

## 6. 洋上経路におけるRNP4の導入効果について

航空交通管理領域 ※福島 幸子, 岡田 一美, 住谷 美登里, 福田 豊

### 1. はじめに

現在, 福岡飛行情報区 (FIR; Flight Information Region) では, 洋上空域を飛行する多くの航空機が航法性能として RNP10<sup>[1]</sup>を満たしている. それら航空機間では縦方向 50NM, 横方向 50NM の間隔での飛行が可能である. さらに, RNP4<sup>[1]</sup>の要件を満たせば, 縦方向 30NM, 横方向 30NM 間隔での飛行が可能となる. 福岡 FIR では 2008 年 8 月から RNP4 運航に対応した ADS30/30 の試行運用を行っている<sup>[2]</sup>. また隣接するオークランド FIR と ADS30/30 の要件を満足する場合に, そのままの間隔で受け渡しができるシームレス試行運用を行っている<sup>[3]</sup>.

RNP4 の運航を行うには機上装置の搭載のみでなく, ADS ポジションレポートの頻度を増やす必要がある. そのコスト増への懸念から RNP4 の要件を満たしながらも承認を受けない航空機も多い. 現在の RNP4 適合率は福岡 FIR 内を飛行する北米路線で約 30%<sup>[4]</sup>であり多くの航空機間で 30NM の管制間隔が適用できるわけではない. FANS 1/A 対応機は RNP4 の要件を満たしており<sup>[5]</sup>, これらが承認を受けられれば適合率は 44%へ改善されるとの指摘がある<sup>[6]</sup>.

本稿ではこの適合率の変化による, 洋上経路での導入効果として, 高度変更機数の変化について管制シミュレーション結果を報告する. また将来的な交通増についての検討結果も併せて報告する.

## 2. シミュレーション方法

### 2.1 シミュレータ

当所の洋上管制シミュレータ<sup>[7]</sup>は, 以下の 2 つから構成される.

- ① TRACK サブシステム
- ② DETECT サブシステム

TRACK サブシステムは, 気象情報を基に, 最適経路を計算するとともに, 離陸重量による

高度プロファイルや消費燃料を計算する. 気象データは 6 時間ごとのデータを読み込んでいる.

DETECT サブシステムは航空機間のコンフリクトを検出する. 回避操作を行ったときには, 高度プロファイルや消費燃料を再計算する. 全てのコンフリクトが解消されるまで回避操作を繰り返し得られた高度プロファイルを管制運用後のプロファイルとみなす.

### 2.2 洋上経路

日本から北米へ飛行する航空機は, 主に固定経路である NOPAC (NOrthPACific) 経路, もしくは PACOTS (PACific Organized Track System) 可変経路を飛行する. 図 1 に日本付近の NOPAC 経路を示す. これらは 5 本の ATS (Air Traffic Service) 経路で, 北から R220, R580, A590, R591, G344 という名前である. それぞれ 50NM 以上の横間隔が確保されている.

PACOTS 経路は毎日の気象予報に基づき設定・公示される. PACOTS 経路は管制運用上の効率性から NOPAC 経路と重複することもあるが, NOPAC 経路と分岐・合流・交差しないように設定される. また, 代表的な PACOTS 経路は横間隔が緯度で 1 度以上離されて設定される.

