

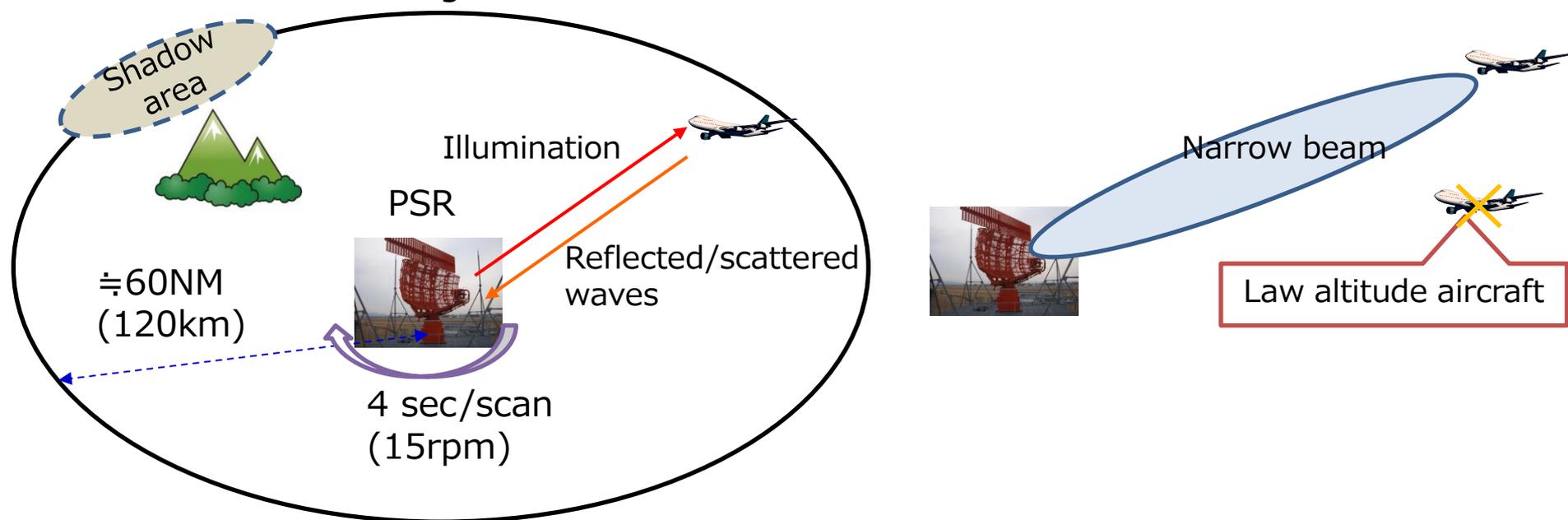
10. マルチスタティックレーダによる  
航空機監視  
～DTTB～

本田純一， 大津山卓哉， 渡邊優人  
監視通信領域



# 一次監視レーダ (PSR: Primary Surveillance Radar)

Coverage Area



- 空港監視レーダ (ASR: Airport Surveillance Radar)
  - 一次監視レーダ… Primary Surveillance Radar (PSR)
  - 二次監視レーダ… Secondary Surveillance Radar (SSR)
- 利点
  1. 独立非協調監視システム…航空機側の装備に依存しない
- 欠点
  1. 低検出率… 航空機タイプに依存 (形状、サイズ、姿勢など)
  2. 低更新率…4秒に1回 (SSRの応用技術は1秒に1回程度を達成)

# マルチスタティックレーダの特徴

- **マルチスタティックレーダ** (MSPSR: Multi-Static Primary Surveillance Radar)
  - PSRの分散型システム



## 【特徴】

- 送受信分離型
- 信号源がレーダや航空用電波に限定されない
  - PSR/SSR等
  - 地上デジタル放送波
  - AM/FM
  - 移動体用基地局(3G/LTE)
  - GNSS
- 周波数資源の有効利用
- 監視覆域の拡大
- 更新頻度の向上
- など…

運用に資するシステムはない

# 目的信号の種類と覆域

		対象覆域		
		空港面	ターミナル	航空路
目的 信号	GSM	◎		
	DAB/DVB	△	◎	○
	FM		○	◎
	GNSS			
	L-band		○	
	S-band		○	○

GSM: Global System for Mobile Communications  
DVB: Digital Video Broadcast  
GNSS: Global Navigation Satellite System

DAB: Digital Audio Broadcast  
FM: Frequency Modulation

【参考】 T. Otsuyama, and S. Marquard, "Status Update on MSPSR Development," International Civil Aviation Organization Working Paper, WP ASWG7-WP/12.2, Montreal, April, 2018.

# 研究目的

## 【大目的】

マルチスタティックレーダ(MSPSR)による航空機監視のための技術開発と性能評価

## 【目標】

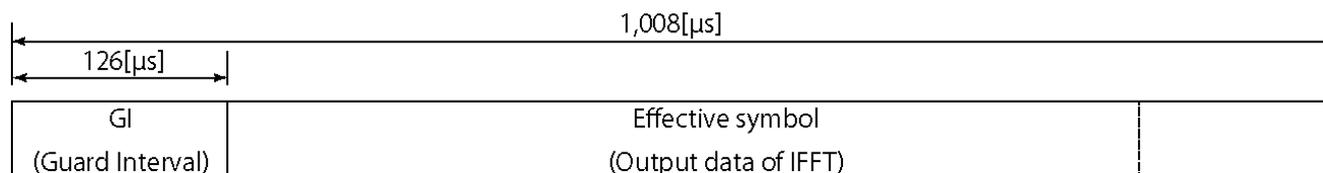
- 既存システムを有効活用した監視システムの開発
- 他目的電波を利用した監視システムの開発

