

2B7 羽田空港再拡張後の滑走路容量とATMパフォーマンスの影響

○平田輝満（財団法人運輸政策研究機構），屋井鉄雄（東京工業大学），清水吾妻介（東京工業大学）

Runway Capacity of Haneda Airport after the Re-Expansion and the Impact of ATM Performance
Terumitsu Hirata (ITPS), Tetsuo Yai (Tokyo Tech), Azumanosuke Shimizu (Tokyo Tech)

Key Words: Haneda Airport Re-expansion, Runway Capacity, ATM Performance

Abstract

Haneda airport will be expanded with 4th runway in 2010 and its runway capacity is expected to increase by 1.4 times of current capacity. As future air transport demand will continue to increase after the expansion, it is important to consider the capacity enhancement measures after the expansion including ATM upgrading. This paper firstly developed statistical method for estimating runway capacity of Haneda airport with 4th runway, and analyzed the impact of some sequencing changes of landing/take-off aircrafts on runway capacity.

1. はじめに

2010年、羽田空港に4本目の滑走路が整備され、1.4倍の発着容量に増加することが予定されている。今後のアジアの経済成長や国際的な航空自由化の進展等により今後益々航空需要は増加すると考えられ、さらなる首都圏空港の容量拡大の方策の検討が引き続き重要課題である。容量拡大の方策としては滑走路整備等のハード整備以外にも、航空交通管理（ATM）の高度化による効率化等のソフト対策も今後極めて重要と考えられる。

容量拡大の方策の検討ツールとして、従来我が国で使用されてきた容量算定方式を活用することが考えられるが、それらは単一の滑走路や平行滑走路を対象としたものであり、羽田再拡張後のように滑走路（飛行経路含む）が交差する形態を対象とした算定方式は存在しない。さらに、世界でも珍しい井桁形状の滑走路配置であるため単純な交差滑走路とも運用特性が大きく異なる。筆者らの研究¹⁾²⁾で羽田再拡張後を対象にシミュレーションを活用した容量算定を実施した例（北風時のみ）はあるものの、従来航空局で使用してきた統計的手法に整合した解析的容量算定方法で算定することが一般に理解がしやすく、計算効率や検証、現状との比較等の面でもメリットがある。

以上から本研究では、まず従来の容量算定方法と極力整合をとる形で羽田再拡張後の容量算定方法を開発し、その算定方法を用いて、ATMの高度化、特に離着陸順序付け（シークエンシング）の柔軟化による容量拡大の方策と拡大効果について分析することを目的とした。

2. 羽田再拡張後の容量算定方法の検討

(1) 再拡張後の滑走路運用と容量（航空局計画）

航空局は、再拡張後の発着容量について、常時同時に3~4本の滑走路を使用して運用を行うこととし、出発・進入経路を東京湾内とすること、輻輳する交通を円

滑に処理するため滑走路を方面別に運用すること、First Come First Serve (FCFS: 先着順) で処理すること等を前提として航空管制官によるリアルタイムシミュレーションを実施し、世界初となる進入方式（同時 LDA: Localizer-Type Directional Aids）の導入等を前提に、40回/時（40.7万回/年）の処理が可能となると結論している（図-2）。

