

## 航空機の安全運航に貢献する 衛星航法予測・監視装置

GNSS Prediction and Monitoring Equipment Ensuring Safe Aircraft Operation

半田 浩規 HANDA Hironori 小林 哲也 KOBAYASHI Tetsuya 渡辺 隆宏 WATANABE Takahiro

民間航空機の将来的な交通量の増大に備えて、効率的な管理を実現するために、衛星情報を用いてリアルタイムに航空機の正確な位置を把握して航行する衛星航法の性能向上が望まれている。

東芝インフラシステムズ(株)は、衛星情報を収集・計算して、衛星航法の利用可否を予測・監視するGPM-17型衛星航法予測・監視装置を開発し、国土交通省航空局(以下、航空局と略記)に納入した。開発した装置は、既存装置に比べて予測時の空間・時間分解能を高めることで、衛星航法の利用可能範囲を拡大した。また、運航者の飛行計画に対して衛星航法の利用可否を自動的に判定する新たなサービスを提供することで、運航者の作業効率を向上させるとともに、人的ミスを排除し、航空機の安全運航に貢献している。

In order to manage air traffic more efficiently, particularly in view of the anticipated increase in the volume of civil aviation traffic in the near future, there is a pressing need to improve the performance of global navigation satellite systems (GNSS) for accurate tracking of the positions of aircraft in real time.

Toshiba Infrastructure Systems & Solutions Corporation has developed the GPM-17 GNSS prediction and monitoring equipment, which is capable of predicting the integrity and availability performance of GNSS based on satellite information, and delivered it to the Japan Civil Aviation Bureau. The newly developed equipment makes it possible to expand the range of applicability of GNSS prediction by enhancing the time and distance resolution compared with those of conventional systems. This equipment also offers a new service to automatically inform airline operators about the availability of GNSS on routes specified in their aircraft flight plans. As a result of these features, the GPM-17 GNSS prediction and monitoring equipment is contributing to improved efficiency of airline operators and safe aircraft operation by eliminating human error.

### 1. まえがき

民間航空機の航行の安全は、様々な航空管制システムとそれらを用いた航空交通管理の下に成り立っている。年々増大する民間航空機の交通量に対応するため、航空管制システムの機能・性能の向上により、安全を担保しながら航空交通管理の効率化が図られてきた。

近年、地上設備からの電波を受信して発信源に向けて飛行する従来の航行方式から、GPS(全地球測位システム)などで自己位置を把握し、地上設備の配置に影響されない航路を設定して飛行するRNAV(Area Navigation: 広域航法)航行方式(以下、RNAV航行と略記)に移行しつつある。RNAV航行で航行距離が短くなり、航行時間の短縮や燃料消費量の削減による環境への負荷軽減も実現できる。

RNAV航行の中でも最も精度の高い方式は、航法衛星を利用して正確な位置と時間を把握するGNSS(Global Navigation Satellite System: 全地球航法衛星システム)を用いた航行方式(衛星航法)であり、これによる航空機の運航が国際的に正式運用されることとなった<sup>(1)</sup>。

東芝インフラシステムズ(株)は、航空機が衛星航法を利用する上で必須となる、衛星航法の利用可否の予測結果などを提供するGPM-17型衛星航法予測・監視装置(以下GPM装置)を開発し、2020年9月に航空局に納入した。

ここでは、衛星航法の現状の課題と、これを解決するGPM装置の特長について述べる。

### 2. 衛星航法の課題とGPM装置開発の意義

衛星航法で航空機が飛行する場合、空域ごとに定められた衛星航法の利用可否の判定基準を満足する必要がある。そのため、航空機は受信機で算出した自己位置の精度を常に監視している。判定基準である性能要件の一つに、HAL(Horizontal Alert Limit: 水平航法限界)という衛星航法における水平方向の位置誤差の許容値がある。一方、航空機の受信機で算出した自己位置の水平方向誤差の信頼限界(保護レベル)を、HPL(Horizontal Protection Level: 水平方向保護レベル)という。HPLがHALより大きい場合は誤差の許容値を超えるため、その航空路を衛星航法で飛行することができない(図1)。

