

17. GNSS 監視に関する運用コンセプトの提案

航法システム領域 ※麻生 貴広，坂井 丈泰，齊藤 真二，毛塚 敦，北村 光教

1 はじめに

測位衛星である GPS (Global Positioning System) など全世界的航法衛星システム (GNSS: Global Navigation Satellite System) は、航空機の航法における高精度な測位センサーとして広く利用されており、エンルートや非精密進入における性能準拠型航法 (PBN: Performance-based navigation) の発展に寄与してきたところである。特に高い航法精度が要求される RNP AR APCH (Required Navigation Performance Authorisation Required Approach) では GNSS の使用が必須とされており [1]，航空機の航法が従来の地上無線施設から GNSS に依存する割合が多くなってきたことを表している。

一方、このような状況に伴い、飛行中に GPS が使用できなくなる事象 (GPS アウテージ) が世界的に多く報告されてきた。これを受け、国際民間航空機関 (ICAO: International Civil Aviation Organization) は、GNSS を用いた RNAV/RNP 航法を提供する国やプロバイダが GNSS を適切に監視することを求めた GNSS マニュアルを制定した [2]。

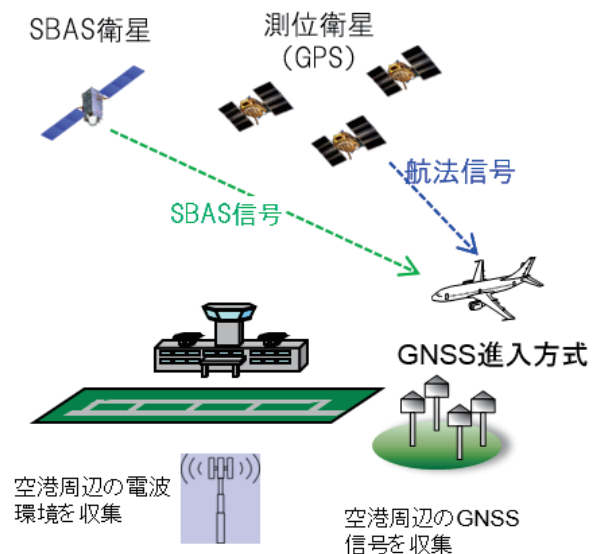
当所では GNSS 監視に関して研究を実施してきたところであるが、GNSS マニュアルで求められている GNSS の信号品質と性能監視に加え、運航者からの要望に対する解決に向けて検討してきた。本稿では、まず GPS アウテージの現状と海外動向を紹介し、次に我が国の GNSS の要件を定め、試作システムを通して実データを用いた有効性を示す。最後に GPS アウテージの事象を緩和するための GNSS 監視の運用コンセプトの提案を行う。

2 GPS アウテージの現状と海外動向

従来の地上無線航法装置は、国土交通省航空局が自ら整備・運用してきたことから、サービスプロバイダの責任で装置の監視が行われてきた。一方、GNSS を用いた衛星航法システムは、地上無線航法に代わる新たな航法システムとして利用が増加しているものの、必ずしもサービスプロバイダによる GNSS の監視が実施されているわけではない。

このような中、2017 年の ICAO 航法システムパネル (NSP) において、国際航空運送協会 (IATA: International Air Transport Association) から GPS アウテージに関するパイロットレポートが多数報告され、プロバイダ側への解決が求められた。この中には日本の運航者が海外で受けた GPS アウテージも含まれている。

我が国においても運航者から実際に GPS アウテージの相談を受けた経験がある。しかしながら、報告を受けた頃には、電波干渉など GPS アウテージ発生時にしか判明できない環境の変化などもあり、原因特定に至るには困難な状況にある。



そのため、我が国の運航者からは飛行中に GPS アウテージが発生した場合の原因究明が要望されている。

一方、ICAO は GNSS 利用サービスの導入に際して、サービスプロバイダによるサービス状態の監視を求め、併せて GNSS の欠点でもある電波干渉に対する脆弱性についても対策が必要として、GNSS マニュアルの改定を行っているところである。

GNSS を用いた航法が主流となっている欧米での動向を表 1 に示す。米国は GPS の信頼性や電波干渉の観点から、欧州はコア衛星の性能評価や性能劣化の要因となりえる宇宙天気の影響、航空機での GPS アウテージの統計など多方面に渡り GNSS 監視を実施していることがわかる。我が国における産学官の長期計画 CARATS の施策 EN-7(全飛行フェーズでの衛星航法サービスの提供)において「GNSS 性能監視」を掲げ、安全な衛星航法の提供を目指す取り組みを行っている。

