

光接続型マルチラテレーションシステムの開発および実証実験

Development and Demonstration of Optically Connected Multilateration System

中原 功一 藤本 華代
Koichi Nakahara Hanayo Fujimoto

要 旨

空港敷地内の地上を走行する航空機の位置を監視するレーダシステムの一つであるマルチラテレーションシステム (MLAT: Multilateration System, 以下MLAT) を改良した「光接続型マルチラテレーションシステム」を電子航法研究所 (ENRI) と共同開発した。従来型のMLATにおいては、空港敷地内の建物などが電波伝搬に影響することにより、航空機や車両の測位精度が低下しやすく、この対策が課題とされていた。当社が新たに開発した光接続型MLATは、屋外で受信した無線信号を光信号に変換・伝送し屋内で一括デコードすることで、航空機や車両の高精度の監視を実現する。ベトナム・フーコック空港へ導入した本システムにおいて測位精度を評価した結果、国際規格 (ED-117A) を大きく上回る性能を確認した。

Abstract

JRC has developed in collaboration with Electronic Navigation Research Institute (ENRI) “an optically connected multilateration system”, which is an improved version of the Multilateration System (hereafter MLAT), one of the radar systems used to survey the position of aircraft taxiing on the ground in airport premises. In the conventional MLAT, the positioning accuracy of aircraft and vehicles tends to deteriorate due to the influence of buildings in airport premises on radio wave propagation, and this countermeasure has been an issue. JRC’s newly developed optically connected MLAT realizes high-precision surveying of aircraft and vehicles by converting radio signals received outdoors into optical signals, transmitting them, and performing batch decoding indoors. As a result of evaluating the positioning accuracy of this system introduced at Phu Quoc Airport in Vietnam, it has been confirmed that the performance of this system greatly exceeded the international standard (ED-117A).

1. まえがき

世界の航空交通量はアジア太平洋地域や中南米などの新興国を中心として増加傾向にあり、航空交通量の伸び率は年平均6.5%⁽¹⁾にのぼると予測されていた。現時点においてはCOVID-19感染拡大に伴う人流抑制にともない航空交通量が減少しているが、今後、再び増加することが見込まれる。航空交通量の増加にともない、空港敷地内における航空機や車両の密度が高まり、航空機同士、あるいは航空機と車両との間で発生する事故のリスクが増加する。また、航空交通量の増加にともなう管制官の業務負荷増も事故発生リスクの一因である。これらのリスクを低減するためには、空港敷地内における航空機や車両の位置や動きを正確に監視することが有効であり、このソリューションとしてMLATの導入が各地の空港において進められている。

本稿では、当社が電子航法研究所 (ENRI) 殿と共同開発した光接続型MLATについて紹介する。また、ベトナム・フーコック空港へ導入した本システムにおける測位精度の実証実験の内容および結果について述べる。

2. 概要

2.1 開発の背景

空港の滑走路や誘導路、エプロンを監視する従来の空港面探知レーダ (ASDE: Airport Surface Detection Equipment) は、高い周波数帯の電波を使用する一次レーダであることから、以下の弱点を有する。

- ・大雨や雷雨などの悪天候時に受信性能が劣化する
 - ・建物や他の航空機などの障害物によりブラインドエリアが生じる
 - ・レーダ画面上に航空機情報を表示することができない
- これらの点を解決する二次レーダであるMLATの導入が各国で進められている。

2.2 MLATの概要

MLATは空港に設置した複数の受信ステーションと送信ステーションにより構成され、航空機が発信するトランスポンダ応答信号を3局以上の受信ステーションで受信し、各々の受信時刻の差から双曲線測位計算を行い、航空機の位置を算出する二次レーダ装置である。二次レーダの動作の概要を図1に、システムの概要を図2に示す。

