

9. 関西国際空港への RNP AR 進入方式導入の可能性

航空交通管理領域 ※天井 治, 松岡 猛

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。また RF (Radius to FIX) Leg と呼ばれる円弧旋回も可能とする。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。一方, 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。尚, FIX は飛行経路を構成する地理上の地点を表す。

RNP AR 進入方式は日本では効果が見込まれる比較的取扱機数の少ない空港から順次導入され, 国内の 20 空港以上に設定されている。

従来の ILS (Instrument Landing System : 計器着陸装置) 進入方式では, パイロットは空港に設置された装置が発する電波により水平および垂直方向のガイダンスを得ることができる。原理上 ILS 進入方式では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。一方, AR 進入方式では前述の RF Leg を活用して ILS 進入方式では不可能な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, 通常, 時間的に余裕のある進入の初期から中間段階でレーダ誘導などの方法で順序付けと間隔設定を行い, 滑走路近傍の最終段階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。尚, レーダ誘導は管制官がレーダ画面上で航空機の動きを見ながら針路指示を行って航空機を誘導することである。

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。この場合, 管制官は異なる方向から飛来し滑走路の手前で合流する航空機の到着時刻を予測して順序付けを行い, 航空機同士の安全な間隔を確保することになる。これは時間的余裕が少ない滑走路近傍での線上ではなく平面に対する思考となり, 飛行時間の誤差による予測性の低下も考えられ, 処理機数が増えると管制の困難度が増すと考えられ, 新たな考え方, 方式の変更や制限の付加等が必要となる可能性がある。図 1 にイメージを示す。

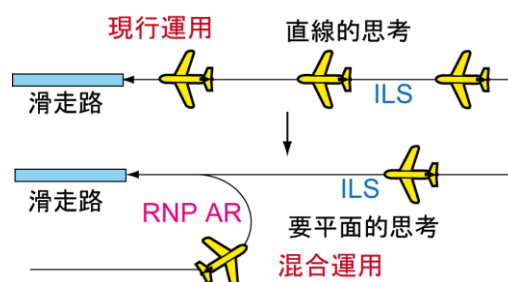


図 1 混合運用における管制の困難度

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。前者に関しては, 日

本には平行滑走路のある空港は少なく、単一滑走路での運用の模範が現実的と考える。後者は同一滑走路での同時運用と考えるが、平行滑走路での検討で詳細も不明なため、単一滑走路にそのまま適用するのは無理があると考え。このため我々は単一滑走路での複数の進入方式の混合運用の安全性と実現方法を研究^{[6],[11]}している。

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^[11]を行っている。平成 26、27 年度は仙台空港をベースとした仮想空域（仮想仙台空域）での実験を行い、3.1 節に示す知見が得られた。

これらの実験で混合運用の可能性について感触が掴めたため、この成果を生かすべく、仮想ではない空域での混合運用の可能性を調べるための研究を始めた。対象空港は航空局と調整し、関西国際空港（以後、関空と呼ぶ）を選んだ。滑走路は RWY24 とした。実験準備中に判明したが、関空は予想以上に制約が多く、仮想仙台空域とはさまざまな点で違いがあった。

本稿では、関空を対象とした航空管制リアルタイムシミュレーション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。

平成 26 年度の実験当初は AR 運航の要求はできるだけ許可し、AR 機となる可能性のある飛行便への針路指示も許可する、という条件で実験を行っていた。しかし、この条件では AR 機も従来運用（ILS）機と同様に扱われる場合が多く、AR 運航の利点を生かせないことが分かった。そのため、実験の途中から AR 運航の要求は必ず許可し、AR 機への針路指示は許可しないという条件に変更した。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）^{[12]-[15]}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^{[16],[17]}。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。

仮想仙台空域とは異なり、関空の空域では AR 機への経路短縮となる針路指示が考えられ、この指示は AR 機にメリットとなる。そこで平成 28 年度の実験では迂回指示のみを不許可とした。

3 航空管制リアルタイムシミュレーション

3.1 仮想仙台空域での実験で得られた知見

実験の初年度（平成 26 年度）は手始めに、どのような運用形態でどの程度の交通流密度・混合率なら混合運用での管制が可能かを調べるために航空管制リアルタイムシミュレーション実験を行った。以下に得られた知見の一部を示す。

