

2. 次世代 SBAS プロトタイプの航空機を用いた性能評価

航法システム領域 ※北村 光教, 渡邊 浩志, 坂井 丈泰

1. まえがき

米国の GPS 等の衛星測位システム (GNSS) の整備によって, 自動運転車両や IT 施工のような最先端の技術から, 道案内や広告表示等の身近なものまで, 位置情報は重要かつ使いやすいものとなり, 我々の生活の利便性を日々向上させている。

航空分野でも, 目的地までの行程を定める航法において位置情報は重要であり, GNSS が広く利用されるに至っている。しかしながら, 高い安全性を求める民間航空においては GNSS を利用する上で, GNSS 衛星の故障の有無や得られた測位位置の信頼性等を常時監視する必要がある。このため必要とされるのが補強システムであり, 国際民間航空機関 (ICAO) では GNSS の監視システムとして3種類の補強システムを国際規格として定めている。

一つは, 航空機上の装備で完結するため世界中のおよそすべての空域で GNSS 測位の監視が可能で, 機上型衛星航法補強システム (ABAS)。また, GNSS 監視に必要な情報 (補強情報) を静止衛星から放送するため地球のおよそ 1/3 程度の覆域となる代わりに, 高い監視性能が得られる衛星型衛星航法補強システム (SBAS)。そして, 空港から VHF 波を利用して補強情報を放送するため覆域は限られるものの, さらに高い監視性能が得られる地上型衛星航法補強システム (GBAS) である。これらは, 高い GNSS 監視性能によって航法の信頼性を高めることで, より高度な進入方式等の運航が可能になる反面, 性能と利用可能な空域の大きさはトレードオフの関係にある。

これらの補強システムは各国で既に運用されており, 実際に多くの航空機で利用されている。そして ICAO においては, 次世代の補強システム規格の検討もなされており, 監視性能のさらなる高度化が図られている。

本講演では, 電子航法研究所が ICAO におけ

る SBAS の次世代規格の検討に寄与することを目的として開発している, 次世代 SBAS のプロトタイプ機について, その性能を評価し報告する。

2. 衛星型衛星航法補強システム (SBAS)

2.1. 現行 SBAS

現行の SBAS 規格は, ICAO により国際標準及び勧告方式 (SARPs: Standards and Recommended Practices) [1]として定められている。

現行 SBAS は GPS の L1 帯信号 (L1-C/A) を利用した 1 周波測位を補強することを目的として, 地上に設置された受信機 (監視局) ネットワークによって GPS の測位信号を監視している。これにより GPS 衛星の異常状態や測位の誤差情報を推定し, 補強情報として静止衛星を経由してユーザに放送している (図 1)。

現行の SBAS にはいくつかの課題がある。一つは, 1 周波信号による測位を補強するため, 電離圏活動の影響を受けやすい点である。また, 地上においては信号が遮蔽されやすいことも課題の一つである。すなわち, SBAS が補強情報を配信する衛星 (SBAS 衛星) は静止軌道にあるため, 日本から見ると中程度の仰角 (40~50 度程度) になる。そのため, 都市部や山間部等の周辺障害物が多い環境では, 利用可能な地点が限られるという課題である。また同様に, GPS 衛星の遮蔽による衛星数の低下も課題である。観測した GPS の衛星数が, 測位に最低限必要な機数 (4 機) を下回った場合, GLONASS 等の他の GNSS を利用することで衛星数を補う方法があるが, 現行の SBAS 対応受信機では GPS 以外の GNSS の利用が認められていない[2]ため, 測位不可能になるという課題である。

2.2. 次世代 SBAS

次世代 SBAS は, ICAO における航法システ

ムパネル（NSP）や、欧米諸国と共に電子航法研究所も参画している SBAS 運用者による SBAS 相互運用性会議（IWG）において規格化のための検討が進められている。本研究における次世代 SBAS の仕様は、ICAO NSP が作成した次世代 SBAS に関する国際標準及び勧告方式（SARPs: Standards and Recommended Practices）のドラフト版[3][4]を基にする。

現行 SBAS からの主な変更点は、マルチコアシステム（MC）の2周波信号（DF）を用いた測位を補強する点と、静止軌道以外の軌道からも補強情報を配信可能になる点である（図2）。

