

空港面における協調監視システムの監視性能および測位結果の統合

監視通信領域 ※本田 純一，松永 圭左，角張 泰之
航空交通管理領域 大津山 卓哉

1 まえがき

近年，国際民間航空機関（ICAO）の監視パネル（SP: Surveillance Panel）においても，通信や航法と同様に監視システムの性能要件に関する議論が始められている。本会議の目的は，各種運用形態に応じて必要な監視システムの要件を決定するというものであり，導入する監視システムは監視システムの要件を満足するように求められる。

現在，各種監視システムは表1のように利用されている。一次監視レーダ（PSR）と空港面探知レーダ（ASDE）はパルス信号を用いた非協調監視システムとして，移動体からの反射信号を検出することで移動体の位置を推定する。二次監視レーダ（SSR），マルチラテレーション（MLAT），広域マルチラテレーション（WAM）は，航空機に搭載されたトランスポンダから送信される ATCRBS もしくは Mode S の2つ信号を利用して航空機の位置を検出する協調監視システムである。管制システムとしては機体コードや高度等の情報を得ることができる SSR 系が主流の監視システムである。それぞれ方式が異なり，得意な監視エリアも異なる。そのため目的に応じて各種監視システムを組み合わせられて利用される。電子航法研究所（以下，「当所」とする）では，これまで航空路を中心として監視システムの開発や性能評価を行ってきた。しかし，空港面は伝搬環境の複雑さも相まって不十分なところがある。監視システムとしての重要な点は，単に位置情報を提供するだけでなく，アベイラビリティやレイテンシといった要件をクリアする必要があると共に，安定した動作を保つためには使用する信号数の管理も重要である。これらは使用する監視システムや利用環境により複雑に変化する。そのため，監視要件を測るための評価方法や測位結果の提供方法について検討する必要がある。

本研究では，主に空港面への適用を念頭とし

た監視システムについて，性能評価手法を開発するとともに，当該エリアにおける監視システムの活用方法を検証することにある。本稿では，本研究でこれまでに実施した空港面に対する監視システムの性能評価結果及び測位結果のデータ統合について議論する。まず，空港面の監視システムに対する性能要件を紹介する。次に，空港面で既存システムに加えて ADS-B を導入した時の性能比較ならびにその特徴について紹介し，2つの協調監視システムから得られた測位結果を統合しどのように位置を決定するか，測位位置の統合方式について議論する。

表1 各種監視システムの導入状況

名称	導入先（空域）		
	空港面	空港	航空路
PSR		✓	
ASDE	✓		
SSR		✓	✓
MLAT	✓		
WAM		✓	✓

2 空港面における性能要件

空港面の監視で利用される既存の MLAT および将来利用が期待される ADS-B について，性能要件を整理する。

2.1 MLAT の性能要件

空港面で使用される MLAT の性能要件については，A-SMGCS と絡み欧州民間航空電子機関（EUROCAE）から発行されている ED-87C の MASPS 及び ED-117A の MOPS に記載されている。ED-117A に記載された技術要件は ED-87C と整合が取れるように記載されている。検出率や精度については表2の通りである。監視システムは管制卓に表示されるまでの時間等も考慮し，様々な項目をクリアする必要がある。位置精度の観点では滑走路等の移動エリアについて 95%信頼値で 12m 以内が要求される。以前の ED-117 では 7.5m と記載されていたこ

とから、国内では技術要件として 7.5m が参照されている。

表 2 MLAT の性能要件

項目	移動時	エプロン	スポット
検出率	≥95% (1 s)	≥70% (1 s)	≥90% (5 s)
位置誤差	≤12m(95%)	≤20m(95%)	≤25m(95%)
遅延	≤0.5s		

