

# マルチラレーション対応 ADS-B 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

航空需要の増加に対処して、安全性確保のもとに輸送の効率化を図るためには、従来の地上からの航空交通管理(ATM)を、空対地間および空対空間の協調的な ATM に発展させることが必要である。放送型自動従属監視(ADS-B)<sup>(1)</sup>は、管制官とパイロットが航空機の位置、速度等の情報を共有する媒体を提供でき、協調型 ATM を促進する将来の監視システムとして期待されている。また、国際民間航空機関(ICAO)では、ADS-B を新しい CNS/ATM 構想に適合する安価な汎用システムと位置づけており、諸外国で開発評価が進められている。

このような背景から当所では、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>(2)</sup>、補完設備としてマルチラレーション機能を有した拡張スキッタ方式 ADS-B 評価システムの開発評価を進めている<sup>(3)</sup>。

本稿では、初めに拡張スキッタ方式 ADS-B とマルチラレーションの概要を述べ、次に当所が開発を進めているマルチラレーション対応 ADS-B 評価システムについて説明する。そして、仙台空港において実施したマルチラレーションの空港面評価に関する実験結果および検討結果を示す。

## 2. 拡張スキッタ方式 ADS-B<sup>(4)</sup>

### 2.1 ADS-B の運用概念

図1に ADS-B の運用概念を示す。ADS-B では、航空機が衛星航法システム(GNSS)などから取得した位置や速度等の情報を放送型データリンクを用いて送信する。地上側では、ADS-B 地上局が受信した情報をターゲットレポートにまとめて管制システムに転送し、航空機の監視が行われる。同様に周囲を飛行する航空機では、受信した情報がコックピットにおいて表示され、パイロットに自機周囲の監視情報を提供する。このように、管制官とパイロットがリアルタイムで同じ情報

を共有できるため、周囲の航空機との間隔を機上でも確認できるなど空対地と空対空の協調的 ATM が可能となる。

### 2.2 拡張スキッタ

拡張スキッタは、国際的に周波数が割り当てられていること。加えて、モード S トランスポンダの搭載が進んでおり機上装置の二重投資を避けるのに最も適しているため、ADS-B の放送型データリンク媒体として有望視されている。図2に拡張スキッタの信号形式を示す。拡張スキッタは二次監視レーダ(SSR)モード S や航空機衝突防止装置(ACAS)と同じ信号形式<sup>(5)</sup>が利用されており、キャリア周波数もこれらと同一の1090MHz である。本方式では、スキッタと呼ばれる信号がランダムなタイミングで自発的に送信される。

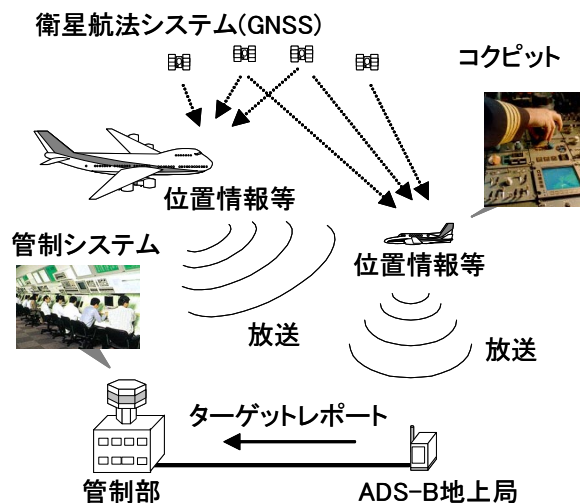


図1 ADS-B の運用概念

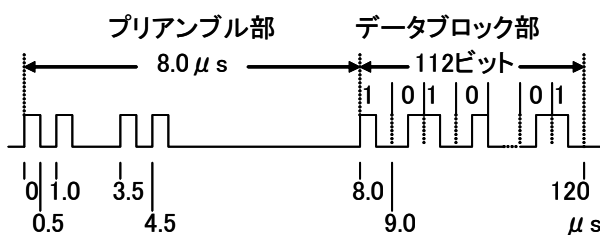


図2 拡張スキッタの信号形式

拡張スキッタは、4つのパルスによるプリアンブル部と112ビットのデータブロック部から構成される。プリアンブルはスキッタの検出およびデータブロックの同期に利用される。データブロック部の変調にはパルス位置変調(PPM)方式が採用されている。

