

# 安全性解析のための GBASプロトタイプ概要

※工藤正博、藤井直樹、福島荘之介、齊藤真二、吉原貴之、齋藤享、山康博、星野尾一明

通信・航法・監視領域

第9回電子航法研究所

研究発表会

平成21年6月11,12日

# 本日の発表の内容

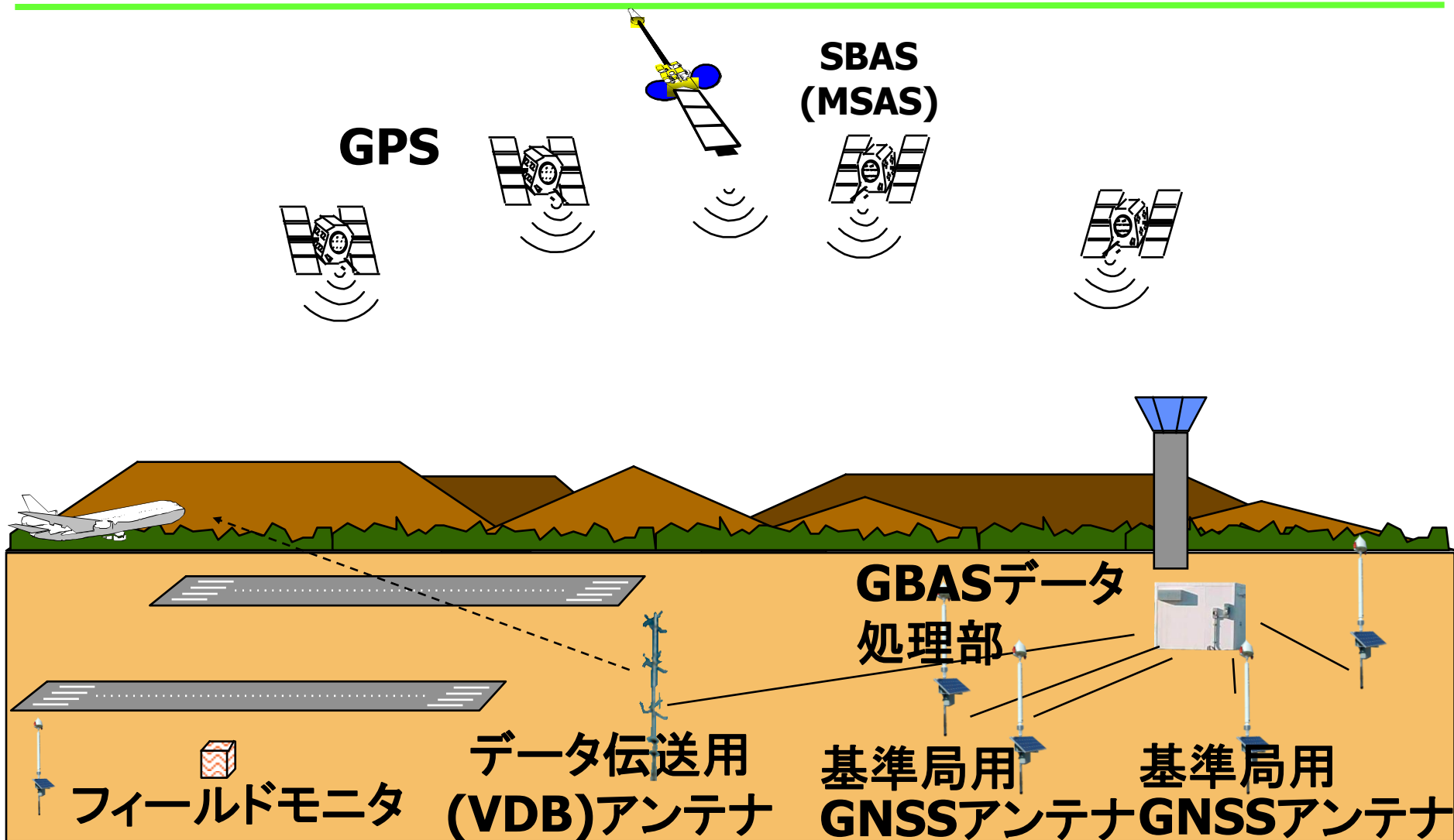
---

- ◆ GBASの概要について
- ◆ GBAS研究の当所の取り組み
- ◆ インテグリティ問題について
- ◆ 安全性解析
- ◆ まとめ

# GBASの概要について

- ◆ 地上形衛星航法補強システム
  - Ground-based Augmentation System
- ◆ GBASの原理はディファレンシャルGPS
- ◆ 誤差補正情報、完全性情報、経路情報を航空機に提供
- ◆ ILSに代わり精密進入を実現
- ◆ 複数滑走路への対応、安定した進入コース、高度な利用

# GBASを構成する要素



図ー1 GBASの構成

# GBASの補正情報

- ◆ 基準局と航空機の位置が十分近いなら、基準局でのGPS信号にかかる監視情報が航空機でも同様に適用出来るであろう、という仮定に基づく。
- ◆ この仮定が成立しない場合、残差の要因となる。

