

4. 実験による関西国際空港での混合運用の実現可能性の調査

航空交通管理領域 ※天井 治

1 はじめに

RNP AR (Required Navigation Performance - Authorization Required: 特別許可を要する航法性能要件) 進入方式^[1]は近年の航空機の優れた性能を十分に生かせる計器進入方式である。これは全地球航法衛星システム (Global Navigation Satellite System: GNSS) の高精度測位情報と気圧高度を用い、横方向経路誤差 (95%値) 0.3 NM (Nautical Mile, 1 NM=1,852 m) 以下^[2]の航法精度を実現できる。更に上記の精度を保ちながらの円弧旋回を可能とする RF (Radius to FIX (飛行経路を構成する地理上の地点)) Leg もできる。このため RNP AR (以降, AR) 進入方式では自由度の高い経路設定が可能となり、経路短縮による燃料削減や飛行時間の短縮、騒音を考慮した経路設定等が期待できる。しかし、AR 運航には航空機の要件、運用手順、乗員訓練等の要件について特別な航行許可を要し、パイロットの訓練、機体の整備等に対してコストが掛かるため、運航対価が期待できない場合は AR 運航の導入が見送られている。AR 進入方式は日本では取扱機数が少ない空港の内で、効果が見込まれる空港から導入され、現在国内の 26 空港以上に設定されている。

ILS (Instrument Landing System: 計器着陸装置) 進入方式では、装置が空港に設置されており原理上、滑走路手前で少なくとも 5 NM 程の直線飛行を必要とするが、AR 進入方式では GNSS の活用のため直線飛行の制約はなく、RF Leg を活用して滑走路近傍での曲線進入を実現できる。

ターミナル航空管制官 (以下、管制官) はレーダ画面上で航空機の動きを把握し、時間的に余裕のある段階でレーダ誘導、速度調整等で順序付け

と間隔設定を行い、滑走路近傍では航空機同士の前後間隔のみに注意すれば良いように航空機を物理的に前後に並べて管制を行う (図 1 上)。

ILS 進入方式と AR 進入方式による滑走路近傍での曲線進入とが同一滑走路で同時に実施されるような運用を本稿では混合運用^[3]と呼ぶ。この運用では、図 1 の下に示したように物理的に線上に並べることが出来ず、平面的思考を必要とし線上に並べられる場合より管制は困難になると考える。そしてこの状況に対応するための新たな考え方や制限の付加等が必要となる可能性がある。

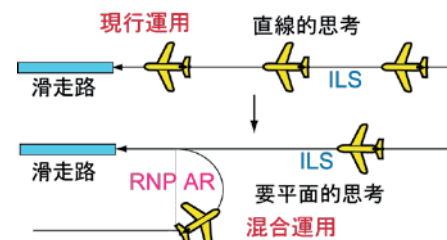


図 1 混合運用における管制の困難度

先行研究には平行滑走路における ILS 進入方式と AR 進入方式の同時運用^[4]に関する研究や米国の Phoenix 空港を模擬した同時運用のシミュレーション^[5]の報告等がある。どちらも滑走路が一本しかない状況での議論ではない。このため、我々は単一滑走路での複数の進入方式 (具体的には ILS と AR) に対する混合運用の安全性と実現方法を研究^{[6]~[12]}している。

また、シアトルではいち早く AR 進入方式が導入され、平行滑走路への同時進入が検討され^[13]、実施されている。ニューヨークの 3 空港では視認進入 (Visual Approach) の代替方式としての AR 進入方式の導入が検討されている^[14]。

電子航法研究所では混合運用の実現可能性に

ついて航空管制リアルタイムシミュレーション実験（以降、実験）を行っている。本稿では関西国際空港を対象とした実験の方法と結果を示す。

2 AR 機最優先方式

本稿では、AR 進入方式で飛行する航空機を AR 機と呼ぶ。ILS 進入方式の場合は ILS 機と呼ぶ。AR 進入はパイロットリクエストにより実施される。管制官はリクエストを受けた後、周囲の状況を確認し、許可するかどうかを判断する。

