

# 気象を予測し安全かつ効率的な 離着陸を実現する技術

国立研究開発法人宇宙航空研究開発機構  
航空技術部門  
航空技術実証研究開発ユニット  
気象情報技術セクションリーダー  
又吉 直樹

## 1. 効率的な離着陸を実現する技術

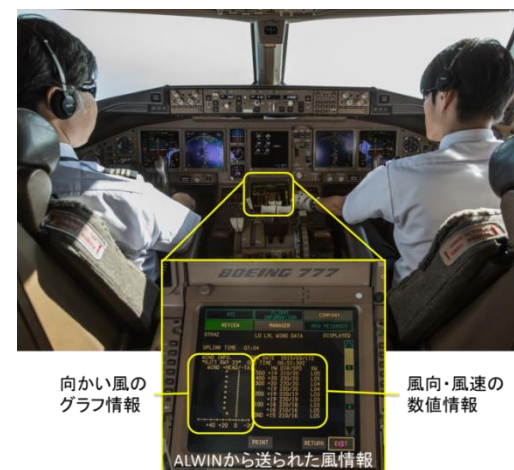
航空機自身を作り出す渦流(後方乱気流)に起因する離着陸間隔を短縮する技術



出展: NASA

## 2. 安全な離着陸を実現する技術

空港周辺の風の乱れ(低層風擾乱)を自動で検出・情報提供する技術



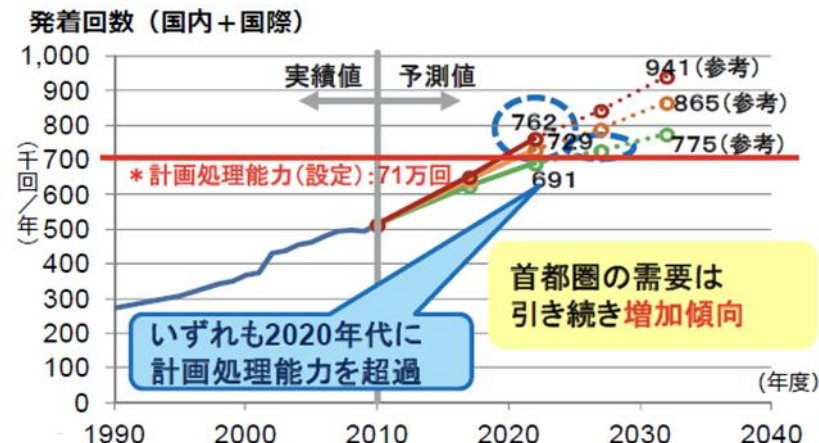
## 背景

2020年代には首都圏空港の発着需要が空港処理能力を**最大7%程度超える**見込みであり、**遅延が定常化する**恐れがある

⇒ **空港処理能力の増大が必要**

### 2020年代の需要予測

需要が処理能力の最大7%超  
(最大需要:76.2万回/年、能力:71万回/年)



首都圏空港の需要予測(出展: 国交省資料)

(凡例 赤:最大値、橙:中間値、緑:最低値)

## 課題

- 空港処理能力を増大させる手段として、**離着陸間隔の短縮が有効**
  - **後方乱気流管制間隔**(下表)のために、離着陸間隔が長くなっている
- ⇒ 離着陸間隔を短くするには**後方乱気流の影響軽減が必須**

現在の後方乱気流管制間隔  
後続機

	スーパー	ヘビー	ミディアム	ライト
スーパー (A380)	3 NM	6 NM	7 NM	8 NM
ヘビー (≥ 136トン)	3 NM	4 NM	5 NM	6 NM
ミディアム (< 136トン)	3 NM	3 NM	3 NM	5 NM
ライト (< 7トン)	3 NM	3 NM	3 NM	3 NM

