

アレーアンテナを活用した監視技術高度化の研究

監視通信領域 長縄, 北折, 古賀, 宮崎

背景

研究概要

本発表で紹介する成果

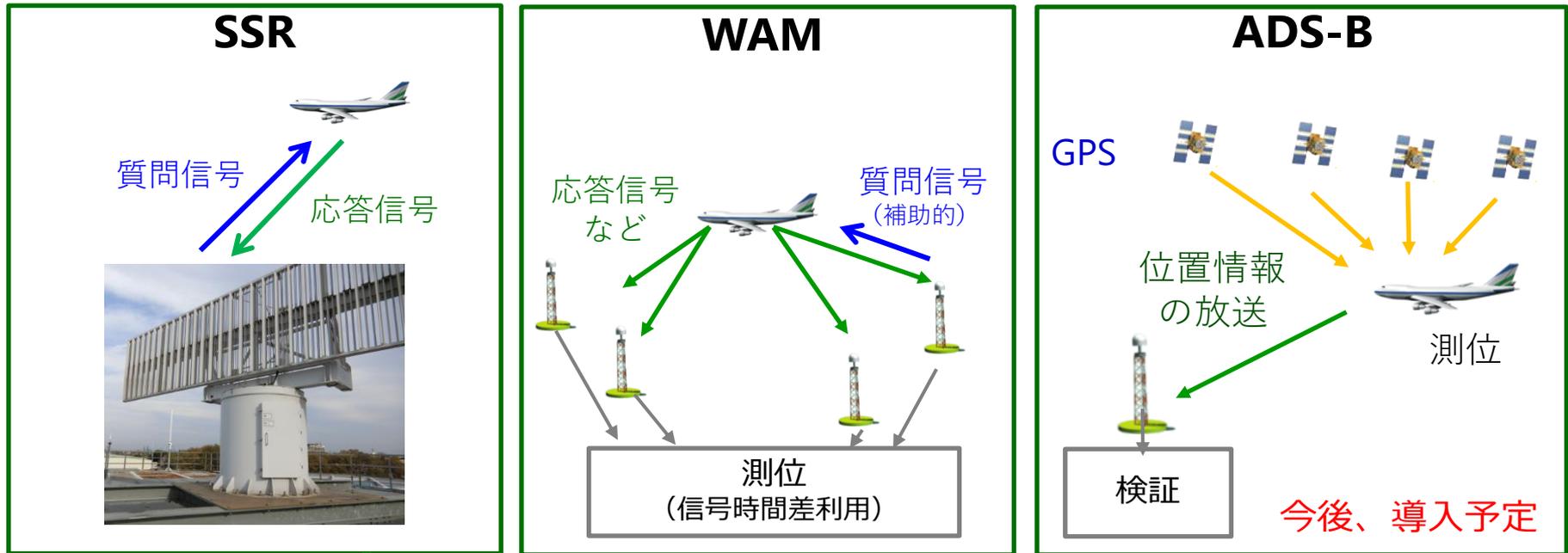
1. アクティブフェーズドアレー評価機材に関する分析
2. デジタルビームフォーミング実験システムの開発・評価
3. ADS-B脆弱性対策（なりすまし対策）の発展
4. WAMとの連携測位技術の開発・評価

SSRに関連

まとめ

現在の状況

- 我が国の航空路監視における技術革新の方向性
「マルチセンサー（SSR・WAM・ADS-B※）」
 - 異種センサの出力を統合し、各センサの長所を取り入れる
- 現在までにSSRとWAMが導入され、現在はADS-Bの導入が検討



出力を統合
(マルチセンサー処理)

※ マルチレーダーとも呼ばれる
SSR: Secondary Surveillance Radar 二次監視レーダ
WAM: Aide Area Multilateration 広域マルチラレーション
ADS-B: Automatic Dependent Surveillance - Broadcast 放送型自動従属監視

現在の状況

- 各センサは独立して動作し、冗長性の高い構成



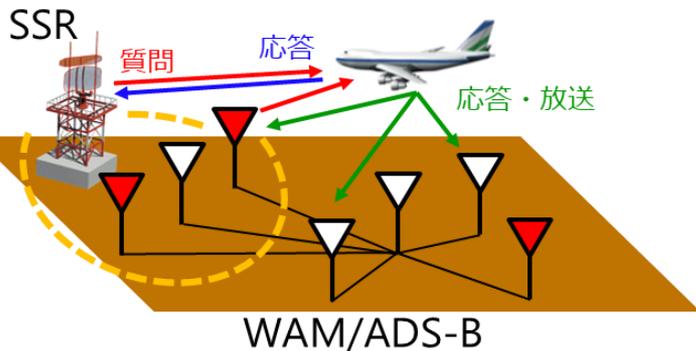
- 一元的に実現できればさらなる効率化・高性能化が期待される
- 各センサのアンテナは送受信条件が異なる
 - 指向性を電子的に変更可能なアレーアンテナ・アレー信号処理
 - SSRの機械式回転の電子化にもつながる