## 次のような事例

- ◆ 要求サービスに比して基準局と航空機間が離れ過ぎている
- ◆ 局所的に著しい空間変動がある  
→ 電離層の変動

# GBASの誤差要因

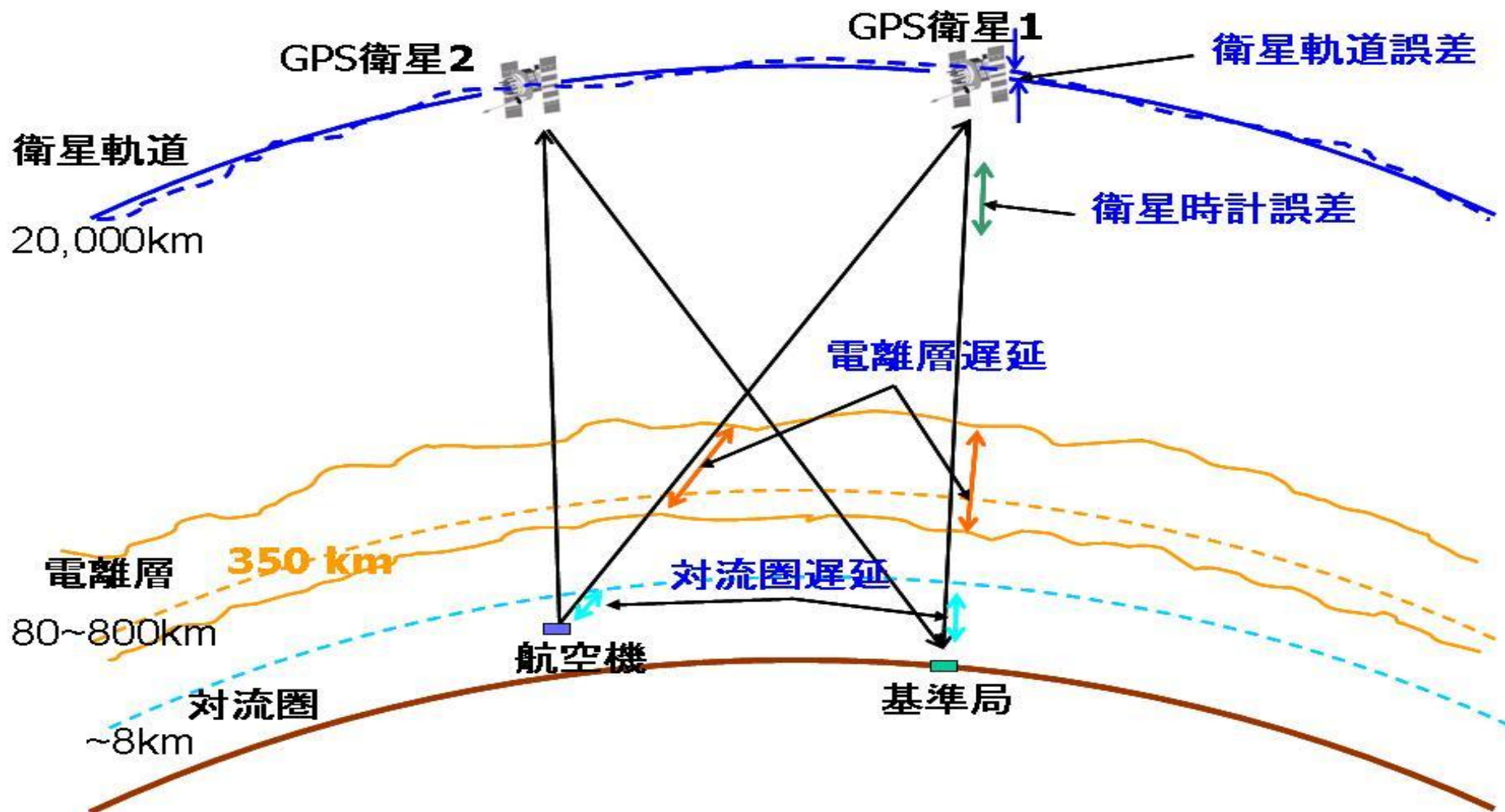
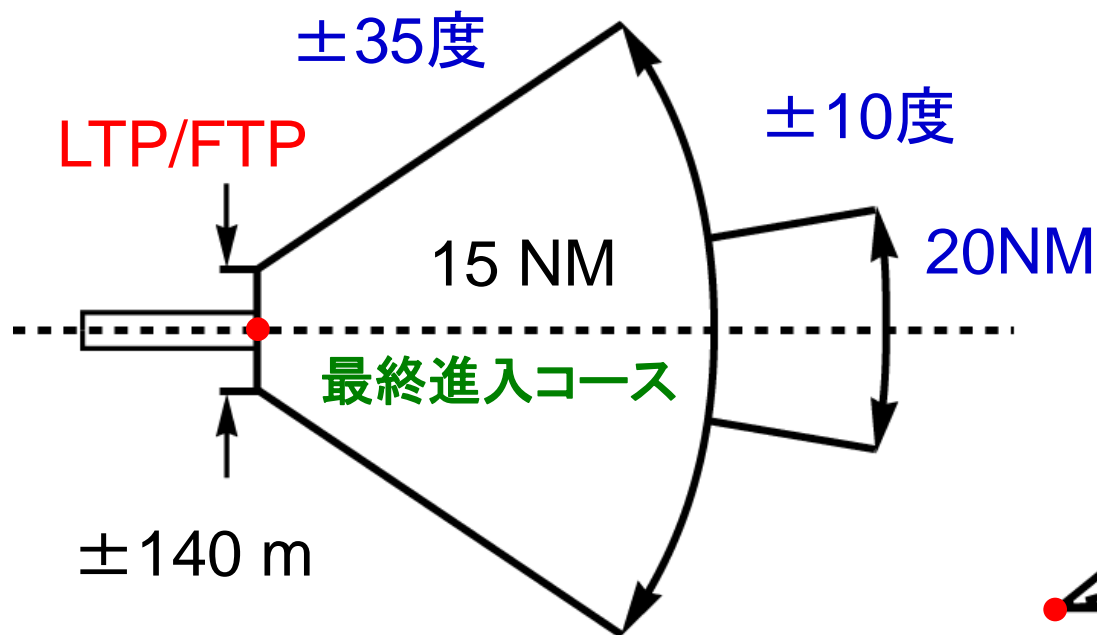


