

2. GBAS の運用評価のための指標を明らかにし、性能評価ツールを開発し、評価手法を確立する
3. GBAS の運用性予測手法を検討し、予測ツールを開発し、運用性予測を可能とするとしている。

ここでは 2. に関連した地上型衛星航法補強システムの可搬型運用性能評価装置について述べる。

2 GBAS (地上型衛星航法補強システム)

GBAS は図に示すように、基準局・モニタ・補強情報生成処理部・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。GPS (Global Positioning System) 等の GNSS (Global Navigation Satellite System) を用いた航空機の航法システムの一つであり、GBAS を用いた着陸システムは GLS (GBAS Landing System) と呼ばれる。図 3 に電子航法研究所岩沼分室および隣接する仙台空港内に設置した実験用 GBAS 地上装置の外観および基準局配置を示す。

2.1 地上サブシステム

GBAS の基準局は 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受信信号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、複数の基準局で取得した各衛星の擬似距離測定値を搬送波位相測定値により平滑化 (キャリアスムージング) し

DGPS (Differential GPS) 測位に利用する擬似距離補正情報を生成する。キャリアスムージングとは、C/A コードによる擬似距離測定値よりノイズが少ない搬送波位相の変化分を擬似距離の変化分とみなし、擬似距離測定値の平滑化を行う方法で、高精度の擬似距離を得るための処理手法である。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。

補強情報生成処理部で生成された擬似距離補正情報、進入着陸経路 (FAS; Final Approach Segment) 情報などの補強情報は、VDB 送信部において変調され、航空機に放送される。GBAS では、ILS (Instrument Landing System) のローカライザや VOR (VHF Omnidirectional Range) と同じ航空無線航行バンドの 108MHz ~118MHz 帯を用い、変調方式は D8PSK、隣接するチャンネルとの周波数間隔は 25kHz となっている。また、TDMA (Time Division Multiple Access) を採用し、1 フレーム (8 スロット) を 500ms で更新する信号構造となっている。

このように、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 つの周波数で複数の進入経路を同時に提供可能である。そこで、周波数と経路毎に割り当てられた番号 (RPDS; Reference Path Data Selector) から計算されるチャンネル番号 (20001~39999) を用いて、機上サブシステムでは進入経路を選択する。

2.2 機上サブシステム

機上サブシステムは、図 4 のような VHF 帯の受信機と GPS 受信機が一体化したマルチ・モード・レシーバ (MMR) として航空機に装備される。MMR は、ILS や GLS 等の複数の着陸モードに対応可能となっており、GLS モードでは、図 5 に示すような流れで VDB 受信部、GPS 受信部、GLS 処理部で処理を行う。

具体的には、VDB 受信部で受信した補強情報と GPS 受信部で受信した GPS 信号から DGPS 測位により航空機の位置を求め、同時に補強情報に含まれる信頼性に関する情報から、測位結果が有効であるか否かを判断する。この判断は、補強情報と使用衛星からプロテクションレベル

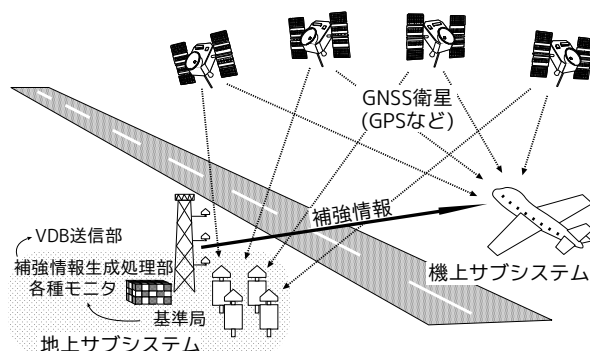


図2: GBAS の構成



図3: 仙台空港 実験用 GBAS 地上装置

(PL; Protection Level) およびアラートリミット (AL; Alert Limit) を計算し比較することで行なわれる。PLはアプローチ1回あたり 5×10^{-8} の確率で測位誤差がPLを超えるような値 (CAT-Iの場合) とされ、機上サブシステムにおいて誤差の最悪値を見積もる値といえる。ALは警報を発生するしきい値であり、滑走路端からの距離により決定する値である。PLとALの比較の結果、測位結果が有効である (PLがALを越えない) 場合は、選択された進入着陸経路からの偏位を算出、計器や他の航法装置に対し出力し、無効である場合は、フラグ等で警報を発生する。

