

1. 関西国際空港マルチラレーション導入評価

通信・航法・監視領域 ※上田 栄輔，宮崎 裕己，二瓶 子朗，角張 泰之
機上等技術領域 古賀 禎
航空交通管理領域 山田 泉
企画課 長谷川 努

1. はじめに

関西国際空港では、2期工事によるB滑走路運用開始やこれに伴うスポットの増設など空港容量の拡張が進められている。このような状況でも管制官が空港内における航空機の位置を正確に把握するための飛行場管制支援機能の一部としてマルチラレーションの導入が進められている。

マルチラレーションとは、現用の空港面探知レーダー（ASDE）で指摘されている問題点を克服できる特徴を持つ監視システムである。このため、ASDEと組み合わせて運用することで、空港内を走行する航空機の位置をより正確に把握することが可能である。当研究所では、仙台空港の基礎評価をもとに、東京国際空港および成田国際空港において導入評価を進めてきた^{[1][2]}。

このマルチラレーションにおいて十分な性能を発揮させるためには、導入する空港の構造に対応した適切な位置に受信局アンテナを配置することが極めて重要である。そして、建造物が多数存在するエリアにおいては、必要な性能を得るために事前評価を実施することが不可欠である。

関西国際空港は、四方が海に囲まれていること、そしてターミナルビルの屋上が活用できないこと、入り組んだ配置のエプロンエリアなど、受信局アンテナの設置に大きな制約がある。このような背景から、当研究所は国土交通省大阪航空局からの請負により、関西国際空港におけるマルチラレーションの導入評価を実施した。

本稿では、初めにマルチラレーション評価装置の概要について述べ、次に車両走行試験による評価結果を示し、最後に評価結果に対する改善策を適用した再評価結果を示す。

2. マルチラレーションの概要

マルチラレーションは、航空機のトランスポ

ンダから送信されるスキッタや二次監視レーダー（SSR）のモードS応答^③を複数の受信局で検出する。そして、受信局間の検出時刻差を距離差に変換して、距離差が一定からなる双曲線同士の交点を求めることで航空機の位置を算出する。図1に測位原理を示す。

マルチラレーションは、双曲線同士の交点により位置を算出するため、双曲線同士が直交するような受信局アンテナの配置、すなわち受信局アンテナで航空機をより広く囲む場合に良好な位置精度が得られる。また、受信局間の検出時刻差から位置を求めるため、各受信局の時刻同期が必須となり、このための基準送信局を設置している。この基準送信局と航空機の送信信号を確実にかつ正確に検出することも重要な要素となる。

一方、性能低下の外的な要因として、建造物や大地面などによるマルチパスの影響が挙げられる。マルチパスは、信号の誤検出や検出ロスの原因となるため、空港の構造や電波環境を充分考慮した受信局アンテナの配置が重要である。

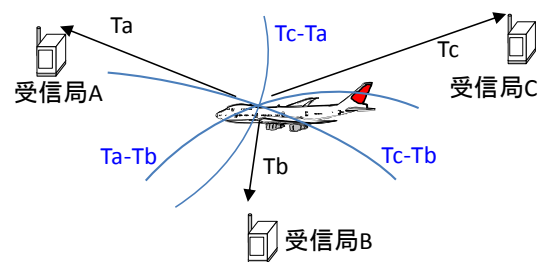


図1 マルチラレーションの測位原理

2.1 マルチラレーション評価用装置の概要

図2に関西国際空港におけるマルチラレーション評価用装置の配置を示し、図3に本評価装置の構成を示す。マルチラレーション評価用装置は、リモート局、処理部、および基準送信局から構成される。以下に各装置の概要を説明する。

