

2017年電子航法研究所発表会

飛行検査データを活用したDMEの誤差解析

研究課題名：GNSS障害時の代替(APNT)に関する研究

2017年6月9日

国立研究開発法人 海上・港湾・航空技術研究所電子航法研究所

毛塚 敦， 齊藤真二， 麻生貴広， 福島荘之介



背景① 我が国におけるGNSS利用の現状

広域航法(RNAV)の普及

GNSSが必須となる経路 (2015/2)

空域	分類	総数
ターミナル	Basic RNP1	22
進入	RNAV(GNSS)	39
	RNP-AR	29

RNP-AR許可機数(2015/2)

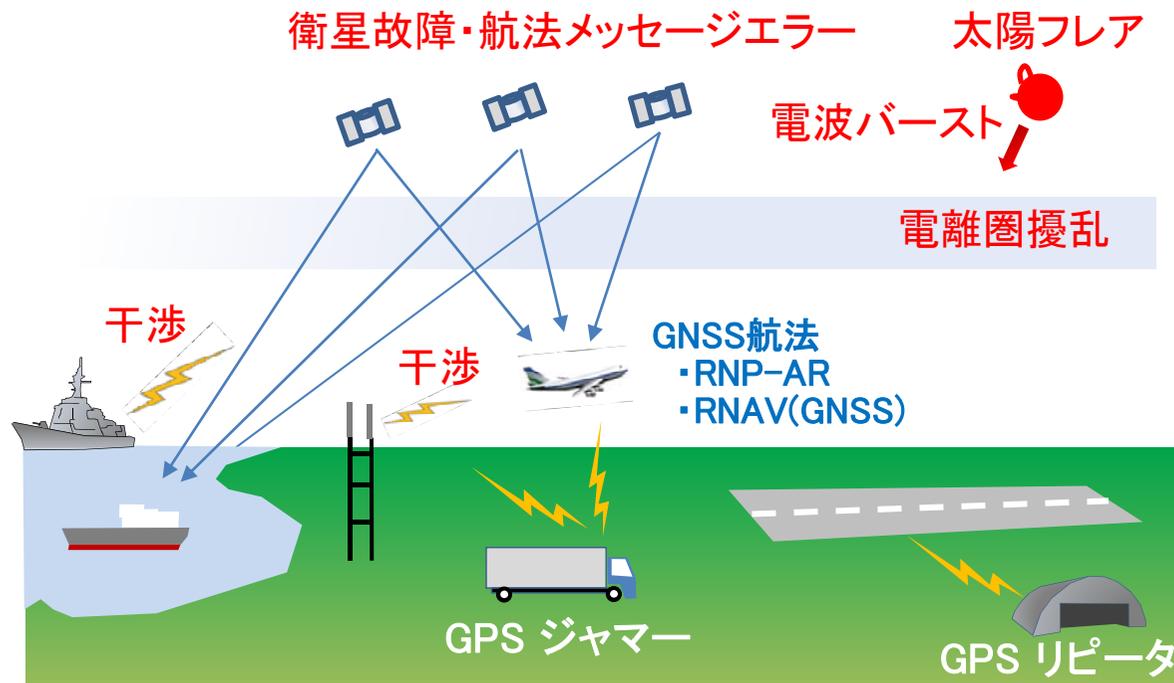
航空会社	型式	機数
J社	737-800	50
A社	787-8	32
	787-9	2
	737-700	10
	737-800	30
	A320	7
S社	A320	7

- 航空需要拡大のため、RNAVが普及
- RNP-ARでは高い航法精度が要求される
(航法精度 $< \pm 0.3$ [NM])

➤ GNSSの装備が必須である経路・認証機体数・運航実績が近年増加

背景②: GNSS障害の発生

GNSS障害要因



GNSS障害事例

- ・ 2007年 米国海軍の誤送信によりサンディエゴ湾周辺でGPS障害発生
- ・ 2010年 ハノーファー空港にてハンガーのリピータによりGPSが測位不能
- ・ 2011年 LightSquared社のLTE信号がGPSへ影響
- ・ 2011年 ニューアーク空港にて、GPSジャマーにより、GBAS運用停止
- ・ 2011年 韓国において、隣国からのジャミングにより携帯基地局へ影響
- ・ 2012年 韓国において、隣国からのジャミングにより航空機252機のGPSへ影響
- ・ 2014年 GLONASS11時間送信中断
- ・ 2016年 SVN23の時刻が $13 \mu \text{sec}$ オフセットされ、広範囲に影響

