

## 9. 設置方法を改善したマルチラテレーション監視の空港面評価

航空システム部 ※宮崎 裕己 三吉 襄

### 1. まえがき

放送型自動位置情報伝送・監視機能(ADS-B)は、管制官とパイロットが航空機の位置や速度などの情報を共有する媒体を提供でき、協調型の航空交通管理(ATM)を促進する監視システムとして期待されている<sup>(1)</sup>。このADS-Bは、航空機監視にGPSなどの機上の航法データが利用されるため、衛星航法システム(GNSS)の障害対策が指摘されており、加えて、全ての航空機がADS-B化されるまでの遷移期における対応も必要である。このため、マルチラテレーションなどの他の監視方式と組み合わせたシステムが提案されている<sup>(2)</sup>。このマルチラテレーションは、現在の空港面監視の機能および性能を向上できるシステムとして、特に早急な開発評価が求められている。

当所では、我が国におけるADS-Bの導入に備えて「放送型データリンクによる航空機監視の研究」を計画し<sup>(3)</sup>、マルチラテレーションに対応した拡張スキッタ方式<sup>(4)</sup>によるADS-B評価システムの開発評価を進めている<sup>(5)</sup>。

本稿では、初めにマルチラテレーションの概要を述べ、次に当所のマルチラテレーション対応ADS-B評価システムを紹介する。そして、これまでに実施したマルチラテレーション空港面評価の問題点を示し、最後にその解決方法に基づいて設置方法を改善した評価実験の解析結果を説明する。

### 2. マルチラテレーションの概要

図1にマルチラテレーションの測位原理を示す。マルチラテレーションでは、航空機から送信されるスキッタやSSR応答などの信号を3カ所以上の受信局で受信する。そして、受信局間の受信時刻差を各受信局と航空機との距離差に変換し、距離差が一定である条件からなる双曲線同士の交点を求め、航空機の位置を算出する。マルチラテレーションは、航空機の識別表示を可能とすることや航空機側に追加装備を必要と

しないことなどの利点を持つ。また、空港面探知レーダ(ASDE)がカバーできない領域(ブラインドエリア)の監視に有効であり、悪天候下での性能劣化も少ないことから、ASDE等と組み合わせた空港面監視システムが諸外国で導入もしくは評価が進められている。

マルチラテレーションの位置精度は、主として航空機と受信局アンテナの位置関係で決まるGDOP (Geometric Dilution Of Precision)と信号の時間検出の正確さに依存する<sup>(6)</sup>。GDOPは、図2に示すように、双曲線同士が直交するように受信局が航空機を取り囲む配置とした場合に良好となる。空港面においては、建造物の周辺では遮蔽や反射など電波環境が悪く、信号の未検出やマルチパスによる誤検出が発生する。以上のことから、マルチラテレーションにおいて高い性能を得るためには、GDOPや電波環境を考慮して受信局の配置やアンテナ設置位置を選定することが重要である。

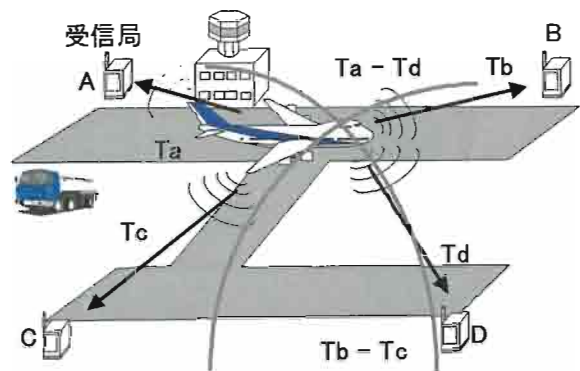


図1 マルチラテレーションの測位原理

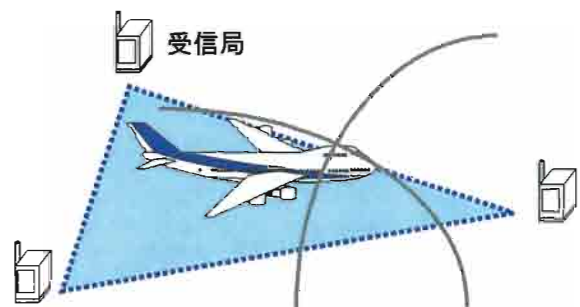


図2 GDOPが良好となる受信局の配置例

### 3. 評価システム

図3に当所の評価システムの構成を示す。評価システムは、受信局4局と送受信局2局から成るリモート局(RU)、ターゲット処理装置とモニタ装置から成る処理サイト、基準送信局、および実験用移動局から構成される。評価システムの性能を向上させるため、平成16年度にリモート局(受信局)1局が追加された。リモート局および処理サイト間は無線LANを利用してデータを転送している。表1に評価システムの主要性能を示す。以下に各装置の機能概要を説明する。

