

15. 安全性解析のためのGBASプロトタイプに関する研究の概要

通信・航法・監視領域 ※工藤 正博、藤井 直樹、福島 荘之介、齊藤 真二、吉原 貴之、齋藤 享、山 康博、星野尾 一明

1. はじめに

1995年に開かれた国際民間航空機関（ICAO：International Civil Aviation Organization）の第2回全地球的航法衛星システムパネル（GNSSP：Global Navigation Satellite System Panel）におけるGNSSを使った航空機の着陸システムが可能であるという結論を受けて、当所では1996年（平成8年度）から地上型衛星航法補強システム（GBAS：Ground-Based Augmentation System）に関する研究を開始した。

研究の初期の段階では、GBASの補強データの伝送方式に関する研究、その後、航法精度などのパフォーマンスの向上を図る補強アルゴリズムに関する研究、さらにシステムの安全性を保証するためのインテグリティ（Integrity：完全性）に関する研究を行った。インテグリティとは、利用者の誘導誤差が警告無しにある事故につながる閾値以上にならない確率を指していて、CAT-I GBASにおいては $1-2 \times 10^{-7}$ である。これらの研究において、仙台空港にGBASの実験用テストベッドが設置され、仙台空港B滑走路27方向に進入した187回の飛行実験では、垂直方向の精度は95%確率で0.81m、最大値1.45m、横方向に対しても、95%確率精度で0.57m、最大値0.90mという結果を得た。これは、ICAOにおけるCAT-Iの国際標準（SARPs：Standards And Recommended Practices）[1]の垂直精度要件の4.0mを十分に満足している。

昨年度から、今までの研究を元に、日本の環境においても安全性を確保するプロセスに則った安全性検証用プロトタイプを試作する研究とGBASを使った運航方式に関する研究を新たに始めた。ここでは安全性検証用プロトタイプを試作する研究について報告する。

2. GBASとは

2.1 システム概要

GBASは、アメリカ合衆国ではLAAS（Local

Area Augmentation System）と呼ばれ、もともとはRTCAで議論されたSCAT-1[2]といわれるディファレンシャルGPSシステムが基本となっているが、ICAOの場で国際標準を作成するときに安全性の立場から見直され、現在のGBASの方式になった。ICAOの国際標準で決定されたGBASの構成は、図-1で示されるように、4局のGNSS基準局、GNSS基準局データから補強データを生成するGBASデータ処理部、補強データを航空機に伝える補強データ放送（VDB: VHF Data Broadcast）システムと送信データを監視する監視部で構成される。GBASの覆域の最小要件は、現在広く航空機の着陸システムとして使われているILS（Instrument Landing System）をわずかに狭くした37kmのほぼ扇形の覆域となっている。ただし、実際のシステムの覆域は、VDL送信アンテナを中心に42km（23NM）半径、高さ3,050m（10,000ft）の円柱となっている。

GBASの利点としては、(1) ILSのような周辺環境によるパスの変形が無く滑らかであること。(2) 1つのシステムで双方向の滑走路への進入および複数の滑走路に対するサービスが提供できること。(3) 従来の航法機器に比べて誘導精度が優れており、且つ、空港に対して複数の接地点の変更や曲線進入が可能になるなどの柔軟な進入・出発経路が設定できるので進入最低高度