これまでの研究により AR 進入の利点を生かすためには、AR 機の着陸をできるだけ優先し、AR 機への迂回指示は可能な限り行わない状況が望ましいことが分かった^[10]。本稿ではこれを AR 機最優先方式と呼ぶ。この考え方は Best-Equipped, Best-Served (BEBS: 良い機材を搭載した便を優先)^{[15]-[17]}として知られ、米国の NextGen (Next Generation Air Transportation System) や欧州の SESAR (Single European Sky ATM Research) もこの方針を支持している^{[18],[19]}。ILS 機と AR 機の混在状況に対しても AR 機が優先されるべき^{[4],[5]}という報告がある。

管制官は First come, first served. (FCFS: 先に来たものを先に降ろす) の考え方に慣れている。現場での BEBS の実施にあたっては、FCFS の考えから離れるための十分な訓練が必要と考える。

3 航空管制リアルタイムシミュレーション

3.1 シミュレータの概要

5台のパソコン上に構築されたシミュレーションプログラム（以下、シミュレータ）を用いた。

図2に装置構成および実験概要を示した。サーバは事前に用意したシナリオに従う航空機の出現や航空機の軌道計算、管制指示・承認の反映等を行う。管制官役とパイロット役各2名にそれぞれ専用のクライアント・パソコンを割り当てた。管制官役は関西国際空港におけるターミナル管制業務の経験者に依頼した。出発機はシミュレ

タの機能上は手動でも発生できるようにしてあるが、今回はシナリオに従って自動的に発生させた。また、管制官役の内、一人は調整役となってもらった。

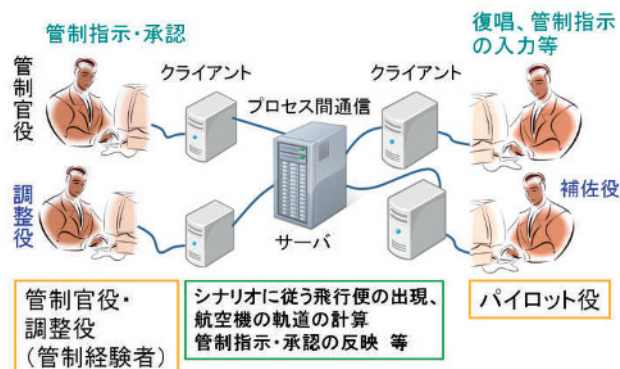


図2 装置の構成と実験概要

管制官役は画面に表示される交通流を管制する。パイロット役は管制官役の発出する管制指示を復唱し、管制指示をコマンドとしてシミュレータに入力する。パイロット役一人で全ての航空機に対応し、もう一人はコマンドの入力間違い等を確認する等の補佐役となってもらった。補佐役もパイロット役と同様にコマンド入力ができる。

ターミナル管制官から管制塔（タワー）の管制官に受け持ちの航空機を引き継ぐことをタワー移管と呼ぶ。タワー移管後はタワー管制官が適切に管制処理をすると仮定し、実験ではターミナルレーダ管制官の業務のみを対象とした。

図3に管制官役に対する表示画面（模擬管制卓）の表示例を示す。画面右の水色と橙色のボタンには管制に必要な様々な機能を付けた^[8]。今回の関西国際空港の空域での実験にあたり、神戸空港到着機等に対応できるようにした。

パイロット役への表示/操作画面（パイロット卓）でのコマンド入力例を図4に示す。図4では「便名 TTT672 の航空機に対して、高度 10,000 ft（フィート（1 ft=0.3048 m））まで下降し高度を維持、240 kts（ノット）の速度で飛行、AWAJI に直行」を入力している。「da」は「Direct AWAJI」の省略表記である。このようにエイリアス定義を

活用した簡潔な入力ができるようにしてある。

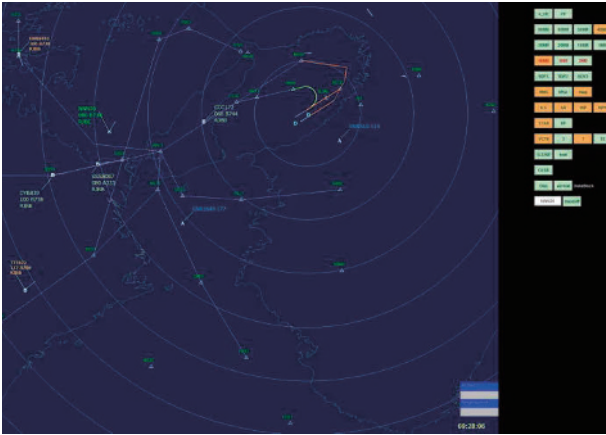


図3 模擬管制卓の表示例



図4 パイロット卓でのコマンド入力例

図4の例では行き先に応じて色を変えてある。色は操作者の好みに従って自由に変更できる。航空機はターミナルエリアの入域 FIX（滑走路端から平均して 105 NM 程の地点。例えば KARIN）の 15 NM 手前で発生させた。入域時の航空機同士の間隔は 10 NM 以上を確保するようにした。