2.2 ADS-B の性能要件

空港面で ADS-B を使用する場合の要件について記載する。EUROCAE の ED-163 SPR によると、表 3 の通り ADS-B の性能指標である NIC (Navigation Integrity Category) と NACp (Navigation Accuracy Category - position) 及び SIL (Source Integrity Level) の 3 つが記載されている。航法誤差を示す NACp は、水平誤差に基づく HFORM から計算され、多くの場合で NACp = 8 (92m) or 9 (30m) を提供し、その実力値は 2~3m となる。なお、ADS-B の位置精度は GNSS に従うため、地上で ADS-B を使用する場合には常に使用エリアで GNSS をモニタすることを推奨している。

表 3 ADS-B の性能要件

項目	Ver. 0	Ver. 1	Ver. 2
NIC	> 6*	> 0	> 0
NACp	-	≥ 8	≥ 8
SIL	-	≥ 2	=3

* Ver. 0 は NUCp となる

3 仙台空港における性能検証

本節では、当所の実験用航空機を使った性能検証結果を示す。

3.1 実験環境

実験環境として仙台空港を選定した。なお、協調監視システムによる測位結果の取得には、当該空港に展開している光ファイバ接続型受動監視システム (OCTPASS) を活用した[1]。図 1 に実験環境を示す。仙台空港を取り囲むように 8 局の OCTPASS 受信局 (Rx4 は停止中) が設置されている。なお、Rx1 と Rx6 付近にターミナルビル等の大型構造物があり、Rx5 付近の空港南側に空港関連会社の格納庫等が林立

する。これらの構造物は、主に MLAT においては航空機からの信号の遮蔽やマルチパスによる信号歪による性能低下要因となる。

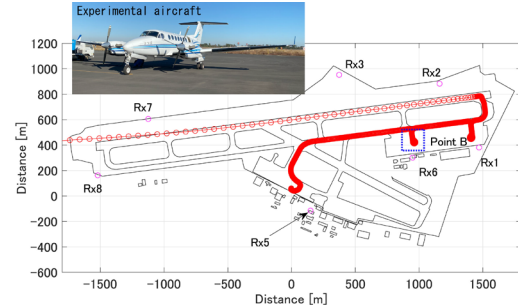


図 1 仙台空港の実験環境

3.2 解析手順

航空機の位置は、MLAT と ADS-B それぞれ別系統で計算されるものとする。MLAT は OCTPASS により受信局間の信号到達時間差 (TDOA: Time Difference of Arrival) に基づく双曲線測位によって計算される。しかし、MLAT で取得されるデータにはまれに大きな誤差が含まれる。そこで、性能向上の観点から複数のフィルタ処理を適用し、その効果についても検証を行った。本研究では試験的に α - β フィルタ、カルマンフィルタ、移動平均の 3 つのフィルタを適用した。よく知られているのはカルマンフィルタであるが、実際の利用ではリアルタイムであることを考慮し、レイテンシを満足するように適用しなければならない。

一方、ADS-B は当所の開発した ADS-B 解析ツールにより得られる[2]。受信したモード S メッセージから DF=17 のみを抽出し該当機の位置情報を計算する。位置情報だけでなく、空港面における ADS-B 自体の信頼性も同時に評価できる機能を備えており、各種運航情報を記録できる機能を備えている。本稿では最も受信感度の高い OCTPASS の Rx7 の信号を ADS-B の解析に利用した。

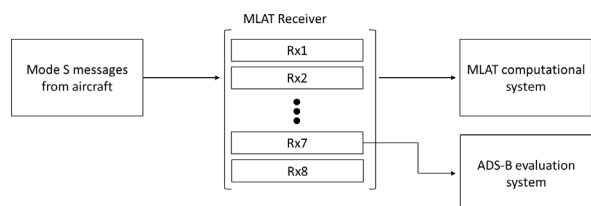


図 2 解析フロー

3.3 測定・解析結果

飛行実験を通して得られたデータ解析の結果を示す。2024年10月に実施した際の移動経路は図3の通りである。当所のエプロンを出発し、途中で2か所に停止し、その後離陸した。図中の航空機の移動経路は機上のGNSS受信機により1Hzで取得した結果である。