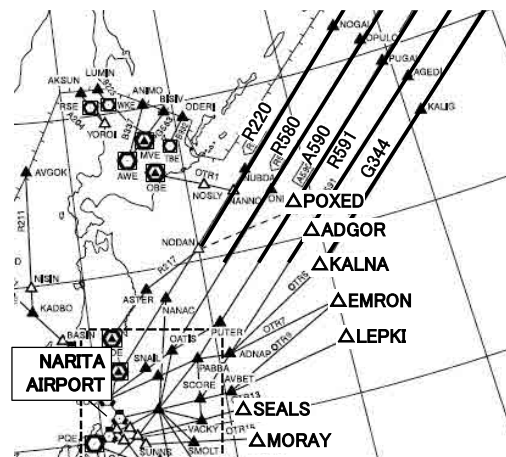


図 1 NOPAC 経路

東行きの NOPAC 経路は A590 から南の 3 本 (A590, R591, G344) であり, PACOTS も A590 以南で設定される. 代表的な東行き PACOTS トラックは, 成田からの経路として, トラック 1 (シアトル・バンクーバー行き), トラック 2 (サンフランシスコ行き), トラック 3 (ロサンゼルス行き) である. それぞれ横間隔が確保される. トラック 8 (ダラス行き) はトラック 1 やトラック 2 から分岐することが多いが, トラック 1 の北側もしくは南側に設定されることもある. 図 1 中△を開始地点として, 各トラックは設定される (A590 は通過地点を表示).

### 2.3 シナリオ作成

洋上経路は, 同じ都市間の飛行であっても, 気象条件によって選択される経路が異なる. PACOTS 経路の位置が異なるだけでなく, NOPAC 経路も含めてどの経路を飛行するかは航空会社がそれぞれ決定する. PACOTS 運用データと飛行情報管理システム (FDMS ; Flight Data Management System) 統計データを参考に, 1 日分の福岡 FIR を飛行する (出発機, 通過機とも含む) 北米行き交通流シナリオを 10 日分作成した. 気象条件によって都市対ごとの最適経路は異なるため, 代表的な異なる経路構成の日を数日ずつ選択した. 異なる空港でも同一経路を飛行することが一般的である場合, 近

表 1 シナリオの経路

日付	経路の特徴	交通量の多い経路
DAY1*	T8 が A590 T1 が R591	A590
DAY2*	T1,T8 が R591	R591
DAY3	T2,T8 が KALNA から	T2(T8)
DAY4	T1 が G344	A590 G344(T1)
DAY5	T1 が KALNA から	A590 T1
DAY6	T1 が R591	A590
DAY7*	T1 が KALNA から	A590 T2
DAY8	T1 が R591	A590
DAY9	T1,T8 が KALNA から	A590 T1(T8)
DAY10	T1 が G344	A590

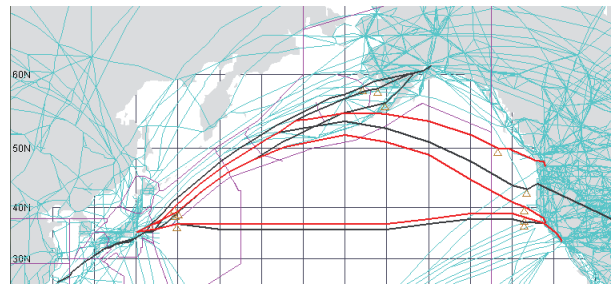


図 2 DAY2 の経路

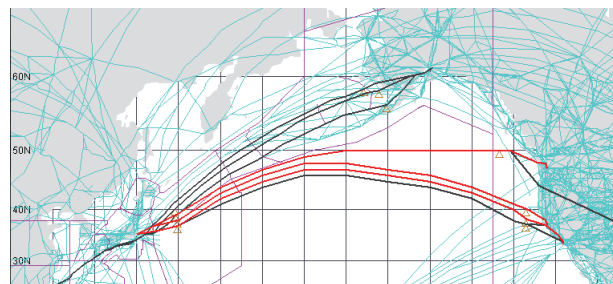


図 3 DAY9 の経路

くの代表的な空港の発着とした. なお, 出発空港を変えた場合は, 経路の通過時刻は変わらないように, 出発時刻を変えた. 国内の出発機はすべて成田空港の出発とした.

各シナリオの特徴を表 1 に示す. なお, 表中 T1 はトラック 1 を示す. A590 や R591 はアンカレッジや米国中部への飛行が多い. また, DAYx に\*がついている日については, 交通量を増加させたシナリオも併せて作成した.

経路構成例として, 北側に経路が引かれる DAY2 の経路を図 2 に, NOPAC に経路が重ならない DAY9 の経路を図 3 に示す. 黒線は北から A590, R591, G344, トラック 8, トラック 14 (台北からサンフランシスコ行き) を示す. 赤線は北からトラック 1, 2, 3 を示す.

