

## 23. 車載型拡張スキッタ送信機の評価試験

通信・航法・監視領域 ※上田 栄輔、二瓶 子朗、宮崎 裕己、角張 泰之  
企画課 林 一夫

### 1. はじめに

東京国際空港におけるD滑走路増設や成田国際空港におけるB滑走路の北伸など、空港容量の拡張に伴い交通量の増大や運用の複雑化が想定されており、空港面監視を支援するシステムとしてマルチラレーションの整備が進められている。この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スキッタやSSR (Secondary Surveillance Radar) モードS応答を複数の受信局で検出して、その検出時間差から航空機の位置を測定する監視システムである。一方、滑走路や誘導路を走行するトーイングカー等の車両についても同時に監視したいとの要望があり、航空機搭載用トランスポンダと同じ形式の信号を自発的に送信する車載型拡張スキッタ送信機の開発が進められている。

当研究所では、東洋無線システム株式会社（以下東洋無線社とする）が試作した車載型拡張スキッタ送信機について性能評価の委託を受け、東京国際空港に設置されているマルチラレーション評価用装置<sup>[1]</sup>を利用して評価試験を実施した。

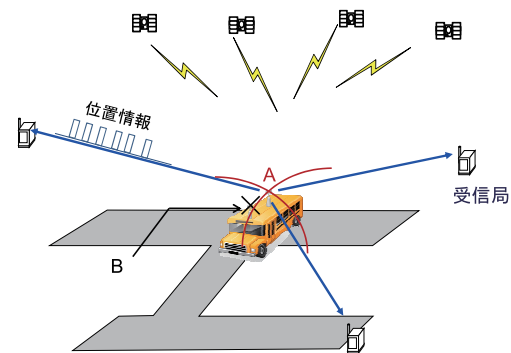
本稿では、初めに車載型拡張スキッタ送信機について述べ、次に東洋無線社が試作した車載型拡張スキッタ送信機の概要を説明する。最後に、既製のスキッタ送信機と比較した基本性能試験の評価結果について述べる。

### 2. 車載型拡張スキッタ送信機の概要

車載型拡張スキッタ送信機はADS-B(Automatic Dependent Surveillance-Broadcast)<sup>[2]</sup>及びマルチラレーションの両センサによる測位が可能である。図1にADS-B及びマルチラレーションの測位原理を示す。

ADS-Bでは、GPSにより取得した車両の位置情報が、ICAO（国際民間航空機関）で定義されているモードS信号のうち、拡張スキッタのフォーマットを利用して自動的に送信される<sup>[3]</sup>。そして、受信局側でこの拡張スキッタを解読すること

によって位置が求められる。拡張スキッタは、図2に示すように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。データブロック部の変調にはパルス位置変調が用いられており、パルスがビット位置前半にあれば1、後半にあれば0となる2進数で表される。この結果、図3に示すようなデータブロックの構成となる。位置情報が含まれるデータフィールドは56ビットであり、緯度・経度（各24ビット長）は17ビットに圧縮して転送される。このため、緯度・経度は1.25m単位の分解能で送信される<sup>[4]</sup>。



A: マルチラレーションによる測位位置(スキッタ送信アンテナ位置)  
B: ADS-Bによる測位位置(GPSアンテナ位置)

図1 ADS-Bとマルチラレーションの測位原理

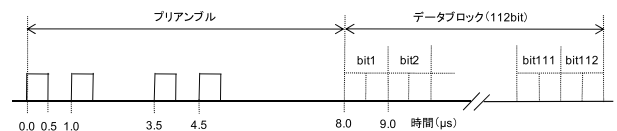


図2 拡張スキッタ信号波形

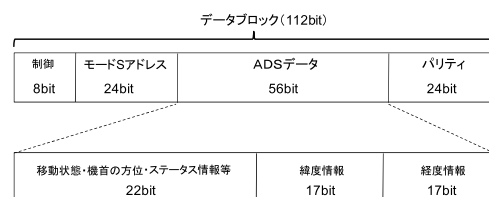


図3 拡張スキッタのデータブロック

マルチラテレーションでは、同一の信号を3局以上の受信局で検出して、受信局間の検出時間差を各受信局と車両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車両の位置を算出する。