3.2 風の影響への対応

航空機の運航において風のファクターはとて

も重要と言われている。しかし、昨年度までのシミュレータでは風の影響を自由に指定できなかった^[10]。そこで今年度は風の影響を考慮した対地速度 (Ground Speed: GS) の計算方法を検討し、シミュレータに反映させた。また、管制指示がない場合には、これまでは滑走路からの距離に従って速度を変化させていたが、管制官役等との議論の結果飛行高度別にデフォルトの IAS (Indicated Air Speed: 指示対気速度) を決めて、最終進入 FIX (Final Approach FIX: FAF) の少し手前から実測速度プロファイル^[10]を使用することとした。

IAS は、以下の設定とした。

- ・入域時 280 kts 程（経路および飛行便毎に違いを付けて飛行便毎の対応リストを作成）
- ・高度 13,000 ft にて 250 kts に減速開始
- ・高度 10,000 ft ~ 8,000 ft では 250 kts を保持
- ・高度 8,000 ft にて 240 kts に減速開始
- ・高度 4,000 ft にて 220 kts に減速開始
- ・上記で飛行速度が既に目標の IAS 値を下回っている場合は最後に指示された速度を保持

IAS と TAS (True Air Speed: 真大気速度) の変換は次式 (近似式) となる。

$$V_{TAS} = V_{IAS} * (1 + 0.02 * h / 1000) \quad (1)$$

ここで h (飛行高度) の単位はフィートである。

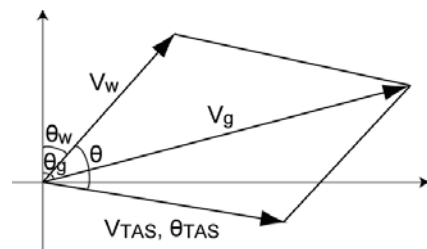


図5 対地速度の計算イメージ

対地速度は、TAS と風速のベクトル演算により計算できる。図5に対地速度計算のイメージを示す。ここで、 V_g は対地速度 (GS)、 V_{TAS} は真大気速度 (TAS)、 V_w は風速、 θ_w は風向、 θ_g は進路、 θ_{TAS} は針路である。

主に次の2つの状況があり、それぞれ次の計算

式で V_g および θ_g を求めることができる。

1) 経路から離脱しない場合 (θ_g は既知)

$$\beta = \sin^{-1}\{V_w/V_{TAS} * \sin(|\theta_g - \theta_w + \pi|)\} \quad (2)$$

$$\theta = \pi - |\theta_g - \theta_w + \pi| - \beta \quad (3)$$

$$V_g = \text{Sqrt}\{V_w^2 - 2 * V_w * V_{TAS} * \cos \theta + V_{TAS}^2\} \quad (4)$$

2) 針路指示を受けた場合

$$\gamma = \pi - |\theta_{TAS_ATC} - \theta_w| \quad (5)$$

$$V_g = \text{Sqrt}\{V_w^2 - 2 * V_w * V_{TAS} * \cos \gamma + V_{TAS}^2\} \quad (6)$$

$$\theta_g = \theta_w + \sin^{-1}\{(V_{TAS}/V_g) * \sin \gamma\} \quad (7)$$

ここで、 θ_{TAS_ATC} は指示針路の値である。

IAS と TAS の変換については、(1)式を用いて実施したシミュレーションでは管制官役が違和感を覚えるということで、それ以降は TAS=IAS として実験を実施した。

風は3層に分けた。各層を分離する高度も自由に指定できるようにした。実験中は風向風速を随時変化させた。表1に各項目の範囲と平均値を示す。関西国際空港に最も近い高松のウィンドプロファイラのデータも参考にした。