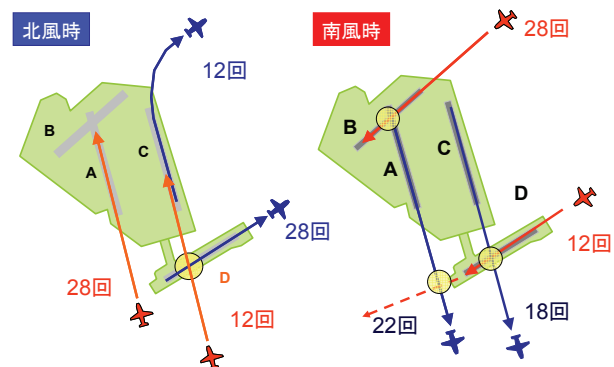


図-1 再拡張後の滑走路運用と容量（航空局計画値）

(2) 容量算定における基本的なスタンスと条件設定
空港容量の算定にあたっては、基本的に国土交通省航空局で使用している既存の容量算定方式³⁾に従った。但し、羽田再拡張後は我が国でも初となる井桁の滑走路配置となり既存の算定方式では対応できない部分があるため、それらについては航空法および関連法規、飛行方式設定基準、管制方式基準などをもとに独自に条件設定を行った。また所要時間や速度等の各パラメータについては既存の容量算定方式と同様、バラツキを考慮した安全係数を掛けるか、もしくは今回のデータ制約内で考える最大の安全側の数値を使用する。主要な条件設定について表-1に示す。

表-1 容量算定における基本的な条件設定

【1】 機種	B777 (大型)・B767 (中型)・B737 (小型) の 3 機種に代表させた。比率は、後方乱気流区分で Heavy : Medium を 7 : 3 とした (現状と同じ)。
【2】 飛行 速度	<p>【離陸上昇】離陸後しばらくは 160kt < 羽田離陸容量算出方式を参考 ></p> <p>【着陸進入】滑走路末端手前 9NM で 180kt, 同 5NM で 160kt, 同 3NM 以降 145kt (大型機)・135kt (中型機)・125kt (小型機) < 前 2 者は航空路誌 (AIP), 後者はエアライン提供データからの独自設定に基づく ></p> <p>【着陸復行】SOC (飛行方式設定基準における Start of Climb : 滑走路末端から 0.36NM 先) から 160kt に加速</p> <p>*速度のパラツキは 3 機種の違いは表現しているが、個々の機種でのパラツキ (風速の影響等) は考慮していない。</p>
【3】 滑走路 占有時間	<p>【単一滑走路の連続離陸・連続着陸】連続離陸は 95 秒 (離陸許可～離陸後 45 秒), 連続着陸は 115 秒 (滑走路手前 1NM～停止線離脱) < 羽田容量算出方式 ></p> <p>【南風時 A・C 離陸と D 着陸】A 離陸 100 秒・C 離陸 95 秒 (離陸許可～経路交差点) (詳細後述)</p>
【4】 管制間 隔・そ の他確 認時間 等	<p>【離着陸機相互間の管制間隔】基本的には管制方式基準に従い、①初期レーダー最低間隔として 2NM 以上 (かつ離陸 1 分後に 3NM 以上), ②大型機に後続する場合の後方乱気流間隔 2 分間 (滑走路上で離陸上昇経路と着陸進入経路が交差する場合 (南風時の先行 C 離陸と後続 D 着陸の間))</p> <p>【着陸確認時間】飛行場管制官により着陸機が確実に着陸し、復行はしないとの判断に要する時間を、滑走路進入端通過後 25 秒と設定 < 運航特性等を考慮し独自に設定 ></p> <p>【離陸機のプラスト影響確認】離陸開始地点後方に着陸滑走機がある場合 (南風時の B 着陸がある場合の A 離陸) に、その影響の確認時間として 15 秒を設定 < 運航特性等を考慮し独自に設定 ></p> <p>【着陸許可発出の限界点】着陸機に対しては滑走路進入端から INM 手前までに着陸許可を発出 < 羽田容量算定方式 ></p>

(3) 容量算定の考え方と占有時間 (南風時の例)

図-1 から分かるように、北風時に比べ南風時の運用が複雑であり、特に A・C ラン離陸機の前方を D ラン着陸機 (復行機含む) が横切ることが全体の容量のボトルネックとなっている。紙面の都合上、本稿では南風時について詳細に記述する。南風時の運用では 3 箇所の交錯箇所が存在し、以後それぞれ、C ラン・D ランの交錯箇所を CD 交点、同様に AC 交点、AB 交点と呼ぶ。まず始めに、南風運用時の最重要検討箇所である CD 交点と AD 交点を例に管制間隔の基本的考え方と容量算定の基礎となる「占有時間」の考え方を示し、容量算定の基本的な考え方を述べる。

a) 容量算定の基本的な考え方と占有時間

ここでは複数の滑走路 (飛行経路含む) が交錯する場合の容量算定の基本的な考え方を述べる。前述の通り、現在の羽田空港では離着陸が分離され、さらに基本的に滑走路間で独立に運用が可能である。従って滑走路個々に処理容量を考えればよかったが、再拡張後は複数滑走路が従属運用関係となり、複数滑走路を 1 つの系として

