

22. 成田国際空港マルチラレーション監視システムの導入評価

企画課 ※林 一夫
通信・航法・監視領域 二瓶 子朗、宮崎 裕己、上田 栄輔、角張 泰之
機上等技術領域 古賀 禎
航空交通管理領域 青山 久枝、山田 泉

1. まえがき

成田国際空港ではB滑走路の北伸や誘導路の新設等の整備が進められており、交通量が増大するとともに地上管制も複雑化することが想定されている。このような状況においても航空機が従来どおりに安全かつ円滑に運航できるように、飛行場管制支援機能の一部としてマルチラレーション監視システムの導入が計画されている。

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新しい方式の監視システムである。このため、マルチラレーションとASDEを組み合わせることで、空港面監視装置の機能および性能が大幅に向上することが期待できる。当研究所では、我が国におけるマルチラレーションの導入に向けて仙台空港における基礎評価をもとに、東京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、高い性能を得るため、特に十分な事前評価を実施することが必要不可欠である。

このような背景から当研究所は、滑走路・誘導路エリアは国土交通省東京航空局からの委託により、エプロンエリアは成田国際空港株式会社からの委託により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および評価用装置の概要を述べ、次に初期の評価において判明したマルチラレーションの課題とその改善策を説明して、最後に改善策を適用して実施した評価試験の結果を示す。

2. マルチラレーションの概要

図1にマルチラレーションの測位原理図を示す。マルチラレーションでは航空機に搭載されたトランスポンダから送信される航空機衝突防止装置（ACAS）のスキッタや二次監視レーダー（SSR）のモードS応答⁽³⁾を3局以上の受信局で検出する。そして、受信局間の検出時間差を各受信局と航空機との距離差に変換して、距離差が一定と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。

マルチラレーションの特徴としては、

- ・コールサインの画面表示を可能とする
- ・悪天候でも性能が劣化しない
- ・ASDEの非検出領域を補完できる
- ・航空機側に追加装備を必要としない

などが挙げられる。

マルチラレーションの位置精度は、主として受信信号の正確な時間検出と航空機と受信局アンテナの位置関係（GDOP）により決まる。位置関係としては双曲線同士が直交する、すなわち受信局が航空機を取り囲む配置となった場合に良好となる。また、マルチラレーションは信号の検出時刻差から位置を算出するため、受信局間の時刻同期の正確さも要求され、このため基準送信局を設置している。

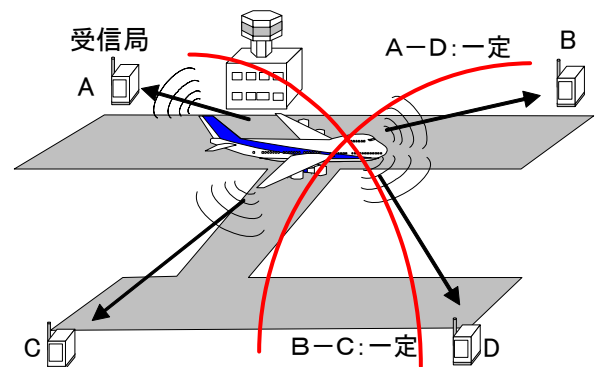


図1 マルチラレーションの測位原理図

一方、性能劣化の要因として建造物の周辺における信号の反射や遮蔽が挙げられ、これらは信号の未検出や誤検出をもたらすため極力避ける必要がある。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、空港の構造や電波環境を考慮して、受信局アンテナの配置や設置方法を選定することが重要となる。

3. マルチラテレーション評価用装置

図2にマルチラテレーション評価用装置の構成を示す。評価用装置はターゲット処理装置とモニタ装置から成る処理部、受信局と送受信局から成るリモート局、および基準送信局から構成される。以下に各装置の機能概要を説明する。

(1) リモート局

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。

(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、定期的にスキッタ信号を送信させて測定位置を継続してモニタしている。そして、不正確な位置が測定された場合は、測定位置が正確になるようにリモート局のクロックを自動