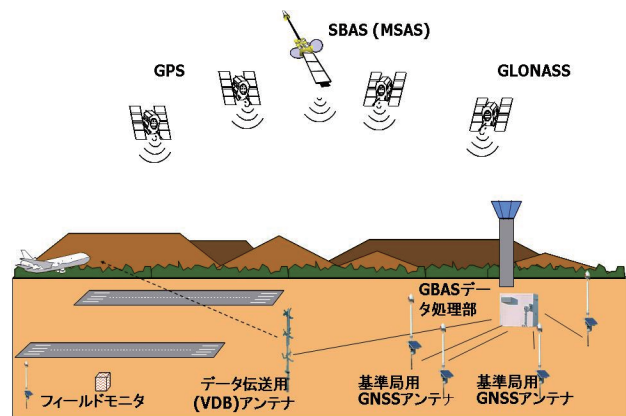


図-1：GBASの構成

の低下が期待できること。(4)空港面における航空機に対する誘導が可能なこと。などが挙げられる。

GNSS基準局はGNSSアンテナとGNSS受信機などから構成され、受信したGNSSデータをGBASデータ処理部に伝送する。GBASデータ処理部はGNSS基準局からのデータを用いGBAS補強データを生成する。補強データは、現在の航法システムであるILS、VORが使用しているVHF航法バンド（108～118 MHz）を使い、VDBシステムによって、水平偏波または楕円偏波で送信される。航空機の航法システムであるGBASでは単なる測位精度だけでなく、その測位情報がどれだけ信じるに足りるかという完全性ということが重視される。完全性とは、利用者の誘導誤差が警告無しにある事故につながる閾値以上にならない確率を指し、着陸に使用するためには、1回の着陸あたり $1-2 \times 10^{-7} \sim 1-1 \times 10^{-9}$ が要求されている。

従来の航法システムでは、その精度の保証を地上システムが責任を持ち送信する電波の精度を自ら監視してきた。しかし、衛星航法においては、地上では機上システムがどのGNSS衛星からの信号を利用しているか推測が不可能であり、機上の測位誤差を単純に地上サイトでは計算できず、精度の直接的な監視が本来的に不可能である。

そのためGBASでは精度を保証するため、GBASの補強データには、ディファレンシャル測位に使うGNSS衛星に対する疑似距離補正值だけでなく、機上において、最大誤差が完全性の確率である閾値内にあることを保証する保護レベル(PL : Protection Level)を計算するパラメータを含んでいる。そのパラメータとしては、基準局間の疑似距離補正值の標準偏差 σ_{pr_gnd} と基準受信局の1つが使えなくなったときの疑似距離の変化量であるB値であり、このパラメータから計算されるPLを進入路の性質により予め定められる警報限界(AL : Alert Limit)と比較し、PLがALより大きいときは、精度保証の確率が完全性の要求値より小さくなるのでGBASを使用しないことになっている。

2.2 GBASをとりまく各国の状況

ICAOにおいては、CAT-I GBASのSARPsを2002年に発効し、現在も引き続き、CAT- II/III対応のGBASであるGAST-D GBASについてのSARPsの策定作業を航法システムパネル(NSP : Navigation System Panel)において行っている。現在、GAST-D GBASのSARPs案[3]はほぼ完成しており、今後2~3年かけて検証作業を行い、パネルでの承認を経て、2013年頃には発効する予定である。

一方、GBAS実用化への動きでは、米国、欧州、ロシア、日本などで、ICAOのSARPsに従うCAT-I GBASの地上システムの評価開発が行われている。現在、米国ではHoneywell社製の機器の認証作業が行われており、予定では2009年中に機器認証が行われ、その後、メンフィス空港における施設と運用体制の認証が計画されている。オーストラリアのシドニー空港、ドイツのブレーメン空港とスペインのマラガール空港においても、運用が計画され認証のための作業が進んでいる。また、イタリアのパレルモ空港においてはThales社製の機器による運用が計画されている。さらに、米国のニューアーク空港、ドイツのミュンヘン空港などの主要ハブ空港にもGBASの設置が計画されるようになってきた。

機上システムについては、CAT-IのGBAS受信機をオプションで搭載できるボーイングB737-NGが2005年に認証を受けており、2008年にエアバスA380も認証を得ている。2009年中にはA320、A330、A340などが認証を受ける予定となっている。また、オーストラリアのカンタス航空では、B737-NGおよびA380の全ての機材にGBASの機上機器の装備を行う予定である。日本においても、2010年に標準装備としてGBAS受信機を搭載したB787が就航する予定となっている。

3. GBAS実用化への課題

このように期待されているGBASが、2002年のSARPs制定後、直ぐに世界各国で運用が始まらなかったのは、今まで述べてきた安全性を保証する完全性の性能を満足しているという確認が難しかったためである。GBASの完全性の基準値案は、従来から航空機が着陸に使われているILS (Instrument Landing System) と同等な値