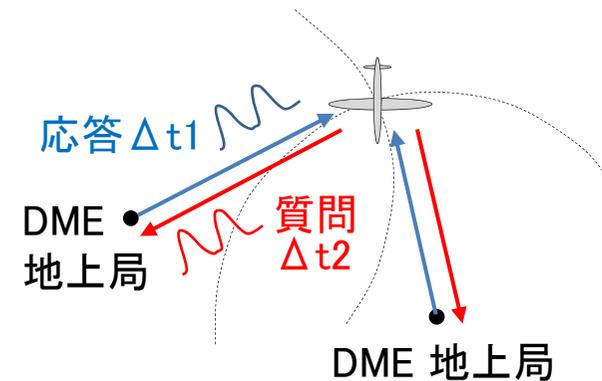
- 様々な要因によりGNSS障害が発生
- GPS障害時でも安全かつ効率的に運航できるように代替測位手法(APNT: Alternate Position Navigation and Timing)の構築が必要 ⇒ GNSSのバックアップ

背景③: APNTに関わる海外の状況

米国(FAA) NextGen DME (PBN NAS)

Near Term (2016~2020), Mid Term (2021~2025)

- RNAV運航のためのDMEの再構築
 - No critical DME
 - 183局新規設置 (135局廃止)
 - 100% Class A 空域 (Near term)
 - NSG1-2 (73) Airport (Near ~ Mid term)
- Avionics変更なし
- RNAV1,2をサポート(慣性航法装置を使用せず)
- Implementationは2018年度~



DME : Distance Measuring Equipment

$$\text{DMEによる距離} = cvel(\text{光速}) \times \frac{\Delta t1 + \Delta t2 - 50\mu\text{sec}}{2}$$

Far Term (2026~2030)

- Avionics変更あり
- 測位精度とインテグリティの向上
- APNT研究の継続
- Enhanced-DME方式, Hybrid Ranging (DME/ADS-B)方式などが提案

背景③: APNTに関わる海外の状況

Enhanced DME (eDME)

- (1) **ビート信号の送信**: トランスポンダの応答やスキッタに時刻同期または非同期のビート信号を加えて放送する。非同期の場合には 2 way ranging (質問と応答) によりトランスポンダの時刻オフセット量を得ることができる。
- (2) **搬送波位相の利用**: インテロゲータ受信機で受信された搬送波位相を利用し、測距精度を改善する。
- (3) **データ放送の利用**: 例えば、2番目のパルス(又は全パルス)にパルス変調を加えることで、補正情報等を地上DME局から航空機に送信することができる(データ転送にはビート信号も活用可)。

本研究の目的

■ 国内におけるGNSS障害時の対応

GPSによる位置等の情報に疑義が生じた場合に、GPSに依存しない航法(従来の航法)に移行できる場合に限り衛星航法装置を使用することができるものとする(実施基準1-3)。

■ GNSS代替航法に必要なDMEの測位精度(RNP0.3)

$$\text{総合システム誤差} \quad \text{TSE 0.3} < \sqrt{\text{飛行技術誤差(運航基準)} \quad \frac{0.25^2 + (\text{DME測距誤差} \times \text{HDOP}2.8)^2}$$

⇒ DME測距誤差 < 0.058 NM (108m)
仕様 < 0.2NM (370m)

GNSS障害時に現状利用されるDMEは、仕様上RNP0.3 (RNP-AR)に利用可能な測位精度を有していない

DMEの誤差要因

マルチパス

機上装置

対流圏遅延

地上装置

	FAA-E-2996	State-of-the-art
Interrogator	0.17 nmi	0.05 nmi (?)
Propagation	0.04 nmi	0.04 nmi (?)
Transponder	0.10 nmi	0.02 nmi (?)
TSE (2σ)	0.20 nmi	0.07 nmi (?)

引用: Wouter Pelgrum et al., FAA GNSS Library - Document 3 May 2012

現在のDMEは開発当初に比べて高性能化?

