

空中待機時間からみた 羽田空港到着機に対する出発制御の有効性分析

平田 輝満¹・屋井 鉄雄²

¹正会員 (財) 運輸政策研究機構 運輸政策研究所 研究員 (〒105-0001 港区虎ノ門3-18-19)

E-mail:hirata@jterc.or.jp

²正会員 東京工業大学大学院総合理工学研究科 教授

我が国では安全で効率的な航空交通流の形成を目的として、航空交通管理 (ATM) センターにおいて、空港・空域における交通量を予測し、容量規定値を超えると予測した場合、航空機を地上待機させる出発制御を実施している。現在世界的にATMの高度化が図られており、その基礎となる出発制御の効率化方策を検討することが重要である。そのため、本研究では、実際の航空運航データを利用し、出発制御の実態について基礎的な分析することを目的とした。まず、出発制御の時間変動や季節変動について分析を行うとともに、出発制御機の空中待機時間から、出発制御の有効性や交通量や容量の予測における不確実性の影響について考察を行った。

Key Words : *air traffic flow management (ATFM), expected departure control time (EDCT), delay*

1. 研究の背景と目的

世界的な航空交通量の増加、その中でも特に今後はアジア発着の航空交通量の増加が見込まれている。これまでも増加する航空交通量に対応するために空港の整備、拡張が世界の主要都市で実施され、また空域の再編や管制運用の工夫による容量拡大、効率化も精力的に進められてきた。その中で、近年注目されているのが、航空交通量と空域・空港容量の予測に基づく戦略的な空域利用や航空交通流の管理を行う「航空交通管理 (ATM : Air Traffic Management)」であり、その近代化が欧米を中心に進められている。国際民間航空機関 (ICAO) において、将来における航空機の安全かつ効率的な運航を支援するため、2025年及びそれ以降を見据えた世界的に調和のとれたATMに関する基本的方向性 (グローバルATM運用概念) がとりまとめられ、それを受け、米国では2025年を目標に航空交通システムの革新を目指すNextGen (Next Generation Air Transportation System) と呼ばれるプログラムを産官学のコンソーシアムを組み強力に推進しており、欧州では2020年を目標に空域、管制システムの統合と再編を目指すSESAR (Single European Sky Air Traffic Management Research) と呼ばれるプログラムが推進されている。我が国においても2006年から福岡のATMセンターの本格運用が開始され、システムマティッ

クな交通流制御や協調的意思決定システムによる空域管理などが実際に運用されており、さらに2011年に我が国の航空交通システムの変革プログラムであるCARATS (Collaborative Actions for Renovation of Air Traffic Systems) が策定され、ATMの運用概念の変革と高度化が計画されている。今後、より効率的なATMの運用方法を検討するためには、まず各地域の航空交通流の特性や課題を十分に分析、評価することが重要である。

ATMの中でも航空交通流をプロアクティブに制御・管理する「航空交通流管理 (ATFM : Air Traffic Flow Management)」の手法としては、飛行間隔の調整や飛行経路の変更など様々なものが存在するが、中でも代表的なものの一つが「出発制御¹⁾」である。空港・空域などにおける過度な混雑は、航空管制の運用上、安全面・効率面で問題となる。特に到着機の集中により目的地空港の上空で多数の着陸待ちが発生することは、限られた空域で到着機の交通整理を行う管制官の作業負荷が上昇し、またCO₂排出の面でも問題となる。そこで、ATMセンターにおいて全国の空港および空域における将来交通量を予測し、予め設定した容量値を超えると予測した場合、航空機を出発空港で地上待機させ離陸時刻の調整 (出発制御) や飛行経路の変更等を行っている。簡単に言えば、空中待機が予測される時間分を出発空港で地上待機させるということである。この出発制御は、離陸前から制御

を行うため比較的長期の予測（交通量や容量）が必要であり、そのためその予測精度によっては期待した効果が得られなかったり、希少な容量を効率的に使用できなかったりする可能性がある。しかし一方で安全性・CO₂排出の面では飛行中の調整よりも望ましい。そのため、現在行われている出発制御の効率化・高度化が将来のATMにとって重要と考えられ、その実態や効果に関して分析する必要性が高い。

そこで、より効率的な出発制御方法を検討するため、本研究では、国土交通省航空局より提供を受けた航空機の実績運航データとATM関連データを利用し、我が国の最大の混雑空港である羽田空港の到着機を対象とした出発制御の実態、また出発制御の効果と課題について、基礎的ながらも概ね把握することを目的とした。