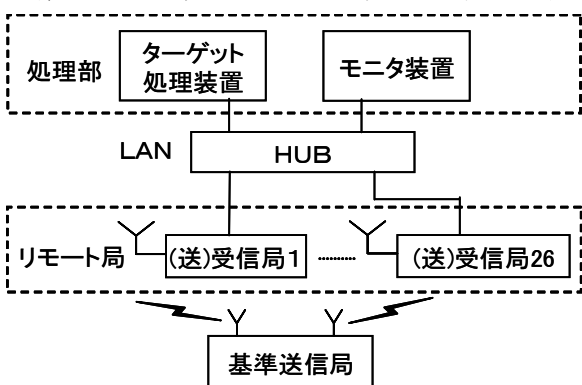


図2 評価用装置の構成

的に校正させることで、リモート局間の時刻同期を取る方法を採用している。成田国際空港では、空港全域の見通しが得られるランプコントロールタワー屋上に基準送信局を配置した。

(3) 処理部

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、マルチラテレーション測位、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。処理部は成田空港事務所内に設置した。

空港面のマルチラテレーションでは、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外れる場合が発生する。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、位置精度の劣化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. 評価試験

リモート局の配置は空港のレイアウトや構造物の形状を考慮して選定した。マルチラテレーションの性能はアンテナの配置に大きく依存することから、詳細な性能を把握するために評価エリアを分割してエリア毎に性能を解析した。図3にリモート局の配置と分割した評価エリアを示す。基準送信局は2局配置して冗長性を持たせた。評価の性能要件には欧州が制定したEUROCAE ED-117⁽⁴⁾を利用した。表1に本性能要件における検出率と位置精度の要求値を示す。位置精度を解析するための基準位置にはキネマテック方式GPSの測位結果を利用した。効率的に広範囲なエリアのデータを取得するために、試験は実験用車両にトランスポンダを搭載して実施した。図4に実験用車両の外観を示す。

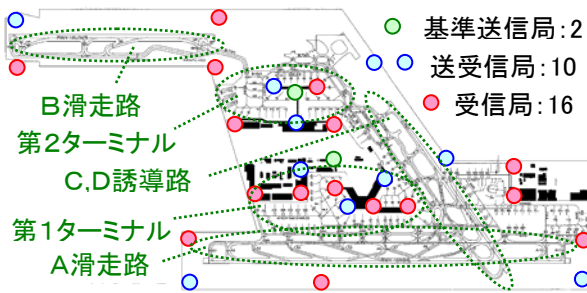


図3 リモート局の配置と評価エリア

表1 検出率と位置精度の要求値

エリア	検出率	位置精度
滑走路・誘導路	99.9%以上(2秒間隔)	7.5m以下
スポット	99.9%以上(5秒間隔)	20m以下



図4 実験用車両の外観

4.1 初期評価において確認された課題

初期の評価では空港内の多数の地点において検出率または位置精度の性能劣化が生じていることが確認された。図5に性能劣化の発生状況を示す。収集データを解析した結果、本来では信号が検出されるべき受信局において検出されていないことが判明した。ターミナルの形状が複雑な空港では、建造物による信号の反射や遮蔽が多発する。この問題を解決するためには、受信局アンテナを高く設置することが一般的に有効である。しかしながら、受信局アンテナを高く設置するためには支柱等の基礎を頑強にする必要があり、構造的に困難な場合がある。また、基礎の強化は設置費用の大幅な増加をもたらすことから、費用対効果の観点からも困難な

場合がある。図6にターミナルビル屋上における受信局アンテナの設置例を、図7に構造的に高いアンテナ設置が困難な例を示す。一方、受信局を追加して冗長性を持たせることでも性能向上は期待できる。しかしながら、システムが複雑になり処理装置の負荷が増大することや、受信局の組み合わせが増え誤った位置を算出する可能性も増大するなどの弊害も発生する。

ターミナルの形状が複雑な空港におけるマルチラレーションの課題としては、十分な性能を得るためには多数の受信局を配置する必要があるが、整備費用の増大やシステムの複雑化をもたらすため、アンテナ設置高の上昇や受信局数の追加に制約があることが挙げられる。