### 3. マルチラレーション

#### 3.1 補完設備の必要性

ADS-Bは、航空機監視に機上の航法データを使用するため、監視と航法の独立性の維持が必要であることや、機上装置やGNSSの障害対策が指摘されている。さらに全ての航空機が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ADS-Bでは、マルチラレーション等、他の補完設備と組み合わせたシステムが提案されている。

#### 3.2 マルチラレーションの測位原理<sup>(6)</sup>

図3にマルチラレーションの測位原理を示す。マルチラレーションでは、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。

マルチラレーションは、悪天候下での性能劣化やマルチパスによるフォールスターゲット等の問題が少なく、特に空港面でレーダがカバーできない領域の監視に有効である。このため、ADS-Bと組み合わせた空港面監視システムが諸外国で開発もしくは導入が進められている。

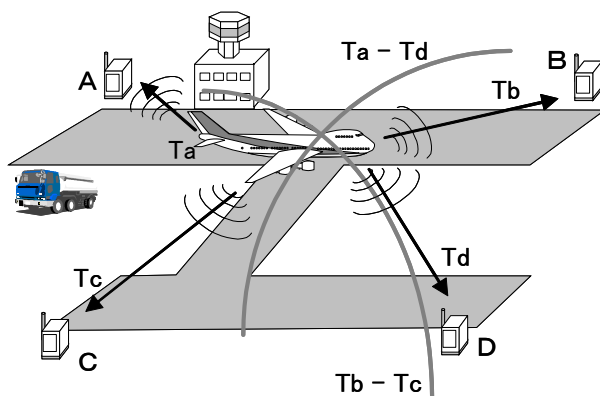


図3 マルチラレーションの測位原理

マルチラレーションの測位精度は主として受信信号の時間検出、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)に依存する。GDOPは、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最良となる。また、空港面では建造物による反射等の影響が大きいため、マルチラレーションの性能は設置環境に大きく影響される。このため、受信局の設置場所はGDOPや電波環境を考慮して選定する必要がある。

### 4. 評価システム

#### 4.1 システム構成

図4に当所のマルチラレーション対応ADS-B評価システムの構成を示す。評価システムは、リモート局(受信局3局、送受信局2局)、基準送信局、処理サイト(ターゲット処理装置、モニタ装置)、および実験用移動局から構成される。リモート局(RU)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。

##### (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、10ナノ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た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、識別情報を取得するため、およびブラインドエリアにおける測位を可能とするため等の理由から一部の受信局に質問機能を持たせている。

