

16. 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

通信・航法・監視領域 ※宮崎 裕己、二瓶 子朗、松久保 裕二
機上等技術領域 古賀 禎
航空交通管理領域 青山 久枝

1. まえがき

東京国際空港（以下、羽田空港とする）では、再拡張事業として新たな滑走路等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に航空機が運航できるように、再拡張後に対応した管制業務を支援するシステムの検討が進められている。このうち、空港面監視の支援システムとして、マルチラレーションの導入が検討されている。

マルチラレーションとは、現用の空港面探知レーダ（ASDE）が持つ問題点の改善を可能とする新しい監視システムであり、欧州や米国等の諸外国において評価または導入が進められている。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いて基礎開発を進めてきた⁽¹⁾。

このマルチラレーションにおいて十分な監視性能を得るためには、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り、建造物が多数存在するエリアにおいては、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では、国土交通省航空局からの委託を受けて、平成17年度から羽田空港へのマルチラレーションの導入調査を実施している⁽²⁾。本調査の目的は、羽田空港に評価システムを設置して事前検証を行い、マルチラレーションの最適な導入形態を提案するものである。

本稿では、初めにマルチラレーションおよび評価システムの概要を述べ、次に平成17年度の評価で判明した問題点と平成18年度に実施した改善策を示すとともに、その改善策を適用した評価システムによる試験結果を説明する。

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測位の概要図を示す。マルチラレーションは、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⁽³⁾を3局以上の受信局で受信し、受信時刻差を各受信局と航空機との距離差に変換して、距離差が一定である条件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測定するものである。なお、スキッタが正常に受信できない場合は、マルチラレーションシステムから（二次監視レーダ）SSRモードS質問を行い、その応答からも位置を測定する。一方、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

ことなどが挙げられる。

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、受信局間の時刻同期の正確さも要求される。

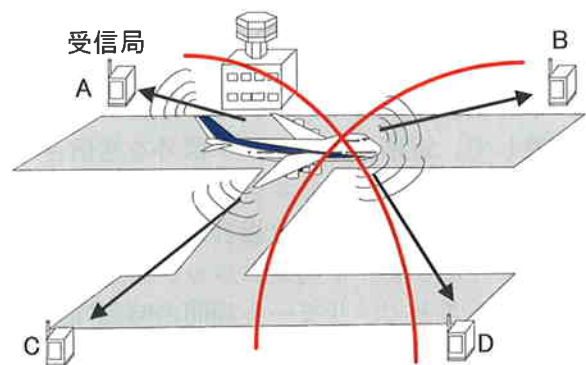


図1 マルチラレーション測位の概要図

一方、性能劣化の要因として、建造物の周辺におけるマルチパスが挙げられ、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位置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システム

評価システムは受信局と送受信局から成るリモート局（RU: Remote Unit）、基準局、および処理装置とモニタ装置から成る処理部から構成される。図2に平成17年度の評価におけるシステム配置を示す。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、10ナノ秒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としては、コールサインを画面表示するために識別符号（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。平成17年度のリモート局数は受信局6局および送受信局3局であったが、後述する理由から、平成18年度ではリモート局を追加して受信局8局および送受信局5局の構成とした。

(2) 基準局

基準局は、リモート局間の時刻同期ならびにシステムモニタのためにスキッタ信号を送信する。本評価システムでは、既知の位置に基準局を設置して、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、位置が不正確に測定された場合は、正確に測定され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取る方法を採用している。羽田空港では、中央付近にターミナルビル、ハンガー、貨物地区等が集中しており、電波の見通しが東西方向に分断されていることから、基準局を東側と西側に各1局配置した。

(3) 処理部

処理装置では、各リモート局から出力されたターゲット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。処理部は東京空港事務所に設置して、各リモート局との接続には光ケーブルを利用した。

空港面のマルチラテレーションでは、信号反射によるマルチパスが多発することから、測定位置が本来の位置から外れる場合がある。このため追尾処理を行い、その追尾結果（平滑位置）を最終的な測位結果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。追尾処理の予測ゲート内に測定位置が存在しない場合は前回の平滑位置を再び測位結果として利用しており、その結果として追尾処理停止の状態となる。

予測ゲートを大きめに設定すると高い検出率および更新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、検出率と更新率、および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。



図2 平成17年度のシステム配置

4. 評価試験

評価方法としては、評価エリアを分割して、エリア毎に検出率や位置精度等の性能を解析して、欧州の性能要件⁽⁴⁾と比較することとした。位置精度を解析するための基準位置にはキネマティック GPS の測位結果を利用した。

4.1 平成17年度の評価結果

平成17年度の評価ではマルチラテレーションの諸機能が正常に動作していることは確認できたが、各評価エリアとも欧州の性能要件を満足できなかった。その主な原因として、リモート局数の不足、低いアンテナ高、最適でない設

