

A16 フローコントロールからみた ターミナル空域の管制運用と空港容量に関する一考察

○平田輝満 (財団法人 運輸政策研究機構 運輸政策研究所)

A Study on Air Traffic Control in Terminal Airspace and Runway Capacity Considering Air Traffic Flow Management
Terumitsu Hirata (Institute for Transport Policy Studies)

Key Words: Air Traffic Control, Aircraft Operations, Air Traffic Flow Management, Runway Capacity, Delay

Abstract

Air Traffic Management (ATM) is a key concept in the future air transportation system in the world. NextGen project in US and SESAR project in EU are the two leading projects currently conducted in the world. In Japan, government and the other organizations such as ENRI and JAXA have set up the research projects for future advanced air transportation system in Japan, and key component is to develop advanced ATM system. These future developments are very important for more efficient and safe air transportation in Japan along with the advanced activities in US and EU. However there are and will be also issues in some institutions related air traffic control and airport capacity. And the issues can be affected by the current and future performance of ATM system including air traffic flow management. This study focuses on such practical institutional issues and also some technical issues related to ATM system performance.

1. はじめに

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管理(Air Traffic Management : ATM)であり，その近代化が欧米を中心に進められている。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で推進しており，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。我が国では，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，先進的な取り組みが実際に運用されており，今後さらに高度化が計画されている。また，米国FAAと航空局との間で協力覚書を締結している。また，電子航法研究所 (ENRI) を中心に我が国におけるATM研究が計画，実施されており，ENRIの研究長期ビジョンの中でトラジェクトリ管理に代表される将来的な各種のATMシステムに関する研究が重点課題として据えられている¹⁾。他にも，宇宙

航空研究開発機構 (JAXA) を中心にDREAMS (Distributed and Revolutionary Efficient Air-traffic Management System) と呼ばれる研究計画が実施されており，我が国が得意とする分野を中心に我が国発の国際規格策定につながりうる技術開発を目指している²⁾。これら研究や技術開発は我が国の将来的，中長期的な航空交通システムの高度化，効率化にとって必要不可欠であり，大変重要である。一方で近い将来では，我が国首都圏の空港発着容量不足が長年の課題となっている中で，2010年に羽田，成田の両空港で新滑走路の整備や滑走路延伸が完了し，首都圏の発着容量が大幅に増加する予定である。また併せて関東空域の再編も行われる。これら発着容量拡大により我が国における航空市場が大きく変化し，航空交通流の量および質も大きく変化することが予想される。上記のような国および研究機関における技術開発とともに，混雑空港における適切な空港発着枠 (スロット) 算定・設定の方法，その配分方法，またエアラインのダイヤ設定や遅延問題への対処など，いわば社会制度の側面からみた課題も存在し，それら課題に対して，航空交通管理の方法やパフォーマンスも直接または間接的に影響を及ぼす部分も存在すると考えられる。本稿では，それら社会制度の面の課題にも着目しながら，海外空港での事例も踏まえ，2010年以降の我が国首都圏空域，空港における管制運用と空港容量について幾つかの考察を行った。

2. ATMにおけるフローコントロールと航空機遅延の現状、および制度的課題

2.1 フローコントロールの概要

現在、福岡のATMセンターで実施されているATMの中核的機能として、交通流制御（以後、フローコントロール）が挙げられる。これは、ある空港や空域で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、特定空域への入域間隔を調整したりすることで、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、消費燃料の節約を達成する機能である（詳細は参考文献³)などを参照）。図-1にフローコントロールのプロセスの概要を示している。フローコントロールを判断、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をもとに空港や空域の交通量を予測し（6時間先まで）、気象条件等により変化する容量値と比較しながら必要に応じてフローコントロールを行う。技術的には将来的な交通量の予測精度の向上が現在および将来的課題の1つであり、大屋³⁾で指摘されているものを挙げると、①エアラインの運航上の都合による出発時刻の遅延、②スポットから離陸滑走路までの走行時間の見積もり誤差、③滑走路の運用状況に依存した離陸時刻の誤差、④飛行計画上の所要時間と実際の所要時間の誤差、などの課題が存在し、一部については既に対策が検討され実行されている。このような技術的な課題の解決やさらなる向上策は当然ながら重要であり、継続的な改善が必要である。