3 我が国の GNSS 監視の要件(提案)

航空局の施策及び運航者からの要望に加え、海外動向を踏まえた我が国の GNSS 監視の要件を図 1 のように定め[3]、大きく次の 2 点が重要と考えた。

- ① 日本全域での航空機ユーザが可視可能な GNSS を監視するために、GNSS の信号品質を監視する受信機及び GNSS への干渉を観測するための波形観測装置を設置する
- ② 飛行中の GPS アウテージを検知するために航空機からの情報を取得するとともにアウテージの原因を特定する

なお、航空機が GPS アウテージに至るには、その要因として大きく 3 つに大別できる。

- 1)電波干渉等の電波環境の問題
 - 2)衛星故障や衛星配置による問題
 - 3)アビオニクス故障など航空機側の問題
- GNSS 監視ではこれらの原因をリアルタイムに特定できる機能を考える。

3.1 航空機から放送される情報

航空機からの情報については、SSR Mode-S 拡張スキッタで放送される航空機従属監視装置（ADS-B：Automatic Dependent Surveillance - Broadcast）を用いることとした。ADS-B とは航空機に搭載される機能であり、地上の SSR からの質問信号なしに、自ら監視情報（機体の識別・位置速度・高度・姿勢・航法性能・設定情報等）を一括送信するものである。

表 1 欧米における GNSS 監視の現状

| | |
|----|---|
| 米国 | GPS 又は SBAS を使用した場合の航法性能を監視 |
| | 毎日の性能を Web で公開し毎月の評価として解析報告書を提供 |
| | GPS の信頼性、精度解析、宇宙天気による影響、放送歴と精密暦の比較等の評価 |
| | 電波干渉に対する干渉源の特定と報告（飛行検査機で方向探知及び車載やポータブルでの測定） |
| 欧州 | コア衛星(GPS や Galileo)の監視及び記録 |
| | SBAS の性能監視及び評価 |
| | 低緯度(アフリカ)から高緯度(北欧)にわたる宇宙天気による GNSS への影響評価 |
| | GPS アウテージ発生回数の統計 |

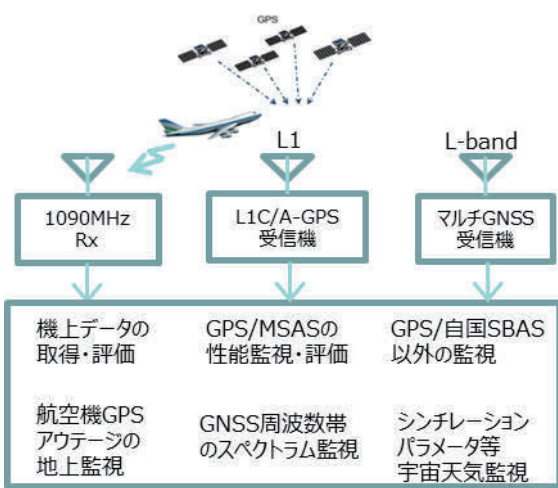


図1 我が国のGNSS監視の要件

表2 NUC/NICとHPLの関係

| NUC | NIC | HPL |
|-----|-----|--------------------|
| 9 | 11 | < 7.5 m |
| 8 | 10 | < 25 m |
| 7 | 9 | < 74 m |
| | 8 | < 0.1 NM (185 m) |
| 6 | 7 | < 0.2 NM (370 m) |
| 5 | 6 | < 0.3 NM (556 m) |
| | 5 | < 0.5 NM (926 m) |
| 4 | | 5 |
| 3 | 4 | < 2 NM (3,704 km) |
| 2 | 3 | < 4 NM (7,408 km) |
| | 2 | < 8 NM (14,816 km) |
| | 1 | < 10 NM (18.52 km) |
| 1 | | < 20 NM (37.04 km) |
| 0 | 0 | >20 NM or Unknown |

航空機間において、お互いの位置を把握するのに使用されているほか、アジア・オーストラリア・欧州・米国の特定の空域を飛行する際には、この機能の搭載義務化が実施又は計画されており、ADS-Bはレーダーに代わる航空機の監視装置として様々な側面で有益に利用されている。

我々が着目したのは、ADS-BデータのうちNUC(Navigation Uncertainty Category), NIC(Navigation Integrity Category)と呼ばれる指標値である。ここではこれら

