

第25回電子航法研究所研究発表会

NECのGBAS開発の取り組み

2025年6月13日

日本電気株式会社
センシングプロダクト統括部
航空システムグループ
井上 恵一

目次

1. NECが携わる航空保安施設のご紹介

2. GBASの概要

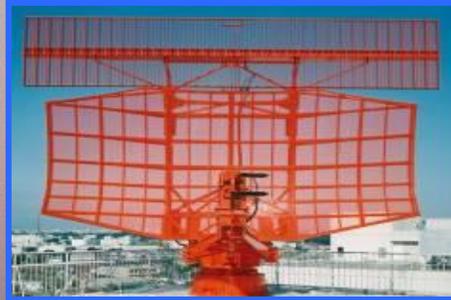
- GBASで実現可能なこと
- 装置構成
- 性能要件

3. NECのGBAS開発の取り組み

- NEC GBASの歴史
- プロトタイプの開発
- 羽田空港のGBASについて
- 海外展開について

1. NECが携わる航空保安施設のご紹介

1. NECが携わる航空保安施設のご紹介



ASR/SSR

Airport Surveillance Radar /Secondary Surveillance Radar



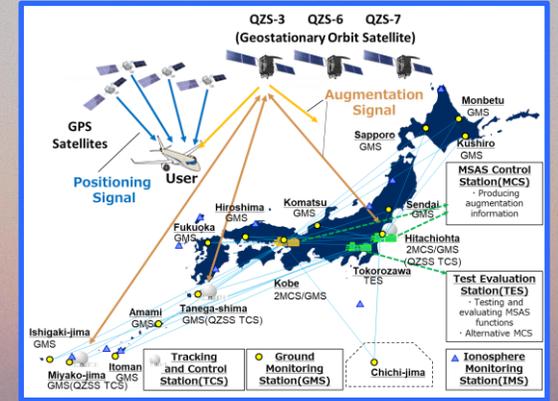
PAR

Precision Approach Radar



ARTS

Automated Radar Terminal System



MSAS

Michibiki Satellite-Based Augmentation Service



ILS

Instrument Landing System



VOR/DME

VHF Omnidirectional Radio Range /Distance Measuring Equipment



TACAN

Tactical Air Navigation System



GBAS

Ground-Based Augmentation System

2. GBASの概要

2. GBASの概要

GBASで実現可能なこと

GBASは航空機がGPSを利用し精密進入着陸を行うためのシステム。
以下の特徴を持つ。

■ 複数の滑走路の進入経路に対応

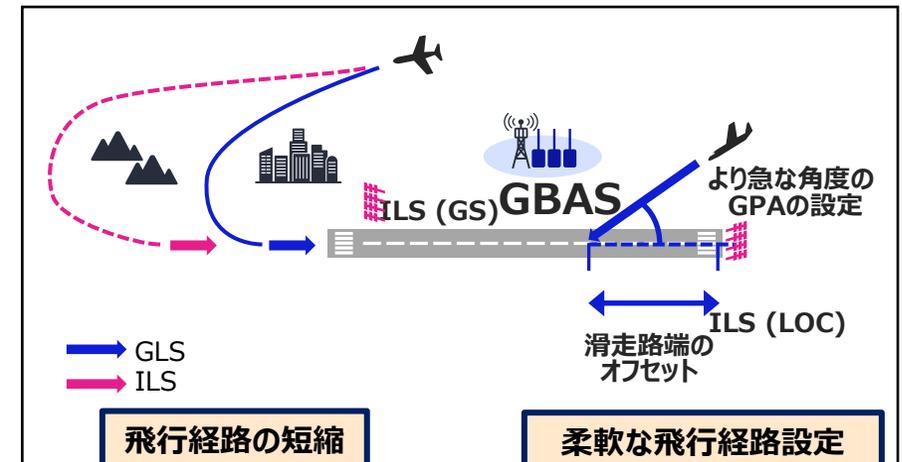
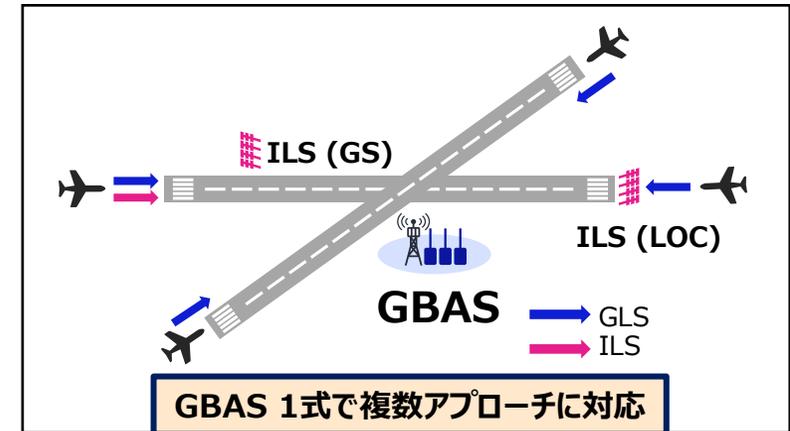
- 複数の進入経路に対して、1つのシステムで対応が可能