- 1) AR 運航の利点を生かすためには AR 機最優先の条件が必要。
- 2) AR 機の割合を 30% と 50% とに違えた場合、管制の難しさは管制官の考え方の違いにより異なり、どちらが難しいとは一概に言えない。
- 3) 1 時間当たりの IFR 到着機数が 25 機以上の場合等は、待機経路の設定なしでは管制処理は困難。
- 4) レーダ画面上で ILS 機と AR 機との表示色を違えることは大変効果的。（実験では ILS 機を黄色、AR 機を橙色で表示）

平成 27 年度には上記の知見を基に IFR 到着機密度 20 機/時、AR 機の混合率 30%、AR 機最優先（AR 運航の要求は必ず許可、レーダ誘導不可、速度調整は可）の条件にて総計 80 回程の試行を行い、定量的評価量と定性的評価量とをそれぞれ調べた。その結果、次のことが分かった。

- 1) 定量的評価量は混合運用が従来運用より困難度が増すことを示唆しない。
- 2) 最大同時取扱機数の平均値は従来運用の方が大きい。
- 3) 定性的評価量は被験者による差異が大きい。従来運用の方が困難と感じた被験者

もいた。

3.2 仮想仙台空域と関空の空域との差異

仮想仙台と関空の空域との差異を表1に示す。差異多数で関空は仮想仙台と比べて基本的に、より複雑になっている。関空には滑走路が2本あるが、現行運用通り、片方は着陸専用、片方は出発専用として模擬した。仮想仙台では2機の到着機の間に出発機が出せる間隔として管制塔(タワー)移管時の最小航空機間隔(タワー移管間隔)を7NMとしたが、関空の滑走路は着陸専用として設定したため、関空ではレーダ間隔の3NMとした。

表1 仮想仙台と関西国際空港の空域との差異

項目	仮想仙台	関西国際空港
滑走路	1本	2本(1本ずつ到着専用、出発専用として利用)
空域	広い(滑走路の南東でレーダ誘導)	狭い(実質的にAWAJI以降レーダ誘導不可能)
周辺空港	特に考慮せず	大阪国際(伊丹)、神戸、八尾等を考慮すべき
ILS進入	屈曲のみ	旋回後の会合
到着経路数	2(南西1, 北1)	5(北1, 西1, 南西1, 南1, 南東1)

表2 仮想仙台と関西国際空港との模擬の差異

項目	仮想仙台	関西国際空港
管制官役	1名	2名
パイロット役	1名	2名
出発機	模擬せず	模擬して表示。管制指示にも対応
進入復行機	非表示	表示
タワー移管間隔	7NM	3NM
周辺空港対応	なし	伊丹, 神戸, 八尾

3.3 シミュレータの概要

航空管制リアルタイムシミュレーションは6台(仮想仙台空域の実験では3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、シミュレータと呼ぶ)を用いて実施した。表1に示した差異を考慮した仮想仙台と今回の関空との模擬の差異を表2にまとめた。

図2に装置構成および実験概要を示す。サーバ

は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。管制官役はターミナル管制業務経験者に依頼した。出発機はシナリオに従って自動的に発生させた。出発機を手動で発生できるプログラムを搭載したパソコンも用意したが、今回の実験では使用しなかった。

管制官役はシナリオに従って画面に表示される交通流を管制し、評価する。パイロット役は管制官役の発出する管制指示を復唱し、シミュレータに指示内容を伝えるために管制指示をコマンドとして入力する。AR運航の要求等も行う。尚、タワー移管後はタワー管制官が適切に管制処処理をすると仮定して、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。