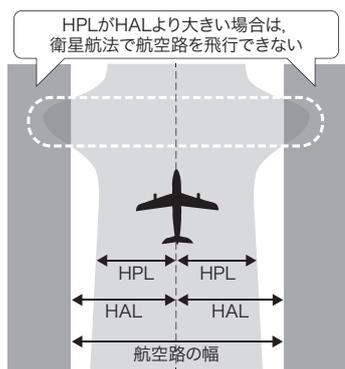


図1. 衛星航法の利用可否の判定基準

航空機の受信機で算出したHPLが、満たすべきHALを超える場合には、衛星航法を利用して航空路を飛行することができない。

Coverage criteria for satellite navigation system

HPLは、航空機が搭載する受信機が持つ衛星航法の信頼性を高める二つの機能、すなわち、①5台以上のGPSのデータを用いて航法衛星の故障を検出する機能であるFD (Fault Detection)、及び②6台以上のGPSのデータを用いて、故障した航法衛星を特定して除外することで、正常測位を継続する機能であるFDE (Fault Detection and Exclusion)を用いて算出される。この結果に基づいて衛星航法の利用可否を判定する機能を、RAIM (Receiver Autonomous Integrity Monitoring: 受信機による完全性の自律的監視)という<sup>(1)</sup>。航法衛星は、地球の周回周期が決まっており、自身の衛星軌道情報を放送しているので、航法衛星の将来の軌道位置は予測できる。この予測結果を基にRAIMの結果を予測することを、RAIM予測という。RAIM予測の結果と、航空機が出発地から目的地まで飛行する予定経路及び各飛行地点を通過する予定時刻をまとめた飛行計画(フライトプラン)とを照合することで、飛行計画に対して衛星航法の利用可否を確認できる。

衛星航法を利用する場合、航空機の運航者は、事前にRAIM予測による衛星航法の利用可否を確認することが航空局の通達「GPSを計器飛行方式に使用する運航の実施基準」で求められているため、RAIM予測結果の提供を受けることが必須となる。我が国におけるRAIM予測サービスは、国内の空域を対象にして航空局がNOTAM (Notice to Airmen)<sup>(注1)</sup>及びWeb上で提供してきた。しかし、RAIM予測結果の性能向上や、飛行計画に対する衛星航法の利用可否の確認に人手を介さない仕組みの実現など、RAIM予測サービスの改善が望まれていた。

(注1) 航空機の安全運航のために、飛行場・運航業務・軍事演習などの設定・状態・変更などについて関係機関が出す航空情報の一種。

また、GNSSを用いた航空交通管理に移行しつつある状況において、GNSSが必要な性能を満足しているかどうかをリアルタイムで確認するGNSS監視への要求が高まっている。更に、RAIM予測結果をリアルタイムのRAIM判定結果と比較することで、RAIM予測に異常があることを検知して警告する通知機能の実現が望まれていた。

このような要望に応えるため、当社は、RAIM予測の性能向上を図り、かつ航空機の衛星航法の利用可否確認を自動化するとともに、GNSS監視を行うGPM装置を開発した。

### 3. GPM装置

#### 3.1 概要

GPM装置のシステム概要を、図2に示す。GPM装置は、国内の空域に対して十分な情報を得るために、複数地点に受信局を設置して、直接受信した衛星情報、及び航空機が観測した衛星情報(航法性能情報)を取得する。受信局で取得した情報を中央局に送信し、中央局で集約して処理することでRAIM予測結果やGNSS監視結果を生成し、RAIM予測結果と航空路の情報などから航空路ごとの衛星航法の利用可否を判定して、RAIM予測サービスとしてWeb上で提供する(図3)。また、NOTAM源泉データを生成して航空情報センターに配信する。配信されたNOTAM源泉データは、航空情報センターでNOTAMとして正式に発行される。

GPM装置による衛星航法の運用の概略を、図4に示す。運航者は、RAIM予測サービスやNOTAMを参照するだけでなく飛行計画をGPM装置に送信することで、当該飛行計画における衛星航法の利用可否の判定結果を得て、事前確認に利用できる。

また、GPM装置の運用者は、RAIM予測結果やGNSS監視結果の詳細及び過去データを確認できる。これらを基

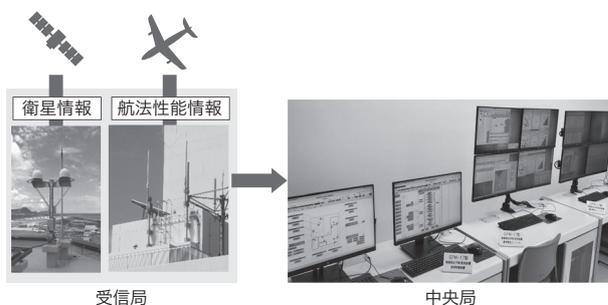


図2. GPM装置の概要

複数地点に受信局を設置して、衛星情報及び航法性能情報を収集し、国内のエリアに対してRAIM予測やGNSS監視を行う。

Outline of GNSS prediction and monitoring equipment



図3. RAIM 予測サービス

定められた判定基準を満足しないエリアを、衛星航法利用不可として、赤色で表示している。

Example of receiver autonomous integrity monitoring (RAIM) service display

に、問題発生事象の原因調査や、記録データの解析、調査機関への情報提供などを行うこと、及び一定期間の統計解析結果レポートの自動作成機能を用いてGNSS性能の推移を確認することができる。