#### 3.1 リモート局

受信局は、SSR(モードS、モードA/C)応答およびスキッタ(拡張、補足)信号を受信解読して、10n秒単位のタイムスタンプを付したレポートをターゲット処理装置に出力する。送受信局は、受信局の機能に加え、航空機にSSR(モードS、モードA/C)質問を送信する。マルチラレーションは航空機から送信される信号を受信して位置を測定する受動型システムであるが、当所の評価システムでは、高い更新率を得ることや識別符号を取得することなどの理由から、一部の受信局に質問機能を持たせている。

#### 3.2 処理サイト

ターゲット処理装置は、応答の関連処理、マルチラレーション測位、追尾処理、および質問のスケジュールなどを行う。追尾処理にはカルマンフィルタを採用している。モニタ装置は、ターゲットの表示、データの収集、およびシステムパラメータの設定などに用いられる。

#### 3.3 基準送信局

基準送信局は、リモート局間の時刻同期およびシステムモニタのためスキッタ信号を送信する。マルチラレーションでは、各リモート局が信号を受信した時刻差から位置を測定するため、リモート局間の正確な時刻同期が重要である。このため、当所の評価システムでは、既知の位置に基準送信局を設置して、定期的にスキッタ信号を送信させて測定位置をモニタし、不正確な位置が測定された場合にはシステムタイミングを自動的に校正する機能を持たせている。

#### 3.4 実験用移動局

実験用移動局は、位置情報を取得するDGPS装置、ADS-Bメッセージを作成する処理装置、および拡張スキッタ送信に対応したモードSトランスポンダなどから構成される。空港面評価では効率的に評価を進めるために、実験用移動局を車両に搭載して実験を実施している。当所の実験用車両には昇降式の支柱が装着されており、トランスポンダのアンテナは約5mの設置高が得られる。

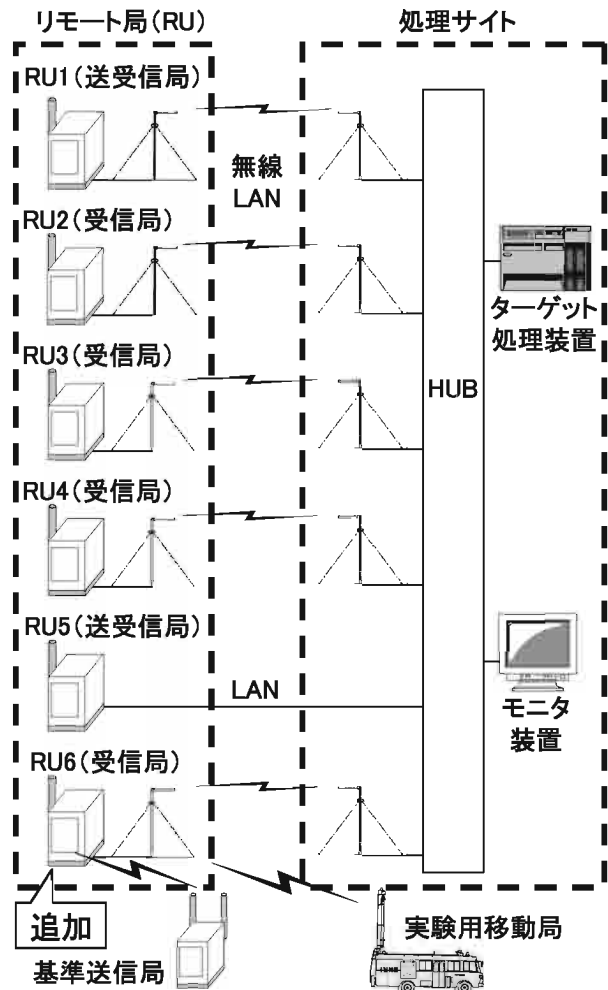


図3 評価システムの構成

表1 評価システムの主要性能

処理容量	300機 (平均応答率1Hz時)
覆域	20NM (アンテナ利得6dB時)
送信	周波数: 1030MHz、出力: 250W
受信	周波数: 1090MHz、MTL: -74dBm