ADS-Bの位置精度は基本的にGPS測位精度が直接反映される。一方、マルチラテレーションの位置精度は、主として車両と受信局の位置関係で決まるGDOP（Geometric Dilution Of Precision）に大きく依存される。GDOPは受信局が車両を取り囲む配置、すなわち双曲線同士が直交するような場合に良好となる。

### 3. 試作装置の概要

図4に試作した車載型拡張スキッタ送信機のブロック図を示す。図5は試作装置の外観を示す。GPS受信部は、GPSアンテナとGPS受信機から構成され、汎用のモジュールが使用されている。GPSアンテナには低雑音増幅器が内蔵され、利得は26dBである。GPS受信機はGARMIN社製のチップ（GPS15L）が使用されており、最大で12衛星を同時に補足することが可能である。位置精度の公称値は単独測位では15m以内、ディファレンシャルGPS測位で3m以内となっている。また、本チップのデータ更新率は1秒間隔である。

一方、RTCAのADS-B規格によると拡張スキッタの送信間隔は $0.5 \pm 0.1$ 秒、位置情報の更新は0.2秒間隔で提供することが示されている[4]。そこで、本装置ではこの規格を満たすためにGPS測位位置を基に予測追尾処理にて補完している。予測追尾処理は、CPUボードにてGPS測位位置の変化量から得られる速度情報を用いて算出している。CPUボードは、位置情報以外に外部インターフェイスから入力された自機のモードSアドレスやコールサインを、拡張スキッタのフォーマットに変換して送信メッセージを作成する機能を有する。このメッセージは、一旦FPGAのレジスタに格納される。FPGAボードは、このレジスタに格納されたメッセージをパルス位置変調として送信するために信号変調を行っている。表1に本装置の主要諸元を示す。