になるように決められている。CAT-Iでは24年に1回、CAT-IIIでは2000年に1回の確率で起きるようなごくまれなリスクを考慮する必要があるために、機上での位置誤差を直接に監視できない特質と相まって従来の飛行検査などによる計測のみでは証明できない性格を持っている。

GBASに影響を与えるリスクとしては、GNSS衛星故障によるリスク、GBAS機材の故障によるリスク、および電離圏やマルチパスなどの周辺環境からのリスクが考えられる。特に、2003年に起きた北米大陸における大きな電離圏の擾乱現象などによって、今まで考えられてきた以上のリスクを周辺環境、特に電離圏の擾乱が持っていることが分かってきた。

CAT-I GBASでは、地上局側にリスクを緩和する機能が要求されており、そのためのモニタ機能が必要とされている。図-2で示されるディファレンシャルGNSSに生じる誤差において考慮しなくてはいけないリスクのなかで、GNSS衛星故障によるリスク、GBAS機材の故障によるリスクは世界的にほぼ同一と考えられるが、周辺環境として取り扱われる電離圏およびマルチパスなどは各国で状況は大きく異なっており、システムを運用するためには各国政府がシステムの安全性を確認する必要がある。そこで、この課題を解決するために、電子航法研究所は、日本特有のリスクの評価およびプロトタイプ開発を通じて、安全性認証のプロセスに関する研究を行うこととした。

4. プロトタイプ開発

プロトタイプの開発において、完全性に関する

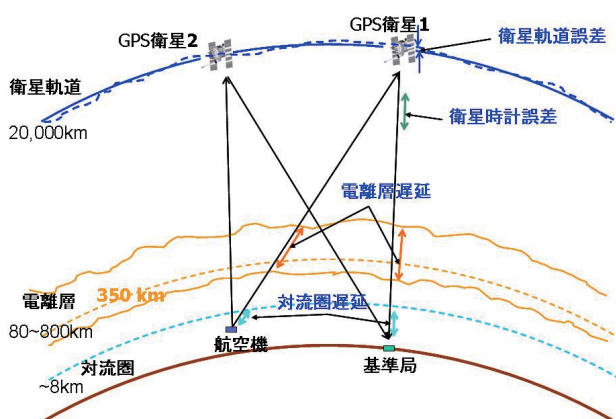


図-2 GNSSにおける誤差の要因

る証明と基本的な安全性認証のプロセスを行うために、米国連邦航空局 (FAA : Federal Aviation Administration) の要請で作成され、広く航空宇宙機器の分野で国際的に適用されていて、アメリカでは国家規格(ANSI)にも採用されている規格である自動車技術者協会 (SAE : International Society of Automotive Engineers) が発行している「高度に統合された複雑な航空機システムのための認証における考え方」(ARP4754) [4]と「民間航空電子機材の安全性評価に関するプロセスに対する方法とガイドライン」(ARP 4761) [5]を参考にして行うこととした。ARP4754においては、安全性認証における安全性評価と検証などの基本的な考え方について書かれており、ARP 4761においては、具体的な安全性評価の方法が記述されている。従来得られている知見と新たに行うシミュレーションなどから故障木解析 (FTA : Fault Tree Analysis) などを用いた、機能故障評価 (FHA : Functional Hazard Assessment) と予備的安全性評価 (PSSA : Preliminary System Safety Assessment) およびシステム安全性評価 (SSA : System Safety Assessment) 手法による安全性評価について記述されており、プロトタイプの開発においてもその手法が踏襲される。

このときの使用される故障木 (FT : Fault Tree) は RTCA の DO-245A の LAAS MASPS (Minimum Aviation System Performance Standards for Local Area Augmentation System)[6]に記載された概念的なリスク・アロケーション・ツリーではなく、新たに実運用に供するGBASの機能に沿ったFTを構築し、解析することとなった。また、ARP 4761とARP4754には、実用機の開発において考慮すべき、ソフトウェアのコーディング方法なども含めて、多岐にわたるプロセスが記述されている。しかし、プロトタイプの開発では、実施方法が既に明らかな要素を含め全てのプロセスを行うことは効率的ではなく、またその必要もないために、今後の実用機の開発に必要な完全性に関する証明のうち、手法が必ずしも確立されていないような技術開発とそれに伴う認証のためのプロセスを行うこととした。