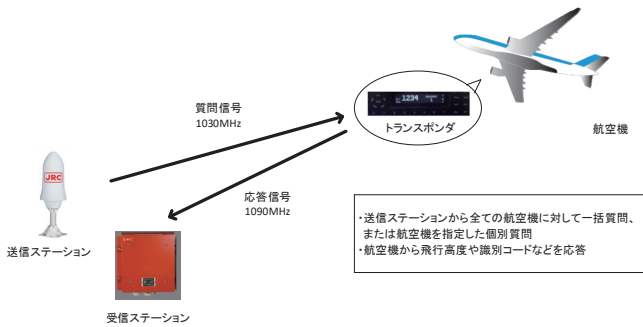


図1 二次レーダの動作の概要

Fig.1 Overview of the secondary radar operation

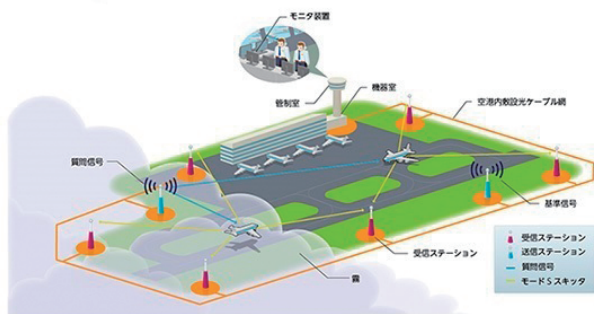


図2 MLATの概要

Fig.2 Overview of the MLAT

2.3 従来のMLAT

従来型MLATにおいては、建物や他の航空機などによる電波のマルチパス干渉が航空機の検出率や測位精度を大きく低下させていた。MLATは航空機の位置を算出するために最低3局の受信信号データを必要とするが、図3に示す従来型MLAT（3局構成の例）においては、1局でも受信信号がマルチパス干渉を受けると、航空機の位置が算出できなかった。またMLATはデコードを行う受信ステーション同士の時刻同期を必要とするが、無線を使用するため同期の精度が低く、測位精度が劣化する問題点があった。この対策として、受信ステーション数を増やし、測位に用いるデータ数を増やす方法があるが、機器の設置および維持に係るコスト増を招く。また、時刻同期用の送信ステーションが見通せる位置に受信ステーションを配置する必要があるため、空港内でのターミナルやスポットの改修や移転などの際に移設場所が制約される。

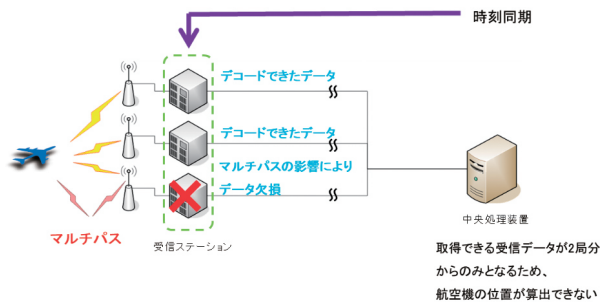


図3 従来型MLAT（マルチパス干渉を受けた時の動作）

Fig.3 Conventional MLAT (operation when receiving multipath interference)

2.4 新たに開発したMLAT

当社が新たに開発したMLATは、受信ステーションおよび送信ステーションを屋外と屋内に分離して設置し、各々を光ファイバで接続するRoF（Radio over Fiber）技術を採用した。光接続型MLAT（3局構成例）においては、屋外の受信ステーションで受信した無線信号を光信号に変換・伝送し、屋内の受信ステーションでデコードする。3基の受信ステーションの設定時刻は屋内の受信ステーションで同期させ、同一の時刻信号発振源を使用することで高精度化することにより、マルチパスの影響で崩れたデータを「他の2局が受信した信号の発信元」と同一の航空機から発射されたものとみなして測位計算ができる。この結果、高精度の測位計算に必要な受信ステーションの設置数を抑え、時刻を同期させるための送信ステーションが不要となり、機器設置の自由度を高める。また屋外の受信ステーションの省電力設計により、電源工事を必要としない光給電により駆動するため設置コストを抑える。さらに、屋内との信号伝送路を光ファイバ化することにより、システムの耐雷性および耐ノイズ性を高める。

