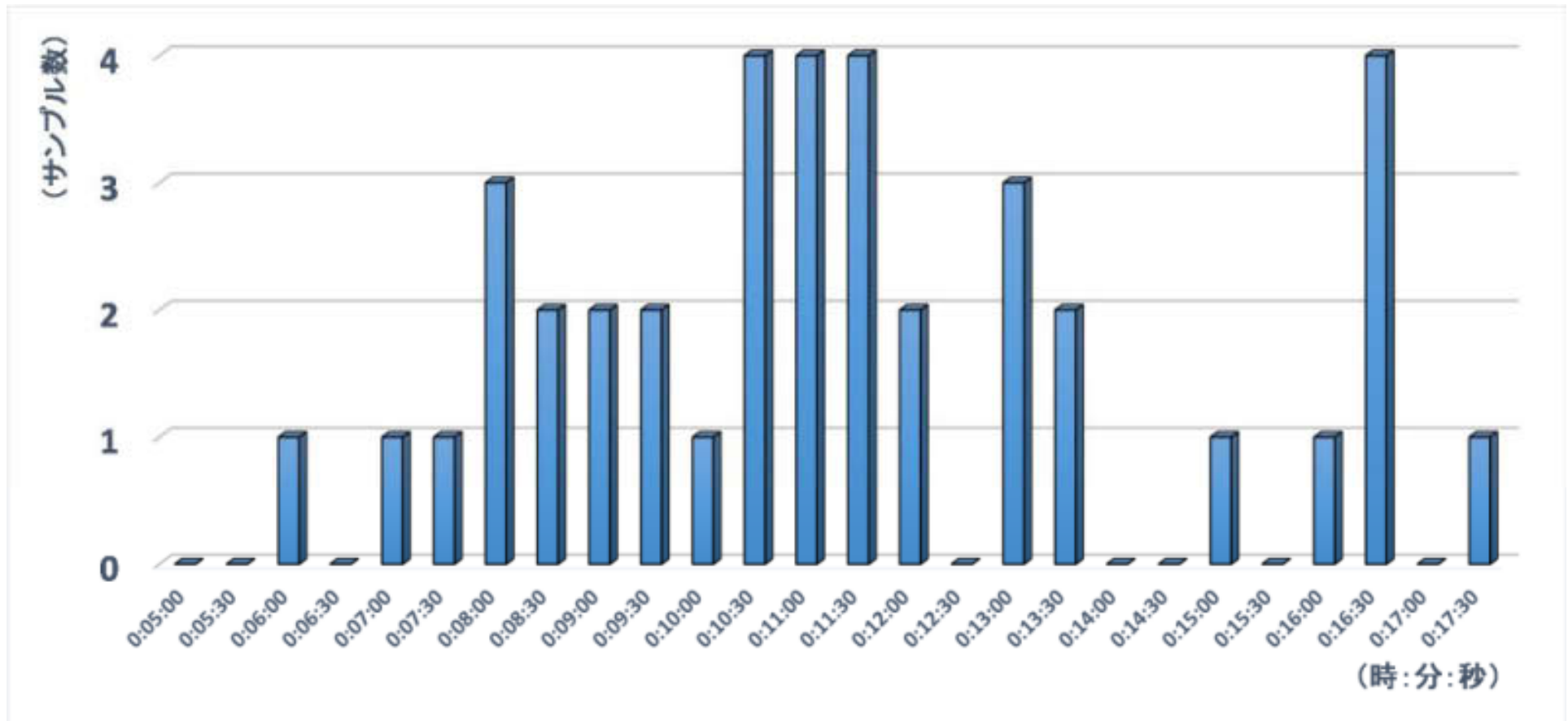


# 分析結果(速度指示)

各観測日のタイムラグ平均と標準偏差

|       |     |         |
|-------|-----|---------|
| 9月16日 | AVE | 0:10:54 |
|       | STD | 0.00217 |
| 9月17日 | AVE | 0:11:22 |
|       | STD | 0.00188 |
| 2日合計  | AVE | 0:11:10 |
|       | STD | 0.00201 |

