

次世代 SBAS の飛行実験による評価

航法システム領域 ※北村 光教, 齋藤 享, 坂井 丈泰

1 はじめに

近年、衛星測位システム（Global Navigation Satellite System: GNSS）の利活用は航空分野において急速に拡大しており、安全性・信頼性の高い航法支援が求められている。特に、静止衛星を利用した衛星航法補強システム（Satellite-Based Augmentation System: SBAS）は、GNSS 単独では実現できない高精度かつ高信頼性の位置情報を航法システムに提供している。

現在運用中の SBAS には電離圏活動が活発な時期・地域における利用可能性の低下や、高緯度地域では信号受信が困難であるといった課題があり、次世代 SBAS の開発が求められている。このような背景のもと、本研究では、次世代 SBAS の性能を実環境下で評価するための飛行実験を実施し、その有効性と課題を検証した。

本報では、次世代 SBAS 及び飛行実験の概要、得られた測位精度や信頼性に関する評価結果を報告する。さらに、従来の SBAS と比較した性能向上の程度についても考察する。

2 衛星航法補強システム（SBAS）

2.1 現行 SBAS

衛星航法補強システム（Satellite-Based Augmentation System: SBAS）は、GNSS の測位精度・信頼性・完全性を向上させるための補強システムであり、主に航空機の安全な運航を支援する目的で開発・運用されている。SBAS は、地上のモニタリングステーション（監視局）が観測した GNSS の誤差情報および信頼性情報を解析し、静止衛星（GEO）を通じて航空機に提供する。

誤差情報としては、主に衛星軌道及び時計の放送暦に対する誤差を放送し、また、電離圏における測位信号の遅延量を補正するための電離圏遅延情報も放送している。これらにより航空機に搭載されている SBAS 受信機は測位精度を向上させることが可能である。

加えて、SBAS は上記の誤差情報に関する信頼性情報を放送しており、SBAS 受信機は測位誤差が生じうる測位精度の信頼限界を得ることができる。信頼限界が示す領域内に障害物や他の航空機が進入しないように運行することで、衝突等の事故を防止している。

2.2 次世代 SBAS

次世代 SBAS は、現行の SBAS をさらに高機能化したシステムであり、多周波・多 GNSS（Dual-Frequency, Multi-Constellation: DFMC）に対応することで、今後の航空運用におけるより厳しい要件（LPV-200 のような垂直誘導付き進入など）への対応や技術的進化を目的としている。

DFMC 対応は、L1 帯と L5 帯の 2 つの周波数の測位信号を利用することで、高精度な電離圏遅延量の補正が可能となり、現行 SBAS における電離圏活動に関する課題の改善が期待されている。また、GPS 以外の GNSS（GLONASS, Galileo, BeiDou）を利用可能とすることで、SBAS サービスの継続性向上が期待されている。

これらは次世代 SBAS の主たる性能向上機能であるため、次世代 SBAS は DFMC SBAS や L5 SBAS とも呼ばれる。

3 実験概要

本実験は現行 SBAS における課題である、電離圏活動が活発な地域及び時間帯における次世代 SBAS の性能評価を実施することを目的としている。そのため、電離圏擾乱が頻発する 2 月に南西諸島の石垣島で実施する。

3.1 実験用航空機

本飛行実験には、電子航法研究所（以下、当所という）が所有する実験用航空機「よつば（JA35EN）」を用いる。本機は BeechCraft B300（KingAir 350）という中型航空機を、実験実施用に改修した機体である。そのため、運

行用とは別に GNSS 受信機やその他実験用装備が搭載されており、当所が実施する飛行実験に用いられる。

本機の外観を図 1 に示す。本実験で用いられる GNSS 受信機のアンテナは、図中赤丸で示す位置（機体屋根上）に設置されている。



図 1 実験用航空機「よつば」

3.2 飛行経路

本実験は 2025 年 2 月 26 日の昼夜に、14:15~16:30 および 20:44~23:03 の時間帯でそれぞれ実施された（日本時間、地上待機時間を含む）。飛行経路は、新石垣空港を離陸した後、同空港でローパスアプローチを複数回実施し、最後に同空港へ着陸する。ローパスアプローチとは、滑走路進入時に着陸せずに滑走路を低高度で通過する飛行であり、本実験では昼間に 4 回、夜間に 5 回、滑走路面から 10m 強の高さを飛行した。進入時以外の飛行高度は、およそ 2,000m であった。本実験における飛行経路を図 2 に示す。