表1 風のデータの範囲と平均値

項目	範囲	平均値
風速 3	35~70 kts	58 kts
風向 3	270°	270°
3と2の境界高度	13,000~14,000 ft	13,930 ft
風速 2	20~40 kts	31 kts
風向 2	190~250°	230°
2と1の境界高度	3,000~4,000 ft	3,359 ft
風速 1	12~18 kts	14 kts
風向 1	190~250°	216°

4 シナリオ

4.1 オフピーク時の IFR 到着機密度

これまでの研究にて、日中ピーク時間帯の IFR (Instrument Flight Rules : 計器飛行方式) 到着機密度 (平均値で 21 便/時) では、管制は難しいとのコメントを管制官役から頂いた^[11]。そこで、オフピーク時間帯における運用に的を絞った混合運用の可能性を調べた^[12]。

まず、時間帯毎の IFR 到着便数を 5ヶ月分(2017

年3月~7月)の飛行計画情報を用いて調べた。図6に結果を示す。横軸は日本標準時(JST)での時刻を、縦軸は IFR 到着便数を示す。青色の縦棒は平均値を橙色の縦棒は標準偏差の2倍(2σ)を表す。ピークは4回あるが2σまで考慮すると21時台のピークが目立つ。このピークを避けるため、22時以降の時間帯を検討することとした。22時台の平均値+2σの値は17機/時であったが、5ヶ月分のデータ中の最大値は18機/時(図6中に赤い横線で表示)であったため、安全性を考慮して、実験にはこの値を用いることにした。

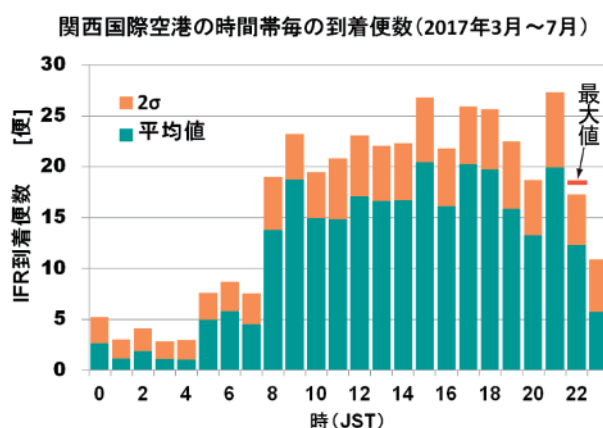


図6 関西国際空港の時間帯毎の IFR 到着便数

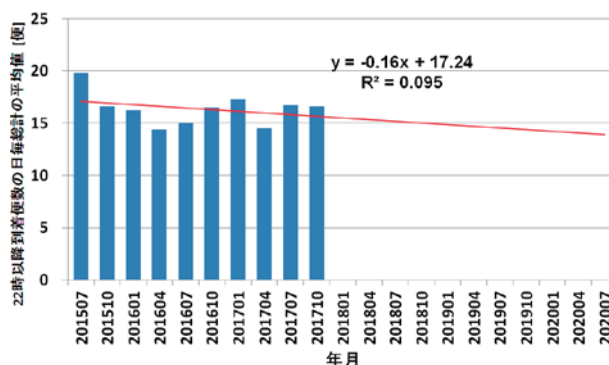


図7 関西国際空港における 22 時以降の到着便数の推移

更に 22 時以降の IFR 到着便数の増加減少傾向を 2015 年 7 月から 3 ヶ月毎の飛行計画情報を用いて調べた。図 7 に傾向線を引いた。相関係数 R は 0.3 なので信頼性が低いが、増加傾向にはなっていないと判断した。このため、18 機/時を用

いておけば数年後の状況も調べられると考えた。

4.2 23時以降の飛行経路

関西国際空港では23時以前の時間帯と23時以降の深夜時間帯では飛行経路が異なる。図8に違いをイメージで示す。赤線は23時前のCHARLIE経路を、紫色の線は23時以降のDELTA経路、黄色の線はECHO経路を、青線はILS進入方式に繋がる経路（ILS経路）を示している。23時以降は淡路島上空を飛行しない経路となっている。