#### 4. 空港面の評価実験

##### 4.1 これまで評価結果<sup>(7)</sup>

2003年12月に仙台空港において初回の評価実験が実施された。図4に本実験時における評価システムの配置と追尾処理後の航跡を示す。リモート局数の制限から、監視エリアはB滑走路とその誘導路を対象とし、各リモート局はB滑走路を囲む形に配置した。収集データを解析した結果、位置精度はカルマンフィルタを用いた追尾処理の航跡に対して、95%信頼性レベルで4.2mと良好な値が得られた。しかしながら、99%信頼性レベルでは15mであり、約35個の航跡で10m以上の誤差が生じていた。なお、位置精度の解析方法としては、測定値から推定航跡を求め、測定値と推定値の差を誤差として計算した。推定航跡は測定値の前後合わせて9ポイントの信号から最小二乗法により二次曲線に近似して求めた。1秒更新確率は99.4%であり、良好な結果が得られたが、対象エリア内の数カ所で追尾処理の停止が発生した。

本評価では概ね良好な性能が得られたが、図4の赤丸に示すエリアにおいて測位の乱れや追尾処理の停止が発生しており、これらの問題発生の原因検討を進めた。以下に各エリアにおける原因の検討結果を示す。

##### 4.1.1 滑走路両端

滑走路の両端(東端および西端)では測位乱れが発生した。特に東端では追尾処理の停止も発生した。収集データを解析した結果、10m以上の測位誤差の約75%は滑走路の両端において発生していた。この原因の一つとして、図5に示すよ

うに、リモート局数の制限による不十分な配置が挙げられる。次に、RU2およびRU4のアンテナは高さ約2mに設置されており、設置高の不足が考えられる。そしてRU2のアンテナは、この付近がILSのグライドスロープ制限区域であることから、信号受信に適さない滑走路脇の後方に設置されていることも挙げられる。図6に滑走路両端における生データの拡大航跡を示す。図6から、RU2またはRU4が利用されていない場合に測定位置が大きく乱れていることが分かる。GDOPが悪いエリアで、重要となるリモート局で信号が受信されず、更にGDOPが悪化して、大きな誤差が生じたものと考えられる。

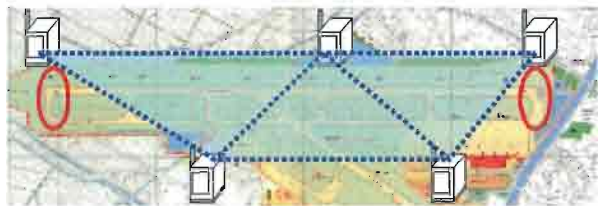


図5 滑走路両端におけるリモート局の不足

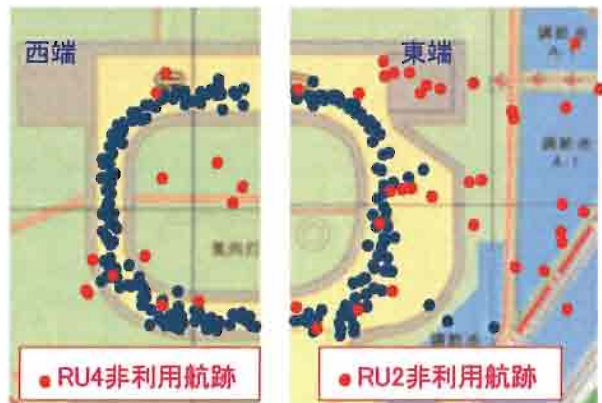


図6 滑走路両端の生データ拡大航跡



図4 評価システムの配置と追尾処理後の航跡(2003年12月評価実験)

#### 4.1.2 滑走路中央付近

滑走路の中央付近でも測位乱れが発生した。図7に発生地点における生データの拡大航跡を示す。収集データを解析したところ、発生地点ではRU5が利用されず、RU1,RU3,RU4の組み合わせで測位が行われていた。この原因としては、図7の写真に示すように、発生地点とRU5アンテナ間の鉄塔やハンガーの存在が挙げられる。これらの建造物により信号の未到達やマルチパスが発生したものと考えられる。