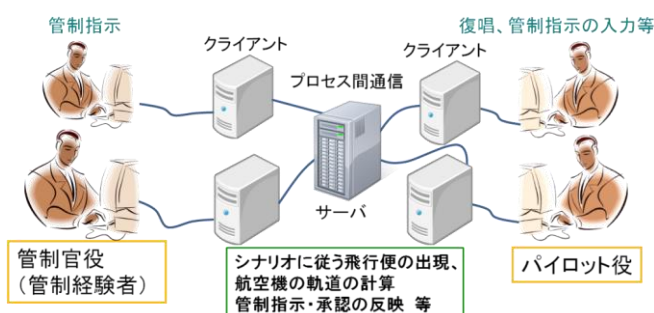


図2 装置の構成と実験概要

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。画面の右上の水色と橙色のボタンには管制に必要なさまざまな機能が付けてある。今回、関空の空域をシミュレーションするにあたり、新たにターミナルレーダ管制官から別のレーダ管制官への手動移管機能等を追加した。この機能は神戸空港到着機に対して使用した。元々は後述するフィーダー席への対応のために追加した機能である。図には示していないが、MVA(Minimum Vectoring Altitude: 最低誘導高度)チャート等も右側のボタンの選択により表示可能となっている。

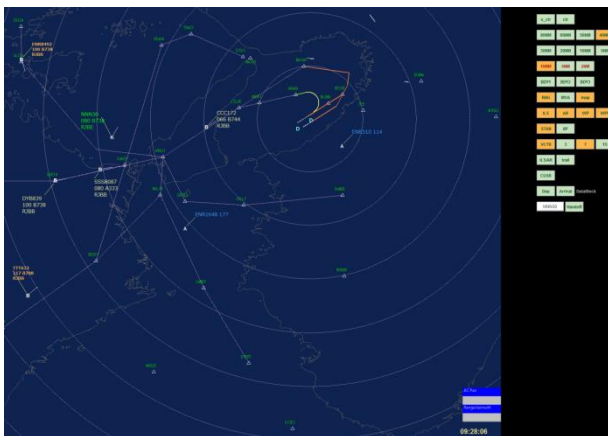


図3 模擬管制卓の表示例



図4 パイロット卓でのコマンド入力例

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に示した。表示が読み易いように一部を切り取って示した。図の例では「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。図4中の「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コマンド入力ができる

ようにしてある。

図4の例では黄色は関空到着便の ILS 機、橙色は AR 機、黄緑色は神戸空港到着便、濃い青は伊丹空港到着便および関空出発便を示している。AR 機など同一カテゴリーのものは同一色になるが、色は操作者の好みによって自由に変更できる。航空機は入域 FIX (滑走路端から平均して 105 NM 程の地点) の 15 NM 手前で発生させた。入域間隔は 10 NM 以上を確保するようにした。

4 シナリオ・条件設定

図5と図6に経路構成を示す。図中の FAF は Final Approach FIX (最終進入 FIX) を表す。

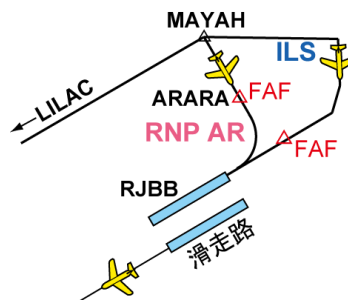


図5 経路構成1 (MAYAH-ARARA)

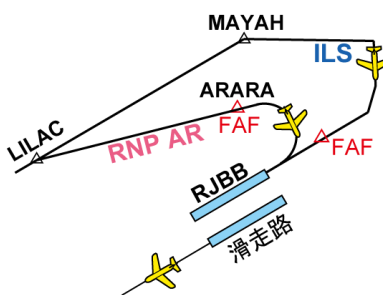


図6 経路構成3 (LILAC-ARARA)

図中に青色で ILS と書いた ILS 経路は現行のままである。以下では AR 経路のみに着目した説明を行う。尚、着陸までの速度/高度プロファイルは関空の実測データに基づいて作成した。

図5の経路は高度分離が出来ない等、管制が困難と被験者からコメントがあり2日間のみを使用した。飛行便数や混合率を減らすなどして、この経路構成での AR 運用の可能性をもっと丹念

に調べるべきであったと感じている。

その後、AWAJI と ARARA を直線で結ぶ経路を作成して実験を行った。しかし、淡路島上空に新たな経路を引くことになる等、現実的な経路構成ではないことが判明した。このため当該経路に関する説明は省き、6章の解析でも使用しない。

