

18. GBAS 基準局に対する個人用保護デバイスの影響

航法システム領域 ※齊藤 真二, 福島 荘之介

1. はじめに

国際民間航空機関 (ICAO) は、航空交通流の増加など拡大する航空需要に対応し、安全性・定時性を向上させるため、全ての運航フェーズにおいて、航法衛星 (GNSS ; Global Navigation Satellite System) による航法システムの構築を進めている。航法衛星を利用した航空機の着陸システムとして、GLS (GBAS (GNSS) Landing System) がある。GBAS (Ground-Based Augmentation System ; 地上型衛星航法補強システム) は、全運航フェーズにおいて、最も安全性要求が高い精密進入着陸を実現するための衛星航法補強システムであり、地上装置から放送する補強情報により測位精度や安全性を保証し、加えて経路情報を航空機に提供する。GBAS は、各国で導入に向けて開発・評価が行われている。電子航法研究所においては、GBAS プロトタイプ装置を開発 [1]、関西国際空港に設置し、長期安定性試験や飛行評価試験を実施してきており、さらに、仙台空港や新石垣空港にもプロトタイプ装置を設置し、評価試験を開始したところである。

米国において、ニューアーク・リバティ空港での GBAS 地上装置の運用評価中に、地上装置で受信している GPS 信号に対する電波干渉が発生したという事例があった。このときの干渉源は、近接する高速道路を走行する車両に搭載された PPD (Personal Privacy Device ; 個人用保護デバイス) と呼ばれる装置からの送信電波によるものとされている [2, 3]。

PPD による GBAS への電波干渉は、将来、我

が国においても問題となる可能性があり、その影響を調査し、安全対策を検討する必要がある。本発表では、当研究所で研究・開発している GBAS 装置への PPD の影響を評価するための初期段階として、PPD を入手しその基本特性を測定し、GPS シミュレータと PPD を用いた GPS 信号受信評価を行ったので、その結果について報告する。

2. GBAS (地上型衛星航法補強システム)

GBAS は図1に示すように、基準局・補強情報生成処理部・モニタ・VDB (VHF Data Broadcast ; VHF データ放送) 送信部からなる地上サブシステム、および航空機の測位・誘導を行う機上サブシステムで構成される。

基準局は3~4式のGPS受信装置からなり、各受信装置のGPSアンテナを独立したマルチパス環境下となるように100m程度の間隔を開けて設置することで、基準局間の独立性を高めるとともに冗長性をもたせている。補強情報生成処理部では、基準局で取得した各衛星ごとの擬似距離測定値などからDGPS (Differential GPS) 測位に利用する擬似距離補正情報を生成する。また、システムの完全性を保つために、GBAS の運用に脅威となる異常の検出やリスクの低減などの処理を行う様々なモニタが組み込まれている。これらのモニタからの情報、擬似距離補正情報、進入着陸の経路情報などを併せて補強情報とし、VDB送信部より、航空機に放送する。GBAS ではデジタルデータとして経路情報を放送するため、1式の地上装置で複数の進入経路を同時に提供可能となっている。

機上サブシステムは、VDB受信機とGPS受信機とGLS処理部などで構成され、マルチ・モード・レシーバとして航空機に装備される。機上サブシステムでは、航空機の位置をDGPS測位により求め、補強情報に含まれる信頼性情報から、その測位結果が有効であるか否かを判断する。有効である場合は、選択した進入経路からの偏位を算出し出力する。

