

## 6. RNP to xLS の経路設計と飛行実証

航法システム領域 ※齊藤 真二, 福島 荘之介  
航空交通管理領域 森 亮太

### 1 はじめに

ICAO (International Civil Aviation Organization: 国際民間航空機関) は, PBN (Performance Based Navigation: 性能準拠型航法) 概念による航法を促進し, GBAS (Ground-Based Augmentation System: 地上型衛星航法補強システム) 等の新しい進入着陸システムの導入により, 安全で効率的な進入方式を実現し, 運航の最適化を図る計画である。このため, RNP (Required Navigation Performance: 航法性能要件) 進入の RF (Radius to Fix: 円弧旋回) レグによる中間進入と ILS (Instrument Landing System) や GLS (GBAS Landing System) による最終進入経路を接続する新しい進入方式 (RNP to xLS) が検討された。

我が国では PBN による RNAV/RNP 進入方式が多く空港に展開され, RF レグを使った RNP AR 進入が普及段階にある。また, 東京国際空港へ GBAS が導入され, 運用評価が行われているところである。このような状況で, 近い将来 RNP to xLS の国内展開が期待され, 我が国の空港環境をふまえた実現可能性と将来の便益の明確化が要望されている。

そこで, 当研究所では, RNP to xLS の設計条件や導入効果を評価するため, 便益が見込まれる空港をモデル空港として選定し, 方式設計を行い, フルフライトシミュレータによる検証 [1,2] と実験用航空機による飛行実証を実施した。本稿では, 飛行方式設計の考え方と飛行実証の結果について述べる。

### 2 RNP to xLS 方式について

RNP to xLS 方式は RNP の RF レグと GLS または ILS の最終進入セグメントを接続する方式である。RNP の RF レグを使った航法には, RNP AR 方式もあり, 国内ではこれまで 30 以上の空港に導入されている。RF レグの利用は, 保護区域の狭い自由度の高い経路を設計できることにあり, これまで複数の空港で経路短縮による燃

料消費や環境負荷低減の便益が報告されている。これに対して RNP to xLS 方式は, RF レグを中間進入セグメントに使い GLS または ILS の最終セグメントに接続する精密進入方式である。RNP AR 方式が APV (Approach Procedure with Vertical guidance) に区分され, 非精密進入と同様な最低気象条件となることに対して, RNP to xLS 方式は, 精密進入となるので決心高度を低く設定し, 低視程時の着陸を可能とすることに加え, RF レグによる便益を享受できる特長がある。さらに, RNP AR 方式のような特別許可は必要ない。ただし, 現在の GLS および ILS 装備は, 中間進入セグメントから最終進入セグメントへの会合動作を必要とするため, RNP AR 方式よりは最小経路長が数 NM 長い設計基準となる。図 1 に RNP to xLS と既存の ILS 精密進入および RNP AR 方式の比較イメージを示す。最終進入コースへの会合点からグライドパス会合点までの最短長は最終進入コースへの会合角度により決定される。既存の ILS 精密進入で用いられている 30 度の場合には 2.0NM, RF レグからの会合の場合には ILS では 1.5NM, GLS では 1.0NM とされている [3]。この 0.5NM の差異は, GLS のパス形成に関わる誤差が無視できることから, 航空機のパスアライメント誤差が ILS より小さくなるためである。