##### (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、リモート局間の時刻同期を取ることが重要

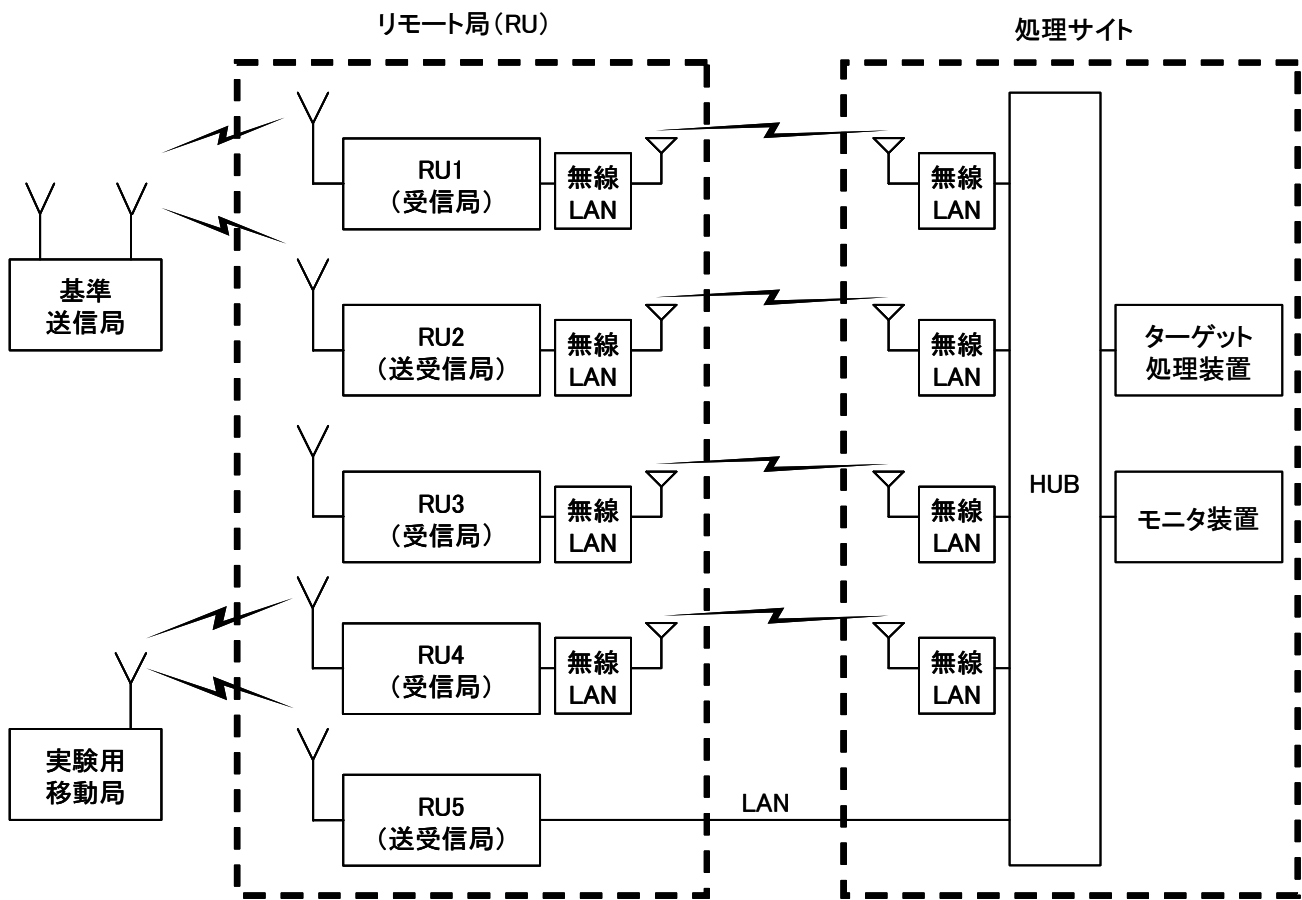


図4 マルチラレーション対応 ADS-B 評価システムの構成

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6dBi時)
送信	周波数：1030MHz、出力：250W
受信	周波数：1090MHz、MTL：-74dBm

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、定期的スキッタ信号を送信させて測定位置をモニタし、位置を不正確に測定した場合には、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)処理サイト

ターゲット処理装置は、応答の相関処理、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等を行う。追尾処理ではカルマンフィルタを採用している。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なわれる。

### (4)実験用移動局

実験用移動局は、位置情報等を取得する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を送信するモードSトランスポンダ等から構成される。

## 5. 評価試験

### 5.1 試験結果<sup>(7)</sup>

評価試験は仙台空港において実施した。図5に仙台空港における評価システムの配置および追尾処理後の航跡を示す。リモート局数の制限により、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。監視対象エリア全域に対して試験を効率的に実施するために、実験用移動局を車両に搭

載して試験を実施した。図6に実験用車両の外観を示す。測位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。

図5の航跡図から滑走路および誘導路全域にわたって実験用移動局が監視できていることが分かる。図7に誤差の度数分布を示し、表2に解析結果とEUROCAE(European Organization for Civil Aviation Equipment)のマルチラレーション規格<sup>(6)</sup>との比較を示す。測位精度は、カルマンフィルタを用いた追尾処理により95%確率で4.2mが得られ、EUROCAEの規格を満たすことが確認できた。更新確率は1秒間隔で99.4%、2秒



図6 実験用車両の外観

間隔で100%であり、ともにEUROCAEの規格を満たすことが確認できた。しかしながら、図5に示す場所1~3の3地点において追尾処理の停止または測位乱れが発生した。これらの原因の検討結果を次節に示す。