処理容量を考える必要がある。例えば、次節で詳細に述べる「C 離陸と D 着陸の相互間」に必要な管制間隔は、表-1【4】の離着陸機相互間の管制間隔の 2 つ (レーダー間隔と後方乱気流間隔) であるが、これら管制間隔を保持することを条件として、C ランと D ランを 1 つの系とし、この系をどちらか一方の機のみが使用している (占有している) と考える。つまり、あるタイミングで先行機から後続機へ占有権が移ることとし、本研究では C 離陸機の後 D 着陸機への占有権の移行は CD 交点で、D 着陸機の後 C 離陸機へは D 着陸の確認時点^{補注 1)}とした (A 離陸と D 着陸も同様の考え方)。その他、離陸や着陸が連続する場合には基本的に既存の容量算定方式の考え方と同様である。これら考え方の上で、ある系を使用する連続する 3 機を仮定し、その真ん中の機 (例えば、D 着陸機→C 離陸機→D 着陸機であれば C 離陸機) について、当該系を占有している時間 (福岡空港の総合的調査⁴⁾における「運用間隔」とほぼ同義であるが、本研究では以降「占有時間」と呼ぶ) を所要時間のパラツキも考慮し算出する (前後の機が変われば同じ C 離陸機でも占有時間は異なる)。以下で、南風時に考えるべき 2 つの系、「C 離陸と D 着陸」系と「A 離陸と D 着陸」系 (以後、CD 系、AD 系) について離着陸を交互に運用する場合を例に詳細に述べる («A 離陸と B 着陸」の従属性は AD 系で考慮し、容量算定上、B 着陸は独立とした)。

b) C 離陸と D 着陸間の管制間隔と占有時間の考え方

① C 離陸機 (前後は D 着陸) の占有時間 TDCD

C 離陸と D 着陸を交互に運用することを想定する。連続 3 機 (先行機から $ij,k=\{A,C,D\}$ とし、A・C ラン離陸機を A・C、D ラン着陸機を D とする) の真ん中の機の占有時間を T_{ijk} とする。C 離陸機 (交互を想定しているので前後は D 着陸) の占有時間 TDCD となり、図-2 に示すように、その内訳の TDCD1 を「離陸許可～滑走開始」、TDCD2 を「滑走開始～1800m 地点」、TDCD3 を「1800m 地点～CD 交点 (距離は 2600m)」とする。2 章で紹介した離陸連続の場合の所要時間をもとにすると、TDCD1 は 15 秒、TDCD2 は 48 秒 (後続が着陸機なので 2.6σ を足している)、TDCD3 を 32 秒 (160kt で計算) となり、C 離陸機の占有時間 TDCD は 95 秒となる。ここで、管制運用の精度も考慮し、個々の数字は切上げている。

② D 着陸機 (前後は C 離陸) の占有時間 TCDC

D 着陸機の占有時間 TCDC は先行 C 離陸機が H の場合と M の場合で異なる。H の場合の TC(H)DC は、先行 C 離陸機が CD 交点を通過後、後続 D 着陸機が同地点を通過まで 2 分間の後方乱気流間隔が必要となる。全機