22時台のみ混合運用を行うという運用では却って混乱を招くと考える。23時以降の深夜時間帯における経路でも混合運用が可能そうかどうかを調べるため、23時以降の経路にてその時間帯の交通流を用いたシナリオも実験に加えた。

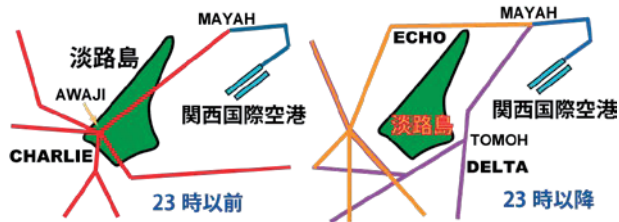


図8 23時以前と以降の飛行経路の違い

4.3 AR機の飛行経路

現在関西国際空港にはAR進入方式は導入されておらずAR進入方式による経路（以降、AR経路）は設定されていない。そこでシミュレーション実験のためにAR経路を独自に設定した。図9～図10に経路構成を示す。緑色の線でAR経路を示した。青線で示したILS経路は現行のままである。以下ではAR経路に着目した説明を行う。

図9は23時以前の経路構成でAR経路はLILACから分かれ、ARARA（FAF）を通過後、RF旋回をして着陸する経路である。高度分離が図れ、淡路島上空は経路1本という要求を満たす。図10は23時以降の経路構成で、DELTA経路からLILAC-ARARA間のANIKIに接続させ、ECHO経路に関してはMAYAHから分離させてARALE（FAF）を通過後、RF旋回し着陸する。23時以

降のAR経路に関しては、検討が足りず、AR経路が2本あり、ILS経路と交差する等、改善が必要な（管制が難しい）経路となってしまった。

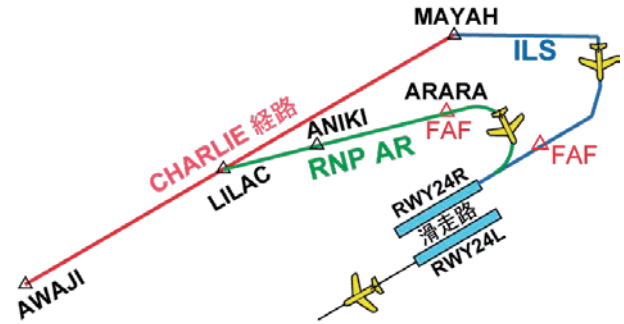


図9 23時以前の経路構成（CHARLIE経路）

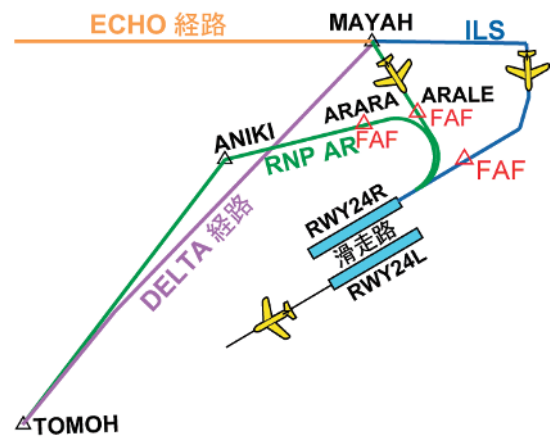


図10 23時以降の経路構成（DELTA, ECHO経路）

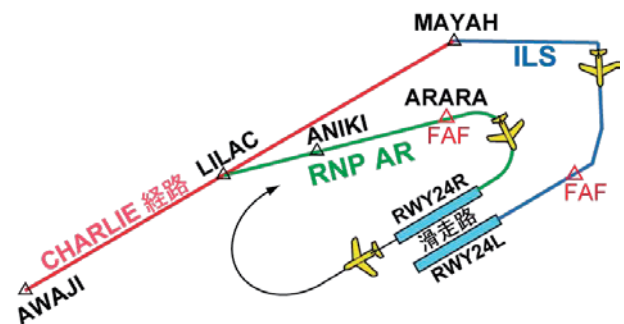


図11 分離運用のイメージ

4.4 2本の滑走路への同時着陸

関西国際空港は2本の滑走路を有する。このため、それを活用すべく、RWY（滑走路）24RはAR到着便および出発便専用とし、RWY24LはILS到着便専用とした状況（混合運用に対し、分離運用と呼ぶ）での実験を行った。現行では原則

