

## 8. B787によるGBASプロトタイプ飛行実験

航法システム領域 伊藤 正宏\*, 福島 荘之介, 山 康博, ※齊藤 真二, 藤田 征吾, 長井 丈宣\*\*, 赤木 宣道\*\*\*  
 (\*:現 文部科学省研究開発局, \*\*:全日本空輸株式会社, \*\*\*:日本航空株式会社)

### 1. はじめに

電子航法研究所は、現在の ILS(計器着陸装置)に代わる GPS 衛星を用いた次世代着陸誘導システム GBAS (Ground-Based Augmentation System: 地上型衛星航法補強システム)の研究を進めており、国土交通省と連携して国際標準策定活動等に参画してきた。

GBASは図1に示す装置で構成され、1式の地上装置で空港の全滑走路の進入経路に対応できること、将来的には自動着陸に対応する精密進入を実現する能力や、曲線進入など柔軟な飛行経路の設定により、新しい運航方式を実現する能力を持っており、運航効率の改善や騒音軽減による地球環境保全への貢献が期待される等のメリットがあり、世界的にも研究が進められている。

また、本邦においても、航空局が中心となり航空関連産学官連携のもと進めている将来の航空交通のロードマップである CARATS の中で、将来の衛星航法を支える技術として位置付けられている。

本稿では、関西国際空港における GBAS プロトタイプの開発及び飛行実験の開始、並びに B787 を用いた GBAS プロトタイプ飛行実験による相互運用性の評価について報告する。

### 2. GBAS プロトタイプの開発及び飛行実験の開始について

当研究所では、日本が位置する低磁気緯度特有の電離圏擾乱現象の脅威を考慮した安全性解析技術とリスク管理技術により CAT-I 精密進入を可能と

する GBAS プロトタイプの開発を行い、平成 22 年 11 月までに、関西国際空港に GBAS プロトタイプを設置した。

GBAS プロトタイプは、主に図2に示す基準局機器、データ処理機器、VDB(VHF Data Broadcast)送信機器等により構成される。

GBAS プロトタイプでは、低磁気緯度の環境においても CAT-I の能力を達成するために、図3に示す電離圏監視モニタ IFM (Ionosphere Field Monitor)を基準局から離れた位置に設置し、電離圏擾乱現象が原因で発生するエラーを緩和する処理を行っている。



(a) 基準局機器



(b) データ処理機器

(c) VDB 送信機器

図 2: GBAS プロトタイプ主要機器

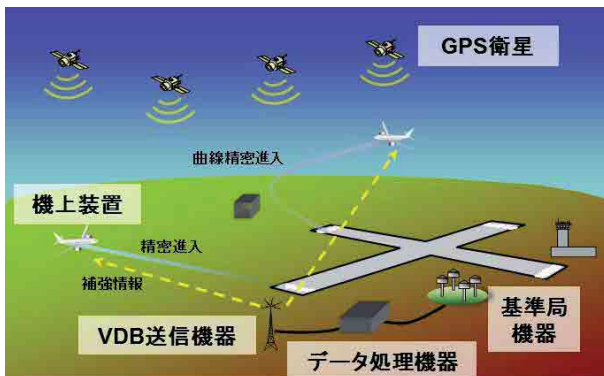


図 1: GBAS の装置構成



(a) IFM



(b) IFM アンテナ

図 3: 電離圏監視モニタ

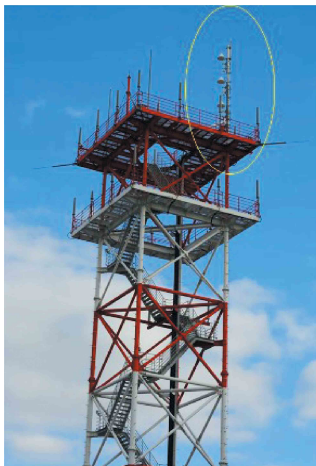
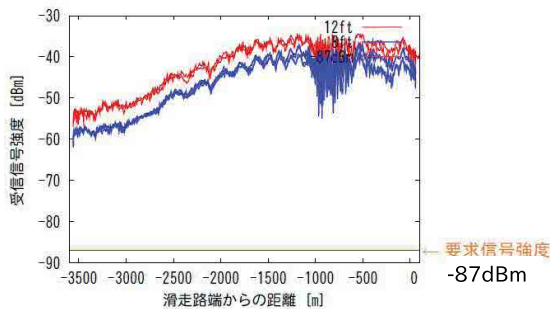