本研究の目的 ① 現状のDME測位の實力性能を明らかにする

- 各誤差量内訳と発生メカニズム
- RNAV運航への適用性検証

② 将来のeDME(enhanced DME)の方式検討にあたり、開発要件を明らかにする

飛行検査データの活用

飛行検査業務とは？

国土交通省航空局が実施し、全国各地に配置されている航空保安施設や、空港及び航空路などに設定される飛行方式等の検査を行う

■ 飛行検査対象施設と検査間隔

施設名	標準間隔
VOR,DME,VOR/DME	12月
TACAN,VORTAC	12月
ILS	6月
航空灯火	12月
ASR,ARSR,ORSR	12月
PAR	9月
航空通信施設	12月
RNAV route	12月

Bombardier DHC-8-300 × 1 CKSTR7



最大離陸重量 19,000 kg
巡航速度 270 kt
最大運用高度 25,000 feet
航続距離 2,930 km
搭乗者数 13 人

特別な航行許可 RNAV5, RNAV1/2, RNP APCH
飛行検査システム：ノルウェーNSM社製

- SBAS補正されたGPS高度が取得可能
- 検査開始 2007年～
(2回/年 ※H28.4からは1回/年)

- 航空局運用課からDHC-8の検査データを提供
- 同一経路・同一高度の検査データを検証可

SAAB2000	CKSTR3,4
	最大離陸重量 22,800 kg 巡航速度 370 kt 最大運用高度 31,000 feet 航続距離 3,770 km 搭乗者数 21 人

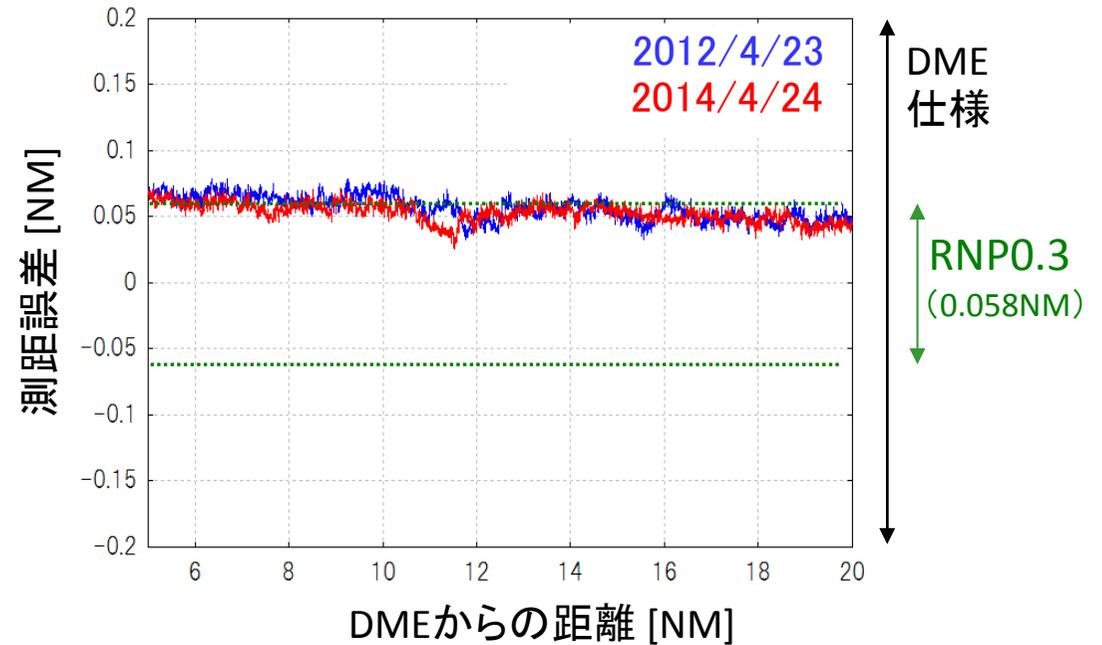
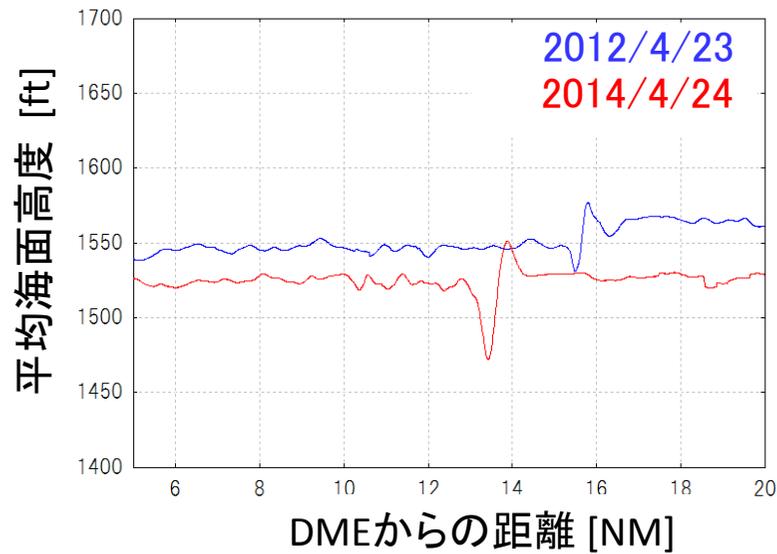
Cessna 525C Citation CJ4	CKSTR8,9,10
	最大離陸重量 7,700 kg 巡航速度 450 kt 最大運用高度 45,000 feet 航続距離 3,300 km 搭乗者数 6 人