をまとめて「航法性能情報」と呼ぶことにする。この航法性能情報を取得することで、実際に飛行中の各航空機における航法性能を知ることができる。すなわち各航空機におけるGNSS環境が正常か否かを判断することができる[4]。

NUC, NICと水平保護レベル(HPL)の関係を表2に示す。保護レベルとは、ユーザ位置における測位誤差の信頼限界を示したものであり、機上においてGNSSが正常に利用できていればABAS(Aircraft-Based Augmentation System)機(GPS+RAIM機能)においては、NUCが5~7, NICが6~8程度、またSBAS(Satellite-Based Augmentation System)機においては、NICが8以上を示すことが多い。このように、NUC/NIC値は大きいほど航法性能が高いことを示す。

仮に、機上においてGPSアウテージになった場合は、機上の航法センサーがDME/DMEやVOR/DMEに切り替わるため、NUC値が5以下(NIC値が5以下)に低下する。このように、GPSアウテージの監視には、各航空機における航法性能情報の劣化を監視することで可能となる。

3.2 GPSアウテージの3要因を識別

GPSアウテージに至る3つの要因を切り分けるために、各航空機における航法性能を地上で推定する。この推定は、その時刻の航空機の位置及び姿勢から全てのGNSSを正常に受信できて航法に使用できた場合のNUC/NICを算出したものである[4]。

その後、地上推定値と実際に航空機から取得した航法性能情報を比較することで、その値が同一であれば航空機のGNSS環境は正常といえ、GNSSを用いた航法を適切に提供できていると言える。

また、地上推定値及び航法性能情報の両方が同一に劣化してGPSアウテージに至る場合は、GNSSの故障や配置によるものと特定できる。

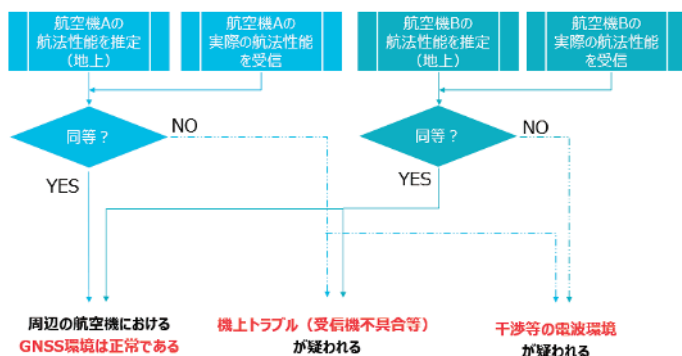


図2 GPS アウテージ 3 要件の切り分けのためのアルゴリズム

一方で、地上推定値とは異なり、航法性能情報のみには劣化がみられる場合は、当該航空機周辺の電波干渉によるものか、航空機の機材故障の何れかによるものである。これを識別するには周辺の航空機と比較する必要がある。周辺航空機においても同様の地上推定値と航法性能情報を比較することで、両方の航空機で同じ傾向が見られれば共通の要因である電波干渉等の電波環境が疑わしい。逆に片方の航空機のみには差異が生じるようであれば当該航空機の機材故障の可能性が高い。

これらをアルゴリズムとしたものが図2である。次章で、実際に取得したデータをもとにその有効性を評価する。

4 実データによる有効性評価

当所の試作システムにおいて、実際に長期間データを取得し評価した中で特徴的な事例を取り上げる。図3は2017年8月に取得した航空機の情報から、2機の航空機の軌跡を表したものである。いずれも同時時間帯に羽田空港に向け降下中の機体である。

まず、当所（東京）に設置されたモニタ局で得られた航空機の位置及び高度、観測されたGNSS情報を用い、それぞれの機体の航法性能を推定したものが図4である。航空機-Aにおいてはこの時間帯において NUC=7 であるのに対し、航空

