

GAST-D地上装置の プロトタイプ評価

航法システム領域

吉原貴之、齋藤享、毛塚敦、星野尾一明、
福島 荘之介、齊藤 真二

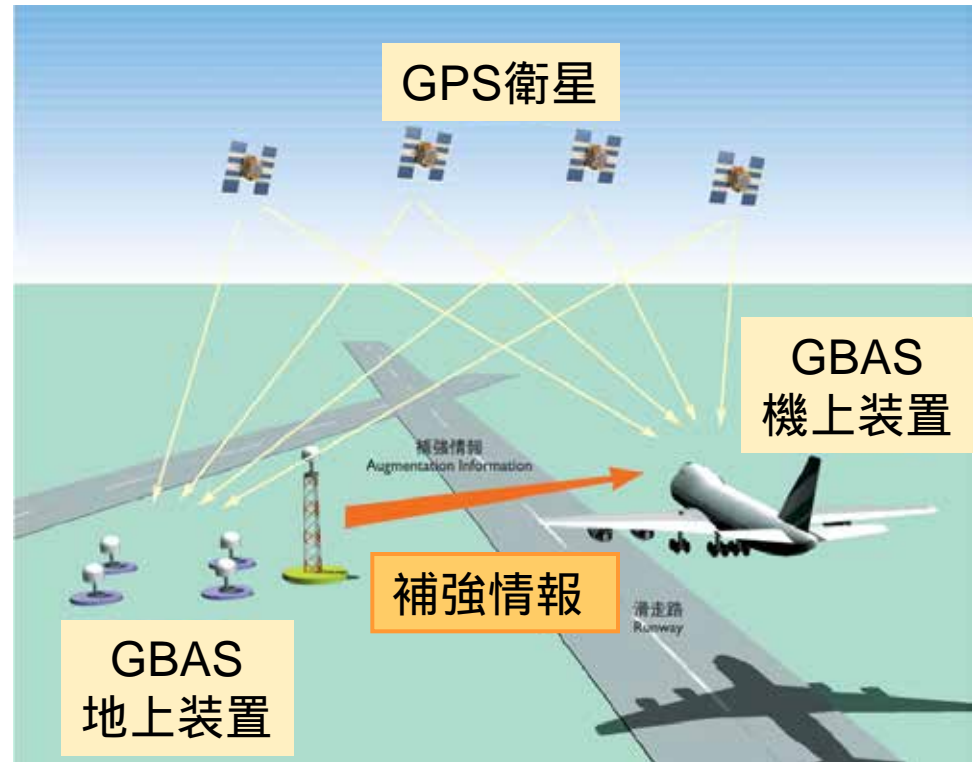
発表内容

- n GBAS CAT- (GAST-D) の概要
 - q 高い安全性要件
 - q 国際標準原案の策定と検証
 - q 電子航法研究所における研究開発
- n GAST-D地上装置の概要
 - q 安全性設計及び検証
 - q 特徴
- n 新石垣空港での評価
 - q 電離圏空間勾配モニタ、信号歪モニタの検証
 - q 長期安定性試験
- n まとめと今後の課題