令和3年度～5年度 「高機能空中線を活用した監視技術高度化の研究」

- 航空路監視のさらなる効率化・高性能化の両立を目指す
- 電子走査型で周辺受信局との連携機能を持つアレーアンテナを「高機能空中線」として提案
- 要素技術開発を実施

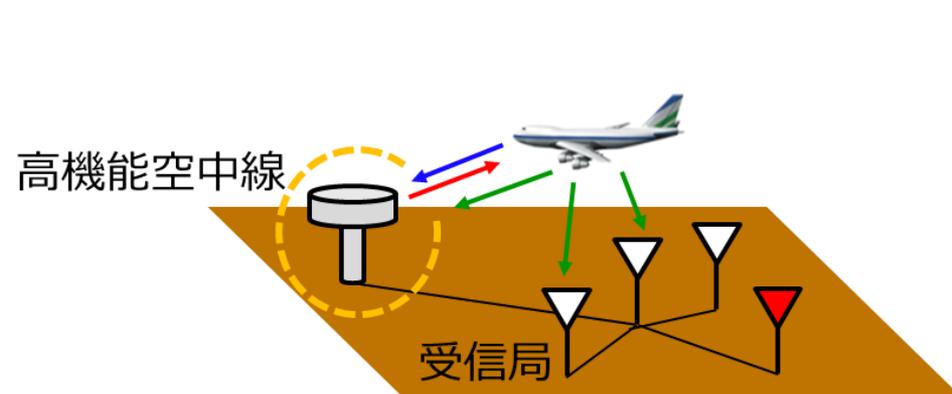
現在のシステム

- SSR
- WAM
- ADS-B (今後整備)



目指すシステム：高機能空中線で一元化

- 送受信の集約、電子走査化 (保守負担減)
- 受信局と連携 (性能向上、サイト数削減)

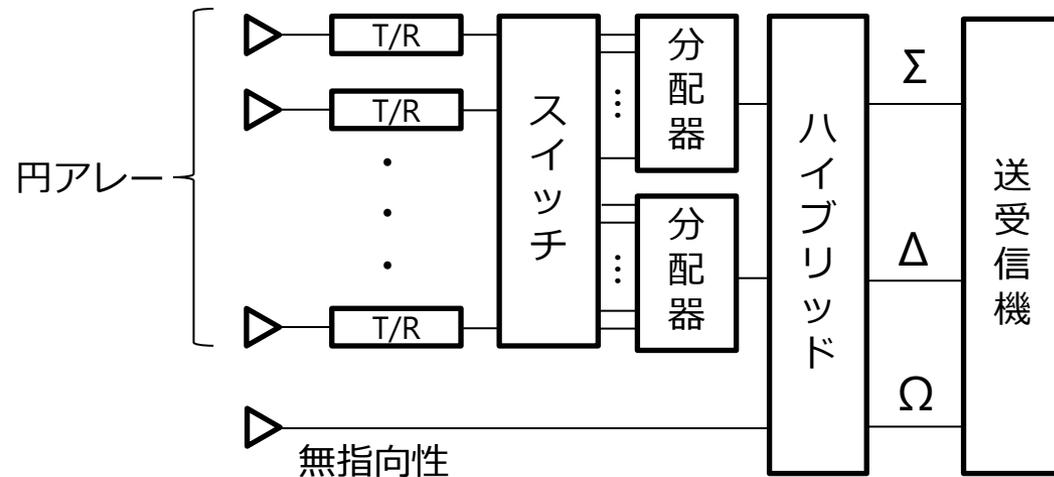


1. アクティブフェーズドアレー評価機材に関する分析
2. デジタルビームフォーミング実験システムの開発・評価
3. ADS-B脆弱性対策（なりすまし対策）の発展
4. WAMとの連携測位技術の開発・評価



SSRに関連

- 航空局 技術管理センター殿が所有する評価機材を借用し、アクティブフェーズドアレイ方式によるSSR電子化という観点で分析
- 本方式は高機能空中線の基本方式の位置づけ