電子航法研究所では、CAT-I精密進入を可能とするGBASプロトタイプ装置の開発を行い、

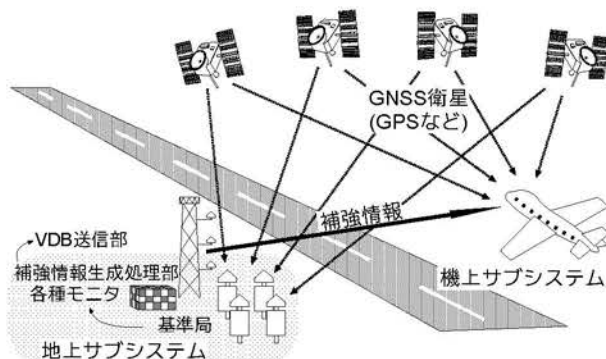


図1: GBASの概要図

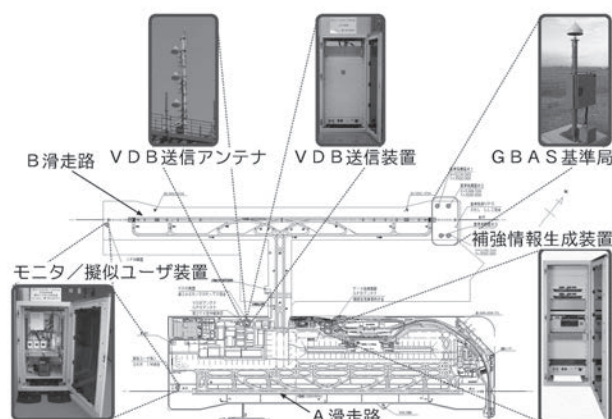


図2: 関西国際空港 GBAS プロトタイプ配置

2010年に関西国際空港に設置した [1]。関西国際空港に設置した GBAS プロトタイプ地上装置の配置を図2に示す。また、2014年に仙台空港にも同様のプロトタイプ装置を設置、さらに、新石垣空港には CAT-III に対応したプロトタイプ装置を設置し、評価試験を開始したところである。

3. 個人用保護デバイスによる干渉事例

米国では、2009年9月に GBAS CAT-I 装置の SDA (System Design Approval) を終え、ニューアーク・リバティ空港に設置し、運用に向けた評価を実施していた。この評価中の2009年11月に GPS 信号への RF 干渉により、GBAS 基準局の GPS 衛星の捕捉が中断し、システムがシャットダウンする事象が発生し、その後も複数回、同様の事象が発生した。原因究明のための観測・解析を行い、この原因は PPD (Personal Privacy Device ; 個人用保護デバイス) と呼ばれる装置によるものとした。

PPD とは自動車に搭載されたカーナビゲーション装置や位置提供のために携帯電話に内蔵された GPS 受信機などの個人向け GPS 受信機の信号受信を妨害し、位置情報を秘匿するために使用される小型の送信機で、GPS 信号と同一周波数帯において、GPS 信号より信号強度の高い電波を送信することにより、PPD 近傍の GPS 受信機での信号受信を妨害し、測位不能とするというものである。

ニューアーク・リバティ空港は高速道路からの距離が約 200m しか離れていない近接する敷地に GBAS 地上局を設置していたため、高速道路を走行する車両に搭載された PPD からの電波干渉を受けやすい環境となっていた。この対策として、ソフトウェアの改修と地上装置の配置

の再検討を行ったとされ [2]、基準局装置の GPS 受信アンテナの位相中心高を 4m から 2m に変更し、2m 低くすることで高速道路からの干渉波の影響を軽減させている [3]。

4. 個人用保護デバイスの特性と影響評価

我々がプロトタイプ装置を設置した関西国際空港は人工島上に整備された海上空港であるため、ニューアーク空港の様に、交通量の多い幹線道路には隣接しておらず、さらに、海側の B 滑走路側に基準局を設置したため、基本的には PPD からの干渉は無いと考えられる。しかしながら、PPD による GBAS への電波干渉は、将来我が国においても顕在化する可能性があり、その影響を調査し十分な安全対策を検討する必要がある。

PPD は、Web 通販などで低価格 (\$20 から \$200 程度) で容易に取得できるが、詳細な仕様等は公開されておらず、購入した場合においても、データシートの類は添付されていない。そこで、まず今回は図3に示すものを始め PPD を幾つか入手し、PPD の特性測定および GPS 受信機への影響について信号受信の評価を行った。