## 【発表概要】

- 地上デジタル放送波(DTTB)による航空機監視システムの提案
  - 現行PSRの監視覆域拡大(拡張)と更新頻度の向上を目指す
  - 周波数資源の有効利用

# DTTBの採用経緯

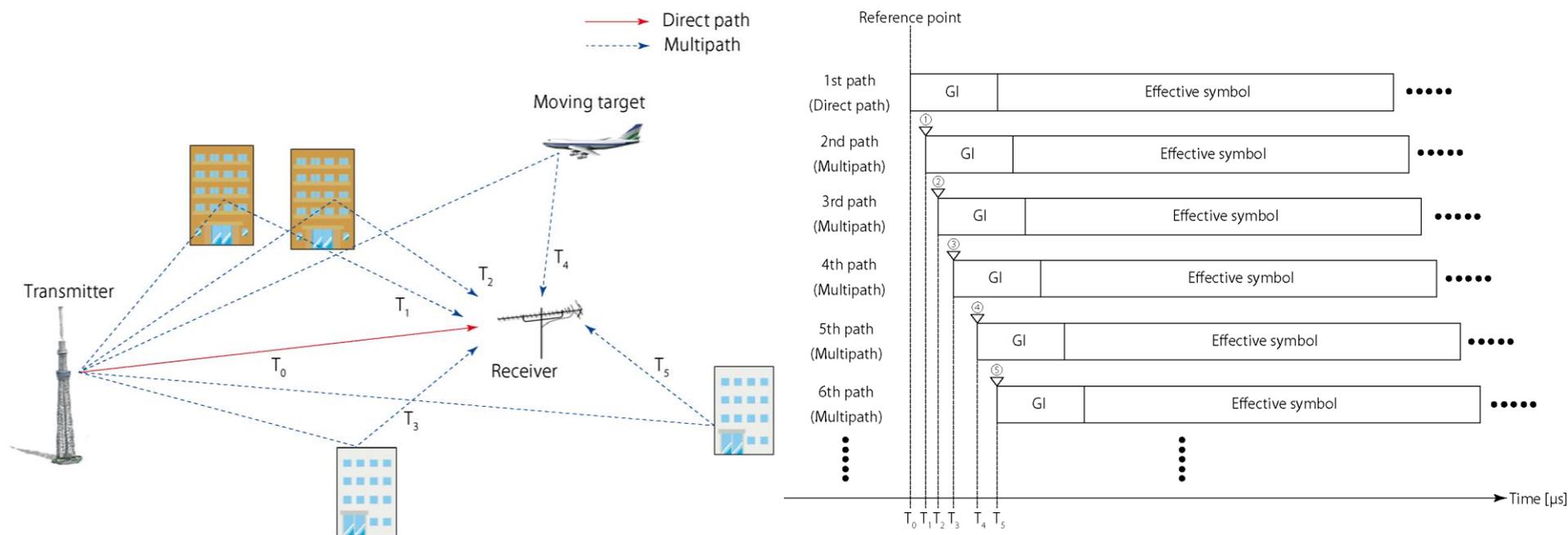
- DTTBの特徴
  - 直交周波数多重分割方式（OFDM）を採用
  - 構造物からのマルチパスに強い
    - ガードインターバル（GI）の採用
      - 有効シンボルの後半部の1/8を送信波形の先頭に取り付ける（下図）
  - UHF帯…約470MHz～770MHz
  - 1ch当たり約6MHzの帯域
    - 13個のOFDMセグメントに分割
    - セグメント毎にキャリア変調方式や誤り訂正の符号化率を変えて情報伝送
    - 複数のサービスを同時に実施
  - メインタワーからの送信出力が大きい
    - 東京スカイツリー 10kW
    - 仙台タワー 3kW
    - 福岡タワー 3kW
- 採用経緯
  - 機体サイズと周波数および帯域の関係ならびに安定した信号送信と高出力



Attaching the same symbol to the head of signal

# 遅延信号の検出方法

- DTTB信号はマルチパスにより発生した遅延信号を容易に抽出することが可能
- 探索手順
  1. 自己相関による信号の開始位置を推定（パイロット信号を見つける方法もあり）
  2. 所望の遅延時間に対応したFFTをかける
  3. 算出された遅延信号のピークを検出

