

10. 高精度な RAIM 予測に向けた提案

航法システム領域 ※麻生 貴広，坂井 丈泰，毛塚 敦，北村 光教

1 はじめに

航空機の航法は、NDBやVORなど従来の地上型無線航法から、GNSS（Global Navigation Satellite System：全世界的航法衛星システム）を用いた衛星航法に移行しつつある。GNSSのコア衛星として主にGPSが利用されているが、航空機の航法においてはコア衛星を補強するための、補強システムの併用が必要とされている[1]。エンルートから非精密進入で使用する補強システムには、機上型衛星航法補強システム（ABAS: Aircraft-based augmentation system）と静止衛星型衛星航法補強システム（SBAS: Satellite-based augmentation system）がある。ABASは機上のみで補強を行うものであり、多くの大型機で用いられている。ABASでは、「受信機による完全性の自律的監視（RAIM：Receiver autonomous integrity monitoring）」と呼ばれるGPS自身のインテグリティ監視を行う機能が広く用いられている。一方、SBASは静止衛星から補強情報を得るものであり、多くの中型～小型機で用いられている。補強情報が途絶えた場合に備えRAIM機能も有している。

RAIMはGPSを常時5機以上受信することにより、その冗長性からGPS自身の故障等を検出するものである（故障GPS衛星を特定し排除するFDE（Fault Detection and Exclusion）では6機以上が必要）。また、その性能はGPSの配置に大きく依存する。そのため、その時間と場所におけるGPSの数と配置を考慮したうえで、飛行しようとするサービス（RNAV/RNPの種別毎の閾値）を満足す

るかを調べておく必要があり、利用可能性（RAIM予測）の確認と呼ばれる。本邦の通達[2]においては、飛行前計画の段階で、ABAS（RAIM）の利用可能性を確認することが運航者に求められており、利用可能性が一定のレベルにないと予測される場合は、フライトプランを変更すべきとされている。

国土交通省航空局は、利用可能性を事前に確認するための予測情報として、日本のFIRを対象に「NOTAM」及び「RAIM予測サービス（Web）」を提供してきたところである[3]。一方、RAIM予測サービスが提供され始めた頃から昨年までは、GPSを補助的な航法装置としての使用に限られてきたが、本年よりGPSを計器飛行方式における主航法装置としての使用が認められた[4]。このようにGPSを航法に使用する環境が変化してきたことにより、運航者からは更に精度のよいRAIM予測の提供が期待されてきた。そこで国土交通省航空局が推進する長期計画CARATSにおいて、「RAIM予測最適化、GNSS性能監視」の導入が意思決定されたところである[5]。そこで本研究所においては、RAIM予測の現状を整理するとともに、より実運航に即した精度の良いRAIM予測手法について検討した。

本稿では、初めにRAIM予測の現状を述べる。次に、運航者及び管制官へのRAIMに関するヒアリング結果を示し現状の課題を述べる。最後に、高精度なRAIM予測について提案する。

2 NOTAM及びRAIM予測サービスの現状

国土交通省航空局が提供するRAIMに

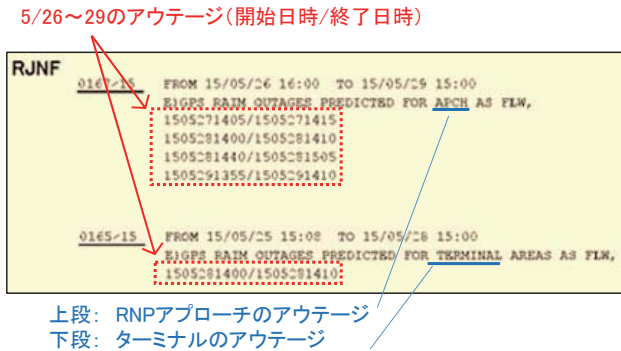


図 1 RAIM NOTAM <https://aisjapan.mlit.go.jp/>

関する NOTAM は、航法精度に従いエンルート・ターミナル・RNP アプローチ・RNP AR に分かれています。具体的な例を図 1 に示す。対象空港が RJNF（福井空港）であり、上段が RNP アプローチに関する、下段がターミナルに関する RAIM のアウトエージ（RAIM の利用不可）の予測時間帯が示されている。それぞれ翌日から、今後 3 日間の予測であり、YYMMDDhhmm/YYMMDDhhmm