■ 進入経路の短縮が可能

- 柔軟な進入経路を設定でき、進入経路の短縮が可能

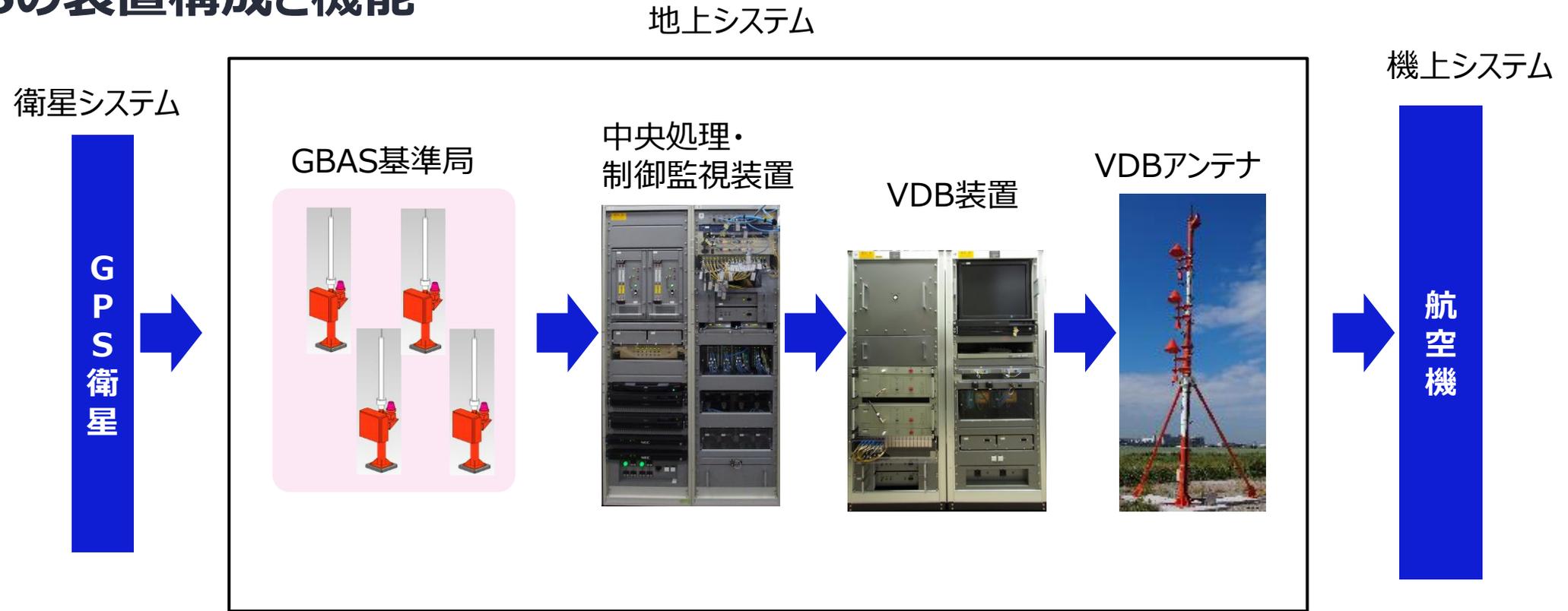
■ 進入角度、タッチダウンポイントを柔軟に設定可能

- 進入角度、タッチダウンポイントをパラメータとして設定するため、工事なしでの変更・追加を実施可能



2. GBASの概要

GBASの装置構成と機能



2. GBASの概要