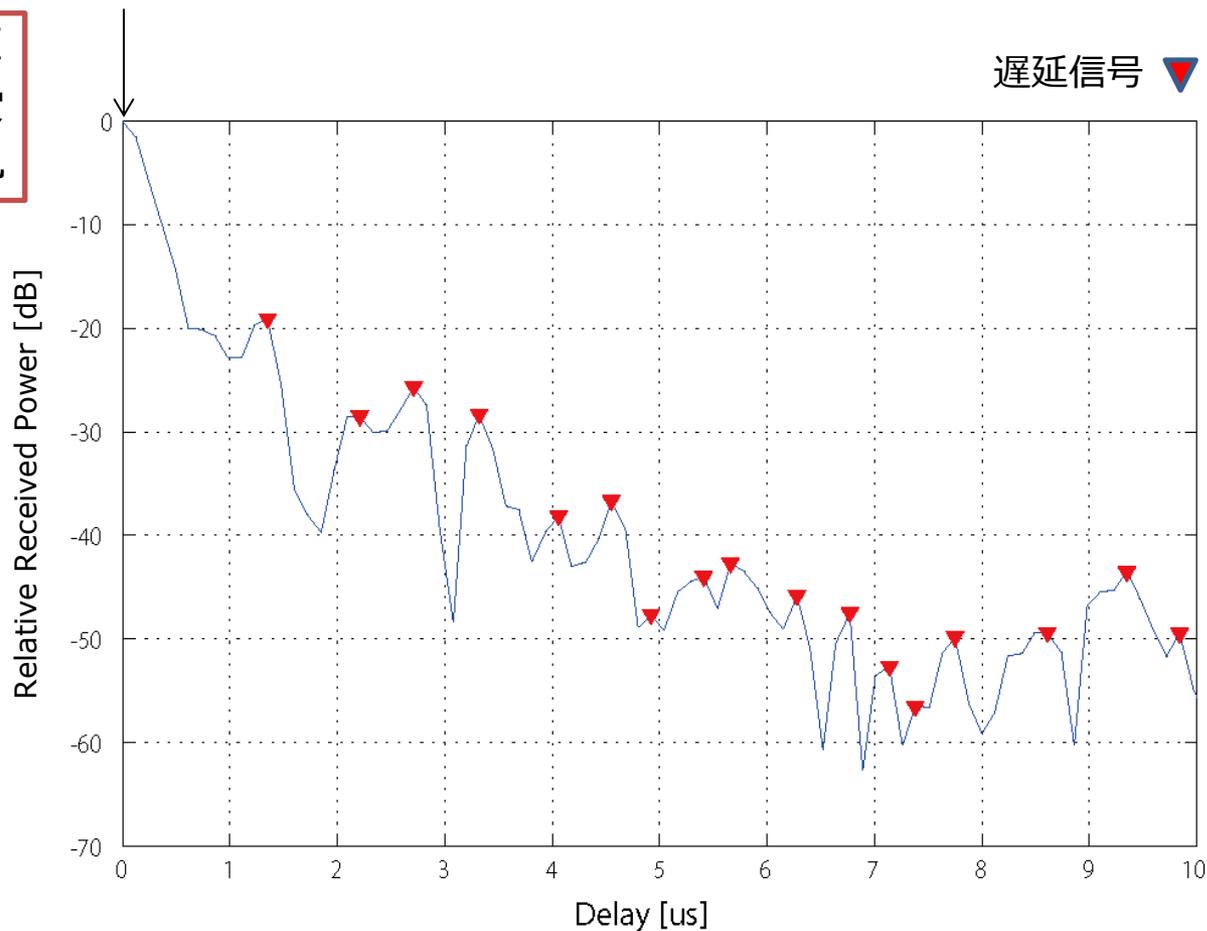


マルチパスと遅延波の到達時間差

# 推定された遅延信号 (遅延プロファイル) の例

直接波

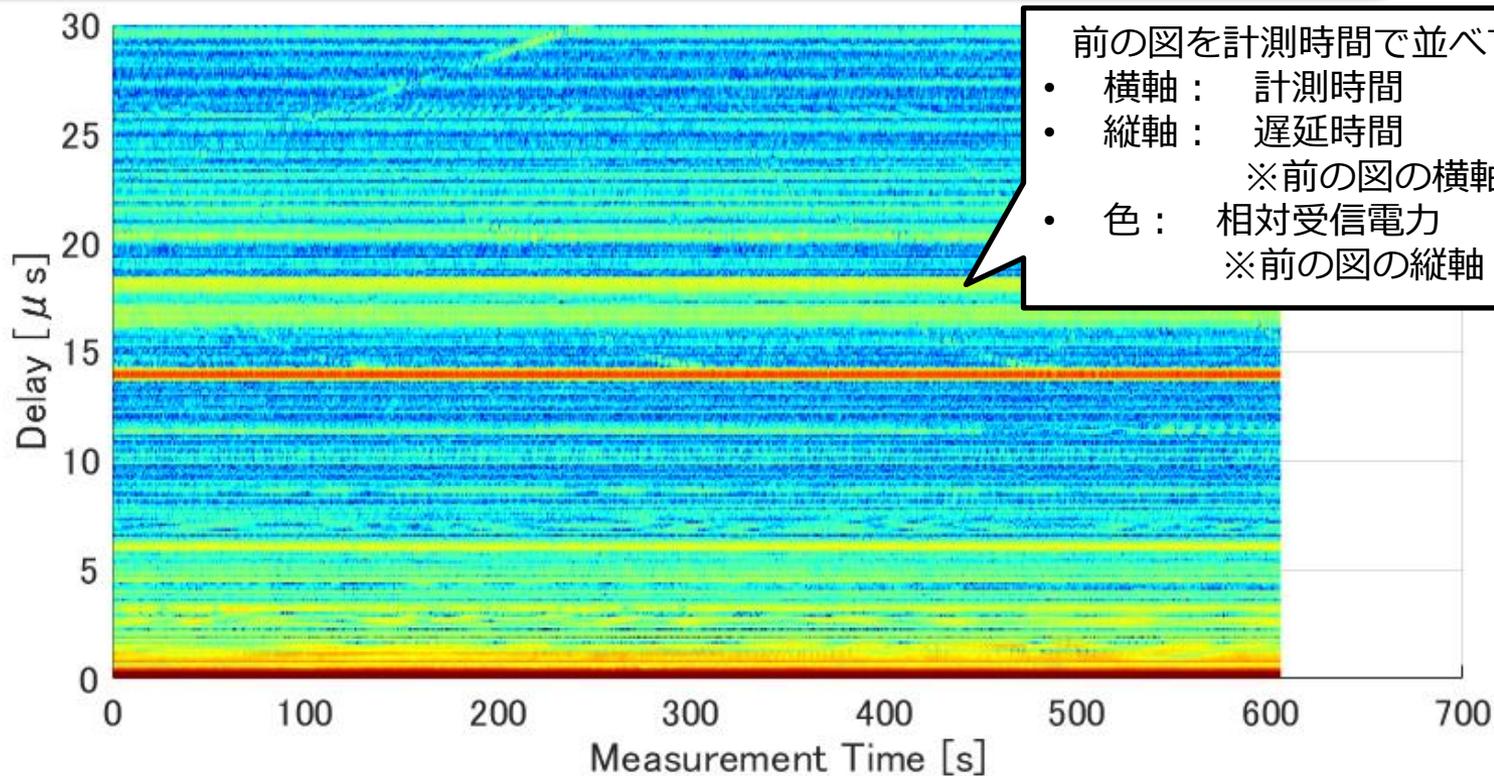
直接波信号に  
対する相対受  
信電力で表現



推定された遅延プロファイル

## 推定された遅延信号 (遅延プロファイル) の例

- 送信機とは離れた受信機のみで信号の遅延時間の推定が可能
- > ISDB-T方式はマルチパスに強いとはいえ、通常は unnecessary 信号
  - > [提案手法] (比較的簡単に) マルチパスの遅延時間を取得できるであれば、この信号を航空機監視に利用できないか??



# バイスタティックレンジ

信号の遅延時間

$$\tau = \frac{r_1 + r_2 - r_0}{c} \quad [s] \quad (1)$$

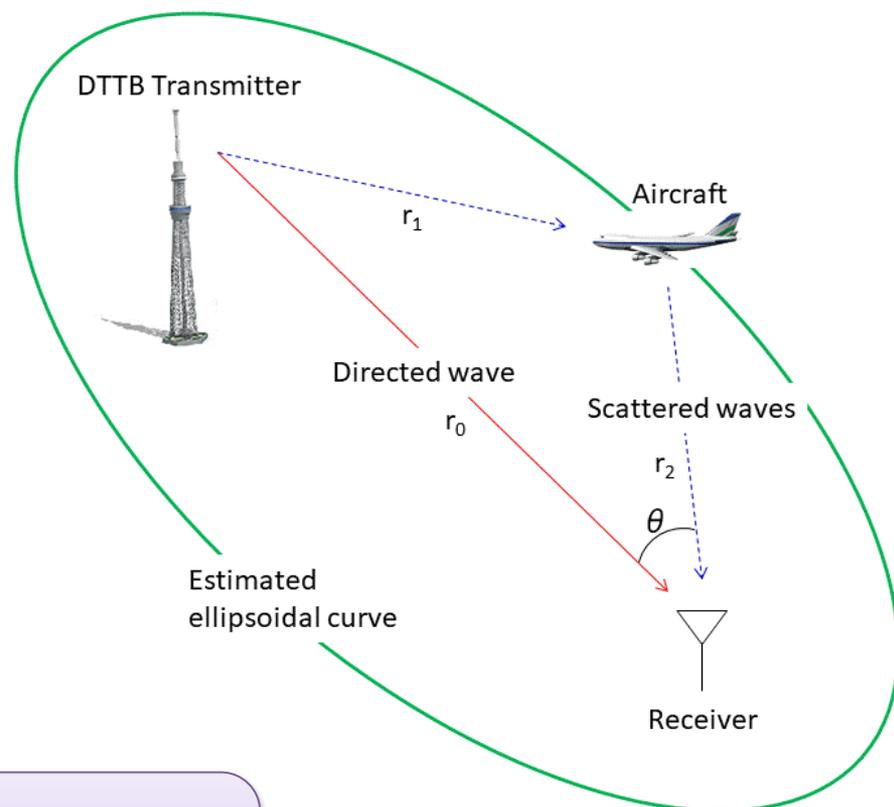
\*c : 光速

バイスタティックレンジング

$$r_1 = \frac{\Delta(\Delta + 2r_0)}{2r_0(1 - \cos\theta + \Delta/r_0)} \quad (2)$$