2. 既往研究と本研究の位置づけ

出発制御等のATFMおよび密接に関連する航空機遅延の実態に関する我が国における研究としては電子航法研究所における一連の研究が挙げられる。蔭山ら²⁾ではATMパフォーマンスを評価するため航空機の運航に関する飛行計画情報やレーダー情報などを統合・データベース化し遅延等の解析が可能なシステムを構築している。それらデータを活用し、羽田空港の出発到着便を対象に、予定されていた（もしくは実績で最短の）時刻や所要時間を基準値として、その値と実績値の差を分析している³⁾。その結果、出発から到着の区間で、出発空港におけるスポットアウトまでの時間およびスポットアウトから離陸までの所要時間における遅延が全体の遅延の中で大きなシェアを占めており、また後者の遅延については、同時間帯にスポットアウトする機数が多い時に滑走路で離陸待ちの時間が発生することが原因の一つと分析されている。これは、時間帯ごとにスロット値の上限を制限しているものの、短時間でみるとそのダイヤに偏りが依然として存在することを意味する。住谷ら⁴⁾は東京航空交通管制部の15セクタを対象に航空機のセクタ通過時間や方面別機数、管制官による同時管制機数などの実態を分析し、ATFMで活用する管制負荷を考慮した空域交通量指標の提案を行っている。Clausらの一連の研究では、羽田空港到着機に関して方面別の経路や誘導特性を分析し、特に羽田のターミナル空域（進入・ターミナルレーダー管制）とその西側に接するエンルート空域（航空路管制）の間における羽田到着機のメータリング遅延の実態分析と待ち行列理論による遅延量の再現⁵⁾、さらにエンルート空域における到着順序付けによる遅延軽減方策の提案とそれに必要な空域サイズの解析⁶⁾を行っており、最近では高高度と低高度への遅延の配分率からみた燃料

消費量変化と最適化に関して解析を行っている⁷⁾。木村ら⁸⁾は羽田から150NM以内のターミナル空域とエンルート空域のレーダー軌跡データ（2008年偶数月の系39日分）を活用し、両空域における滞留時間（混雑や合流による最短経路からの飛行距離と時間の増加量）を分析しており、対象エリアの滞留時間は平均2分（標準偏差5分）で10分以上が6%であることを示している。

出発制御の実績に関しては、大屋⁹⁾が年間の集計値で概要を示しており、羽田到着便を対象とする出発制御が圧倒的多数で（福岡空港発便、新千歳発便の順で多い）、H19年の実績では、全出発制御機数が31,646機/年（87機/日）、累積遅延時間が3,253時間/年（535分/日）、対象機1機あたり平均6.2分であったと報告されている。

他には、坂下ら^{10) 11)}は航空会社のWEB上で利用者向けに公開している羽田発着便の出発到着時刻の実績データを収集し、その他気象データなどと統合したオリジナルのデータベースを構築し、羽田空港における遅延の実態を時系列で全国的に分析を行っており、路線方面別の遅延傾向の差や遅延量の分布、需要の偏りや気象条件の影響、航空会社間の比較や駐機スポット位置の影響などについて詳細に分析し、また成田の遅延分布と比較し羽田再拡張後の変化について問題提起をしている。これら遅延量はダイヤ上の出発到着予定時刻からの遅延であり、主に利用者からみた遅延の評価となる。

以上の既往研究では、飛行中のATFMに焦点を当てエンルートやターミナルにおける遅延の実態分析を行っているものの、出発制御による遅延に関して分析している例は見られない。また出発制御による遅延を含むトータルの航空機遅延の発生状況やダイヤからの遅延のみの分析で管制運用面からみた詳細な分析ができていない。出発制御の実績についても年間の総発出回数や原因空域別の制御回数といった概略のみが報告されているのみである。これらに対し、本研究では、運航実績データ、ATFM関連データ、その他飛行経路等の関連情報を組み合わせ、出発制御による地上待機の実態に関して詳細に分析を行い、現状の制御方法の効果と課題について明らかにする。

3. 出発制御方法の概要と最適な制御レベルについて

前述の通り、ATFMはある空港や空域で将来的に過度の混雑の発生が予想される場合に、航空機の出発を遅らせたり（出発制御）、特定空域への入域間隔を調整したり、飛行経路を変更したりすることで、空港や航空路セクタにおいて適切に管制処理可能な量の範囲内に交通量を調整し、安全性の確保、消費燃料の節約、空域の有効

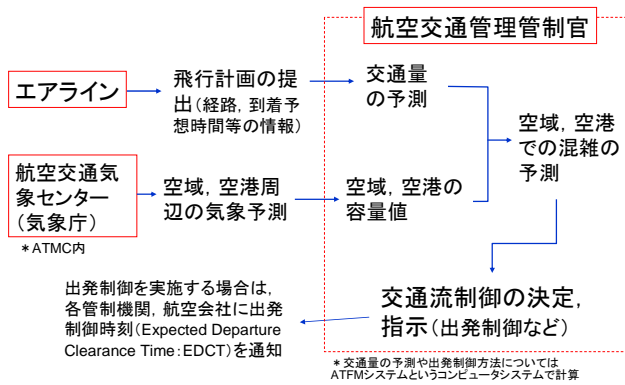


図-1 出発制御を含むATFMのプロセスの概要

表-1 滑走路運用方法による着陸容量の違い

北風 C滑走路使用時 滑走路容量34機/時	北風 C滑走路着陸不可時 滑走路容量30機/時	南風 滑走路容量30機/時	南風 低視程時 滑走路容量26~30機/時
<p>離陸機 C滑走路 B滑走路 A滑走路 着陸機</p>			

活用などを達成する機能である（詳細は参考文献などを参照）。図-1に出発制御のプロセスの概要を示す。

出発制御時期を判断、実行する航空交通管理管制官は、エアラインから毎日提出・更新される飛行計画（飛行経路、出発・到着予定時間、飛行予定時間などの計画情報）をもとに空港や空域の交通量を予測し（6時間先まで）、一方で気象庁等から提供される気象条件等をもとに時間帯別の滑走路容量を予測し（風向風速により使用滑走路も変化）、両者を比較しながら必要に応じて出発制御を行う。羽田到着の滑走路容量の設定値は、一定時間内（30分間）に滑走路に着陸可能な機数を北風時15~17機、南風時13~15機程度で設定されている（表-1参照。北風時は2本の滑走路を着陸に使用することも可能で、南風時は騒音問題等から困難）。この容量値と予測到着機数をもとにさらに進入管制区内におけるスペーシング量（レーダー誘導で遠回り等をさせることが必要な量：図-2を参照）を予測し、別途設定されているその許容量（羽田では10分に設定）を越える際に出発制御を発動する。出発制御実施までの具体的プロセスを以下に示す。