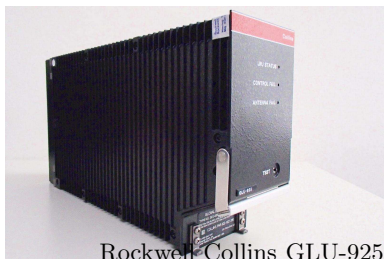


図4: マルチ・モード・レシーバ

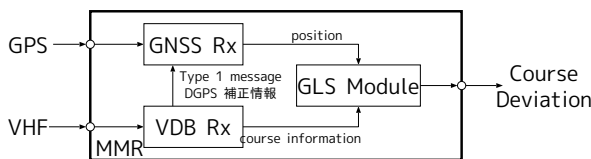


図5: マルチ・モード・レシーバでの処理の流れ

3 可搬型性能評価装置の開発

3.1 装置概要

運用性能評価装置は、設置された GBAS が設計・製造時に想定していた性能が保たれているか確認し評価する装置である。評価内容として、

- 測位精度評価
- 誤差と PL の比較による完全性評価
- PL と AL の比較による有効性評価
- 経路情報評価
- 受信信号環境評価
- 故障不具合時の原因探求

などを想定し装置の設計を行い、図6に示す構成とした。それぞれの機能を表1に示す。

機上サブシステムの動作や環境を模擬し処理を行うため、基本的には図5に示したMMRと同様のGPS受信部、VDB受信部、GLS処理部(PC)で構成し、VDBの受信信号強度取得のための機器として、スペクトラムアナライザを追加し、TDMAのスロットと同期させるため2PPS信号出力の機能を持った同期用GPS受信機も追加した。これらの機器を可搬型の19インチラックに搭載した評価装置の外観を図7に示す。このように可搬型にすることで、GPS受

表1: 構成機器と用途・機能

機器	用途
VDB Rx	VDB 受信用
GPS Rx #1	GPS データ取得 航空機搭載型 GPS 受信機
GPS Rx #2	スペア同期用 2PPS 出力
Spectrum Analyzer	信号強度取得
PC	装置制御・データ処理

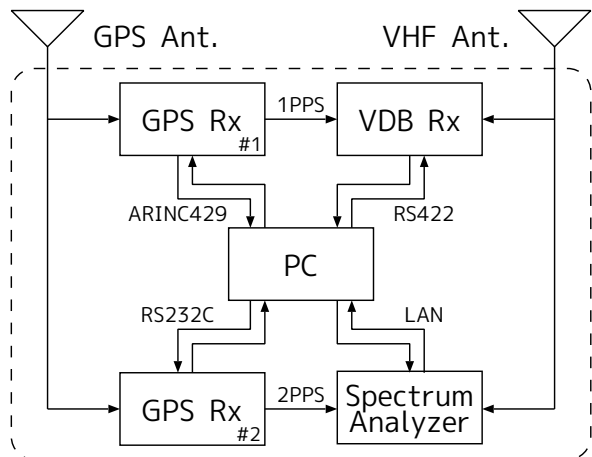
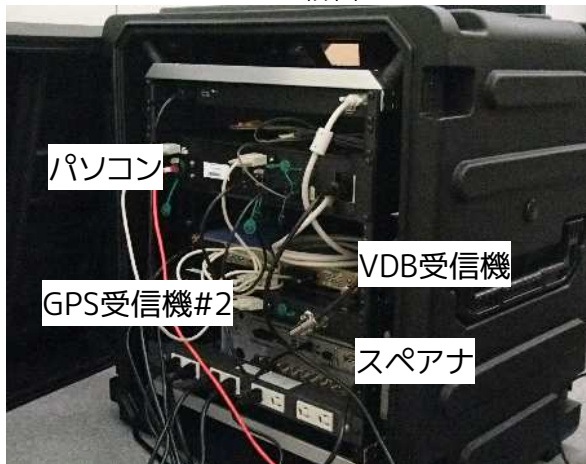