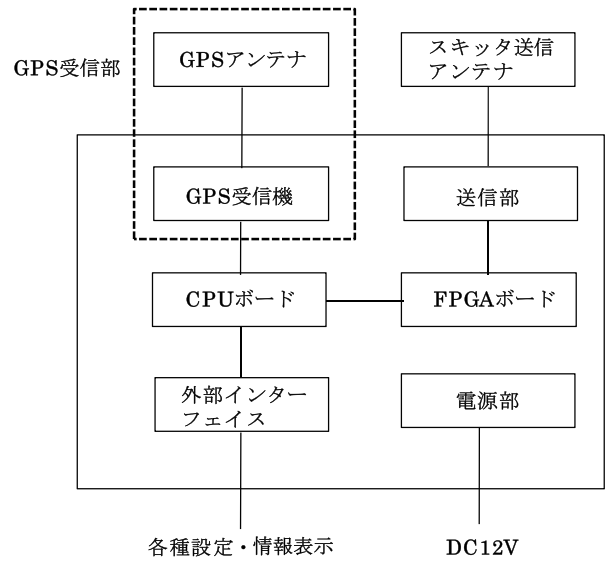


図4 車載型拡張スキッタ送信機のブロック図

スキッタ送信アンテナ

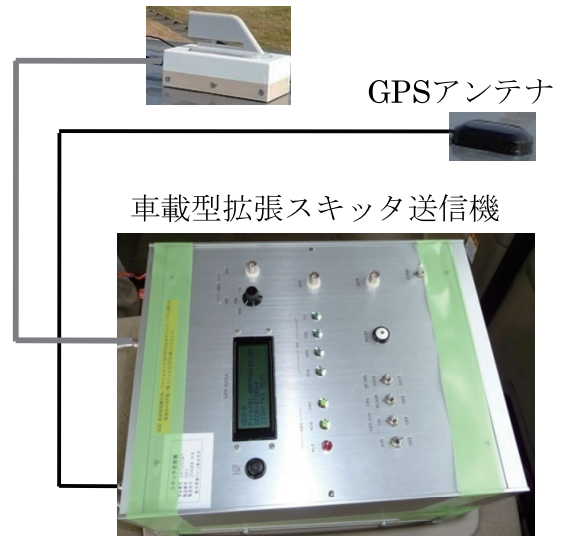


図5 車載型拡張スキッタ送信機の外観図

表1 車載型拡張スキッタ送信機の主要諸元

|                | 車載型拡張スキッタ送信機           |
|----------------|------------------------|
| 送信周波数          | 1090±1MHz              |
| 送信電力           | 20W                    |
| 変調方式           | パルス位置変調                |
| 送信メッセージ・フォーマット | ICAO 第10 附属書 Vol.4 に準拠 |
| 占有帯域幅          | 14.5MHz 以下             |

## 4 基本性能評価

### 4.1 評価方法

評価試験は、東京国際空港に設置されているマルチラレーション評価用装置を利用して、実験用車両を走行させて実施した。走行コースには、C滑走路に平行した海側の場周道路を選定した。本コースはマルチラレーション評価用装置の監視対象エリア外ではあるが、比較的良好な位置検出が期待できる。

試験は、走行コースを往復する走行試験に加えて、定点観測試験も行った。また、精度検証に必要な基準位置を検出するために実験用車両にキネマティック GPS を搭載して同時に計測した。図6に実験用車両の外観と車載型拡張スキッタ送信機用アンテナの設置状況を示す。図7に東京国際空港におけるマルチラレーション評価用装置の受信局アンテナの配置、走行コースおよび定点観測試験位置を示す。マルチラレーション評価用装置は、ADS-Bによる監視機能も有しており、ADS-Bとマルチラレーションの両方の監視方式について性能評価が可能である。

評価項目は、主として位置精度と検出率について実施した。位置精度はキネマティック GPS 測位で得られた基準位置と試作装置で得られた測定値の差を誤差として、その95%信頼性レベル値から求めた。

一方、検出率は一定時間間隔内（2秒）で信号が検出された場合を「検出」として、全間隔数に対する検出数の割合から求めた。これらは、欧州（EUROCAE）が制定した最少運用性能要求（MOPS）で利用されている算出方法である<sup>5)</sup>。これらの評価項目に対して、既製品として海外の空港で使用実績のあるEra社製Squidと比較して評価を行った。Era社製Squidは、送信間隔が停止中に $5 \pm 0.2$ 秒に変化するため、定点観測試験における検出率の項目は、参考値として10秒間隔の検出率としている。