後方乱気流管制間隔(4~8NM)は、通常の間隔(レーダ管制間隔 3NM)より長い

1NM = 1.85km

## 目標

離着陸時の管制間隔を平均10%短縮する

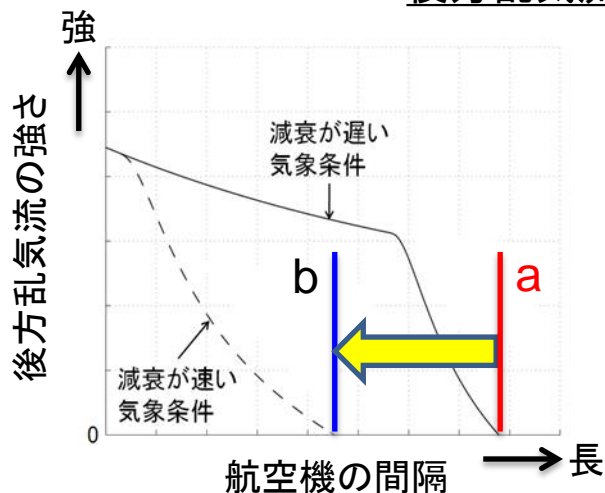
- ① 気象状況を反映して後方乱気流のリスクを予測し、気象状況に応じて後方乱気流管制間隔を短縮する

## 開発技術

### ① 後方乱気流リスク予測機能

JAXAの気象技術(乱気流予測)、飛行シミュレーション技術(乱気流危険性評価)により、後方乱気流を正確に予測し、安全な航空機間隔を動的に算出するアルゴリズムを開発

### 後方乱気流リスク予測機能の適用イメージ



- a. 現行の後方乱気流管制間隔は、後方乱気流が最も持続する最悪条件を想定しており、ほとんどの気象条件では過大な間隔となっている
- b. 個別の気象条件下で後方乱気流の残留時間を予測  
⇒現行基準より早く消滅する場合は、間隔短縮

後方乱気流の残留時間は気象条件により変化

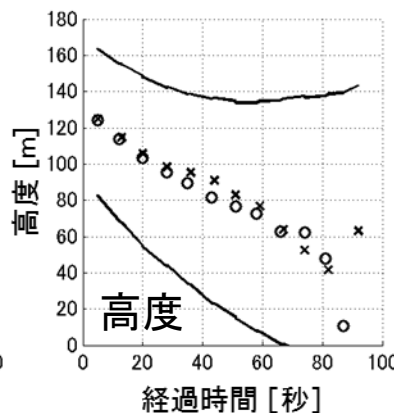
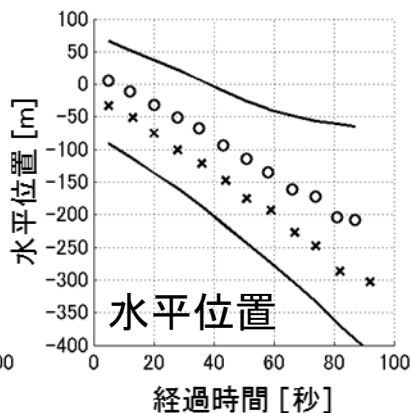
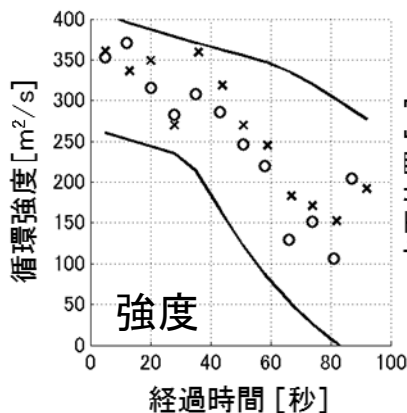
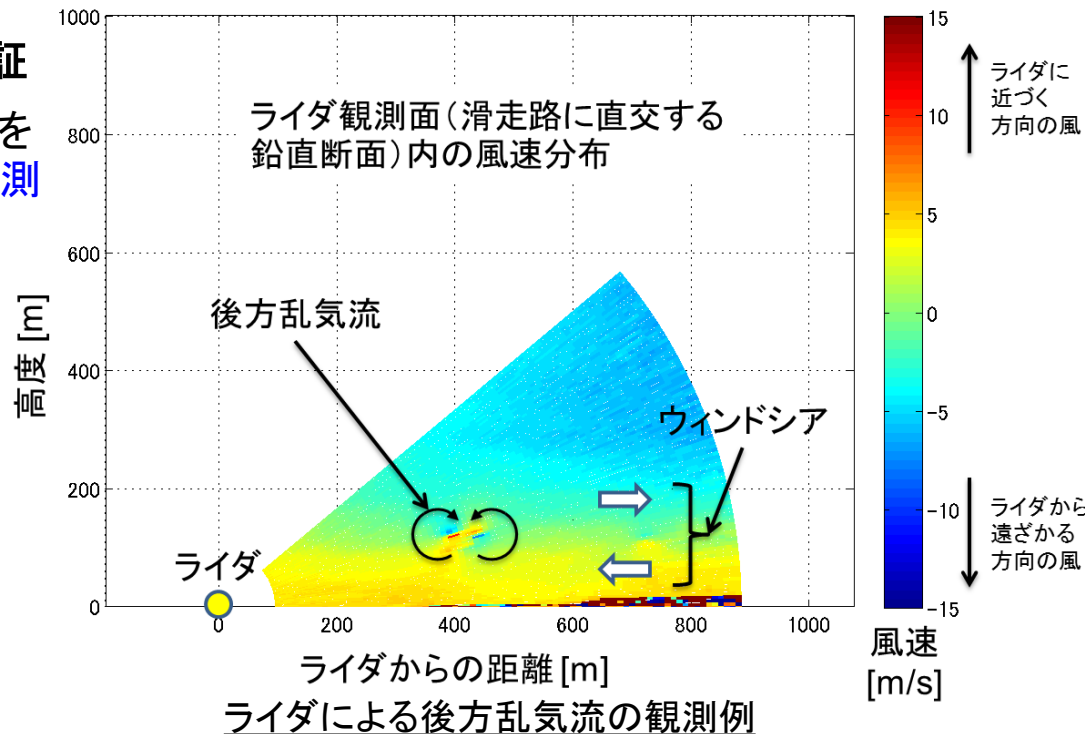
## 技術実証