\*遅延時間（到達時間差） $\tau$ に対応した伝搬距離を $\Delta$ とする

$$\Delta = c\tau$$



バイスタティック楕円

遅延時間と送受信機の位置関係から、対象物は送受信点を取り囲む楕円状に推定される（式2の通り）

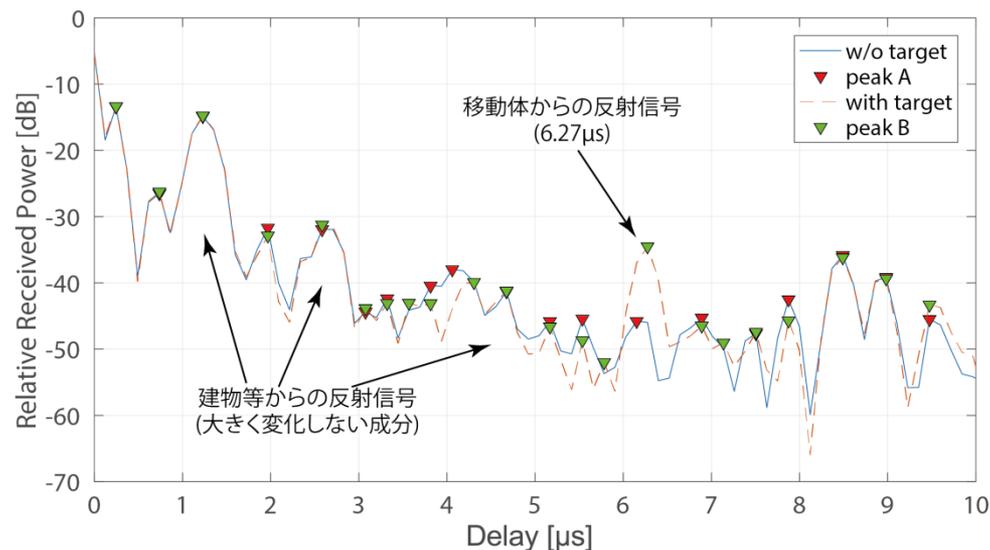
# 移動体の位置推定（1）

## 手順（移動体推定）

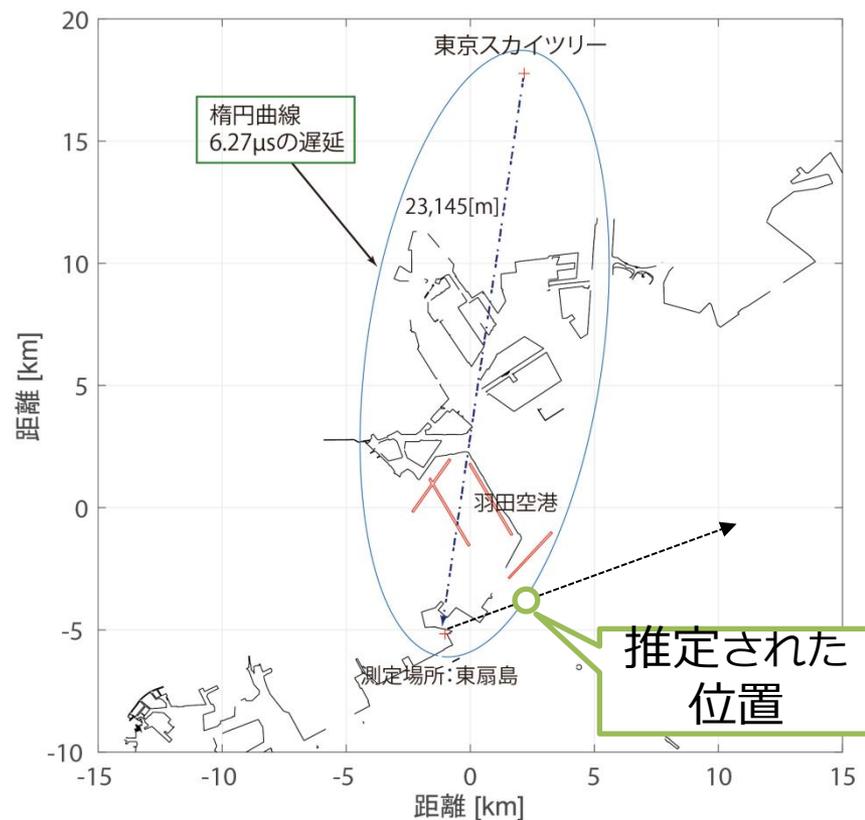
1. 建物や移動体からの遅延信号を取得（前述の通り）
2. 楕円曲線の算出（式2参照）
3. 楕円曲線と指向性アンテナの方向の交点を求める

