

### 3. 広域マルチラレーションの基礎実験結果

宮崎 裕己，上田 栄輔，角張 泰之，二瓶 子朗（通信・航法・監視領域）  
古賀 禎（機上等技術領域）

#### 1. まえがき

東京国際空港や成田国際空港では、滑走路の増設や延伸、新たな誘導路やターミナルビルの整備が進められており、空港容量が拡張される計画である。そして、空港容量の拡張により交通量が増大した場合においても、安全かつ円滑な運航を確保するために、拡張後に対応した管制を支援するシステムの整備も進められている。このうち空港面監視に関しては、マルチラレーション（MLAT: Multilateration）装置が導入された。

一方、空港容量を拡張するために高度な運用方式も導入される計画であり、離発着のタイミングが滑走路間で依存し合う「井桁運用」や、平行滑走路の同時進入・出発等が実施される。

これらの運用方式を実現するためには、空港面のみならず空港周辺を飛行する航空機に対しても高精度かつ高頻度で監視することが求められる。現在、空港周辺を飛行する航空機に対しては、ターミナルレーダー（ASR: Airport Surveillance Radar）を利用して監視が行われている。しかしながらASRは、更新頻度が低いことや空港近傍が覆域の対象外であることなどの課題を持つ。このため、ターミナルエリアやアプローチエリアを監視対象とした広域マルチラレーション（WAM: Wide Area Multilateration）技術の開発・評価が国際的に進められている。我が国の混雑空港周辺では空域や飛行ルートに制限が多く、航空機は狭く限られた経路を航行している。この状況において、前述した高度な運用方式の導入と、これに伴う交通量の増加を考慮すると、より高性能な監視装置が必要になると想定される。

このような背景から、当研究所は空港周辺の空域を高精度・高頻度で監視できるWAM技術を開発する研究を進めている。本研究の目的は、WAM評価用装置（以下、評価用装置とする）

を製作して、高性能化を重点に機能および性能の評価試験を行い、我が国におけるWAM技術を確立することである。

本稿では、初めにWAMの測位原理や性能について述べる。次に評価用装置の構成や各装置の機能を説明して、東京国際空港周辺を対象に実施した基礎実験の結果を示す。基礎実験の目的は、高性能化を図るために適用した技術の事前検証である。そして、最後にまとめを述べる。

#### 2. WAMの概要

##### 2.1 測位原理

図1に測位原理の概念図を示す。WAMでは、航空機に搭載されたトランスポンダが送信する航空機衝突防止装置（ACAS: Airborne Collision Avoidance System）のスキッタや二次監視レーダー（SSR: Secondary Surveillance Radar）の応答<sup>(1)</sup>を複数の受信局で検出して到達時刻を測定する。次に、測定した到達時刻から受信局間の到達時刻差を求めて、航空機と各受信局との距離差に変換する。そして、距離差が一定との条件からなる楕円双曲面同士の交点を求めることで航空機の位置を算出する。空港面監視用のMLATと異なり、高さも含めた3次元で測位するためには、最低4局の受信局で信号を検出することが必要である。

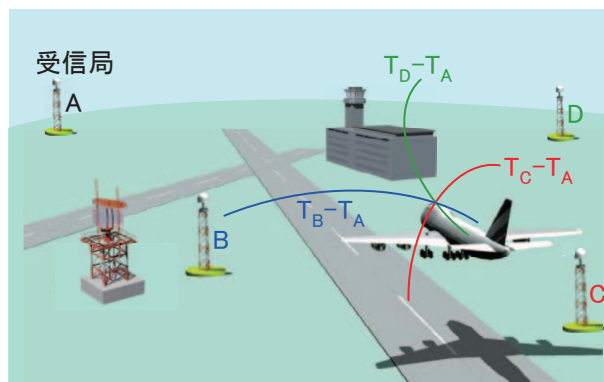


図1 測位原理の概念図

## 2.2 特徴

WAMの主な特徴を以下に示す。

- ①更新頻度が高い  
スキッタ送信周期の1秒平均で更新可能
- ②ASRのようなブラインドが生じない  
空港近傍やアンテナ直上も監視可能
- ③覆域を柔軟に設計できる  
監視エリアに合わせて受信局を配置可能
- ④航空機側に追加装備を必要としない  
地上側機材の整備で運用を開始可能