### ① 後方乱気流の実測による安全性の実証

ライダー(レーザレーダ)により、後方乱気流を通年計測し、3320回の離着陸において予測の安全性を確認



ライダーによる観測の様子



### 後方乱気流予測の検証例

後方乱気流の強度、位置の観測値(○×)は、予測された上下限值(実線)内に収まっている

## 目標

離着陸時の管制間隔を平均10%短縮する

- ① 気象状況を反映して後方乱気流のリスクを予測し、気象状況に応じて後方乱気流管制間隔を短縮する
- ② 交通流(離着陸順、滑走路割付、等)を最適化し、後方乱気流の影響を軽減する

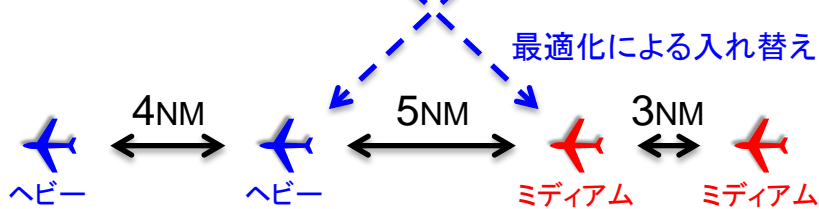
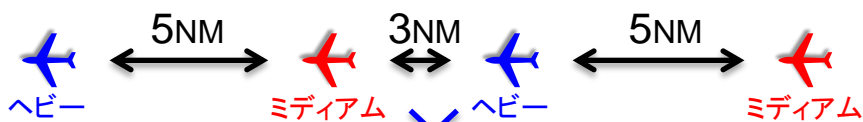
## 開発技術

### ② トラフィック最適化機能

JAXAの航空機運航技術(運航モデル化)、最適化技術により、離着陸間隔を短縮するよう交通流(離着陸順序、滑走路割当)を最適化するアルゴリズムを開発

### 離着陸順序の最適化による間隔の削減例

① 最適化ナシ = 4機で13NMの間隔



② 最適化アリ = 4機で12NMの間隔

同カテゴリの離着陸が続くように最適化

1 NM削減

現在の後方乱気流管制間隔  
後続機

	スーパー	ヘビー	ミディアム	ライト
スーパー (A380)	3 NM	6 NM	7 NM	8 NM
ヘビー (≥ 136トン)	3 NM	4 NM	5 NM	6 NM
ミディアム (< 136トン)	3 NM	3 NM	3 NM	5 NM
ライト (< 7トン)	3 NM	3 NM	3 NM	3 NM