種で管制間隔を満たすように最も速度の大きなB777を想定して計算すると、図-3の①地点のように先行C離陸機がCD交点通過時にD着陸機は滑走路進入端から4.1NM以遠にいる必要があることになる(表-1【2】の飛行速度をもとに計算)。このことから、TC(H)DCの内訳のTC(H)DC1を「4.1NM手前～滑走路進入端」、TC(H)DC2を「滑走路進入端～着陸確認」とすると、TC(H)DC1は117秒(所要時間の計算は最も速度の小さなB737で計算:安全側)、TC(H)DC2は25秒(仮定)となり、TC(H)DCは142秒となる。

次に、先行C離陸機がMの場合のTC(M)DCは、管制間隔はレーダー間隔の2NMで決まる。つまりC離陸機とD着陸機が最も接近する地点(両機とCD交点が2等辺三角形となる地点)で2NMが保持されていることを条件^{補注2)}とすると、先行C離陸機がCD交点通過時にD着陸機は滑走路進入端から1.6NM以遠にいる必要がある。このことから、TC(M)DC1は47秒(B737)、TC(M)DC2は25秒となり、TC(M)DCは72秒となる。

以上から、仮に、C離陸とD着陸を単純に完全交互運用する場合を考えると、 $H:M=7:3$ を考慮し、離着陸1機の合計2機の処理時間は、 $(TDCD+TC(H)DC)*0.7+(TDCD+TC(M)DC)*0.3=216$ 秒となり16.7回/時(離着陸合計約33回/時)の処理容量となる。しかしながら、D着陸機はA離陸機とも従属関係にあることや、D着陸機の実運用における間隔設定などの面から、羽田再拡張後の空港全体での容量算定はより複雑となる。

c) A離陸とD着陸間の管制間隔と占有時間の考え方

①A離陸機前後はD着陸)の占有時間TDAD

A離陸とD着陸を交互に運用することを想定する。この時に必要な管制間隔は、前述のCD交点と異なり、レーダー間隔のみである。AランとDランの滑走路配置条件では管制方式基準上、後方乱気流間隔は必要がない。C離陸と同様の考え方で、A離陸機の占有時間全体をTDAD、その内訳のTDAD1を「離陸許可～滑走路開始」、TDAD2を「滑走路開始～1800m地点」、TDAD3を「1800m地点～AD交点(距離は3000m)」とし、離陸連続の場合の所要時間をもとに計算すると、TDAD1は15秒、TDAD2は48秒、TDAD3を37秒となり、さらに表-1【4】に示す通り、A離陸機についてはBランへのプラスタの影響を考慮し離陸許可前に15秒の確認時間を必要とする(仮定)。以上から、A離陸機の占有時間TDADは115秒となる。

②D着陸機の占有時間TADA

D着陸機の占有時間TADAはCD交点と異なり、先行A離陸機がHの場合とMの場合と同様である。CD交

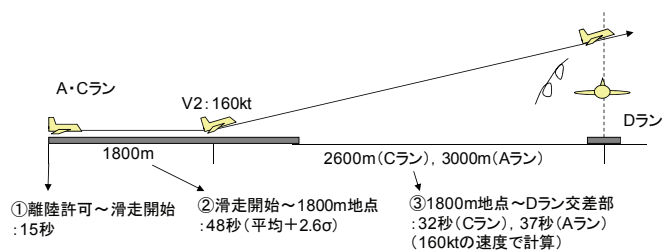


図-2 A・Cラン離陸機の占有時間の概要

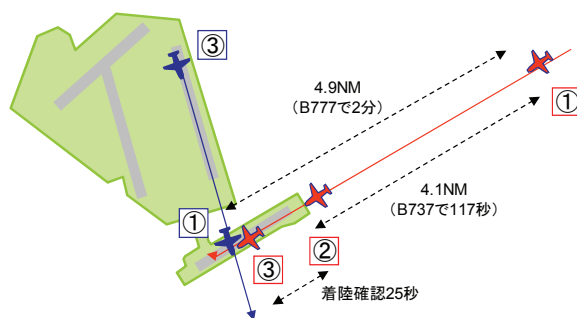


図-3 C離陸→D着陸→C離陸の占有時間 T_{CDC} の概要

点の場合の先行C離陸機がMの場合と同様の考え方で、レーダー間隔2NMが保持されていることを条件とすると、先行A離陸機がCD交点通過時にD着陸機は滑走路進入端から「0.6NM以遠」にいる必要がある。しかしながら、先行A離陸機がCD交点通過時にD着陸機に着陸許可を発出できるとすると、表-1【4】に示す着陸許可発出の限界点1NMがクリティカルとなるため、上記条件は「1NM以遠」となる。以上から、TADA1は29秒、TADA2は25秒となり、TADAは54秒となる。