表 1 のシナリオを基に, 表 2 に示す RNP4 の適合率を変えたシナリオを作成した. アルファベットは適合率を示し, RNP\_A が現状の適合率である. RNP\_B は FANS1/A 適合機の割合を想定し FANS 1/A 適合が確認されている本邦航空会社の航空機とした. RNP\_C, RNP\_D は

表 2 RNP4 の適合率

	RNP_A	RNP_B	RNP_C	RNP_D	RNP_E
RNP4 の割合	約 30%	約 40%	約 60%	約 75%	100%

ランダムに適合率を増やし、RNP\_E は全ての航空機がRNP4を適合していることを想定した。現在、利用者設定経路（UPR; User Preferred Route）が試行運用中の経路もある。しかし、本稿では全ての航空機が、東行き NOPAC か PACOTS 公示トラックを飛行することとした。FDMS 統計データの経路を優先し、FDMS から判断できないときは一般的な都市対に基づく経路を選択した。また、DAY1~4については全経路を、DAY5~10については交通量の多い2~3経路についてシミュレーションを行った。

## 2.4 管制シミュレーション

上記シナリオに基づいて管制シミュレーションを実施した。最低管制間隔が確保されない状態を事前にコンフリクトとして検出し解決する。RNP4 同士では同高度縦横 30NM、どちらか一方が RNP10 であれば同高度縦横 50NM を最低管制間隔とする。コンフリクトを回避するために、その解決案を入力していく。洋上空域での解決方法としては、高度変更と国内空港からの出発機の出発時刻の変更（遅延）がある。出発時に国内空港出発機と通過機に管制間隔が確保されない場合は通過機の高度を優先した。それ以外では先行機の高度を優先した。

DAY1~DAY4 については RNP\_A~RNP\_E まで管制シミュレーションを実施した。DAY5~DAY10 については RNP\_A~RNP\_C までシミュレーションを実施した。交通量を増やしたシナリオについては RNP\_A と RNP\_C のみシミュレーションを実施した。

## 3. シミュレーション結果

### 3.1 高度変更機数と交通量

図4にDAY2の各経路の東経160度付近までの高度変更機数と交通量を示す。棒グラフ（高度変更機数；左軸）は左から RNP\_A,B,C,D,E と並び、折れ線グラフ（Traffic；右軸）は各経路の1日の交通量（機数）を示す。

DAY2で最も交通量の多いR591では1日の機数が58機であり、RNP\_Aの場合に22機（経路全体の41%）の航空機が高度変更を行った。RNP\_B, C, D, Eの高度変更率はそれぞれ34%, 29%, 31%, 24%となった。RNP\_Dで上昇し

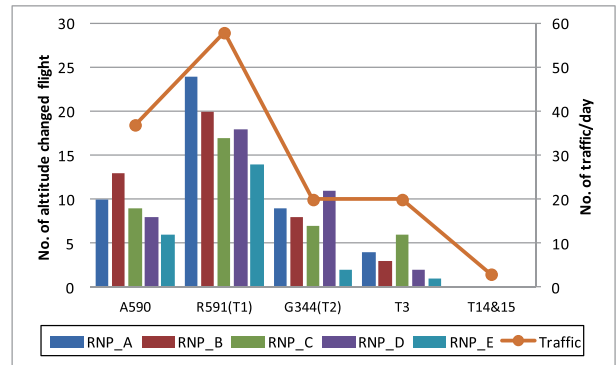


図4 高度変更機数と交通量 (DAY2)

ているが、概ね減少傾向といえる。A590もRNP\_Bで高度変更機数がRNP\_Aよりも増加しているが、RNP\_B以降は順次減少した。一方G344やT3はRNP\_D,RNP\_Cでそれぞれで上昇した。

### 3.2 高度変更機数とピーク時交通量

RNP4の適合率が増加しても、高度変更機数の低減があまり現れないこともあった。また、1日の交通量が多くても、高度変更機数が減少しない場合もあった。そこで、高度変更機数と