RWY24R が到着便専用，RWY24L が出発便専用として運用されている。RWY24L にすると ILS 経路と交差してしまうため AR の到着滑走路は RWY24R とした。RNP AR 到着便の割合は ILS 到着便より少ないと仮定し，RWY24R を出発便に使用した。新出発経路と標準到着経路(AWAJILILAC-MAYAH)とは現行より接近するため注意を要する。図 11 に分離運用のイメージを示した。

5 実験結果

5.1 実験の条件

実験に際し，図 12 に示すように先行機の滑走路端通過時においても後続機との間隔が 3 NM 以上離れているように管制して頂くように管制官役をお願いした。後方乱気流間隔は変更される可能性もあるため，今回は 3 NM で実験した。

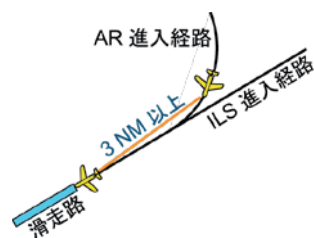


図 12 確保すべき間隔

ターミナル管制官は，滑走路手前まで航空機を受け持つ訳ではなく，より手前（場合によっては 25 NM 程手前）でタワー移管をするため，その後の動きを予測しながら管制を行う必要がある。

その他に以下の条件を設定した。

- ・ AR 進入の要求は必ず許可（実験で必須としておけば，実運用上で許可しないことはセーフティネットになると考える）
- ・ AR 機への経路短縮となる針路指示は許可（但し，先行する ILS 機との間隔設定のため，他の ILS 機へのレーダ誘導が過多になると予想される場合には 5 NM 以内に限り迂回指示を許す）
- ・ ILS 機へは従来通りの針路指示等が可能

- ・ 速度調整は AR，ILS 機とも従来通り可能
 - ・ FAF までにタワー移管
- その他，管制業務処理規程^[20]に従って，FAF や RF Leg への直行指示の不可，IF への直行指示は 45° 以内のみ許可，RF Leg 内では特定速度を指定した速度調整は不可等を遵守した。

5.2 実験シナリオ

第 4 章で説明した 3 つの状況について，表 2 にシナリオという観点から詳しくまとめた。

表 2 実験シナリオの種類

項目	22 時台	23 時台	分離運用 (ピーク時)	混合運用 (ピーク時)
IFR 到着便数	18 便/時 (5 ヶ月間のピーク時)	15 便/時 (平均値 + 2σ は 12 便/時)	28 便/時 (21 時台の平均値 + 2σ)	28 便/時 (21 時台の平均値 + 2σ)
混合率	15%(2 機) 又は 20%(3 機)	15%(2 機) 又は 25%(3 機)	15%(4 機 又は 5 機)	15%(4 機 又は 5 機)
AR 経路	CHARLIE	DELTA, ECHO	CHARLIE	CHARLIE
シナリオ数	ベース 2 つ × AR 選択 3 種類 × 混合 率 2 種類 = 12 個	ベース 1 つ × AR 選択 3 種類 × 混 合率 2 種類 = 6 個	ベース 1 つ × AR 選択 3 種類 × 混 合率 1 種類 = 3 個	ベース 1 つ × AR 選択 3 種類 × 混 合率 1 種類 = 3 個
試行回数	45 回 ベース 1:30 回 (20%:8 回) ベース 2:15 回 (20%:9 回)	14 回 (15%:6 回, 25%:8 回)	6 回	6 回
備考	最重要シナリオにつき試行回数最多	初めの 6 回は飛来方向等で経路を固定	分離でも 3 NM の管制間隔維持は変わらず	慣熟が進んだ実験の後半に試行

シナリオ数について，22 時台はベースシナリオを 2 つ作成し，それぞれどの飛行便を AR 機とするかの選択（表中の AR 選択）を変えたものを 3 種類作成した。更に混合率を 15% (AR 機 2 機) と 20% (AR 機 3 機) の 2 種類とした。結果として 22 時台のシナリオは 12 個となった。更に風の影響を随時変更し，1 つとして同じ状況にはならないようにした。