3.3 SBAS 性能評価

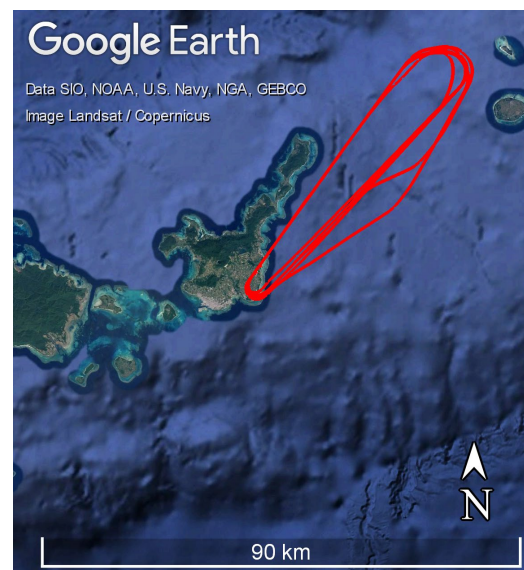
本性能評価においては、現行 SBAS 及び次世代 SBAS の測位方法として、当所が作成した測位処理装置を用い、後処理によって測位を実施する。

利用する補強情報としては、現行 SBAS では、日本の SBAS である MSAS（PRN: 137）が放送したものを利用する。次世代 SBAS では、当所が作成した次世代 SBAS 補強情報生成装置（プロトタイプ機）によって生成され、準天頂衛星システム 4 機（2, 3, 4, 1R 号機）から放送されたものを利用する。

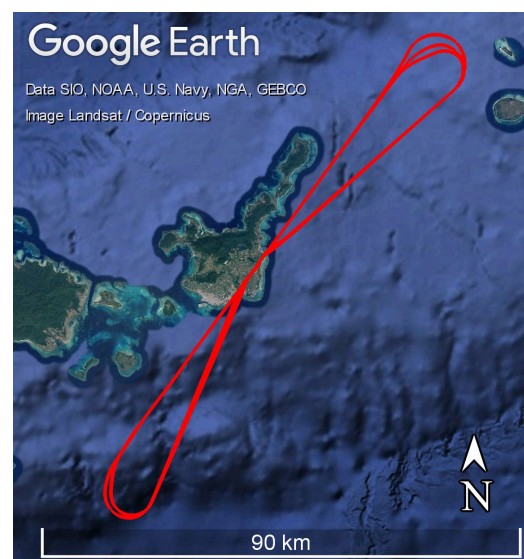
また、測位誤差の評価には、同機に搭載され

た実験用 GNSS 受信機（NetR9）を用いた RTK 測位を位置基準として用いる。RTK 測位の基準局には、新石垣空港内に設置された 5 台の同機種受信機を用いる。

本実験環境では、電離圏の影響を、特に低仰角の衛星で受けやすいため、適切な仰角マスクの設定が必要である。しかしながら、実験行程全体において最適な 1 つの仰角マスクを設定することは困難である。そこで、仰角マスクを 5 ~ 50 度の間で、5 度の間隔で設定しエポック毎に得られた Fix 解の中央値を用いることとした。



(a) 昼間経路



(b) 夜間経路

図 2 石垣島飛行実験における飛行経路

4 評価結果

4.1 飛行実験結果

現行 SBAS による時系列の水平及び垂直測位誤差を図 3 に示し、参考として測位時に用いられた測位衛星数も同図に合わせて示す。また、LPV-200 におけるインテグリティ性能評価のためにインテグリティチャートを図 4 に示す。

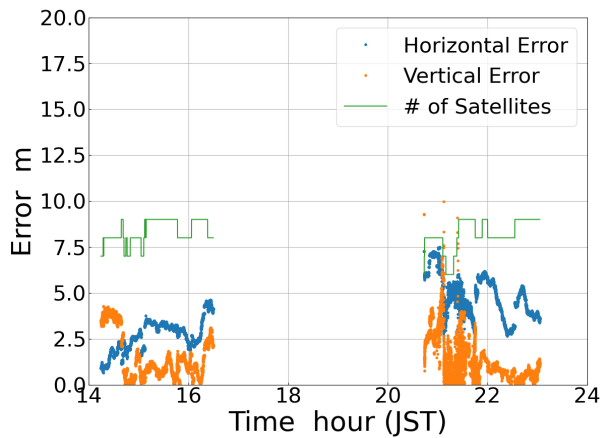


図 3 飛行実験における現行 SBAS 測位精度

次に、次世代 SBAS による時系列の水平及び垂直測位誤差を図 5 に示し、参考として測位時に用いられた測位衛星数を同図に合わせて示す。また、インテグリティ性能評価のためにインテグリティチャートを図 6 に示す。なお、LPV-200 における警報限界は HAL: 40m, VAL: 35m である。