- 1) 到着が予定される機を着陸予定時刻（ETA：Estimated Time of Arrival）の順に並べる。
- 2) 滑走路の着陸容量に基づき各便の着陸可能時間を算出。
- 3) 両者の比較から空中待機時間を算出し10分を超えている機に10分を超えた時間分だけ出発を遅延させた出発制御時刻（EDCT：Estimated Departure Clearance Time）を发出。

次に、混雑空港到着機に対する出発制御の最適な制御レベルに関して簡単に述べたい。前述のとおり、出発制

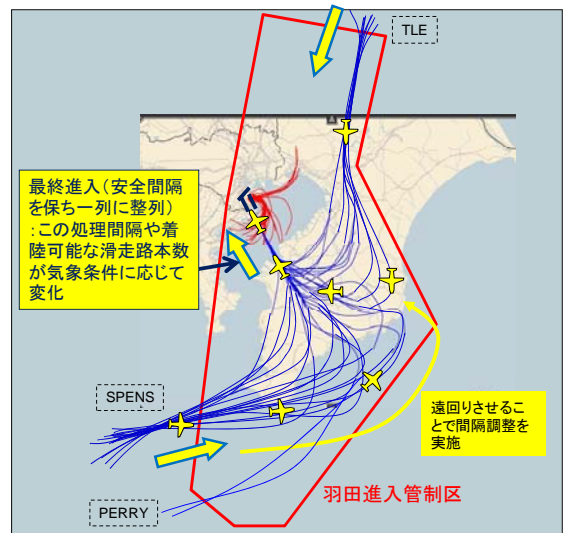


図-2 羽田進入管制区内のレーダー誘導イメージ（飛行コース公開システム（航空局）をもとに作成）

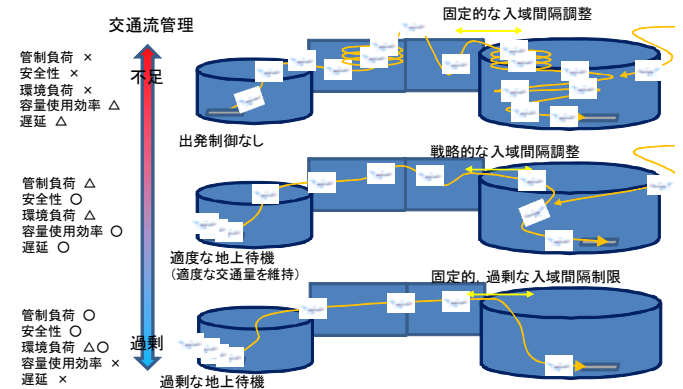


図-3 ATFMの制御レベルと効果・影響のイメージ

御においては、ある空域や空港の将来の交通量と処理容量の予測をもとに制御を行っているため、当然ながらその予測精度に応じて、出発制御の効果や影響が変化する。出発制御をはじめとしたATFMにおける予測上の不確実性として、交通量と容量それぞれに対して主なもの以下のとおりである。まず、交通量予測においては、スポットの出発時刻（旅客乗降・貨物積み込み・機材繰り等が影響）、離陸時刻（誘導路の混雑、前後離着陸機との管制間隔等が影響）、飛行時間（空域混雑、気象条件等）などが考えられる。また容量予測においては、使用滑走路（気象条件が影響）、風向風速、機材構成、離陸機数（離着陸供用滑走路の場合）などが考えられる。これら交通量と容量の予測上の不確実性により、ATFMで想定した空中待機時間（羽田到着機の出発制御機でいえば10分）と実際の空中待機時間には差が生じる。図-3にはATFMによる制御レベルとその効果のイメージを示している。例えば、処理容量が想定以上だった場合には空中待機時間は想定より減少し、場合によっては希少な空港容量資源に空きができてしまう（過剰な制御による未使用

スロットの発生) こともあり得る。トータルの遅延を最小化するためにはこのような未使用スロットの発生を防ぐ必要があり、そのためには適度な量の交通量を常にターミナル空域に維持しすることが重要となる(適度な量の空中待機時間を維持し、到着滑走路容量の使用効率を最大化: 図-3の中段)。一方で、制御が不十分であると過剰な空中待機が発生し、管制官の負荷や安全性、閑居負荷の面で問題がある(図-3の上段)。