図6は、高度分離が図れて尚かつ上記の問題を解決した経路である。但し、図5の経路に比べてILS経路とAR経路の滑走路までの距離差は長くなるため、滑走路手前で管制間隔を維持するためにはILS機とAR機とのFAFの手前での間隔をより長く確保する必要がある。

表3 実験シナリオの種類

項目	種類	値／備考
IFR 到着便数	現行	21機／時 (18時頃のピーク時)
	3年後の予測値	28機／時(関空1.3倍、伊丹空港1.06倍、神戸空港1倍)
混合率	0%	ILS機のみ
	10%	実質的に17%
	15%	実質的に25%
	30%	実質的に40~50%
AR経路	MAYAH-ARARA (図5)	7試行(ILS機のみ4試行)で使用
	AWAJI-ARARA	14試行(ILS機のみ0試行)で使用
	LILAC-ARARA (図6)	24試行(ILS機のみ2試行)で使用

実験シナリオの種類を表3に示す。IFR到着便数(2種類)、混合率(4種類)、AR経路(3種類)を変化させ、その組み合わせにて実験を行った。

その他の条件は以下とした。

- ・ タワー移管間隔：3NM
- ・ AR運航の要求は必ず許可
- ・ AR機への経路短縮となる針路指示は許可
- ・ ILS機へは従来通りの針路指示が可能
- ・ FAFまでにタワー移管

5 評価指標

シミュレーション実験では定量的評価量と定性的評価量を調べた。6章で説明に使用する定量的評価量は以下の通りである。

的評価量は以下の通りである。

- ・ **最大同時取扱機数**
管制官役が航空路管制から管制を引き継いだ航空機をタワーに移管するまでを取扱機と見なす。管制官役が瞬間的に同時に取り扱っている機数の最大値である。
- ・ **平均速度調整回数**
速度調整の回数を管制機数で割った値。
- ・ **平均迂回距離 [NM]**
針路指示により迂回した航空機の総飛行距離と迂回なしの通常経路における飛行距離との差を管制機数で割った値。ショートカットの場合は負の値とした。ILS機とAR機とで別々に計算。
- ・ **平均追加飛行時間 [分]**
速度調整や迂回で標準飛行時間から増加／減少した時間を管制機数で割って正規化した値。ILS機とAR機とで別々に計算。
- ・ **平均タワー移管間隔**
タワー移管時の管制間隔の平均値。

NASA TLX^[18]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い、これを定性的評価量とした。図7に質問票の一部を示す。

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

慌たしさを感じた場合、どのような場面で特に慌た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、あるいは急速で慌たしさを感じましたか。
-------	--

図7 質問票の一部

アンケートは各試行の終了直後に行い、以下の5項目について質問した。図7の様に各項目を10段階で評価し、記述形式の自由回答欄も設けた。

- ・ **時間的負担**

慌ただしさ。慌ただしさを感じた場面。

- ・ **努力**
努力の程度。必要とした技量。
- ・ **欲求不満度**
ストレス、苛立ちの程度。どのような状況で何に対してストレスを感じたか。
- ・ **達成感**
納得できたか。納得がいかなかった理由。
- ・ **交通流について**
交通流の困難さ。順序付け等の判断に苦しんだ箇所。

6 実験結果と考察

実験は準備期間を含めないで2週間（週3日）を2回に分けて、以下のように実施した。

- ・ 管制官役 3名（1名は3日間のみ）
- ・ パイロット役 2名
- ・ 1回のシナリオの試行時間 40分～50分
- ・ 1日の試行回数 4回程

試行時間は20～65分とバラツキがあったが、40～50分が最多であった。管制官役のうち、1名は調整官役として被験者に助言を行った。

表4 実験開始前後のスケジュールの変化

順番	実験開始前	実験開始後
1	現行 混合率 0%	現行 混合率 0%
2	現行 混合率 30%	現行 AR機 30%
3	予測値 混合率 0%	現行 混合率 10%
4	予測値 混合率 10%	現行 混合率 15%
5	予測値 混合率 15%	現行 混合率 30%
6	予測値 混合率 30%	予測値 混合率 0%