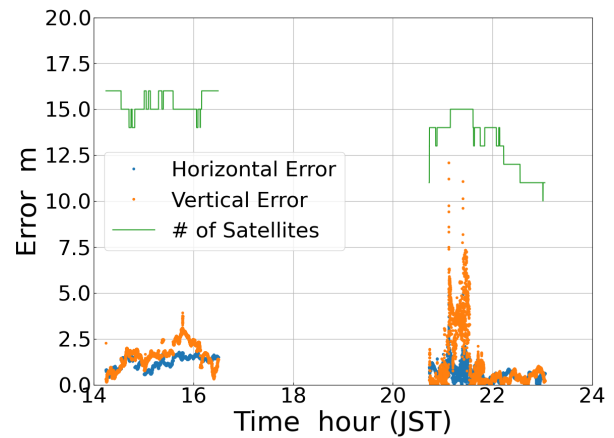


図 5 飛行実験における次世代 SBAS 測位精度

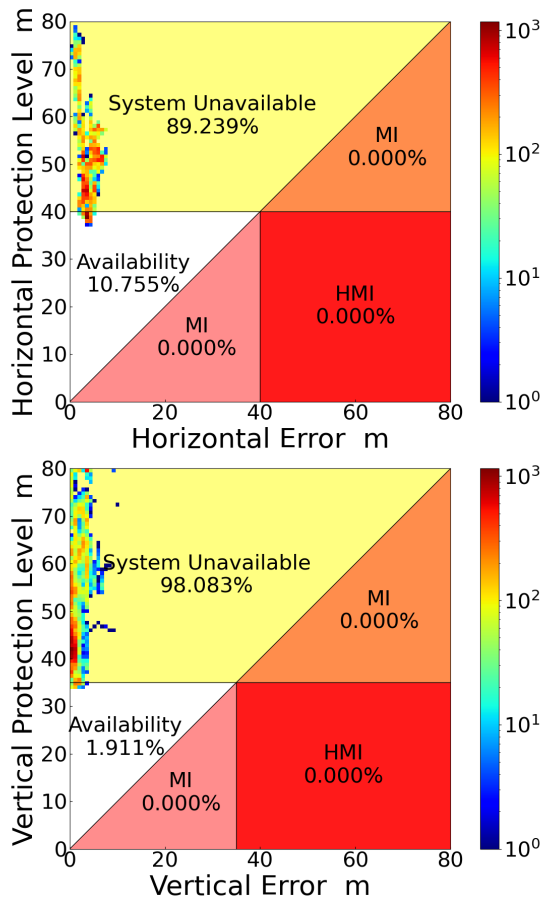


図 4 飛行実験における
現行 SBAS のインテグリティ性能

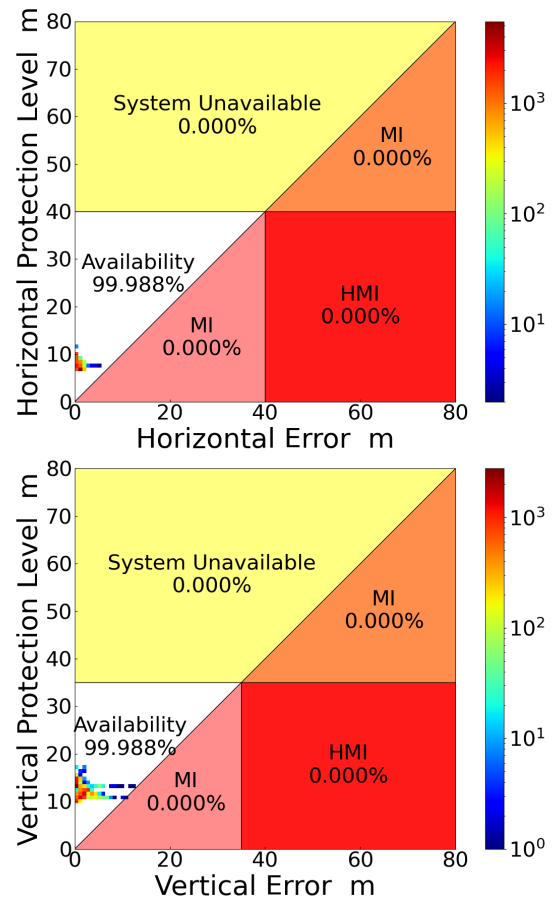


図 6 飛行実験における
次世代 SBAS のインテグリティ性能

4.2 電子基準点における性能評価

比較として、新石垣空港近隣の電子基準点（石垣1，960749）における性能評価結果を示す。図7には、石垣1における現行SBASの測位精度を、飛行実験と同様の時刻のみ示し、図8には24時間のインテグリティ性能を示す。