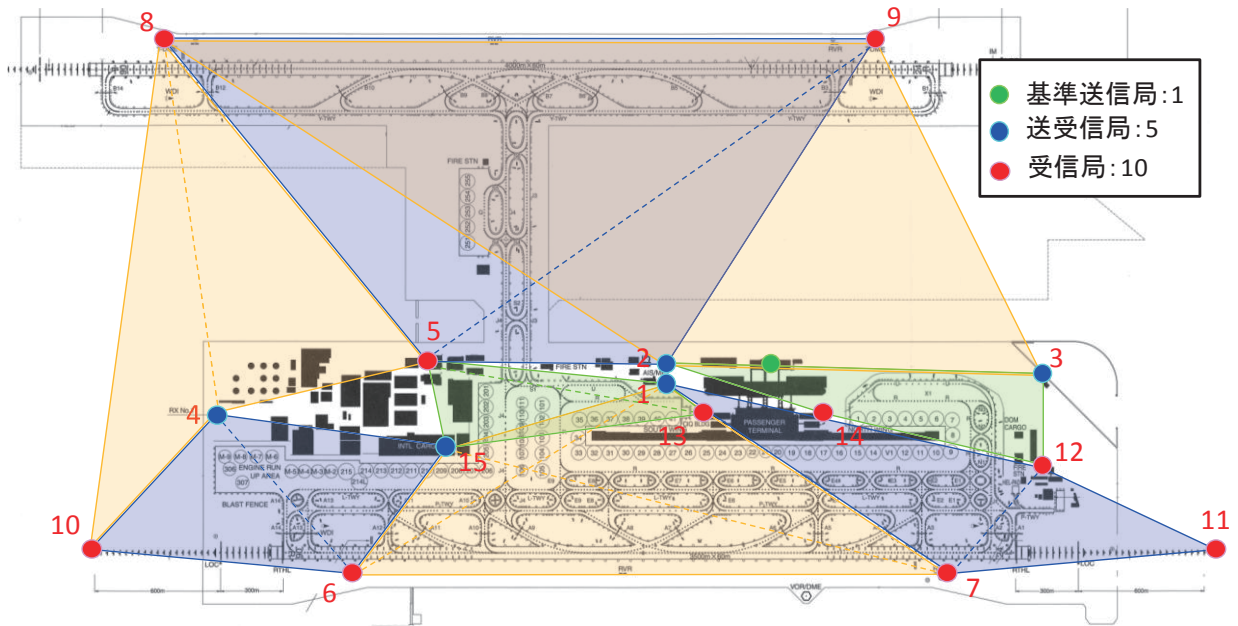


図2 評価用マルチラテーシジョンの配置

(1) リモート局

リモート局は、受信局もしくは送受信局で構成される。受信局は、航空機から送信された信号を受信解読してターゲットレポートにまとめ、10ns単位のタイムスタンプを付して処理装置に出力する。送受信局は、受信局の機能に加えて、航空機に対してモードS質問を送信する。航空機に対して質問する理由は、コールサインを画面表示するためにビーコンコードを取得することや、スキッタが得られない場合でもモードS応答を得て検出率の低下を防ぐことなどが挙げられる。

今回の評価では、図2の配置図に示すように15局のリモート局(受信局10局, 送受信局5局)を使用した。

(2) 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にスキッタ信号を送信する。評価用装置では、既知の位置に基準送信局を設置して、定期的スキッタ信号を送信させて測定位置を継続的にモニタしている。そして、不正確な位置が測定された場合は、測定位置が正確に既知の位置となるようにリモート局のクロックを自動的に校正させることでリモート局間の時刻同期を行う。関西国際空港では、空港のほぼ中心に位置して、全リモート局の見通しが得られるホテル日航屋上に基準送信局を1局配置した。

(3) 処理部

処理部は、ターゲット処理装置およびモニタ装置で構成される。ターゲット処理装置では、各リモート局から出力されたレポートをターゲット毎にまとめて、マルチラテーシジョン測位、追尾処理、および関連処理等が行われる。モニタ装置では、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等が行われる。処理部は関西空港事務所内に設置した。

空港面のマルチラテーシジョンでは、信号の反射によるマルチパスが多発することから、算出位置が本来の位置から大きく外れる場合がある。

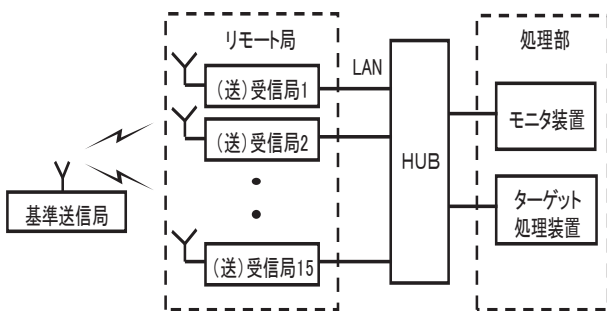


図3 評価装置の構成

このため、算出位置を基に追尾処理を行い、その追尾処理結果（平滑位置）を最終的な測定位置として出力している。追尾処理にはカルマンフィルタを採用している。

予測ゲートを大きめに設定すると高い検出率が達成可能となるが、一方では不正確な計算解も採用されてしまうため、位置精度の低下をもたらす可能性も大きくなる。このように検出率と位置精度はトレードオフの関係にあるため、追尾処理や予測ゲートに関する設定パラメータは慎重に選定する必要がある。