GBASのサービス範囲

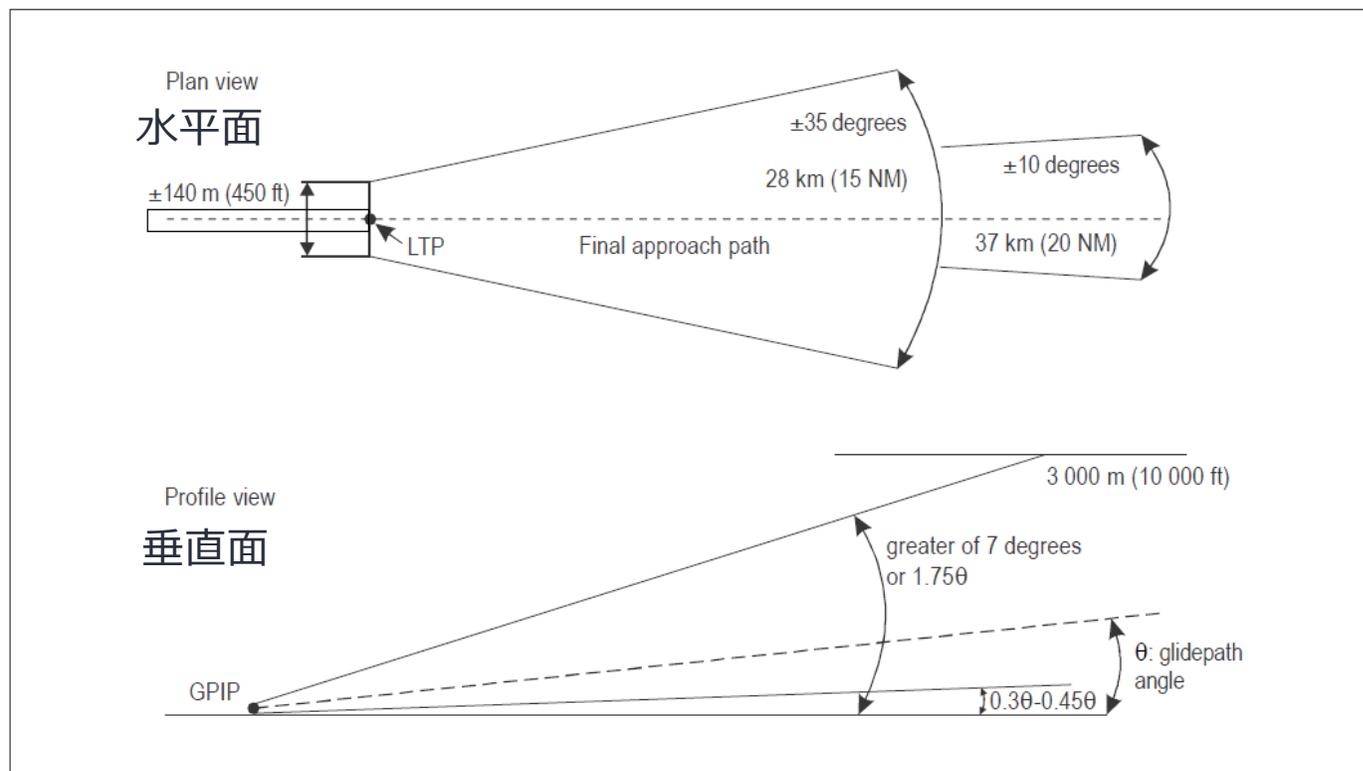
右図はVDBアンテナから送信される電波のサービス範囲

■ 水平面

- 滑走路端の両側140mの地点から、進入方向を見て±35度方向に28km(15NM)地点までの扇状の範囲
- 滑走路端の両側140mの地点から、進入方向を見て±10度方向に37km(20NM)地点までの扇状の範囲