GBAS CAT- (GAST-D) の概要

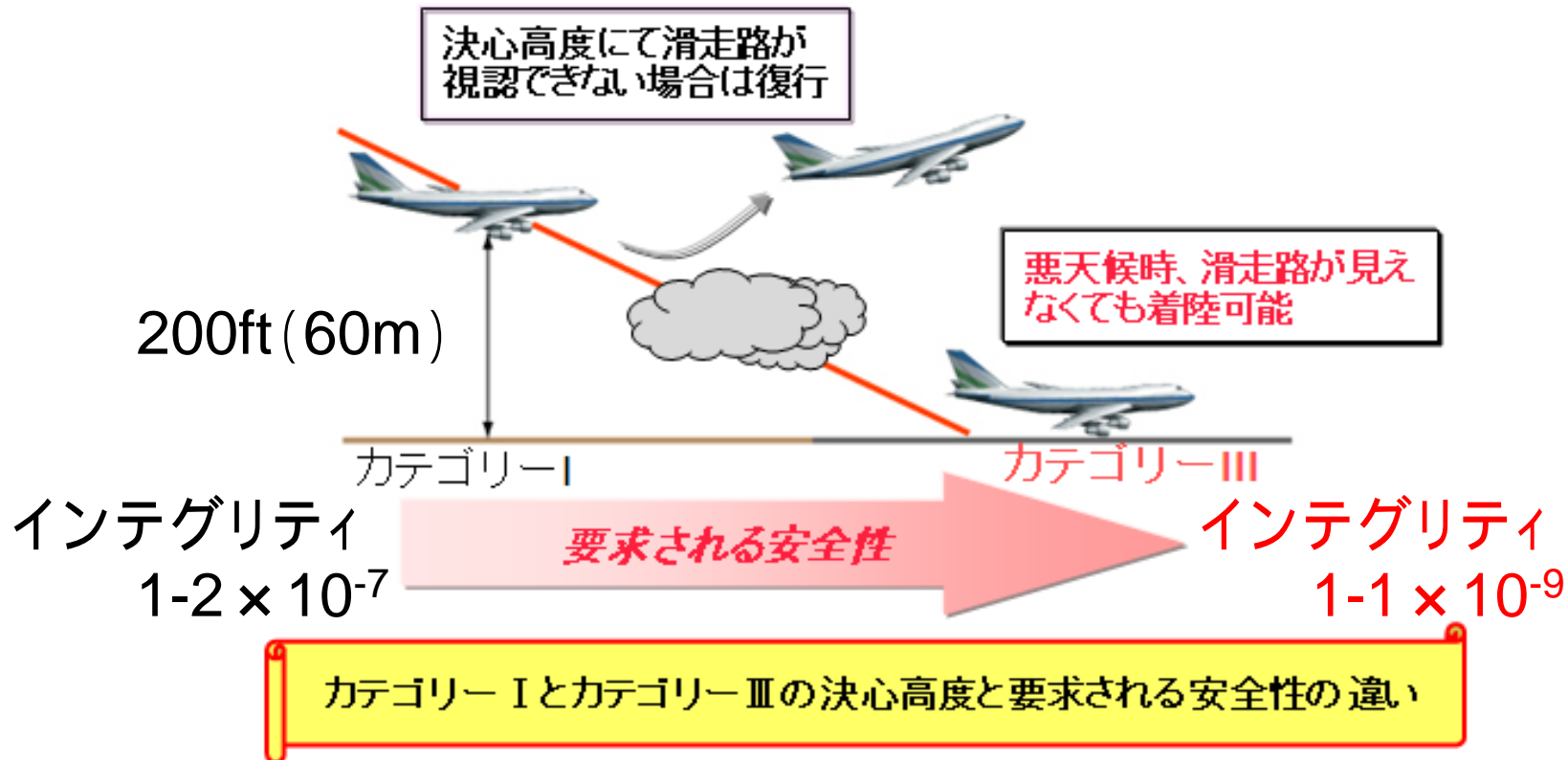
GBAS (Ground-based Augmentation System)

- n 精密進入着陸をサポート
 - q 将来はカテゴリー III まで
- n GBAS基準局
 - q 4式のGPSアンテナ & 受信機
- n GBASデータ処理装置
 - q 補正情報
 - q インテグリティ情報
- n VHF送信局
 - q VDB (VHF Data Broadcast)
 - q 周波数: 108~118MHz
- n 国際民間航空機関 (ICAO) の標準及び勧告方式 (SARPs)
 - q カテゴリー II : 2001年発効
 - q カテゴリー III : ドラフト版が原案として策定され、検証中