#### 4.1.3 エプロン前

エプロン前においては、測位乱れとともに追尾処理の停止が頻発した。図8にエプロン前における追尾処理後の拡大航跡を示す。追尾処理の停止は、RU2が利用されずに測位されている地点で特に発生していた。この原因としては、滑走路東端の場合と同様の状況の他、ターミナルビルからの反射によるマルチパスも考えられる。



図7 滑走路中央付近でのRawデータ拡大航跡



図8 エプロン前における拡大航跡

#### 4.2 設置方法の改善<sup>(8)</sup>

前節で述べた原因の検討結果を踏まえて、各エリアに施した設置方法の改善を以下に示す。

滑走路両端における測位乱れの解決方法として、図8に示す滑走路両端にリモート局を追加してGDOPの改善を図ることとした。追加可能局数は1局なので、評価対象エリアを東西に分割して、実験エリアに合わせてリモート局を移動させることで対応した。また、RU2とRU4のアンテナ設置高を約5mに上昇させるとともに、RU2のアンテナ設置位置を制限区域に抵触しない範囲で滑走路側に移動させた。

滑走路中央付近で発生した測位乱れの解決方法としては、図9に示すように、岩沼分室屋上に設置されたRU5アンテナを隣のASDE鉄塔に移設した。新たなアンテナ設置位置は岩沼分室屋上よりも滑走路方面にあり、設置高も高いため遮蔽や反射の軽減が可能と考えられる。

エプロン前における解決方法は、滑走路東端の場合と同様の内容である。

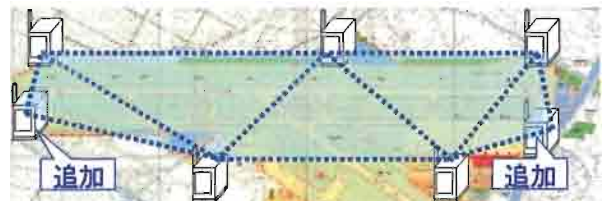


図8 滑走路両端へのリモート局の追加



図9 RU5アンテナの移設状況

### 4.3 設置方法を改善した評価結果

2004年9月に設置方法を改善した評価実験を実施した。図10に本評価における評価システムの配置と追尾処理後の航跡を示す。本評価では、リモート局数の制限から、さらに評価対象エリアを滑走路東側と西側に分けて実験を実施した。滑走路東側の実験ではRU6をエプロン脇に、滑走路西側の実験ではRU6を滑走路西端に設置した。

図10から、改善前の評価で問題となった各エリアに対して航跡が改善されていることが分かる。図11に測位誤差の度数分布、表2に位置精度と検出率の比較を示す。位置精度は、95%信頼性レベルで1.5m、99%信頼性レベルで3.2mが得られ、大きく改善された。本実験での最大誤差は6.6mであり、10m以上の誤差は生じなかった。1秒更新確率も99.7%に改善され、追尾処理の停止もほとんど発生しなかった。以下に、各エリアにおけるデータ解析結果を示す。

#### 4.3.1 滑走路両端

図12に滑走路東端および西端における改善後の生データ航跡を示す。図12から、リモート局の追加により航跡のばらつきが減少していること、東端ではRU2が利用されない航跡が減少していることが分かる。RU2またはRU4が利用されない航跡でもRU6の追加により航跡のばらつきが減少していることが分かる。西端についてはRU4が利用されていない航跡数が減少しておらず、ばらつきが増加している航跡も存在するので、更なる検討が必要である。

