

1. B787機上取得データによるGLSの評価

航法システム領域 ※齊藤 真二，福島 荘之介，山 康博
 全日本空輸株式会社 長井 丈宣，藤原 直樹
 日本航空株式会社 赤木 宣道，高濱 裕久

1. はじめに

電子航法研究所では、GBAS（Ground-Based Augmentation System；地上型衛星航法補強システム）の研究および開発を行ってきており、これまで、GBASの性能の評価のための実験用GBAS地上装置を仙台空港に設置し、評価実験を実施してきた。この結果、進入着陸への利用に十分な測位精度が得られることが示されている [1]。GBASの実現に向けての次の段階として、より実用装置に近い、高い信頼性を持ったGBASプロトタイプ装置を設計・開発 [2] し、2010年末までに関西国際空港に設置し [3]、長期安定性試験や飛行評価試験等を実施している [4]。GBASは、1式の地上装置で複数の進入経路に対応できるだけでなく、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による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ており、世界的にも研究・開発が進められている。

本稿では、GLS（GBAS Landing System）機上装置を標準搭載するボーイング787型機（B787）を用いて、全日本空輸株式会社（ANA）および日本航空株式会社（JAL）の協力を得て、2011年10月と2012年4月に実施した関西国際空港におけるGBASプロトタイプ飛行評価試験 [5, 6] で取得したGLS飛行データの評価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）

2.1 GBASの概要

GBASは図1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）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

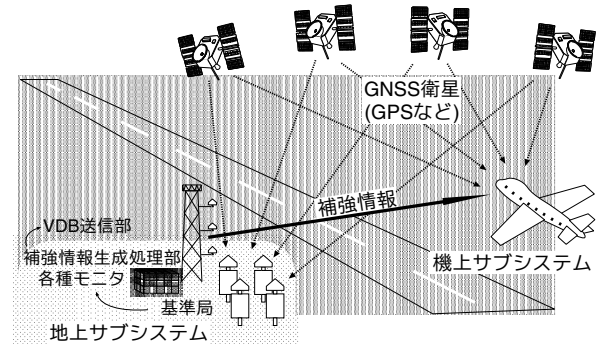


図1: GBASの構成

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ごと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。これらのモニタによる異常値検出などの情報、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が生成される。

VDB送信部では、生成された補強情報を航空機に放送する。GBASで用いる周波数帯はILS（ローカライザ）やVORと同じ航空無線航行バンドの108MHz~118MHz帯で、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、GBASではデジタルデータとして経路情報を放送するため、複数の進入経路を同時に提供でき、1式の地上装置で複数の滑走路への対応が可能となっている。そのため、GBASでは周波数と経路固有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を用いて進入経路が決定される。



Rockwell Collins
GLU-925

図2: マルチ・モード・レシーバ

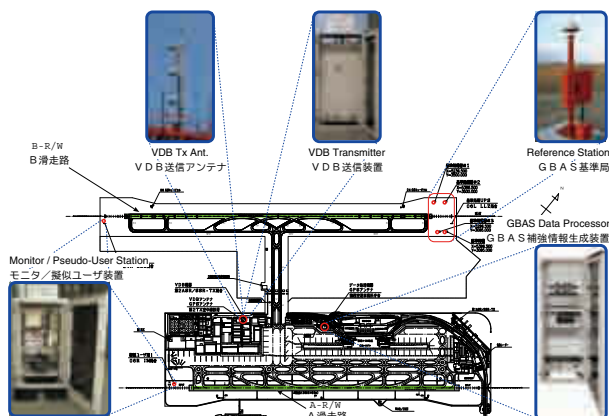


図3: 関西国際空港 GBAS プロトタイプ配置

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る図2のようなマルチ・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、地上施設から放送される補強情報と機上で受信したGPS信号を基に航空機の位置をDGPS測位により求め、同時に補強情報に含まれる信頼性に関する情報から、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、選択した飛行コースからの偏位を算出し出力する。このように、GBASでは受信した情報や測位結果の有効性の判断を機上装置側で行うため、信頼性の高い補強情報の生成が重要となる。

2.2 関西国際空港 GBAS プロトタイプ装置

日本が位置する中低磁気緯度特有の電離圏擾乱現象の脅威を考慮したCAT-IGBASプロトタイプ装置を開発し、2010年末までに関西国際空港に設置した。地上装置の配置を図3に示す。基準局は4式のGPS受信装置で構成され、B滑走路北東側の末端に設置した。アンテナ高は約2mであり各受信点間の距離は100m~400mとなっている。また、基準局と反対側の滑走路端付近に電離層異常検出用のモニタ局を設けている。さらに、2本の滑走路にサービスを提供するため、VDB送信アンテナを地上高約40mの鉄塔上に設置し、全ての進入経路と滑走路面全域をカバーしている。