安全性に関する検討においては、定期的な検討会が3週間に1度の割合で行われ、そこには専門家

も参加してもらう予定である。そこではリスクの検討対象になる事象の明確化と、GBASの基本アルゴリズムの確立及びリスクを緩和するアルゴリズムの検討を行うこととなっている。検討するリスクとしては、衛星の故障、基準受信機の故障、周辺環境など、GBASに影響を与える全ての項目が一通り対象となる。そのなかから特に、検討すべきリスクとしては、従来から当所で研究を行って実際のディファレンシャルGPSにおいても大きな誤差を生じたこともある事象である、電離圏の遅延量勾配による疑似距離誤差とGPS衛星から放送される信号の歪による疑似距離誤差について重点的に行う。

このような検討を通じ、日本における環境下における、試作するプロトタイプの安全性の確保と、将来の実用機の認証を行う場合に備えGBASの安全性の解析手法の整理を行う。また、プロトタイプが完成した後の飛行実験においては、GBASの利点を活かす運航方式である曲線進入方式を導入する場合の問題点の整理、必要な技術開発を広く航空会社や他の研究機関および大学などとの協力を含めて行っていく予定である。

5. まとめ

GNSSを使った自動着陸まで可能とする航空機の着陸システムであるGBASは、従来の着陸システムであるILSのような周辺環境によるパスの変形が無く滑らかであること、1つのシステムで双方向の滑走路への進入および複数の滑走路に対するサービスが提供できること、従来の航法機器に比べて誘導精度が優れていること、空港に対して複数の接地点の変更や曲線進入が可能になるなどの柔軟な進入・出発経路が設定できることなどの多くの利点を持っている。しかし、GBASの機上システムの精度の保証に対して、地上システムは、機上システムがどのGNSS衛星からの信号を利用しているかについては知ることは不可能であり、機上の誘導誤差を直接監視できないため、位置精度の完全性を保証することが非常に難しい。さらに、GBASの精度に対して、GNSS衛星、基準局装置、周辺環境など多くの要因が係わっており、特に電離層や空港内外の周辺環境などの日本独自のも

のも多いために、最終的にGBASが我が国で使用可能かどうかを、我が国自身がきちんと判断する必要がある。

今回の研究は、この判断をサポートするための技術を開発すると共に、安全なGBASを開発する技術を習得することを目指している。この技術は、航空機を開発し、認証を与えるプロセス・コントロールと同一なやりかたを航空用誘導システムに適用したものである。これは、安全性の証明が不可欠であるシステムの構築への応用が可能な技術でもある。今後、この研究を着実に進めることにより、将来の航法システムであるGBASの実用化に寄与していきたいと考えている。

参考文献

- [1] "International Standards And Recommended Practices Aeronautical Telecommunications" Amendment 83 of Annex 10 to the Convention on International Civil Aviation Volume I (Radio Navigation Aids), International Civil Aviation Organization, Montreal, Nov. 2008
- [2] "Minimum Aviation System Performance Standards DGNS Instrument Approach System: Special Category-1 (SCAT-1)", RTCA DO-217, RTCA, Inc, Washington, D.C. USA, August 1997.
- [3] Tim Murphy, et.al. "Draft GBAS SARPS Change Proposal" ICAO NSP WGW Meeting, WP-18, Montreal, Canada, Oct 2008
- [4] "Certification Considerations for Highly -Integrated or Complex Aircraft Systems" SAE International, ARP 4754, Warrendale, PA, Nov. 1996
- [5] "Guidelines and Methods for Conducting the Safety Assessment Process on Civil Airborne Systems and Equipment" ARP 4761, Warrendale, PA, Dec. 1996
- [6] "Minimum Aviation System Performance Standards for Local Area Augmentation System (LAAS)" RTCA DO-245A, RTCA, Inc, Washington, D.C. USA, Dec. 2004.