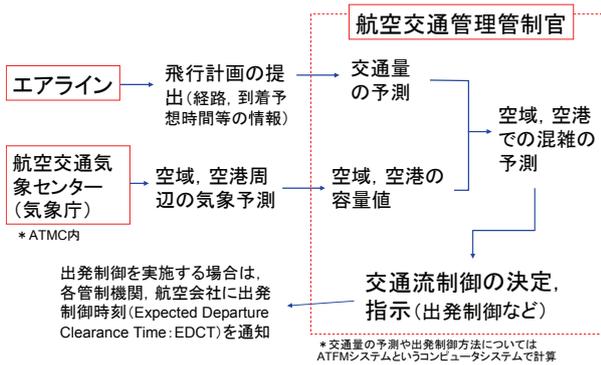


図-1 フローコントロールのプロセスの概要

2.2 フローコントロールの実績と羽田空港における航空機遅延の現状からの問題意識

大屋³⁾によると、羽田到着便を対象とする出発制御が圧倒的多数であり（福岡空港発便、新千歳発便の順が多い）、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。

つまり、ほぼ毎日、悪天候などのイレギュラー時以外でも常態的にフローコントロールが実施されている。我が国の航空機遅延に関する調査や研究は数少なく、遅延の詳細な現状や原因、発生のメカニズムなどはほとんど明らかになっていない。一般的に公表されている定時性率（出発予定時刻から15分以内に出発した便の割合）では遅延率に関するマクロな比較はできるが、どのような時間帯や路線で遅延が生じ、また発着航空機数との関係や、管制による制御かエアラインの運航のどちらに原因があるのか、それら詳細が分析不可能である。今後の航空機遅延の解決策の検討に向けて、それら詳細な調査、分析が必要不可欠であると考えられる。

実際の航空機の管制や運航データを使用した遅延分析をした例として蔭山⁴⁾が挙げられる。蔭山らは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。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。これも前述のとおり、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。局所的な発着機数の偏りは管制側のワークロードに対しても望ましくはない。つまり、ある一定時間に滑走路の離陸容量以上の出発機が同時にスポットアウトすると滑走路脇で離陸待ちの渋滞が発生し管制官にプレッシャーがかかるとともに、羽田のような狭隘なタクシングスペースしかないところでは誘導路上のグラウンド管制も困難となる。蔭山らでは触れていないが、到着機数の偏りはアプローチ管制官に負担をかける。到着機数の集中は、空中でのレーダーベクターによる対応や空中待機（ホールディング：HLD）で対応する必要があり、出発便が地上で待つことが可能なことに比べて、その負担は大きく、安全性や効率性の観点からも問題がある（HLDについては後述）。ATMのフローコントロールでは到着便の集中が予想されると出発空港で出発時刻の調整を行うが、これによりターミナル空域でのアプローチ管制官の負担を軽減し安全性を向上させているが、これが同時刻帯で恒常的に生じているとすればフローコントロールを実施している航空交通管理管制官に、ある意味、過度な（無駄な）負担をかけているとも言える。

その他、羽田空港における遅延を詳細に分析した

研究として坂下⁵⁾が挙げられる。坂下は、実際の運航データではないが、エアラインが毎日各社のウェブページで公表している実際の各便の出発・到着時刻のデータを3か月分(2008年10-12月)収集し、その他航空局から公表されている羽田の飛行コース公開データや気象データと比較しながら、興味深い分析結果を得ている。フローコントロールと遅延に関して言えば、羽田出発遅延割合は同時間帯の出発機数と高い相関関係にあり(図-2)、つまり蔭山らで指摘されているように、同時刻帯の出発機数が滑走路容量以上になることによる離陸待ち遅延が生じている。さらに興味深いのは到着遅延であり(図-3)、早朝から昼までは徐々に遅延割合が増加し、昼過ぎの到着便数が比較的少ない時間帯で横ばいもしくは遅延率の多少の減少があり、夕方以降は到着予定便数の増減に応じて遅延率も同様の変動を見せている。詳細な運航や管制データが不明なためはつきりとは言えないが、フローコントロールが夕方ピーク以降を中心に実行されているとすれば、時間帯ごとにスロット数の制限を行ってはいないものの、運航側の要因により午前中から昼、また夕方にかけて遅延が発生・累積し、もともと夕方の到着便が集中する時間帯で、それら遅延の累積の影響も相俟って、羽田の到着容量をオーバーし、結果、フローコントロールで出発制御が実行されていると想像される。