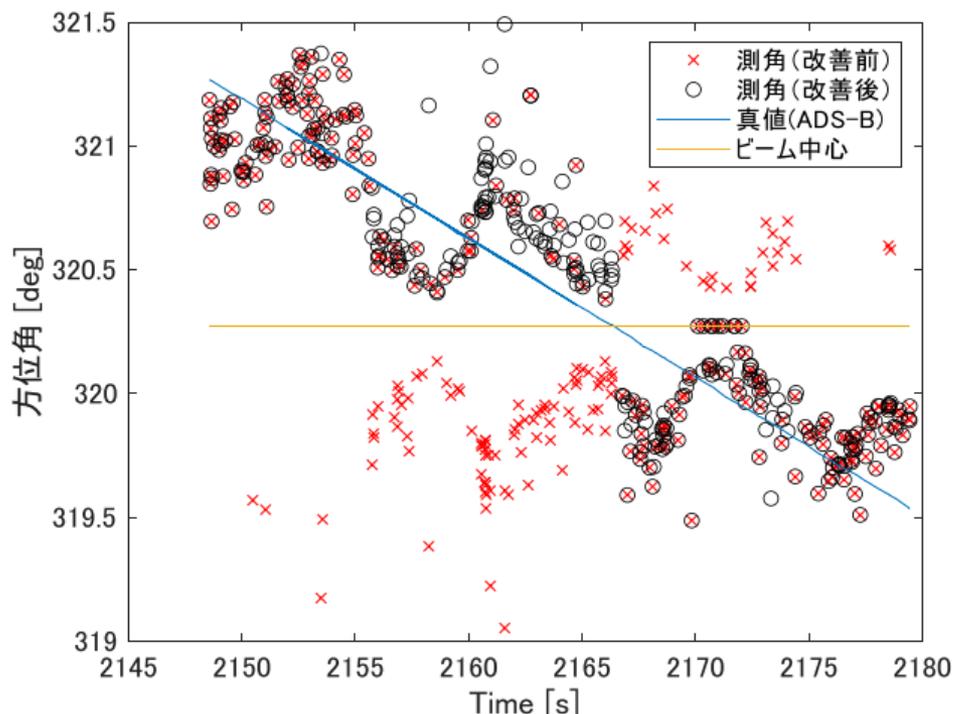


- 本来は主にDAPs評価用
- 飛行実験・在空機の評価結果から、覆域・精度等は現在のSSR同等とするには改善が必要
→ 性能向上に向けた技術的な選択肢整理と改善効果試算を実施

検討例 1) モノパルス化

準モノパルス (振幅のみ)

→ モノパルス (位相も利用) を模擬評価

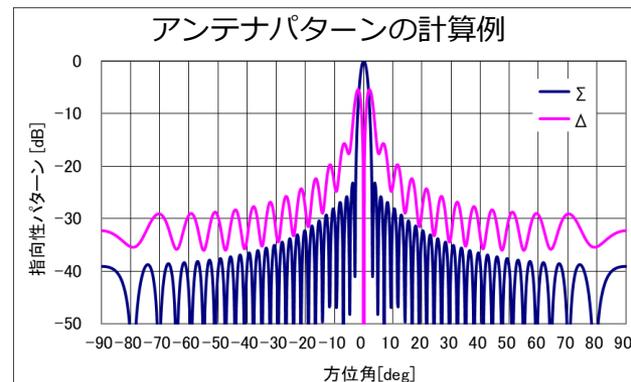


左右判定が改善
 誤差の標準偏差は $0.37^{\circ} \rightarrow 0.28^{\circ}$
 (25.5%削減)

検討例 2) 大型化

設計目標 :

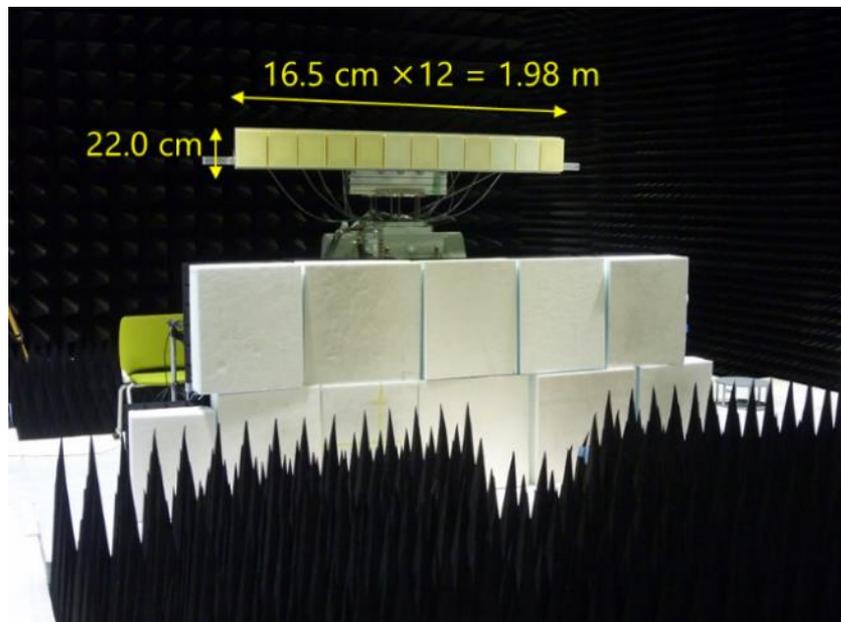
- 2.9 dBの利得改善
- 2.5°のビーム幅
(実験結果等に基づき)