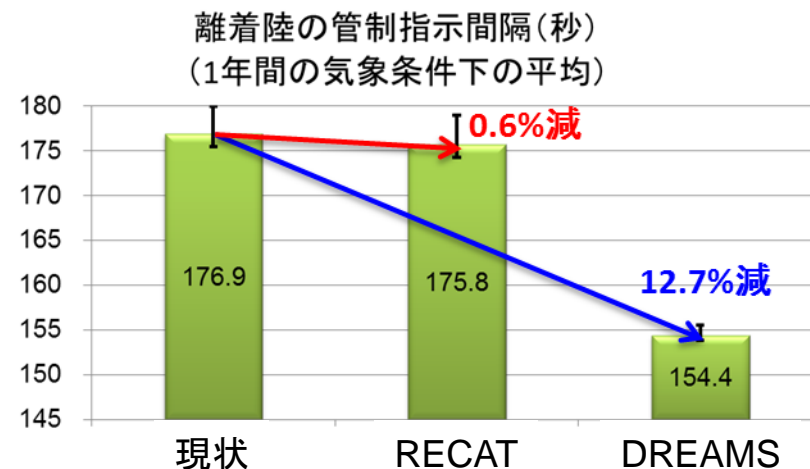
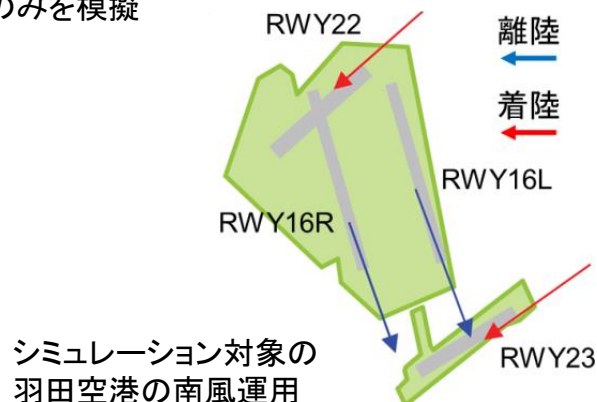
1NM = 1.85km

## 技術実証

### ② シミュレーションによる間隔短縮の実証

羽田空港を対象に、DREAMS技術の間隔短縮効果を試算\*し、**通年の平均間隔の短縮幅10%超を確認**

\*滑走路運用のみを模擬



**羽田空港での離着陸間隔の短縮効果の試算**  
空港運用が複雑な羽田空港では、既存技術(RECAT\*)に比してDREAMS技術の間隔短縮効果大きい

\*RECAT: 後方乱気流管制間隔の間隔区分の細分化

## 成果の活用

以下を通じた混雑空港の処理容量の拡大により、**ピーク時間帯の遅延低減**が期待される

- ① **国際規格化への貢献**: DREAMS後方乱気流リスク予測技術を、ICAO WTWG (Wake Turbulence Working Group)に報告し、規格化作業を支援している
- ② **航空局施策への反映**: DREAMSトラフィック最適化技術の一部(離着陸順序の最適化)を実現する管制支援ツールの導入(平成30年度予定)を、航空局が意思決定した

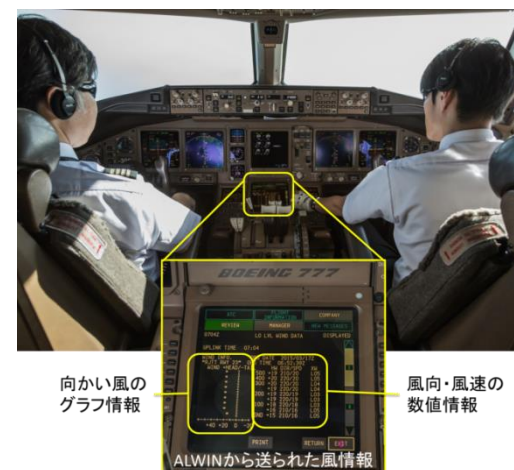
## 1. 効率的な離着陸を実現する技術

航空機自身を作り出す渦流(後方乱気流)に  
起因する離着陸間隔を短縮する技術



## 2. 安全な離着陸を実現する技術

空港周辺の風の乱れ(**低層風擾乱**)を自動で  
検出・情報提供する技術





## 背景

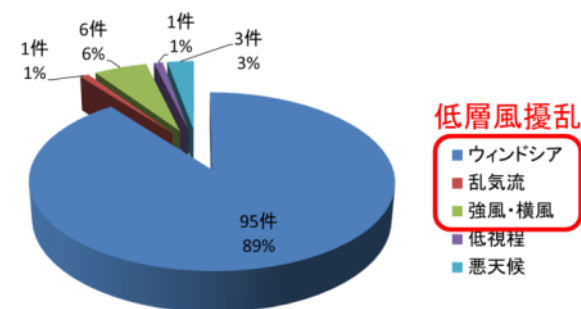
- 低層風擾乱\*は、**着陸復行(やり直し)の発生、就航率の低下**や航空機事故の要因となっている
- 現状の対策：パイロットへの情報提供
  - 主に**事故防止の観点**
    - 事故に直結する**大規模な風変化を検出**
    - 無線交信による**口頭での情報提供**