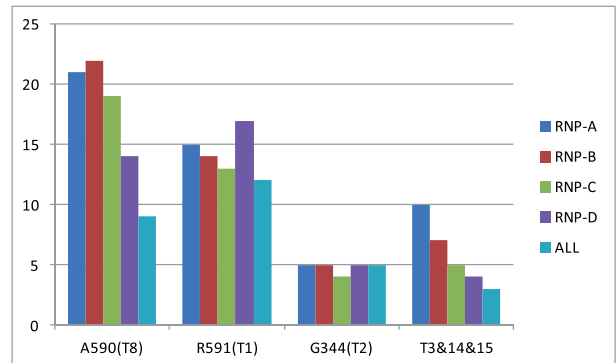


図5-a 高度変更機数 (DAY1)

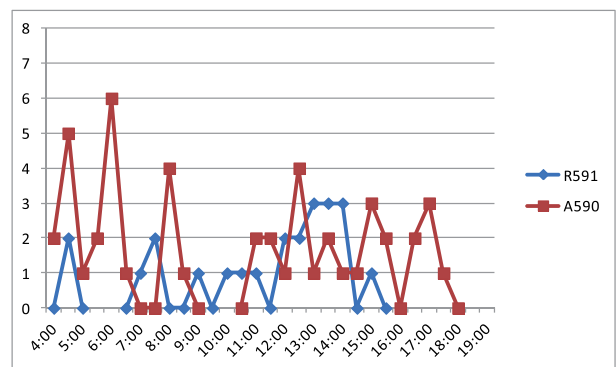


図5-b 30分あたりの交通量 (DAY1)

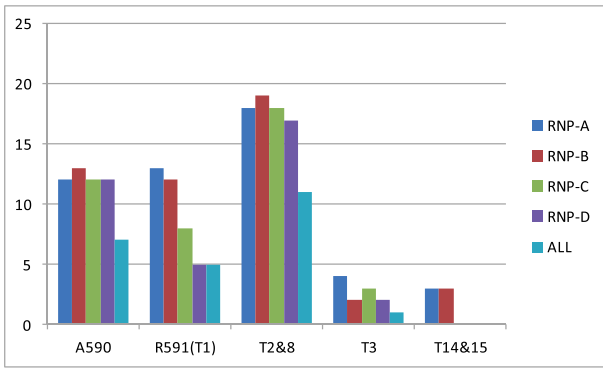


図 6-a 高度変更機数 (DAY3)

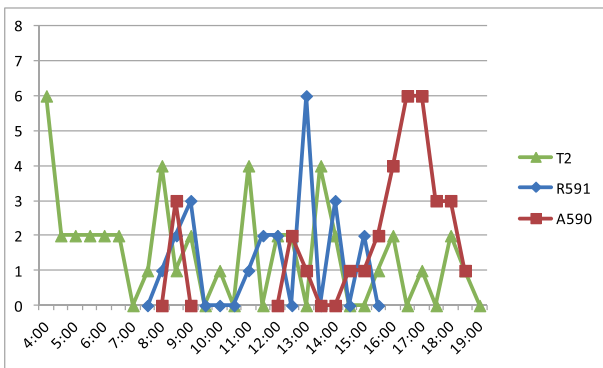


図 6-b 30分あたりの交通量 (DAY3)

ピーク時交通量の関係調べた。

高度変更機数と東経160度付近の交通量を経路毎に DAY1 は図 5a,b に、DAY3 は図 6a,b にそれぞれ示す。交通量は 30 分間の通過機数（時刻は UTC）を示す。

図 5-a では A590 の場合は RNP\_B 以降、高度変更機数が減少しているが、R591 の場合は RNP\_A から RNP\_C までは段階的に高度変更機数が減少している。しかし、RNP\_D では高度変更機数が増加している。

図 5-b では、A590 では、30 分あたり最高 6 機の交通量があり、R591 は 30 分あたり最高 3 機であった。最高交通量が多かった A590 のみ高度変更機数が減少したといえる。