d) その他の組み合わせにおける占有時間

上記2つの系(CD系、AD系)における連続する3機のその他の組み合わせにおける占有時間 T_{ijk} については紙面の都合上、詳細は割愛するが、基本的な考え方は同様である。例えば、CD系において「C離陸(H)→C離陸(H)→D着陸」の場合は前述b)①のTDCDと同じであり、「D着陸→C離陸(H)→C離陸(H)」の場合は既存の羽田容量算定方式の離陸が連続する場合と同様後方乱気流間隔の120秒である(2機目がC離陸(M)の場合は95秒:2章参照。AD系ではBランへのプラスタ確認15秒がプラスされる)。またD着陸が連続する場合、滑走路を離脱するまで占有することになるので、例えば「D着陸→D着陸→D着陸:TDDD」では既存の羽田容量算定方式と同様115秒(Mの時)か120秒(Hの時)、「C離陸(H)→D着陸→D着陸:TDCDD」では前述b)②のTC(H)DC1に、滑走路進入端から滑走路(停止線)離脱までの88秒(2章の着陸連続における t_2+t_3)を足した205秒となる。同様にすべての組み合わせにつ

いて占有時間を算定した結果を図-4 に示す。占有時間への影響の有無を考えず、全機材で H と M を区別して考えたため、各系での組み合わせは 64 通りとなる。

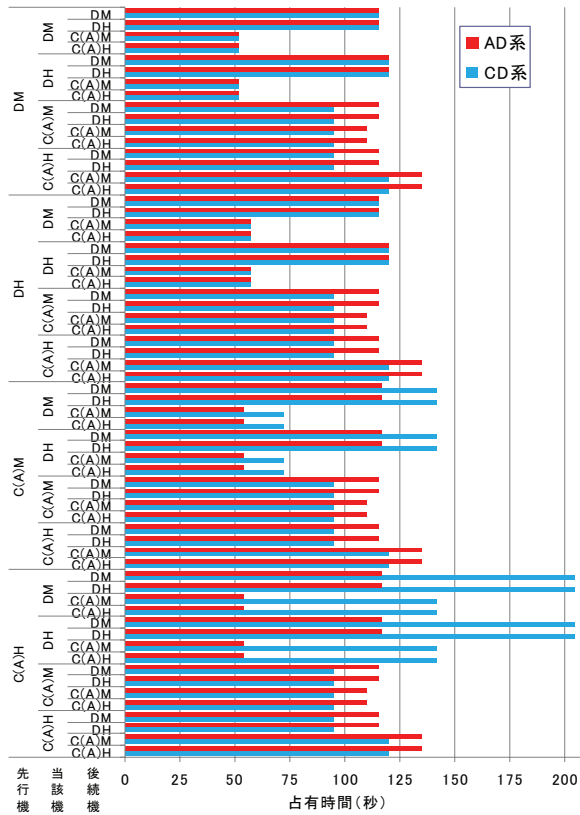


図-4 CD系・AD系における全組み合わせの占有時間

e) CD系とAD系を同時に考慮した容量算定

上記までではCD系とAD系で独立して考えてきた。しかし実際の運用を想定すると、これらを同時に考慮した容量算定が必要となる。両者はDラン着陸機を介して従属運用となる。ここでは、両者に共通しているDラン着陸機の間隔をA・Cラン離陸機が効率よく処理できるように設定することを考えた。つまり、前述の占有時間はCD系とAD系で差があり、例えばDラン着陸機の中に1機の離陸を挟むときに、一方の系の占有時間をもとに間隔設定すると、他方の系が離陸できないことがある。それぞれの占有時間の大きさを考えると一方の系のみ離陸できる間隔設定をすると滑走路処理効率におけるロスが大きいため、両系を考慮した容量算定の前提として、Dラン着陸機の中に挟む離陸機の数も両系で同一とした。残る問題は離着陸順序の仮定である。現状の離着陸分離方式では問題とならないが、前述の占有時間をみても容易に想像できるように、HMの順序も含めた離着陸順序付けによって容量が大きく異なる。以下で3つの方法による容量算定方法を示す。

①離着陸順序を完全ランダム