GBAS CAT- (GAST-D)の概要

高い安全性要件



カテゴリー III は着陸から滑走路のロールアウトまでサポート

GBAS CAT- (GAST-D)の概要

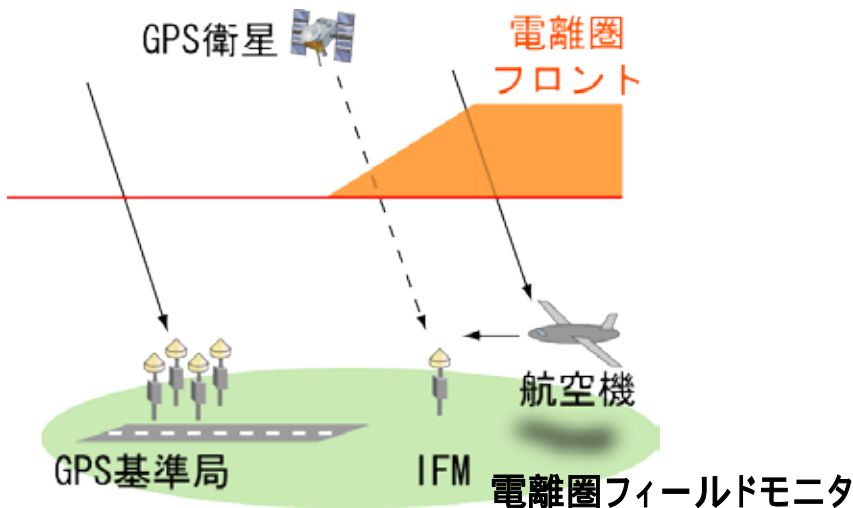
高い安全性要件(電離圏異常への対策)

電離圏によるGPS信号遅延の空間変化(電離圏フロント)→測位誤差要因

n CAT-

- q 米国において予想以上の電離圏異常→認証時の主要課題

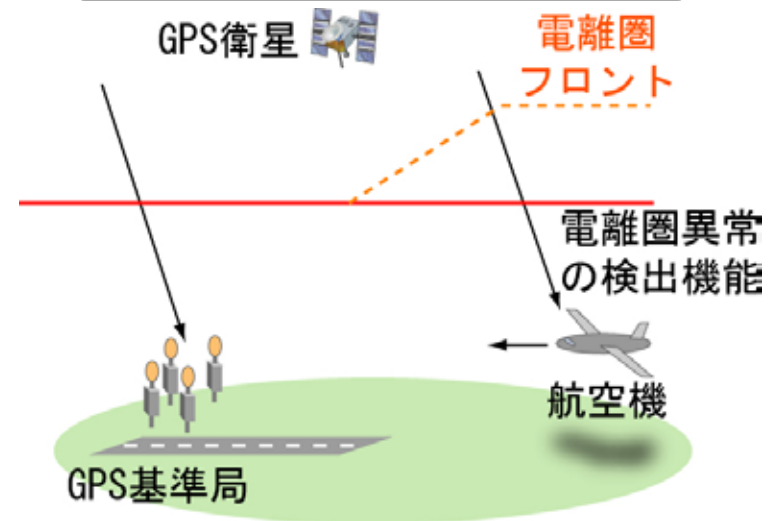
電離圏フロントを地上側で検出できない場合が存在



n CAT-

- q さらに高い安全性要件

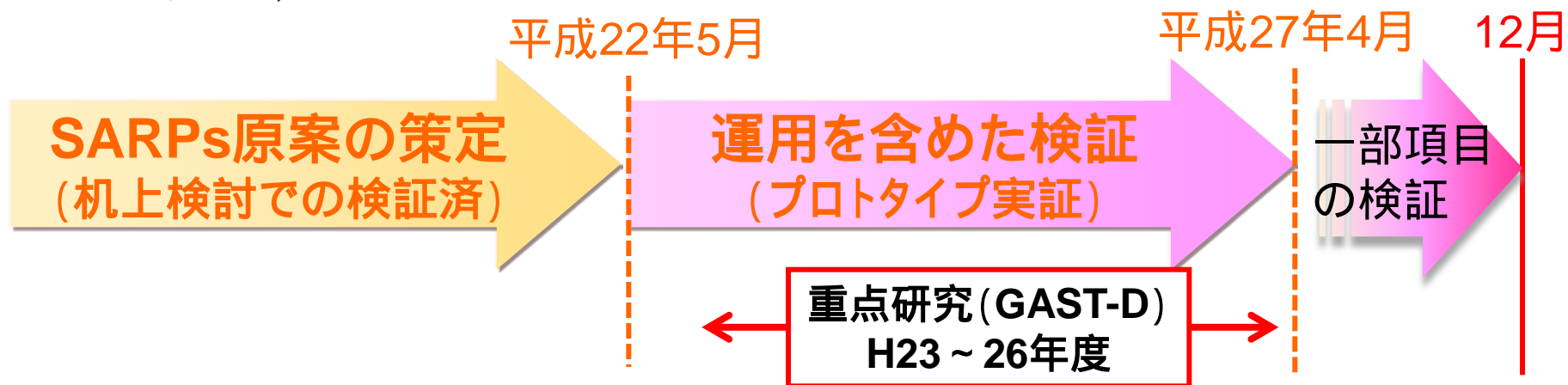
電離圏異常の検出モニタを航空機側にも搭載



GBAS CAT- (GAST-D)の概要

国際標準原案の策定と検証

- n GAST-D (GBAS Approach Service Type-D)
- n 国際標準化作業
 - q ICAO航法システムパネル(NSP)の作業部会(カテゴリー / サブグループ ; CSG)でSARPs原案を策定