MC とは、米国の GPS に加えて、露国の GLONASS や欧州の Galileo、中国の BeiDou という新しい GNSS を測位信号として利用可能とすることである。将来的な可能性としては、ここに我が国の GNSS である準天頂衛星システム（QZSS）が認められることもあり得るだろう。MC により、衛星数の増加による高性能化が期待されている[5]。また、DF とは、従来の L1 帯測位信号に加えて、L5 帯測位信号を合わせて利用可能とすることである。これにより、電離圏による誤差をユーザ側で高精度に打ち消すことが可能になるため、SBAS サービスの補強性能や利用可能性の向上が期待されている。また、次世代 SBAS が想定する静止軌道以外の軌道として、QZSS がその衛星を配置している傾斜対地同期軌道（IGSO）が代表的である。IGSO の利用は、ユーザに高い仰角から補強情報を配信することが可能であるため、都市や山間部における SBAS 利用可能範囲の拡大が期待されている。

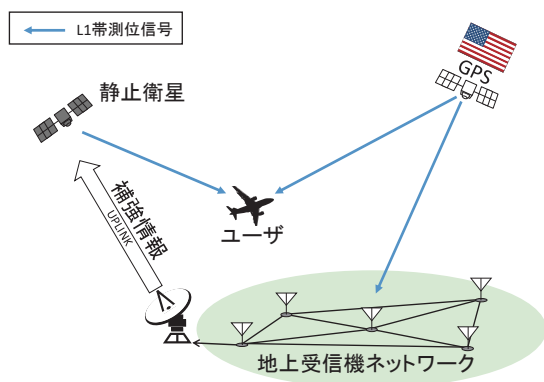


図1 現行 SBAS の概要

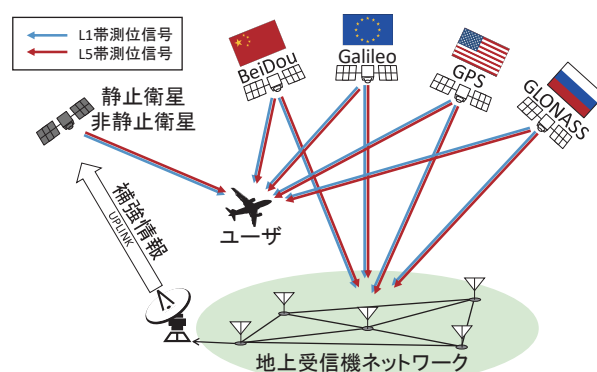


図2 次世代 SBAS の概要

3. 次世代 SBAS 試作機の開発

電子航法研究所は、ICAO NSP 及び SBAS IWG において次世代 SBAS 規格策定に関する議論に参画している。その中で、検討中の次世代 SBAS 規格に基づいて試作機を開発し、得られた知見をもとに議論をすることで、次世代 SBAS 規格策定のための検討を進めている。以下では次世代 SBAS 試作機の概要として、監視局（GMS）の配置及び補強対象について述べる。

3.1. 監視局（GMS）の配置

SBAS は、サービスを提供する地域（サービスエリア）内に、GMS として GNSS 受信機を複数設置することで GNSS 衛星の監視を可能とする。本試作機では、最近の MSAS を参考に、図3に示す13地点にGMSを設置することとする。これらのGMSのGNSS受信機は、国土地理院のGNSS連続観測システム（GEONET）を利用しており、全て Trimble NETR9 である。なお、これらのGMSは1HzでGNSSの擬似距離等を監視する。

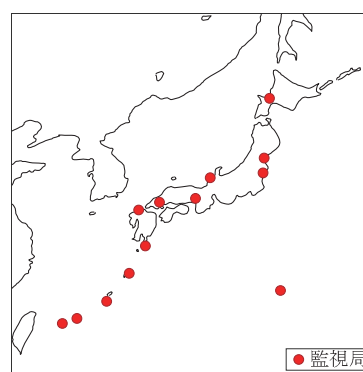


図3 次世代 SBAS 試作機の監視局配置

3.2. 補強対象 GNSS 及び測位信号

次世代 SBAS では、多様な GNSS を補強することが可能であるが、GLONASS と BeiDou については、現状では L1 帯と L5 帯を用いた測位が困難である。そこで本試作機では、GPS と QZSS の L1-C/A 信号と L5 信号、および Galileo の E1B 信号と E5a 信号を補強する。