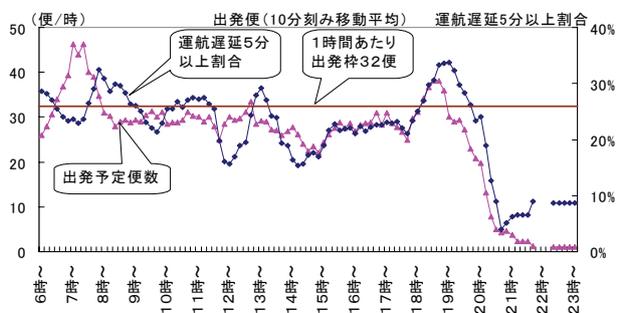


図-2 羽田出発便の遅延便割合の時間推移
(出典：坂下⁵⁾)

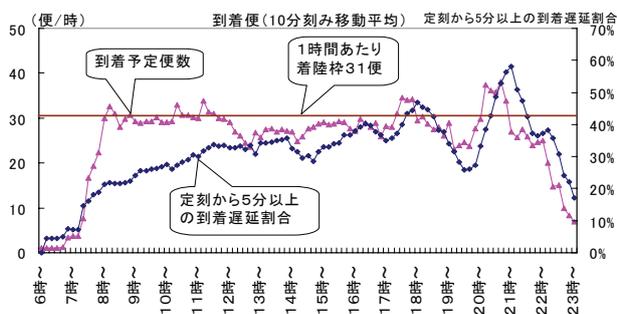


図-3 羽田到着便の遅延便割合の時間推移
(出典：坂下⁵⁾)

フローコントロールは交通量を適正値に維持するために大変重要な役割を担っていることは確かであるが、そもそもの交通量の集中の原因の1つに運航側の要因があり、さらにそれが常態化しているとすれば、それらを改善することにより、ATMのフローコントロール作業における、ある意味無駄で、過度の負荷を軽減し、より付加価値の高い作業を実施可能になるとも考えられる。その一例として、坂下⁵⁾で分析しているように、航空機の折り返し時間(ターンアラウンドタイム)が短い場合(40分未満など)、到着遅れが次の出発遅れに直結し、一度生じた遅延が日の最後まで解消されないことが示されている。これら運航側の要因があると、時間当たりの発着スロットを制限しても、ある時間帯ではスロット配分時に想定している機数以上の発着機数を実現し、結果、航空機全体の遅延が発生してしまう。現状のフローコントロールのやり方では、ある時間帯で出発制御が実施されると、それ以降に後続する全ての航空機が玉突き式に遅れを強いられることになる。つまり、運航側として、遅延の原因となっていない便が、遅延の原因となっている他の便のために遅れてしまっている、ということである。空港での折り返し時間を短くすることは、運航効率を上げて、低コスト運航を可能とし、利用者へのサービスレベルも向上するため、それを規制することは一概に望ましいことではないが、交通流全体を考慮し、夕方ピーク前に一度それまでの遅延を吸収可能なバッファをある時間帯で設定などの運航側の対策を検討する価値はあるかもしれない。それら運航側の対策とともに、管制側や空港側の要因による遅延に対して、フローコントロールの方法などを検討すべきであろう。特定の航空機が原因で遅延が生じていることが事実であれば、その遅延の影響を全航空機が受ける現在のフローコントロールの方法の妥当性も議論すべき課題であると考えられる。容量と遅延についてさらに言えば、そもそも容量を決定する際に、遅れ時間についても同時に議論をすべきである。容量(スロット数)を増加させれば当然ながら遅れ時間が増加するというトレードオフ関係があるが、欧米空港では通常、想定される遅れ時間をもとに容量を決定している。我が国においても遅れ時間を考慮した容量設定方法について議論、検討すべきである⁶⁾⁷⁾⁸⁾。それら議論の中には、発着需要が非常に大きな混雑空港では一定の遅延時間を許容して、その分発着容量(スロット値)を上げる選択(例えばロンドンヒースローなど⁸⁾¹¹⁾)や、逆に遅延を極力なくし、エアラインが希望する時刻に離着陸が可能となる容量の設定(ゆとりある空港⁶⁾⁷⁾)など、その国、その空港ごとの状況、目的、価値観により様々な議論が