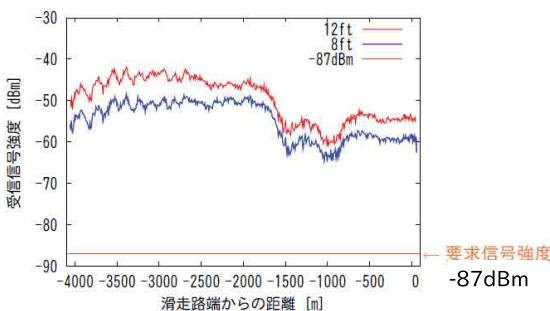
図 4: VDB 送信アンテナ

また、関西国際空港は 2 本の滑走路間に高層のターミナルビルが建つが、図 4 に示すように、鉄塔の上、高さ 39m の位置に GBAS プロトタイプ の VDB 送信アンテナを設置することにより、関西国際空港における全ての進入経路と滑走路面全域をカバーしている。

当研究所は GBAS プロトタイプについて、安全性設計を保証するためのデータ解析等を行う一方、



(a) A 滑走路上で受信信号強度



(b) B 滑走路上で受信信号強度

図 5: 滑走路上で受信信号強度

2011 年 1 月より、地上試験及び実験用小型飛行機を用いての滑走路進入方向を一定高度で飛行するレベル飛行や、一定の半径で周回して飛行するオービット飛行、並びにアプローチによる飛行等の飛行実験を実施し、VDB の覆域の計測を行ってきた。

地上試験については、実験用 VDB 受信機並びに Rockwell Collins 社製の MMR (Multi-Mode Receiver), GLU 925 を車両に搭載し、空港面の VDB の覆域を測定した。ICAO 国際標準 (SARPs: Standards and Recommended Practices) は、GBAS による自動着陸の条件として VDB の覆域下限を滑走路 12ft と定めることが検討されている。図 5 に測定した滑走路上で VDB 信号の受信強度を示す。実験結果は、12ft より条件の厳しい 8ft においても、要件に合致していることを示した。

地上試験の後、図 6 に示す当研究所の実験用小型航空機 Beechcraft B99 Airliner に実験用 VDB 受信機及び MMR を搭載して飛行実験を実施した。飛行試験の内容としては、高度 3000ft, 4000ft, 5000ft での滑走路進入方向に沿ってのレベル飛行並びに半径 20NM を一定高度 5000ft 及



(a) 実験用 GBAS 機上装置



(b) 実験用航空機 Beechcraft B99 Airliner

図 6: 実験用航空機と実験用機材

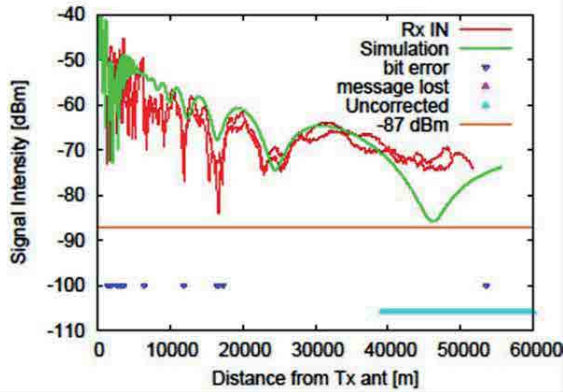
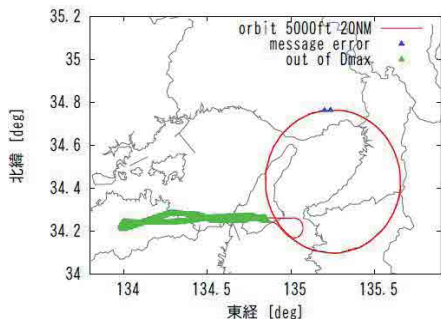


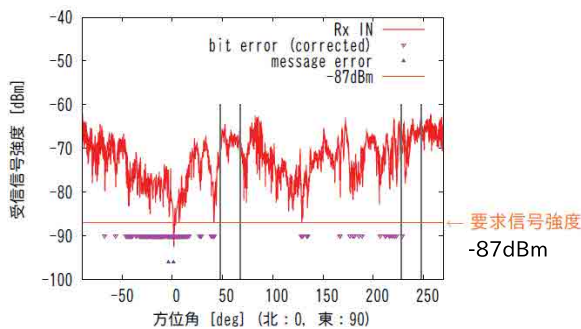
図 7: 受信信号強度 (高度 5000ft レベル飛行)