## 5.2 検討結果

### (1) 場所1

場所1では約3秒間の追尾停止が発生した。収集データを確認したところ、追尾停止の発生時

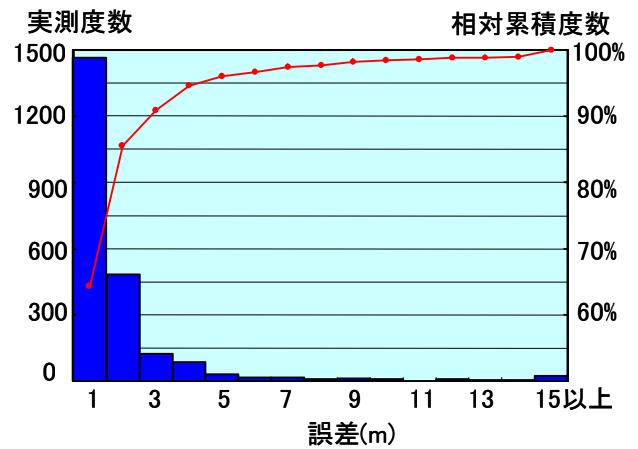


図7 誤差の度数分布

表2 解析結果

	測位精度 95%確率	データ更新率	
		1秒	2秒
実験結果	4.2m	99.4%	100%
EUROCAE 規格	7.5m	95%以上	99.9%以上

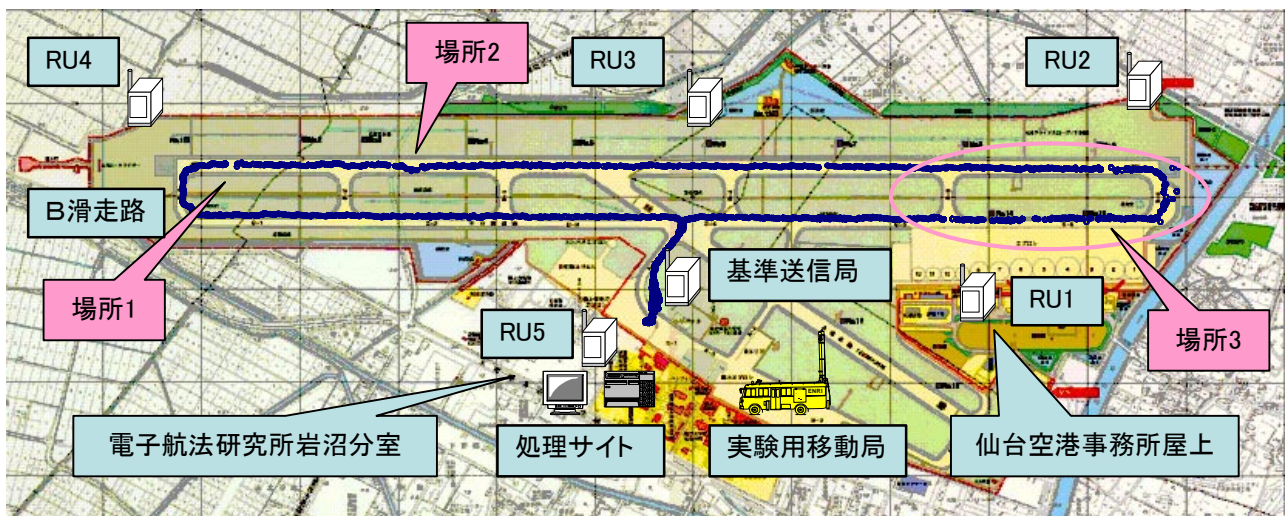


図5 仙台空港における評価システムの配置と追尾処理後の航跡

間付近においてRU4と処理サイト間の無線LANに障害が発生していた。これは図8に示すように、RU4での無線LAN用アンテナの設置高は転移表面による制限から約2mと低いため、実験用車両の通過により無線LANが切断されたことが原因と考えられる。本件は、無線LAN用アンテナの設置方法の改善により解決できると考えられる。

(2)場所2

場所2では測位乱れが発生した。図9に場所2におけるRawデータ航跡の拡大図を示す。収集データを解析したところ、測位乱れが発生した地点では、岩沼分室屋上のRU5を用いず、他のRU1, RU3, RU4の組み合わせでマルチラレーション測位が行われていた。リモート局の組み合わせの変化により測定値に偏差が生じていることから、リモート局の位置が正確に設定されていないことが考えられる。加えて、この地点の前後ではRU5と仙台空港事務所屋上のRU1においてガープルが発生していた。図10は岩沼分室から場所2方向を写したものであり、ハンガーおよびアンテナ鉄塔があることが分かる。図11は仙台空港事務所屋上から場所2方向を写したものであり、VOR/DMEアンテナや多数の鉄塔があることが分かる。これらの建造物による反射のため、信号が到達しないことやガープルが発生したものと考えられる。本件は、反射の影響を考慮してリモート局アンテナの設置場所を変更するとともに、アンテナ位置を正確に測定することにより解決できると考えられる。