23 時台については、他とは異なり図 8 右に示した DELTA, ECHO の経路を用いている。AR 経路は図 10 に示したものをを用いた。これらの経路は出発機の飛行経路が到着機とほぼ同じコースとなっているため、現行運用でも出発機の状況を見て、到着機にどちらの経路を割り当てるかを判断しているとのことである。シミュレータでも経路の選択が出来るように改修を行った。但し、改修に手間取ったため、初めの 6 回は経路を固定した状態（例えば、北から来る便は ECHO 経路、それ以外は DELTA 経路等）での実験となった。

分離運用の実験にて、結局滑走路近傍で 3 NM の管制間隔が必要で、これなら混合運用でも可能なのではないかという話になり、この交通流密度（28 便/時）の混合運用での実験を 6 回行った。

5.3 アンケート

NASA TLX^[21]を基にしたアンケートを実施して管制官役自身への主観的評価を行った。図 13 に質問票の一部を示す。アンケートは各試行の終了直後に行い、5 項目（時間的負担、努力、欲求不満度、達成感、交通流について）について質問した。各項目を 10 段階で評価し、記述形式の自由回答欄も設けた。自由回答欄に記載してもらった貴重な意見は実験の遂行上、大変役立った。尚、質問票では、項目のタイトルが分かりやすいように黄色の背景とした。

質問票

日付	シミュレーションシナリオ番号	氏名
----	----------------	----

時間的負担 作業はどの程度急がされ、あるいは慌しかったですか？
 10 段階評価で○印もしくは✓印を必ず付けて下さい。

 低い 高い

懐かしさを感じた場合、どういった場面で特に懐かしさを感じましたか？
 ()

評価尺度の定義

時間的負担	作業頻度あるいは作業ペースにより、どの程度の時間的圧力を感じましたか、ペースはゆっくりでのんびり、あるいは急速で慌てた感じですか。
-------	-------------------------------------------------------------------

図 13 質問票の一部

5.4 実験結果

実験は 17 日間行った。期間は、2017 年 12 月（5 日）、2018 年 1 月（6 日）、2 月（6 日）の 3 回に分けて、以下のように実施した。

- ・ 管制官役 2 名
- ・ パイロット役 最大 3 名（1 名がメイン）
- ・ 1 回のシナリオの試行時間 40 分～50 分
- ・ 1 日の試行回数 3 回～6 回

別途、2 名の関西国際空港ターミナル管制経験者に管制官役として一回ずつ試行して頂いた。

実験にて見いだした間隔（表 3）を取るようには管制を行ったところ、表 2 に示した 3 種類のシナリオすべて（合計 21 個）に対し、滑走路近傍での 3 NM の管制間隔が満たされる結果となった。これには 28 便/時での混合運用シナリオも含まれ、2016 年度に実施した実験の結果（21 便/時では管制困難^[11]）と反するが、これは飛行速度のプロファイルの見直しと管制官役の熟練度の向上によるものと考えられる。実験で得たデータの定量的な分析は現在実施中である。

表 3 AR 機と ILS 機の間隔設定

先行機	後続機	先着機	航空機同士の間隔
ILS 機	AR 機	ILS 機	LILAC 切りまでに 25 NM 以上
ILS 機	AR 機	AR 機	LILAC 切りまでに 10 NM 以内
			高度分離しての LILAC 同時通過

5.5 被験者のコメント

被験者から以下の貴重なコメントを頂いた。

- ・ 全てのシナリオで管制が可能と考える。
- ・ 到着機の順序決定と速度調整に労を費やす。
- ・ DELTA, ECHO ルートに対する AR 経路を改善すると、より管制がしやすくなる。
- ・ AR 機に対しても 5 NM までの迂回を許すと ILS 機を含めたレーダ誘導距離が減少する。
- ・ 訓練は重要。
- ・ 調整役の効果は大。

6 まとめ

RNP AR 機最優先の条件下で航空管制リアルタイムシミュレーション実験を行い、関西国際空港でのRNP AR 機と ILS 機の混合運用の実現可能性を調べた。交通流密度、飛行経路等を変更して22時台（18便/時）、23時台（15便/時）、分離運用（28便/時）、ピーク時混合運用（28便/時）に対する試行を行った。その結果、見いだした間隔設定（25 NM 等）を念頭に置いて管制を行えば、どのシナリオでも滑走路近傍での指定間隔（3 NM）を満たすことが出来ることが分かった。