※現行は IFR 到着機 21 機/時、

予測値は 3 年後の交通量で IFR 到着機 28 機/時

実験開始前後のスケジュールの比較を表4に示した。仮想仙台での実験では20機/時程のIFR到着機での管制は問題なさそうとされたため、実験開始前は3年後のピーク時の交通量の予測値（IFR到着機28機/時）での混合運用の可能性を中心に実験を進める予定でいた。しかし、実験を始めてみると現行のピーク時の交通流（IFR到着機21機/時）における混合運用でも大変とさ

れたため、予定を変更して現行交通流における実験を中心に実施した。これは、表1に示した仮想仙台と関空との差異に依る所が大きいと考える。

尚、予測値の交通量における ILS 機のみを試行を一度だけ行った。現行交通流に慣れてからの試行であったこともあり、なんとか管制できた。

6.1 混合率

シナリオ上は混合率を30%までとしたが、一番機は管制対象外となったことから除き、また交通流の集中する時間帯を重点的に実験したため、データ上の平均値は36%、最大値は50%となった。10%、15%の場合も同様であった（表3参照）。

6.2 同時取扱機数

現行交通流での混合運用時の最大同時取扱機数の平均値は9.7機であり、殆どの試行で10機であった。また、同時取扱機数が7機以上の時間の割合の平均値は49%、最大値は68%であった。3年後の予測値の交通量での試行（ILS機のみ）では、最大同時取扱機数は11機で、同時取扱機数が7機以上の時間の割合は88%であった。

同時取扱機数が7機以上では管制が困難^[19]と言われている。仮想仙台の実験では IFR 到着機 20 機/時での最大同時取扱機数は混合運用で7機未満^[10]であった。取扱対象となる距離は仮想仙台では60NM程で、関空では100NM程であり、最大同時取扱機数は仮想仙台では6機、関空では10機と比も合っており、この距離の長さが関空で10機となった最も大きな要因と考える。

3年後の交通流の予測値を用いた試行では、当初からターミナルレーダ管制官とタワー管制官の間にフィーダー席を設ける事を考えていた。しかし、現行交通流での混合運用の実験を踏まえて、「フィーダー席の業務は速度調整のみとなり、あまり効果が期待できない」という意見も聞かれた。

6.3 平均速度調整回数

ILS 機および AR 機への平均速度調整回数（最

終日のみの平均値)はそれぞれ1.9回, 1.4回であった。これらの頻度が現実的かどうかを速度調整の値(最低速度)の妥当性等も含めてパイロット等に確認する必要がある。

6.4 迂回距離と追加飛行時間

AR機優先方式のため、その分ILS機が割を食うことになることは避けられない。また、AR機への経路短縮以外の針路指示は不許可としているため、その分、速度調整回数が増えることは昨年度までの実験にて確認済み^[10]である。

ILS機とAR機との迂回距離および飛行時間の増加量を表5に示す。混合運用では平均追加飛行時間はILS機の方が1.8倍長い。AR機の平均迂回距離は-0.6[NM/機]であるが速度調整で打ち消されてか、平均追加飛行時間は1.3[分/機]の増加となった。ILSのみの場合の平均追加飛行時間は1.9[分/機]となり、混合運用でのILS機(2.3)とAR機(1.3)の間の値となった。

表5 ILS機とAR機の迂回距離と追加飛行時間

進入方式	平均迂回距離 [NM/機]	平均追加飛行時間 [分/機]
ILSのみ	1.5	1.9
混合運用		
ILS	1.2	2.3
RNP AR	-0.6	1.3

6.5 タワー移管間隔

タワー移管間隔の平均値は9.9NMであった。しかし、滑走路近傍での間隔の平均値は6.9NMで平均して3NM詰まった。滑走路近傍の間隔はILS機とAR機とで3NMを切ることもあり、これをどうクリアするかが実験中の目標となった。

6.6 評価量同士の相関関係

定量的/定性的評価量等同士の相関関係を調べた。本稿では相関係数の絶対値|r|が0.4以上の場合を「相関あり」と見なす。相関ありとなった組み合わせの一部を表6に示す。多くは納得の行