ありうると考えられる。我が国の首都圏空港においては常に需給が逼迫しており、どちらかといえば一定の遅延を許容し発着容量を上げることに係る議論が必要であり、他国と比べ鉄道との競合による定時性確保の命題があるものの、上記の遅延対策とともにこれらについても検討に値すると考えている。いづれにしても、まず、欧米で実施しているように、運航や管制、また遅延データの積極的公開と遅れ時間の実態把握、遅れの発生メカニズムの解明が重要な課題である。それらをもとに、遅延を考慮した容量の設定方法、発着ダイヤの設定、遅れ時間の回復のためのバッファの適切な設定方法（いわゆるファイアブレイク枠）などの検討をする必要がある。

3. フローコントロールのパフォーマンスと滑走路容量、ターミナル空域の管制運用

3.1 はじめに

本章ではフローコントロールのパフォーマンスと滑走路容量の関係、またターミナル空域での管制運用について考察を行う。

前章で羽田のスロット制限について触れたが、そもそも羽田の着陸容量31回/時や離陸容量32回/時という値をどのように決めているかといえば、我が国では離着陸に要する所要時間の実測値や管制方式基準をもとに、統計的な計算方法により一定のバッファを考慮して決定している⁸⁾⁹⁾。その方法論自体に関する検討課題は別稿⁸⁾に譲るとして、本稿では、フローコントロールのパフォーマンスが、滑走路の容量自体に与える影響、また、ターミナル空域での管制運用との関係について考察を行う。

3.2 管制運用と滑走路容量

よく知られているように、連続する航空機間の管制間隔はレーダー管制間隔（3NMや5NM）、また大型機に後続する場合などにより大きな安全間隔として必要となる後方乱気流間隔（表-1参照。4~6NM、2分など）などが存在する¹⁰⁾。これら最低間隔を確保し、他にも飛行場管制業務（滑走路や最終進入、地上の管制を実施）における安全間隔（滑走路には同時に1機のみ存在など）の確保などを条件に、滑走路の単位時間あたりの容量が算出される。

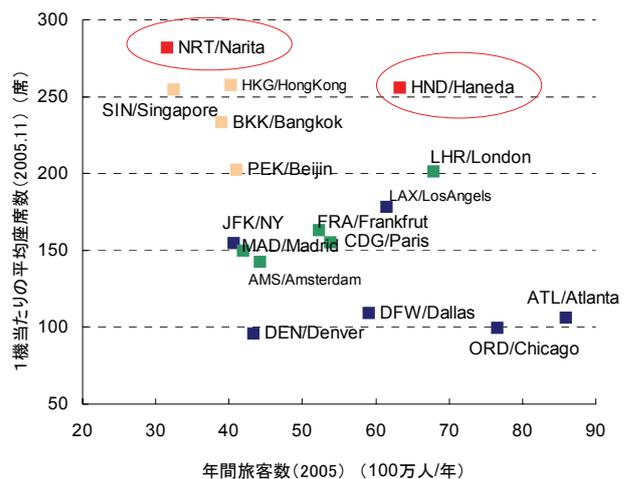
ここで1つ重要となるのが後方乱気流間隔区分からみた機材の連続性である。我が国は首都圏空港の容量制約により、欧米に比べて異常な大型化（低頻度運航）が進んでおり（図-4）、この後方乱気流間隔の存在が滑走路容量を上げるネックの1つとなっている。2010年の羽田再拡張後を機に首都圏の容量制