## 2.3 高い性能を得るには

測位精度は、航空機と受信局アンテナの位置関係で決まるDOP（Dilution Of Precision）と信号検出時刻の測定精度に依存する。

DOPは、図2に示すように受信局アンテナが航空機を取り囲む配置となった場合に良好となる。このため、広い覆域に対して良好なDOP値を確保するには、受信局を広範囲に配置することが必要となる。

信号検出時刻の測定精度は、時刻検出の分解能と受信局間の時刻同期精度で決まる。高い分解能を達成するためには信号検出のサンプリング周波数を増加させることが必要である。時刻同期の概要については次項で説明する。

一方、性能低下の主な要因として、信号干渉による時刻検出誤差の増大や信号解読の不能が挙げられる。覆域の広いWAMでは遠方から送信される微弱な信号を検出するため、MTL（Minimum Triggering Level）を低く設定する。このため、空港面監視用のMLATと比較して信号重畳の頻度が高いことから、干渉に強い信号処理技術を適用することが重要となる。

## 2.4 時刻同期

表1に主な時刻同期手法に対する同期精度の目安を示す<sup>②</sup>。基準局方式とは、既知の位置に設置した基準局が送信するスキッタを各受信局が検出して、MLAT測位の結果から時刻同期を図る方式である。本方式は簡易に実装でき、比較的良好な同期精度が得られることから、空港面用MLATでは広く採用されている。一方、基準局から見通しが得られる位置に受信局を設置する必要があり、WAMへの実装は困難である。

単独GPS方式とは、受信局にGPS受信機を搭載して時刻同期を図る方式である。本方式も容易に実装できるが、同期精度が劣る欠点を持つ。

GPS Common View方式<sup>③</sup>とは、受信局間で同時に同一のGPS衛星からの信号を受信することにより、衛星が持つ時計の誤差を相殺して、高精度な時刻同期を図る方式である。各受信局に搭載されたGPS受信機から衛星情報を転送してCommon View処理を行う必要があり、実装は容易ではないが、高い同期精度を達成できる利点を持つ。

## 3. 評価用装置の概要

図3に評価用装置の構成を示す。評価用装置は4局の受信局、送信局、および処理装置から構成される。各装置間はWAN（Wide Area Network）により接続される。以下に各装置の機能を説明する。