く関係であるが、表6の最上段に記載した相関係数-0.66となったILS平均追加飛行時間と混合率の関係に関しては理由が分からず考察中である。

表6 評価量の相関関係

評価量1	評価量2	r
ILS平均追加飛行時間	混合率	-0.66
ILS平均追加飛行時間	AR平均追加飛行時間	0.53
ILS+AR平均追加飛行時間	ILS+AR平均迂回距離	0.47
ILS平均速度調整回数	ILS平均迂回距離	-0.4
非達成感	混合率	-0.49

6.7 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。

- ・ 入域経路が5つのため、早期順序付けが必要
- ・ AWAJIから40~50NMを飛行するため、早い段階からの頻繁な速度調整が必要
- ・ LILAC辺りまでに前後の航空機を含めた次の3機相互間の間隔設定が必要
先行ILS, 後続ARでは20NM以上の間隔
先行AR, 後続ILSでは10NM以内に収める。
- ・ 調整官役の効果は大きい。

6.8 今後の実験計画

以上を踏まえて、以下の条件等で次回の実験を検討中である。

- ・ 交通流の比較的少ない時間帯を対象とする。
- ・ 混合率も15%など少なめに設定する。
- ・ 風を加えて、速度のバラツキも再検討する。
- ・ LILAC付近での速度指定FIXも検討する。
- ・ 引き続き調整官役を配置する。
- ・ 入域時刻にも幅を持たせる。

7 まとめ

RNP AR機最優先の条件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(関空)でのRNP AR機とILS機の混合運用の実現可能性を調べた。以下の知見が得られた。

- 1) 現行運用のピーク時におけるIFR到着機

密度 21 機/時，混合率 30%での実験結果は，関空での混合運用は到着機数がもう少し少なければ可能そうであることを示唆。

- 2) 最大同時取扱機数の平均値は 9.7 機で管制官の負荷は大きく，比較的交通流の少ない時間帯での可能性を詳細に検討すべき。
- 3) 混合運用の場合の平均追加飛行時間は ILS 機の方が AR 機のそれより 1.8 倍長く，ILS 機のみの場合のそれは 1.9 [分/機] で AR 機と ILS 機の平均値に近い値であった。
- 4) タワー移管間隔の平均値は 9.9 NM であった。滑走路近傍での間隔の平均値は 6.9 NM で 3 NM 詰まっていた。

安全性に関しては，独自のハザード解析手法^[7]を用いた解析により別途調査中である。

今後は交通流の比較的少ない時間帯を対象とし，実環境により近づけた実験を計画している。

謝 辞

実験の準備にあたり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] Christopher Devlin et al., “Applications and Benefits of RNP Approaches in the United States National Airspace System”, MITRE Corporation, McLean, VA 22102, USA.
- [5] Jane Thipphavong 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”，電子航法研究所第 15 回発表会講演概要，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，“RNP AR 機最優先方式での従来機との混合運用の可能性”，電子航法研究所第 16 回発表会講演概要，2016 年 6 月。
- [11] 天井，松岡，“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。
- [12] T. Nikoleris and M. Hansen, “EVALUATION OF PRIORITY QUEUE DISCIPLINES FOR AIRCRAFT OPERATIONS IN NEXTGEN”, 12th WCTR, Lisbon, July 2010.
- [13] A. M. Churchill, et al., “Integrating best-equipped best-served principles in ground delay programs”, ATM2011, Berlin, June 2011.
- [14] 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.
- [15] “PERFORMANCE OF AIR NAVIGATION SERVICES”, ICAO ATConf/6-WP/52, Montreal, Mar. 2013.
- [16] Richard Jehlen, “Best Equipped-Best Served (BEBS)”, FAA, Mar. 2012.
- [17] Michael Standar, “BEBS – What does it mean? ”, ICNS, Washington DC, May 2013.
- [18] 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.
- [19] H. Smieszek, et al., “Cognitive Simulation of Limited Working Memory Capacity Applied to an Air Traffic Control Task”, 12th International Conference on Cognitive Modelling, Ottawa, Canada, July, 2013.