（アウトエージの開始日時/終了日時）で示されている。図 1 の RNP アプローチでは 5/27 に 1 回、5/28 に 2 回、5/29 に 1 回、計 4 回のアウトエージが予測されていることを示している。但し、NOTAM という性質上、如何なる機体であっても担保する必要があることから、航法性能の低い航空機を前提に算出されている。一方、図 2 に示す Web で公開されている RAIM 予測サービスは、機体にあったパラメータを設定することで、機体性能に応じたアウトエージの時間を知ることができる。これらの計算における概略を表 1 に示す。

課題としては、航法精度の指定された RNAV/RNP の空域及び進入方式の増加に伴い、RAIM NOTAM やアウトエージの件数が飛躍的に増加している事が挙げられる。

3 運航者及び管制官へのヒアリング RAIM NOTAM 及び予測サービスの使わ

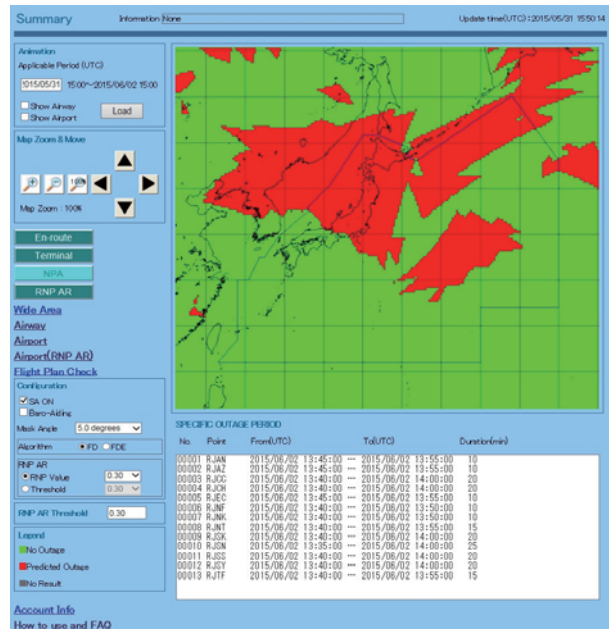


図 2 RAIM 予測サービス <http://raim-japan.mlit.go.jp/>

表 1 RAIM 予測計算の概略

| 基本構成 | |
|--------------------|--|
| 対象期間 | 1 日後～3 日後の予測 |
| 計算間隔 | 5 分刻み(RNP AR 以外) 1 分刻み(RNP AR) |
| アウトエージ期間 | 検出した時刻±5 分のマージン (RNP AR 以外) |
| 更新間隔 | 1 日 1 回 UTC15 時 |
| NOTAM | |
| 使用データ | GPS の概略位置 |
| パラメータ | SA=ON(AR 以外)/OFF(AR) Mask=5[deg] RAIM=FD |
| Web | |
| 使用データ | GPS の概略位置 |
| パラメータ (自由に設定可能) | SA=ON/OFF Mask=2/5[deg] RAIM=FD/FDE RNP=0.1~0.3/ 1/ 5 |

れ方及び要望について、大型機、中型～小型機の運航者にヒアリングを実施した。多岐にわたるコメントを頂いたが、ここでは代表的な結果を示す（まとめは付録に示す）。

3.1 大型機の運航者

運航管理者は、1日1回早朝に RAIM NOTAM をチェックし当日分のフライトプランに反映している。国内線については航空局提供の RAIM NOTAM を、国際線については、当該国が RAIM NOTAM を正式に提供している空港（ドイツ、韓国、フィンランド等）以外は、民間の RAIM 予測サービスを利用している。

1日に何百便ものフライトプランを立てる必要があり、人手がかかるため国内/国際線ともに航法精度の面で航法性能の低い機体をベースに RAIM 予測結果を反映している。RAIM 予測のアウテージが確認された場合の対応としては、まずターミナル及びアプローチに関しては、GNSS 以外の航法センサーで可能であればそのままの経路で、困難な場合はコンベンショナルなルートにプランを変更する。一方、GNSS しか認められない航法であれば、アウテージのない時間帯に出発を遅らせることで対応している。その理由としては、香港、シンガポール、台北、大連、広州等（GNSS しか設定されていない空港）では、他のセンサーでは航法不可となっており、レーダー誘導を求めたとしても GNSS 対応機を優先として待たされるためである。次に、エンルートに関しては、アウテージが発生した場合、RNAV の飛行高度を継続できなくなるため、燃料を多めに搭載しているのが現状である。