約が緩和し、機材の小型化が進展する可能性は高く（小型機による多頻度運航によりサービスレベルを向上させている欧米からみると多少なりともそうなるべき）、そうなる と後方乱気流間隔区分からみた機材の連続性を考慮した管制運用による滑走路処理容量の最大化がより重要になってくる。例えば、ロンドンヒースロー空港では、複数の空中待機経路（ホールディング：HLD）を積極的に活用し、到着機の継続的需要の創出や後方乱気流間隔の観点からみた機材サイズの連続性を高める戦略的到着順序付けにより、滑走路の着陸容量の最大化を達成している¹¹⁾¹²⁾。具体的には、図-5に示すように、4つのHLDから1本の着陸滑走路の最終進入経路に向けて誘導する際に、後方乱気流間隔の原因となるHeavy機を4~5機まとめて連続して着陸させる、といったことを実施している。これら柔軟で高度な管制運用に対しては意思決定支援システムを活用しており、レーダー画面にもHLD内の航空機の様子が明確に分かるような工夫がされている（Vertical Stack List）（以上、英国管制機関UK-NATSヒアリングより）。

表-1 後方乱気流間隔¹⁰⁾

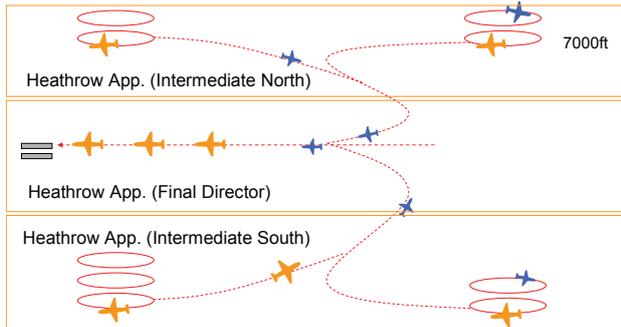
後続機 先行機	Heavy	Medium	Small
Heavy	4NM	5NM	6NM
Medium	-	-	5NM
Small	-	-	-

*1NM=1.852km
 *「-」は後方乱気流間隔の設定がないことから、レーダー管制間隔の最低基準3NMが適用されることになる
 * Heavy : B747, B777等, Medium : B737, CRJ等



* Airports Council International (ACI)公表データ&OAG時刻表データ(2005.11)より作成

図-4 世界の主要空港における就航機材サイズ(平均)と年間旅客数の比較



* 4つのHLD Stackからの着陸機をFinalに引き出す際、管制支援システムから滑走路容量最大化のための推奨順序が提供される(Delayが10分を越えた時)

図-5 ヒースロー空港におけるHLDの積極的活用による着陸容量の最大化のイメージ図

このような後方乱気流間隔からみた機材の連続性については1本の滑走路を離陸もしくは着陸専用を使用する場合 (Segregated-Mode) に特に重要となる。一方、1本の滑走路を離着陸共用で使用する場合 (Mixed-Mode) , 後方乱気流間隔に加え、離陸と着陸の順序付けが滑走路の処理容量に大きく影響する。例えば、1本の滑走路をMixed-Modeで処理するとき、完全に離着陸を交互に運用した場合には42機/時を処理できるのに対し、その順序を完全ランダムにした場合には36機/時しか処理できない (離着陸数を同数と仮定。羽田の滑走路占有時間を元に筆者が算定した例)。離着陸数の比率が変化しても当然ながら処理容量が変化し (図-6参照。スライディングスケールと呼ばれる表)、福岡や那覇の総合的調査¹³⁾¹⁴⁾ではこれら比率の変化による滑走路容量変化を考慮し、スロット値を決めている。