- ✈ タイムラグ平均は約11分(2日間合計)
- ✈ 特定の時間にあまり集中しておらず、15分以上の時間を要している機も複数便みられる





# CARATSオープンデータの活用例： 管制指示の逆推定について

- ✓ 滑走路拡張・交通量増加により空域が混雑
- ✓ 空域混雑による交通流制御も多い
- ✓ 空域容量は管制ワークロードを指標にするのが通常
- ✓ 軌跡データ(CARATS OPEN DATA)から管制指示をどの程度抽出できるか？



図12 9月3日の飛行軌跡

# 使用データ

表1 使用データの概要

|            | CARATS Open Data         | ADS-B                    | 航空管制音声               |
|------------|--------------------------|--------------------------|----------------------|
| データの概要     | 航空機の運航軌跡                 | 航空機の運航軌跡と飛行状態            | パイロットと管制官の音声         |
| データソース     | 航空路管制で用いられているレーダ         | GPS                      | 航空管制無線               |
| データの期間     | 2012年度 各奇数月<br>第1月曜日～日曜日 | 2014/12/3<br>16:45～20:20 |                      |
| 記録間隔       | 概ね10秒                    | 受信感度による                  |                      |
| 記録対象       | 計器飛行方式による<br>全定期便        | ADS-Bを搭載した航空機            | IFRにより対象空域に入域した全航空機  |
| 記録されているデータ | 時刻、緯度、経度、高度、機種、便名(仮想)    | 時刻、緯度、経度、高度、機種、便名、速度、針路  | 対象空域を飛行する航空機と管制官との音声 |

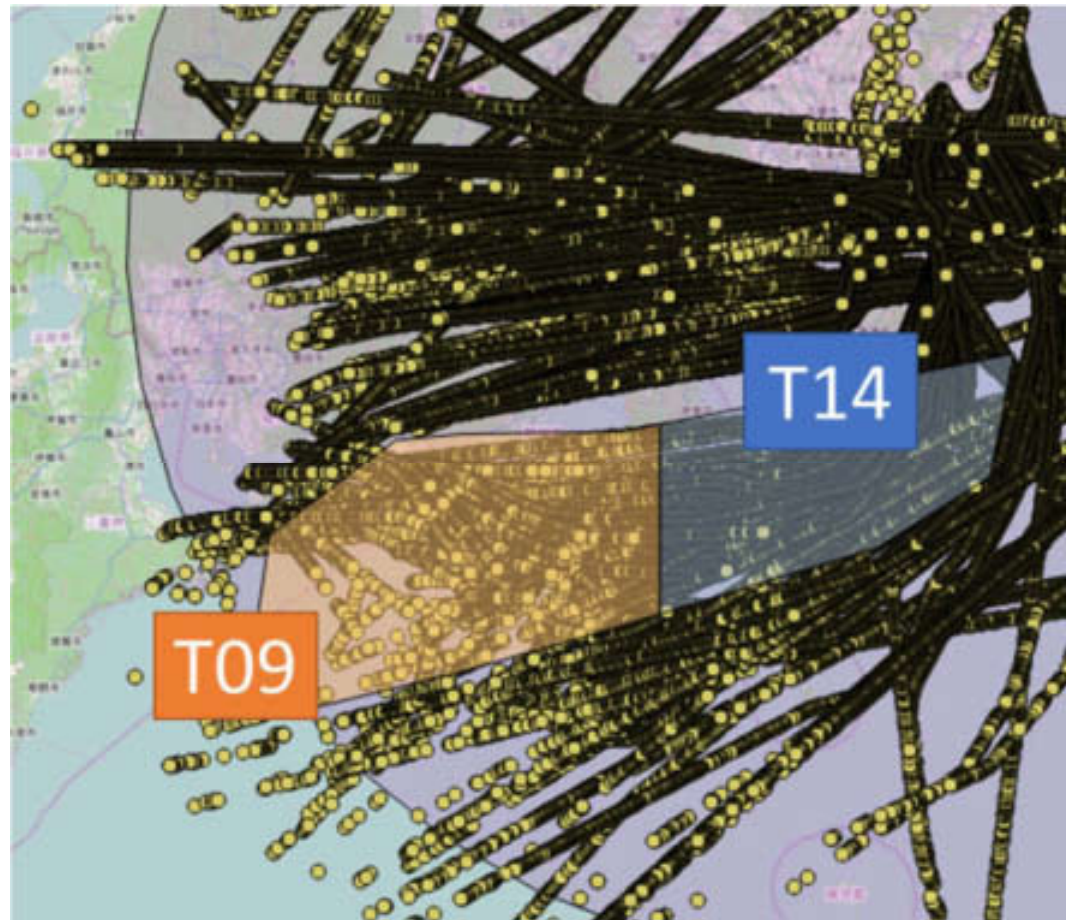
管制指示抽出方法を全便を含むCARATSデータに適用

軌跡と管制指示の同時取得

→管制指示抽出方法の検討用サンプルデータ

# ADS-Bの位置情報の取得例

(横浜市内20階ビル屋上で計測)