定パラメータ等の問題が確認された。図3に性能劣化が生じた地点を示す。性能劣化は、特にC滑走路とJ9誘導路の周辺に発生した。性能劣化の原因として、これらのエリアではリモート局数が十分でないことに加えて、重要となるRU3のアンテナ設置高が低いことが挙げられる。C滑走路は東京湾に面していることから滑走路から十分離れた距離にアンテナを設置できないため、転移表面の規定によりアンテナ高が制限されてしまう。図4にRU3アンテナの設置状況を示す。一方、追尾処理の停止は、測定誤差が大きいため予測ゲート内に測定位置が入らないことが原因で頻発したと考えられる。

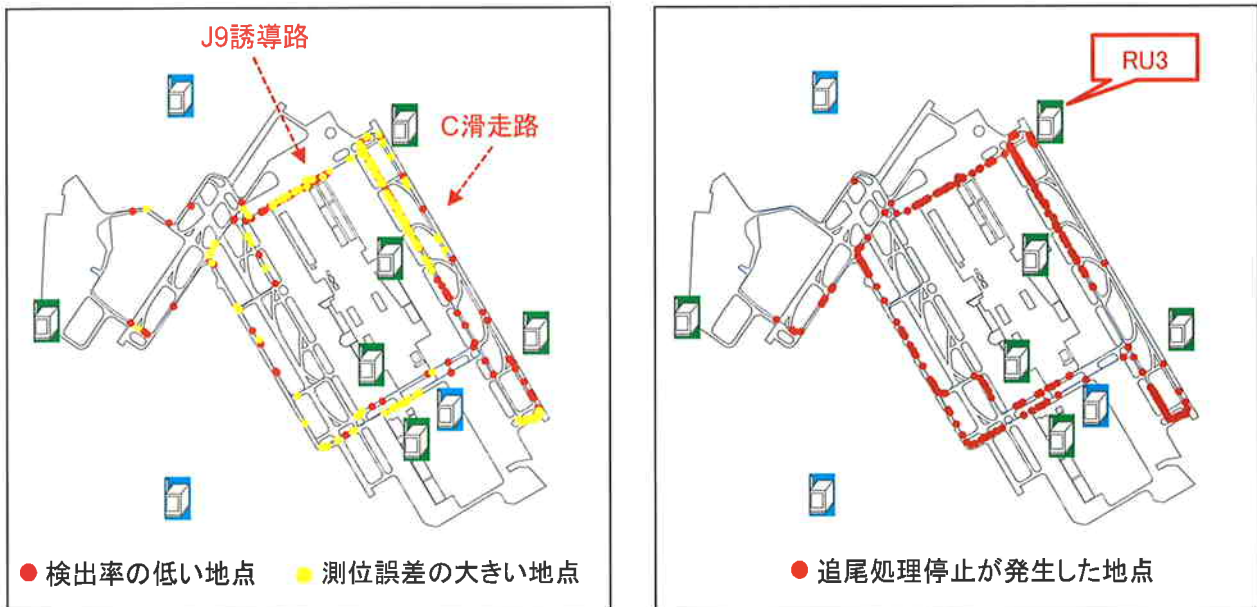


図3 性能劣化が生じた地点



図4 RU3アンテナの設置状況

4.2 問題点に対する改善策

評価システムの性能向上を図るために、各問題点に対して、平成18年度に改善策を加えた。

リモート局数の不足に対しては、追加が必要と考えられるエリアを対象に合計4局のリモート局を追加した。また、低いアンテナ高に対しては、RU3アンテナをB滑走路のILSミドルマーカの橋脚に移設した。この結果、RU3のアンテナ高は3mから12mに増加した。図5に移設後のRU3アンテナの設置状況を、図6にリモート局追加後のシステム配置を示す。

一方、最適でない設定パラメータに対しては、予測ゲート幅を拡大させるとともに、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3局から4局に変更した。これは、位置精度を劣化させずに追尾処理停止を減少させる有効な手段と考えられる。