図6 実験用車両の外観図

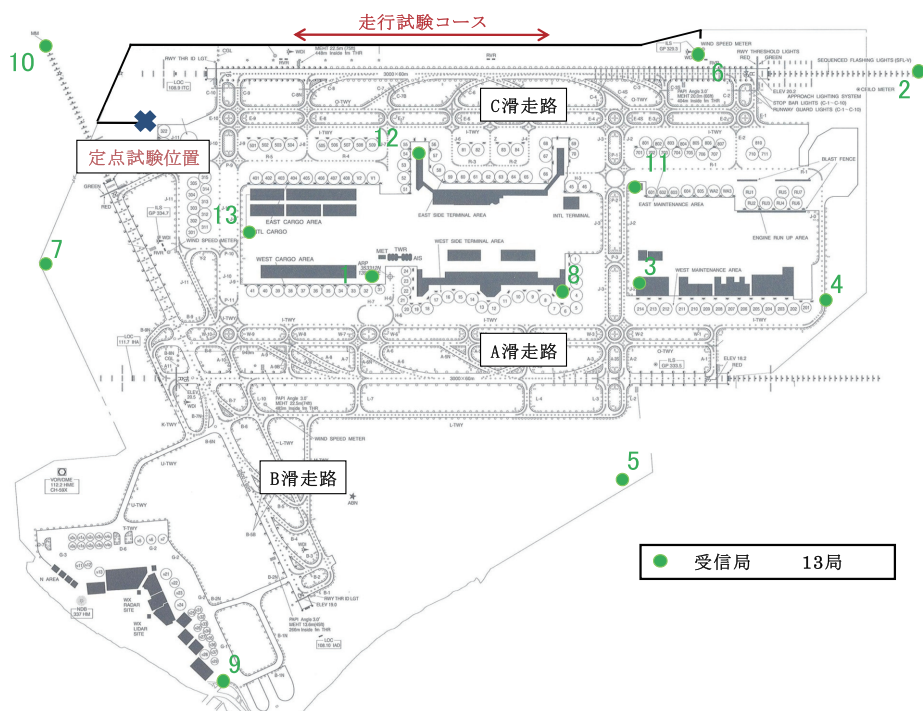


図7 東京国際空港における評価用装置の配置及び走行試験コース

## 4.2 評価試験結果

図8及び図9は東洋無線社、図10はEra社製SquidのADS-Bおよびマルチラレーション測位に対する走行試験の航跡記録例を示す。図中の棒グラフはA地点からB地点までの各受信局の信号検出状況を示す。また、図11は東洋無線社とEra社製Squidに対する定点観測試験の航跡記録例を示す。図8の拡大図1において、航跡の乱れが生じていることがわかる。本エリアでは、受信局10において信号が検出されておらず、GDOP低下による航跡の乱れが生じている。一方、Era社製Squidは同エリアで受信局10の検出が行われおり、図10に示すように比較的航跡の乱れが少ない。拡大図2においては、両社とも受信局7・10・12・13で検出されており、同等の性能であった。

表2はADS-Bによる監視性能、表3はマルチラレーションによる監視性能の評価結果を示す。ADS-Bによる評価では、位置精度は走行試験で約7m、定点観測試験で2.7m、また検出率はともに100%であり、Era社製Squidと同等な結果が得られた。一方、マルチラレーションの評価では、走行試験で位置精度は約13m、検出率は100%未満となり、Era社製Squidに比べて性能が劣る結果となった。マルチラレーション監視性能劣化の要因は、前述した受信局10など遠方の受信局における信号検出差によるもので

あり、主にアンテナ放射電力に依存される。アンテナ放射電力が小さい場合、図12に示すようにGDOPが低下する結果となり、マルチラレーションにおける位置精度が劣化したものと考えられる。このことは、十分良好なGDOPが得られる定点観測試験では、マルチラレーションにおいてもEra社製Squidと同等の位置精度が得られていることから推測される。

表2 ADS-Bによる評価結果

| 試験項目     | 東洋無線社 |      | Era社  |                    |
|----------|-------|------|-------|--------------------|
|          | 試作装置  |      | Squid |                    |
|          | 位置精度  | 検出率  | 位置精度  | 検出率                |
| 走行試験(往路) | 6.6m  | 100% | 5.7m  | 100%               |
| 走行試験(復路) | 7.3m  | 100% | 6.1m  | 100%               |
| 定点試験     | 2.7m  | 100% | 4.9m  | 100% <sup>※1</sup> |

表3 マルチラレーションによる評価結果

| 試験項目     | 東洋無線社 |       | Era社  |                    |
|----------|-------|-------|-------|--------------------|
|          | 試作装置  |       | Squid |                    |
|          | 位置精度  | 検出率   | 位置精度  | 検出率                |
| 走行試験(往路) | 13.7m | 96.7% | 7.0m  | 100%               |
| 走行試験(復路) | 12.2m | 99.5% | 7.7m  | 100%               |
| 定点試験     | 3.3m  | 100%  | 3.7m  | 100% <sup>※1</sup> |