4.1 基本特性測定

まず、変調解析機能を有したスペクトラムアナライザを用いて、基本特性の測定を行った。測定内容は、スペクトラム、周波数帯域幅、出力、中心周波数、周波数変移、変移の周期などである。測定した結果を表1にまとめる。

表1のAのモデルの PPD について測定結果の例を図4(スペクトラム)および図5(周波数変移)に示す。この例では、スペクトラムの中心周波数は 1577.5MHz、帯域幅(99%)は 14.5MHz、帯域内の出力は 16.0dBm であった。また、変調解析の結果、中心周波数の変移の幅は約 11.3MHz、周期は約 8.4 μ s となっていた。このように、この PPD では GPS L1 信号のキャリア周波数 (1575.42MHz) に近い周波数の信号を発生させ、短周期でスイープさせることで GPS に対する妨害波を生成していることが分かった。

このような方式には、送信周波数を厳密に GPS 信号の周波数と一致させなくても、スイープの幅にその周波数が含まれるようにすることで、GPS 信号の受信を妨害できる特徴があり、送信周波数の安定度はあまり重要ではないため、安価な製品の製造が可能になっていると考えられる。



図3: 入手した PPD の一例

表1: PPD の特性

モデル	中心周波数 [MHz]	帯域幅 [MHz]	出力 [dBm]	周波数変移 [MHz]	周期 [μs]
A	1577.5	14.5	16.0	11.3	8.4
B	1573.8	46.5	21.7		
C	1570.5	77.4	4.85		
D	1582.3	32.8	9.57		
E	1576.5	12.8	23.8	12.2	8.6

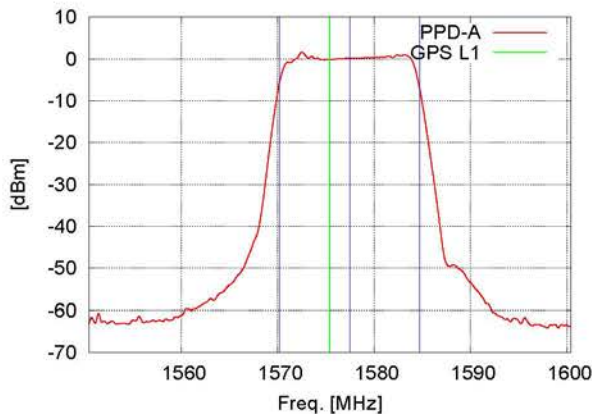


図4: 周波数特性（スペクトラム）例

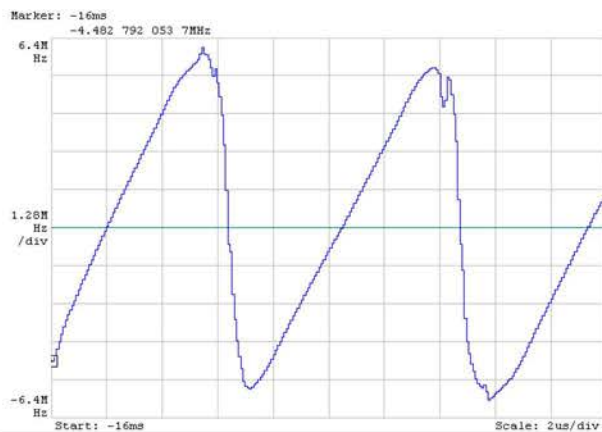


図5: 周波数特性（周波数の時間変移）例

4.2 GBAS 基準局用 GPS 受信機への影響

GPS 信号の受信に対し PPD 送信電波が与える影響を調査するため、電波無響室内において信号受信評価実験を行った。図6に測定の様子を示す。図7の様に、GPSシミュレータとGBAS基準局用のGPS受信機（CMA-4048、1周波受

信機）と PPD を用いて実施した。可変アッテネータを PPD 受信側に挿入することで、PPD 信号強度を変化できるようにし、仮想的に遠方からの送信を模擬している。この時、試行毎に同一条件となるようするため、GPSシミュレータの信号は強度は衛星の仰角と連動させず衛星毎に一定となるようにした。