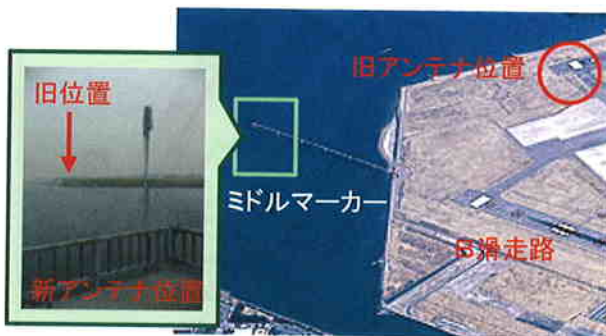


図5 移設後のRU3アンテナの設置状況

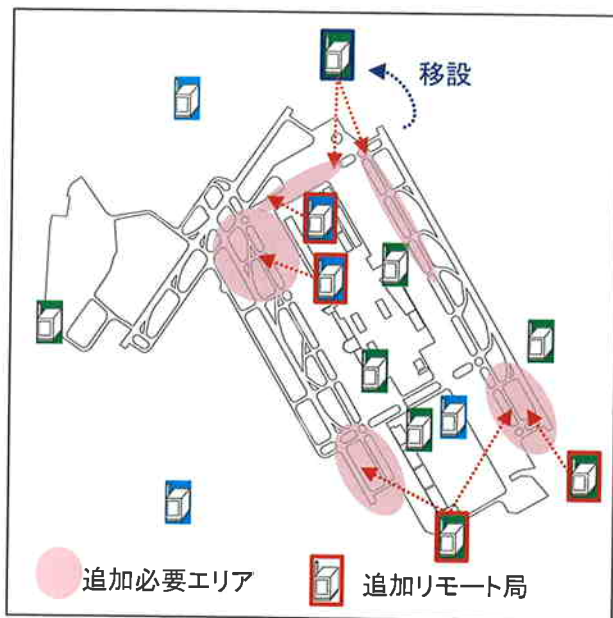


図6 リモート局追加後のシステム配置

4.3 改善策適用後の評価結果

図7に実験用車両を利用した評価の追尾航跡例を示す。また、表1に各エリアに対する検出率、位置精度、追尾処理停止発生頻度を改善策適用前後で比較して示す。検出率および位置精度ともにJ2とJ9誘導路エリアを除き欧州の性能要件を満たしていることが確認できた。追尾処理の停止は全エリアに対してほぼ発生していないことが確認できた。図8に改善策適用前と後の地点性能比較を示す。検出率等、性能が低い地点は改善策の適用により大きく減少していることが分かる。このように、マルチラレーションではアンテナの配置や設置位置が性能に大きく影響する。

一方、J2とJ9誘導路エリアにおける検出率が改善策適用前よりも低下した。これは、位置計算に必要とする最低リモート局数を3局から4局に変更したことが影響しているものと考えられる。このため検出率の増加を図るには、これらのエリアに対してリモート局を追加することが有効であると考えられる。位置精度についてもJ2とJ9誘導路エリアにおいて性能要件を満足していないが、RU6とRU13付近にて特に航跡の乱れが生じていることが確認された。これについては、これらのリモート局の信号検出を劣化させる要因が生じていると考えられるため、アンテナ位置の再検討および受信機の感度調整等を実施する計画である。

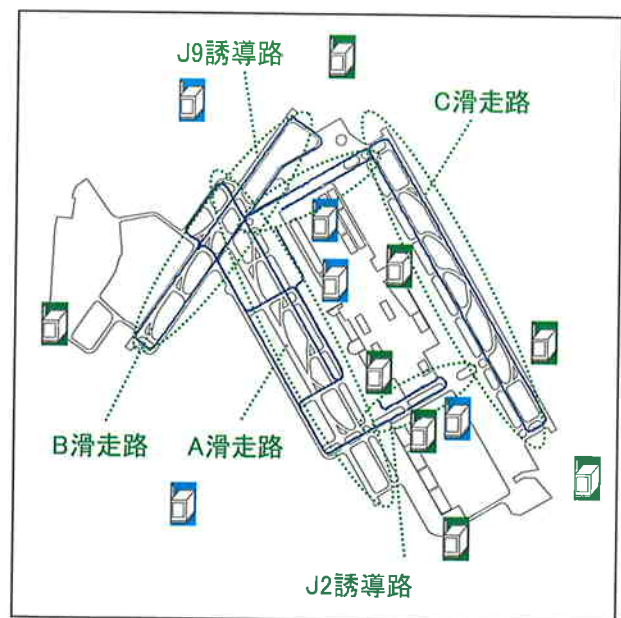


図7 実験用車両評価における追尾航跡例

表1 各エリアに対する改善策適用前後の性能値比較

エリア	検出率 (2秒間隔)		位置精度 (95%信頼性レベル)		追尾処理停止 (全データに対して)	
	適用前	適用後	適用前	適用後	適用前	適用後
A滑走路	99.9%	99.9%	29m	6.5m	23%	0.2%
B滑走路	99.8%	100%	No data	5.5m	35%	0.1%以下
C滑走路	99.9%	100%	63m	7.5m	20%	0.1%
J2誘導路	99.7%	99.3%	20m	12m	27%	0.3%
J9誘導路	99.2%	98.8%	26m	8.5m	24%	0%
欧州性能要件	99.9%以上		7.5m以下		---	