今後は、AR 運航のメリットに対する定量的分析等を行い、関西国際空港に AR 進入方式が導入されるよう支援や PR を行っていく予定である。

謝 辞

実験の準備にご協力頂きました国土交通省 航空局、関西空港事務所の関係各位、実験にご協力頂いた方々に深く感謝申し上げます。

文 献

- [1] Required Navigation Performance Authorization Required (RNP AR) Procedure Design Manual, ICAO Doc 9905, First Edition, 2009.
- [2] 天井 治, “RNP AR 進入方式の円弧旋回部での航空機の横方向航法精度の推定,” 通信学会2014年ソ大会, A-18-1, 2014年9月.
- [3] 天井 治, 松岡 猛, “単一滑走路における RNP AR と ILS 進入方式の混合運用の安全性について,” 日本信頼性学会誌, 2015 Vol.37, No. 5, 2015年9月.
- [4] C.Devlin et al., “Applications and Benefits of RNP Approaches in the United States National Airspace System,” MITRE Corporation, McLean, VA 22102, USA.
- [5] J.Thippavong et al., “Evaluation of the Terminal Sequencing and Spacing System for Performance-based Navigation Arrivals,” 31st Digital Avionics System Conference, Oct. 2012.
- [6] 藤田 雅人, 天井 治, “混合進入方式とその安全性解析手法の初期検討,” 電子情報通信学会安全性研究会, SSS2013-1, 2013年5月.
- [7] 松岡 猛, 天井 治, “航空管制における混合進入方式の安全性評価のためのヒューマンエラー確率の推定法,” 電子情報通信学会安全性研究会, SSS2015-2, 2015年5月.
- [8] 天井 治, 松岡 猛, “RNP AR と従来方式の混在環境の管制リアルタイムシミュレーション,” 平成27年度（第15回）電子航法研究所研究発表会講演概要, 2015年6月.
- [9] O.Amai and T.Matsuoka, “Air Traffic Control Real-time Simulation Experiment Regarding the Mixed Operation between RNP AR and ILS Approach Procedures,” 2015 IAIN World Congress, Prague, Czech Republic, Oct. 2015.
- [10] 天井 治, 松岡 猛, “航空管制リアルタイムシミュレーション実験による RNP AR 機最優先方式での混合運用と従来運用との比較,” 日本航空宇宙学会飛行機シンポ 3K09, 2016年10月.
- [11] 天井 治, 松岡 猛, “関西国際空港への RNP AR 進入方式導入の可能性,” 平成29年度(第17回)電子航法研究所研究発表会講演概要, 2017年6月.
- [12] 天井 治, “航空管制リアルタイムシミュレーション実験のための航空交通密度の解析,” 日本航空宇宙学会飛行機シンポ 2F04, 2017年10月.
- [13] D. Marek, “Collaboratively Innovating and Implementation PBN,” PBN Symposium and Workshops, Oct. 2012.
- [14] R.Jehlen, “Best Equipped-Best Served (BEBS),” FAA, Mar. 2012.
- [15] T. Nikoleris and M. Hansen, “EVALUATION OF PRIORITY QUEUE DISCIPLINES FOR AIRCRAFT OPERATIONS IN NEXTGEN,” 12th WCTR, Lisbon, July 2010.
- [16] A. M. Churchill, et al., “Integrating best-equipped best-served principles in ground delay programs,” ATM2011, Berlin, June 2011.
- [17] H. S. Cho and R. J. Hansman, “Understanding the Impact of Potential Best-Equipped, Best-Served Policies on the En-route Air Traffic Controller Performance and Workload,” MIT, Report No.ICAT-2012-2, Feb. 2012.
- [18] “PERFORMANCE OF AIR NAVIGATION SERVICES,” ICAO ATConf/6-WP/52, Montreal, Mar. 2013.
- [19] M.Standar, “BEBS – What does it mean?,” ICNS, Washington DC, May 2013.
- [20] 国土交通省航空局, 「管制方式基準」, 鳳文書林
- [21] S. G. Hart, and L. E. Staveland, “Development of the NASA-TLX (Task Load Index): Results of Empirical and Theoretical Research,” Amsterdam, P. Hancock & N. Meshkati (Eds.), Human mental workload, pp.139-183, 1988.