新たに開発したMLATの構成を図4に示す。

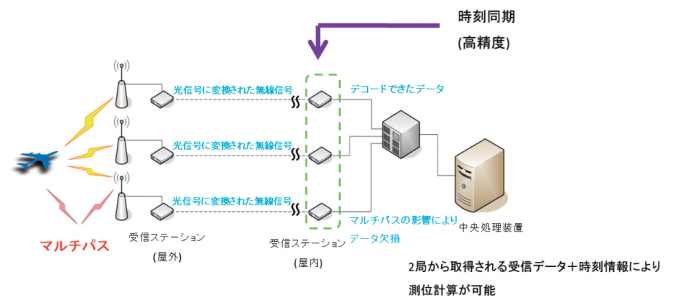
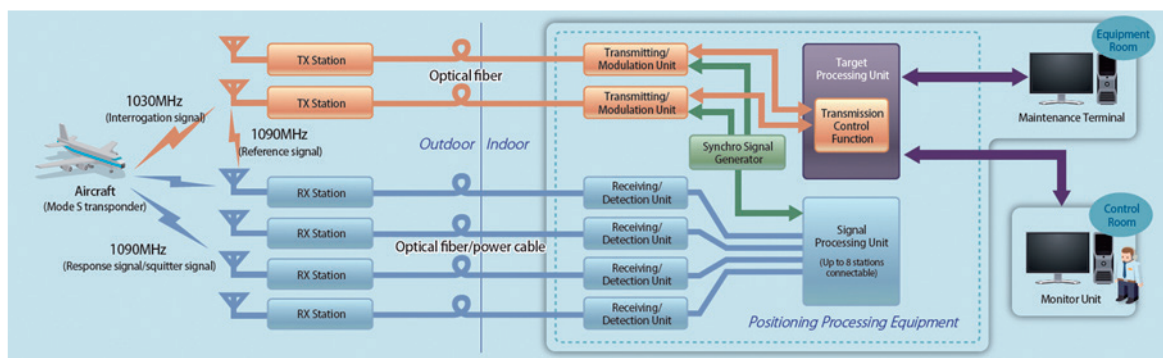


図4 新たに開発したMLAT

（マルチパス干渉を受けた時の動作）

Fig.4 Newly developed MLAT (operation when receiving multipath interference)

実証実験時におけるシステム構成を図5に示す。8基の受信ステーションおよび2基の送信ステーションを滑走路周辺に配置し、測位結果を表示する端末を管制塔に配置した。



※本図では受信ステーションは4基

図5 実証実験におけるシステム構成

Fig.5 System configuration in the demonstration

3. 実証実験

3.1 実験の概要

実証実験はベトナムのフーコック国際空港において実施した。

航空機のトランスポンダが発信した応答信号を3基以上の受信ステーションで受信する必要があるため、図6に示すように、空港敷地内の滑走路、誘導路およびエプロンの各々を常に3基以上の受信ステーションで囲む。

車載用トランスポンダとGNSS測定器を搭載した試験用車両(図7)を空港敷地内にて走行させ、実証実験を行った。MLATが送信した質問信号を車載用トランスポンダが受信し、応答信号を送信する。MLATはこの応答信号を受信し測位計算を行う。GNSSで測定した緯度経度とMLATの測位計算結果を比較することにより、MLATの測位計算精度を評価した。評価方法および規格は国際規格ED-117Aに準じた。空港敷地内における受信ステーションおよび送信ステーションの配置を図6に示す。

実験期間はおおむね好天に恵まれ、気象条件は安定していた。フーコック国際空港は夜間の運用を停止していたため、滑走路や誘導路において十分な時間をかけて評価することができた。



図7 試験用車両

Fig.7 Test vehicle

3.2 実験方法

3.2.1 滑走路および誘導路における測位精度評価

滑走路端に試験用車両を止め、車両に搭載したトランスポンダからの応答信号を用いてMLATで測位を行い、GNSSと比較することで測位精度を評価する。これを滑走路および誘導路において100 m間隔で繰り返した。図8に示される黄色の数字は測位位置であり、滑走路端および誘導路端からの距離(m)を示す。ピンマーク内に示した数字は受信ステーションの位置である。