4. 使用データの概要

本研究では、国土交通省航空局管制保安部より提供を受けた2008年度の羽田空港の全到着機の運航実績データ(全168957便)を用いて分析を行った。データはエアラインが出発前に管制機関に提出する飛行計画に記載された出発・離陸・着陸・到着・出発制御のそれぞれの時刻や飛行予定時間などで構成されている。ここでの到着時刻はダイヤ上(時刻表など)の時刻とは異なり、毎日毎時間の気象条件や使用機材性能を考慮して計算された到着予定時刻であり、同じ路線の便でも日が異なればそれら時刻も変化している。坂下ら¹⁰⁾で指摘されている通り偏西風の強さや風向などの気象条件によりダイヤ上の到着時刻からの遅延量(または早着量)が変化すが、それら気象や機材性能などの飛行予定時間への影響は今回のデータでは取り除くことができる。これらデータはATFMIにおける交通量予測で使用する運航データとほぼ同等かそれに近いと考えられ、より純粋に管制運用面からみた遅延量が分析でき、効率的な出発制御手法の検討が可能となる。これらデータに加えてATMセンターから発信されたNOTAM情報(航空運航に関わる諸情報)から出発制御対象時間帯と対象となる機に関するデータ、さらに、出発空港別の標準的飛行経路・使用機材・ダイヤ上の出発到着時刻、航空気象データ(METER)の付加を行いデータベースの整備を行った。時間データは1分単位で、追加したダイヤ上の時刻のみ5分単位である。

5. 羽田到着機を対象とした出発制御の実態分析

(1) 出発制御頻度と遅延量の傾向

本節では出発制御の頻度について、時間的な分布を分析する。図-4は月別に出発制御機の割合を制御遅延別に示している。出発制御の頻度は着陸容量に大きく影響する南風運用比率とより高い相関が見て取れる(図-5)。これは、出発制御機数は運航側の遅延(乗客混雑による出発遅れ等)は関係なく管制運用上の都合が大きな要因であるためである。ここで図中に0分の制御遅延(当初

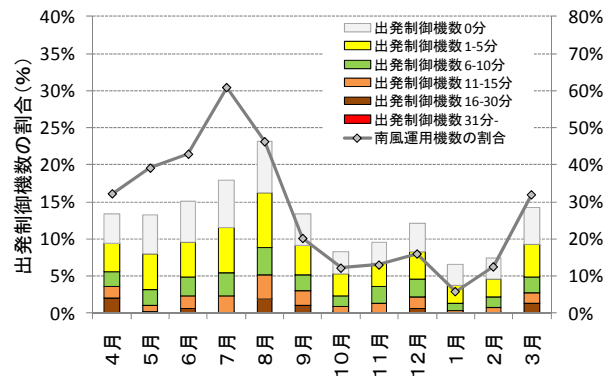


図-4 月別に出発制御機数の割合

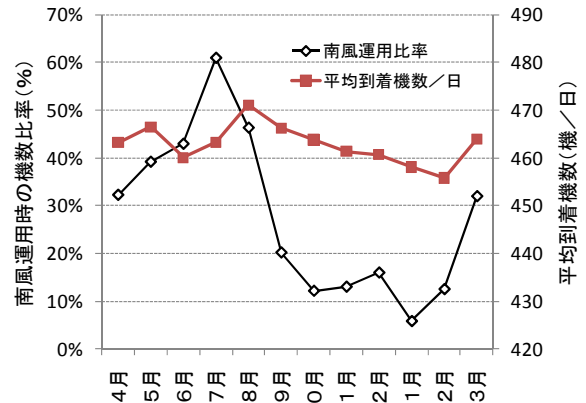


図-5 月別の南風運用時機数比率と日到着機数

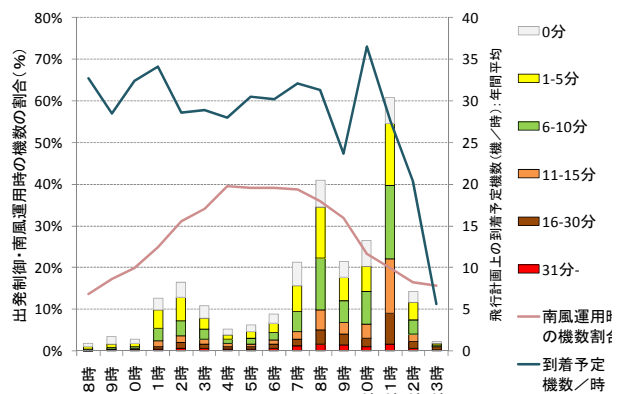


図-6 時間帯別に出発制御機数の割合(年間平均)

の離陸予定時刻をEDCTとして指定)とあるが、交通量予測に従って容量値を超える時間帯で出発制御を実施する際にその前後に多少長めに制御時間帯を設定する時や、離陸予定時刻からの早発を防止する意図がある時に生じるようである。図-6には時間帯別の制御機割合と飛行計画上の到着予定時刻をもとにした到着予定機数、また南風運用時の機数割合の年間平均の推移を示している。昼前後と夕方以降に制御がかかりやすく、特に夕方以降の18時と21時台の制御割合が高い。この時間帯は恒常的に制御がかかっていることが伺える。また到着予定機数をみるとスロット配分時の容量である31回/時を超える機

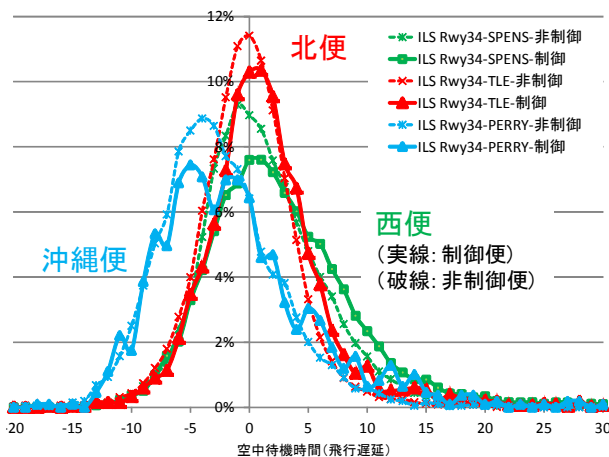


図-7 飛行方面別の非制御機と制御機の実績空中待機時間
(北風時：滑走路 34-ILS)