- n GAST-D地上装置のプロトタイプ開発による検証
 - q 米国:アトランティックシティ
 - q 欧州:ツールーズ(仏)、フランクフルト(独)
 - q 日本:新石垣空港

GBAS CAT- (GAST-D)の概要

電子航法研究所における研究開発

n CAT-III進入実現のための安全性要件を満たすGAST-D地上プロトタイプの開発

q より高い安全性を保証するシステム設計及び検証

本発表

q VDB覆域評価 → 講演番号20

n 機上評価装置の開発

q 地上 / 機上の連携による電離圏脅威の軽減

→ 講演番号19

q 飛行実験の実施

n 電離圏脅威モデルの検証と高度化

q 日本周辺の磁気低緯度地域を含めたデータ収集・共有化

q 不足しているGPS観測点網の成熟期以降の太陽活動度極大期に向けた観測データ

n ICAOへの寄与

q 世界で唯一となる磁気低緯度地域でのSARPs原案の検証

GAST-D地上装置の概要

地上プロトタイプ開発の目的と

- n SARPs原案で規定している要件の妥当性検証
 - q 安全性評価は設計検証と一体
 - 地上プロトタイプの開発が必要
- n 日本における安全性評価に係る要件の明確化
 - q 電離圏現象の違い
 - 日本は磁気低中緯度、欧米は中高緯度
 - q GAST-Dにおけるリスク評価と軽減方法の開発

GAST-D地上装置の概要

安全性設計及び検証

- n 設計製造期間：平成24年3月～平成25年9月
 - q NECと製造契約を締結
- n 機能性能
 - q ICAO GAST-D SARPs原案
 - q RTCA文書：Do-246D (ICD)、Do-253C (MOPS)
 - q 冗長構成、ソフトウェアのコーディング信頼性は除外
- n 特徴となる機能を付加
 - q アベイラビリティ向上：SBASの測距信号の利用
 - q 電離圏の影響を検証：2周波GPS受信機の採用
- n システム安全性設計検証の手順
 - q SAE (Society of Automotive Engineers, Inc.) 準拠
 - q 安全性設計検証会議(3週間毎に開催) 合計23回

GAST-D地上装置の概要

異常検出モニタの開発と実装

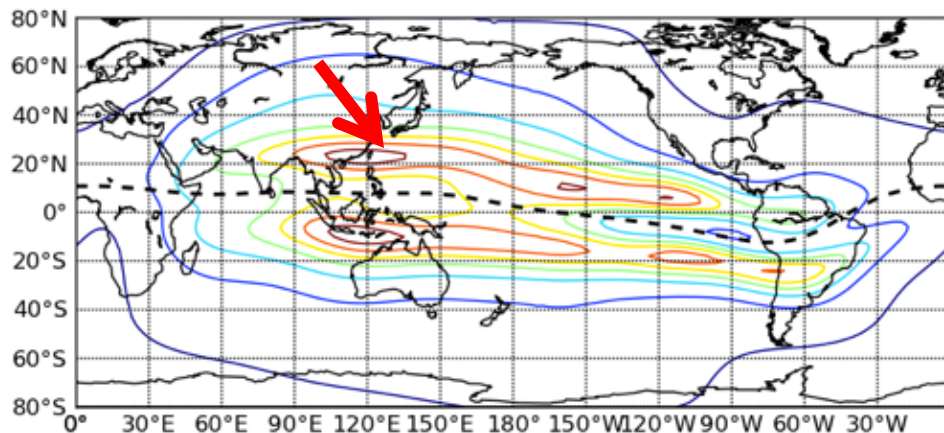
インテグリティモニタ	主に対応する異常・リスク				SARPs 原案の 規定	備考
	電離圏	衛星 故障	電波 干渉	受信機 故障		
電離圏空間勾配モニタ					あり	設計製造時 建物屋上データ
信号歪モニタ					あり	
CCD*モニタ					あり	
過加速度モニタ					あり	
エフェメリスモニタ					あり	
電波干渉モニタ					-	
複数受信機故障モニタ					-	