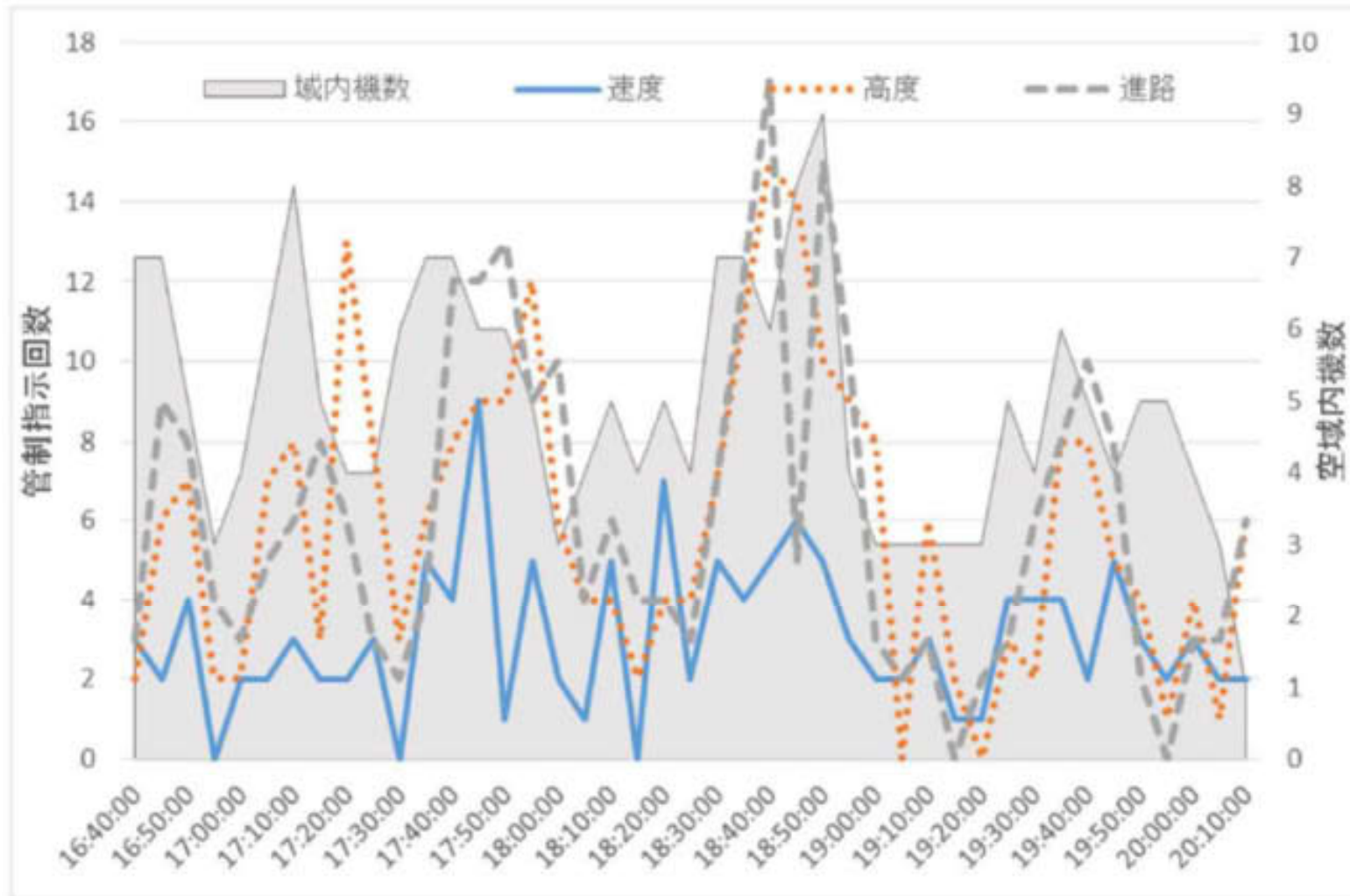


ADS-Bの位置情報の取得例



# 空域内機数と管制指示回数 of 状況

(T09セクタ、5分ごと回数)