■ 垂直面

- 着陸地点を基準に0.9度から7度までの範囲
- 3000m(10000ft)を超える範囲は対象外



GPIP — glide path intersection point
LTP — landing threshold point

2. GBASの概要

GBASの性能要件

■ CAT-IのGBASの性能要件は、精度、インテグリティ、継続性、アベイラビリティの4つ

項目	性能要件の内容	性能要求値
精度	<ul style="list-style-type: none">測位結果と真の位置の差、位置誤差	<ul style="list-style-type: none">水平：16m（95%値）垂直：4m（95%値）
インテグリティ	<ul style="list-style-type: none">安全性を保障していることを意味する情報の信頼性の指標システムが使用不可の時に警報する能力を含む	<ul style="list-style-type: none">誤差が保護レベル未満である確率： $1 - 2 \times 10^{-7}$ in any Approach警報到達時間： 6秒（地上3秒、機上3秒）
継続性	<ul style="list-style-type: none">システムが意図せず停止することなく機能を 提供する能力	サービスが停止しない確率： $1 - 8 \times 10^{-6} / 15s$
アベイラビリティ	<ul style="list-style-type: none">システムがユーザに利用される時間のうち、 信頼できる情報が提供される時間の割合	99%～99.999%（運用環境による） ※羽田GBASは99%以上

3. NECのGBAS開発の取り組み

3. NECのGBAS開発の取り組み

■ NECは1997年からGBAS開発を開始し、長い時間をかけて培った技術により、GBASの運用機材の開発を実現。

97～07年度	08～10年度	11～14年度	14～16年度
---------	---------	---------	---------

研究機材開発 (仙台空港)	CAT-I プロトタイプ開発 (関西国際空港)	CAT-III プロトタイプ他開発 (新石垣空港)	運用品に向けた準備
------------------	----------------------------	------------------------------	-----------

基礎技術習得

- GPS技術
- ディファレンシャル補正技術
- データリンク技術 など

精度要件達成



安全性設計に注力

- 安全性設計プロセス
- 衛星故障モニタ
- 電離圏異常モニタ

運用品を視野にいたったHW選定

- ボードコンピュータ
- RTOS
- 基準局受信機 など

機上機材とのインターフェース確立

- Boeing社/JAL/ANAとのフライト試験

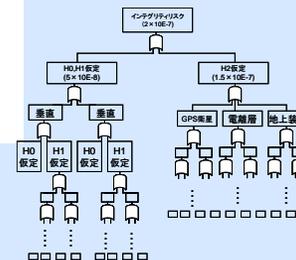
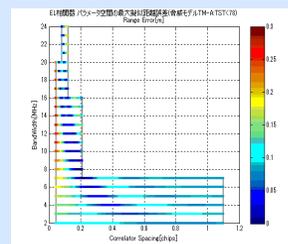


安全性設計を深耕

- 要員拡大
- アルゴリズム改良
- 検証方法を改善

海外にプレゼンスアピール

- 国際標準検証活動
- 国際会議での発表



検証

- ソフトウェア試作
- アルゴリズム改良
- 電子研との共同研究

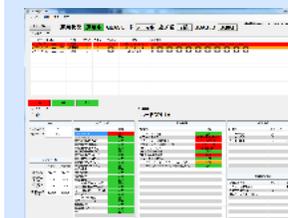
営業活動

- 国内エアラインへのPR

16～24年度

羽田空港GBAS

開発と納入



3. NECのGBAS開発の取り組み

プロトタイプの開発

NECは以下のGBASプロトタイプ的设计、製造、検証を実施し、GBAS開発に関する技術を習得。

■ CAT-Iプロトタイプ

- 関西国際空港
 - 運用機材と同等のハードウェアの設計・製造、安全性設計の実施
 - 2010年に設置
 - Boeing 787を用いたフライトデモに使用

■ CAT-IIIプロトタイプ

- 新石垣空港
 - CAT-III用の設計検討、CAT-Iのインテグリティに関するアルゴリズムの改良の実施
 - 2014年に設置
 - GAST-DベースラインSARPsの検証、低磁気緯度地域での評価・検証に使用



3. NECのGBAS開発の取り組み

羽田空港のGBASについて(1/3)