## 【指向性アンテナの役割】

- 直接波成分の抑圧
- 散乱波強度の利得を稼ぐ



遅延プロファイルの例

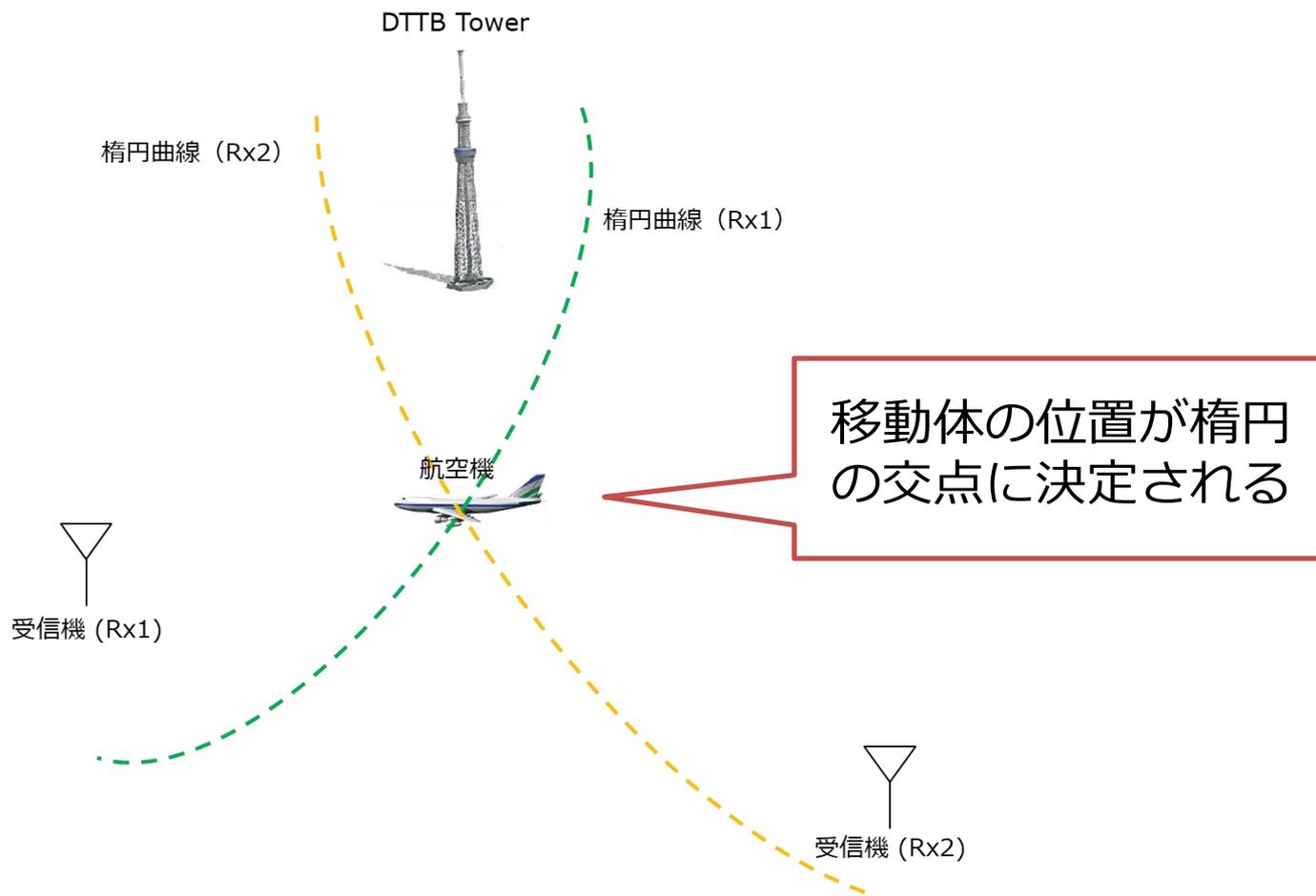


ターゲットの位置推定の例

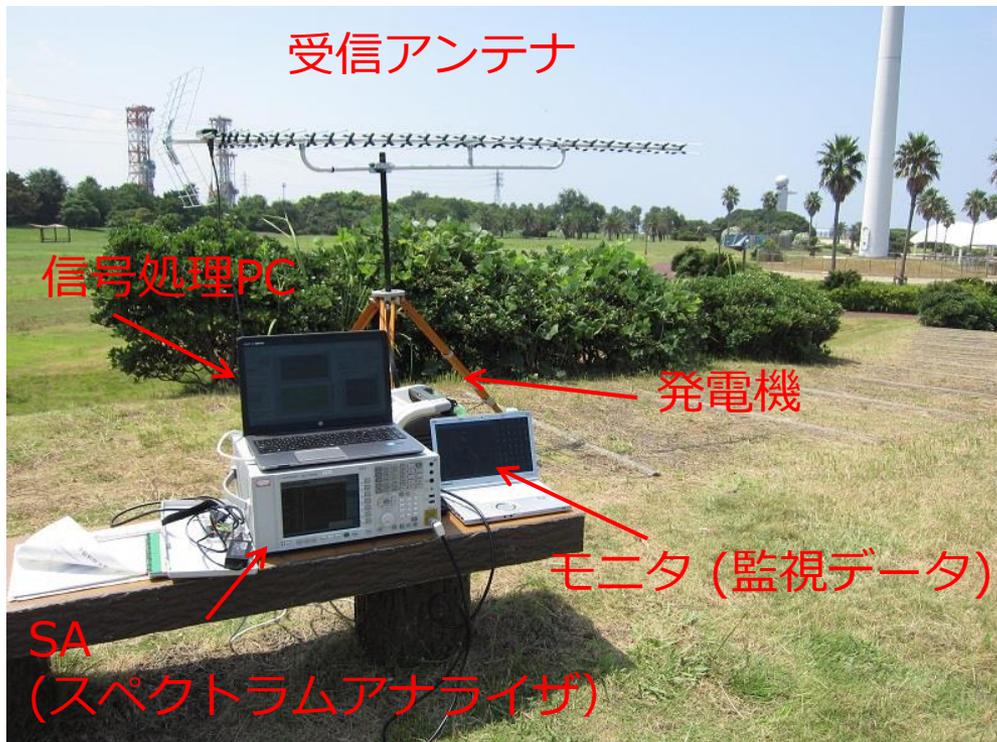
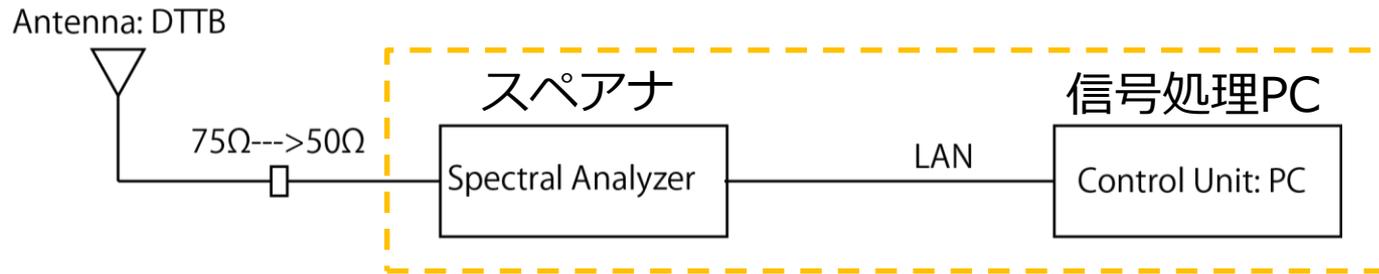
## 移動体の位置推定（2）