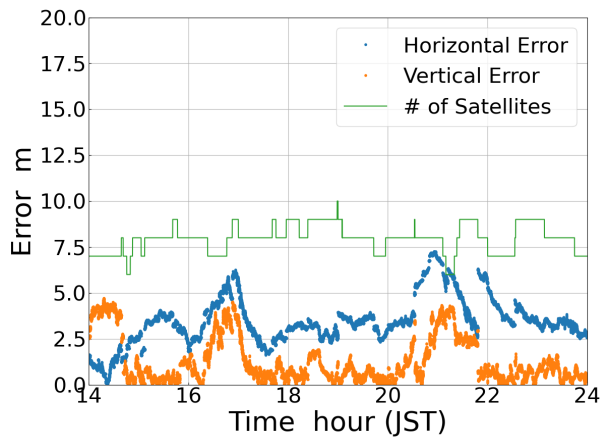


図7 石垣1における現行SBASの測位精度

図9には、石垣1における次世代SBASの測位精度を、飛行実験と同様の時刻のみ示し、図10には24時間のインテグリティ性能を示す。

本電子基準点における評価では、1HzのGNSS観測データを用いる。

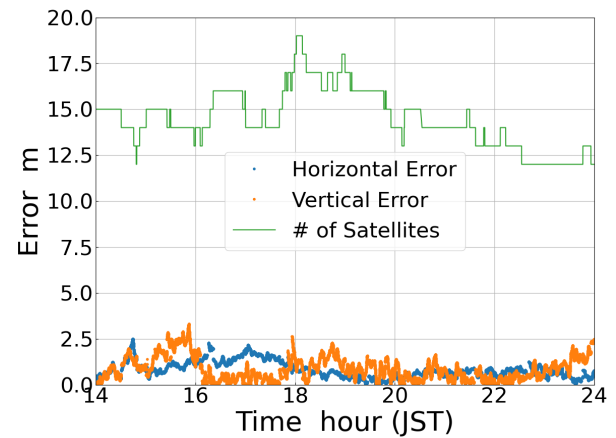


図9 石垣1における次世代SBASの測位精度

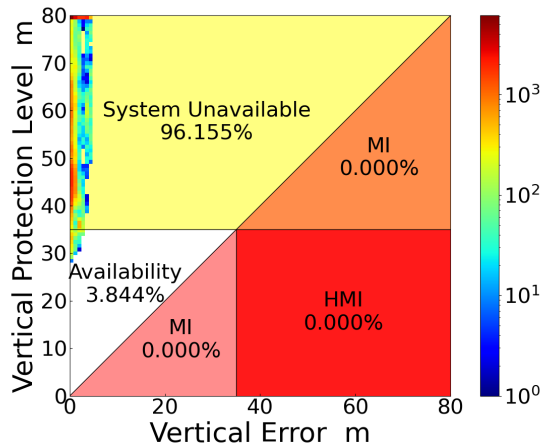
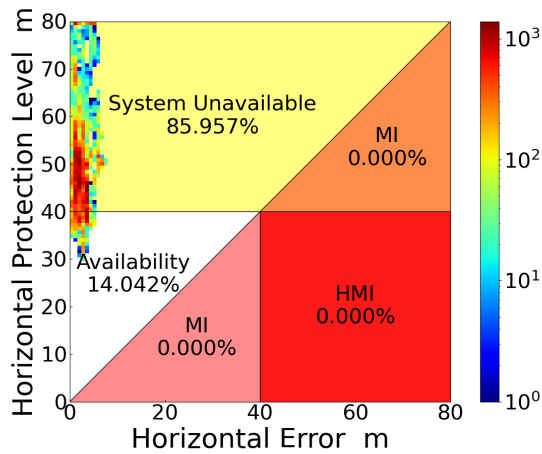