4. 性能評価実験

本研究における次世代 SBAS の性能評価実験では、電子航法研究所が所有する実験用航空機「よつば」を用いた、実際の航空機における次世代 SBAS の測位補強性能を評価した。

4.1. 実験用航空機

実験用航空機「よつば」は、Beechcraft 製 King Air 350 (B350) である。B350 は全幅約 17m、全長約 11m の小型航空機である。その概形の 3D モデル[6]を図 4 に示す。本研究では、図中赤で示す点に設置した GNSS アンテナ (AeroAntenna 製 AT1675-381) と GNSS 受信機 (JAVAD 製 Delta) を用いて GNSS 観測を行う。

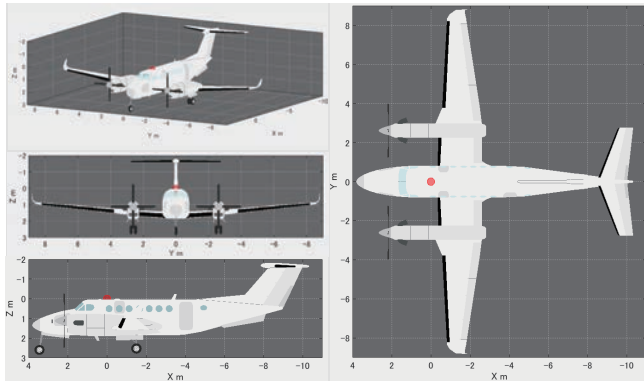


図 4 実験用航空機「よつば」

4.2. 実験経路

B350 による八丈島周辺のフライトを、2019 年 10 月 9 日 01:13~02:04 (GPST) に実施した。本フライトは図 5 に示すように、八丈島空港を離陸後、高度 1000ft (約 300m) で八丈島周辺を時計回りに 2 周、反時計回りに 2 周、高度 1500ft (約 460m) に移行し反時計回りに 1 周、時計回りに 1 周した後、仙台空港に向けたフェリーフライトに移行する。

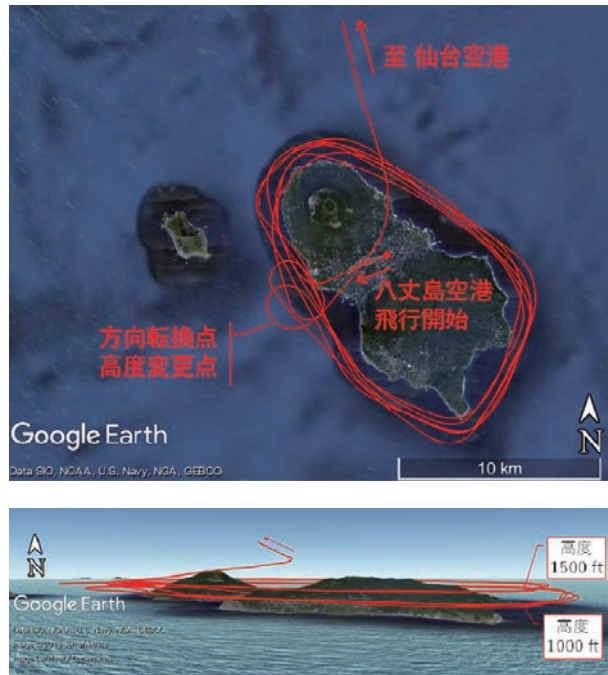


図 5 八丈島周辺フライトの経路

5. 性能評価

本評価実験の結果として、図 6 及び図 7 にそれぞれ水平及び垂直方向のインテグリティチャートを示す。

インテグリティチャートとは横軸にそれぞれの方向の測位誤差を示し、縦軸に保護レベル (PL: Protection Level) を示すものである。保護レベルとは、測位解の信頼限界であり、水平及び垂直方向の長さとして定義される。すなわち、測位結果に対する真の位置が $1-10^{-7}$ の確率で含まれる円柱状の領域を表すものである。インテグリティチャートの右下の赤色領域に測位解が存在することは、測位誤差保護レベルを超過する危険な測位が行われた (インテグリティの破綻が生じた) ことを意味する。また、チャートの上側黄色領域は、飛行方式毎に定められる警報限界 (AL: Alert Limit) を超過したことを判定する領域である。図 6 及び図 7 においては、LPV-200 と呼ばれる米国の SBAS 進入方式における AL (水平方向: 40m, 垂直方向: 35m) を適用している。空港滑走路への着陸進入時に、SBAS 補強測位を用いた LPV-200 方式の進入を試みる場合において、その進入方式が利用可能であることを判断する条件の一つが、PL が上記の AL を超過していないことで