- 2025年1月23日より羽田空港にて、GBASの正式な運用が開始された。
- NECは運用機材として国産初号機、アジア初の羽田GBASを設計・製造した。
 - VDB装置2式の構成（詳細は次ページに示す）
 - 厳しい電離圏環境に対応するため、電子航法研究所様が保有する電離圏フィールドモニタ(IFM)の特許を活用。
→電離圏活動の影響を低減し、ICAOで規格化されたCAT-Iの性能要件を達成した。



3. NECのGBAS開発の取り組み

羽田空港のGBASについて(2/3)

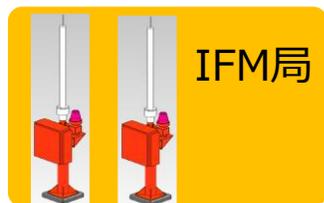
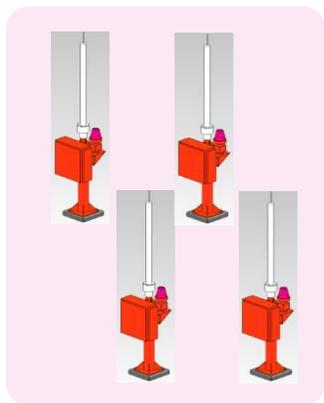
羽田GBASの装置構成

地上システム

衛星システム

GPS衛星

GBAS基準局



※羽田GBASにて追加

中央処理・
制御監視装置



VDB装置



VDBアンテナ



※羽田GBASにて追加

機上システム

航空機

GPS観測データを送信

- ・GPS擬似距離
- ・搬送波
- ・航法メッセージ

GPS観測データを受信

GBASメッセージを作成

- ・誤差補正データ
- ・インテグリティ情報
- ・最終進入経路情報

GBASメッセージを
RF信号に変換

GBASメッセージを
VHFにて空間に送出

受信データから、
最終進入経路に対する
偏差を計算し誘導

- ・GBASメッセージ
- ・GPS観測データ

3. NECのGBAS開発の取り組み

羽田GBASにおける安全性設計（1/3）

インテグリティ(安全性)と継続性の保証

- GBASの安全性設計は、地上システムのみでなく衛星や航空機側の様々な要素を加味する必要がある。
- GNSSを使用するシステムでは**インテグリティおよび継続性を保障するための指標**として**保護レベル**が使用されている。

■ 保護レベル（PL : Protection Level）

- 測位結果の信頼範囲。保護レベルが測位誤差より大きくなるように決定することで、安全性を保障する。
- 地上システムが提供するパラメータを使用して機上計算する。

$$VPL_{H0} = K \sqrt{\sum_{i=1}^N S_{vert,i}^2 \sigma_i^2}$$

地上システム起因する誤差の見積もり

機上システム起因する誤差の見積もり

電離圏に起因する誤差の見積もり

対流圏に起因する誤差の見積もり

$$\sigma_i^2 = \sigma_{gnd,i}^2 + \sigma_{air,i}^2 + \sigma_{iono,i}^2 + \sigma_{tropo,i}^2$$

地上が提供

機上で決定

地上が提供する
データから機上で計算

3. NECのGBAS開発の取り組み

羽田GBASにおける安全性設計 (2/3)