本ケースは離着陸数の比率を与え、その上で離着陸順序を完全にランダムとし、その生起確率と占有時間から容量を確率計算(期待値計算)する方法である。福岡空港の調査⁴⁾でも同様の考え方で計算している。しかしながら、大きく異なる点は、羽田再拡張後の容量算定において前述の仮定(Dラン着陸機の中に挟む離陸機の数もCD系とAD系の両系で同一とする)を前提とすると、すなわち、Dラン着陸機の中に入る離陸機の数に応じて、両系それぞれにおけるその離陸機の合計占有時間の大きい方の値を両系で共通の占有時間とし、上記期待値計算をすることになる。詳細については紙面の都合上割愛するが、本方式の利点は離着陸数の比率を変化させることで比較的容易に容量のスライディングスケールを作成可能な点である。また、実際の管制運用から本計算方式を捉えると、前後の航空機の離着陸属性や後方乱気流区分HMの別を常時考えながら、その組み合わせに応じて極めて柔軟に間隔設定を行うことを前提としている。福岡空港の調査ではClose-Parallel滑走路を対象としているので、容量算定時の運用の前提に関して実際の運用上も大きな問題にならないかもしれないが、羽田再拡張後は井桁の滑走路運用のため、そのような完全に柔軟な間隔設定が実際の運用上は困難であるかもしれない。いずれにしても、そもそもスロット数を決めるための容量算定と実際の運用とは切り離して考える部分も存在するので、これらの点についての考え方は今後の課題としたい。

②離着陸順序を先決(Dラン着陸間隔を可変)

実際の管制運用を想定しながら、離着陸順序をある程度先決して容量計算を行う方法である。そして、C・Aランからの離陸機の数や種別により、必要なDラン着陸機の最低間隔が異なるが、その数や種別等に応じて変化する最低の間隔で可変制御することを前提としている。詳細は紙面の都合上割愛する。

③離着陸順序を先決(Dラン着陸間隔を固定)

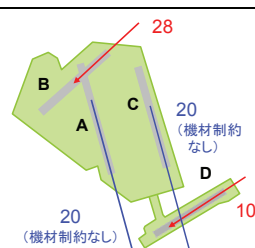
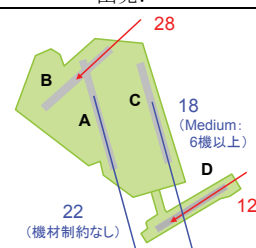
②とほぼ同様であるが、Dラン着陸間隔を離陸機の数や種別により変化する最低間隔の最大値で固定して制御することを想定しており、②よりも容量は低下するが、実際の管制運用としては容易である。以後の計算は基本的に本方式をもとに行う。

4. 羽田再拡張後の容量算定と離着陸順序付けの影響

前述③の方法を前提に羽田再拡張後の容量算定を行う。まず、航空局計画値の再現を行う。図-2の南風時計画値をみると分かるように、Dラン着陸12回/時、Cラン離陸22回/時、Aラン離陸18回/時となっており、Dラン着陸間隔の固定を前提とすると、Dラン着