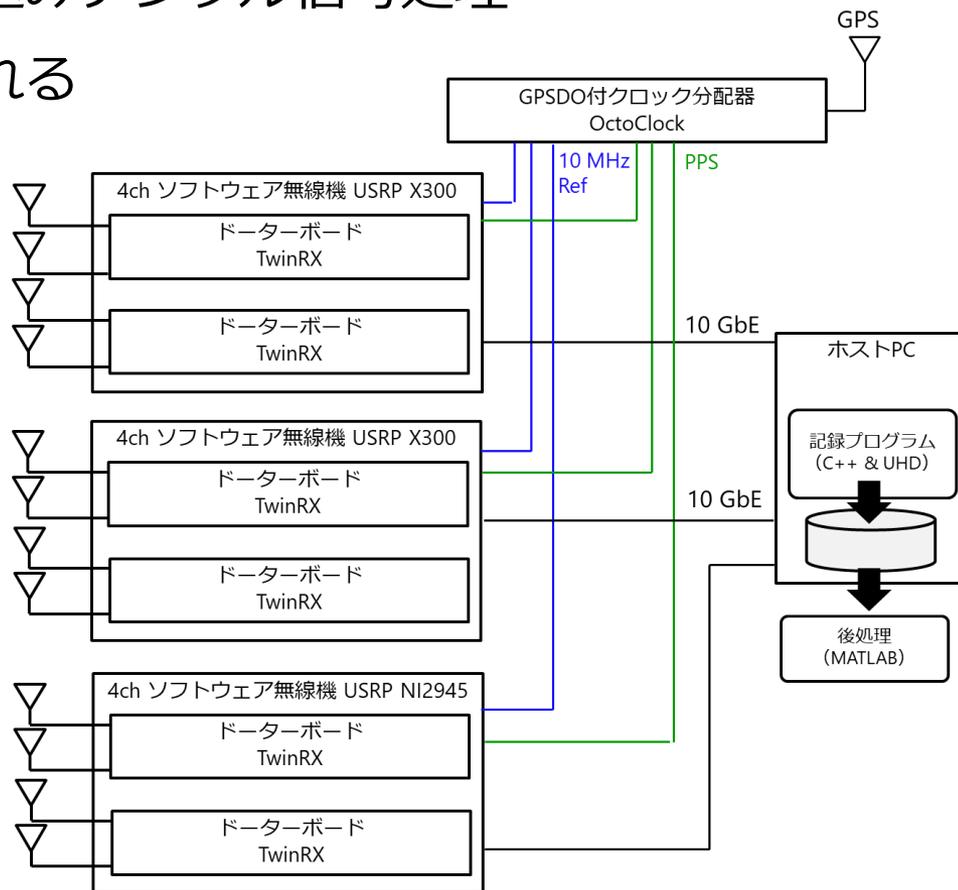
半径	4.75 m
垂直素子数	3段
水平素子数	192
ビーム幅	2.5°
利得	22.0 dB

