

19. GLS 装備機のパスアライン性能に関する検討

航法システム領域 ※福島 荘之介, 齊藤 真二, 山 康博, 航空交通管理領域 森 亮太

1. はじめに

GBAS は、衛星航法による民間航空機の精密進入着陸システムであり、ICAO（国際民間航空機関）の国際標準としてカテゴリー I~III までの進入を可能とする。GLS（GBAS Landing System）は、GBAS（Ground-Based Augmentation System）を用いた進入着陸システムの総称である。ICAO は、1990 年代後半から、現在の VOR/DME など地上型の航法システムの全てを衛星航法に置き換える構想の下、将来の ILS の後継として GBAS の国際標準化の検討を始め、米国など日本を含む主要国で、システムの研究開発が開始された [1-3]。

現在、カテゴリー I の GBAS 地上装置が米 FAA によって承認され、ニューアーク空港、ヒューストン空港、北ドイツのブレーメン空港で運用が開始されている。さらに、スペイン、オーストラリア、韓国、ブラジルなどは、既に地上装置を主要空港に設置しており、運用の準備段階にある。機体側の機器は、B787、B747-8 が標準装備（standard）しているほか、B737-NG、A380、A320 が装備可能（option）であり、B777、A330/340、A350 にも装備計画がある。ボーイング社は 2030 年に他社も含め 737 クラス以上の機体の約半数に GLS が搭載されると予測している。

GBAS は、滑走路の進入方向毎に LOC（Localizer）、GS（Glideslope）、T-DME、マーカを必要とする ILS に比べ、1 式の GBAS 地上装置で、複数の滑走路への進入経路を構成できるなどの利点を持つ。さらに、ILS に比較して航法誤差が少なくパス特性が良好であるため、安定した進入が可能となる利点がある [4]。しかし、オートパイロットなど航空機装備の性能は公表されておらず、GBAS 導入の利点を議論する上で明確さを欠いていた。

そこで本稿では、(1) 関西国際空港における B787 による飛行試験の最終進入経路への会合データの処理から得られた会合までの安定時間と ILS との比較結果、(2) その後に実施した B787 フルフライトシミュレータ（FFSIM）による検

証実験の結果から、B787 のパスアライン性能が GLS によって向上していることを報告する。

2. GBAS による運航

GBAS はディファレンシャル GPS を基本としたシステムであり、地上から GPS の補正值、進入経路の情報、安全性に関する情報などをデジタル信号で放送して、GPS 衛星からの距離情報を補正し、機体位置を求め、進入経路からの偏差を指示する。このため、従来 ILS で問題とされた空港内の建物など障害物からの電波反射による経路誤差を生じないばかりか、ILS 地上アンテナの前に航空機や車両などの反射源が入らないように滑走路付近に広い制限区域（クリチカル・センシティブエリア）を保護する必要がない。

GLS 運航の初期の形態は、カテゴリー I の直線進入であり、ILS 経路のオーバレイとなる場合が多い。現在、着陸の最低気象条件は、カテゴリー I の ILS と同じものが適用可能である。このため、前述の GBAS 設置空港でも、上記の最低気象条件の直線進入経路が公示されている。さらに、GBAS では進入経路を数値データで構成するため、高角度、オフセット（Displaced Threshold）、曲線など自由度の高い経路設定が可能であり、RNP の RF 旋回経路との接続も含め将来の GLS の高度な運用形態として期待されている。

3. B787 による飛行実証

電子航法研究所では、2009 年に国際標準の安全要件を満足する GBAS 地上プロトタイプ装置を開発し、関西国際空港に設置した。その後、2011 年に我が国を最初に導入された B787 型機による飛行実証を行っている。本実証では、航空局、ANA および JAL の協力のもと、有償飛行前の訓練期間またはブルーピング飛行期間に、合計 20 回の GLS 進入が実施された（表 1）。実証の目的は GBAS プロトタイプ装置と機上装置との相互運用性を評価することにあつた。このため、商用機が装備する GLS の受信・表示・制御動作が確認され、AIMS（航空機情報管理システム）に