RAIM 予測の提供に対する要望としては、人手を介さないシステム連携が望ましい。運航者側からアクセスが必要になる Web 形式では対応しづらいところがある。例えば、フライトプランを一括送信し、アウテージの有無を返すような機能があればミス防止の観点からも有益と考える。

3.2 中型機及び小型機の運航者

中型機やビジネスジェットにおいては、主に SBAS を使用しており、過去に日本の SBAS (MSAS) の NOTAM は出たこと

ないため飛行できなかった事例はない。一方、ヘリは RAIM (FDE 機能) を有しているものが多いため、フライトプランをファイルする前に RAIM 予測を確認している。但し、ヘリは限られたエリアしか飛行しないので、航空局の提供する Web から RAIM アウテージ時間とエリアを確認することが多い。対応としては、1日分の RAIM を確認しその日の運航可否を決定しており、管理者がサテライト端末からフライトプランを作成する流れである。

アウテージがあれば代替を考えることが基本であるものの、ドクターヘリに関しては、救急車とヘリのランデブー地点（例えば学校など）に VOR/DME など無いことから、GNSS 無しでは成り立たない。そのため GNSS の使用の可否は極めて重要となる。

RAIM 予測の提供に対する要望として、現状のシステムで特段不都合は感じていないが、GPS の配置や SBAS の運用状況など更なる情報提供があれば望ましい。

3.3 管制官

RNP 運航において、管制上は航空会社毎の機種毎に全機が対応しないと RNP AR アプローチの許可を出していない。RAIM NOTAM は確認するが、運航者がフライトプラン変更で対応するのが前提のため管制運用上では現在使用されない。

3.4 課題

ヒアリングの結果を踏まえ2点を課題として整理した。

- ① 現状の NOTAM や Web 予測サービスは1日1回と更新頻度が低く、GPS の概略位置を用いた長期予測であることから、不確定要素が多く時間的なマージンが多く含まれている。また大型機の運航者においても、機体毎の航法性能を十分に生かし切れていない。
- ② 現状の提供方法では、運航者が膨大な NOTAM や Web から該当する場所・時間を探すなど人手を介す必要

があるため、利便性が損なわれている。

4 高精度な RAIM 予測システムの提案

3.4 の課題①，②が解決できれば，効率的な経路の利用可能性が向上する。そこで，人手を介さない高精度で高頻度の RAIM 予測システムを検討した。

4.1 システムにおける課題の解決策

課題①については，GPS が2時間毎に放送している詳細情報及び RAIM 予測アルゴリズムの向上により，計算間隔を縮めるとともに，提供する更新頻度を上げることで時間的なマージンを削除できる。また，機体毎の性能に合わせたアウトエージを提供することで，RAIM 予測情報を最適化できる。

課題②については，フライトプランが一括送信された場合に，RAIM 予測システムに事前に登録されたデータベースか

ら，機体毎の性能パラメータを照合することで，即座にプラン上のアウトエージの有無を返信可能となる。仮にアウトエージ期間とプランが重なっている場合には，どの程度の遅延を考慮すれば避けられるか等の付加情報を提供すれば，更に利便性も向上する。これにより人手を介さないオンデマンドな提供システムが実現できる。

4.2 RAIM 予測アルゴリズムの向上

4.1 の高精度かつ高頻度を実現するには，計算処理能力を向上する必要がある。そこでアルゴリズムの改良を検討した。

図3に示す従来のアルゴリズムは，飛行しようとする日時及び座標，航空機のパラメータに従い，まず観測される GPS の数を求める。次に水平保護レベル（HPL）を求めたうえで，最後に要求される航法精度（RNP 値）と比較を行うことで RAIM アウトエージの有無を検出していた。但し，このアルゴリズムでは，最後まで計算を行わなければ結果が分からないという欠点がある。