(4) リモート局の配置

空港面において、航空機の位置を2次元で測位するためには、最低3局のリモート局で信号を検出する必要がある。しかしながら、不正確な計算解を排除するために、位置計算に必要とする最低リモート局数の設定を4局以上とした。

高い位置精度を得るには、発信源を取り囲むようにリモート局のアンテナを配置する必要がある。発信源から見てリモート局アンテナを均等な角度と距離に配置することで最良となる。また、建造物や航空機の遮蔽をさけるためにアンテナを高所に設置する必要がある。

関西国際空港では、図2に示すように空港の中心部に位置し、空港全体の見通しが得られる管制塔上部にメインとなるリモート局アンテナ（RU1,2）を配置して、これを中心軸に各エリア（滑走路、誘導路、エプロン周り）を4局以上で囲めるように外側のアンテナを配置した。また、建造物による遮蔽や、配置上の問題など管制塔上部に設置したリモート局が活用できないエリアに対しては、リモート局を追加して部分的に補完することで空港全体をカバーすることとした。

3. 評価試験

関西国際空港は2本の滑走路および誘導路、エプロンエリアから成り、滑走路においては交互に閉鎖して保守を行っている。この閉鎖日を利用して滑走路および誘導路、エプロンをエリア分割して評価を実施した。評価は、図4に示すように実験用車両に航空機用トランスポンダおよび基準位置検出用としてGPS受信機を搭載して各エリアを分割走行して評価試験を実施した。

評価項目は、主として位置精度と位置検出率について実施した。位置精度はキネマティックGPS測位で得られた基準位置と評価装置で得られた測定値の差を誤差として、その95%信頼度から求めた。一方、検出率は一定時間の間隔内で位置が検出された場合を「検出」として、一定時間を超えても位置検出ができない積算時間を減算して、全時間に対する検出時間の割合から求めた。これらは、欧州（EUROCAE）が制定した最少運用性能要求（MOPS）を参考にした算出方法である^[4]。



図4 実験用車両およびアンテナ外観

3.1 評価結果

表1に評価結果を示し、図5に実験用車両の航跡記録例を示す。表1の括弧内の番号は、図5のエプロンエリアの番号に対応し、スポットについては性能要件を満たしていないものを示す。

本評価では、図5に示すようにA滑走路やターミナルエプロンなど、A滑走路に面したエリアでは概ね性能要件が満たされる事を確認した。

しかしながら、同図に示すようにB滑走路の北側と南側、I期島とII期島を繋ぐ誘導路（J3, J4）の東側、貨物地区の北側エプロンや南ウイングエプロンなど複数のエリアで性能要件を満たしていないことを確認した。

B滑走路両端における性能低下の原因として、航空機と受信局アンテナの位置関係で決まるDOPの悪化が挙げられる。B滑走路側に配置された受信局（RU8, 9）においては、見通しが良好であるにも拘わらず、図6に示すように信号の検出ロスが複数のエリアで確認された。これらの受信局は、B滑走路を取り囲むために必要となる外側に位置するアンテナ配置であるため、信号検出ロスが発生するとDOPが大きく悪化して性能低下を招いたものと考えられる。

表1 車両走行試験の評価結果（初期評価）

エリア	位置精度		検出率	
	性能要件	性能値	性能要件	性能値
A滑走路&誘導路	7.5m以下 (95%信頼性レベル)	6.5m	99.9%以上 (各2秒間隔)	100%
B滑走路&誘導路		9.2m		100%
J3&J4誘導路(Ⅱ期島)		11m		100%
J3&J4誘導路(貨物地区)		14.6m		100%
J1&L誘導路(ターミナル&北ウイングエプロン)		7.7m		100%
北ウイングエプロン誘導路	12m以下 (95%信頼性レベル)	17.1m	98%以上 (各2秒間隔)	98.2%
南ウイングエプロン誘導路		46.9m		100%
Ⅱ期島エプロン(1)	20m以下 (95%信頼性レベル)	6.1m	99.9%以上 (各5秒間隔)	100%
貨物地区RUN UPエプロン(2)		9.2m		100%
北ウイングエプロン(3)		61.1m		100%
南ウイングエプロン(4)		46.3m		100%
スポット34(南ウイング)		21.4m		100%
スポット41(南ウイング)		50m		100%
スポット201(貨物地区)		32m		100%
スポット110(貨物地区)		42.8m		100%