3.2.3 エプロンにおける測位精度評価

試験用車両を各スポットに止め、車両に搭載したトランスポンダからの応答信号を用いてMLATで測位を行い、GNSSと比較することで測位精度を評価する。これを全てのスポットにおいて繰り返した。図9においてエプロン上に黄色で示されるA1, A2およびA3は測位位置である。黄色の数字はスポットの番号を示す。



図6 空港敷地内における受信ステーション (RX) および送信ステーション (TX) の配置

Fig.6 Placement of receiving station (RX) and transmitting station (TX) in the airport premises



図8 滑走路および誘導路における測位精度評価実施位置

Fig.8 Location to evaluate positioning accuracy on runways and taxiways



図9 エプロン上の測位精度評価実施位置

Fig.9 Location to evaluate positioning accuracy on the apron

4. 評価

4.1 実証実験結果

4.1.1 総括

MLATの最小パフォーマンス要件を定めた国際規格EUROCAE ED-117Aを測位精度の基準と位置づけ、本実験の結果における測位精度を検証した。規格が定める測位精度と本実験の結果における測位精度との比較を表1に示す。滑走路、誘導路、エプロンのいずれにおいても、規格に対し十分な測位精度を得ていることが示された。

表1 規格が定める測位精度と実証実験結果における測位精度との比較

Table 1 Comparison of positioning accuracy defined by the standard and positioning accuracy in the results of the demonstration

	滑走路	誘導路	エプロン
測位精度規格値 (ED-117A)	12 m以下 (信頼性99%)	12 m以下 (信頼性99%)	25 m以下 (信頼性95%)
測位誤差平均値 (実証実験結果)	2.064 m	1.852 m	1.952 m

4.1.2 滑走路における測位精度評価の結果

滑走路において測位精度を評価した計31地点中、誤差の最大値を示した地点の測位結果を図10に示す。赤色の点の位置と円の中心位置との差が測位誤差である。直径12 mの円 (薄青色) は測位精度の基準としたED-117Aの規格値を、また直径7.5 mの円 (薄紫色) は改訂前のED-117の規格値を参考として示している。

測位誤差は、信頼性を99%とした場合において3.799 mである。

4.1.3 誘導路における測位精度評価の結果

誘導路において測位精度を評価した計31地点中、誤差の最大値を示した地点の測位結果を図11に示す。測位誤差は、信頼性を99%とした場合において3.429 mである。

4.1.4 エプロンにおける測位精度評価の結果

エプロンにおいて測位精度を評価した計17地点中、誤差の最大値を示した地点の測位結果を図12に示す。測位誤差は、信頼性を95%とした場合において4.014 mである。

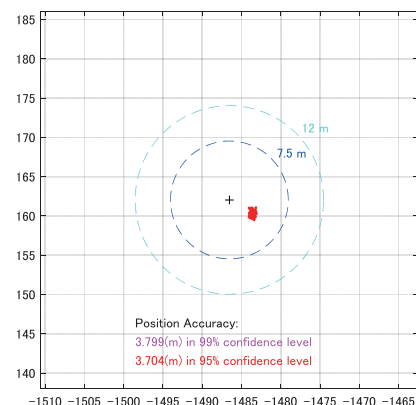


図10 滑走路における測位結果

(計31地点中、誤差の最大値を示した地点)

Fig.10 Positioning results on the runway (location showing the maximum error among the 31 locations in total)

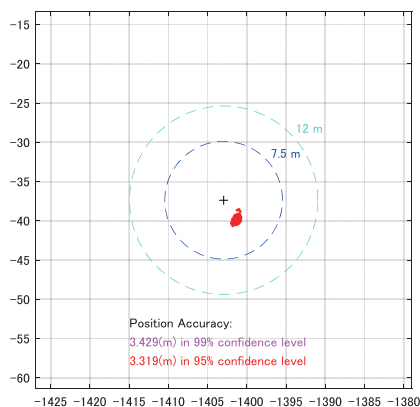


図11 誘導路上における測位結果
(計31地点中、誤差の最大値を示した地点)

Fig.11 Positioning results on the taxiway
(location showing the maximum error among the 31 locations in total)