引用：国土交通省ウェブサイト

- 国土交通省が実施する飛行検査データを活用し、State of the art DMEの誤差量とその要因を明らかにする
- 同一経路・同一高度データで再現性を確認

神戸局の検査結果

ラジアルR-271飛行検査



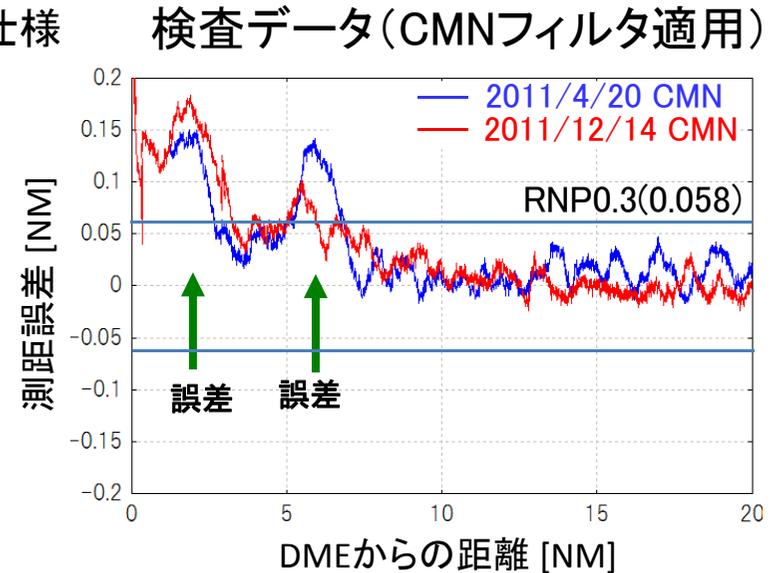
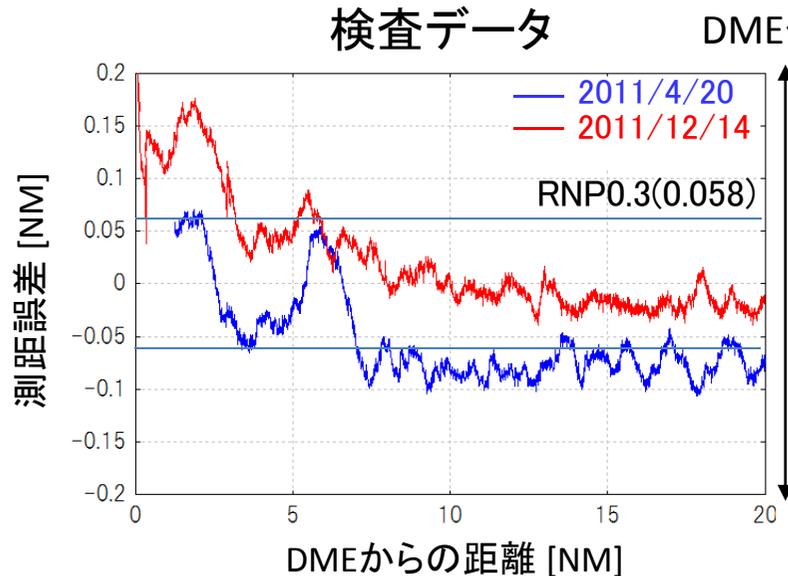
測距誤差 < 0.08NM