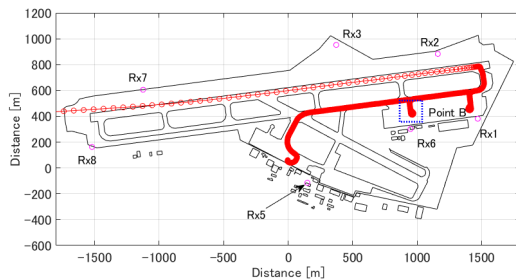


図3 移動経路

図4はMLATとADS-Bによる測位結果を比較したものである。MLATは測位結果そのものとカルマンフィルタを適用した場合の2つの結果を示す。更新頻度と測位位置がそれぞれ異なることが示されている。

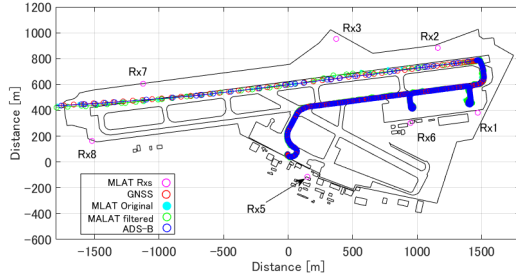
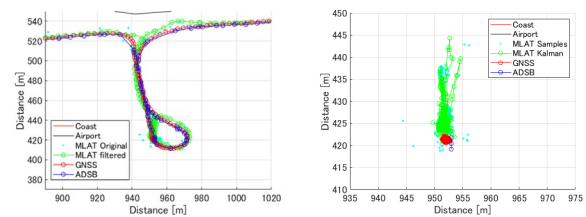


図4 MLATとADS-Bの測位結果の比較

次に図3で示したエプロン上のポイントBに注目した精度比較を行った。図5(a)はスポットイン・アウトを含む測位結果を示し、図5(b)はスポットで10分間駐機した時の結果を示す。機上のGNSS受信機とADS-Bの航跡はほぼ同じ軌跡となるが、MLATは若干ふらつきがあることがわかる。また駐機時については、フィルタを通したとしてもMLATは変動が大きいのが、ADS-Bの位置はほぼ変わらないことが分かる。分散という観点からは、ADS-Bの方が優位であった。

表4に解析結果の比較を示す。MLATについては、カルマンフィルタ以外を用いた場合の結果も含めている。機上のGNSS受信機をリ

ファレンスとするため、得られた測位結果の中央値を参照値とした。ADS-Bは1.57mとなり最も距離誤差が小さいことがわかる。なお、この誤差は機体のアンテナ位置の差と概ね同じ距離であることを述べておく。MLATについては、図4では誤差が大きいのに見えたが、95%信頼値で評価したところ、4m~5mの誤差となることが確認できた。フィルタの適用方法により誤差が1mほど異なるが、生データであっても5.57mとなり、監視要件として定義されている12mの誤差は十分クリアできていることがわかった。なお、広く知られているところではあるが、MLATは受信機の数や配置により性能を向上することができる。いくつかのポイントで性能評価を行ったところ3~4m前後の誤差となることが確認できた。



(a) スポットイン・アウト (b) 駐機時

図5 MLATとADS-Bの測位結果の比較

表4 スポットBにおける性能比較結果

Sensor	Error [m] *95% confidence	Remarks
Onboard GNSS	0.0	Reference position based on the median value
MLAT Original	5.57	
MLAT filtered(1)	4.27	Kalman filter
MLAT filtered(2)	5.21	A-B filter
MLAT filtered(3)	4.67	Moving average
ADS-B	1.57	

評価結果から次のことが分かった。MLATは、ADS-Bに比べて誤差成分は大きいものの、その値は性能要件を満たしており、また更新頻度が高いことが利点である。ADS-Bは、MLATに比べて更新頻度は低い、位置精度の高さ及び安定性は極めて高いという特徴を持つ。