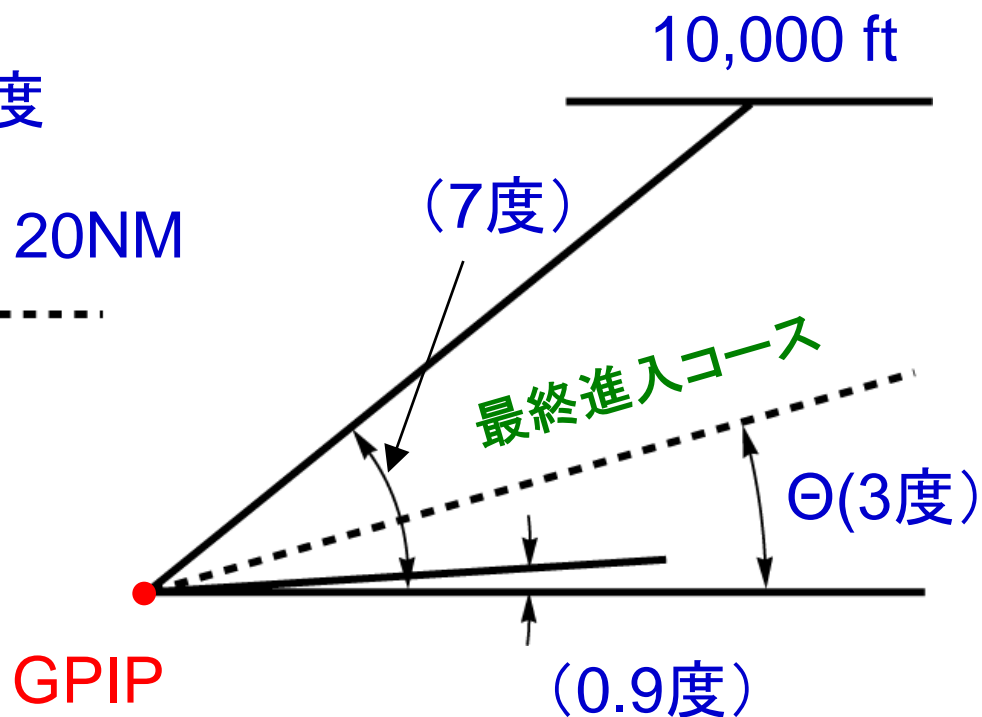
図-2 GNSSにおける誤差の要因

# GBASの覆域 (最小要件)

## 平面図



## 側面図

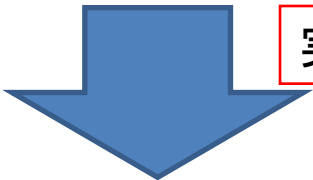


# GBAS VDBの覆域

- ◆ 実際には、水平偏波の無指向性アンテナが使われており、十分に広い空間をカバーする
- ◆ VDB送信アンテナを中心に半径約42km、高さ約3kmの円柱状の領域
- ◆ 一つのシステムで複数の滑走路へサービス可能
- ◆ GBASによって精密進入を設定する滑走路への着陸に必要な覆域内において、補強情報が有効かつ確実に送達されなければならない
- ◆ 建物や航空機による遮へいの影響



- ◆ 1996年にGBAS研究に着手
- ◆ 2003年に飛行テスト実施
  - ノンインテグリティシステム→航法精度の実証
  - 約200回のフライトテスト→CAT-IIIの精度は十分満足
  - インテグリティの確保が問題
- ◆ 2005～2008 インテグリティ要素技術を開発（信号歪、電離層、故障木解析）



実装
- ◆ 2008～2011
  - CAT-IGBASプロトタイプ製作を通じて、インテグリティの総合的解決と安全性解析・認証能力の獲得を図る

# GBASプロトタイプ製作

- ◆ ICAOSARPs(CAT-IGBAS)に準拠  
→DO-178Bの証明や機器の冗長構成などの手法が確立しているものは適用しない
- ◆ 平成20年度秋に製作着手、平成21年度末に完成予定
- ◆ インテグリティを確保
- ◆ インテグリティモニタアルゴリズムの検討と実装
- ◆ 一連の製造プロセスに安全性評価の考え方を適用