挿入したアッテネータの減衰量と PPD 送信点～GPS 受信アンテナ間の仮想距離の関係は、自由空間伝搬損失の式

$$L = 32.44 + 20 \log(F) + 20 \log(d)$$

L : 損失 [dB]

F : 周波数 [MHz]

d : 距離 [km]

を用い、測定時の PPD 送信点～GPS 受信アンテナ間の 0.9m を考慮すると、図8に示す関係と

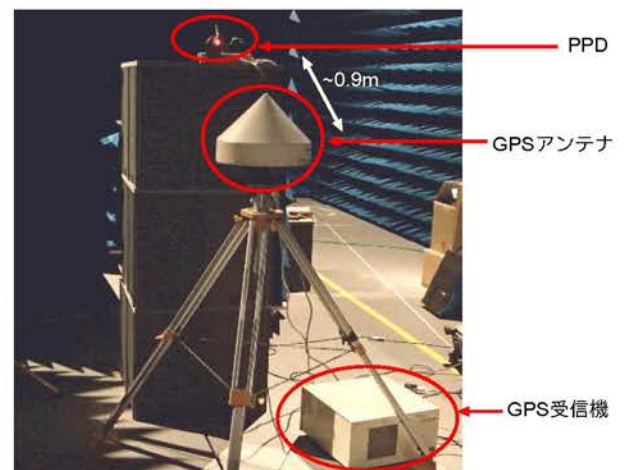


図6: 測定の様子

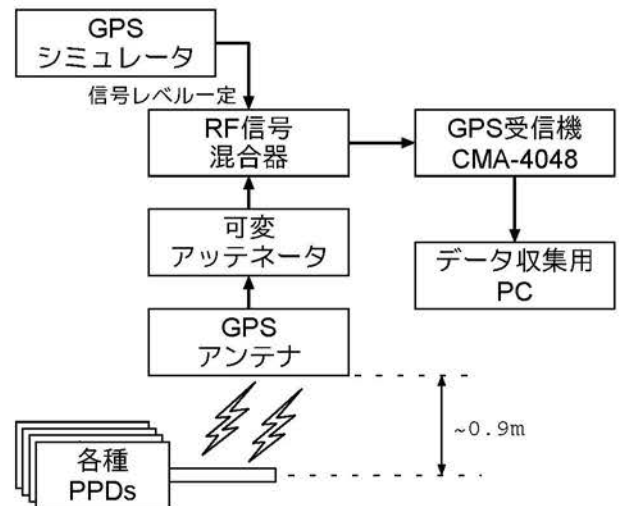


図7: 測定時の機器構成

なる。このような構成で、PPDの機種毎にアッテネータ減衰量を変化させ、受信機出力を記録した。

図9に測定したC/N0（GPS衛星の信号強度）の一例とアッテネータ減衰量の関係を示す。図中の橙線がPPD無しの状態を示し、他の線はPPDの機種を表し、図中のC~Eは表1のモデルに対応する。この中で最も影響が大きかったものはモデルEのPPDで、減衰量が50dBではPPD無しの状態と変わらないが、減衰量を45dBとしたところでC/N0の低下が見られ、25dB以下で捕捉不能となった。