\*低高度でのウィンドシア(風の急変)、乱気流、強風

## 課題

従来の情報提供は事故防止の観点では有効  
しかし、**運航効率向上の観点で改善の余地がある**

- ① 着陸間際**の速度・姿勢を変化させる局所的な風変化の情報がない**(地形性乱気流など)
- ② 低層風擾乱の発生時にいつ着陸できるか、**着陸タイミングの判断を支援する情報がない**
- ③ **定量的、視覚的な風情報が航空機上で得られない**  
⇒**操縦の計画に活用できない**



成田空港での着陸復行の発生原因(2008年)  
⇒着陸復行の90%以上は、風擾乱が原因

局所的な風変化(地形性乱気流)も着陸復行の原因なんです。何とかして～！



乱気流あるようだけど、いつ頃着陸できるのかな??  
空中待機中...



## 目標

低層風擾乱の情報を提供し、**着陸可否の運航判断の支援を行うシステム**を開発する

## 開発技術

**低層風擾乱アドバイザーシステムLOTAS (Low-level Turbulence Advisory System)**を開発

### 主な機能

#### ① 局所的な風変化の自動検出

JAXAの飛行シミュレーション技術により航空機の揺れを予測し、**着陸復行につながる局所的な風変化を自動で検出**

#### ② 着陸タイミングの判断支援

JAXAの気象技術(レーダデータ処理)により、風変化と相関の高い**レーダエコー(降雨、降雪域)の10分後の分布を予測**

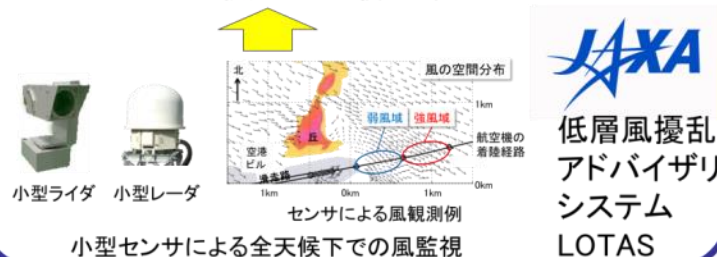
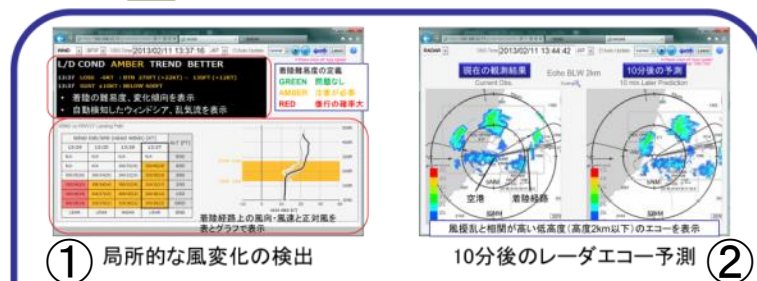
#### ③ 航空機への情報提供

JAXAのヒューマンファクタ技術(情報の可視化)により、**既存インフラ(ACARS\*)による航空機への定量的、視覚的な風情報の提供を実現**

\* Automatic Communications Addressing and Reporting System  
テキスト情報を送受信可能な航空機～地上間のデータリンク装置



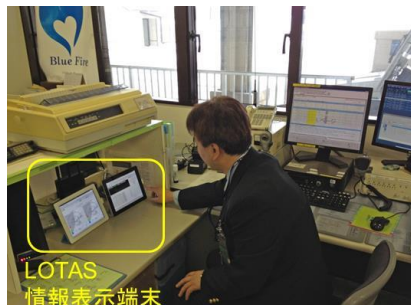
インターネット経由(Web)で情報提供



## LOTASが提供する運航支援情報



パイロットへ



LOTAS  
情報表示端末

運航支援者へ

## 機上のパイロット向けのテキスト情報

```

RJSY OBS TIME 06:22:00Z (JAXA SYS/UNOFFICIAL) 観測時刻
L/D COND RED TREND WORSE
LOSS -9KT: 150FT(+30KT)- 0FT(+20KT)
GUST +-10KT: BELOW 400FT
GUST +-15KT: BELOW 170FT
    
```