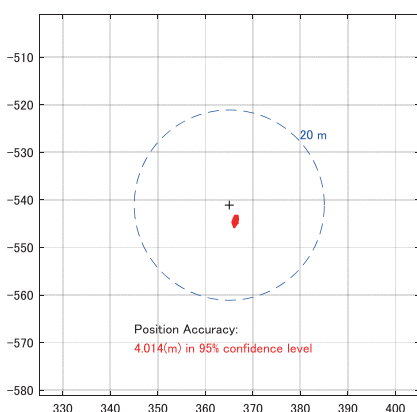


図12 エプロンにおける測位結果
(計17地点中、誤差の最大値を示した地点)

Fig.12 Positioning results on the apron
(location showing the maximum error among the 17 locations in total)

4.1.5 マルチパス発生環境下における測定結果

応答信号の受信波形を観測し、マルチパスが発生している地点における測位精度を評価した。

スポットNo.7付近において観測した応答信号の受信波形を図13に示す。この状況下における測位精度は2.16 mであり、マルチパス環境下においても測位精度が劣化していないことが示された。

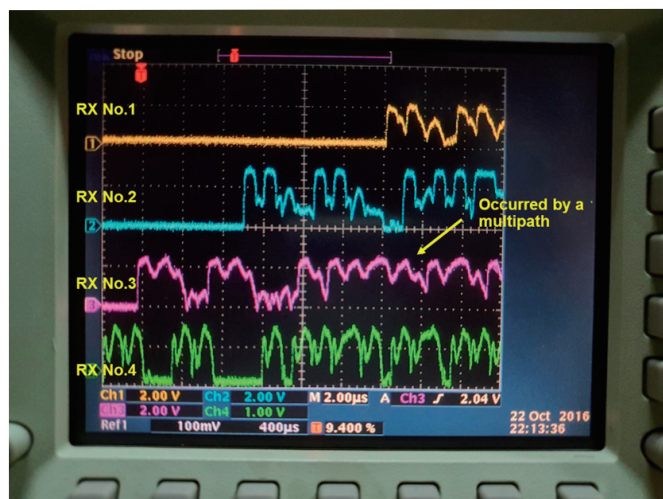


図13 マルチパス発生環境下における応答信号の受信波形
Fig.13 Received waveform of response signal under the environment where multipath occurred

4.2 結論

以上に述べた実証実験の結果、新たに開発した光接続型MLATの性能は国際規格を大きく上回り、冒頭で述べた既存システムの弱点を払拭していることが証明された。これは、光接続型における最大の特長である「高い同期性能」の恩恵によるものである。さらに、マルチパス環境下においても測位精度が劣化しないことを確認した。本システムは、従来型MLATと比べ、大規模空港においても少数の受信ステーションで高精度の測位を実現する。また機器設置コスト面および施設改修時などにおける機器再配置の自由度の面においても従来型MLATに対し優位性を有する。

5. あとがき

本稿では、当社が電子航法研究所 (ENRI) 殿と共同開発した光接続型MLATについて紹介した。また、ベトナム・フーコック空港へ導入した本システムの実証実験について述べた。実証実験の結果が示した本システムの高い測位性能は、空港内における航空機事故の発生リスクを大幅に低減させ、増加しつつある航空交通の安全な運航に大きく寄与する。またシステムの測位精度向上により管制官の業務負担が軽減され、この点における貢献も多大である。さらに、従来のMLATと比べて消費電力を低く抑えられるため、環境負荷低減効果も高い。

謝辞

電子航法研究所 (ENRI) 殿に多大なるご協力をいただき、本プロジェクトを完遂することができました。この場を借りて深く御礼申し上げます。

参考文献

- (1) 世界の航空旅客需要予測 (2013年~2033年) /国土交通省<https://www.mlit.go.jp/common/001116059.pdf>

用語一覧

EUROCAE : European Organization for Civil Aviation Electronics (欧州民間航空電子装置機構)

一次レーダ (PSR : Primary Surveillance Radar) :
地上から電波を發し、受信した反射波により航空機の位置情報を取得する

二次レーダ (SSR : Secondary Surveillance Radar) :
航空機に搭載されたトランスポンダに対する質問信号を送信し、受信した応答信号により航空機に関する情報を取得する