* CCD: Code-Carrier Divergence

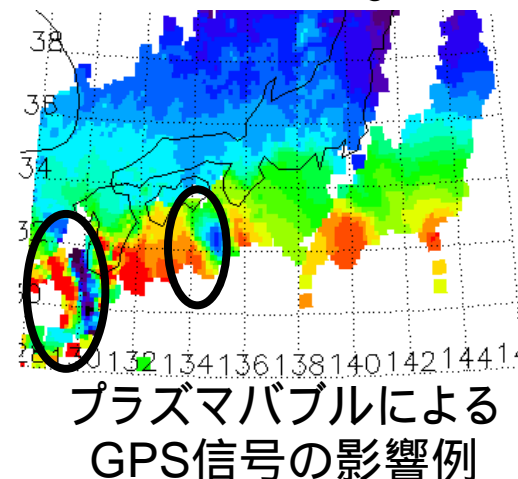
新石垣空港での評価 新石垣空港での設置検証

- n 磁気低緯度地域
 - q プラズマバブル: 電離圏の電子密度の局所的な減少 (春季、秋季の夜間)
 - q 電離圏空間勾配モニタ等の異常検出モニタ性能と実現性の検証
 - q 電離圏擾乱下での地上 / 機上の連携による電離圏脅威の軽減を実証
- n 空港環境下での長期安定性試験
 - q 建物屋上データで設計検証したもの → 実環境下で検証
 - q 四季を通じて安全性を脅かす事象の発生がないか確認 (HMI 解析)

新石垣空港



HMI: Hazardous Misleading Information



新石垣空港での評価 新石垣空港における配置

平成26年2月より連続データ取得開始



電離圏フィールドモニタ (IFM)
(CAT-I機能のため)

GNSS基準局1

399 m

GNSS
基準局2

175 m

光通信ケーブル

GNSS
基準局4

GNSS
基準局3

光通信
回線

光通信ケーブル

データ処理装置

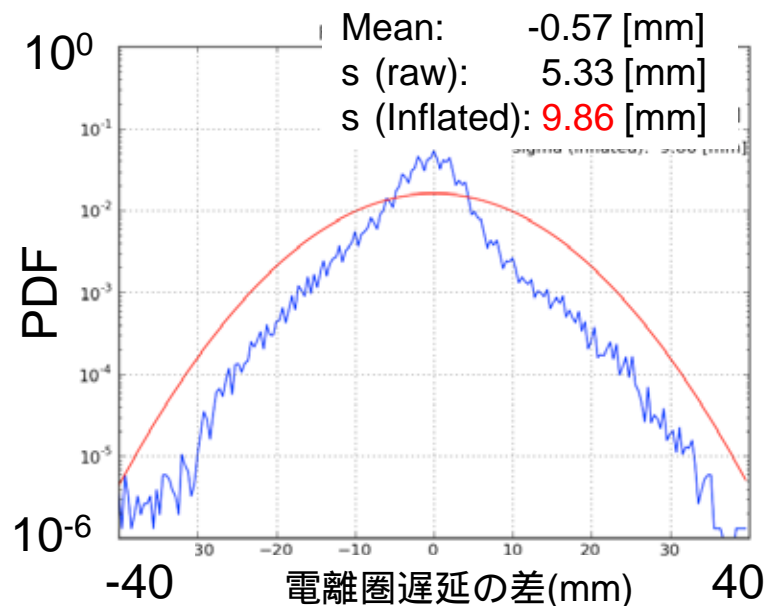
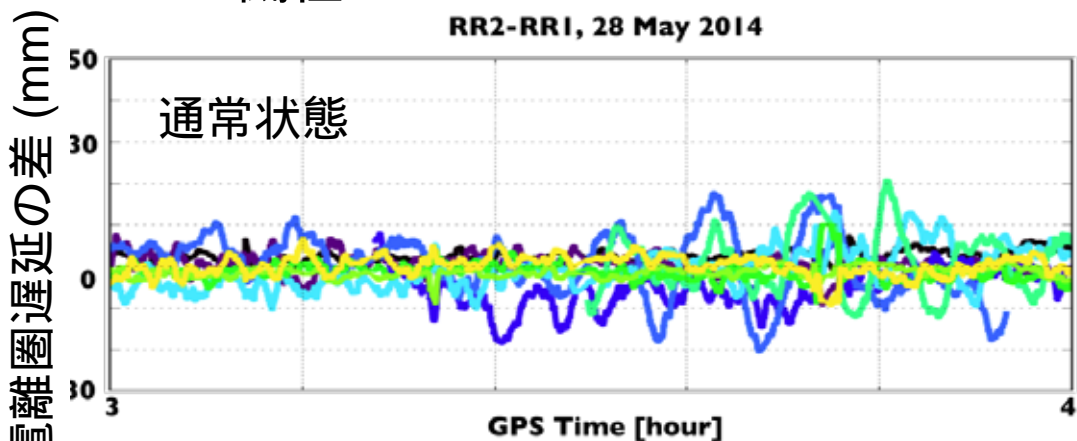
VDB送信機及びアンテナ