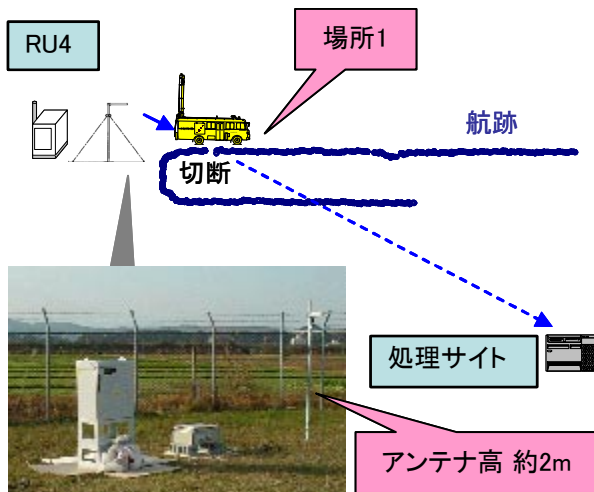


図8 場所1における追尾停止

この結果から、マルチラレーションは受信局の配置が精度に大きく影響すること、また、空港面では建造物からの反射による性能劣化を受けやすいことが分かる。

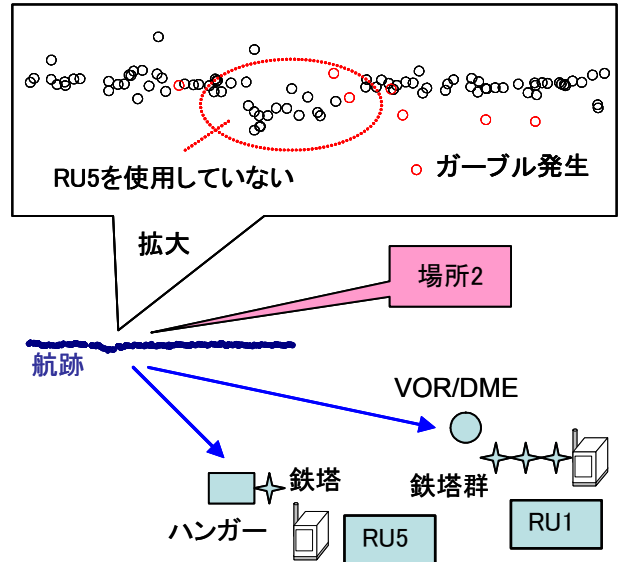


図9 場所2におけるRawデータ航跡

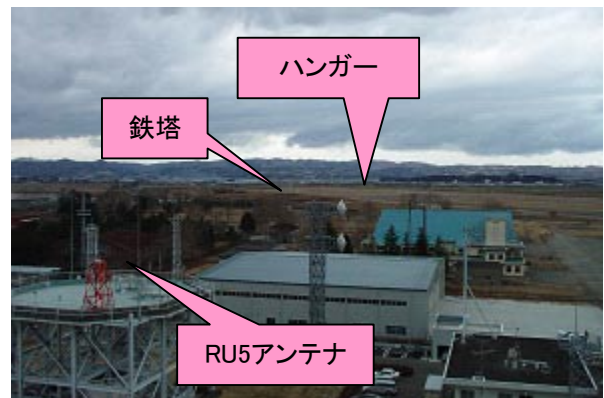


図10 岩沼分室から場所2方向

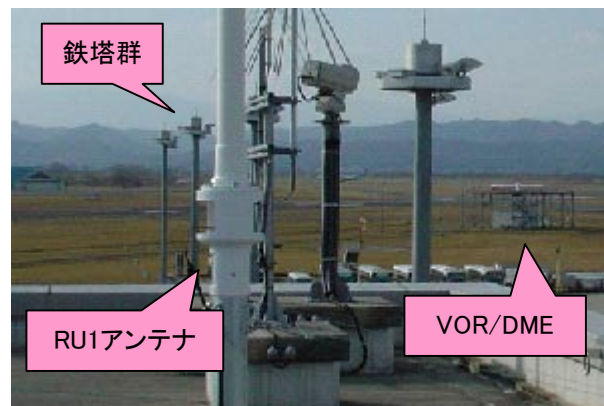


図11 仙台空港事務所屋上から場所2方向

### (3)場所3

場所3では数回の追尾停止や測位乱れが発生した。図12に場所3における追尾処理による航跡、およびRU2を用いずに算出されたRawデータを示す。収集データを解析したところ、場所3付近において、B滑走路東端のRU2を用いずに算出されているデータが多数存在していた。そして、存在が集中している地点で追尾停止や測位乱れが発生していた。場所3付近はターミナルビルからの反射があり、加えて、RU2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奥に設置されているため、このような性能低下が生じたものと考えられる。本件については、さらなる原因検討を進めている。