# ADS-Bデータと管制指示データ

## T09・T14セクタにおける管制指示の実績回数

### ○有効管制指示回数

(T09)有効管制指示回数が多い  
→管制官のワークロードが大きい

### ○1機あたりの有効管制指示回数

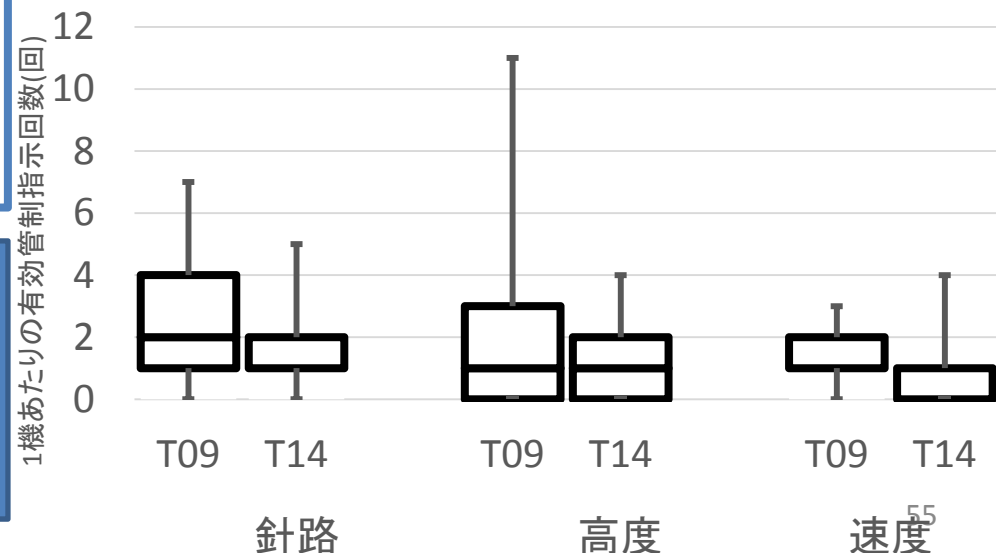
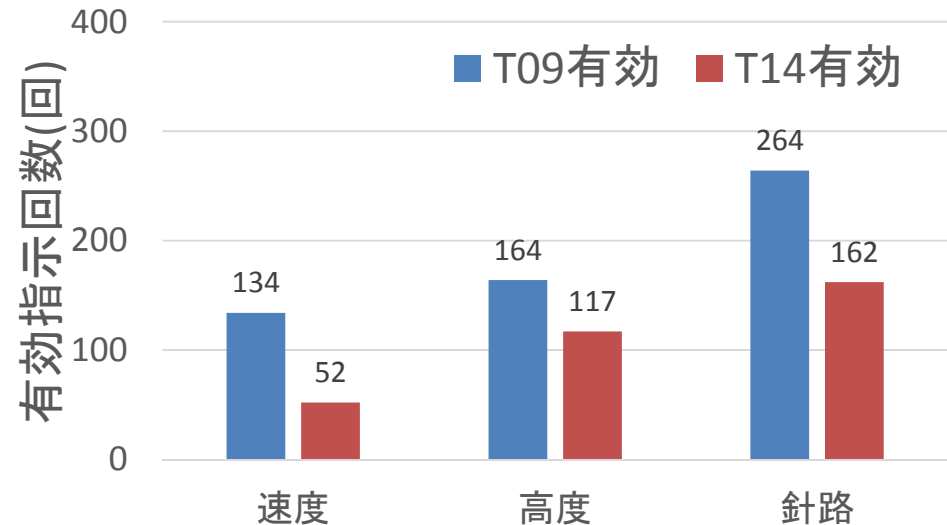
- 1機あたりの有効管制指示回数のばらつきが大きい  
→混雑を表す指標