【2つの受信機を利用】

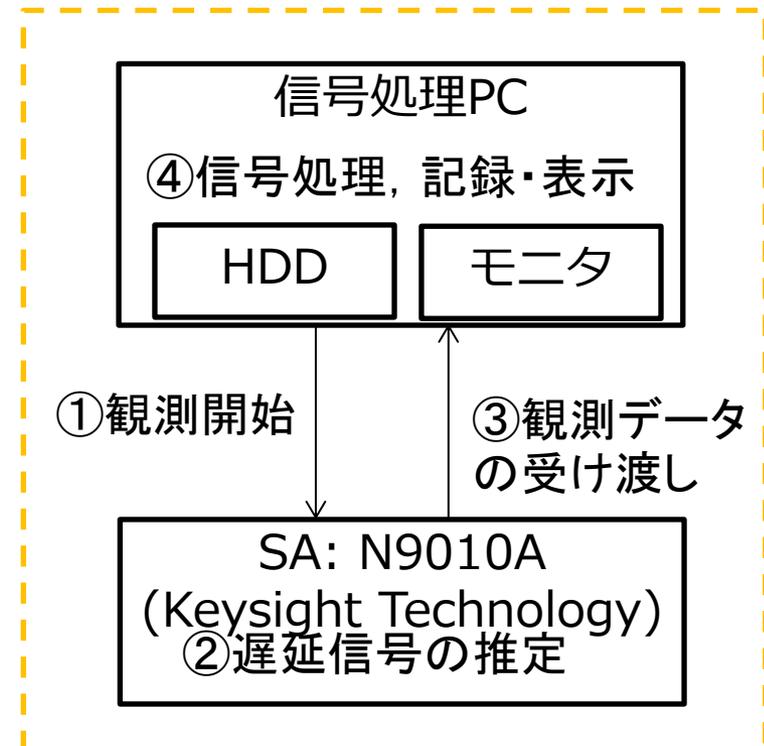
- 描かれる2つの楕円の交点から位置を推定（楕円と楕円）
  - ✓ 交点が2つとなる
- 3つ以上の受信機を使えば1点に求まる（MLATのように）