より時刻，航空機位置，飛行高度，姿勢，経路偏差など GLS 関連データが記録された。また，パイロットへのインタビュー，アンケートを実施した。

図 1, 2 に水平・垂直の進入経路偏差 (GLS DEV) ，滑走路末端までの距離 (Distance to THD) に基づく 8 回の進入経路への会合状況とその拡大を示す。縦軸は，中心からの距離を示す GLS 偏差のレクトリニア出力 (RECTILINEAR) であり，feet を単位とする。ILS 偏差の単位が角度を示す DDM (difference in the depth of modulation : 変調度差) であるのに対し，GLS DEV は DDM (換算値) とレクトリニアの両偏差を出力する [5]。図 2 から GLS への会合後の安定区間 (滑走路端からの距離 3.5~0.5 NM) において，最大偏差が水平・垂直共に ± 5 feet 以下と，従来の ILS 進入に比較して極めて小さいことが分かる。全ての進入時の地上気象は，ほぼ向かい風 (6~14 knot) で視程 10 km 以上と良好であった。経路偏差は，外乱や操縦によって生じる FTE (Flight Technical Error : 飛行技術誤差) である。したがって，この結果は AFDS (Autopilot Flight Director System) の性能向上を示していると推察される。

この確認のため，同型機が同空港に ILS 進入した飛行データ (2012 年 4 月 9・11 日) を入手し，経路偏差 (DDM) を GLS 進入 (2012 年 4 月 8 日) と比較した。図 3 は，この結果を示しており，会合後の安定区間で GLS 進入の経路偏差の変動が ILS に比較して小さいことを示している。ただし，フルスケールは，水平が 0.155 DDM，垂直が 0.175 DDM である。図 4 に AFDS が用いているフィードバック制御の応答性能の性能評価指標を示す。GLS の水平経路への会合状況をこの指標で評価すれば，ILS は経路偏差が正負に変動しながら徐々に減衰するのに対して，GLS は振幅減衰比 (最初と次の最大行過ぎ量の比) が大きく，整定時間 (定常値の許容誤差範囲に入るまでの時間) が短いことがわかり，パスアライン性能が高い可能性を示唆している。

4. B787 フライトシミュレータによる検証

B787 による飛行実証の結果を検証するため，ANA 社の所有する B787 FFSIM により検証実験を実施した [6]。図 5 に検証時の設定を示す。FFSIM には関西国際空港に設置した GBAS プ

表 1: B787 による GLS 飛行実証

機体	実証期間	回数
Boeing 787	2011 年 7 月 6 日 (SROV)	1
ANA 787	2011 年 10 月 12~20 日	10
JAL 787	2012 年 4 月 1~8 日	9

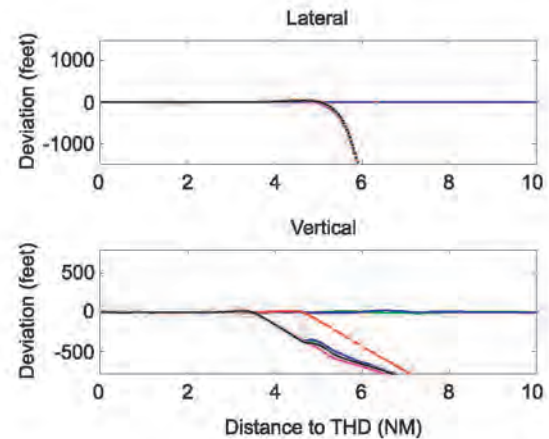


図 1: 関西国際空港での 787 による GLS 実験 : 水平・垂直の経路偏差

ロタイプによる関西 ILS オーバーレイの進入経路 (4 方向) を設定した。検証では最終進入経路への会合角 (水平) を 30~150 度まで可変し，水平のオーバーシュート (行過ぎ量) を評価した。風は無風または追い風 30 knot (図 5 の矢印の方位，会合後も方位の変更はしない) の定常風を比較した。各試行では AFDS のロールモードとして TRACK-SEL を選択し，会合点から約 3 NM の位置から進入を開始する。その後，通常運航時と同様にアプローチモードを選択肢し，ILS または GLS の LOC および GS を自動

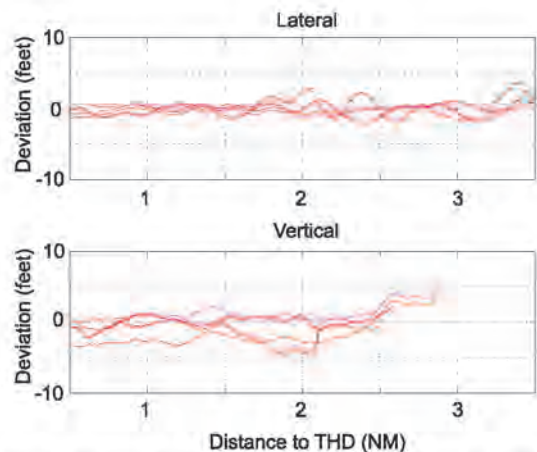


図 2: 関西国際空港での 787 による GLS 実験 : 水平・垂直の経路偏差 (拡大)