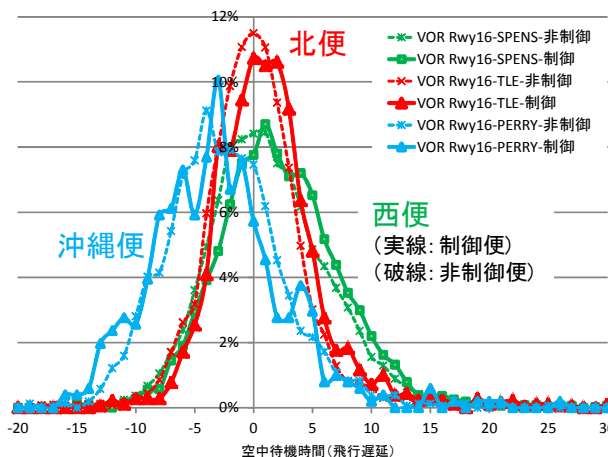


図-8 飛行方面別の非制御機と制御機の実績空中待機時間
(南風時：滑走路 16-VOR)

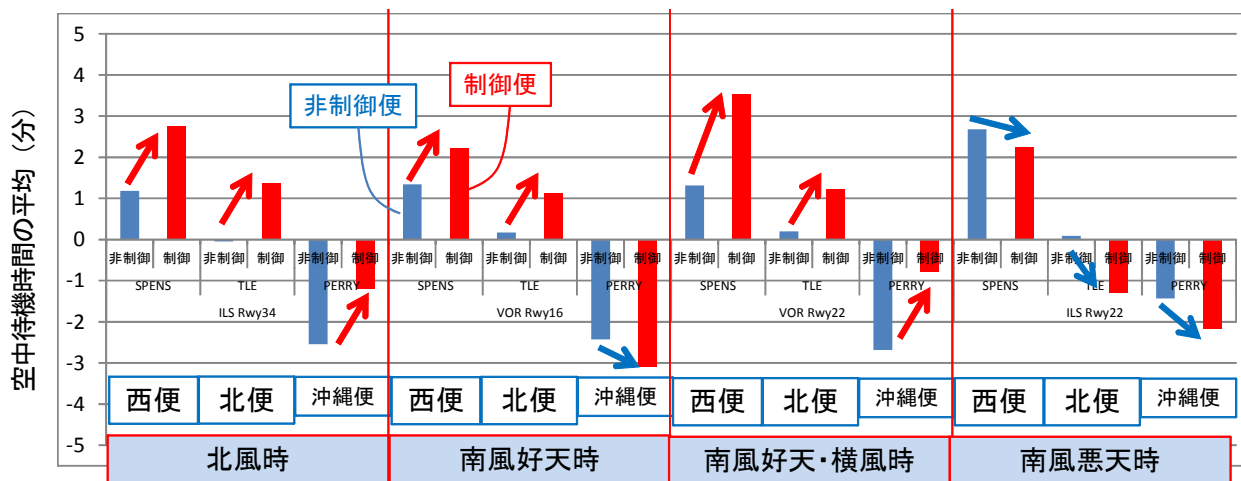


図-9 到着方式別，方面別の非制御便と制御便の空中待機時間の平均値の比較
(標準的な滑走路容量は，北風>南風好天>南風悪天)

数が制御の多い時間帯直前で見られ，このような需要の偏りによる容量オーバーが出発制御の大きな原因になっていることが伺える。出発制御で想定する北風時の容量は多い時で34機/時であるので，その意味では結果として北風運用を期待してダイヤが組まれているとも見ることが可能で，南風運用時には比較的大きな遅延が発生すると考えられる。

(2) 空中待機時間からみた出発制御の有効性に関する考察

a)はじめに

ATMセンターでは出発制御を実施することで羽田進入管制区内における空中待機時間が10分となるようにEDCTが算出されているが，想定した滑走路容量値と実際の処理機数の誤差や，EDCTと実績離陸時刻の誤差などの影響によって，実際の運航では空中待機時間が10分

を超えたり，もしくは下回ったりする。空中待機時間が10分を超えた場合には，羽田空港進入管制区手前の空域で羽田進入管制区への入域間隔を制限したりなどして安全を確保して運航するが，管制負荷は増大する。また，その逆で空中待機が発生しない場合には，出発制御の実施によって，滑走路を使用していない時間が発生することになり（滑走路の使用効率の低下），この場合，当該機はもっと早く着陸できたのに，余計に地上待機させられたこととなる。

b)空中待機時間の算出方法について

本節では，出発制御の有効性について空中待機時間で評価する。データ制約から「進入管制区内」における空中待機時間（ベクター時間）が算出できないため，本研究では飛行時間の遅延（実績飛行時間と飛行予定時間の差を空中待機時間として分析：飛行予定時間は到着予定時刻ETAと離陸予定時刻（ETD：Estimated Time of Departure）

ture) の差で算出) . つまり, 離陸以降のエンルートにおける全ての飛行遅延が含まれることに注意されたい.