遠隔監視
制御装置
(調布)



新石垣空港での評価 電離圏空間勾配モニタ

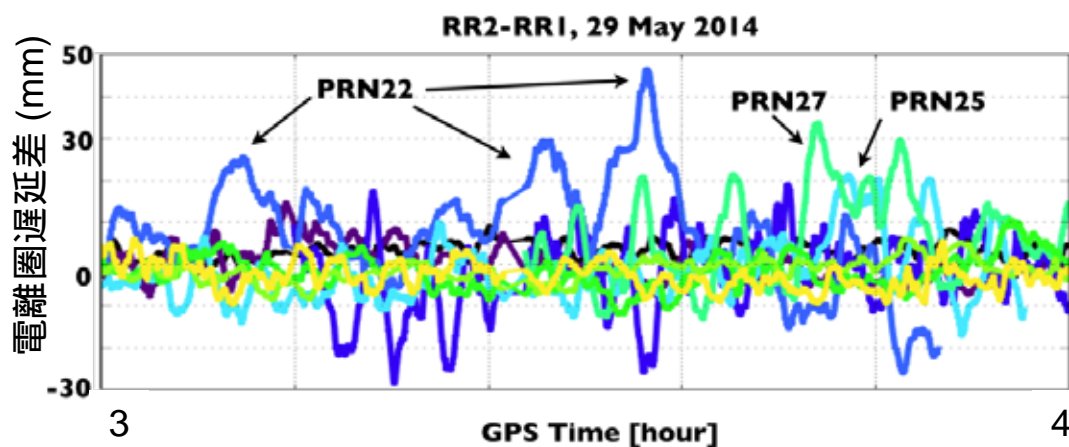
- n 開発実装したアルゴリズム
 - q CAT-Iの基準局 - IFMの2点間の電離圏遅延差推定を複数基線へ拡張
 - q 空間勾配の大きさ、方向推定、推定解の信頼性判定(整合性チェック)
 - n GAST-D要件に合致して成立することが確認された
 - q 検出感度: 119.7 (300 mm/km x 0.399)
 - q 通常状態 σ : **9.86** mm/km、未検出確率: 10^{-9} 以下、誤警報確率: $2 \cdot 10^{-7}$ 以下
- 閾値: 51.3~60.5 mm/km



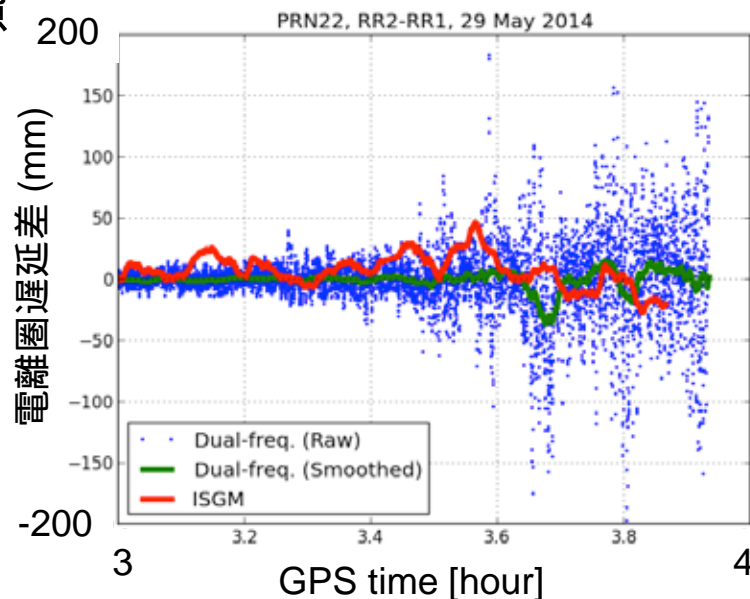
[Saito et al., ION pacific PNT 2015]