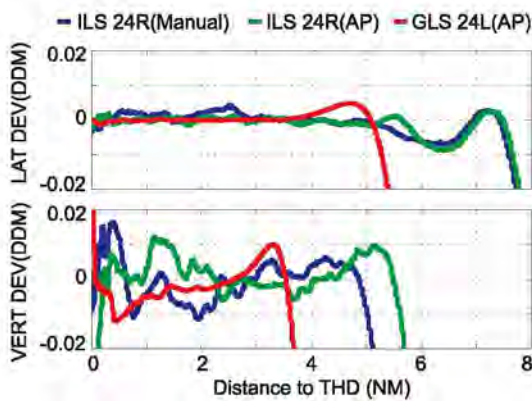
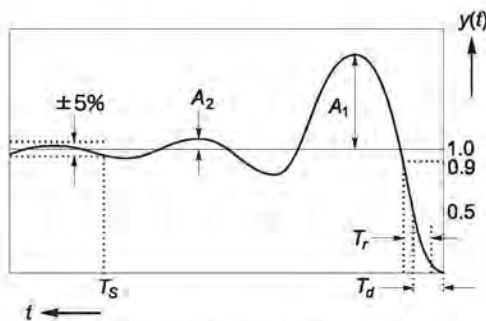


図 3: ILS と GLS の偏差の比較

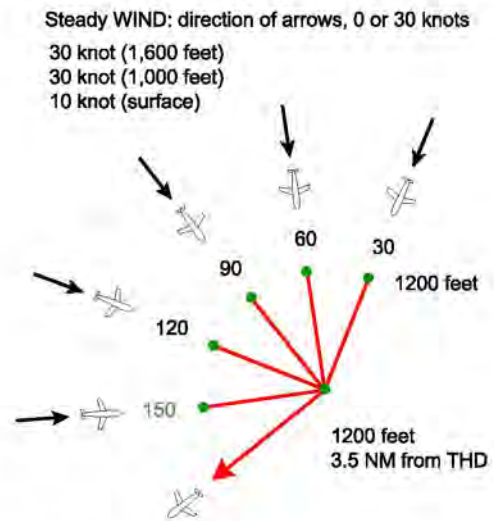


- A_1 : 最大行き過ぎ量 (ピーク)
- T_r : 立ち上がり時間 (10~90%)
- T_d : 遅延時間 (0~50%)
- T_s : 整定時間 (定常値の $\pm 5\%$)
- A_1 / A_2 : 振幅減衰比 (ピーク値の比)

図 4: フィードバック制御

捕捉してオートパイロットで経路に追従し、決心高度 (DA) に至る。オーバーシュートを比較するため、LOC の会合角は典型例から能力の限界までを範囲とした。現在の経路設定において、LOC への会合角は 20~30 度とするのが一般的である。また、LNAV モードを利用して会合時のオーバーシュートを回避する運航も行われている (リードターンにより実会合角が浅くなるため)。実験結果である無風時と風 30 knot の場合の飛行航跡を図 6, 7 に示す。図から風によらず、会合角 30~90 度について、ILS (赤) に比較して GLS (青) のオーバーシュートが小さいことがわかる。会合角 120 度では性能限界を超えるため、ILS では滑走路方位への旋回操作が行われなかった。GLS の場合も通常の挙動とは異なるが、マニュアル操作なしに経路に会合している。

次に、コース偏差指示を図 8, 9 に示す。フル



AUTO PILOT, TRACK-SEL
IAS 165 knots, TEMP 15 degrees, Weight 350,000 lb

図 5: フライトシミュレータ検証実験の設定

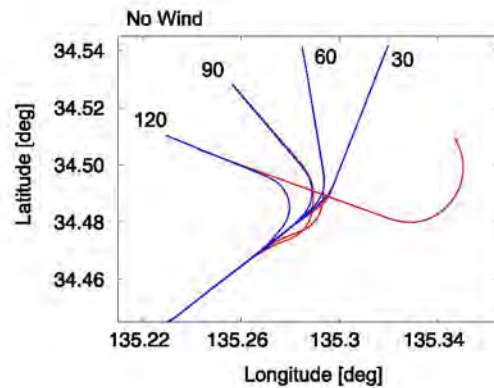


図 6: 検証結果の航跡 (無風時)