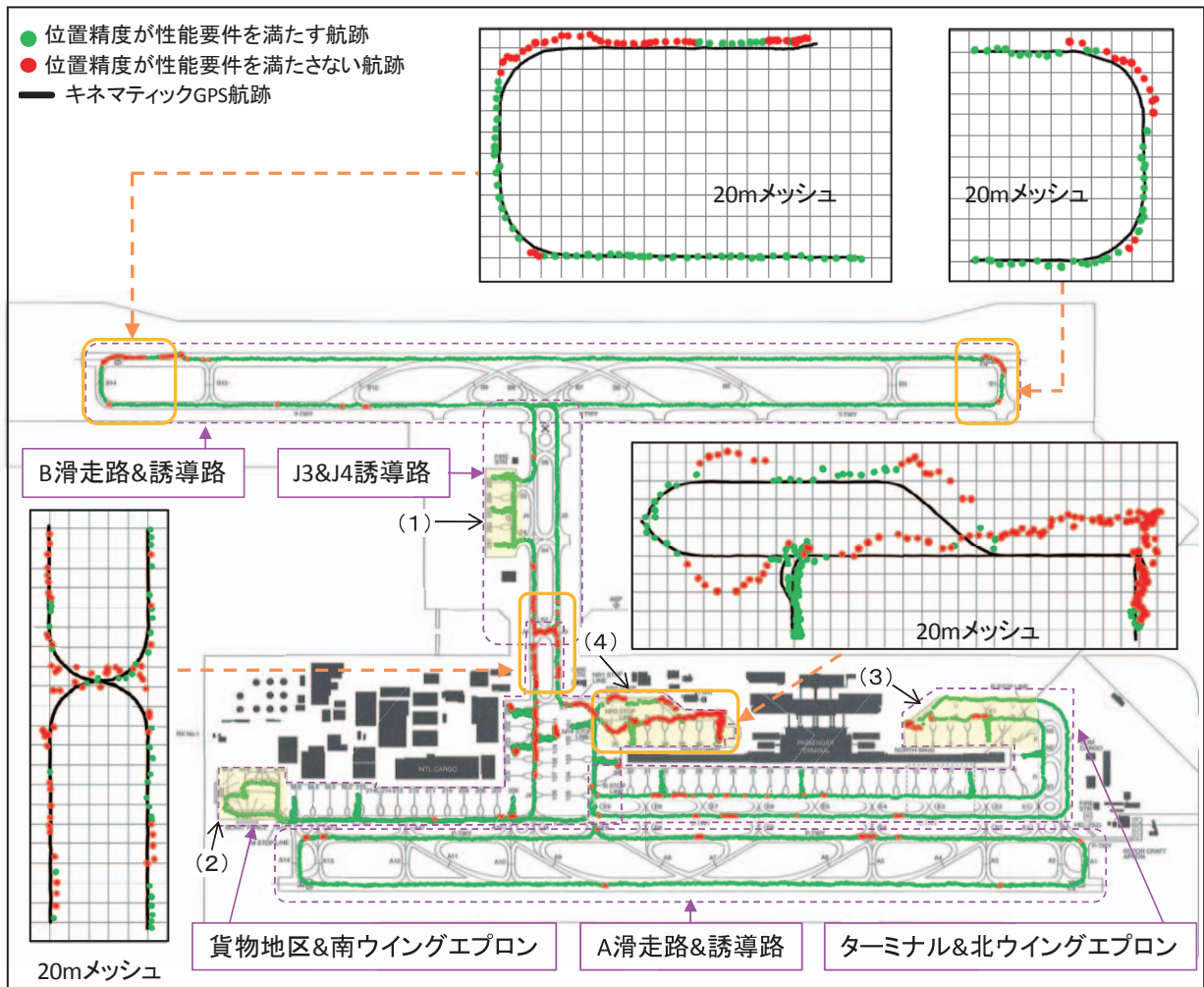


図5 初期評価時マルチラレーション航跡記録例

北ウイングエプロンエリアでは、車両走行試験で性能要件を満たしていないことが確認されたが、エアライン機による航跡評価では良好な結果が得られた。これは実験用車両のトランスポンダアンテナ高に起因していることが判明した。エアライン機のアンテナ高は10m以上であるのに対して、実験用車両では3m程度と低く、場周道路のフェンスおよび周囲の航空機による遮蔽によって必要な受信局（RU9, 12）の信号が検出できないため、性能が低下していた。