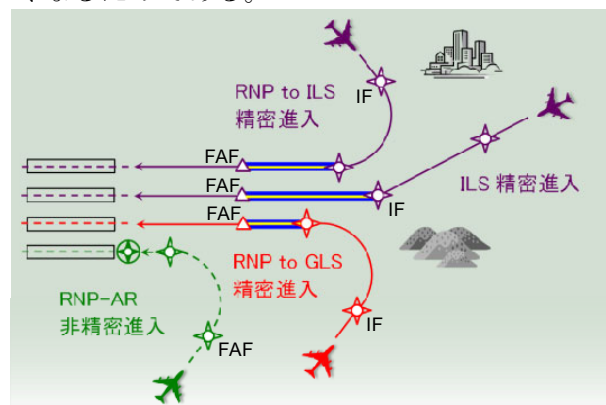


図 1: RNP to xLS 方式と既存の ILS 精密進入および RNP AR の比較

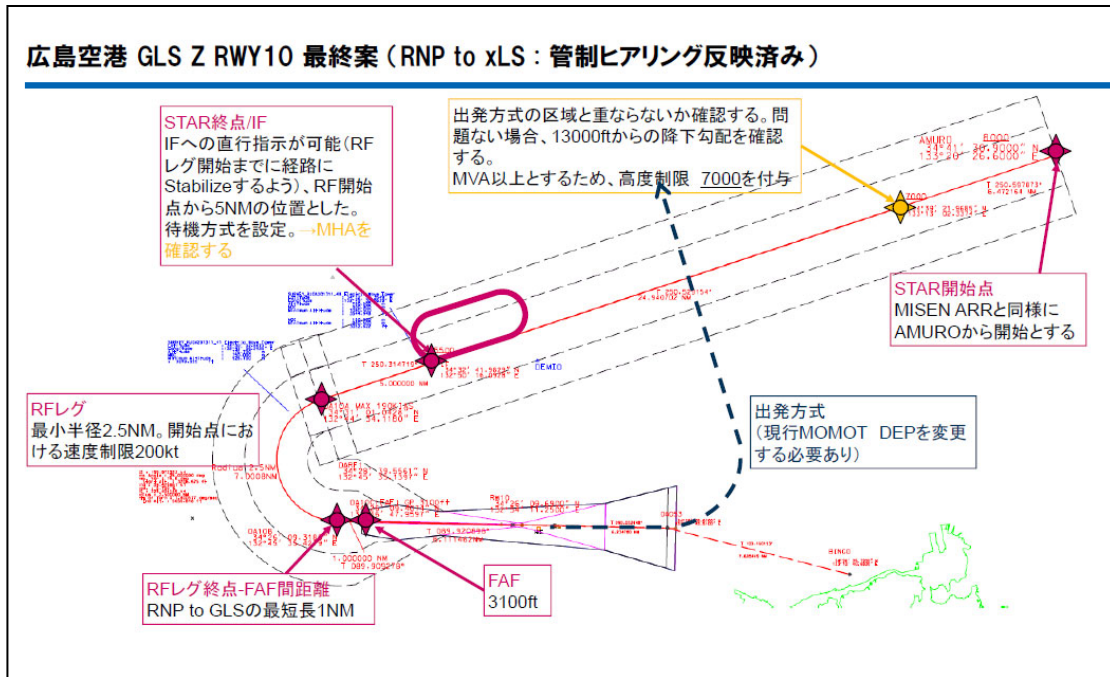


図 2：設計した RNP to GLS 方式（広島空港 RWY10）[研究用]

### 3 RNP to xLS 方式の設計

#### 3.1 モデル空港の選定と期待される導入効果

典型的な RNP to xLS 方式の進入経路により経路短縮効果が見込まれる進入のモデル空港として広島空港 (RWY 10) を選定した。障害物回避、ミナマ・気象条件の緩和の効果が見込まれる空港として、高松空港 (RWY08) を選定した。

選定したモデル空港や方式設計の関係官署を訪問し、現地管制官へのヒアリングを行い、空港環境における制約（出発機・小型機経路との交差など）、設計条件を調査し、便益が高い新しい飛行方式を設計した。

#### 3.2 広島空港 RWY10

設計した広島空港 RWY10 の RNP to GLS 方式を図 2 に示す。現地管制官のヒアリングの結果、出発方式との間隔が確保できる位置にウェイポイントを追加する等の修正を行っている。現行の RNAV STAR (Standard Terminal Arrival Route: 標準到着経路) +ILS 進入とした場合の AMURO (起点となるウェイポイント) から RWY10 THR (滑走路末端) までの経路長は 54.6NM である。RNP to GLS 方式での経路長は 45.4NM となり、9.2NM の短縮となる。経路が短縮されることから、飛行時間、燃料使用量の削減が期待される。

#### 3.3 高松空港 RWY08

滑走路延長上に山岳があり、ILS 進入が設定されていない進入である。GLS の特長を活用したオフセットかつ高降下角経路による山岳回避が見込まれる。ILS RWY26 からの周回進入と比較した場合、経路長は伸びるものの、GLS による直線進入として当該滑走路への計器進入方式設定が可能となるため、ミナマおよび気象条件の改善が期待される。

図 3 に設計した高松空港 RWY08 の RNP to GLS 方式の図を示す。管制官のヒアリングの結果、IF の位置の変更、出発方式との間隔を確保するための高度制限の付加等を行った。また、障害物となる山岳等を回避するため、当初、グライドパスの降下角を 3.5 度、ローカライザ (LOC) のオフセット角を 4.4 度としていたが、オフセット角について緩和策を検討した。

GLS の OAS (Obstacle Assessment Surface: 障害物評価表面) は ILS と同一のものが使われている。進入経路直下の OAS を構成する W 表面の幅および X 表面の立ち上がり角度は滑走路長 (LOC から THR までの距離) に依存し、長いほど W 表面の幅は狭くなり X 表面の立ち上がりは急になり、W 表面と X 表面を合わせた幅も狭くなることが確認できた。そこで、LOC 位置