図8 石垣1における
現行SBASのインテグリティ性能

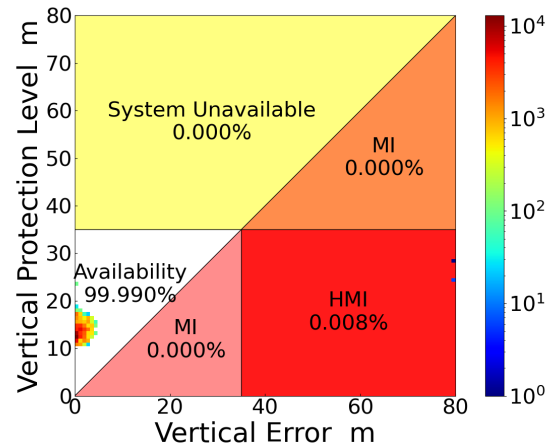
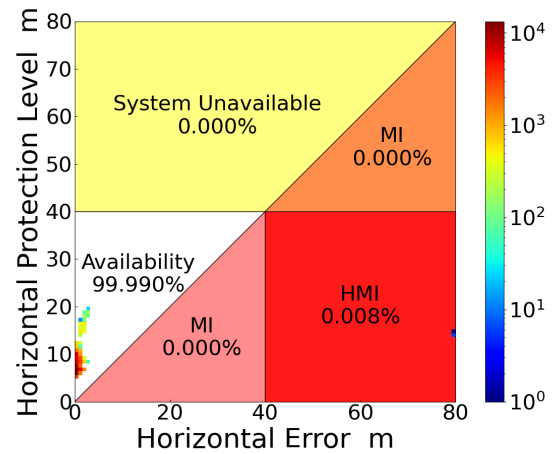


図10 石垣1における
次世代SBASのインテグリティ性能

5 考察

図5によると、次世代 SBAS 測位の測位誤差が、21 時～21.5 時にかけて特に垂直方向に大きな誤差を示している。これらは、1 周目の旋回途中からローパスアプローチ、次の旋回の途中にかけて発生している。

この誤差については、図9によると、近隣の電子基準点（石垣1）では同時刻に大きな測位誤差は生じておらず、またローパスアプローチで電子基準点近傍を実験機が通過した際にも変わらず誤差が大きかったこと、現行 SBAS、次世代 SBAS とともに同時刻に大きな測位誤差が生じていることから、基準位置として利用した RTK 測位がミス Fix を起こしている可能性があるが詳細な調査は未実施である。今後、基準位置の誤差増大以外の誤差要因があったのか、例えば L1 もしくは L5 帯信号にシンチレーションが発生し、サイクルスリップが発生していないか等、調査をする予定である。

その他の時刻においては、現行 SBAS は測位誤差も比較的大きく、LPV-200 のアベイラビリティもおおよそ 2%と低い。これは、電離圏活動により電離圏遅延補正が増大し、また信頼性が低下したことにより保護レベルも増大したことで、アベイラビリティが低下したものと思われる、現行 SBAS の課題の通りの結果であると思われる。

また、次世代 SBAS については、昼間の測位誤差が水平、垂直ともやや大きいため、確認が必要と思われるが、LPV-200 を実施するにあたって十分なアベイラビリティが得られるものと思われる。

6 さいごに

本報では、次世代 SBAS による補強性能を評価することを目的として、実験用航空機「よつば」を用いた飛行実験を実施し、その性能評価結果を報告した。

飛行実験は、2025 年 2 月に石垣島周辺で実施され、現行 SBAS の課題である電離圏の影響が大きく現れたが、次世代 SBAS においては大きく影響が現れないことが確認された。

現行 SBAS においては、残念ながら LPV-200 の実施は困難であるという結果が得られたが、

今後、MSAS の電離圏補正性能向上を含むバージョンアップ実施が予定されている。そのため、アベイラビリティが向上する可能性もあり、今後も現行 SBAS の評価は実施したい。

次世代 SBAS においては、LPV-200 を十分実施可能であるという結果が得られた。今後も当所の本プロトタイプ機の性能向上を図ることで、より安全性の高い航法の実現に貢献したい。

しかしながら、実験中に誤差が大きく増大する時間帯も見られ、今後原因の調査や実験方法の改善等の検討が必要であると考ええる。

文 献

- [1] ICAO, “International Standards and Recommended Practices, Aeronautical Telecommunications, Annex 10 to the Convention on International Civil Aviation,” vol.I, 8th ed., Jul. 2023.