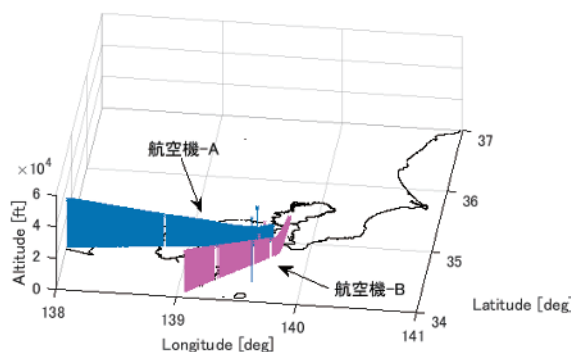


図3 羽田空港着陸機の軌跡

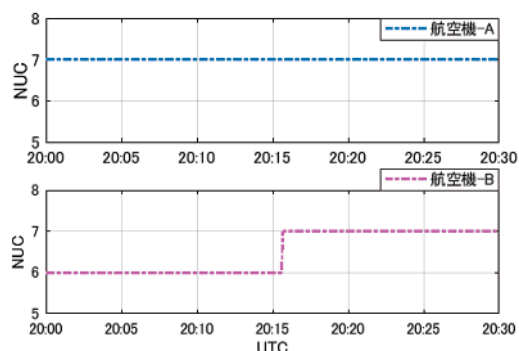


図4 地上で算出した NUC 推定値

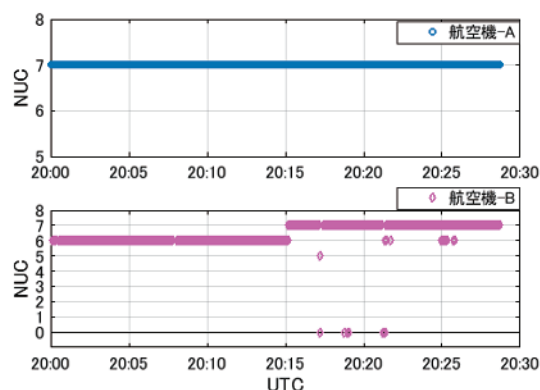


図5 実際に航空機から放送された NUC 値

機-B は NUC=6 から 7 へ推移している。これは航空機-B において GNSS の可視衛星数の変化に伴い航法性能が変化するものと予想されたためである。一方、図5は実際に航空機が放送した、機上における NUC 値を示したものである。

NUC 値は平均して 1 秒間に 1 回程度取

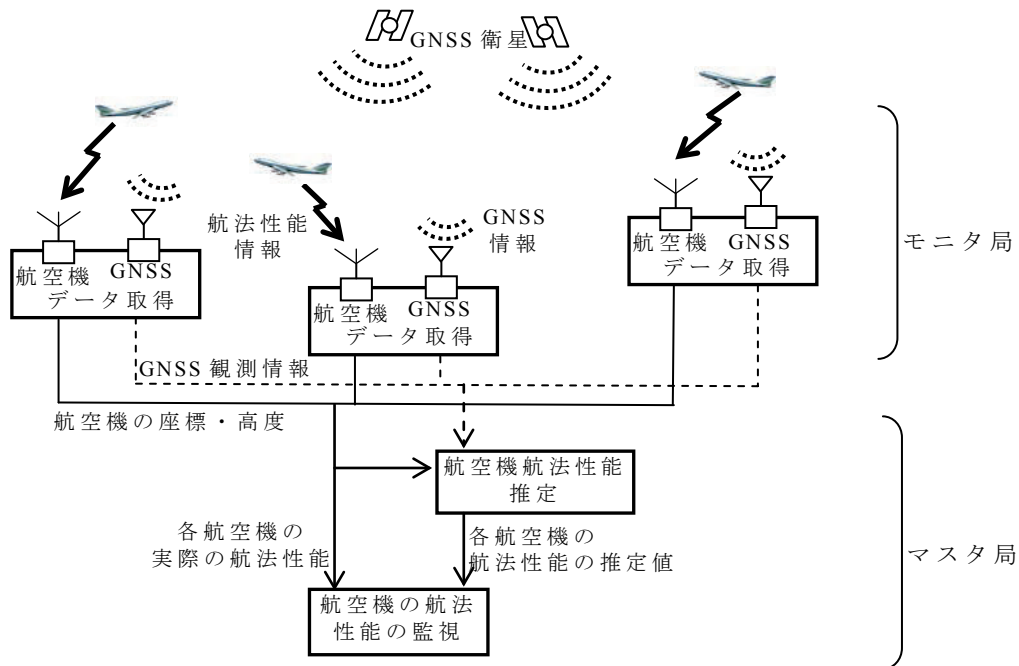


図6 GNSS監視のシステム系統

得できている。これを図4のNUC推定値と比較すると、航空機-Aから放送されたNUC値はこの時間帯においては常時NUC=7であることを報告しており、これは推定値と同じ値であることが確認できる。航空機-Bにおいては20:15以前NUC=6を放送している。この値は推定値同様であり正常であると判断できる。その後、20:15過ぎにNUC=7が放送されている。この変化も推定値において明らかとされており正常と考えられる。