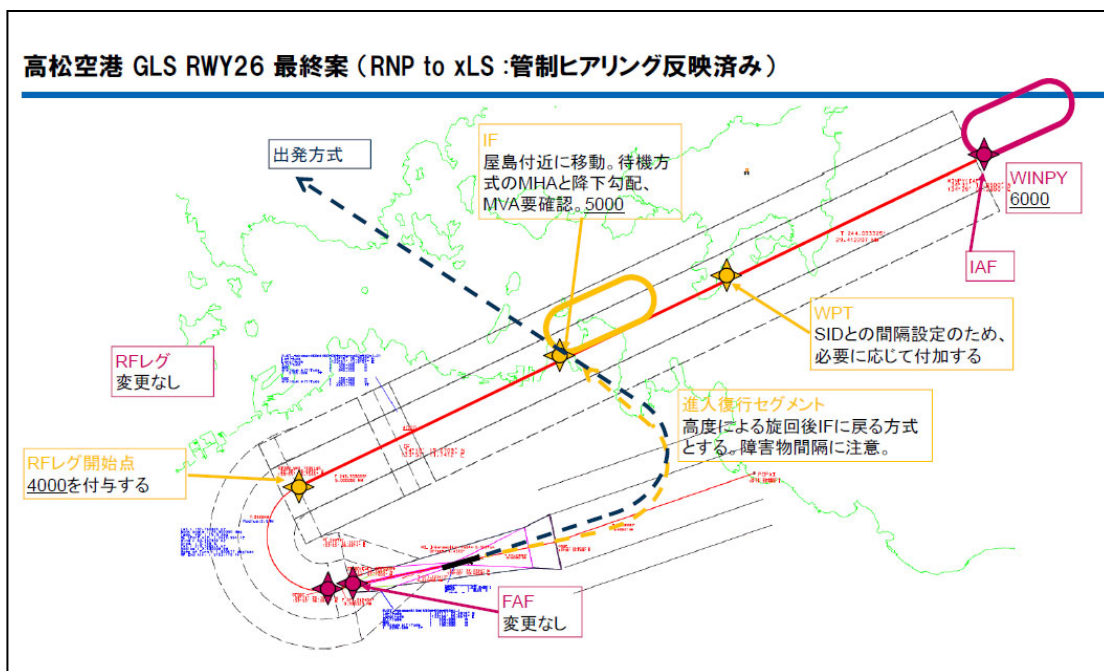


図 3 : 設計した RNP to GLS 方式 (高松空港 RWY08) [研究用]

に相当する GARP (GBAS Azimuth Reference Point) の座標を変更することで、GLS データ上の仮想的な滑走路長を変更し、障害物回避が可能なオフセット角の再評価を行った結果、滑走路長を 4,500m とすることで、オフセット角を 3.8 度に緩和できることが分かった。飛行実証は、降下角 3.5 度、オフセット角 3.8 度で実施した。

#### 4 飛行実証

##### 4.1 航法データベース構築と取得データ

設計した飛行方式に基づいて ARINC424 形式の航法データベースを構築し、当所所有の実験用航空機 (Beechcraft B300 KingAir350, JA35EN) の FMS にインストールし、飛行実証を実施した。飛行中は実験用航空機の ARINC429 バス出力データを記録し、航空機の位置や燃料流量等を取得し、飛行時間、燃料消費量を算出した。

##### 4.2 可搬型 GBAS

GBAS 未設置空港において GBAS による飛行実験を実施するために可搬型 GBAS を開発した [4]。実験用車両に搭載し運用を行うため、移動先で GBAS 基準局を展開すれば短期間に運用開始できる特長を持っている。さらに、GBAS 基準局に ROF (Radio over Fiber: 光ファイバ無線)



図 4 : 可搬型 GBAS の外観と広島空港における飛行実証の様子

を採用したことにより、車外に設置する基準局機材の軽量化を図り、より短時間で設置を可能としている。図4に可搬型GBASの外観を示す。この可搬型GBASを用いて、広島空港および高松空港において飛行実証を実施した。

### 4.3 広島空港における飛行実証

広島空港における飛行実証を2021年4月および12月に実施した。RNP to GLS方式と既存のILS進入方式で取得したデータを比較し、経路短縮による燃料消費量の削減と飛行時間の短縮を検証した。飛行実証では、連続した試行によりできるだけ同じ条件でRNP to GLS方式と既存のILS進入方式でのデータを取得した。