図4: N787EX, SROV



図5: JA801A, ANA



図6: 擬似ユーザ装置
シェルタとB787



図7: JA822J, JAL



図8: JA825J, JAL

3. ボーイング787型機による飛行評価

3.1 目的

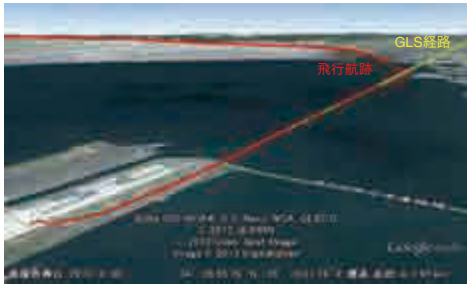
GBASの機上装置及び地上装置は国際標準[7]に基づいて製造されているが、実用化のためにはシステム全体として接続して機能するか相互運用性の検証を行う必要がある。これまで飛行実験に用いていた実験用小型航空機に加え、旅客機においてもGBASが利用可能であることを実証することを目的とし、GLS装置を標準搭載しているB787によるGLS飛行評価を計画した。

3.2 飛行評価の実施

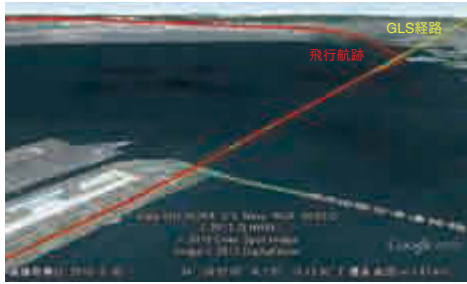
ボーイング社、B787を導入するANAおよびJALの協力を得て、国内検証プログラム(SROV; Service Ready Operational Validation, 2011年7月)および乗員訓練期間中(ANA:2011年10月, JAL:2012年4月)に計20回のGLSによる進入着陸を行った。本評価は、GBASプロトタイプ装置が実験用機材であるということもあり、有視界気象状態(VMC; Visual Meteorological Conditions)を確保した状況で行った。図4~図8に評価に用いた機材を示す。GLSによる進入着陸は表1に示すように関西国際空港の2本の滑

表1: GLS 進入の実施回数

	SROV	ANA	JAL	Total
RWY 24L	1	3	5	9
RWY 24R	0	2	0	2
Y RWY 06L	0	0	3	3
Y RWY 06R	0	5	1	6
Total	1	10	9	20



2011年10月 ANA



2012年4月 JAL

赤：飛行航跡，黄：GLS 経路
図9: GLS アプローチ飛行航跡例

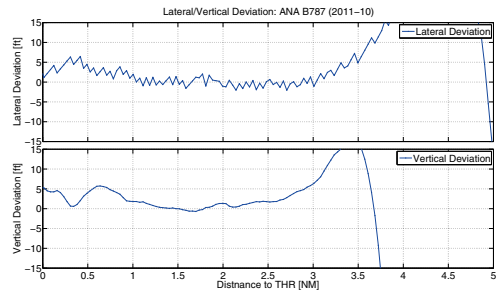
走路の全ての進入方向に対して実施され、GBASプロトタイプ装置で関西国際空港における全進入方式に対応できることが確認された。B787を操縦したパイロットからは、『GLSのパスはILSと同様で違和感なく、非常に安定しており、PAPI（進入角指示灯）とも整合していた』との高い評価を得ている [5]。

3.3 機上取得データ解析

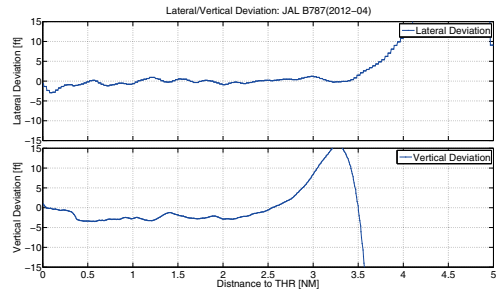
2011年10月および2012年4月に各航空会社のB787を用いて取得したGLS飛行データについて、GLSによる最終進入着陸経路からの偏位量（コース・デビエーション）について評価を行った。コース・デビエーションは、総合システム誤差（TSE）に相当し、航法システム誤差（NSE）と飛行技術誤差（FTE）が含まれており、横方向と垂直方向に分けて考えることができる。各フライト毎に取得した飛行データにおいて、横方向および垂直方向のコース・デビエーション

表2: コース・デビエーションの統計量
(滑走路末端から3NM地点まで)

ANA B787		平均	標準偏差	$2\sigma + \mu $
横方向	[ft]	1.008	2.012	5.302
垂直方向	[ft]	2.116	1.875	5.866
JAL B787		平均	標準偏差	$2\sigma + \mu $
横方向	[ft]	-0.288	0.783	1.794
垂直方向	[ft]	-1.438	2.270	5.978



2011年10月 ANA



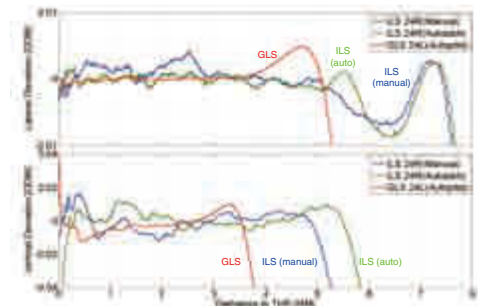
2012年4月 JAL

上：横方向，下：垂直方向
図10: コース・デビエーション

の値が正常に取得できている場合は、その値を使用した。一方、コース・デビエーションの値が正常に取得できていない場合は、飛行データ中の位置情報（緯度、経度、高度）からDO-253C MOPS[8]に記載されている計算式により、横方向および垂直方向のコース・デビエーションを算出した。