び 10000ft で周回するオービット飛行を実施した。レベル飛行では、例えば図 7 の高度 5000ft のレベル飛行に示されるように、SARPs の要件を満足した結果が得られた。

オービット飛行では、図 8 に示されるように、0 度方向に VDB 送信アンテナに隣接するレーダー鉄塔の影響と考えられる受信信号強度の落ち込みと 2 点のメッセージエラーが確認された。しかし、滑走路進入方向(58 度, 238 度)においては、受信信号強度に関して SARPs の要件を満足しており、メッセージエラーもないため、アプローチ方位に支障はない。



(a) オービット飛行航跡とメッセージ受信状況



(b) 送信アンテナからの方位と受信信号強度 (縦線(灰)の範囲が滑走路進入方向にあたる)

図 8: オービット飛行 (高度 5000ft, 半径 20NM)

当研究所の実験用航空機は、2011 年 3 月 11 日の大地震及び津波により被災した。そのため、ILS の進入経路に沿ったアプローチによる飛行実験は、2011 年 6 月に JAXA (宇宙航空研究開発機構) の協力を得て、JAXA の実験用小型航空機 Do228 (ドルニエ) により共同で実施し、VDB からデータ伝送される GBAS メッセージを確認した。アプローチ飛行は ILS 24R の進入コースに沿って実施した。結果は、誤り訂正可能なビットエラーは発生するもののメッセージエラー (GBAS メッセージ取得の中断) は発生しないことが確認され、次のステップである旅客機を用いての飛行実験に進むことを判断する上で、必要な結果が得られた。

### 3. B787 を用いた GBAS プロトタイプ飛行実験による相互運用性の評価について

GBAS 機上及び地上システムは国際民間航空機関 (ICAO) の国際標準に基づいて製造されている。しかし、電波の指向性等から進入経路を形成する現在の計器着陸装置 (ILS) とは異なり、主要機能がソフトウェアで実現されるため、実用化のためにはシステム全体として接続して機能するか相互運用性の十分な検証を行う必要がある。そのため、実験用小型機のみならず、旅客機においても GBAS システム



(a) PFD



(b) CDU

提供: 全日本空輸株式会社

図 9: B787 飛行シミュレータに關空 GBAS プロトタイプに関する環境を模擬した画面

全体の相互運用性を確認し、GBASが利用可能であることを実証するため、実験用小型飛行機による飛行実験の後、中型旅客機B787を用いた飛行実験の実施が、本邦航空会社の協力を得て企画された。B787は、GBASに対応したGLS(GBAS Landing System)機上装置を標準装備している。当研究所は、B787を用いたGBASプロトタイプの実験を効率的に実施するため、あらかじめ、全日本空輸株式会社の協力を得てB787の飛行シミュレータを用いて、関空GBASによる飛行を模擬し、関空GBASプロトタイプから送信する最終進入経路データ(FAS: Final Approach Segment)の妥当性を確認した。具体的には、図9に示すように関空GLSの進入パスに沿って、正確に飛行していることをコックピットからの視界や操縦席の前面パネルにあるプライマリ・フライト・ディスプレイ(以下、PFD: Primary Flight Display)及びコントロール・ディスプレイ・ユニット(CDU: Control Display Unit)の画面で進入コースを確認することにより、データ伝送されるGBASメッセージ及びナビゲーション・データベースの妥当性を確認した。

妥当性の確認後のB787実機による飛行試験は、ILSのコースに沿って10数回程度の飛行を計画し



B787の関空24Lへのアプローチ



関空着陸後のB787

図10: SROV時のB787

GBASプロトタイプから送信されるメッセージの受信確認によるデータ送信性能の評価、受信した位置データの飛行経路からの偏位の評価、GLSの操縦性とILSの操縦性のパイロットによる比較評価を実施することとした。