アクティブ方式のみでは大型化するため、小型化と高精度化の両立を目指してデジタルビームフォーミングの開発を実施

- 各アンテナ素子の受信を取り込みデジタル信号処理
- 気象レーダなどの事例が知られる

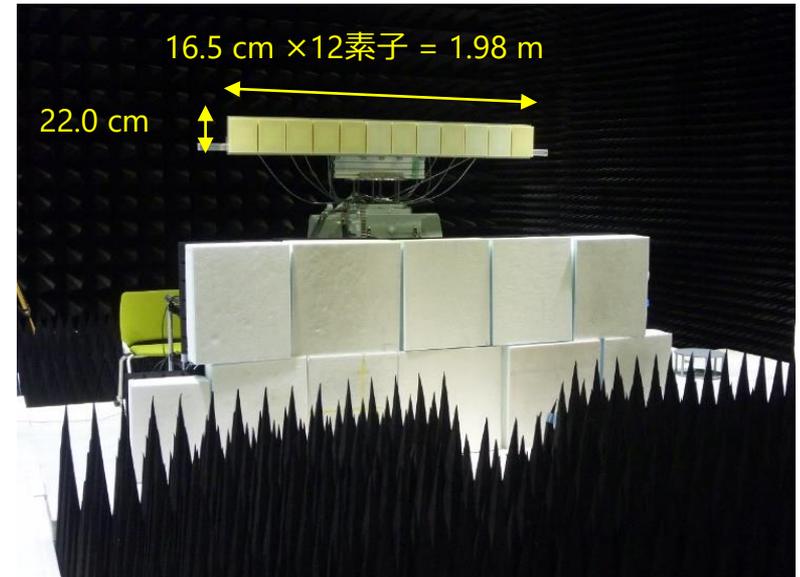


12素子の実験システム



1. 電波無響室内での評価

- MUSIC法で誤差標準偏差 0.04°
- 高精度化と小型化の可能性



2. 屋外での評価

- MUSIC法で誤差標準偏差 0.34°
- マルチパスが課題
- アルゴリズムの比較

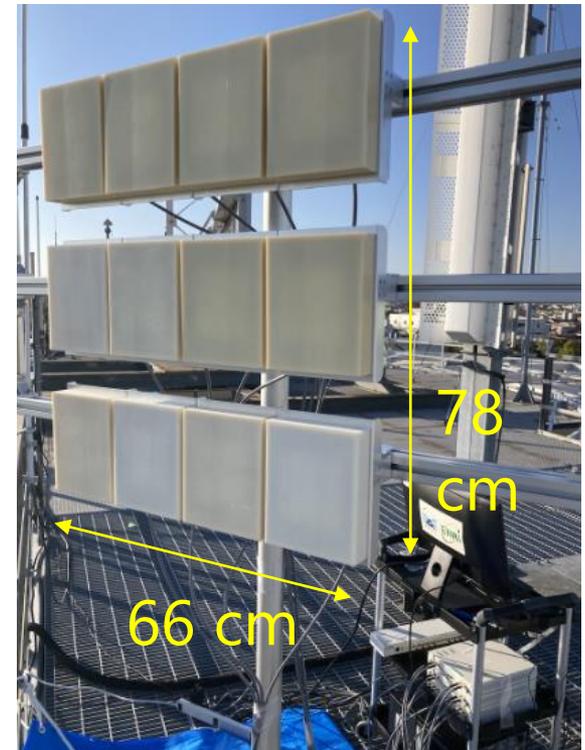
種類	精度	はずれ値割合
Beamformer	0.365°	2.3 %
Capon	0.374°	4.2 %
MUSIC (波数固定)	0.337°	1.7 %
MUSIC (波数可変)	0.348°	0.65 %



- 素子数と精度の比例関係も確認（必要サイズの概算に有効）

3. 屋外での評価：マルチパス対策の重要性

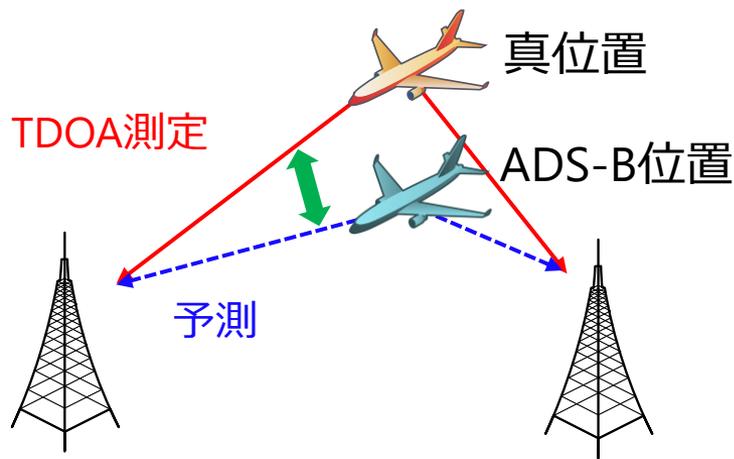
- 垂直方向のビームを形成
- 対策無し（縦1×横4）： 1.1°
対策有り（縦3×横4）： 0.71°
- 必要規模を概算
 - 縦0.78 m × 横7.9 m
 - 縦方向は既存SSRの約半分