更に、管制官などの運用者は、GNSS性能のリアルタイム監視結果について航空機上の運航者と同様のデータを持つので、問題発生時などに運航者と意識を合わせることができる。

### 3.2 RAIM 予測性能の向上

GPM装置は、従来のRAIM予測サービスよりも、予測時の空間メッシュや時間間隔を細分化して、安全が担保できる範囲をより細かく判定することで、衛星航法で航空機が飛行できない空間・時間エリアの縮小を図っている(図5)。

また、処理速度も向上させ、予測結果出力までの所要時間を短縮した。これにより、予告なく発生した衛星停止などに対して、最新の衛星情報を反映したRAIM再予測処理をより早く実行し、その結果を迅速に提供できるようになった。

### 3.3 衛星航法の利用可否確認の効率化

GPM装置は、運航者から一括送信された飛行計画に基づいて、衛星航法の利用可否を自動的に判定し、出力する。従来は飛行計画ごとにNOTAMやWeb上のRAIM予測結果を用いて人が照合していた作業を、この機能で自動化し、作業効率の向上と人的ミスの防止が実現できる。

### 3.4 GNSS 監視機能

GPM装置は、衛星情報や航法性能情報を基に、GNSSの性能や航空機周辺を含む外部からの電波干渉などをリアルタイムで監視し、GNSS監視結果として表示する(図6)。

衛星情報に何らかの異常が見られる場合に、このGNSS監視機能を用いて原因を究明できる。まず、受信局に設置した受信機による狭帯域のスペクトラムや、航法性能情報を基に、広域エリアにおけるGNSSの性能を監視することで、電波干渉による影響を確認できる。また、航法衛星の

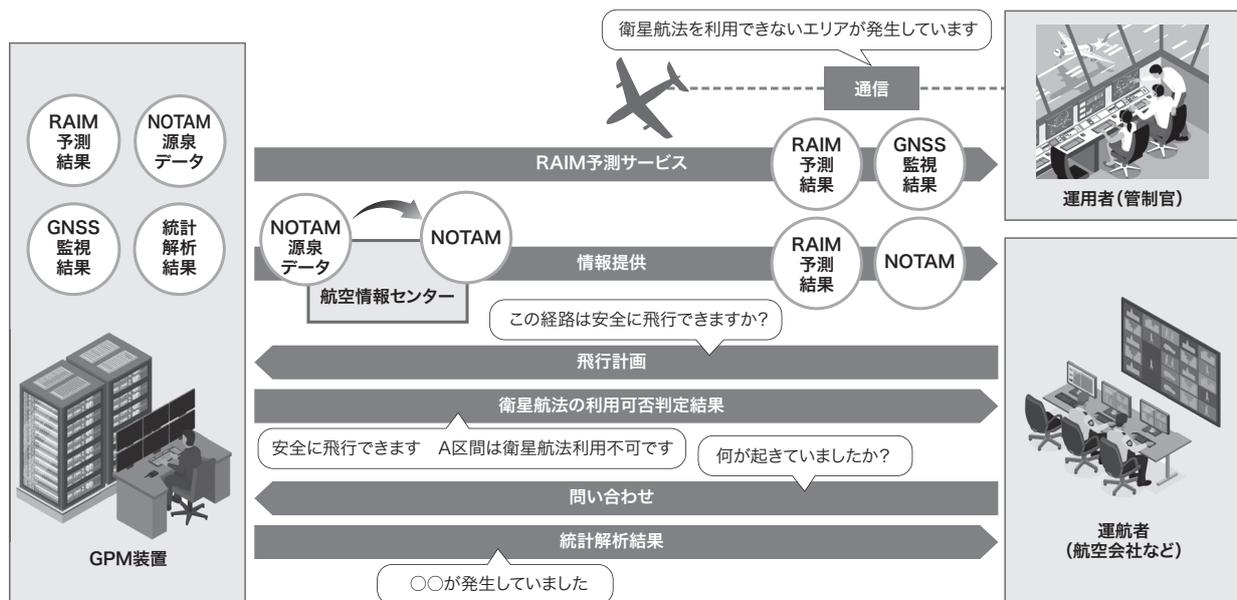


図4. GPM 装置による衛星航法の運用の概要

RAIM 予測サービスやNOTAM 源泉データの情報を運航者や運用者に提供するとともに、運航者から提示された飛行計画に対して衛星航法の利用可否を判定し、その結果を提供する。