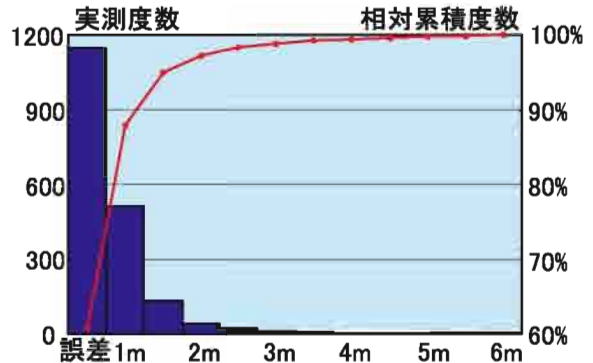


図11 改善後の測位誤差の度数分布

表2 位置精度と検出率の比較

	位置精度		1秒更新
	95%確率	99%確率	
改善前	4.2m	15m	99.4%
改善後	1.5m	3.2m	99.7%

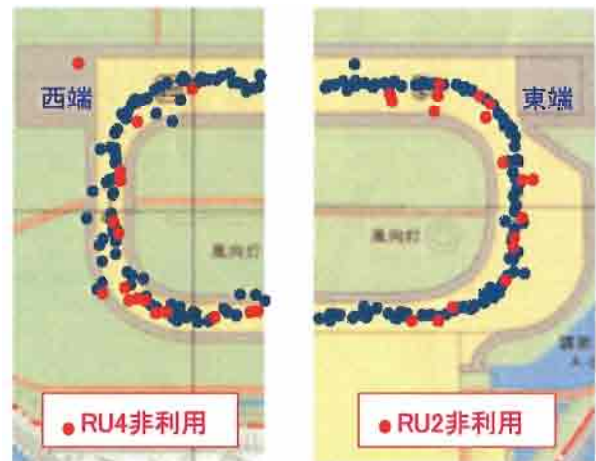


図12 滑走路両端における改善後の航跡



図10 評価システムの配置と追尾処理後の航跡(2004年9月評価実験)

### 4.3.2 滑走路中央付近

図13に測位乱れが発生した滑走路中央付近における改善後の生データ航跡を示す。図13から、改善前に発生した測位の乱れが解消されていることが分かる。RU5が利用されない航跡でも、RU6の追加により航跡のばらつきが減少していることが分かる。しかしながら、RU5が利用されていない航跡が改善前よりもこの付近に分散して発生しており、原因の検討が必要である。

### 4.3.3 エプロン前

図14にエプロン前における改善後の追尾処理航跡を示す。図14から、追尾処理の停止が発生していないこと、RU2が利用されていない航跡が減少していることが分かる。リモート局の追加は、GDOPの改善に加えて、位置算出に利用するリモート局の組み合わせが増えることから、あるリモート局で信号が正常に検出されない場合でも他の組み合わせでの位置算出が可能となるため、マルチパスの対策にも有効である。



図13 滑走路中央付近における改善後の航跡



図14 エプロン前における改善後の航跡

## 5. まとめ

本稿ではマルチラテレーションの概要について述べ、設置方法を改善して実施した空港面評価の実験結果と解析結果を示した。評価の結果、これまでの実験の検討結果を踏まえた設置方法の改善により、マルチラテレーションの性能向上が確認できた。また、マルチラテレーションはリモート局の配置が精度に大きく影響し、空港面では建造物による遮蔽や反射により性能劣化を受けやすいこと、このため高い監視性能を得るには、相応数のリモート局の適切な配置、アンテナ設置位置の選定、さらにはアンテナ設置高の確保が重要であることが実験結果からも明らかになった。

最後に、実験にご協力いただいた当所岩沼分室ならびに仙台空港事務所の関係各位に感謝の意を表します。

## 参考文献

- (1)RTCA: Minimum Aviation System Performance Standards for Automatic Dependent Surveillance Broadcast (ADS-B), RTCA/DO-242A, June 25, 2002
- (2)EUROCAE: Minimum Operational Performance Specification for Mode S Multilateration Systems for Use in A-SMGCS, ED-117, November 2003
- (3)三吉他：拡張スキッタによる航空機監視の実験計画、第2回電子航法研究所研究発表会講演概要、pp.61-64、平成14年6月
- (4)ICAO: Aeronautical telecommunications ANNEX 10 Volume4, July 1998
- (5)宮崎他：拡張スキッタADS-B受信局の基本特性、第3回電子航法研究所研究発表会講演概要、pp.65-72、平成15年6月
- (6)電波航法研究会編：双曲線航法、海文堂、pp.1-26、昭和52年4月
- (7)宮崎他：マルチラテレーション対応ADS-Bの空港面評価、第4回電子航法研究所研究発表会講演概要、pp.75-80、平成16年6月
- (8)Miyoshi: Results of 1090MHz Multilateration Experiments on Airport Surface in Japan, SCRSP/WG-B, WP/B/7-47-I, April 2004