図 6-a では A590 は RNP4 の適合率の改善に伴う高度変更機数の改善が見られない。図 6-b では各経路とも 30 分あたり最高 6 機の交通量があったが、図 5-b との差は A590 のピーク時間帯が異なることである。図 5-b での A590 のピーク時間は出発機が多く、図 6-b のピーク時間はほとんどが通過機であった。

本シミュレーションでは全体的に A590 よりも R591 や G344 の方が、少ない交通量でも RNP4 の導入効果がみられた。これは交通流の特徴、すなわち国内出発機の割合によるものと推測される。詳細は今後検討したい。

### 3.3 交通量増加時の効果

3.2 での検証から交通量が将来増加した場合を模擬した。交通量を 1.1~1.3 倍としたシナリオを作成し、同様のシミュレーションを行った。シナリオはランダムに増加させた。RNP4 については RNP\_A と RNP\_C について検証した。2 つの経路についての高度変更機数を、DAY1 は図 7 に、DAY3 は図 8 に示す。なお、x10 は 1.0 倍、x13 は 1.3 倍を示す。

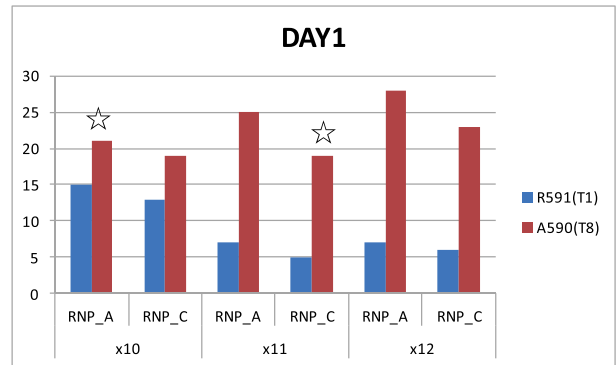


図 7 交通量と高度変更機数 (DAY1)

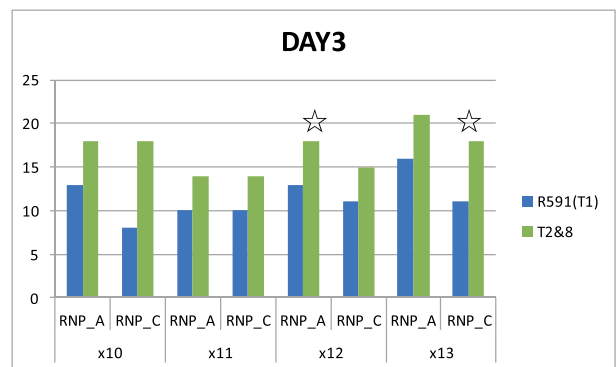


図 8 交通量と高度変更機数 (DAY3)

DAY1 の混雑経路である A590 について、交通量の増加に伴い RNP\_A では高度変更機数が増加している。x11 の RNP\_C を x10 の RNP\_A と比べると、x11 の RNP\_C の方が高度変更機数が少ない (図中☆)。これは、交通量が 1.1 倍になっても RNP\_C となる、すなわち RNP4 の

適合率が増加することで、高度変更機数の増加を低減できることを示す。また、交通量が A590 ほど多くない R591 でも RNP\_C になることで、高度変更機数が減少することが示された。

一方、DAY3 については混雑経路である T1 については RNP4 適合率上昇に伴う高度変更機数の減少が x10 から見られる。T2&T8 については x11 までは高度変更機数の変化は見られないが、x12 以降、DAY1 の A590 同様に、交通量増加による高度変更数の増加を低減している。(図中☆)。

また、DAY3 の混雑時間帯のある出発機について高度プロファイルを図 9 に示す。ORG は飛行計画通りのプロファイルを示し、13A は 1.3 倍のシナリオで RNP\_A を示し、140E は東経 140 度、130W は西経 130 度を示す。