使用データには羽田空港の混雑以外 (例えば途中のエンルート空域の混雑) に起因した出発制御も含まれるため, まず, NOTAM情報からそれら羽田以外の混雑に起因した出発制御がかかっている時間帯の便を分析対象から除外した.

また, 基準となる飛行予定時間データについては羽田空港北風運用時の到着経路を想定した飛行時間であるため, 到着方式 (到着滑走路) が変わると進入管制区内における標準到着経路自体も変わり, その分の飛行時間の増減も実績の飛行時間に含まれてしまう. この誤差を除去するため, ここでは出発空港別到着方式別の非制御便の飛行実績時間の平均を算出し, 各出発空港別に各到着方式と北風時到着方式 (具体的には34ILS) の実績飛行時間の平均の差から各到着方式に対応した飛行計画時間に補正を行った.

c)分析結果

図-7は北風運用時 (滑走路34-ILS) の飛行方面別の非制御機と制御機の実績空中待機時間の分布を示している. まず, 飛行方面別にその分布形状が大きく異なる. 北方面からの便 (図-2の「TLE」というポイントから羽田進入管制区に入域する便) の出発非制御便と出発制御便の飛行遅延時間の分布をみると両者に大差はない. 一方, 西方面からの便 (図-2の「SPENS」というポイントから羽田進入管制区に入域する便) をみると北方面便に比べて大きな飛行遅延 (空中待機) が生じており, 制御便の待機時間の増加も西便の方が大きい, 制御便で想定した待機時間よりはやはり小さい. また, 制御便についても空中待機時間がマイナス, つまり予定より早着する便数割合も相当数存在する. つまり, 10分の空中待機が生じる混雑を想定した制御だが, 実際には混雑していないことも多いことが示唆される. 図-8は南風運用時 (滑走路16-VOR) の同様の分布を示しているが, 大きな傾向は北風時と同様である. 図-9には, 南風運用時の他の到着方式も含め, 方面別の非制御便と制御便の空中待機時間の平均を比較している. これらから, 全体的に, 制御便の空中待機時間の平均値は非制御便より大きい, その差は大きくないこと, また, 北便より西便の方が大きな空中待機時間 (飛行遅延) が生じていることが分かる.

北便と西便の空中待機時間の傾向が異なる理由を考察すると, 一つは北からの便は便数自体が多くなく (羽田到着の3割が北で残りが西方面), エンルート上での混雑はSPENS方面に比べ小さいこと, もう一つは進入管制区に入域してからレーダー誘導するスペースが北からの便は西からの便にくらべ狭隘である可能性があることが挙げられる. 前者については, Clausら⁵⁾で例示されているエンルート部のレーダー誘導の様子でも分かるが, 西

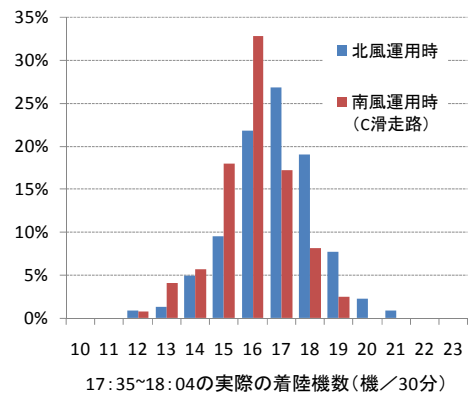


図-10 17:35~18:04間の実績着陸機数の分布 (17:35~18:04で到着方式 (使用滑走路) の変更がなかった332日分の値)

からSPENS経由で到着する便はその手前のエンルート空域の混雑でレーダー誘導が頻繁に行われるが, 喜多からの便はほぼ最短経路で飛行して羽田の進入管制区に入域する傾向にある. そのため飛行時間のバラツキも小さく, 場合によってはショートカットも可能で飛行時間が予定より短くなる可能性がある. 同様のことはPERRYの沖縄便にも言える. また2点目については進入管制区空域の形状から北からの便は誘導の自由度が比較的小さいのではないかと考えられ, その結果, 出発制御がかかるような混雑時でも西からの便より結果的に優先的に着陸している可能性もある.

以上の結果から, 現状の出発制御については, 空中待機時間が想定より少ない傾向があることが示唆される (本研究ではトータルの飛行遅延ではあるが). また方面別に制御機の空中待機時間にも差異があり, 方面別の遅延や管制負荷の偏りが存在する可能性も示唆された.

d)滑走路処理容量からみた考察

空中待機時間に対して大きく影響を与えると考えられるのが滑走路処理容量の予測誤差である. 前述の通り, 風向などの気象条件により滑走路の運用方式が異なり, それに応じてATMセンターにおける羽田の滑走路処理容量の想定値も変化する. 気象条件の将来予測の困難さとともに, 気象以外の様々な要因により滑走路処理容量は変化するため, この容量値の完全な予測は困難であり, その変動により空中待機時間も変動する. 空中待機時間が0分以下 (実績飛行時間が飛行予定時間を下回る) になる場合は, 滑走路処理容量の想定誤差も大きな影響を与えていると思われる. 図-10には南風運用時 (16L) と北風運用時の実際の着陸処理機数の実績について, 特に混雑する時間帯30分間の処理機数の分布を示している. 南風時の標準的な容量値15機/30分から比べると実績は17機/30分がピークとなっており, 想定よりも処理できていることが多く存在し, 北風時も同様に標準的な容量値の15~17機/30分に対して18~19機処理できていることも