新石垣空港での評価 電離圏空間勾配モニタ(2)

- n 対流圏遅延の影響
 - q 欧米でも報告あり
 - q 2周波観測データから電離圏現象に由来する変動ではないことを確認
 - q GNSS基準局の監視カメラから車両等物の影響でないことを確認
- n 電離圏異常検出の誤警報要因となる
 - q ICAO NSP CSG: 本年11月まで検証を継続
 - q 対策: 機上モニタ、水平スケールを考慮



[Saito et al., ION pacific PNT 2015]



新石垣空港での評価 信号歪モニタ、CCDモニタ

n 信号歪モニタ(SDM)

- q 設計製造時には建物屋上での取得データを使用して検証
→ 新石垣空港で取得したデータで検証
- q 低仰角(5~10度)のGPS衛星について地面反射波等の影響により要件を満たすことが困難
- q マルチパス低減アンテナ(MLA)を採用する必要性が示唆

n CCDモニタ

- q 対応する異常は衛星故障や電離圏遅延の時間変化
- q 通常状態での電離圏の影響(低仰角衛星)についてアベイラビリティを加味した閾値の最適化を予定

新石垣空港での評価

測位精度 (95%)

- n 精度要件 (水平: 16m、垂直: 4m) を満足
 - q 異なる季節を比較 (3月及び8月の1週間)
 - q IFMの受信データを静止している擬似ユーザとして利用

2014	GAST-C		GAST-D	
	水平	垂直	水平	垂直
3月21~27日	0.1455	0.3848	0.2010	0.5212
8月07~13日	0.1541	0.3705	0.2060	0.4938

単位: m

- n GAST-CよりもGAST-Dの結果が水平、垂直とも大きい
 - q GAST-Cの平滑化時定数: 100秒、GAST-Dは30秒
 - q 受信データに含まれる測定誤差の影響をより強く受ける

ICAOへの寄与

- n 検証結果をフィードバック
 - q 電離圏空間勾配モニタ
 - q 地上と機上の連携による電離圏脅威の軽減を飛行実験で実証
 - q 滑走路上のVDB覆域
 - q 電離圏脅威モデル
- n SARPs原案のとりまとめ会議
 - q 国土交通省航空局と協力し、ICAO NSP CSGの単独会議(H27年2月)を石垣市で開催
 - q 電離圏勾配モニタに関連した一部検証項目が残った
 - q GAST-D地上プロトタイプ見学会



ICAO NSP CSG石垣会議



見学会の様子

まとめ

- n 電子航法研究所におけるGAST-D検証
 - q 安全性要件を満たすGAST-D地上プロトタイプの開発
 - q 機上評価装置の開発と飛行実験の実施
 - q 磁気低緯度地域における電離圏脅威モデルの検証と高度化
- n GAST-D地上プロトタイプの開発
 - q SARPs原案とRTCA文書に準拠
 - q 電離圏空間勾配モニタ等の異常検出モニタ性能と実現性検証
 - q 信号歪モニタ、CCDモニタ:低仰角データへの対策と見通し
- n 今後の課題
 - q ICAO NSP CSGと連携して電離圏空間勾配モニタの対流圏遅延勾配による誤警報と未検出領域の検証を本年11月まで継続
 - q システム全体としての長期データによる評価。
 - q 磁気低緯度でのGBAS運用の視点からHMI 解析。

謝辞

- n GAST-D地上プロトタイプを設置及び運用にあたり、多大なご支援を賜りました国土交通省航空局、沖縄県土木建築部空港課、石垣市建設部空港課の関係各位に深く感謝申し上げます。