- 仕様値 (0.2NM)に比べて高精度
- RNP0.3は満足せず
- 神戸局はマルチパスの影響小
- バイアス誤差については検討中

隠岐局の検査結果

隠岐局ラジアルR-204飛行検査



CMNフィルタ

伝達関数 $H(z) = \frac{\alpha(1 - z^{-1})}{\alpha + \omega_c + z^{-1}(\omega_c - \alpha)}$

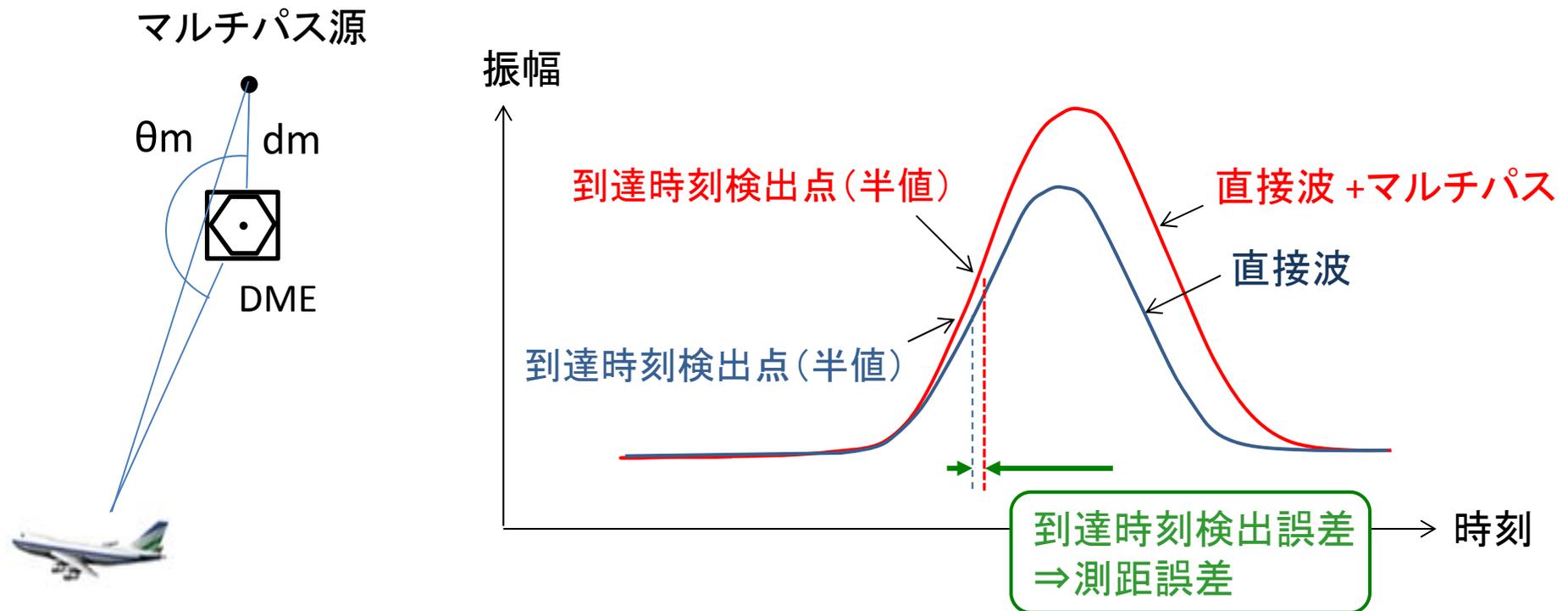
ω_c : CMN カットオフ周波数
 α : エイリアジング係数

ハイパスフィルタ

- ▶ 飛行検査データにおける誤差の再現性有
⇒ 飛行検査データ活用が有効
- ▶ 0~10 Nmiにおいて、変動する大きな誤差が発生
測距誤差 > 0.18Nmi