しかしながら、20:17を少し過ぎた辺りから、実際のNUC値がNUC=5と劣化し、更には度々NUC=0を放送している。前述したとおり通常NUCは6~7程度を示すことが多く、推定値においてはNUC=7と予想されていることから、NUC=7からNUC=0へと変化することは通常起こりえない事象である。これは、機上において突然GPSが不使用となった際に起こる事象と一致している。

以上から、航空機-AのGNSS航法は正常であることから、GNSS衛星は正常であったと判断できる。併せて、羽田空港

周辺のGNSSにおける電波環境も正常であったと考えられる。これらの結果、航空機-Bのみで発生したNUCの低下については、20:17辺りから機上装置の不具合が原因でGPSアウトエージを引き起こしたものと考えられる。

5 GNSS監視の運用コンセプト提案

GNSS監視のシステム系統を図6に示す。このシステムの活用ポイントは、GNSSを必須とするような空港の着陸フェーズにおいて高い監視能力を確保できるとともに、航空機からGPSアウトエージの報告をうけた際に即座にその原因を知らせることができることである。また、GNSSに対する電波干渉を早期発見し干渉源を排除するためにも役立つ。

そこで、我が国の運用コンセプトを次のように提案する。

パイロットレポートだけに頼らず、サービスプロバイダ自ら各航空機の航法性能を監視し、航法性能劣化が認められた際は、その原因を自動で識別し、プロバイダ関係者及び運航者に知らせると共

に情報提供を図る。

電波干渉等の電波環境と認められる場合は、状況が長期化する可能性が高いことから、運航者・管制官に情報提供を行うことで、運航・運用方針検討の材料として用いられる。なお、電波干渉の場合は干渉源の方向を推定し管轄省庁である総務省に報告する。

機体搭載機器の故障と認められる場合は、当該運航者へ情報を提供することで、運航者が整備計画を検討する情報として用いられる。

GNSS コア衛星の不具合と認められた場合は、NOTAM 等で運航者に周知することで、運航・運用方針検討の材料として用いられる。

6 まとめ

1-2 章では GPS アウテージの現状と海外での動向を紹介した。3 章では我が国の GNSS 監視の要件を定め、GNSS の信号品質を監視するとともに、航空機からの情報を取り込む機能を考えた。また、航法性能情報を取得することで飛行中の GPS アウテージを検出することができ、更には地上での推定値と比較することでアウテージの原因を特定する機能を考えた。4 章では実データを用いて本装置の有効性を示した。5 章ではこれら GNSS 監視の機能をどのように活用していけばよいか運用コンセプトを提案した。

航空機の航法性能情報を用いて GNSS 監視する機能は、世界で例を見ないものであり、航空機から放送されるデータを有効に活用する日本独自の GNSS 監視となる。同時に、運航者からの要望である「GPS アウテージの原因特定」についても、即座に識別し運航者へ伝えることが可能となる。

このように、当所が提案する GNSS 監視は、プロバイダにおける GNSS 性能監視のみならず、管制官や運航者が GPS ア

ウテージの報告を受けた際の運用方針を立てる際にも役立てることができる。

本研究の成果の一部は、現在航空局が整備を進めている GNSS 性能予測・監視装置に導入される予定である。

我が国においては、現時点において全ての航空機に ADS-B が搭載されているわけではないが、今後搭載率が上がることが予想されるため、提案する GNSS 監視が、安全で安定した PBN 運航に供することを期待する。

謝辞

GNSS 監視における度重なる議論に協力いただいた航空局及び関係各位、また日頃から運航における GNSS 不具合についてご相談ご協力いただいている運航各社様に感謝いたします。

参考文献

- [1] 国土交通省航空局，“RNAV 航行の許可基準及び審査要領，”サーキュラー，No.5-017，平成 19 年 6 月 7 日制定，平成 27 年 6 月 17 日一部改正。
- [2] International Civil Aviation Organization. “Global Navigation Satellite System Manual (Doc9849),” 2013.
- [3] 麻生貴広 他，“航空機の航法のための GNSS モニタリングの仕組み，”GPS/GNSS シンポジウム，2016.
- [4] T. Aso, “Assessment of the Ground Monitoring for Onboard ABAS Performance,” KGS Conference, 2016.