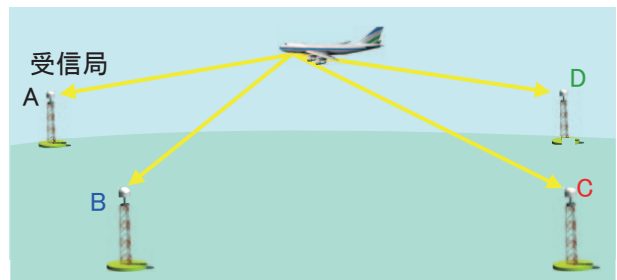


図2 DOPが良好となる位置関係

表1 各手法に対する同期精度の目安

手法	同期精度
基準局方式	5～10ナノ秒
単独GPS方式	10～20ナノ秒
GPS Common View方式	2～5ナノ秒

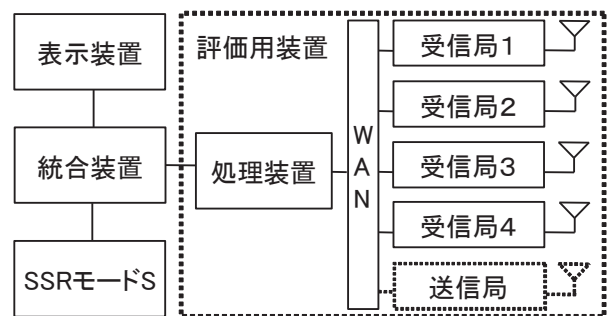


図3 評価用装置の構成

(1) 受信局

図4に受信局の機能構成を示す。受信局は、スキッタとSSR応答を受信して、信号検出時刻を測定するとともに信号内容をデコードする。これらの情報をターゲットレポートにまとめて処理装置に出力する。高性能化を考慮して、信号検出のサンプリング周波数を500MHzとしており、高い分解能(2ナノ秒)が期待できる。また、時刻同期にはGPS Common View方式を採用した。一方、信号処理技術はSSRモードS地上局と同じ方式<sup>4)</sup>を採用している。基礎実験の段階では、耐干渉性の強化は考慮していない。

(2) 送信局

送信局は、測位や位置算出を補完するため、航空機に対してSSR質問を送信する。測位の補完では、信号干渉等によりスキッタを検出できなかった場合、当該航空機に質問してSSR応答を得て、測位を実行する。位置算出の補完では、質問送信から応答受信までの時間を当該航空機までの距離に変換して、位置の算出に利用する。位置算出の補完はDOPが悪いエリアにおいて特に有効である。ただし、基礎実験においては航空機への質問を行っていない。

(3) 処理装置

処理装置は、各受信局が出力したターゲットレポートを相関処理してMLAT測位、追尾処理、および送信局への質問制御等を行う。測位誤差の低減を図るため、測位解に対して追尾処理を行い、その平滑位置を測位結果とする。ただし、基礎実験においては追尾処理を行っていない。

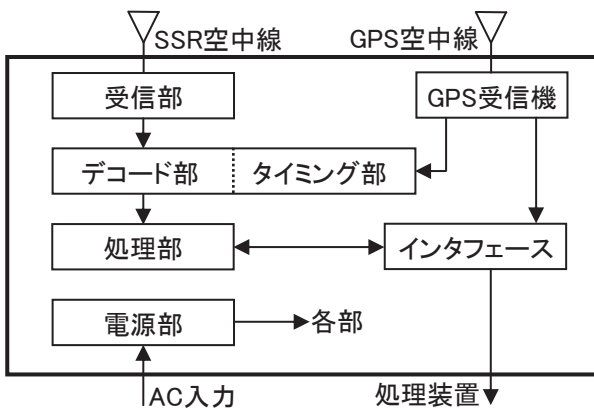


図4 受信局の機能構成

4. 基礎実験

4.1 実験方法

(1) 高性能化の検証

信号検出時刻を一般的な技術で測定する装置(以下、既存装置とする)の監視データも同一のアンテナ配置で取得して、性能を比較した。表2に時刻検出に関する両装置の比較を示す。

(2) WAM有効性の検証

受信局を空港内に集中して配置する空港面監視用のMLAT装置(以下、MLAT装置とする)の監視データも取得して、空港周辺空域の監視に対する性能を比較した。

(3) 受信局配置と評価項目

図5に受信局の配置を示す。4局の受信局は、東京国際空港(羽田)、蟹ヶ谷、海ほたる、および台場に設置した。図6に本配置に対する水平方向DOP(高度:1,000ft)の分布を示す。このDOP値を考慮して対象覆域は10NMとした。

実験の評価項目として、位置精度に着目した。位置精度は測位解(生データ)から算出して、真位置にはキネマティック方式GPSを利用した。誤差が1,000m以上の誤検出解は除外した。実験は、図7に示す飛行検査機を利用して行った。