図6: 装置ブロック図



ラック前面



ラック背面

図7: 可搬型評価装置外観

信アンテナ, VHF 受信アンテナおよび電源を接続するだけで, 固定評価点だけでなく, 車両等に搭載することで移動しながらの評価や任意の場所での評価が可能となり, 設置空港における事前評価に対応可能である。また, 地上サブシステムからの情報は, VDB で放送された情報を受信して取得し評価に用いるため, 地上装置のアルゴリズムや製造業者に依存しない独立した評価を行うことができると考えている。

3.2 評価装置ソフトウェアの開発

評価装置ソフトウェアは, 高カテゴリ GBAS (GAST-D) の実験用機上装置のソフトウェアをベースとして開発し, 基本的には, 機上サブシステムと同様の処理を行い, 航空機側を想定した性能評価を行う。通常の機上サブシステムの処理に加え, 航空機の姿勢変化を想定し衛星数を減らした状態での測位演算, PL を計算をする機能, 仮想 FAS からのコース偏位を計算する機能, 受信スロットを限定した VDB 信号強度計測機能などを有している。

このソフトウェアの特長として,

- CAT-I (GAST-C) / 高カテゴリ (GAST-D) の両方に対応
- リアルタイム処理 / 後処理による評価
- 固定点 / 移動体での評価
- 衛星選択機能
- 仮想 FAS からのコース偏位算出
- 様々なデータの表示機能
 - － 捕捉衛星 / 使用衛星ステータス
 - － 測位結果, 航跡表示
 - － 受信した経路 FAS / 仮想 FAS からのコース偏位
 - － 測位誤差, PL, AL
 - － スタンフォードチャート
 - － VDB 信号ステータス
 - － VDB 信号強度
 - － VDB スペクトラム
 - － 各種データの時系列表示

等が挙げられる。

固定点における PL, AL, 測位誤差の評価では, 時系列の値の変化の可視化に加え, スタンフォードチャートと呼ばれる誤差と PL の関係と頻度が直観的に分かる図を用いることとし, これらをリアルタイムで画面に表示するとともにデータ記録を行う。さらに, 『PL > AL』となった場合や 『測位誤差 > PL』となった場合の警報表示を行うとともに, 発生時刻を記録し, その原因探求や再解析に利用できるようになっている。

車両等に搭載して実施する移動評価では, 受信信号強度, コース偏位等から VDB の覆域確認, 補強メッセージで放送されるコース情報の確認等を行なえるように, これらの値をリアルタイムで表示し, データ記録を行う機能を有し