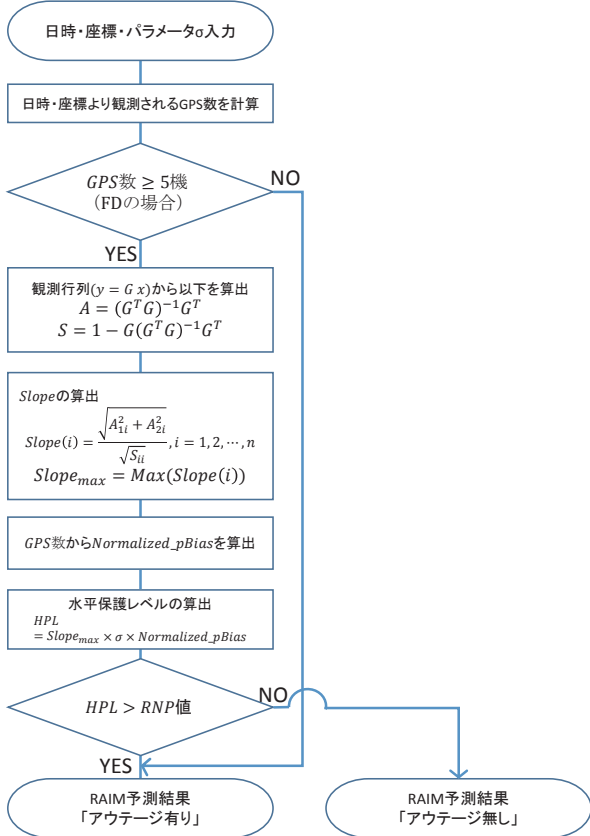


図3 従来の RAIM アウトエージ計算アルゴリズム

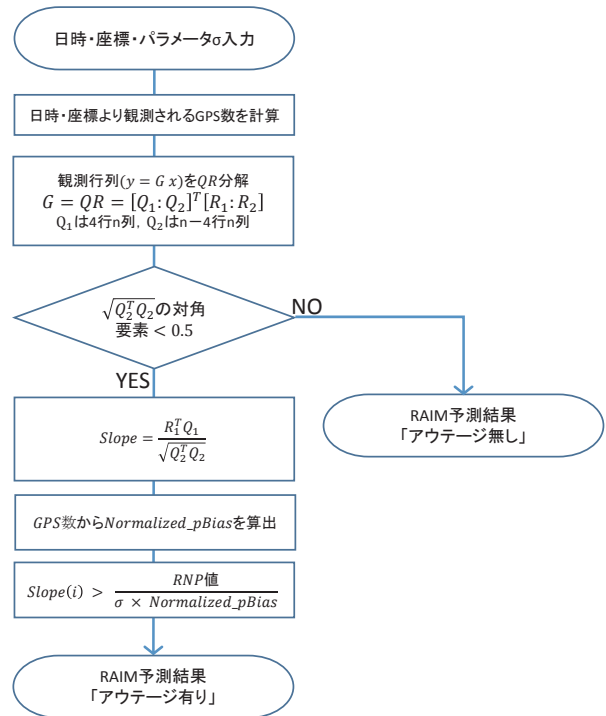


図4 提案の RAIM アウトエージ計算アルゴリズム

一方、我々の関心事はアウトージの有無であり、HPLの値そのものではない。そこで、図4に示す提案法では、計算の初段において、アウトージになる可能性のないものは計算から排除するアルゴリズムを考えた[6]。図1からも分かるとおり、アウトージの時間は多くない。そのためほとんどの計算において、初段の判別式において「RAIMアウトージ無し」と判別することができる。この手法を用いることで処理時間を1/4程度に改善することができる。

5 まとめ

本邦においてRAIM予測情報が提供され始めた頃はGPSが補助的使用に限られており、予測情報やNOTAMにおいても安全マージンを設けて提供してきた。その後、GPSを主計器とした評価運用を経て運航上問題ないことが確認された。そして今年、GPSが主計器として利用することが本格的に認められる運びとなった。そのため、今後更なる衛星航法の利用が見込まれることから、GPSを主航法計器として精度良く使用するための高精度なRAIM予測の検討を行った。

利用者における問題点としては、現状RAIM予測情報の利用において、人手がかかっており機体毎のGNSSの航法性能を生かし切れていないという現状があることがヒアリングにより分かった。もし、機体毎のGNSS性能に応じた航法が利用できれば、効率的な経路の利用可能性が向上すると考える。そのためには人手を介さない（また間違いの生じない）RAIM予測の反映が必要であり、これを実現するためにはオンデマンドなシステムがふさわしい。