2011年7月6日、B787のローンチカスタマーである全日本空輸株式会社及びボーイング社が実施するB787の国内検証プログラム(SROV: Service Ready Operational Validation)の一環で、B787が関西国際空港にはじめて飛来した際、全日本空輸株式会社、ボーイング社、並びに関西国際空港株式会社等の協力のもと、GBASプロトタイプの評価を、旅客機を使ってはじめて実施した。本評価は、装置が実験用であること、定期運送事業者の旅客機として初めての試みということもあり、今回については、VMCを確保した状況で飛行を実施した。パイロットは、進入中、高度6000ft~7000ftに達した時点で、計器飛行方式(IFR: Instrument Flight Rules)キャンセルのリクエストを行い、有視界飛行方式(VFR: Visual Flight Rule)に切り替えて、北側から陸に近い方のA滑走路(24L)へ進入した(図10)。飛行実験においては、GBASプロトタイプから送信されたGBASメッセージを航空機側で受信し、操縦室内のPFD上に、GLSに関する表示がされることを確認することができた。

具体的には、図11に示すように、初めにPFD画面左上においてA滑走路24LへのGBASによる進入パスを意味する名称GKNが表示され、GBASメッセージを正常に受信していることが確認された。次にPFD画面右中央、下中央にマゼンタ・ダイヤモンドのコース・デビエーション・ポイントが表示され、



提供: 全日本空輸株式会社

図11: B787実機の最終進入時のPFD画面

赤丸: 「GKN」「GLS」の表示  
黄矢: コース・デビエーション・ポイント

ILSと同様の進入パスからの水平/垂直方向の偏位が示された。PFD画面のGKNの表示の下にGBASの水平及び垂直ガイダンスによる進入を意味する“GLS”モードが表示されているが、これにより水平方向はもとより垂直方向に関して機体の降下パスを進入パスに整合させることができた。

B787を操縦したパイロットからは、「GLSのパスはILSと同様で違和感なく、非常に安定しており、進入角指示灯(PAPI)とも整合していた。」との評価を得ている。

全日本空輸株式会社がB787を正式に受領した後、2011年10月12日から10月23日までの慣熟飛行期間において、全日本空輸株式会社及び関西国際空港株式会社との連携協力により、航空会社が受領後運航に供するB787の機体としては世界初となるが、GBASの性能検証を引き続き実施した。

10月12日から10月23日までの飛行実験は、



(a) GBAS 基準局機器と着陸前の B787



(b) GBAS 擬似ユーザ装置と着陸前の B787

図 12: 慣熟飛行時の B787

「Visual by GLS 24 (06) R (L)」のリクエストによりクリアランスを得て、管制側は視程 5km、雲高は最低誘導高度+500ft、パイロット側は滑走路が見えることを条件に、ビジュアルアプローチにより実施した(図 12)。

慣熟飛行期間中における飛行実験においては、A滑走路南側からの06Rの進入も試みた。図 13のPFD上に南からの進入コースのGKDのIDが表示され、マゼンタ・ダイヤモンドのコース・デビエーション・ポインター水平・垂直とも整合しているように、GLS機上装置がGBASのメッセージを受信して正しく作動していることが実証された。

また、当研究所と全日本空輸株式会社により、GLSのアプローチ評価シートを作成した、全日本空輸のパイロットによりILSと比較したGLSの操縦性について評価を実施した。

トータルで11回飛行実験を実施し、そのうち10回は水平方向を整合させるLOC(Localizer)コース及び垂直方向を整合させるG/S(Glide Slope)コースの両方ともスムーズに会合した。また、残りの1回も会合上の問題ではなく表示上の問題であった。B滑走路北側からの進入となる24Rにおいて、Radio Altitude(RA)100ft以下で、PAPIが赤3つとなり、



提供: 全日本空輸株式会社

図 13: 慣熟飛行期間における B787 実機の最終進入時の PFD 及び ND (Navigation Display)

赤丸: 「GKD」「GLS」の表示  
黄矢: コース・デビエーション・ポインタ

表 1: GLS の操縦性の評価

飛行方式	実施回数 (SROV含む)	パイロットの操縦性に関する評価 (括弧はコメントの数)
RWY 24L	4	LOC及びG/Sへスムーズに会合した。(4) G/SはPAPIと一致していた。(1)
RWY 24R	2	LOC及びG/Sへスムーズに会合した。(2) RA100ft以下で、PAPIが赤3つになった。しかし、大きな違和感はなかった。(2)
Y RWY 06R	5	LOC及びG/Sへスムーズに会合した。(4)
合計	11	