他のエリアにおける性能低下の原因としては、建造物による遮蔽とマルチパスによる信号検出ロスが挙げられる。特に南ウイングエプロンエリアは、図7に示すように四方が高い建造物に囲まれており、マルチパスが発生しやすい環境にある。

マルチパスは、信号検出ロスの増加や信号検出時刻の誤差となり、マルチラテレーションにおける性能低下を引き起こす最大の原因となる。

3.2 性能低下エリアに対する改善策

初期の評価で性能低下が発生したエリアに対して以下に述べる改善策を実施した。

(1) B滑走路&誘導路エリア

B滑走路に配置されたアンテナについて、一般的に有効とされる高所への位置変更に加えて、信号の検出ロスによるDOPの低下を防ぐため、受信局を2局追加して冗長性を持たせた。

(2) 貨物地区&南ウイングエプロンエリア

これらのエリアは、建造物に取り囲まれているため、遮蔽およびマルチパスが発生しやすい。



図6 B滑走路における信号検出ロス発生箇所



図7 南ウイングエプロンエリアの外観図

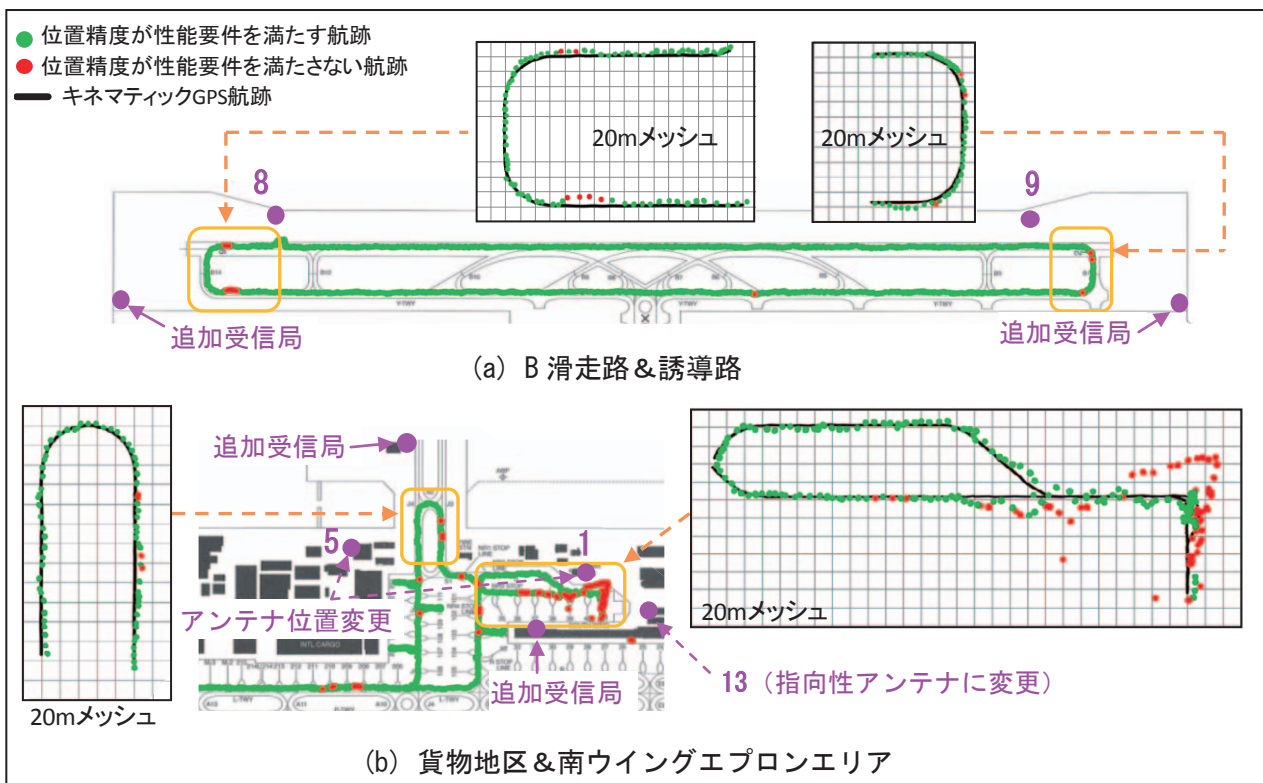


図8 再評価時マルチラテレーション航跡記録例（改善策適用後）

このため、2局の受信局（RU1, 5）についてアンテナ位置を変更し、このエリアに対する良好な見通しを確保するとともに、さらに冗長性を持たせるために2局の受信局を追加した。