また、管制上の問題としては、機体毎の性能の差異までは考慮しておらず、航空会社毎に機種全体として承認を得なければ、RNP ARは認められていないという現状が分かった。この点については、進入方式のリクエストがあった段階で、

機体毎の性能情報を管制官に伝える仕組みがあれば、個別の機体に沿った運航承認の有無により進入許可を出すことが可能になると考えられる。

また、予測システムの問題点としては、計算に時間を要していたことが挙げられる。そのため情報の更新を1日1回としてきたところであるが、アルゴリズムを改良することで、処理時間を実質1/4程度に抑えられることが分かった。

今後、1日前の予測のみならず、短時間予測を追加し、高精度なRAIM予測を情報提供していくことで、機体毎のGNSS航法性能を十分に生かした更なる効率的な経路の利用可能性に貢献できると考える。

謝辞

ヒアリングにご協力いただいた国土交通省航空局並びに運航各社皆様に感謝いたします。

参考文献

- [1] ICAO, International Standards and Recommended Practices, Aeronautical Telecommunications, Convention on Int'l Civil Aviation, Annex 10, vol. I, Nov 2006.
- [2] 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.
- [3] 国土交通省航空局, GPS RAIM Prediction JAPAN, <http://raim-japan.mlit.go.jp/>
- [4] 国土交通省航空局, “GPSを計器飛行方式に使用する運航の実施基準,” サーキュラー, No.5-005, 平成9年11月25日制定, 平成27年6月17日一部改正.
- [5] 国土交通省航空局, 第6回将来の航空交通システムに関する推進協議会, 平成28年3月14日.
- [6] 麻生, 北村, 毛塚, 坂井, “RAIM予測の効率化,” 電子情報通信学会総合大会, Mar 2016.

付録. 運航者への主なヒアリング結果

| | | |
|----------------------|---|---|
| | 大型機運航者 | (1) 中型～小型機運航者 (2) 回転翼運航者 |
| 航空局提供のNOTAMの使用 | <ul style="list-style-type: none"> ・運航管理者が1日1回早朝にRAIM NOTAMをチェックしFPLに反映 ・1日に何百便ものFPLを立てる必要があり、人手がかかるため、機種毎の性能は反映していない。 ・サーキュラーの要件により更に±15分マージンを設けている。 | <ul style="list-style-type: none"> (1) SBASが主流のためSBASのNOTAMが無いことを確認（RAIM NOTAMは確認不要） (2) RAIMのFDE機能を有しているものが多い。機長がルート決め（1日分のRAIMを確認し運行可否を決定）、管理者がサテライト端末でFPLを作成 |
| 航空局提供のWebの使用 | IRS不搭載機のみを使用 | <ul style="list-style-type: none"> (1) 参考程度に使用 (2) 限られたエリアなのでWebから時間とエリアを特定 |
| 民間RAIM予測サービスの利用 | 国際線で使用（RAIM NOTAMを提供していない国に対応するため） | 利用していない。 |
| 予測でアウトページが確認された場合の対応 | <ul style="list-style-type: none"> ・エンルート：RNAV高度を継続できないことを考慮して燃料を多めに搭載 ・ターミナル/アプローチ：GNSSを使用しない又はコンベンショナルな方式に変更 ・Basic RNP1/RNP ARのみ設定の空港：Delayを設定 | <ul style="list-style-type: none"> (1) 本邦においてはMSASのNOTAMは出たことないので飛行できなかった事例はない。（特にビジネスジェットの降りる空港はILSがないところが多い） (2) アウトページがあれば代替を考える。 |
| 特記事項 / 要望 | <ul style="list-style-type: none"> ・AFTN 端末などにFPLを一括送信し、アウトページの有無を返す機能が望まれる（ミス防止の観点からも人手を介さないシステム連携など） ・RAIM アウトページ情報に変更が生じた場合は、管制官、ATIS、DCL、ACARS等を用いた情報提供が望まれる。 | <ul style="list-style-type: none"> (1) RNP アプローチだけ承認取得済み,RNP ARの承認取得は訓練の面においてハードルが高い。 (2) ドクターヘリでは、救急車とヘリのランデブー地点にVOR/DMEなどがいないため、GNSS無しでは成り立たない。GNSSの使用の有無は重要。 <p>・予測情報の提供に関しては特に問題を感じていないものの、GPSやMSASの更なる情報提供が望まれる。</p> |