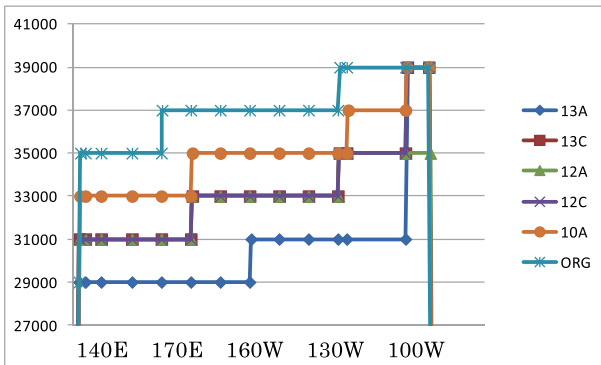


図 9 高度プロファイル例 (DAY3)

高度上昇が早い順に、10A, 12C, 13C, 12A&13A である。110W 付近の部分では、12A では 35,000ft であるが、13C は 39,000ft と高高度 (ORG と同じ) になっている。これは、RNP4 の導入が進むと、交通量が増加しても大幅な高度低下を低減できる例といえる。

### 3.4 RNP4 効果適用ペア数

前後機が RNP4 機であったため、30NM の間隔が適用され、後続機が上昇できたペア数を調べた。それらを経路毎にグラフとしたものを図 10 に示す。RNP\_A, RNP\_C のみしか行わなかった交通量増加シナリオについては、RNP\_B の値を線形補完している。

RNP4 の適合率が上昇しても、ほとんど変わらない場合もあったが、78% の場合でペア数は

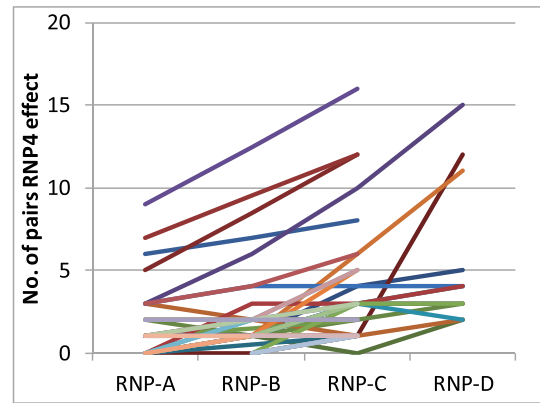


図 10 RNP4 による管制間隔短縮ペア数

増加し、38% の場合でペア数は RNP\_A から RNP\_C で倍増した。

### 3.5 国内空港からの出発機

DAY1 の 1.1 倍シナリオの A590 通過ピーク時間帯の航空機の消費燃料を図 11 に示す。

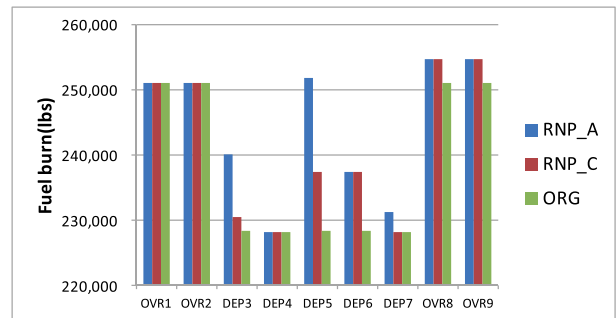


図 11 消費燃料 (DAY1 A590 1.1倍)

横軸は通過時刻順に並んでいる。緑色 (ORG) は飛行計画通りに飛行した場合の消費燃料である。DEP は成田の出発機、OVR は海外からの通過機を表す。

出発機である DEP3 や DEP5 は、RNP10 から RNP4 となった場合に燃料の削減効果が大きい。また、通過機の燃料を増加させてないことも示された。

## 4. 考察

### 4.1 RNP4 の効果と交通量

RNP4 の導入効果のあるなしを、経路毎の高度変更機数の増減で定義し、交通量との関係性を考察する。

RNP\_x での高度変更機数を  $NC_x$  とする。

RNP\_A~RNP\_D までの試行を行った場合に、効果がある条件は以下の2条件とした。

①  $NC_A > NC_D$

②  $NC_A > \min(NC_B, NC_C)$

この条件を適用すると、図5-aのDAY1は、A590&TRK8, TRK3&14&15は効果があったことになり、TRK1(R591), TRK2(G344)は効果がなかったことになる。