2021年4月に実施した飛行実証では、RNP to GLS方式で11回分、既存のILS進入方式で5回分のデータを取得した。飛行航跡を図5に示す。起点となるAMUROを通過してから滑走路進入末端(RWY 10 THR)を通過するまでの、飛行時間、燃料消費量を取得データから算出した。この結果を表1に示す。飛行時間は通過時刻の差分、燃料消費量は燃料流量を積算し求めている。既存のILS進入方式と比較してRNP to GLS方式では、飛行時間が155秒(約15%)短

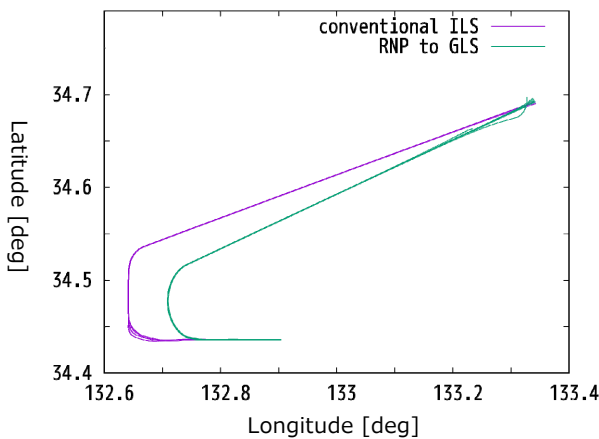


図5：RNP to GLS方式と既存のILS方式の飛行航跡

表1：飛行時間、燃料消費量の比較

	飛行回数	平均飛行時間[s]	平均燃料消費量[lbs]	経路長[NM]
既存 ILS	5	1010	158.6	54.6
RNP to GLS	11	855	134.6	45.4
削減量		155	24.0	9.2

縮され、燃料消費量は24lbs(約15%)削減できたことが分かった[5]。

### 4.4 高松空港における飛行実証

高松空港における飛行実証を2021年11月に実施した。ILS装置が設置不可、ILS進入が設定不可となる進入方向にRNP to GLS方式によるオフセットかつ高降下角による障害物回避となる経路を設定し飛行実証を行った。

最終進入経路のオフセットと高降下角という飛行方式としての難易度と、最終進入経路への会合後の降下開始時に視認できる経路右下側の障害物(高鉢山)について参加者から以下のようなコメントを得た。

- 最終進入経路のオフセットについて、当初設計した4.4度と飛行実証での3.8度の違いは天候がよい場合は、ほぼないと考えられる
- 視程が悪く決心高度直前まで滑走路や進入灯火が視認できない場合には、特に大型機ではアラインするのが難しいと考えられる
- Baro-VNAVは気温によって降下パスの幾何高度が変わるが、GLSは気温に依存しないため、より信頼できる

また、FMSによる飛行を行い、マニュアル操作によりオンセット近くまで会合点をずらさない限りEGPWS(Enhanced Ground Proximity Warning System:強化型対地接近警報装置)が作動することが無いことが確認できた。

## 5. まとめ

モデル空港に対して設計したRNP to xLS方式について実験用航空機により以下について飛行実証した。

- 経路短縮による飛行時間および燃料消費量の削減
- ミニマ及び最低気象条件の改善を目的とするオフセットかつ高降下角による障害物回避の進入方式のワークロード・EGPWS動作などのフライアビリティ

併せて、方式設計、飛行実証を通して、管制官・エアライン・方式設計者などの関係者間の合意を形成し、新しい方式の有効性を確認することができた。

## 謝 辞

飛行実証の実施において、多大なご協力を頂いた国土交通省大阪航空局高松空港事務所および広島空港事務所の関係各位に感謝致します。

## 参考文献

- [1] 福島 荘之介, “RNP to xLS 進入方式の設計と検証,” CARATS PBN 検討 WG GNSS アドホック, 2020.
- [2] 福島 荘之介, 齊藤 真二, 森 亮太, “RNP to xLS 進入方式の研究 フライアビリティと飛行実証,” ATEC 新たな進入・出発方式導入に向けた調査・研究 WG 会議, 2021.
- [3] ICAO, “Procedures for Air Navigation Services Aircraft Operations (PANS-OPS),” Doc. 8168, Vol. II, 7<sup>th</sup> Edition, 2020.
- [4] 齊藤 真二, 福島 荘之介, “可搬型衛星航法補強装置について,” 日本航空宇宙学会第58回飛行機シンポジウム, 1B07, Nov. 2020.
- [5] 齊藤 真二, 福島 荘之介, “可搬型衛星航法補強装置による RNP to xLS 飛行評価について,” 日本航空宇宙学会第59回飛行機シンポジウム, 2A06, Dec. 2021.