また、南ウイングエプロンエリア奥側に配置された受信局（RU13）について、マルチパス対策として無指向性アンテナから前方にビームを絞った指向性アンテナに変更した。そして、アンテナ後方に位置する基準送信局の信号を検出するための指向性アンテナを上段に追加して、合成器で航空機および基準送信局の信号を合成した。

3.3 改善策を適用した評価試験結果

図8に改善策適用後の車両走行航跡記録例を示す。また、以下に各エリアの再評価結果を示す。

(1) B滑走路&誘導路エリア

再評価結果について、表2に改善策適用前と比較して示す。改善策の適用により位置精度は6.3mと向上し、滑走路・誘導路に対しては、性能要件を満たすことが確認できた。

(2) 貨物地区&南ウイングエプロンエリア

表3に再評価結果を改善策の適用前後で比較して示す。再評価の結果、貨物地区では全てのエリアで性能要件を満たす事が確認できた。

表2 滑走路・誘導路における性能値

エリア	位置精度 (95%信頼性レベル)		検出率 (2秒間隔)	
	適用前	適用後	適用前	適用後
B滑走路	9.2m	6.3m	100%	100%
J3&J4誘導路 (貨物地区)	14.6m	7.2m	100%	100%
性能要件	7.5m以下		99.9%以上	

表3 エプロンエリアにおける性能値

エリア	位置精度 (95%信頼性レベル)		検出率	
	適用前	適用後	適用前	適用後
エプロン誘導路	46.9m	43m	100%	99%
スポット34	21.4m	11m	100%	100%
スポット41	50m	57.1m	100%	40.7%
スポット201	32m	5.9m	100%	100%
スポット110	42.8m	6.7m	100%	100%
性能要件	エプロン誘導路 12m以下		エプロン誘導路 98%以上(2秒)	
	スポット 20m以下		スポット 99.9%(5秒)	

南ウイングエプロンエリアでは、38番スポットより奥に位置する一部のエリアを除いて性能要件を満たす事が確認できた。

性能要件が満たされていないエリアについては、四方が建造物に囲まれているためマルチパスによる信号検出ロスが多発して、期待した信号検出率が得られなかったことが原因と考えられる。

4. まとめ

関西国際空港におけるマルチラレーション導入評価では、リモート局の配置について、管制塔を中心軸として空港全体を囲む最小限の局数で評価試験を行った。初期評価で必要な性能が得られなかったエリアに対しては、アンテナ設置位置の変更や、リモート局の追加などの改善策を適用して再評価を実施した。

再評価の結果、一部のエリアを除いて性能要件を満たしていることが確認できた。また、性能要件が満たされていない一部のエリアに対しては、実運用装置ではリモート局を追加配置することで更なる性能向上が期待できることから、関西国際空港におけるマルチラレーションの導入に対する見通しを得ることができた。

最後に、本評価を実施するにあたり、国土交通省大阪航空局、関西空港事務所、関西国際空港株式会社、航空保安大学校、およびご協力頂いた各航空会社の関係各位に感謝の意を表します。

参考文献

- [1]宮崎, 二瓶, 松久保, 古賀, 青山: “東京国際空港におけるマルチラレーション監視システムの評価結果”, 第7回電子航法研究所研究発表会講演概要, 平成19年6月
- [2]林, 二瓶, 宮崎, 上田, 角張, 古賀, 青山, 山田: “成田国際空港におけるマルチラレーション監視システムの導入評価”, 第9回電子航法研究所研究発表会講演概要, 平成21年6月
- [3]ICAO: Aeronautical Telecommunications ANNEX 10 Volume4, July 2007
- [4]EUROCAE: ED-117, Minimum Operation Performance Specification for Mode-S Multilateration System for Use in Advanced Surface Movement Guidance and Control System, November 2003