### 6. まとめ

本稿ではマルチラレーション対応ADS-Bの概要と当所の評価システムについて説明し、空港面評価に関する試験結果と検討結果を示した。試験の結果、当所のシステムはEUROCAEの規格を満たすことが確認できた。また、マルチラレーションは受信局の配置が精度に大きく影響することや、空港面では建造物からの反射により性能劣化を受けやすいことが分かった。今後は、今回の検討結果を踏まえた設置方法の改善を行い、信頼性の向上を図る計画である。

### [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)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
- (3)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
- (4)RTCA: Minimum Operational Performance Standards for 1090MHz Automatic Dependent Surveillance-Broadcast (ADS-B) and Traffic Information Services-Broadcast (TIS-B), RTCA/DO-260A, April 10, 2003
- (5)ICAO: Aeronautical telecommunications ANNEX 10 Volume4, July 1998
- (6)電波航法研究会編：双曲線航法、海文堂、pp.1-17、昭和52年4月
- (7)三吉他：マルチラレーションによる空港面監視実験、電子情報通信学会2004年総合大会講演論文集B-2-43、2004年3月
- (8)EUROCAE: Minimum Operational Performance Specification for Mode S Multilateration Systems for Use in A-SMGCS, ED-117, November 2003

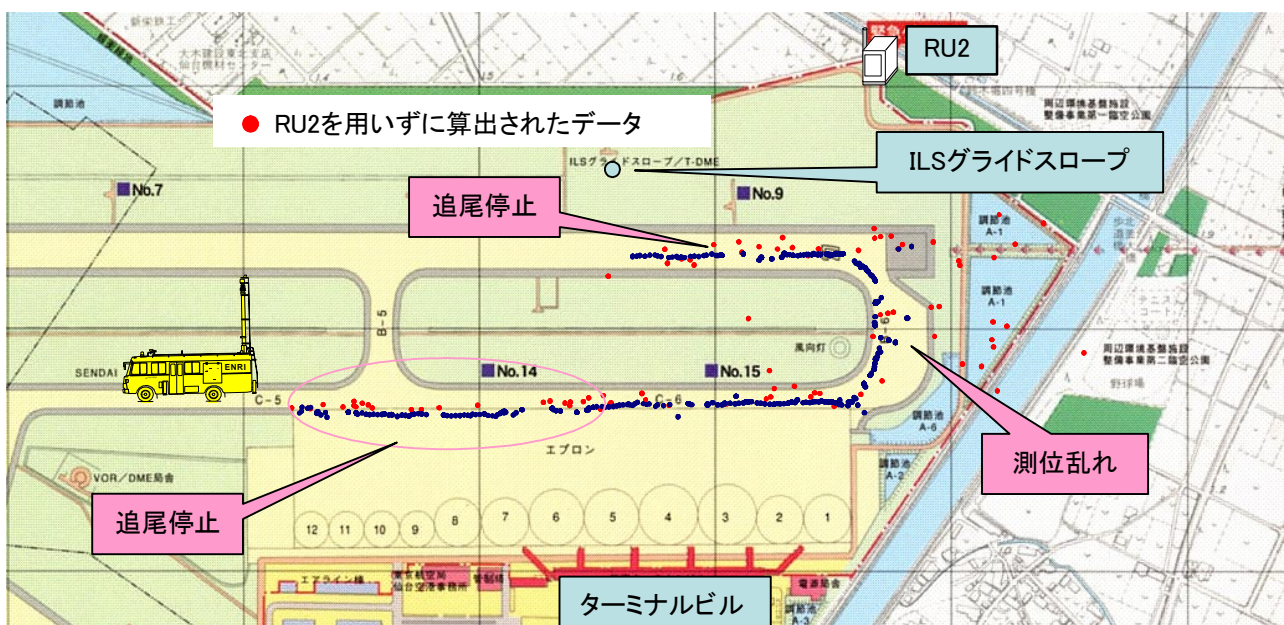


図12 場所3における追尾処理航跡とRU2を用いていないRawデータ