着陸の難易度、  
ウィンドシア、  
乱気流の情報

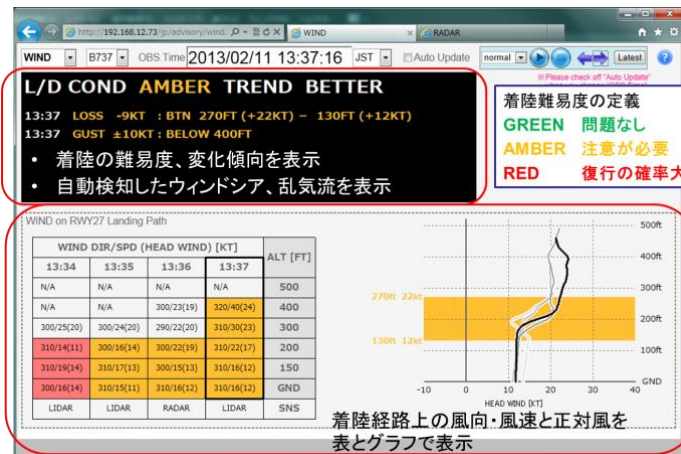
HEAD WIND [KT]	AGL	WIND DIR/SPD(HEAD WIND)
I	500FT	290/37KT (35KT)
I	400FT	290/36KT (34KT)
I	300FT	290/37KT (34KT)
I	200FT	290/29KT (27KT)
I	150FT	300/37KT (30KT)
I	100FT	300/31KT (26KT)
I	GND	310/27KT (20KT)

着陸経路上の  
風向・風速(括弧内は正対風)

## LOTASテキスト情報

風情報Web画面と同等の情報をテキスト化して提供

## 地上の運航支援者向けのWeb画面



**L/D COND AMBER TREND BETTER**

13:37 LOSS -9KT : BTN 270FT(+22KT) - 130FT(+12KT)  
13:37 GUST +-10KT : BELOW 400FT

- 着陸の難易度、変化傾向を表示
- 自動検知したウィンドシア、乱気流を表示

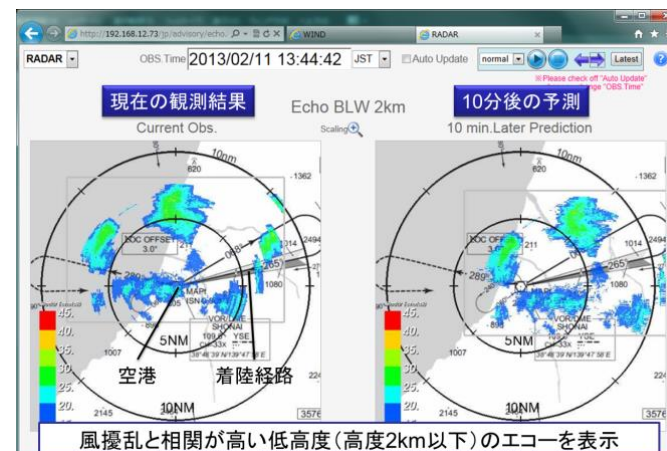
着陸難易度の定義  
GREEN 問題なし  
AMBER 注意が必要  
RED 復行の確率大

WIND DIR/SPD (HEAD WIND) [KT]	ALT [FT]
13:34 N/A	500
13:35 N/A	400
13:36 N/A	300
13:37 N/A	200
300/25(20)	300
300/24(20)	200
290/22(20)	150
310/30(23)	100
310/14(11)	50
300/16(14)	0

着陸経路上の風向・風速と正対風を  
表とグラフで表示

## LOTAS風情報Web画面

着陸経路上の風変化の最新情報を提供



現在の観測結果 Echo BLW 2km 10分後の予測

空港 着陸経路

風擾乱と相関が高い低高度(高度2km以下)のエコーを表示

## LOTASレーダエコーWeb画面

風変化と相関が高い低高度エコーの予測情報を提供

## 技術実証

- 山形県庄内空港でLOTASを試験運用(約2ヶ月で約200便に情報提供)
- ユーザであるエアラインの評価により、アドバイザリシステムの有効性を実証
  - ⇒ 航空機への風情報提供、10分後の低高度レーダエコー予測に特に高い評価
  - ⇒ 90%以上のパイロットがLOTASの風情報が有効と回答