・針路指示 ・高度指示

\* 高度指示は前回指示高度へ変化途中で次の指示がされることが多数→軌跡からでは管制指示を抽出するのは困難か。

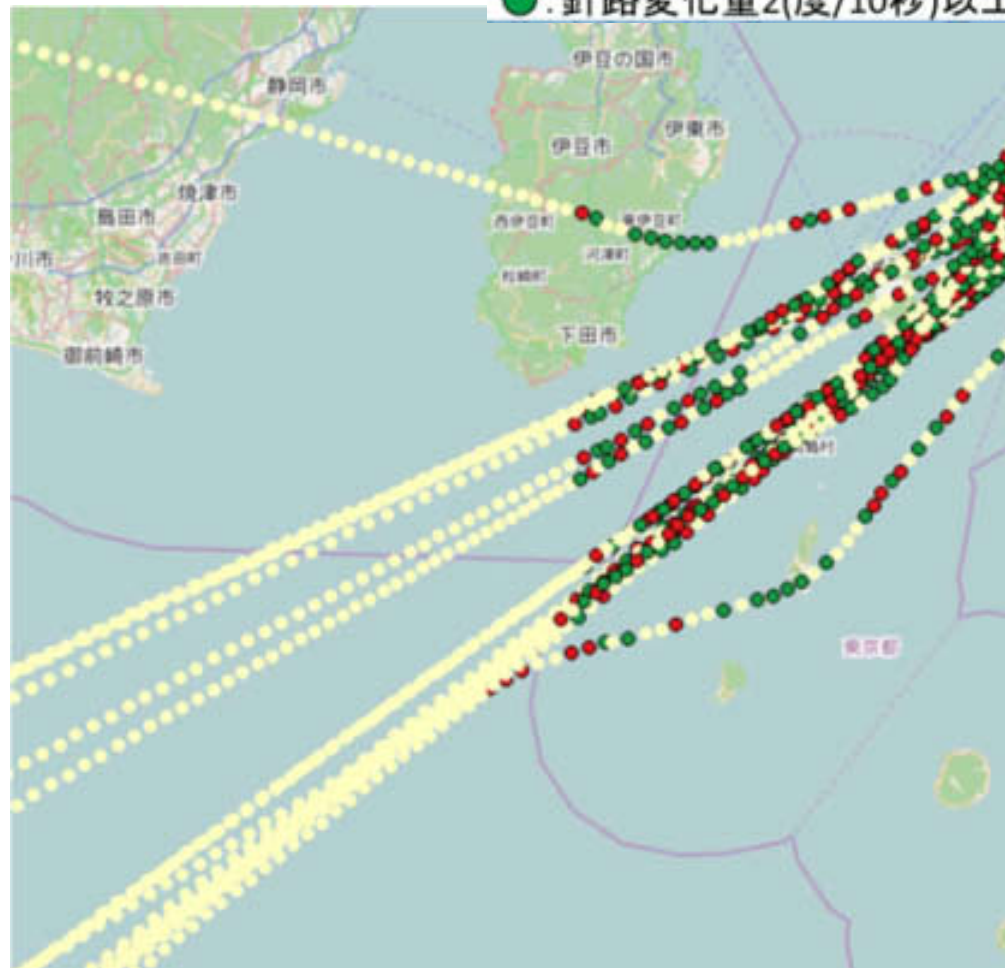
針路指示に着目して管制指示の抽出を試みる





# 針路指示の抽出

○CARATS Open Dataではデータ精度から  