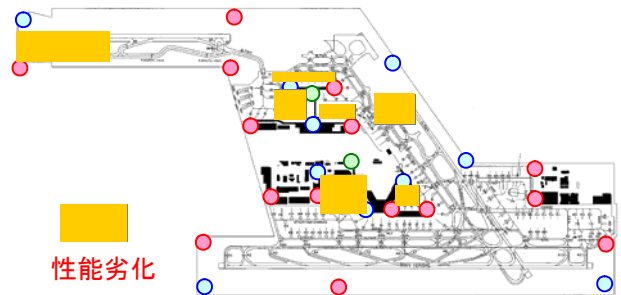


図5 性能劣化の発生状況



図6 受信局アンテナの設置例



図7 構造的に高い設置が困難な例

4.2 課題に対する改善策

前項で挙げた課題を解決するためには、空港全体の広い範囲に対して見通しが得られる、すなわち非常に高い建造物の上部に受信局アンテナを設置することが有効と考えられる。この方法により、新たに頑強な鉄塔を整備する必要がなく、また受信局数も増加させることもなく、建造物による信号の反射や遮蔽の影響を大幅に軽減することが可能となる。更には、より良好な GDOP が得られるとの利点も得られる。

成田国際空港においてこの方法を適用できる受信局アンテナの設置場所として、空港中央に位置する管制塔の上部が挙げられる。図 8 に管制塔の位置と外観を示す。実際の評価試験では管制塔の隣に位置する西側ランプコントロールタワーの上部に受信局アンテナを設置した。図 9 にアンテナ位置からの見通し状況を示す。

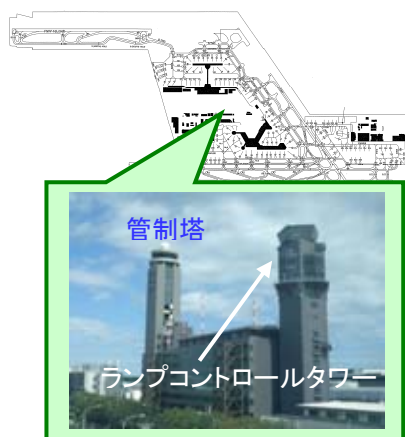


図 8 管制塔の位置と外観



(a) 第1ターミナルビル方面



(b) 第2ターミナルビル方面

図 9 アンテナ位置からの見通し状況

4.3 改善策を適用した評価結果

(1) 滑走路・誘導路エリア

表 2 に滑走路・誘導路エリアにおける性能の解析値を、前項で述べた改善策の適用前後で比較して示す。また、図 10 に改善策を適用した B 滑走路エリアにおける追尾処理航跡例を示す。

表2 滑走路・誘導路エリアにおける性能値の比較

エリア	検出率		位置精度	
	適用前	適用後	適用前	適用後
A滑走路	100%	100%	8.0m	6.9m
B滑走路	98.9%	100%	8.5m	7.4m
C,D誘導路	98.7%	99.2%	7.6m	6.8m
性能要件	99.9%以上(2秒間隔)		7.5m以下	