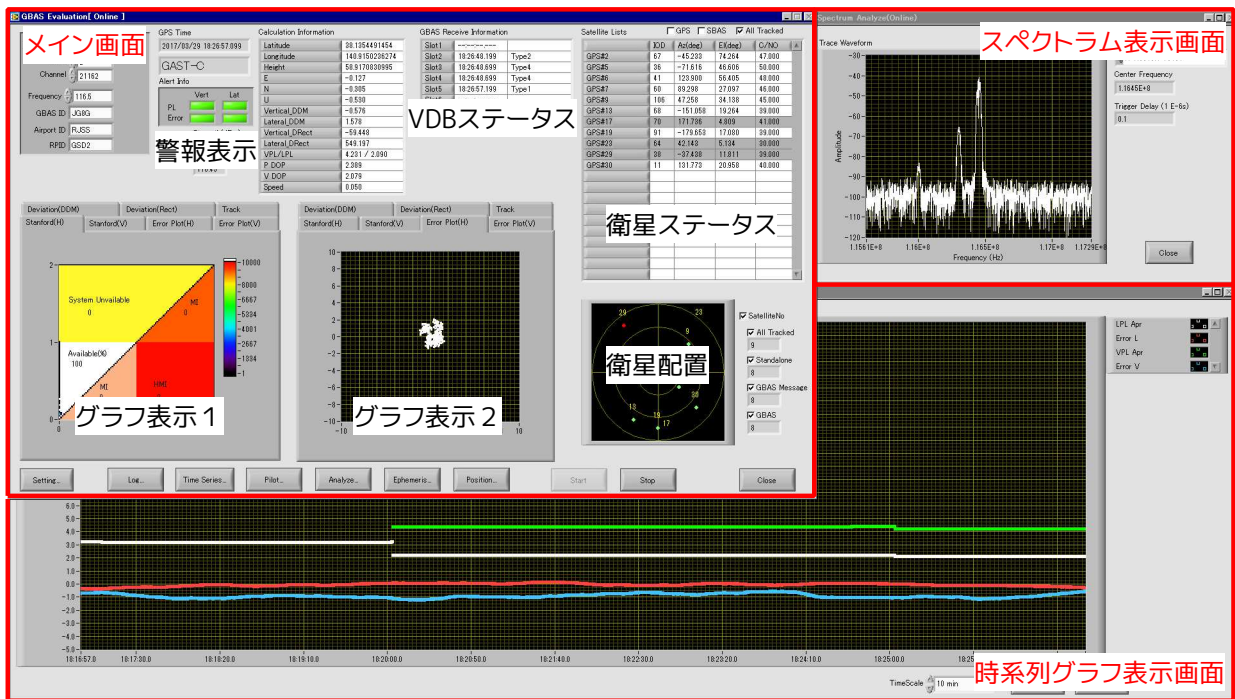


図8: 評価装置ソフトウェア画面の例

ている。

図8に評価装置ソフトウェア画面の例を示す。図中、左上がメイン画面、右上がスペクトラム表示画面、下部が時系列グラフ表示画面（図ではPLと測位誤差）となっている。また、メイン画面中のグラフ表示エリアにスタンフォードチャートと測位誤差プロットが表示されているが、他に、コース偏位や移動航跡が選択可能となっている。さらに、時系列表示の表示項目、時間スケールも変更可能である。

3.3 評価例

2017年3月に岩沼分室において、仙台空港実

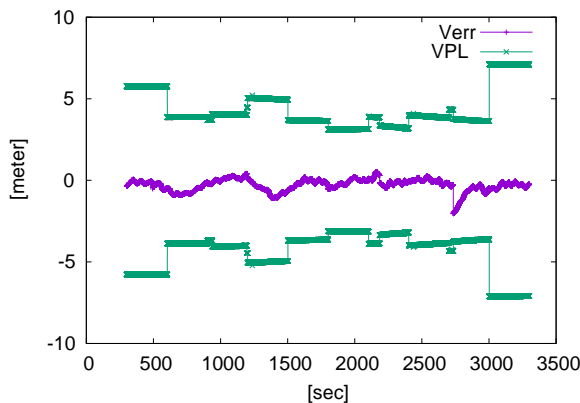


図9: VPL, 垂直方向測位誤差の時間変化の例

験用 GBAS 地上装置を対象として取得した約1時間分のデータにより評価を試みた。この時の垂直方向のPLとALおよび測位誤差の時間変化の例を図9に示す。また、垂直方向のスタンフォードチャートの例を図10に、横方向および垂直方向の測位誤差の統計量について表2に示す。

短期データでの結果ではあるが、この期間において『PL>AL』となりGBASが使用不可能となる状況や『測位誤差>PL』となり信頼性が満足できなくなる状況はみられなかった。測位