インテグリティ(安全性)と継続性の関係

■ インテグリティと継続性はトレードオフの関係となっているが、両立させる必要がある。

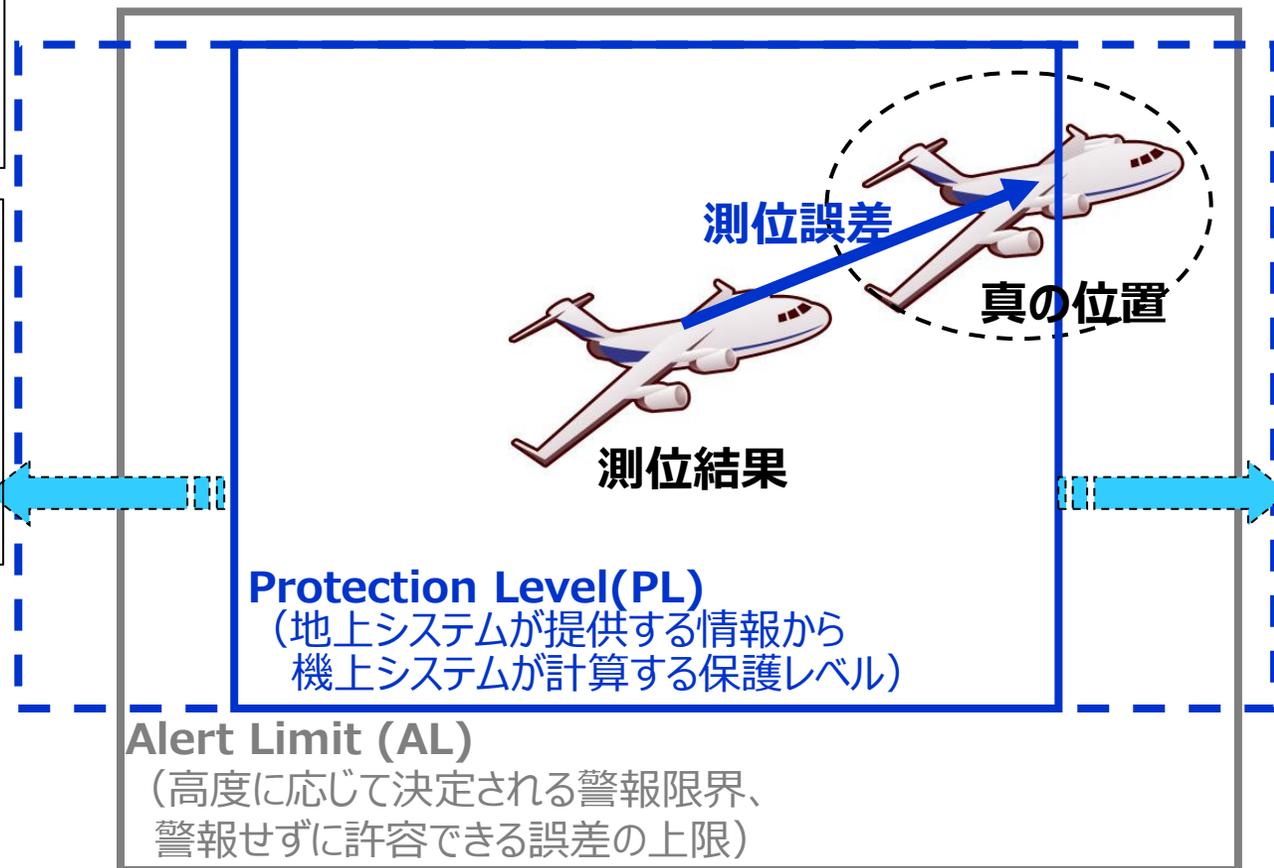
CAT-I のインテグリティ要求

$P(\text{測位誤差} > \text{PL})$

$< 2.0 \times 10^{-7}$

・インテグリティを保障するためには、
測位誤差よりもPLが大きくなり安全性が保障されるよう、
保守的な σ を提供する必要がある。

保護レベルを大きくする



CAT-I の継続性要求

$P(\text{サービス停止})$

$< 8.0 \times 10^{-6}$

・継続性を保障するためには、
PLがAlert Limitを下まわりサービス継続するよう、 σ を
提供する必要がある。

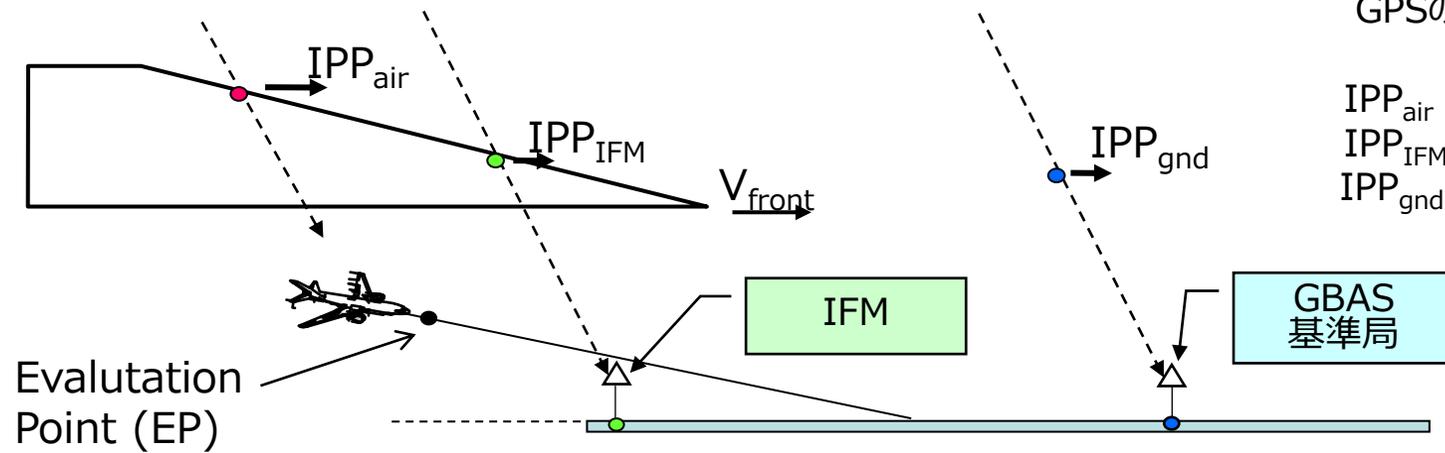
保護レベルを小さくする

3. NECのGBAS開発の取り組み

羽田GBASにおける安全性設計 (3/3)

誤差要因の影響低減、インテグリティ(安全性)と継続性の両立

- インテグリティ(安全性)を保障しつつ保護レベルを低下させるために、誤差要因の影響を低減した。
- GBASの主要な誤差要因としては電離圏脅威による電離圏遅延誤差があげられる。
 - ・ 日本は米国と比較し低磁気緯度の地域であり、電離圏脅威の影響を受けやすい地域。
- 羽田GBASでは、厳しい電離圏環境でCAT-Iの性能を実現するために、**電離圏フィールドモニタ(IFM)**を導入し電離圏脅威の影響を低減した。