# 実験システムの基本構成



実験の様子



システム上の処理手順

## 2つの受信機から構成される実験システム

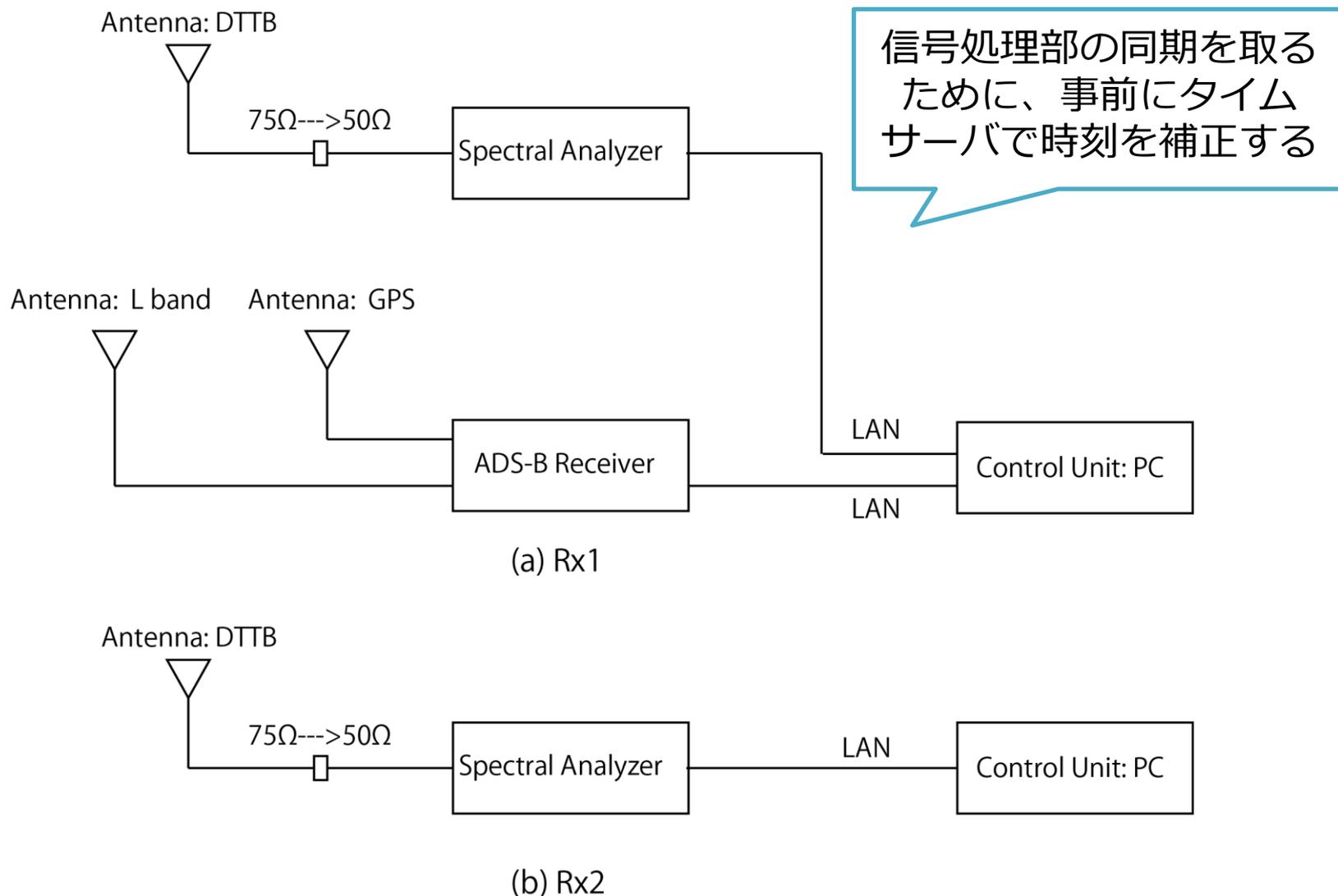
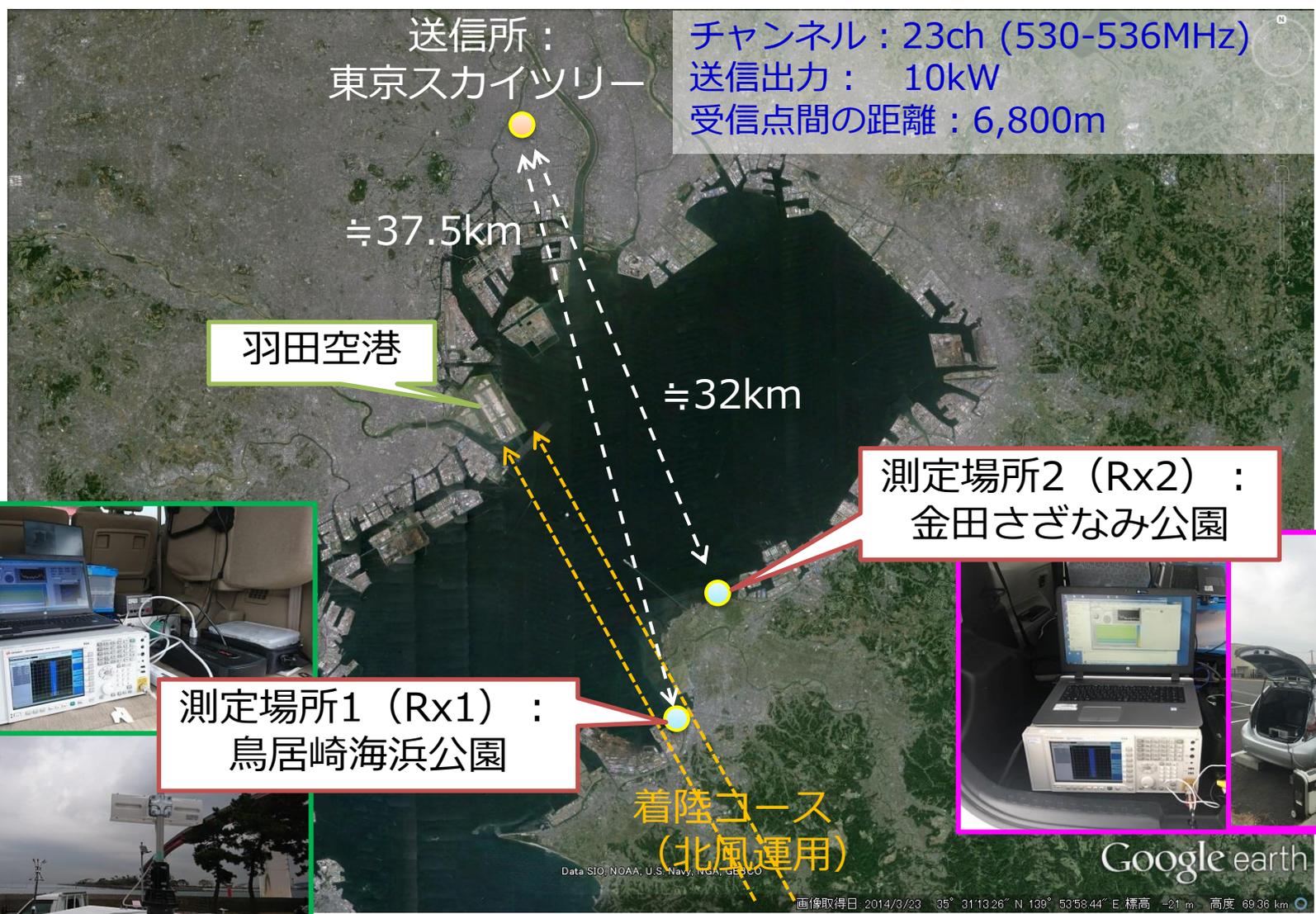
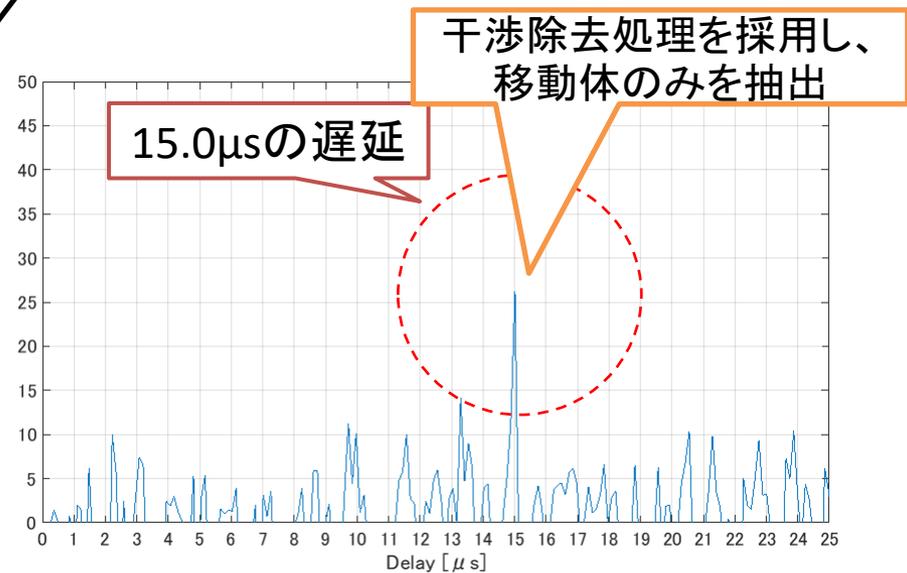
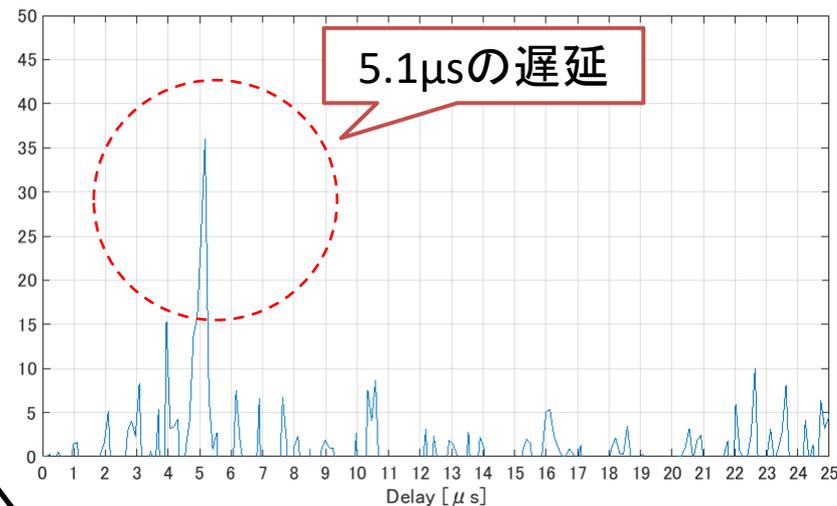
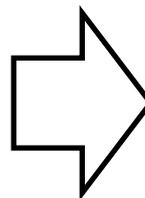
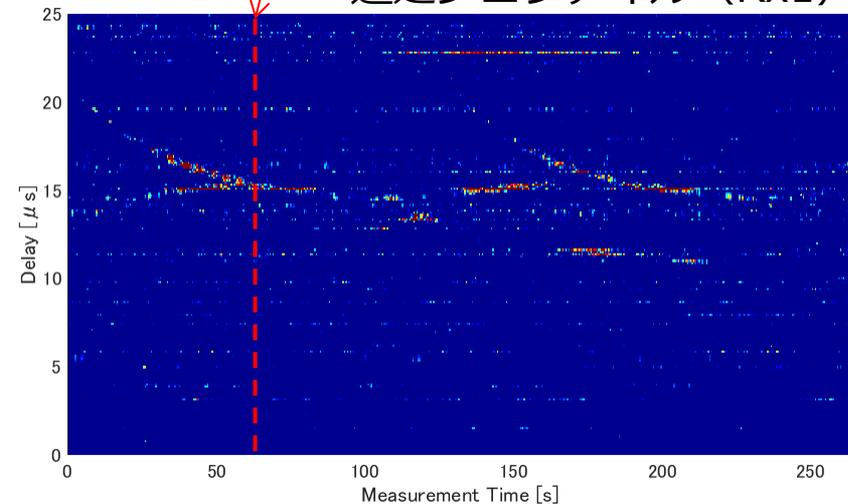
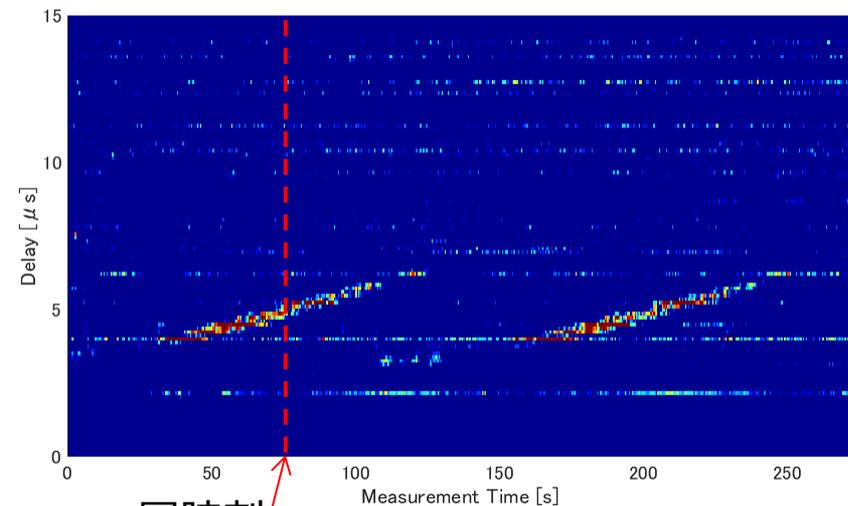