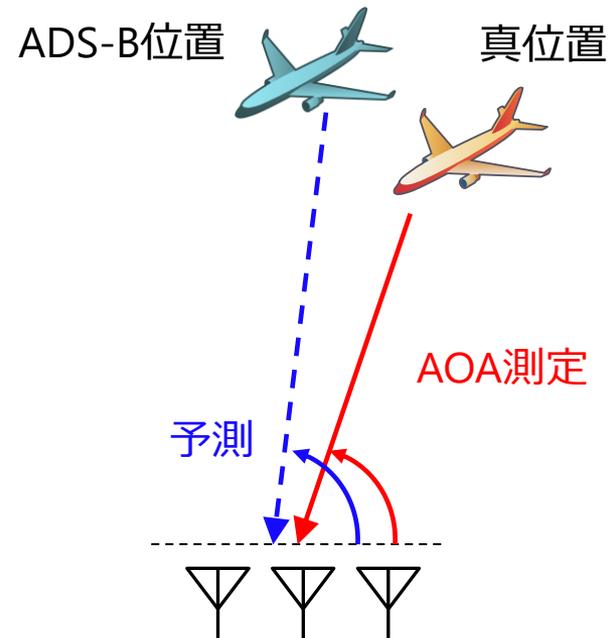
先行研究では信号到達時間差（TDOA）を開発し、本研究でも実用化に向けた取り組みを継続

本発表では高機能空中線による性能向上の実験的評価を紹介

TDOA法（従来技術）



AOA法（Angle of Arrival: 到来角）



TDOA-AOA法

データ収集

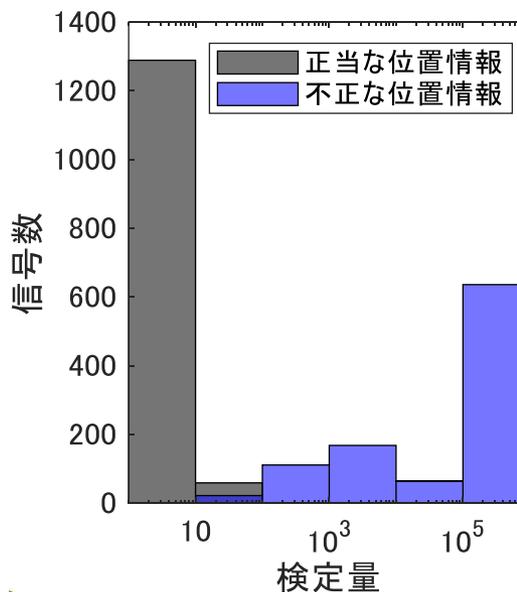
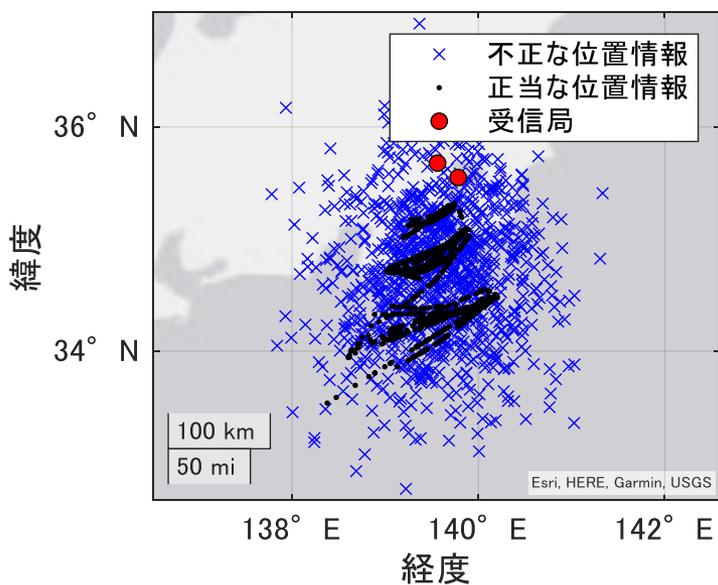