なお、試行がRNP\_A, RNP\_Cの2回であった場合は、

$$NC_A > NC_C$$

とした。

各日（交通量増加シナリオを含む）の経路毎に、30分間の交通量（機数）の最高値と効果があったかどうかを解析し、効果のあった回数の割合を図12に示す。また、各交通量に相当する試行回数（Routes:右軸）を棒グラフで示す。総試行回数は48回である。

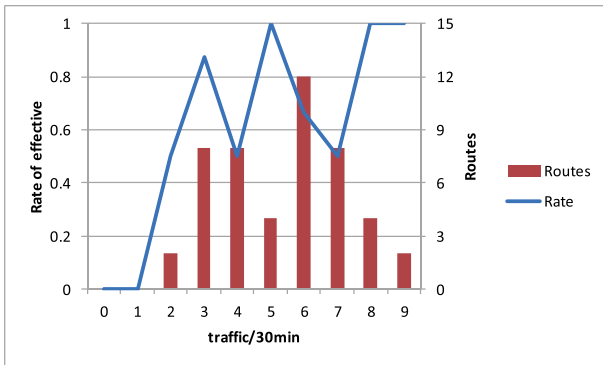


図12 RNP4の効果と交通量

30分に4~7機の場合は、効果がみられることとみられないことがあった。特に、A590の場合は30分に6機程度では効果がみられないことが多かった。RNP4の導入効果は縦間隔が30~50NMの時にみられる。通過機の多い時間帯（図6-b中16:00UTC付近）は、大きな差がみられなかった。しかし、A590で出発機の多い時間帯に交通量が30分に6機程度あったときには効果がみられた。

30分に8機以上の交通量があった場合は、高度変更機数にRNP4の効果が見られた。

## 5. まとめ

太平洋上でRNP4適合機が増加した場合の高

度変更についてシミュレーションを行った。現在の交通量では、交通量の少ない経路では高度変更機数が減少しない場合もあったが、交通量の多い経路では高度変更機数が減少した。

30分あたり8機以上の場合は、RNP4適合率が40%程度に改善されるだけでも、高度取得率が改善された。4~6機の場合は改善される場合と変わらない場合があった。出発機の多い時間帯は改善される傾向にある。

特にRNP4適合率が60%程度まで改善されると、将来の1.3倍の交通量にも対応できること、早めに高度が上昇できることが示された。

また、前後機がRNP4適合機であったために後続機が上昇できた回数もRNP4適合機の増加に伴って概ね増加することが示された。

今後は飛行経路として、導入が拡大しつつあるUPRを含めたRNP4導入効果を検討したい。

研究を進めるに当たり、洋上管制に関するデータやPACOTS運用データ、FDMSデータをご提供くださった、国土交通省福岡航空交通管制部航空交通管理センターの管理管制官各位に深く感謝いたします。

## 参考文献

- [1] ICAO, "Performance-based Navigation (PBN) Manual", Third Edition, 2008.
- [2] 国土交通省, "洋上空域における管制業務の高度化について（管制間隔の短縮及びUPR方式の試行運用）", 2008.
- [3] JCAB and FAA, "RNP4 30 Nautical Mile (NM) Lateral/Longitudinal Distance-based Separation", IPACG/35, IP/13, Nov. 2011.
- [4] ENRI, "RNP4 Benefit on PACOTS Route", IPACG/35 IP/21, Nov. 2011.
- [5] ICAO, "Global Operational Data Link Document (GOLD)", First Edition June. 2010.
- [6] FAA, "ADS-C Climb Descend Procedure (CDP)", IPACG/34, IP/03 PowerPoint, May. 2011.
- [7] 福田, 福島, 住谷, 瀬之口, "ATM 環境下における洋上空域効率的運用手法に関する研究", 電子航法研究所要望研究報告書, 平成17年6月.
- [8] 国土交通省, "AIP Japan"