隠岐局の測距誤差発生要因の解析

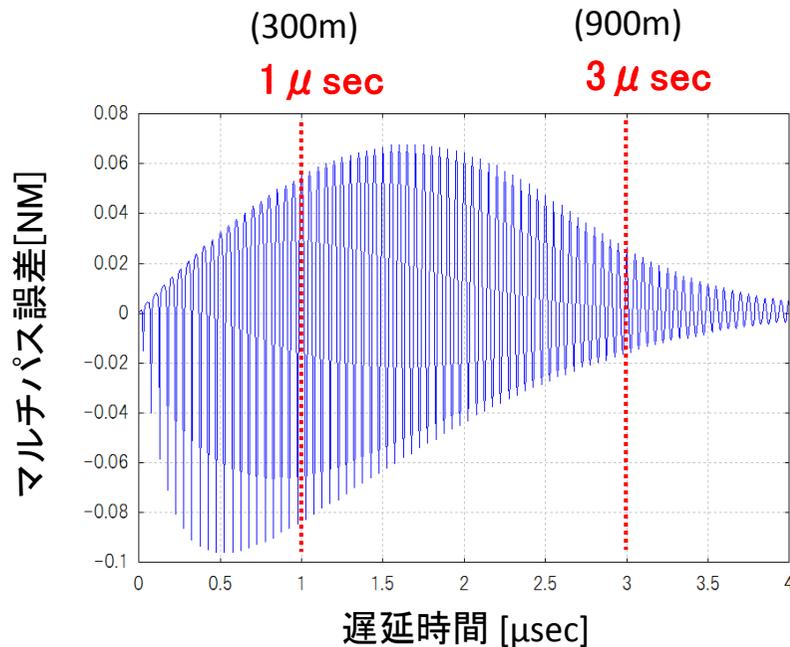
マルチパスシミュレーションモデル



- ▶ マルチパス源(θ_m, d_m)を仮定し、検査コースにおけるDMEの測距誤差を算出・検査データとフィッティング

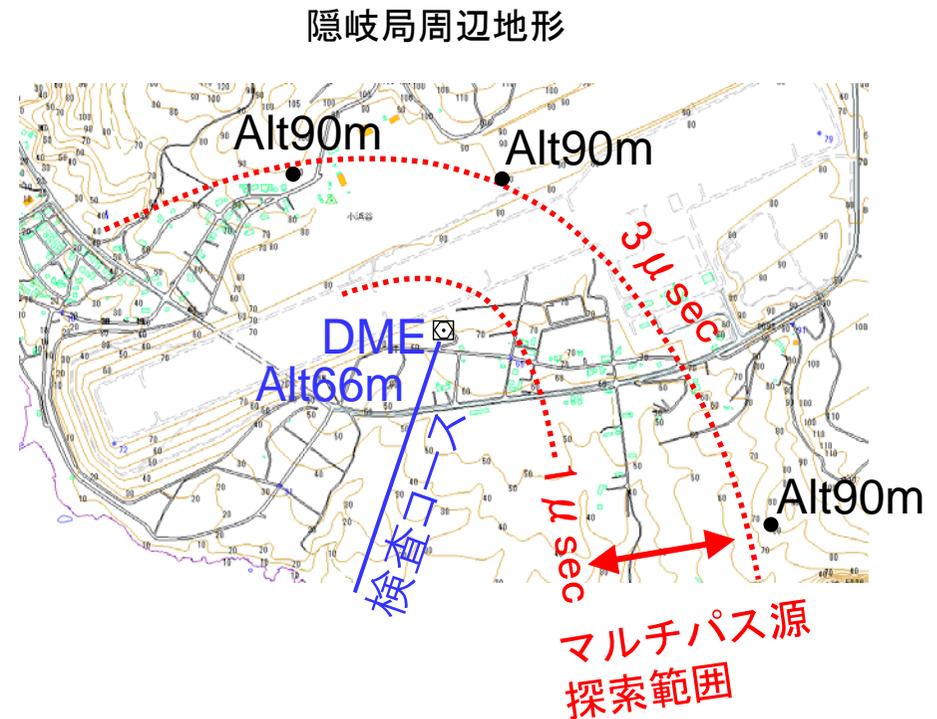
隠岐局の測距誤差発生要因の解析

マルチパスの遅延時間に対する測距誤差



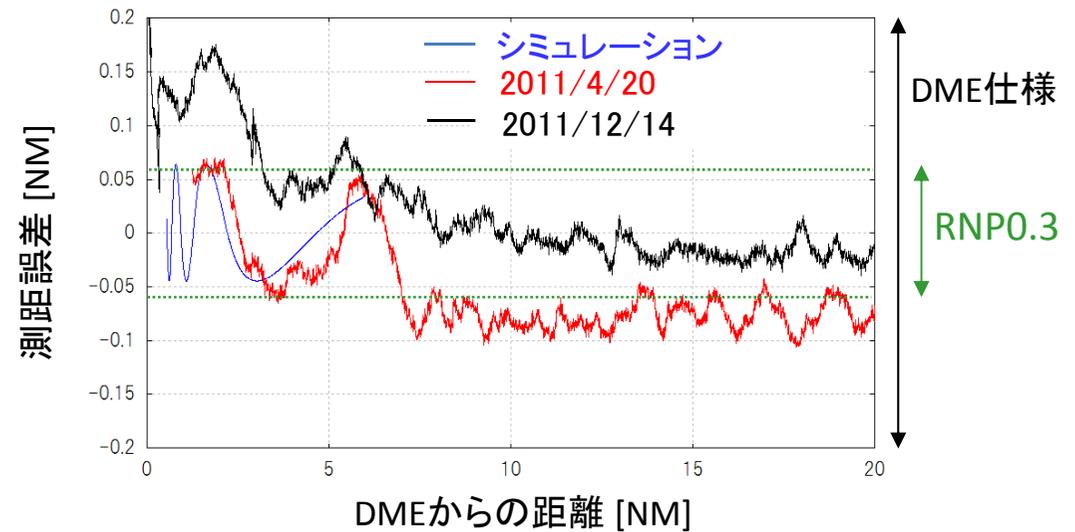
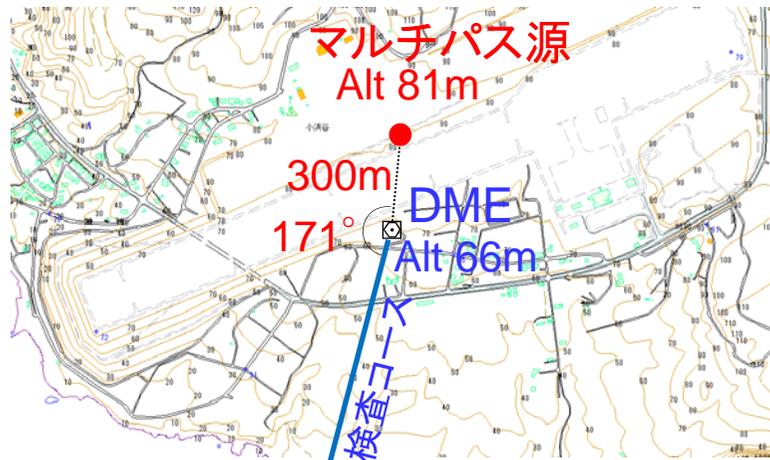
マルチパス誤差: $3 \mu \text{ sec}$ までの遅延で誤差大

マルチパス源探索範囲



- $\sim 3 \mu \text{ sec}$ ($\sim 900 \text{ m}$)のマルチパスにより測距精度は大きく劣化する
- 周辺地形より、誤差の要因はマルチパスと予想される

マルチパスシミュレーション結果



- 300m, $\theta=171^\circ$ の位置においてシミュレーション結果が検査(測定)結果と一致
⇒ 0~10NMにおける誤差の要因はマルチパスであることを特定
- バイアス誤差については検討中

まとめと課題

本検討では、

- 同一経路の同一高度の飛行検査データを活用し、現状のDMEの誤差量および傾向を抽出
- 誤差要因追究のため、マルチパス発生源を仮定した誤差シミュレーションを実施

その結果、

- 隠岐局で観測された大きな変動誤差はマルチパスであることを特定した
- 周囲にマルチパス源が存在しない場合 DME測距誤差 < 0.08NM
周囲にマルチパス源が存在する場合 DME測距誤差 < 0.18NM
- RNP0.3 (RNP-AR航法精度) を満足せず
- マルチパスによる誤差が極めて大
(eDMEの開発に向けては特にマルチパス対策が重要)

今後の方針

- 地上DMEの遅延監視データの活用によるバイアス誤差の要因分析
- 複数局での誤差解析
- eDME開発に向けたマルチパス対策技術の提案
レイトレーシング法を用いた地形・建物によるマルチパス対策技術の検証
⇒**現行DME設置の際の誤差予測にも活用可能**

謝辞 データをご提供頂きました国土交通省航空局 交通管制部運用課 飛行検査センターの関係各位に深く感謝致します。