表2 時刻検出に関する両装置の比較

	時刻同期手法	分解能
評価用装置	GPS Common View方式	2ナノ秒
既存装置	基準局方式	10ナノ秒

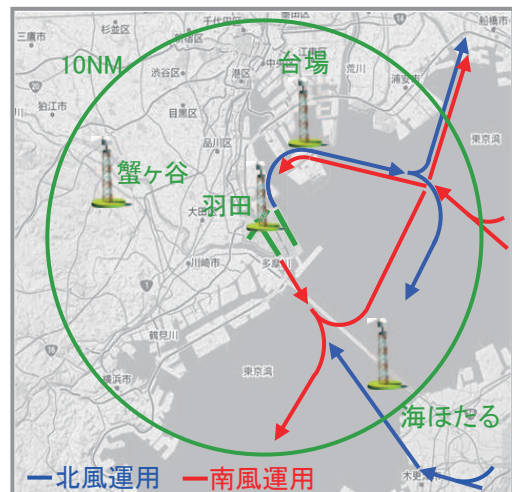


図5 受信局の配置

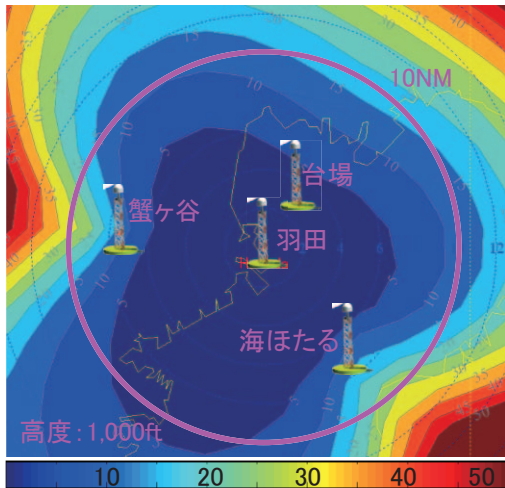


図6 受信局配置に対する水平方向DOP



図7 実験で利用した飛行検査機

## 4.2 実験結果

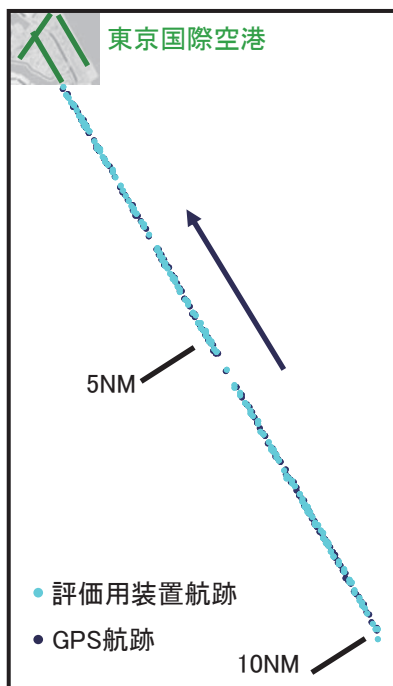
### (1) 高性能化の検証

表3に位置精度（95%信頼度）の比較を示す。

表3 位置精度の既存装置との比較

距離	評価用装置	既存装置
10NM~5NM	83m (110)	89m (143)
5NM~GND	12m (88)	20m (150)

[評価用装置]



[既存装置]