針路が若干不安定



## 針路指示の抽出フロー

2点の緯度経度から針路を算出



時刻 $t$ における針路と $A$ 秒後(時刻 $t+A$ )における針路の差(針路変化量)を算出

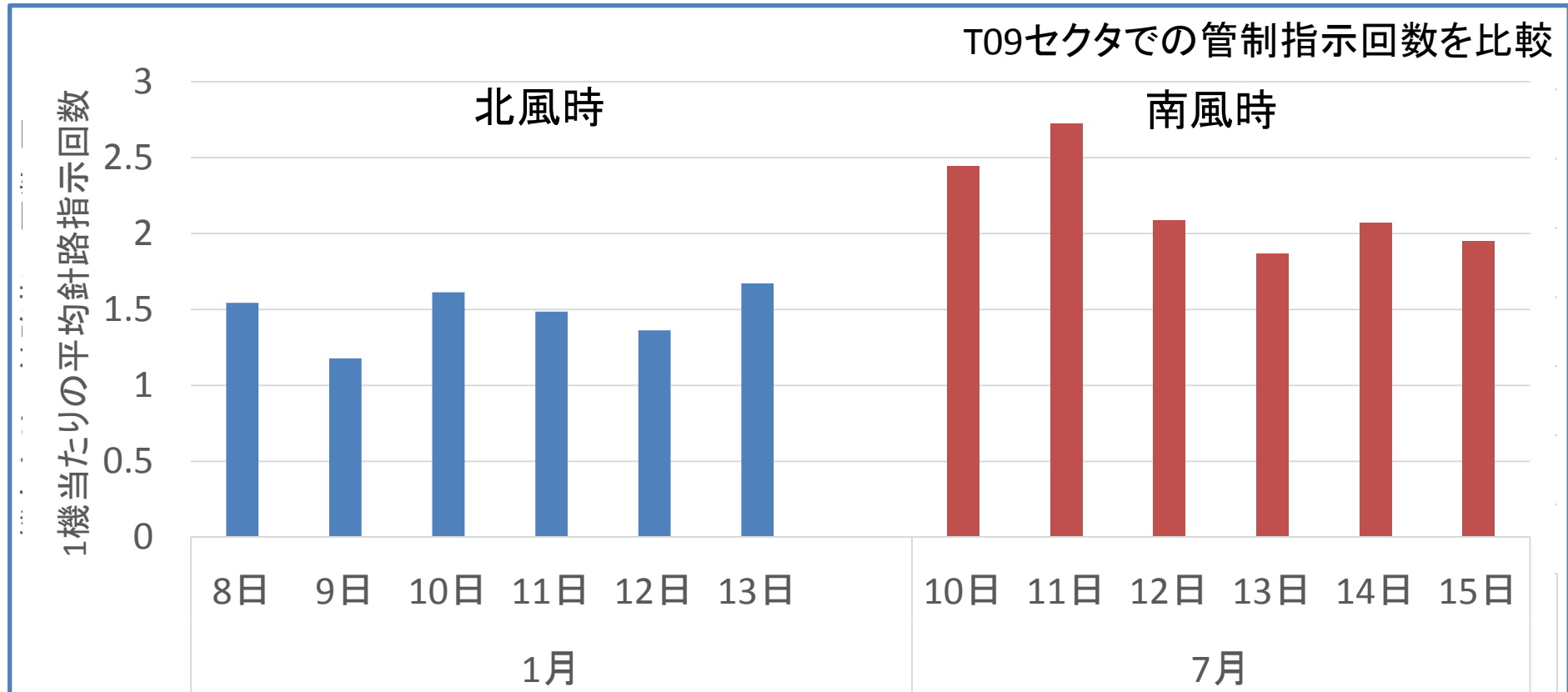


針路変化量が一定区間( $B$ )連続で閾値( $C$ )を超える