※1 10秒間隔の検出率（参考値）

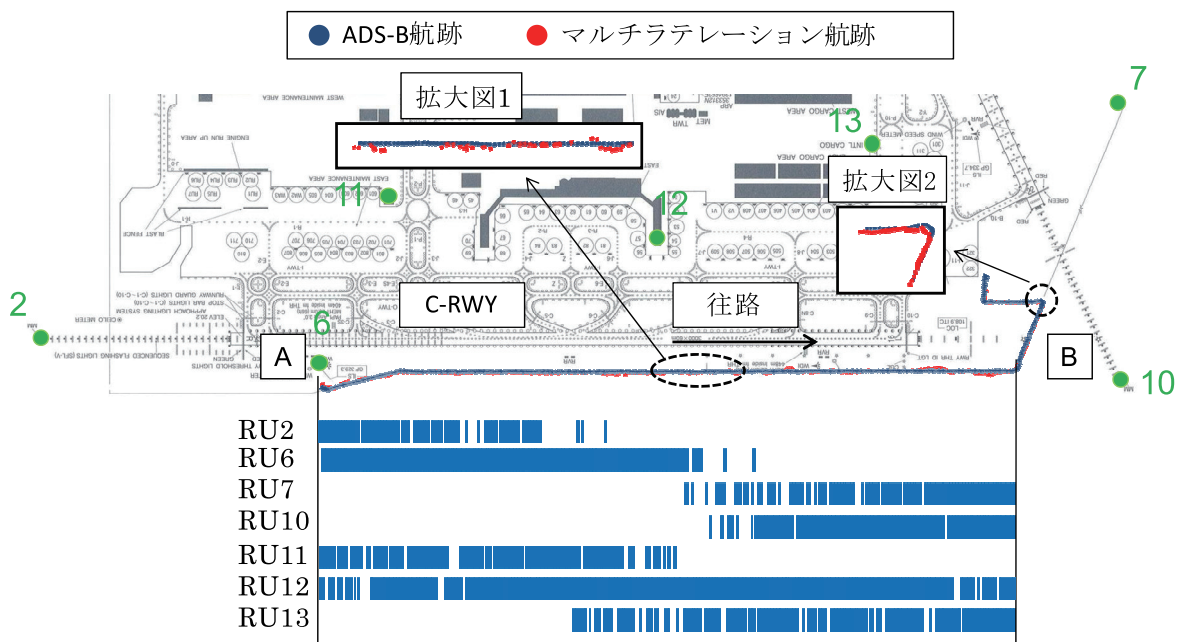


図8 ADS-B及びマルチラレーション航跡記録例（東洋無線社）

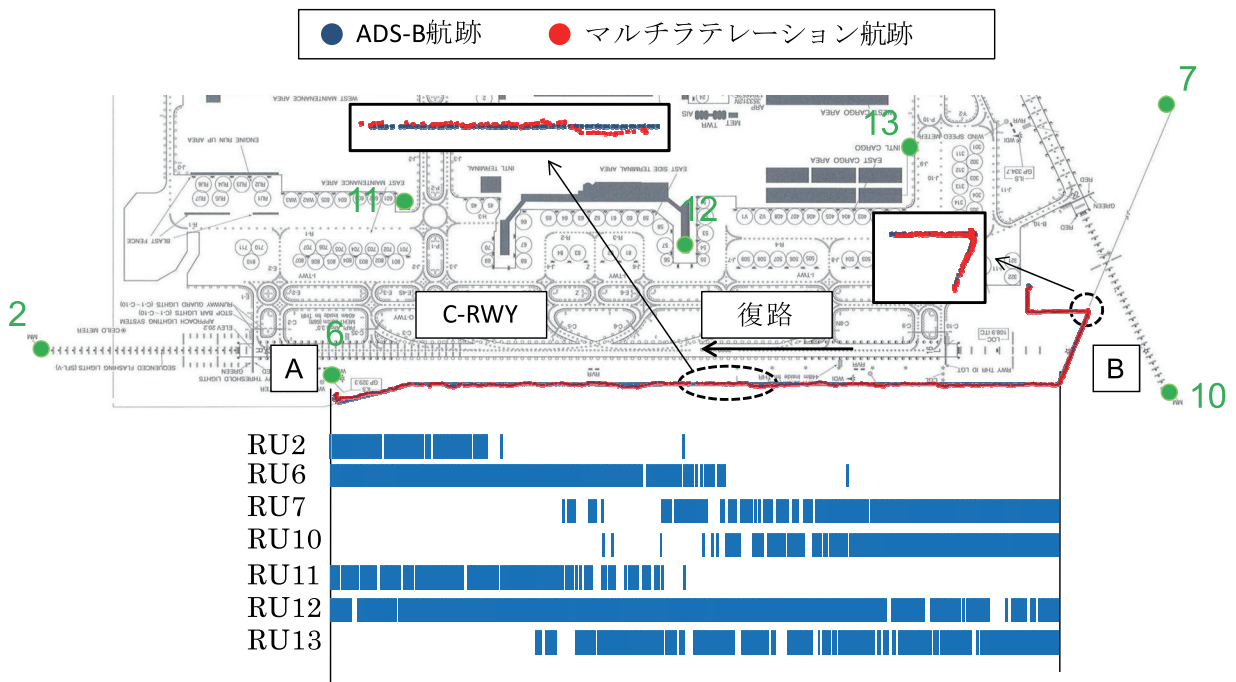


図9 ADS-B及びマルチラレーション航跡記録例（東洋無線社）

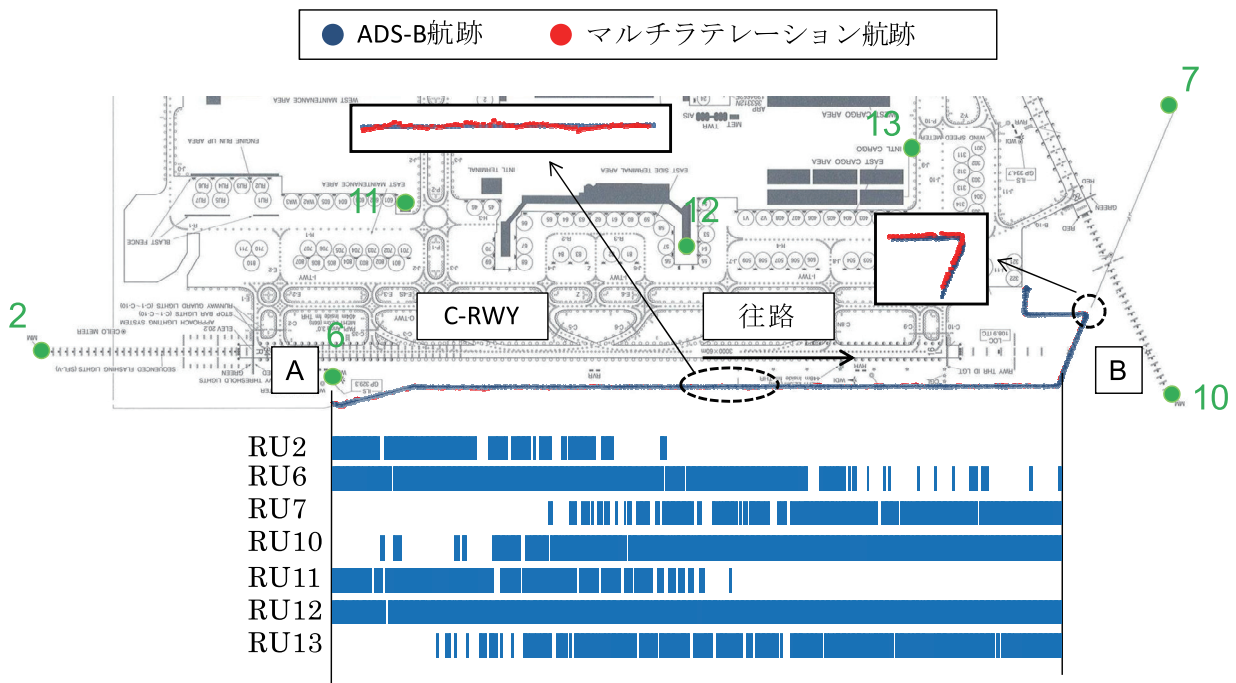


図10 ADS-B及びマルチラレーション航跡記録例（Era社製Squid）

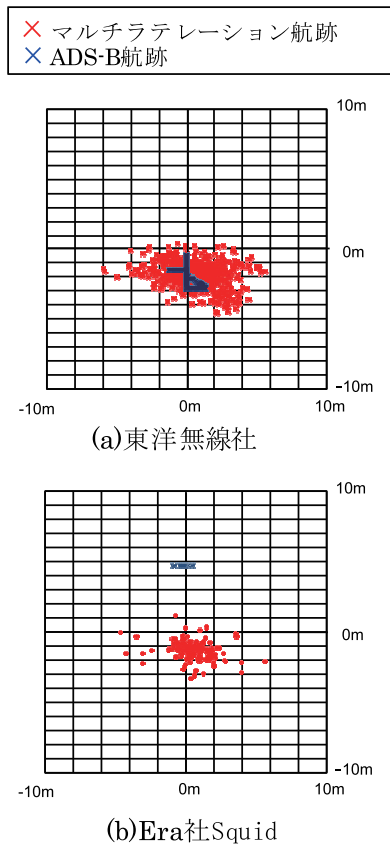


図 11 定点観測試験の航跡記録例

東洋無線社の試作機においては、送信機とアンテナを結ぶケーブル損失が 3dB 程度あり、一体型の既製品に比べて不利な条件にある。アンテナにおいても既存のトランスポンダのものを使用しているため、放射パターンを改善することでアンテナ放射電力の改善が見込まれる。