LOTAS  
情報表示端末

空港内のエアライン事務所への  
LOTAS情報表示端末の設置



航空機への風情報の送信例

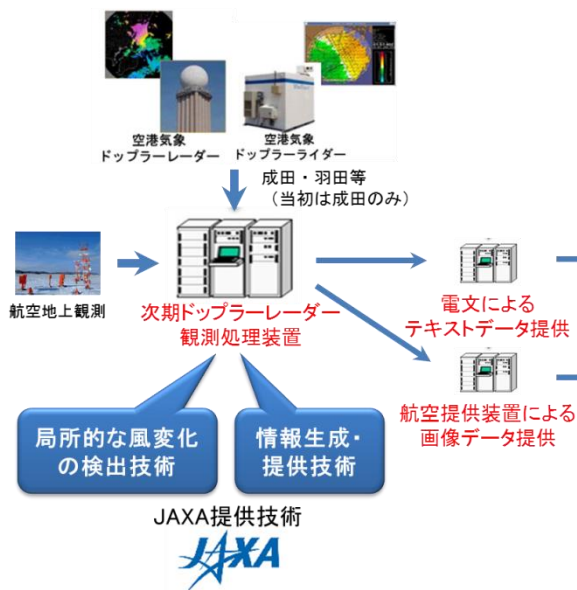
## 成果の活用

- LOTASで開発した情報生成・提供技術を気象庁に技術移転
  - 「**空港低層風情報ALWIN**」として成田空港等で平成28年度より**実用化予定**
- ⇒ **着陸復行の低減や安全性の向上に効果が期待される**

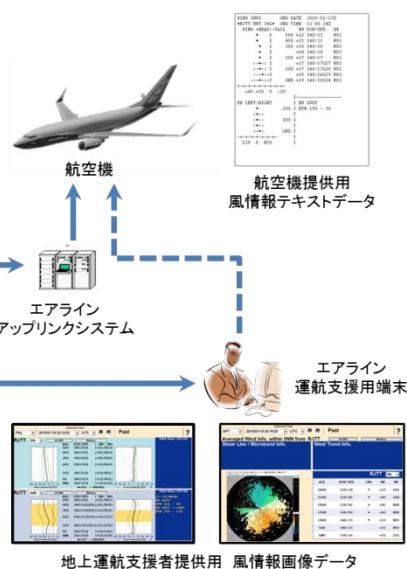
### 空港低層風情報 ALWIN (Airport Low-level Wind Information)

気象庁の空港気象ドップラーライダー、ドップラーレーダーを用いて、空港周辺の着陸経路上の風向・風速や風の急変域を観測し、エアラインへ提供される情報

#### ALWINの運用イメージ



#### エアラインによる利用例



#### ALWIN情報の利用例(運用評価時)

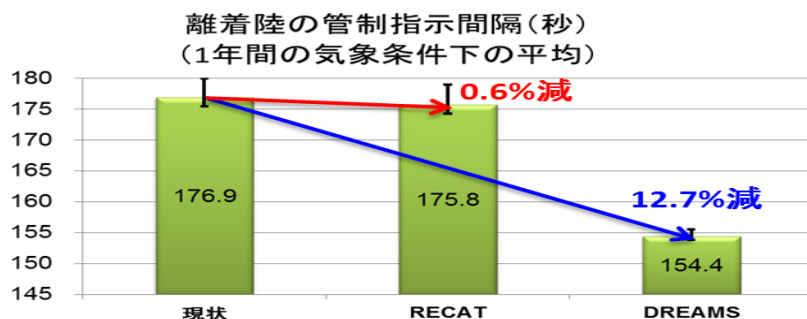
パイロットは飛行中にALWINの情報を参照し、離着陸時の操縦方策の計画に役立っている (撮影協力 JAL)

## 1. 効率的な離着陸を実現する技術

航空機自身を作り出す渦流(後方乱気流)に起因する離着陸間隔を短縮する技術を開発し、国際規格化を支援すると共に、国交省施策への反映が進められている

## 2. 安全な離着陸を実現する技術

空港周辺の風の乱れ(低層風擾乱)を自動で検出・情報提供する技術を開発し、気象庁の空港低層風情報ALWINとして平成28年度から実運用が予定されている



国内混雑空港での離着陸間隔の短縮効果の試算



ALWIN情報の利用例(運用評価時)