 - ・ IPP_{IFM} ※と IPP_{gnd} の電離圏遅延差が大きい場合に、異常と判定し、 Worst Caseの誤差を小さく見積もることができる。
- このように主要な誤差要因の影響を低減することでインテグリティと継続性を両立した。



3. NECのGBAS開発の取り組み

海外展開について

■ タイにおける実証実験プロジェクトの実施（周波数の国際協調利用促進のための海外展開プロジェクト）

タイのスワンナプーム国際空港にてGBASの実証実験プロジェクトを実施。

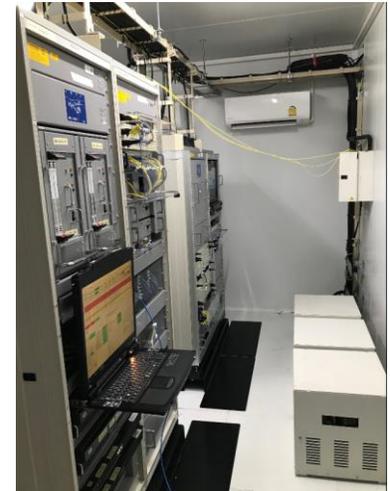
実証実験用のGBAS機材を設置し、低磁気緯度の電離圏環境にて実現性の確認を実施。

インテグリティ・継続性を満たしアベイラビリティ99%を達成。

■ 実施期間：2020年～2024年

- 機材設置場所の検討
- 機材設置場所の調査、機材の製造および工事設計
- 設置、調整作業、フライトデモ、現地機関へのトレーニング
- RFIの調査および電離圏シンチレーションの調査

■ タイでの実証実験を足掛かりにGBAS海外展開を進めていく。



まとめ

- NECは、長年にわたる電子航法研究所様の研究支援を通じて、製品化にむけた技術ノウハウを培い、航空局様ご指導の下、日本初の運用GBASを開発いたしました。
- 今後とも、GBASの発展に向け、ご支援ご協力の程よろしく願いいたします。

※プロトタイプ開発

電子航法研究所様とのご契約にて実施しました。

※周波数の国際協調利用促進のための海外展開プロジェクト

総務省様とのご契約にてご指導の下、

タイの現地機関、電子航法研究所様、航空局様にもご協力いただき実施しました。

NEC

\Orchestrating a brighter world