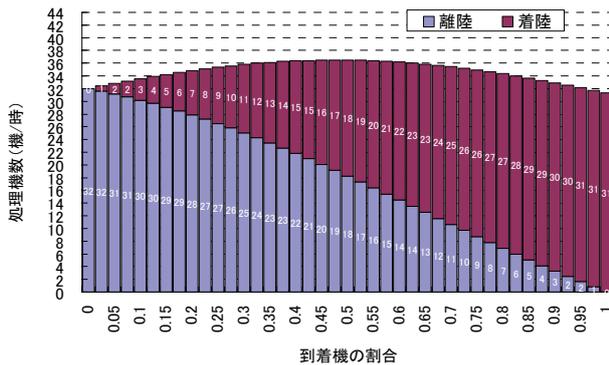


図-6 Mixed-Modeの場合の離着陸処理容量の例

3.3 羽田再拡張後の管制運用とフローコントロールのパフォーマンスについて

羽田に関して言えば、現在は2本の滑走路を離陸および着陸専用で使用しており、基本的には離着陸の順序付けは考慮する必要はない。しかし2010年の再拡張後はMixed-Modeの運用や離着陸経路の交錯による複数滑走路の従属運用が生じ、離着陸順序付けが

非常に重要となる。この順序付け如何で離着陸容量が大きく変化する。特に南風運用時にはDラン着陸機の着陸間隔やA・Cラン離陸機の後方乱気流区分からみた離陸順序が容量確保に対して大変重要な意味を持つ (図-7)。それら詳細については紙面の都合上割愛するが、ここでの問題意識としては、これら離着陸の順序付けの高度化に対してATMのパフォーマンスが大きく影響するという点である。つまり滑走路の容量を最大化するための離着陸の順序、タイミングをATMにより高度に制御することで遅延の解消や安全な運航が可能となるのである。ENRIの研究計画¹⁵⁾でも紹介されているように、トラジェクトリ管理 (3次元の位置+時間の管理) の高度化により、離陸・着陸の高度なスケジューリングによる滑走路の最大限活用を達成できるシステム開発を進める必要がある。航空局においてもATMセンターの高度化計画の中で、そのようなフローコントロールの高度化を計画している¹⁶⁾。一方で、これらATMシステムの高度化には時間を要し、さらには到着空港における滑走路進入順序付けや間隔設定のような細かい制御を完全に達成可能なトラジェクトリ管理は近未来では不可能かもしれない。つまり、上位のシステムとしてATMシステムにより比較的大局的な制御を実施し、比較的局所的・詳細な制御はターミナルエリアで実施するといった、階層的な運用による効率化が、ATM高度化の過渡期には特に必要だと考えられる。

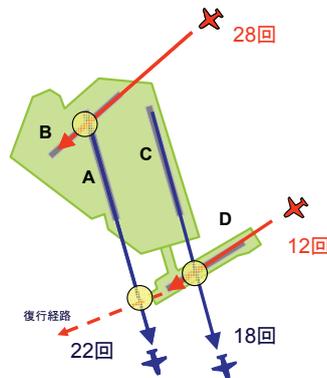


図-7 羽田再拡張後の滑走路運用と発着回数 (南風時)

3.4 ニューヨーク空域における管制運用と関東空域への示唆

ATMによるフローコントロールとターミナルエリアにおける管制運用の実際の一例として、ニューヨーク (NY) の事例と関東空域再編・羽田再拡張後の管制運用への示唆について述べる。現在NYでは大規模な空域再編が実行中であり、進入管制区 (米国ではTRACON) についてはそのエリアを大幅拡大し効率化を図っている (NY空域の管制運用と空域再編に

関する詳細についてはFAA¹⁷⁾¹⁸⁾や筆者の報告¹⁹⁾²⁰⁾を参照)．NY TRACONでは、細かい管制運用ルールや飛行制限を設けることでこのような多くの離着陸経路を設定可能としている．また、図-8のTRACON内の管制運用のイメージ図に示すように、TRACON内では空域を細かく分割し、コリドー状のセクタを設定している(1セクタを1人の管制官が担当)．