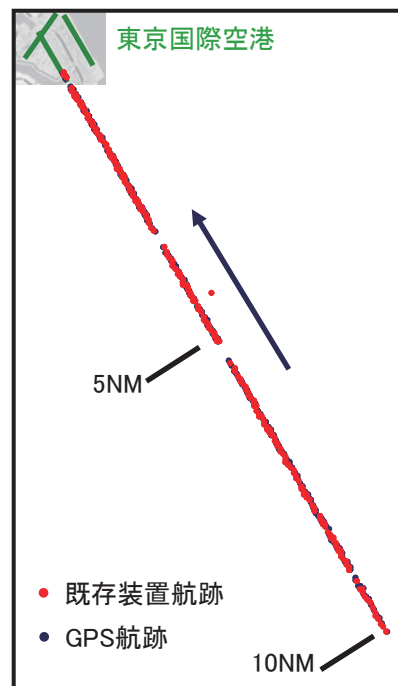


図8 既存装置との航跡の比較

括弧内の数字は測位した回数である。評価用装置の位置精度は、既存装置と比較して良好な値が得られた。図8に北風運用時における着陸航跡の比較を示す。最低受信局数である4局で測位しているため「航跡抜け」が発生しているが、GPS航跡と比較して正確に測位できていることが分かる。「航跡抜け」は受信局の追加により改善可能と考えられる。実験の結果、評価用装置に適用した信号検出時刻を正確に測定する技術は、有効に機能していることが確認できた。

一方で、評価用装置の測位回数は既存装置と比較して少ないことが分かる。収集データから、4局全ての受信局で信号を検出しているが、測位解を算出できていないことが判明した。この原因として、信号干渉の影響により時刻検出誤差が増大して、計算解が収束しないことが考えられる。このため、干渉に強い信号処理技術<sup>⑤</sup>を適用して、時刻検出誤差を改善することが必要である。

(2) WAM 有効性の検証

空港面監視用の MLAT 装置は、東京国際空港内に設置された 28 局の受信局から構成される。図 9 に MLAT 装置の受信局配置に対する水平方向 DOP の分布を示す。MLAT 装置の配置では、5NM 以遠で DOP 値が急激に悪化しており、位置精度の低下が予想される。

表 4 に位置精度の MLAT 装置との比較を示す。評価用装置の位置精度は、MLAT 装置と比較して良好であり、特に 5NM 以遠において大きく向上している。図 10 に南風運用時における離陸航跡の比較を示す。GPS 航跡に対して、MLAT 装置の航跡は 8NM 付近から大きく外れているが、評価用装置は良好に一致していることが分かる。実験の結果、受信局を柔軟に配置できる WAM は、覆域に対して良好な DOP を確保できるため、空港周辺の監視に有効であることが確認できた。

一方、評価用装置の測位回数は MLAT 装置の約半数であるが、前述した測位解の算出不能の他、受信局数の差も理由として考えられる。

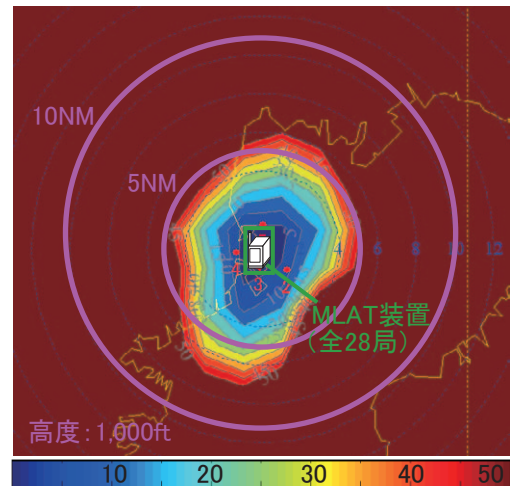


図 9 MLAT 装置の配置に対する水平方向 DOP

表 4 位置精度の MLAT 装置との比較

距離	評価用装置	MLAT装置
GND~5NM	19m (118)	70m (256)
5NM~10NM	53m (168)	694m (333)