4 測位結果の選択・統合

最後に複数の協調監視システムを利用した時の測位結果統合に関する検討結果を示す。測位

結果の統合というとは複数の測位結果を一つの点として合わせこむイメージがある。しかし、複数の航跡から最適な値を選択して出力することも、複数センサの結果を使用する観点からは統合と呼べる。誤解を減らすために本稿では便宜上、測位結果の選択・統合と呼ぶ。まず、統合方式については、得られた測位結果に重みづけをして出力する。重みは前節で示した駐機時の誤差の割合を設定した。選択方式については測位結果の安定性の観点から ADS-B の使用を優先度が高くなるように設定し、データがなければ MLAT の結果を採用するようにした。

図6と図7に選択・統合方式を適用した航跡を示す。更新頻度を1秒とし、表示時のデータは最新値を採用した。いずれもMLATの測位結果をそのまま使用した場合、複数個所で誤差が生じていることが分かる。図7は統合方式による航跡を示す。選択方式とほぼ変わらないものの、誤差とみなせる測位計算値がわずかに多いことが分かる。

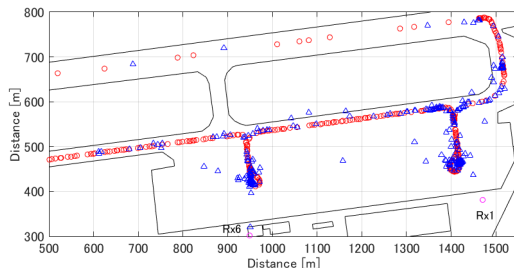


図6 選択方式による測位結果の統合

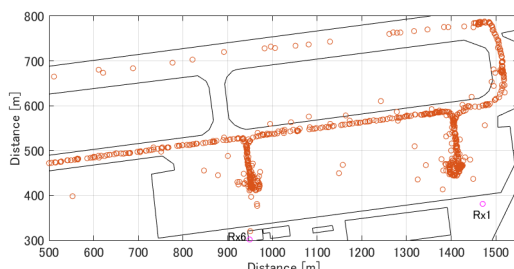


図7 統合方式による測位結果の統合

図8はフィルタを通した場合の選択方式による測位結果を示す。前の2つの図と比べて大きな誤差が取り除かれ、かなり滑らかな測位結果となることが分かる。

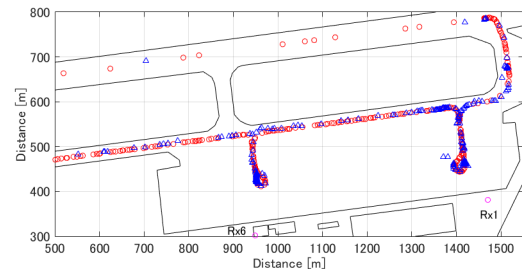


図8 選択方式による測位結果の統合
(フィルタ適用)

5 あとがき

本稿では、空港面における MLAT と ADS-B の2つの協調監視システムの性能評価結果ならびに測位結果の統合について議論した。2つの監視システムの位置精度の評価として、当所の実験用航空機を利用した仙台空港内での測定結果を示した。また、複数監視システムを用いた測位結果の選択・統合について、検討結果を示した。

今後は、PSR系を含めた測位結果の統合やマルチ監視時の性能評価手法について研究を進める予定である。

謝辞

本研究を進めるにあたり実験環境の提供にご協力いただきました仙台空港関係者に深く感謝申し上げます。

参考文献

- [1] 角張, 他, “空港面用航空機受動監視システムの高性能化,” 電気学会論文誌 C (電子・情報・システム部門誌), vol.132, no.7, pp.1088-1093, 2012.
- [2] K. Matsunaga, and J. Honda, “An Evaluation Process of ADS-B Message and Statistical Evaluation,” Proc. Int. Workshop on ATM/CNS (IWAC), T3-2-A, pp.39-45, Nov., 2024.