TDOA

AOA

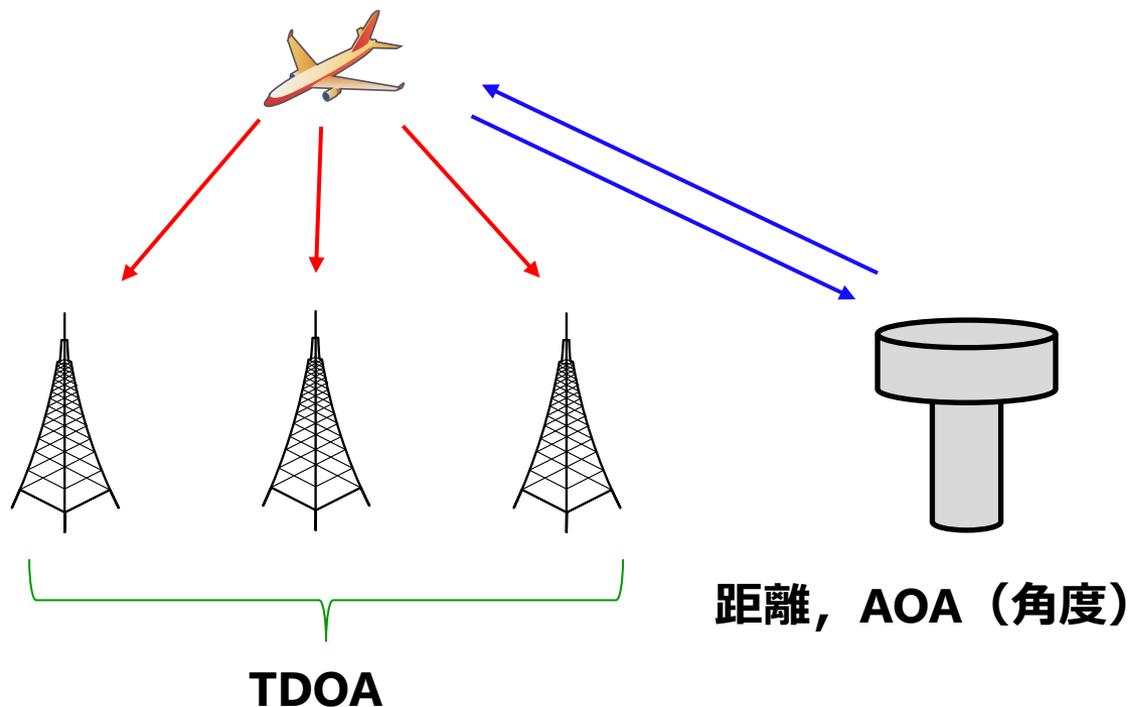
不正検知の実験

測定データ：在空中機（正当）に人工的な不正信号を混入し、検知成功（98.5%）

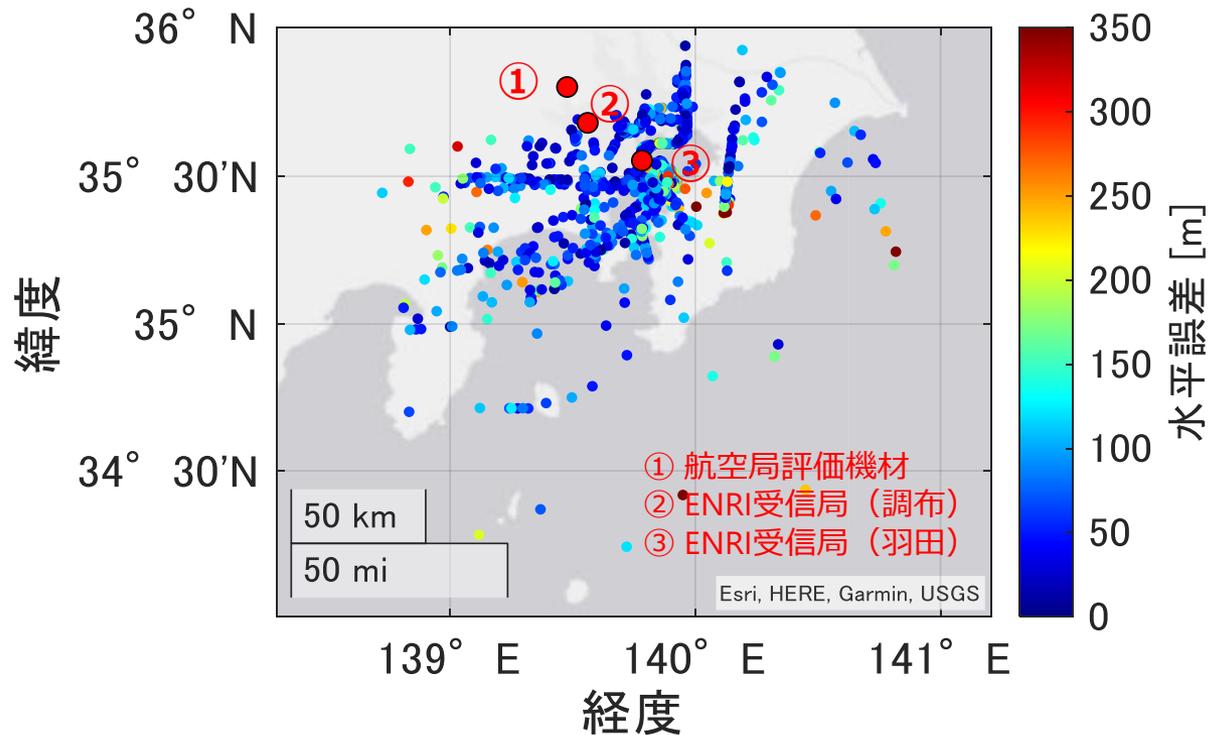


高機能空中線とWAM受信局を連携させる測位機能

- WAMは複数の受信局で得たTDOAをもとに航空機を測位
- 高機能空中線が測定した距離・AOAも併用して測位
→ アルゴリズムを開発

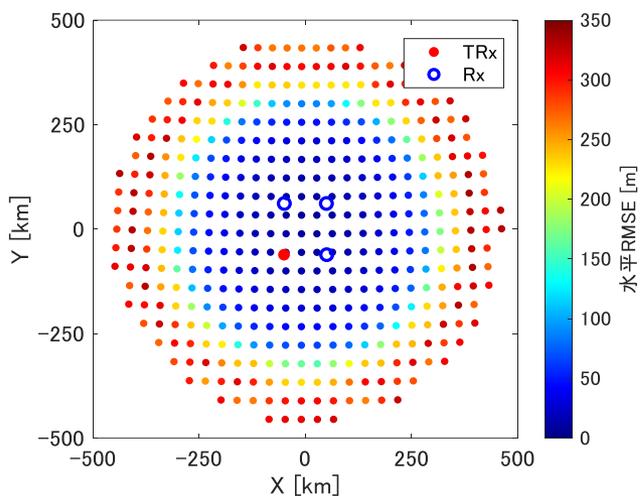
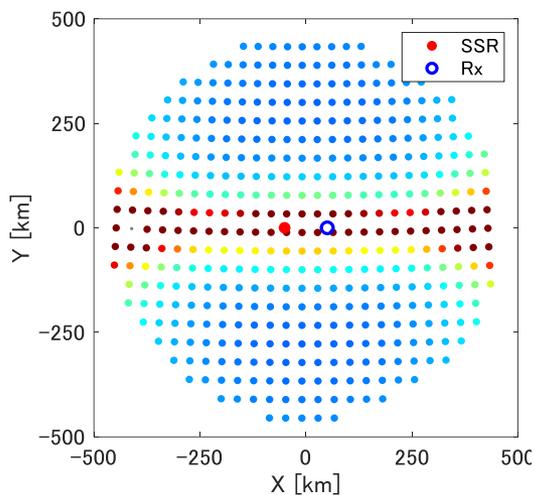
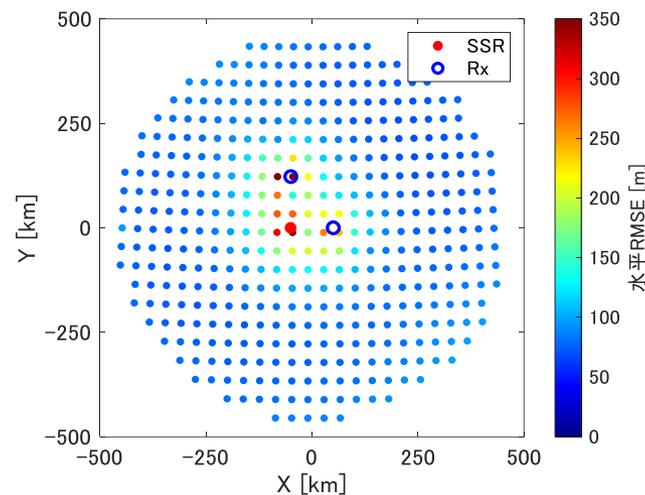


実験データによる原理検証



- データを収集し、実験後にオフライン測位
- 装置は製造業者が異なり時刻同期に補正
- 測位に成功
→ RMSE 89.9 m
- 基線方向は精度が悪化 (測位原理上)
- 従来WAMは4局必要だが3局での測位に成功

シミュレーションによる導入効果検討

従来WAM
最低4局必要提案法
最低2局で動作提案法
3局で従来WAM以上の性能

- 2～3局のみでWAM相当の水平精度350 mを実現
- WAMは通常4局以上必要であり、1～2局の削減効果が期待される
- 測角精度はSSRより緩和した条件を仮定しており、連携によってアンテナサイズを小型化する効果もある

電子走査型で周辺受信局との連携機能を持つアレーアンテナを「高機能空中線」として提案し、要素技術開発を実施

- アクティブ方式の分析
- デジタル方式・脆弱性対策の補強・連携測位の開発
- SSR, ADS-B, WAMに適用可能で様々なメリットがある

今後の課題

- アレーアンテナの小型化