### 5 まとめ

本稿では車載型拡張スキッタ送信機の概要を説明するとともに、東洋無線社により試作されたスキッタ送信機に対する ADS-B およびマルチラレーションでの基本性能の評価結果を示した。

評価の結果、ADS-B の性能評価では Era 社製 Squid に対して同等の結果が得られた。一方、マルチラレーションの性能評価では性能劣化が生じたが、一体型構成とすることによるケーブル損失の改善およびアンテナ放射パターンの見直し等により性能向上が期待される。

### 謝辞

本評価を実施するにあたり、東京航空局、東京空港事務所の関係各位に感謝の意を表します。

### 参考文献

- [1]宮崎，二瓶，松久保，古賀，青山：“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
- [2]RTCA: Minimum Aviation System Performance Standards for Automatic Dependent Surveillance Broadcast (ADS-B), RTCA/DO-242A, June 25, 2002
- [3]ICAO: Aeronautical Telecommunications ANNEX 10 Volume4, July 2007
- [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]EUROCAE : ED-117, Minimum Operation Performance Specification for Mode-S Multilateration System for Use in Advanced Surface Movement Guidance and Control System November 2003

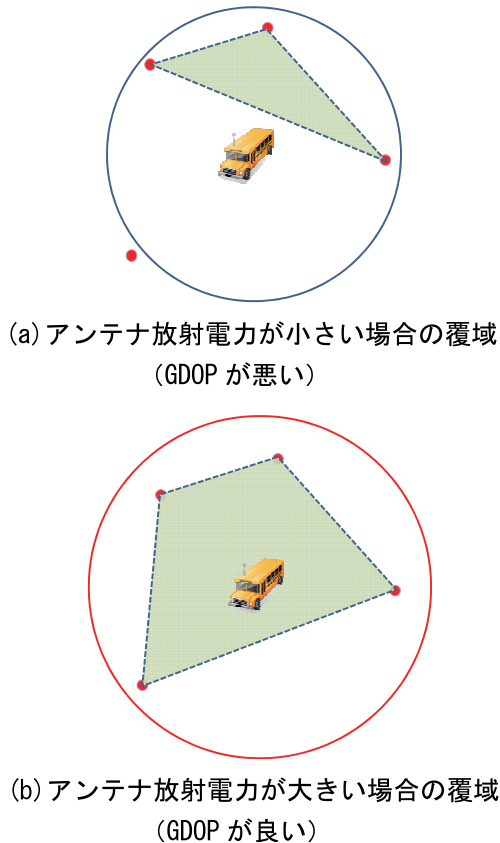


図 12 アンテナ放射電力と GDOP の関係