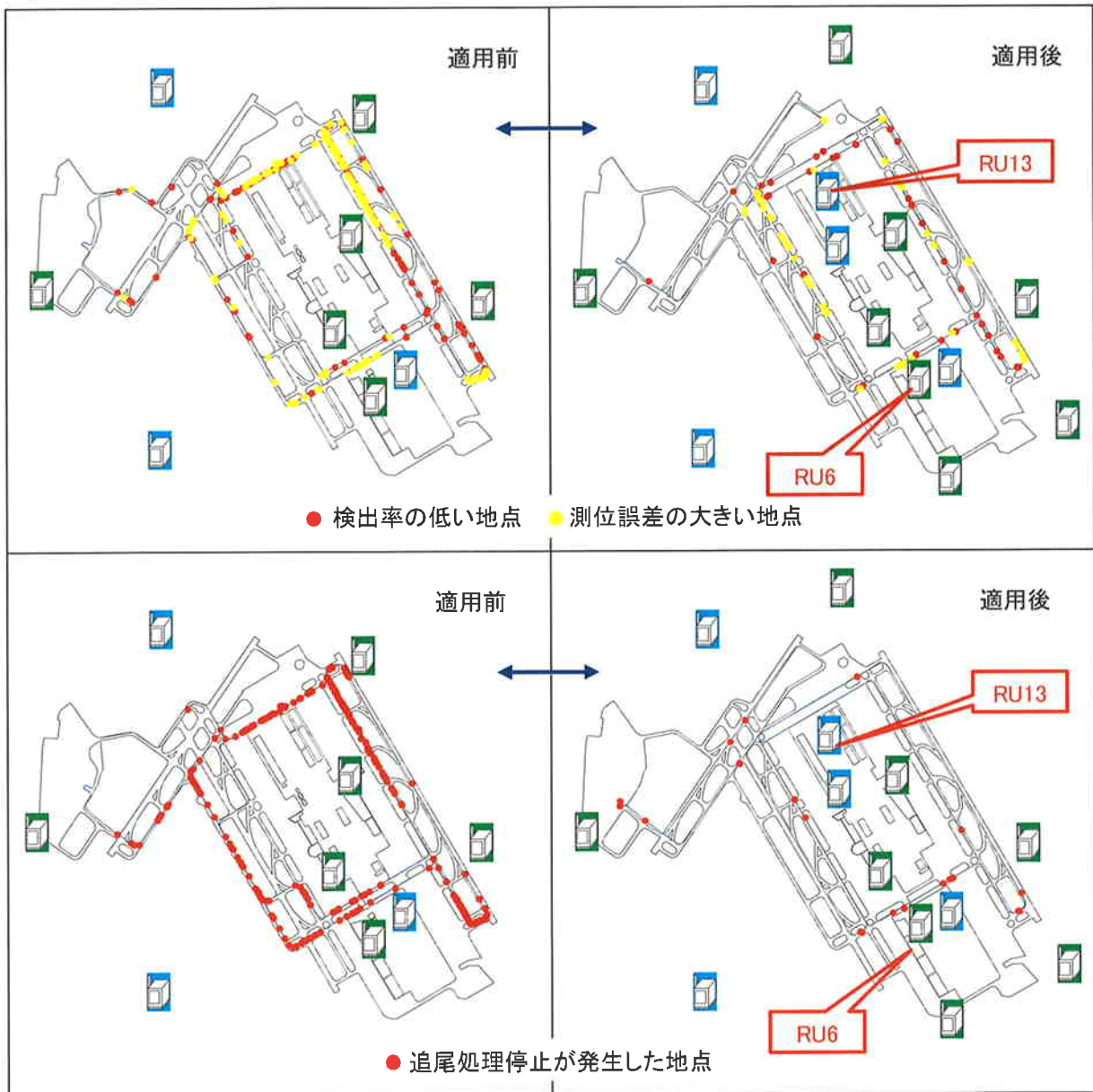


図8 改善策適用前と後の地点性能比較

5. まとめ

本稿では、平成17年度の評価により判明した問題点と平成18年度の改善策を説明するとともに、これを適用した評価システムによる試験結果を示した。評価の結果、改善策適用前と比較して性能が大きく向上し、一部のエリアを除き欧州の性能要件を満たしていることが確認できた。今後も、全ての評価エリアに対して性能要件が満たされるように、引き続き問題点の把握とその対応策の検討を進めて行く計画である。

最後に、マルチラテレーション導入調査を実施するにあたり、国土交通省航空局、東京航空局、東京空港事務所、羽田飛行検査官室、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テ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、斎藤、加来、古賀、青山、小松原：マルチラテレーション監視システムの導入調査（1）、第6回電子航法研究所研究発表会講演概要、平成18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