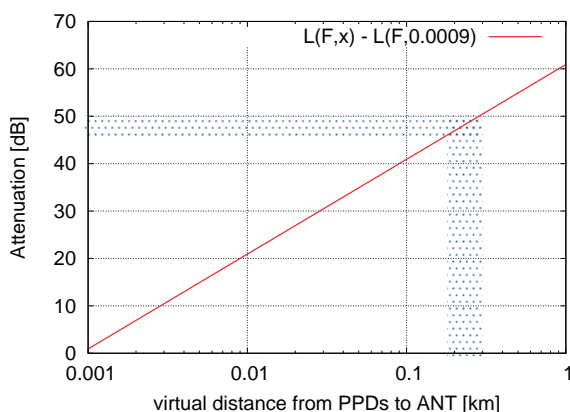


図8: ATT 挿入量と PPD 送信点 ~GPS 受信アンテナ間仮想距離の関係

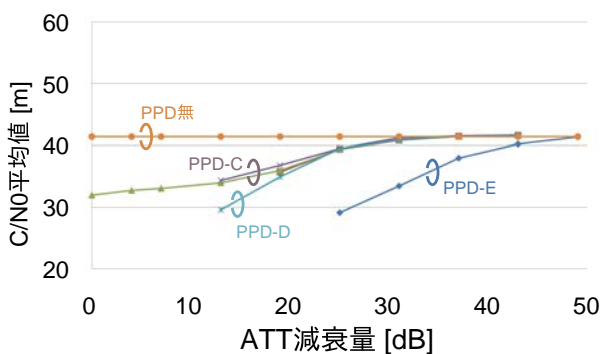


図9: ATT 量と C/N0

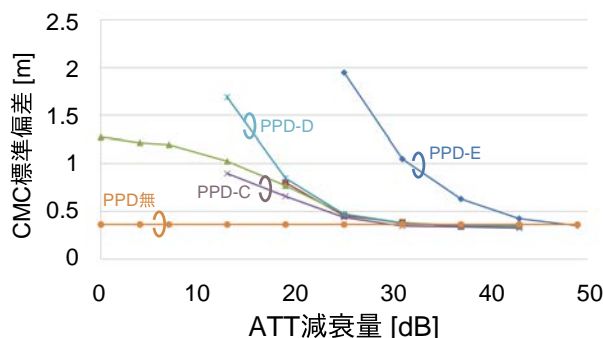


図10: ATT 量と擬似距離誤差

次に、測距への影響を考える。ここでは擬似距離誤差の指標としてコード・マイナス・キャリア（CMC）と呼ばれるC/Aコード測距値と搬送波位相による測距値の差の標準偏差を用いた。図10にCMCの標準偏差の一例とアッテネータ減衰量の関係を示す。C/N0と同様にモデルEのPPDの影響が最も大きく減衰量が45dBのところでは既に影響が表れている。他のPPDでもC/N0の低下と擬似距離誤差の増大は対応していることが分かる。

この45dB~50dBのアッテネータ減衰量を図8よりPPD送信点~GPS受信アンテナ間の距離に換算するとおよそ200m~300mに相当することが分かる。この結果から、基準局の設置環境として、PPDを搭載した車両の通行が危惧される幹線道路など干渉源と成り得る地点から200m~300m程度の距離を保てば良いということになる。但し、入手できた限られたPPDでの測定結果であること、送受信のアンテナパターンを考慮していないことから、これは一つの目安である。

5. おわりに

幾つかのPPDを入手し、その周波数特性とGBAS基準局に用いているGPS受信機への影響について電波無響室内で測定を行った。入手できた限られた機種で、特定の条件下であるが、GBAS基準局と干渉源となるPPDとの離隔距離の一つの目安を得ることができた。

今後、GBAS装置に組み込まれた各種モニタの干渉波に対する挙動など、PPDがGBASに対し与える影響評価や実環境での干渉源調査などを行う予定であり、これらの成果を、GBAS地上装置の設置基準の策定に寄与していきたい。

参考文献

- [1] 福島 莊之介, 工藤 正博, 齊藤 真二, 吉原 貴之, 齋藤 享, 藤田 征吾, 藤井 直樹, “衛星航法による精密進入着陸システムの開発と安全性の保証,” 信学論B, Vol.J94-B, Jul. 2011.
- [2] Federal Aviation Administration, “GPS Privacy Jammers and RFI at Newark,” Navigation Team AJP-652 Results, Mar. 2011.
- [3] Federal Aviation Administration, “Ground Based Augmentation System(GBAS) Siting Update,” IGWG 14th, Jun. 2013.