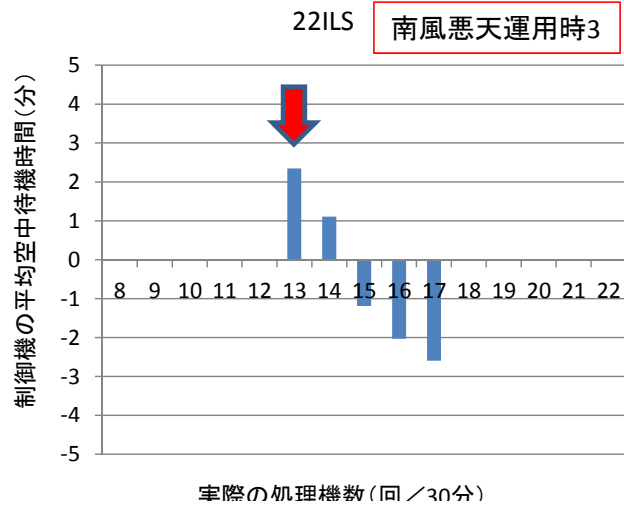
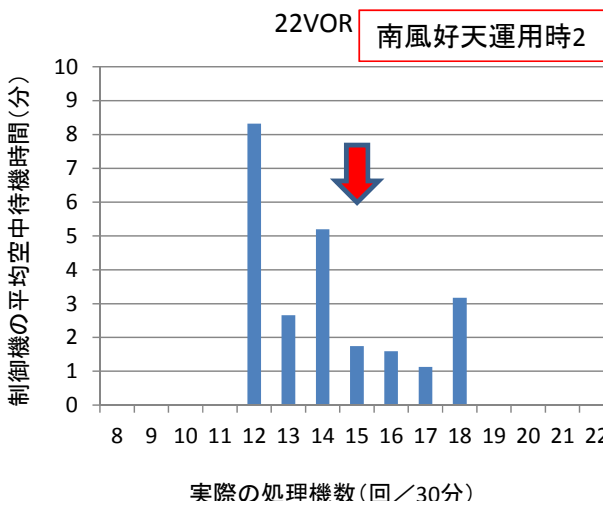
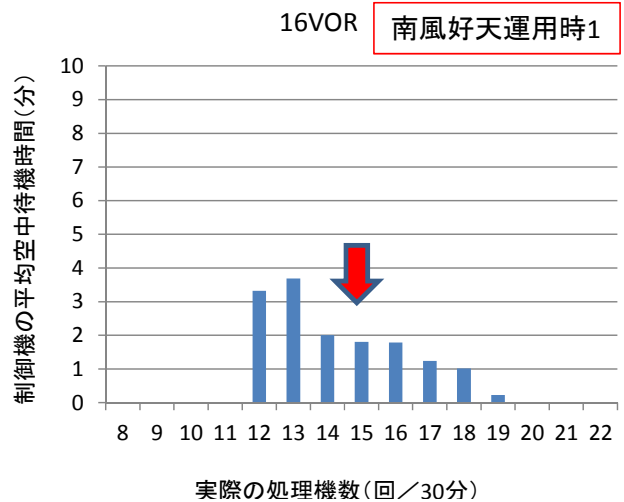
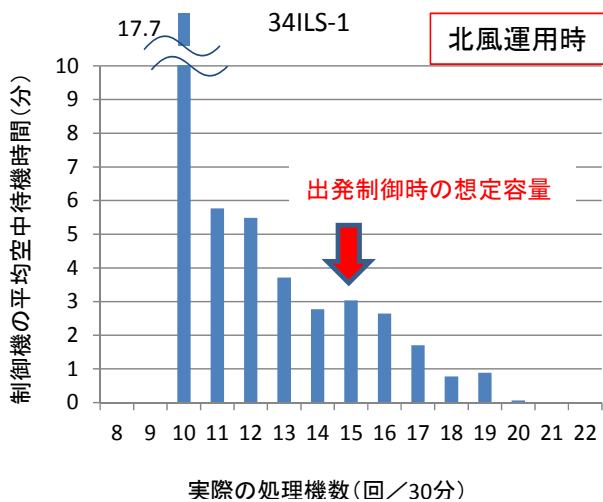


図-11 実績の着陸処理機数(回/30分)と制御便の空中待機時間の平均

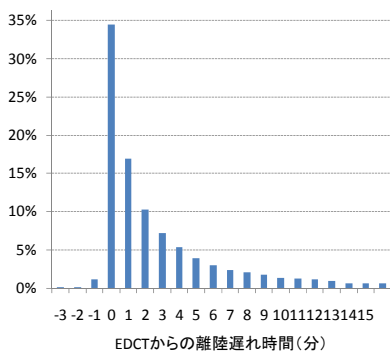


図-12 EDCTからの離陸遅れ時間の分布

多い。このような容量値の設定により、想定したほどの空中待機が実現されなくなる。図-11には365日各日の毎30分の実績到着処理機数とその時の空中待機時間の年間平均(制御便のみ)を到着方式別に示している。この図から実際の処理機数が想定していた容量よりも小さくなるほど実際の空中待機時間が大きくなる傾向が示されており、容量予測の精度向上がATFMにおいて重要である