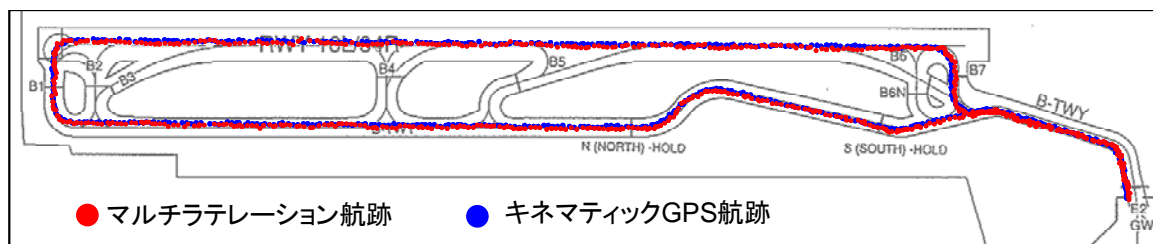


図10 改善策を適用したB滑走路エリアにおける追尾処理航跡例

評価試験の結果から、改善策の適用により性能が向上して、C、D誘導路における検出率を除いて性能要件を満たしていることが確認できた。C、D誘導路エリアについては、受信局アンテナを追加したランプコントロールタワー上部から見通しが得られない状況にある。一方、現在整備が進められている実運用のマルチラレーション装置では、管制塔の上部に2局の受信局アンテナを配置する計画であることから、C、D誘導路エリアにおいても性能要件を満たすことが可能なものと考えられる。

(2) ターミナルエリア

表3に第1ターミナルエリアにおける性能値を改善策適用前後で比較して示す。スポット番号における括弧内の数字は、評価試験時の駐機状況により同一のスポットで評価できなかったため、隣

接のスポットを利用して比較したことを示す。図11に改善策適用後の第1ターミナルエリアにおける追尾処理航跡例を示す。

表4に第2ターミナルエリアにおける性能値の比較を示す。評価試験の結果、改善策の適用により性能劣化が発生していた地点において性能が向上していることが確認できた。一部のスポットで依然として性能要件が満たされていない状況であるが、管制塔への受信局の追加に加えて、ターミナルビル屋上に設置された受信局のアンテナ高も上昇することから、更なる性能向上が期待できる。図12に性能劣化の発生状況を改善策適用前後で比較して示す。改善策の適用により性能劣化が発生している地点が大幅に減少したことが分かる。

表3 第1ターミナルエリアにおける性能値の改善策適用前後での比較

スポット	検出率		位置精度	
	適用前	適用後	適用前	適用後
11	87.5%	92.5%	171m	59m
16	92.3%	100%	41m	7.2m
24	100%	100%	17m	8.2m
202(203)	100%	100%	51m	6.8m
206(207)	100%	100%	8.9m	6.1m
性能要件	99.9%以上(5秒間隔)		20m以下	