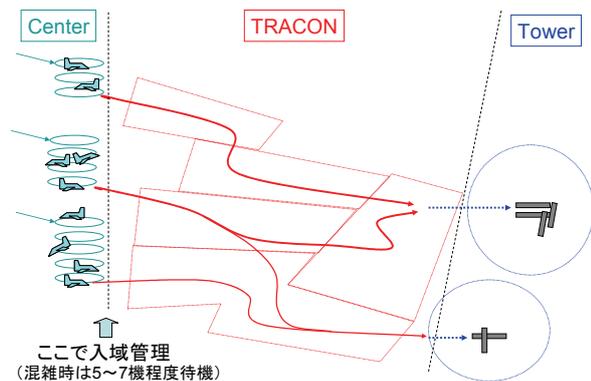


図-8 TRACON内の管制運用(到着機)のイメージ図(実際は3次元でより複雑なセクタ分割)

この設定により、近接した多数の出発到着経路を独立に運用し、一定の空域でより多くの航空機を取り扱うことを可能としている．センター(航空路管制機関)からTRACONへの移管についてみると、TRACON内のTraffic Management Unit(TMU)で各空港の滑走路容量(気象条件等により変化)と予定到着機数を比較し、必要に応じて、TRACONへの入域直前でHLDをさせており、混雑時は多い時で各入域点に5~7機程度HLDするそうである．なお、HLDの管理は現在センターで行っているが、当然ながらTRACONで管理した方が、HLDからの誘導が効率化されるため、HLDのTRACON内移設も検討されている．少なくとも、HLDスタックの下3層程度をTRACON管理下とし、航空機のヘディングをみながら、任意の層からのHLD離脱を可能とし、さらに、複数の層のHLD機をそれぞれ15度以上分岐して離脱させることで、複数層から同時に離脱と降下指示が可能とすることで(センターでは不可)、間隔設定のロスを最小化したいとのことであった．

一方、我が国の首都圏においても2010年には関東空域の再編が計画されている．この再編の中では、羽田・成田の進入管制区を統合するとともに、その統合空域を縮小し、進入管制区と航空路管制の間に「中間空域」が新たに創設される．到着用の中間空域は、航空路管制を行う東京管制部が管制し、シーケンシング(着陸順序付け)を実施する予定である．羽田再拡張後の出発到着経路が現在より複雑化

するため、進入管制区に入域する前にシーケンシングを完了させ、進入管制区内ではなるべくレーダーベクターを実施しないことがこの計画のコンセプトの1つであると思われる．中間空域の設定は、見方によってはNY TRACONのコリドー状のセクタ設計に近いとも言える．その意味では、中間空域を実施する航空路管制システムの高度化や、その管理をTRACON(進入管制区)で実施することにより、さらに効率化が可能と考えられる(レーダーサイト(ASR)を増やし中間空域をターミナルレーダーで実施するなど)．

また、羽田空港再拡張後は羽田空港にも国際便が多数就航することになるが、そのことが関東ターミナル空域の管制運用に与える影響の1つとして、到着便数の偏りや集中、遅延の増加の可能性が考えられる．これまで一部の例外を除き国内線専用であった羽田空港に一定程度の国際便が就航すると、就航路線長や便数にも因るが、国際便の性格上到着遅延(もしくは早着)が生じやすい．また、国際便はATMセンターによるフローコントロールが国内線と比して困難であることも影響し、到着便数の偏りによる混雑の発生頻度や混雑の度合い、遅延が増加する可能性がある．その結果、フローコントロールで制御しきれない到着便を、ターミナル空域におけるHLDで待機させる頻度が増すことが考えられる(NYの例でも、コマンドセンター(米国のATMセンター)で制御しきれないターミナルへの入域機をTRACONのTMUにて制御を実施)．この際、一度HLDに入れると、離脱指示のタイミングの問題で間隔設定にロスがしやすい(エンルートが管理していると特に)．羽田の滑走路運用方法や出発到着経路の設定、またATMセンターによるフローコントロールのパフォーマンスにも大きく影響を受けると考えられるが、NYの例で述べたように、HLD機の処理の効率化のためにターミナル空域外縁部のHLDのTRACON管理と柔軟な離脱処理方法も参考にしながら、関東空域においてもHLDや到着経路等の戦略的設計による到着便混雑への対応方法の検討も必要かもしれない．