ここでは、2011年10月と2012年4月に実施したA滑走路北側からのGLS進入（RWY 24L）について、各1フライトづつの結果について述べる。各フライトの飛行航跡を図9に示す。図中の赤線は飛行航跡、黄線はGLS進入経路である。これらの図よりGLS経路とB787の飛行航跡はよく一致し、ずれがないことが分かる。

それぞれのフライトにおけるGLS経路への会



上：横方向，下：垂直方向
図11: GLS と ILS の比較

合付近から滑走路末端までの間のコース・デビエーションの変化を図10に示す。この図より、GLS経路への会合後の安定した区間において、コース・デビエーションの値は概ね5ft以下であったことが分かる。また、GLS経路へ会合した後、安定した区間（ここでは滑走路末端から3NMまでの区間）のコース・デビエーションの値の統計量について、表2に示す。コース・デビエーションの95% ($2\sigma + |\mu|$) 値も5ft程度であることが分かった。これらより、GLSは非常に精度が高く、追従性能が高いことが示された。

さらに、GLS進入時とILS進入時のコース・デビエーションについて比較を行った。図11にILS進入によるコース・デビエーションとGLS進入によるコース・デビエーションを示す。ILSの値はマニュアルによる進入（青）とオートパイロットによる進入（緑）の場合を示す。GLS進入（赤）の値は図10に示した2012年4月のフライトのものでILSとの比較のため角度系の値（DDM値）を示している。なお、ILSはRWY24Rへの進入（B滑走路）であり、GLSはRWY24Lへの進入（A滑走路）であるため、最終進入経路への会合点が異なっている。図11よりILSに比べGLSはスムーズな変化をしており、安定していることが分かる。また、表3にコース・デビエーション（DDM）値の統計量を示す。角度系の指示の場合、滑走路端付近で値が大きく変動するため、ここでは、1NMから3NMまでの区間についての結果を示している。表3に示した統計量からも、横方向でILSオートパイロットによる進入のおよそ1/5、垂直方向で1/2程度に標準偏差が小さくなっており、安定した着陸となっていることが分かる。

機上装置で取得したGLS飛行データにより、

表3: GLSとILSの比較
(1NMから3NM地点まで)

ILS マニュアル		
	横方向 [DDM]	垂直方向 [DDM]
平均	0.001126	-0.001969
標準偏差	0.001157	0.004489
ILS auto pilot		
	横方向 [DDM]	垂直方向 [DDM]
平均	-0.000005	0.000871
標準偏差	0.000622	0.004819
GLS auto pilot		
	横方向 [DDM]	垂直方向 [DDM]
平均	0.000005	0.001834
標準偏差	0.000115	0.002398

GBASプロトタイプ地上装置が正常に動作することが確認でき、さらに、GLSは非常に精度が高く、追従性能が高いことが明らかとなった。

4. おわりに

B787によるGLS飛行評価では、機上装置との接続試験等を実施し、GBASプロトタイプ装置の正常動作が確認され、進入経路の正確性についても乗員から高く評価された。さらに、飛行データの解析の結果、GLSによる最終進入経路に会合した後の安定した区間におけるコース偏位は概ね5ft以下となり、高精度かつ追従性能が高いことが分かり、乗員の評価を裏付ける結果となった。また、小型実験機だけでなく、中型旅客機においてもGBASプロトタイプ装置の相互運用性を確認することが出来た。

これまでの評価試験において、GBASプロトタイプ装置の測位精度等の基本性能の確認[4]、GBASプロトタイプ装置と機上GLS装置の接続による相互運用性が確認できたので、今後、高カテゴリGBAS（GAST-D；GBAS Approach Service Type-D）の開発・評価、GBAS（GLS）の特長を活用した新しい運航方式の研究、大規模空港を想定したGBAS地上装置の設置基準の検討などを継続して実施し、GBASの導入を目指した研究・開発を進展させていくつもりである。

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, Jun. 2011.
- [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] 伊藤他, “関西国際空港におけるGBASプロトタイプのB787飛行実験による評価,” 日本航空宇宙学会第43期年会講演会, E05, JSASS-2012-1087, Apr. 2012.
- [6] 藤田他, “B787によるGLS飛行評価,” 日本航空宇宙学会第50回飛行機シンポジウム, 2B03, JSASS-2012-5113, Nov. 2012.
- [7] ICAO, “International Standards and Recommended Practices (SARPs),” Annex 10, Volume I, Nov. 2001.
- [8] RTCA, “Minimum Operational Performance Standards for GPS Local Area Augmentation System Airborne equipment,” Technical Report DO-253C, Dec. 2008.