ある。

これらのインテグリティチャートを確認することで、実際の測位誤差と PL 及び AL の関係を把握することができる。図 6 及び図 7 から、すべての測位解が白の領域に存在しており、本評価にてインテグリティの破綻は見られなかったことがわかる。

次世代 SBAS の試作機として機能していることが確かめられたが、しかしながら、インテグリティの評価としてはサンプル数が足りないため、今後も複数回の評価実験が必要である。

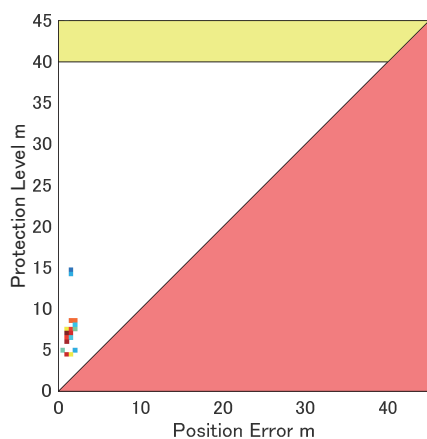


図 6 水平インテグリティチャート

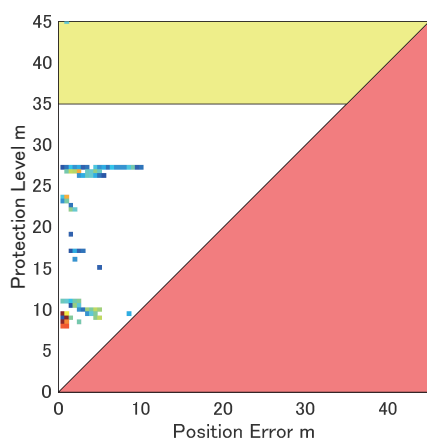


図 7 垂直インテグリティチャート

6. まとめ

航空航法において GNSS 測位を利用する際には補強システムによる監視が必要である。SBAS は補強システムの 1 種であり、近年 ICAO において次世代規格の検討がなされている。本研究では、検討が進められている次世代

SBAS 規格に基づいて電子航法研究所が開発しているプロトタイプ機について、その性能評価を実施した。特に評価実験においては、当所の実験用航空機「よつば」を用いて飛行中における性能を評価したため、実際の使用状況に近い評価である。評価の結果、測位精度、インテグリティ共に問題は見られなかった。しかしながら、評価のサンプル数が少ないため、今後も継続した評価が必要である。

今後はこれらの実験結果及び評価結果をもとに、現プロトタイプ機や次世代 SBAS 規格のさらなる改善を目指す。

参考文献

- [1] ICAO, SARPs Annex 10, Vol.I, 6th Ed., Jul. 2006.
- [2] “Minimum Operational Performance Standards for Global Positioning System / Wide Area Augmentation System Airborne Equipment,” Publication DO-229E, RTCA SC-159, WG-2, Washington, DC, 15 Dec. 2016.
- [3] DFMC SBAS SARPs - Part B Draft Ver. 0.3 Proposal, ICAO, NSP/3-IP/38, Dec. 2016.
- [4] Proposed amendments to Annex 10, Volume I: Satellite-based Augmentation System (SBAS) provisions, ICAO, NSP/6-WP/6, Jul. 2020.
- [5] M. Stanisak, U. Haak, and A. Schwithal, “Different Positioning Strategies Using Multi-Frequency / Multi-Constellation GNSS Measurements,” Proc. ION GNSS+ 2015, Tampa, Florida, pp.2654-2668, Sep. 2015.
- [6] <https://3dwarehouse.sketchup.com>