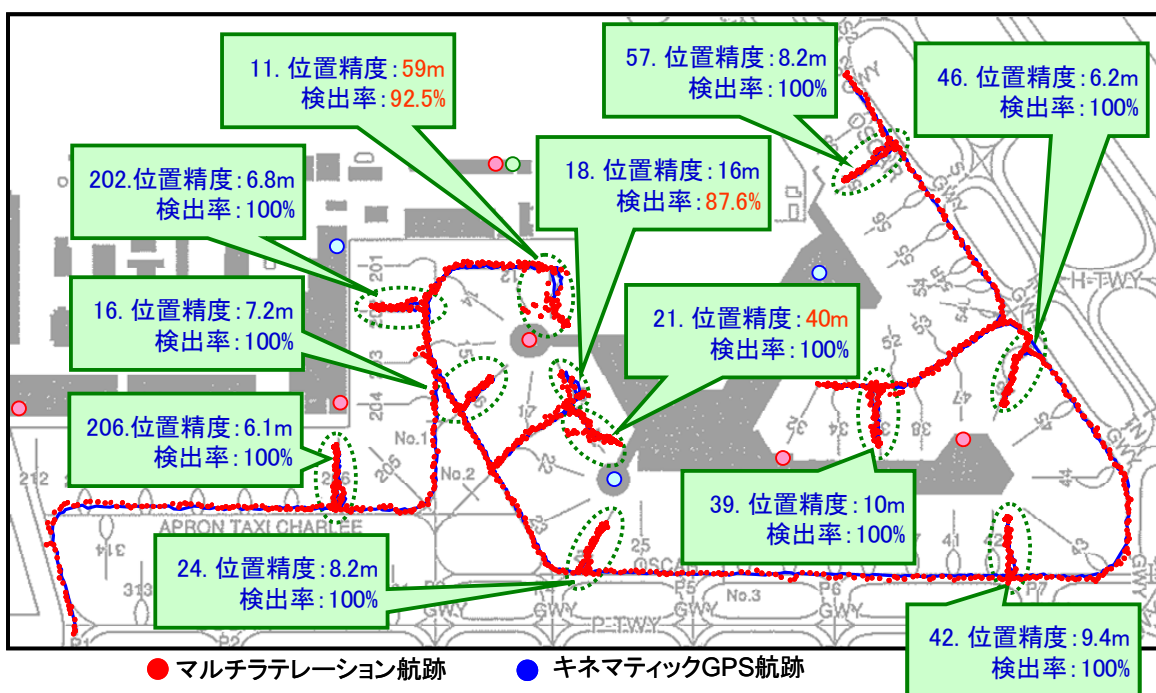


図11 改善策適用後の第1ターミナルエリアにおける追尾処理航跡例

表4 第2ターミナルエリアにおける性能値の改善策適用前後での比較

スポット	検出率		位置精度	
	適用前	適用後	適用前	適用後
63	98.7%	100%	14m	6.8m
71	100%	80.9%	32m	10m
77	97.6%	100%	43m	6.6m
84	100%	100%	108m	16m
95	96.9%	100%	226m	7.7m
性能要件	99.9%以上(5秒間隔)		20m以下	

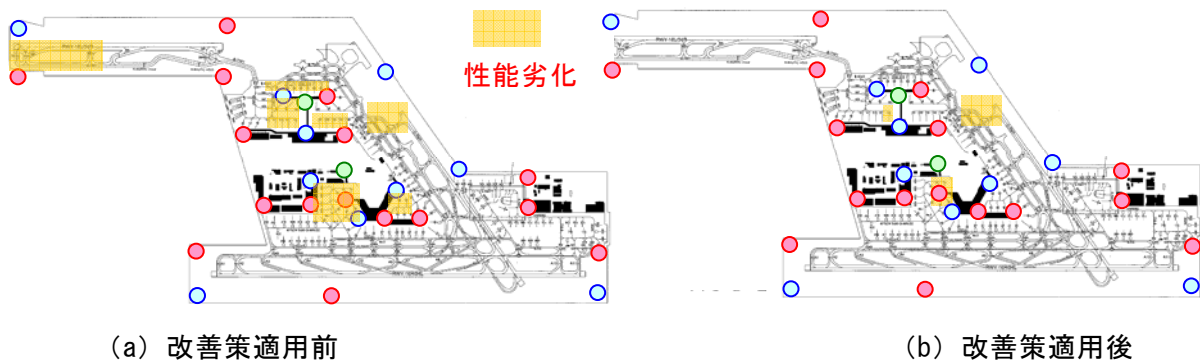


図12 性能劣化が生じている地点の比較

5. まとめ

本稿では、マルチラレーションならびに評価用装置の概要を述べ、ターミナルの形状が複雑な成田国際空港におけるマルチラレーションの課題を説明するとともに、その改善策を適用して実施した評価試験結果を示した。

改善策を適用した評価試験の結果、評価用装置は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。ターミナルの形状が複雑な場合、信号の遮蔽や干渉に起因した性能劣化が多発するが、空港の広い範囲を見渡せる高所に受信局アンテナを配置することにより、整備費用の増加を招かずに十分な性能が確保可能なことも評価試験から確認できた。

また、性能要件が満たされていないエリアに対しては、実運用装置では受信局アンテナ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、成田国際空港におけるマルチラレーションの導入に見通しを得ることができた。

最後に、成田国際空港のマルチラレーション評価を実施するにあたり国土交通省東京航空局、成田空港事務所、成田国際空港株式会社、およびご協力いただ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，三吉：“設置方法を改善したマルチラレーション監視の空港面評価”，第5回電子航法研究所研究発表会講演概要，平成17年6月
- (2)宮崎，二瓶，古賀，青山，松久保：“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
- (3)ICAO: Aeronautical telecommunications ANNEX 10 Volume4, July 2002
- (4)EUROCAE: “Minimum Operational Performance Specification for Mode S Multilateration Systems for Use in A-SMGCS”，ED-117, November 2003