Overview of operation of GNSS prediction and monitoring equipment

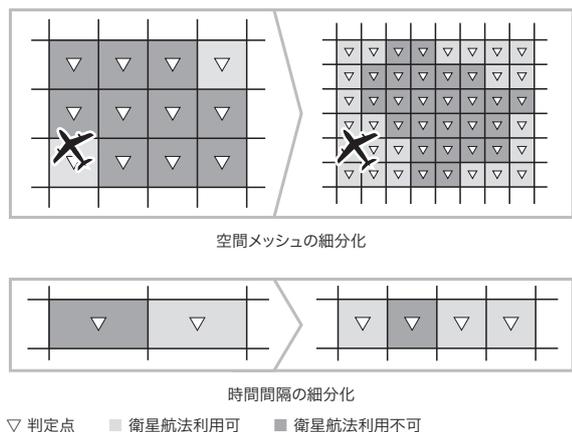


図5. 衛星航法利用可能範囲の拡大

RAIM予測時の空間メッシュと時間間隔を細分化することで、衛星航法が利用できないエリアの縮小を図る。

Expansion of range of RAIM service

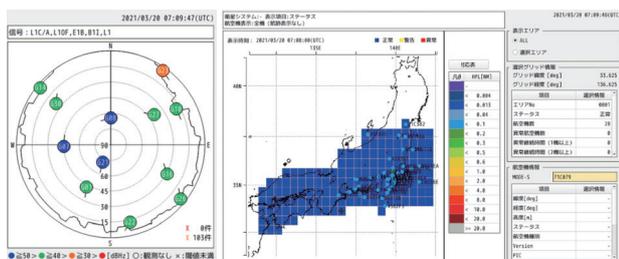


図6. GNSS監視機能

受信地点からの衛星位置の観測結果(左図)や、航法性能情報の航空機位置への表示(右図)などにより、GNSSの性能や航空機周辺を含む外部からの電波干渉などについて、リアルタイムで監視できる。

Example of GNSS monitoring display

異常・正常状態を監視しており、突発的な航法衛星の異常状態を確認できる。更に、太陽活動など宇宙天気の影響による電波環境の擾乱(じょうらん)の影響で、衛星情報に異常が発生している場合には、リアルタイムのRAIM判定結果とRAIM予測結果との差異からこれを検知し、RAIM予測結果の異常をGPM装置の運用者に警告・通知できる。

GNSSによる運航に問題が発生した場合、運航者などにリアルタイムのRAIM判定結果だけでなく、蓄積したRAIM予測・判定結果を提供して、過去に遡った分析に活用できる。

#### 4. あとがき

GPM装置は、今後、航空機の主たる運航方式となる衛星航法に必要な不可欠なRAIM予測機能の性能を向上させ、衛星航法を用いた安全な航法を利用できる機会を増加させた。また、航空機の飛行計画に対する衛星航法の利用可否確認の効率化を図ることにより、人的ミスを防止した。更に、GNSS監視機能を提供することで、運航者及び運用者の意思の疎通を図ることで、安全性の向上に寄与している。

今後、衛星航法には、LPV (Localizer Performance with Vertical Guidance) 進入方式やDFMC (Dual-Frequency Multi-Constellation) の適用が計画されており、それらの実現に向けた検討を引き続き行い、更なる航空機の安全運航に貢献していく。

#### 文献

- (1) ICAO. Doc 9849, Global Navigation Satellite System (GNSS) Manual, Third Edition. 2017, 120p.



半田 浩規 HANDA Hironori  
東芝インフラシステムズ(株)  
小向事業所 電波応用技術部  
Toshiba Infrastructure Systems & Solutions Corp.



小林 哲也 KOBAYASHI Tetsuya  
東芝インフラシステムズ(株)  
小向事業所 電波応用技術部  
Toshiba Infrastructure Systems & Solutions Corp.



渡辺 隆宏 WATANABE Takahiro  
東芝インフラシステムズ(株)  
小向事業所 電波応用技術部  
Toshiba Infrastructure Systems & Solutions Corp.