図10 測定システム構成図

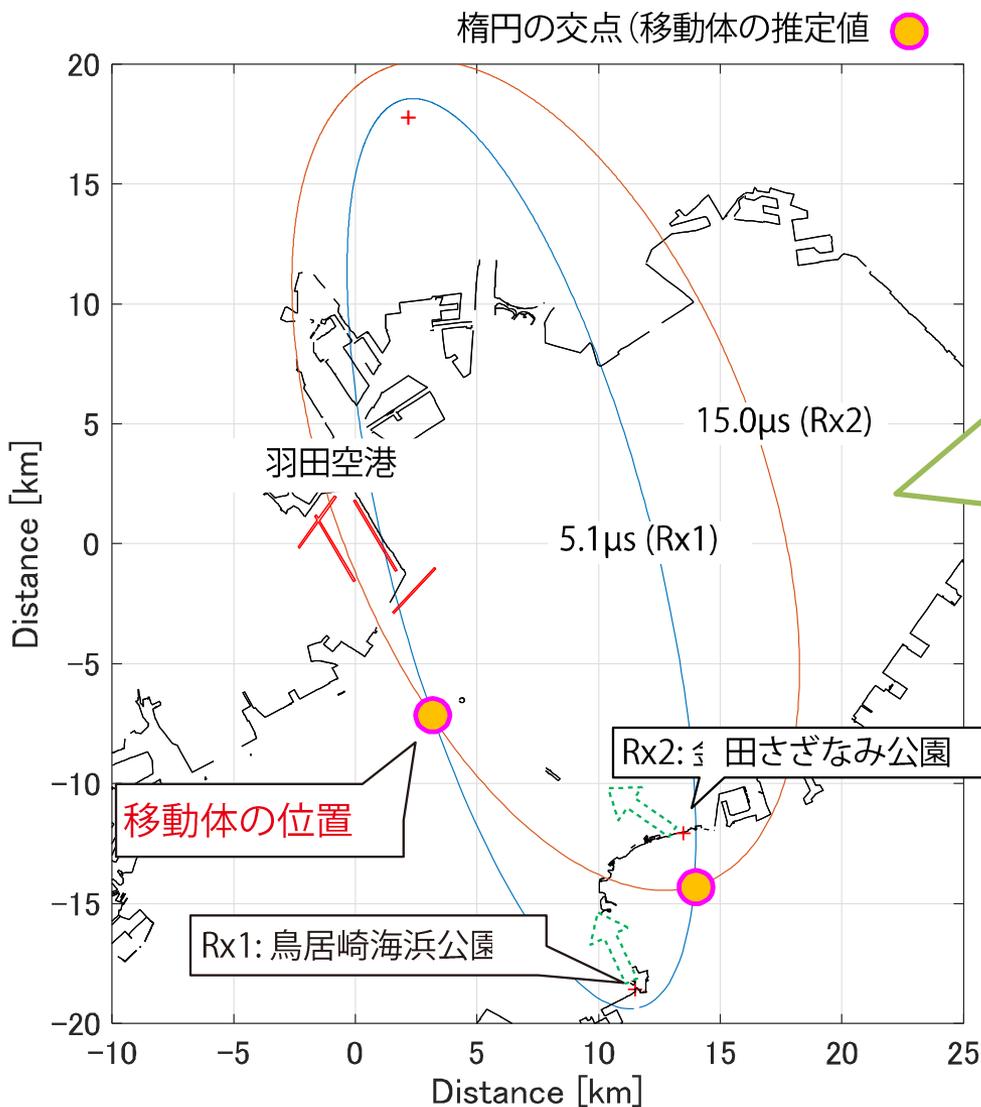
# 実験環境



# 実験結果～遅延プロファイル



# 実験結果～移動体位置推定



- 各受信局の同時刻の遅延から得られる楕円曲線の交点から位置を推定
- 図中左側の位置は羽田空港着陸経路上に位置しており、移動体（航空機）であると推測



もう1局増やし3局体制にすることにより、MLAT同様に1点に移動体の位置が求まる  
(次のステップ)

## まとめ

- 電子航法研究所が提案したDTTB遅延信号を利用した新しい航空機監視技術を紹介
  - 基本原理について説明
  - 東京湾周辺で実施した実験結果を示した
  - 固定物との比較で精度はおおむね良好であると判断
  - 2局の受信機を使うことでMLATのように楕円の交点から位置を推定できることが分かった
- 課題
  - 本システムの性能評価を実施
  - 必要な信号処理方法について検討
  - マルチ化に向けたシステム構成の検討