4. おわりに

本報告では、ATMによるフローコントロールのパフォーマンスとターミナル空域における管制運用方法といった技術的側面についての考察を、羽田再拡張や関東空域再編という近未来の環境変化を念頭に行った．また、併せて、空港発着容量(スロット値)の算定・設定方法や航空機遅延の実態および対策といった、どちらかという社会制度の側面とフローコントロールの関係についても考察を行った．極めて断片的で主観的な考察も含まれるため、客観的な

データに基づく分析や体系的な考察など、今後さらなる精緻な分析が必要である。しかしながら、これまであまり同時に議論がされてこなかった航空管制の技術的側面と社会制度的側面の課題について、両者を有機的に結びつけて議論をすることで初めて、解決が可能な課題もあると考えており、本稿などがそれら議論の一助になれば幸いである。

謝辞：

本報告における考察にあたっては、森地茂先生（政策研究大学院大学教授、運輸政策研究所所長）、屋井鉄雄先生（東京工業大学大学院教授）、坂下文規氏（政策研究大学院大学修士課程）との議論を参考にさせていただいた。ここに記して感謝の意を表したい。

参考文献：

- 1) 長岡栄：ENRIの研究長期ビジョンについて，第46回飛行機シンポジウム講演集，CD-ROM，2008.
- 2) 張替正敏：JAXA DREAMS研究計画について，第46回飛行機シンポジウム講演集，CD-ROM，2008.
- 3) 大屋文人：The Flow Control，「航空管制」，No.4，pp.18-31，2008.
- 4) 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.
- 5) 坂下文規：羽田空港における航空遅延に関する研究，政策研究大学院大学開発政策プログラム修士論文（中間報告），2009（2月）.
- 6) 飯沼忠康，竹内伝史：単一滑走路における離着陸分布比較と日滑走路容量の算出—ゆとりある空港を考慮して—，土木計画学研究・講演集，No.16（2），pp.243-246，1993.
- 7) 飯沼忠康，竹内伝史：滑走路配置による離着陸待ち時間の検討とその効果の分析，土木計画学研究・論文集，Vol.12，pp.595-604，1995.
- 8) 屋井鉄雄，平田輝満，山田直樹：飛行場管制からみた空港容量拡大方法に関する研究，土木学会論文集D，Vol.64，No.1，pp.122-133，2008.
- 9) 市村修一：「空港処理容量についての考え方」について，羽田のスロット問題，新規航空会社の現状等について [航空の安全及び経済に関する研究会40]，財団法人航空保安協会，2000.
- 10) 国土交通省航空局：「管制方式基準」，鳳文書林出版販売（株）.
- 11) EUROCONTROL: Report on Punctuality Drivers at Major European Airports, 2005.
- 12) Tether, B. S. and Metcalfe, J. S.: Horndal at Heathrow? Capacity creation through co-operation and system evolution, Industrial and Corporate Change, Vol. 12, No. 3, pp.437-476, 2003.
- 13) 福岡空港調査連絡調整会議～福岡空港の総合的な調査～ HP, <http://www.fukuokakuko-chosa.org/>
- 14) 那覇空港の総合的な調査 HP, <http://www.pref.okinawa.jp/koutsuu/nahakuukou/>
- 15) 蔭山康太：電子航法研究所におけるトラジェクトリ管理の研究計画，第9回CNS/ATMシンポジウム講演資料，2009.
- 16) 山内諒：航空交通管理センターフェーズⅡの概要，第9回CNS/ATMシンポジウム講演資料，2009.
- 17) FAA: New York/New Jersey/Philadelphia Airspace Redesign - Final Environmental Impact Statement (FEIS), 2007.
- 18) FAA: New York/New Jersey/Philadelphia Airspace Redesign - Record of Decision, 2007.
- 19) 平田輝満：ニューヨーク空域における航空管制の現状と空域再編，第46回飛行機シンポジウム講演集，CD-ROM，2008.
- 20) 平田輝満：首都圏における航空管制と空港容量に関する研究—NY空域再編に関する追加考察—（第24回運輸政策研究所研究報告会），運輸政策研究，Vol.11，No.4，pp.107-110，2009.