# インテグリティとは

- ◆ 完全性とも呼ばれ、全ての着陸時において、**利用者の誘導誤差が警告無し**にある事故につながる閾値以上にならない**確率**を指し、着陸に使用するためには、 $1-2 \times 10^{-7} \sim 1-1 \times 10^{-9}$ の値が要求されている。
- ◆ インテグリティが確保されていることの証明は、非常に小さな確率で起こる事象を対象とすることが必要。
- ◆ CAT-Iの要件: $1-2 \times 10^{-7}$ /アプローチ
  - 1アプローチを150秒とすると・・・
  - $150 \times 0.5 \times 10^7 (\text{秒}) = 750,000,000 (\text{秒}) \rightarrow 23.7 \text{年}$
  - 24年間連続してアプローチしたとして、インテグリティ破綻が観測されないこと。


## 故障木解析

想定しうるあらゆる事象を抽出し、システムへの影響を検証する。

- ◆ それぞれの事象の因果関係、並列従属関係を整理して構造化する。
  - 枝分かれ構造となることから「木」と表現。
- ◆ 個々の事象の起こる確率を評価する。

# 全ての事象の抽出

重要事象の見落としを避けるために

- ◆ 小さいことも含め考え得る事象を洗い出す姿勢
  - ◆ 多角的な視点、外部の視点の反映
  - ◆ インテグリティ要件に照らして十分下回る確率であることが判明して初めて事象を排除する。
- 
- ◆ 「天が落ちてくる」 = 「杞憂」は考えなくても良いが、その前に「杞憂」であることは確かめる。

# 各事象の確率の決定

- ◆ 観測の蓄積 → 電離層や対流圏の影響など
- ◆ 過去の実績 → GPS衛星、機上機器、地上機器の故障実績など
- ◆ 手法が確立しているもの → 信頼性工学の適用、ソフトウェアの品質管理システムなど
- ◆ 分からないもの → 確率を”1”に設定  
(必ず起こるものとして保守的に評価する)

# インテグリティモニタの必要性

- ◆ そのままではインテグリティ要件を満足しない事象には何らかの対策が必要。
- ◆ そのような事象の発生を検出し、警報を発するモニタを搭載する。

例：GPS衛星の故障によりユーザ側でインテグリティが破綻する確率を $1 \times 10^{-3}$ とする。

- モニターがなければ、ユーザが知らずに故障衛星に遭遇する確率は  $1 \times 10^{-3}$
- GPS衛星故障モニタの検出確率を0.999とすると、
- モニタによるインテグリティ改善効果は、

$$1 \times 10^{-3} \times (1 - 0.999) = 1 \times 10^{-6}$$

# インテグリティモニタの搭載

- ◆ 6つの主要モニタを重点的に開発し搭載する
  - 信号歪モニタ
  - 電離層モニタ
  - CCDモニタ
  - B値モニタ
  - $\sigma$ モニタ
  - エグゼクティブモニタ
- ◆ 我が国の状況に応じた電離層脅威モデルの生成と電離層モニタアルゴリズムの開発
- ◆ GPS衛星の信号歪モニタアルゴリズム



# 安全性認証

- ◆ 領収検査における性能確認だけでは十分でない
- ◆ 製作初期段階からのプロセスを通じて確認する必要
- ◆ 安全性認証のための参考とする適用基準を設定
  - ARP4754, ARP4761
- ◆ 継続的なレビューのための枠組みを設定
  - インテグリティ検討会（3週間に1回）
  - 定例会（毎月）
  - 基本設計審査会、詳細設計審査会

# まとめ

- ◆ 当所のGBAS研究の状況について説明した。
- ◆ CAT-I GBAS実現に向けたインテグリティ保証に必要な主要な課題の解決にメド。
- ◆ 平成21年度末にはプロトタイプが完成し、22年度中にはプロトタイプを実験用地上局として空港に設置し、実地に評価試験が可能となる予定。
- ◆ 高カテゴリー化などGBAS実用化に向けて引き続き貢献。

# 謝辞

◆ ご静聴ありがとうございました。

通信・航法・監視領域  
工藤 正博