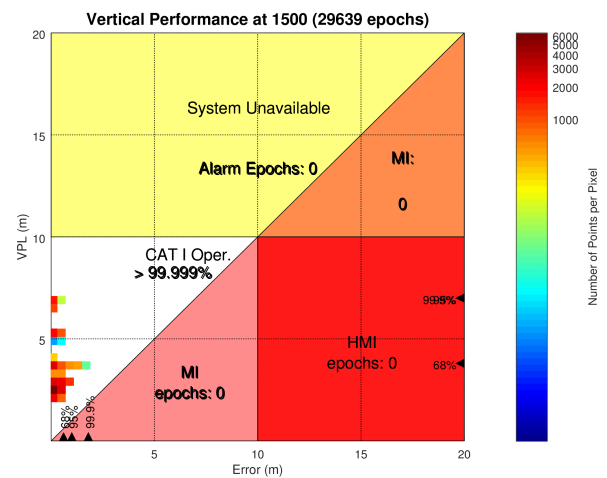


図10: スタンフォードチャートの例

表2: 測位誤差

		横方向	垂直方向
平均	[m]	0.027	-0.293
標準偏差	[m]	0.226	0.378
95%値	[m]	0.480	1.050
データ数		29639	29639

誤差については、関西国際空港プロトタイプ装置での飛行実験での評価結果では 1.26m [4] となっており、現在設置している仙台空港実験用 GBAS 地上装置が同等の性能を有していることが分かった。

但し、今回の評価では、開発中の評価装置ソフトウェアが、表1および図6に示している航空機搭載型 GPS 受信機 (GPS Rx #1) に未対応であるため、2PPS 出力用 GPS 受信機 (GPS Rx #2) の出力を用い GBAS 処理を行っている。

3.4 機能追加

航空機での GPS 受信環境をより正確に模擬するため、航空機搭載型の GPS 受信機を入手したので、評価装置ソフトウェアに対し、

- 航空機搭載型 GPS 受信機 (GPS Rx #1) への対応
- に加え、GBAS が提供する複数の進入経路に対し同時に評価を行えるよう
- 複数の FAS、任意の評価点 (仮想評価点) における PL の計算、AL との比較
- 等の機能追加を実施する予定である。

4 おわりに

本稿では、GBAS 地上装置の性能評価の実施において、地上装置と独立して動作し、GBAS 設置空港への輸送、展開が容易な可搬型性能評価装置について述べた。

本装置は、

- VDB 受信機
- 航空機搭載型 GPS 受信機
- スペクトラムアナライザ
- 信号同期用 GPS 受信機
- 制御・処理用 PC

で構成され、GBAS 機上サブシステムと同様の処理を行なうとともに VDB の受信信号強度を取得することが可能となっている。

開発中の評価装置ソフトウェアでは、評価指標として、

- プロテクションレベル (PL)
- アラートリミット (AL)
- 測位誤差

を採用し、また、これらの値を計算する際のパラメータとして

- 航空機の姿勢変化を想定した仰角マスク等による使用衛星の選択
- 複数の FAS に対応するための仮想評価点の位置

を可変とすることで、機上サブシステムの動作、環境を模擬し、航空機に近い条件での評価を目指している。

今後、ソフトウェアの機能追加を実施し、航空機搭載型 GPS 受信機への対応が完了した後、仙台空港の実験用 GBAS 地上装置と接続し、評価装置の動作検証を行う計画である。

参考文献

- [1] 齊藤他, “地上補強型衛星航法システムの飛行実験による性能評価,” 信学論 B, Vol. J87-B, No.4, pp.555-562, Apr. 2004.
- [2] 福島他, “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, No.7, pp.802-811, Jul. 2011.
- [3] 福島他, “GBAS (地上型衛星航法補強システム) の安全性要求に関する設計と検証,” 電子航法研究所研究報告, No.132, pp.1-15, Jan. 2015.
- [4] 齊藤他, “マルチ・モード・レシーバを用いた GBAS プロトタイプの基本性能評価,” 信学技報, Vol.111, No.407, SANE2011-144, pp.15-20, Jan. 2012.
- [5] 吉原他, “カテゴリ III GBAS 地上装置のプロトタイプ開発,” 第 14 回電子航法研究所研究発表会講演概要, pp.93-98, Jun. 2014.
- [6] 齋藤他, “GAST-D 機上実験装置の開発と評価,” 第 14 回電子航法研究所研究発表会講演概要, pp.99-104, Jun. 2014.
- [7] 国土交通省航空局, “第 6 回 将来の航空交通システムに関する推進協議会 資料 3 : CARATS ロードマップ (全体), ” http://www.mlit.go.jp/koku/koku_tk13_000009.html