※括弧内の数字は測位した回数を示す

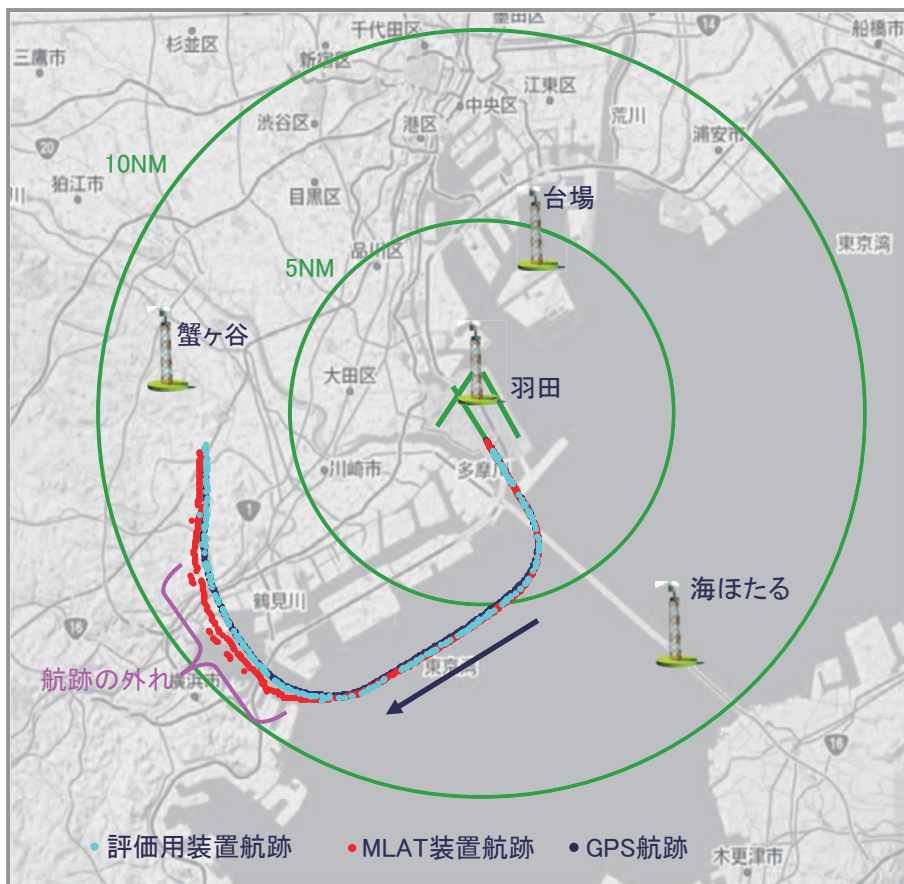


図10 MLAT装置との航跡の比較

## 5. まとめ

本稿では、当研究所で開発を進めている高性能化を目指した WAM 評価用装置の概要を説明するとともに、東京国際空港の周辺に設置して実施した基礎実験の結果を示した。

実験の結果、良好な位置精度が得られ、高性能を実現するために適用した技術が有効に機能することを確認できた。

また、空港面監視用の MLAT 装置と比較して、WAM は受信局を柔軟に配置できるとの利点から、空港周辺を飛行する航空機の監視に有効であることも確認できた。

一方で、測位解を算出できない状況が発生していることが判明した。この原因として、信号干渉の影響による時刻検出誤差の増大が考えられる。

今後は、干渉に強い信号処理技術を適用して、測位解を算出できない状況の改善を図る計画である。また、監視覆域を拡大した場合においても高い性能が安定して得られるように、質問機能と追尾処理機能を実装する計画である。

最後に、基礎実験を実施するにあたりご協力をいただきました、国土交通省航空局、東京航空局、東京空港事務所、および飛行検査官室の関係各位に感謝の意を表します。

### [参考文献]

- [1]ICAO: “Aeronautical Telecommunications”, Annex 10 Volume IV, Fourth Edition, July 2007.
- [2]W.H.L. Neven et al.: “Wide Area Multilateral Report on EATMP TRS 131/04”, Version 1.0, National Aerospace Laboratory NLR, Nov 2004.
- [3]後藤他: “GPSコモンビュー法”, 通信総合研究所季報 Vol. 49, 2003年
- [4]FAA: “Mode S Specification”, FAA-E-2716 & Amend. -2, 1992.
- [5]RTCA: “Minimum Operational Performance Standards for 1090 MHz Extended Squitter Automatic Dependent surveillance – Broadcast (ADS-B) and Traffic Information Service – Broadcast (TIS-B)”, RTCA/DO-260A, 2003.