機体の降下パスが進入パスより少し低かったが、パイロットは特に違和感はないと評価している。全体的にB787のGLSによるアプローチは、進入パスに安定して整合させることに成功したと言える。

さらに、日本航空株式会社の協力のもと、平成24年4月上旬に行われたB787のブルービングフライトの機会に、同様の評価実験を実施している。この評価実験の詳細については、発表時に述べる予定である。

#### 4. おわりに

当研究所は、GBASプロトタイプを開発している。平成22年11月、関西国際空港においてGBASプロトタイプを設置し、実験用小型飛行機の飛行実験によりGBASプロトタイプの基本性能を計測した。実験結果について、レベル飛行及びオービット飛行における受信信号強度は概ねICAOの国際標準SARPsの要件を満足し、GBASメッセージの受信状況も良好であることが分かった。また、ILS 24Rに沿ったアプローチ飛行においても、GBASメッセージエラーが発生しないことが確認された。

このことからさらに実験用小型機のみならず、旅客機においてもGBASシステム全体の相互運用性を検証し、GBASが利用可能であることを実証するため、最新鋭の中型旅客機B787を用いて飛行実験を実施した。

2011年7月6日、B787を用いたGBASプロトタイプの飛行試験では、GBASプロトタイプから送信されたGBASメッセージを航空機側で受信し、操縦室内のPFD上に、GLSによる経路からの偏位を表示させ、ILSと同等の動作をすることが、国内で初めて確認できた。

トータル11回実施した飛行実験において、10回はLOC及びG/Sヘスムーズに会合し、パイロットからも「GLSのパスはILSと同様で違和感なく、非常に安定しており、進入角指示灯(PAPI)とも整合していた」等高い評価を得た。全体的にB787のGLSによるアプローチは、進入パスに安定して整合させることに成功したと言える。

このB787によるGBASの飛行検証は、世界的に見ても、米国におけるボーイング社の試験以外に例がないことである。これにより小型実験機のみならず、旅客機においてもGBASプロトタイプの相互運用性を確認することができた。

当研究所としては、GBASプロトタイプに関する今回の一連の実験の成功を機に、将来のGBASの実

用化の可能性も視野に入れ、運用に必要な課題に取り組みつつ、このGBASの研究開発を更に発展させて行きたいと考えている。

#### 謝辞

本研究の実施にあたっては、これまでご支援、ご協力を頂いた国土交通省航空局、宇宙航空研究開発機構、全日本空輸株式会社、日本航空株式会社、関西国際空港株式会社をはじめとする関係機関の方々に感謝を申し上げますとともに、今後も引き続きご支援、ご協力をお願い申し上げます。

#### 参考文献

- [1] 福島 荘之介, 齊藤 真二, 吉原 貴之, 齋藤 享, 藤田 征吾, 工藤 正博, “GBASの大規模空港への設置に関する一検討”, 第11回電子航法研究所研究発表会講演概要, 2011年6月
- [2] 齊藤 真二, 福島 荘之介, 藤田 征吾, 齋藤 享, 吉原 貴之, 工藤 正博, “実験用GBAS機上装置によるVDB受信試験”, 第11回電子航法研究所研究発表会講演概要, 2011年6月
- [3] 福島 荘之介, 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”, 電子情報通信学会誌論文誌 B, Vol. J94-B, No.7, pp.802-811, 2011
- [4] 伊藤 正宏, 福島 荘之介, 山 康博, 齊藤 真二, 藤田 征吾, 樋上 一誠, 森岡 日出男, 長井 丈宣, 袴田 健一, “関西国際空港におけるB787を用いたGBASプロトタイプの飛行実験”, 第49回飛行機シンポジウム講演集, 2011年10月
- [5] 工藤 正博, 福島 荘之介, 齊藤 真二, 吉原 貴之, 齋藤 享, 松永 圭左, 藤田 征吾, 山 康博, 星野尾 一明, 藤井 直樹, “GBASの実験計画について”, 第48回飛行機シンポジウム講演集, 2010年11月
- [6] ICAO, International standards and recommended practices (SARPs), Aeronautical telecommunications, Annex10, Vol. I Amendments83, Nov.2008
- [7] RTCA SC159, GNSS-Based Precision Approach Local Area Augmentation System (LAAS) Signal-in-Space Interface Control Document (ICD), RTCA DO-246D, Dec., 2008.