針路の変化が検出され針路指示が発出

# 針路指示抽出結果の例



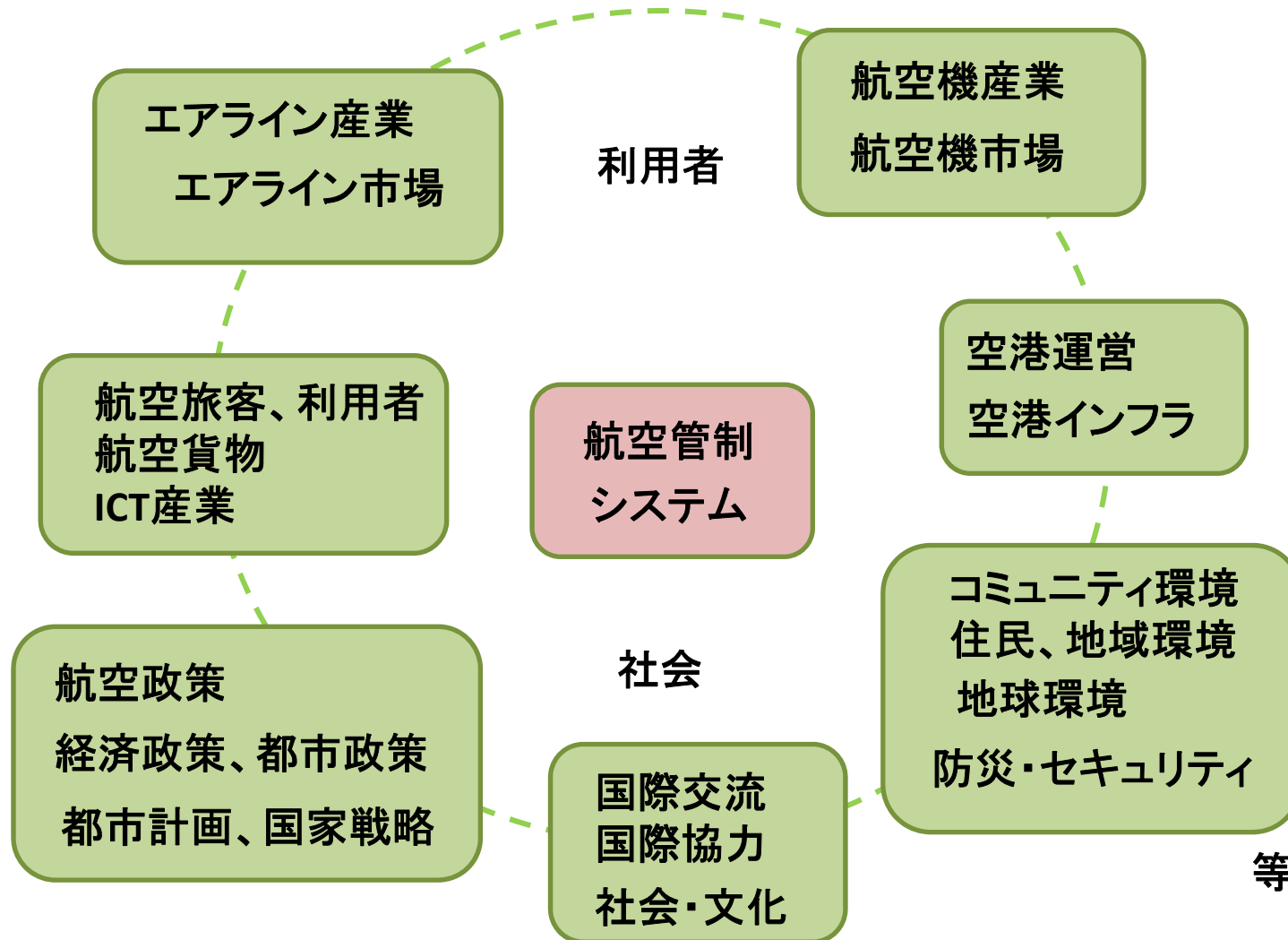
- 日によりばらつきがある
  - 気象条件等による影響
  - 羽田空港の滑走路容量による影響(南風時のほうが滑走路容量が小さい)
- 風向きによる違い(1日を通して同じ風向き運用であった日と比較)
 