スケールは 2 dot である。図は同様に ILS に比較して GLS のオーバーシュートが小さいことを示す。また、会合角 30~90 度の GLS のオーバーシュートは風によらず極めて小さい。以上の結果は、ILS と GLS で明らかに AFDS の挙動が異なることを示しており、飛行実験で示唆された GLS のパスアライン性能が高いことを示す。これは、AFDS のアプローチモードにおいて、フィードバック量となる偏差が、単位を角度とする ILS から距離である GLS (ノイズも小さい) となるため、より応答性能の高い制御則が採用可能となったためと推察される。

5. まとめ

ILS と比較した GLS パスアライン性能の向上について、B787 による GLS 飛行実証で示唆さ

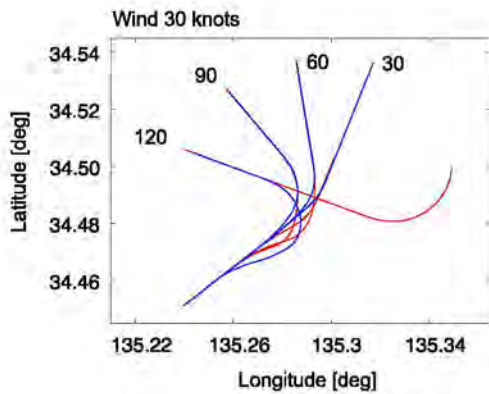


図 7: 検証結果の航跡（風 30 knot）

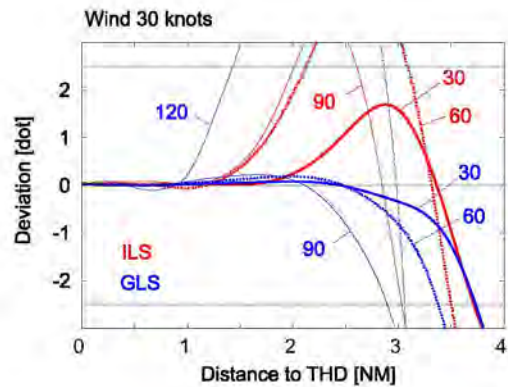


図 9: 検証結果の経路偏差（風 30 knot）

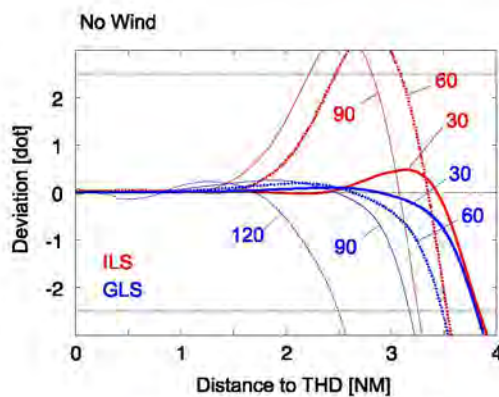


図 8: 検証結果の経路偏差（無風時）

れた結果を FFSIM により検証した。この結果、ILS に比較して GLS 進入ではオーバーシュートが小さく、高いパスアライン性能を持つことがわかった。FFSIM 実験の設定は、会合能力の限界に近い状況を含んでおり、現在の進入経路で ILS 進入のパスアライン性能が大きく劣る訳ではない。しかし、将来このような高い性能を持つ航空機の割合が増えれば、現在より会合角の大きい経路設定が可能となり、運航効率の向上や環境問題の緩和が期待される。

謝辞

B787 による GLS 飛行実証にあたっては、国土交通省航空局、全日本空輸（株）、日本航空（株）、新関西国際空港（株）をはじめとする関係機関の皆様にご多大なご支援を頂いており、ここに深く感謝致します。

参考文献

[1] 福島荘之介, “狭域補強システム GBAS”, GPS ハンドブック, 杉本末雄・柴崎亮介 (編), pp.235-244, 朝倉書店, 東京, 2010

年。

[2] 福島荘之介ほか, “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”, 電子情報通信学会論文誌 B, Vol. J94-B, No.7, pp.802-811, 2011 年 7 月。
 [3] 福島荘之介, “衛星航法による進入着陸システムの 787 による実証”, PILOT, 日本航空機操縦士協会, pp.17-20, No.335, 2013 年 7 月。
 [4] T. Murphy, *et al.*, “Approach with Precision,” GPS World, pp.32-38, Sept. 2006.
 [5] RTCA SC-159, Minimum Operation Performance Standards (MOPS) for Local Area Augmentation System (LAAS) Airborne Equipment, DO-253C, Dec. 16, 2008.
 [6] S. Fukushima, S. Saitoh, “GLS Path align performance evaluation with B787 flight trials,” 14th international GBAS working group meeting, June 2013.