ことが分かる。最後に、交通量予測面の精度低下の一要因として離陸時刻遅れ(出発制御時刻EDCTからの実際の離陸遅れ時間)の実績を図-12に示す。比較的EDCT順守度は高いが離陸遅れの便も一定程度存在する。離陸が遅れることは余計に地上遅延していることと同じであり、結果として到着空港上空の到着交通量は抑えられる傾向となるため、空中待機時間としては想定より少なくなる。現在はEDCT以降であればいつでも離陸可能であるが、正確な交通量予測のために欧米並みにEDCTの順守ルールを厳格化することも検討に値するかもしれない¹⁴⁾。

6. まとめと今後の課題

本稿では、実際の運航データから、羽田到着機に対する出発制御の実態について基礎的な分析を行った。具体的には、出発制御頻度の時間変動や季節変動について気象条件の面などから分析を行った。また、出発制御の有効性に関して、出発制御便の空中待機時間の実績から分

析を行った。その結果、現状の出発制御については、空中待機時間が想定より少ない傾向がある（オーバーコントロール）ことが示唆され、また、方面別に制御機の空中待機時間に差異があり、方面別に遅延や管制負荷の偏りが存在する可能性があることが分かった。さらに容量の予測精度の影響が大きいことも示した。これらの結果から、気象条件の将来予測の困難さ等から容量値の完全な予測は容易ではないが、その正確性を上げる方策の検討が重要で、交通量予測の面では出発制御時刻の順守ルールも検討対象として考えられる。制御機の空中待機時間の実績をみると、地上遅延が空中遅延より過剰になり、容量使用効率の低下による遅延増加の可能性もあるため、容量想定をもう少し楽観的にみてもよいかもしれないが、予測以上の空中待機が発生する場合の管制処理上の対応策の検討も重要である（陸域通過高度規制の限定的緩和や東京上空ルートの限定的利用、ホールディングの活用、柔軟な空域運用、など）。これら詳細の分析は今後の課題としたい。

謝辞：本研究を進めるに当たり国土交通省航空局管制保安部より航空運航実績データやATMに関わるデータの提供を受けた。ここに記して感謝の意を表したい。

参考文献

- 1) 国土交通省航空局管制保安部：航空保安業務の概要，2006.
- 2) 蔭山康太，福田豊，山本哲士，宮津義廣，行木宏一：ATM パフォーマンス評価システムの開発，第 8 回電子航法研究所研究発表会，pp.5-8，2008.
- 3) 蔭山康太，福田豊：出発空港での地上走行における ATM パフォーマンス評価，第 46 回飛行機シンポジウム講演集，CD-ROM，2008.
- 4) 住谷美登里，福島幸子，福田豊：航空交通流管理における交通量の指標値に関する一提案，電子航法研究所報告，No.121，pp.1-18，2009.
- 5) Claus Gwiggner, Akira Kimura, Sakae Nagaoka : Data and Queueing Analysis of a Japanese Arrival Flow, Proceedings of Asia-Pacific International Symposium on Aerospace Technology, 2009.
- 6) Claus Gwiggner, Sakae Nagaoka : Sequencing Strategies for a Japanese Arrival Flow. Preliminary results, Proceedings of 9th American Institute of Aeronautics and Astronautics(AIAA) Aviation Technology, Integration, and Operations Conference (ATIO), 2009.
- 7) Claus Gwiggner, Sakae Nagaoka : Analysis of Fuel Efficiency in Highly Congested Arrival Flows, Proceedings of 2010 Asia-Pacific International Symposium on Aerospace Technology (APISAT), 2010.
- 8) 木村章，福田豊，蔭山康太：ターミナル空域評価手法におけるふたつのアプローチ，第 10 回電子航法研究所研究発表会，pp.77-80，2010.
- 9) 大屋文人：The Flow Control，「航空管制」，No.4，pp.18-31，2008.
- 10) 坂下文規，森地茂，日比野直彦：羽田空港における航空遅延に関する研究，第 39 回土木計画学研究発表会講演集，CD-ROM，2009.
- 11) 坂下文規，日比野直彦：羽田空港における航空遅延の現状と課題，運輸政策研究，Vol.13，No.2，pp.79-83，2010.
- 12) 木村章：ATM システムパフォーマンスの評価および欧州の実例について，電子航法研究所，航空管制 2008，No.6.
- 13) 蔭山康太：ATM パフォーマンスの研究について(遅延時間の解析例)，電子航法研究所，航空管制 2009，No.5.
- 14) 平田輝満：米国における航空交通流管理の現状－Ground Delay Program に焦点をあてて－，第 42 回土木計画学研究発表会，CD-ROM，2010.

ANALYSIS OF GROUND-HOLDING FOR HANEDA ARRIVALS AND AIRBORNE DELAY

Terumitsu HIRATA and Tetsuo YAI

The purpose of this paper is to examine the actual situation of air traffic flow management (ATFM) by Ground-Holding especially for the arrivals to Haneda Airport (HND) which is the largest hub airport in Japan. The data analyzed is the flight data of all arrivals to HND in 2008 including their Estimated Time of Arrival, Expected Departure Clearance Time (EDCT) issued by Ground-Holding, Actual Time of Departure, Actual Time of Arrival, other aircraft characteristics and meteorological condition etc. The analysis results clarify the factors that affect the EDCT issuing such as over-concentration of traffic and runway capacity change depending on the meteorological condition. Finally, the possibility of over-controlled delay by EDCT is examined through the comparison between actual airborne delay and expected airborne delay in Ground-Holding program.