南風時の日は北風時の日に比べ針路の指示回数が**多い(有意水準1%)**

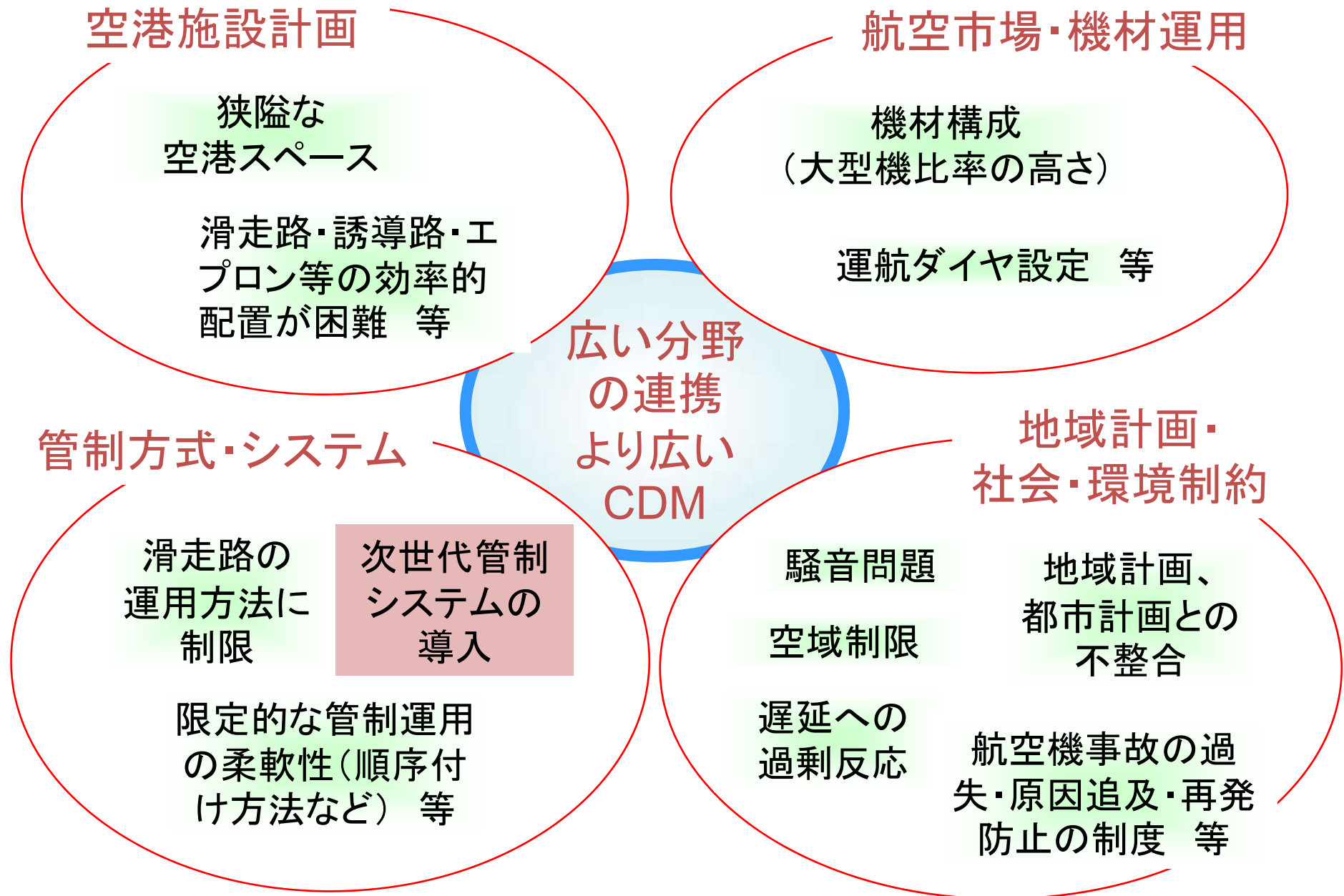
**航空交通、空港システムを取りまく  
分野の連携強化 -更なる活用-**

# 航空管制を取り巻く様々な環境

従来はブラックボックス化、専門分化が強いが、それでは限界



# 我が国の首都圏空港容量に関わる課題・諸要因





# 交通工学研究の役割を考える上で

## 更なるデータ公開への期待

- 研究のすそ野を広げ、理解者を増す
  - ⇒社会における理解形成(当該分野の重要性認知)
  - ⇒若手の参入, 当該分野への人材確保
- 研究の深度化を図り, 新たなアイデアを生み出す
  - ⇒セカンドオピニオン, 合意形成の促進
  - ⇒新たなビジネス・産業の創出につながる(GPS気象学)
  - ⇒行政対住民の単一構図からの脱却
- データ(情報)公開の促進による信頼の維持向上
  - ⇒実際は同等なデータを他から入手可能な社会
  - ⇒プロアクティブにすることで, 行政の消極性  
(根拠なき疑い等)を払拭

# おわりに

- 航空機市場の動向
- 我が国の航空交通システム構築  
に関わる将来計画
- 各国の航空交通円滑化の取組み  
-遅れ対策、容量増加、環境、効率化等-
- 航空交通データの公開とデータ利用環境  
に関わる状況
- データ活用で徐々に進む分析  
-今後の工学・計画上の研究進展に期待-
- 航空交通、空港システムを取りまく分野の連携強化  
-更なる空の活用-

ご清聴ありがとうございました