陸の間に概ね2機ずつA・Cランから離陸を出せばよいことになる。そこで、上記運用と図-4の占有時間をもとに時間当たりの処理回数の検討を行った。ケースは2通りで、①A・C離陸はFCFS（HM順序等はランダム）を仮定、②A・C離陸の順序を処理効率の観点から一定程度最適化することを仮定、で算定した。①ケースにおける運用と占有時間を図示したものを図-5に示す。Dラン着陸の間にA・Cランから2機ずつHM順をランダムに離陸させるため、固定のD着陸間隔としては占有時間の合計が最大となる組み合わせの「CランからHが2機続く場合」の357秒となる。つまり、1時間あたりでは「離陸→離陸→着陸」の1サイクルが10回入ることになり、この時の処理回数はD着陸が10回、A・C離陸が20回で、独立運用を仮定しているBラン着陸数を航空局の計画値28回とすると、発着回数は最大で38回となり（離着陸同数を仮定）、航空局の計画値40回を再現できない（表-2左欄も参照）。このことから、従来のようにFCFSで単純に処理をすると40回/時の計画値を達成できない可能性がある。

表-2 航空局計画値の再現に必要な運用方法（制約）

	緩い制約での運用 【容量：最大38回/時】	計画値を再現する運用 【容量：40回/時】
D着陸機	約6分の間隔で着陸。	約5分の間隔で着陸。1サイクルは約4分半間隔で着陸させる（A離陸が1機の時）。
A離陸機	D着陸機の間に機種を問わず2機ずつ出発。	D着陸機の間に機種を問わず2機ずつ出発。但し、2サイクルは1機のみでよい。
C離陸機	D着陸機の間に機種を問わず2機ずつ出発。	D着陸機の間にH→Mの順で出発。但し、6サイクルはHが1機のみでよい。またMの半数はCランから出発。
滑走路別発着回数（南風時）	 <p>20 (機材制約なし) 20 (機材制約なし) 10</p>	 <p>22 (機材制約なし) 18 (Medium: 6機以上) 12</p>

そこで、図-5をみても分かるように、Cランからの2機目の離陸機がHであると後続D着陸の占有時間が大きくなるので、管制サイドでCラン離陸の1機目はH、2機目はMとする機材サイズからみた戦略的な順序付けをし、さらに着陸間隔も若干の柔軟な運用を許容することを考えた。図-6にそれら前提をもとにした現況再現のための運用イメージを示す。Cラン離陸機の2機目

がMに限定したため、1サイクルの最大合計占有時間はAラン1機目がHの場合の304秒となるが、着陸間隔を完全固定だと11サイクルしか入らず、D着陸が1機不足する。そこで、1時間で1回のみ1離陸機挟みの間隔（237秒）で着陸させることを許容することで12回/時の着陸を達成できる（当然、他にも再現可能な運用方法は多数存在する）。また、Cラン離陸機の順序を常にHM順にすることは管制運用上やダイヤ設定上、必ずしも簡単なことではないが、図-6の運用ではCラン離陸機については1時間12サイクル中6サイクルまではHを1機のみでよいいため、2機目のMが滑走路にスタンバイできていない時などはHを1機のみ離陸させればよいといったバッファが含まれている（現状ではMは3割のみ）。またAラン離陸機については特に制約はないが、2サイクルでは1機のみ離陸でもよい。従って、この運用自体の実現性はさほど低くはないと考えられるが、再拡張後に時間40回を達成するためには、現状ではさほど要求されない戦略的な離着陸順序付けが一定程度必要となることが示唆される（表-2右欄も参照）。

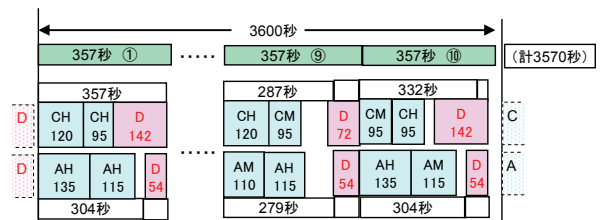


図-5 D着陸間隔固定+FCFSを仮定した際の運用と占有時間のイメージ図

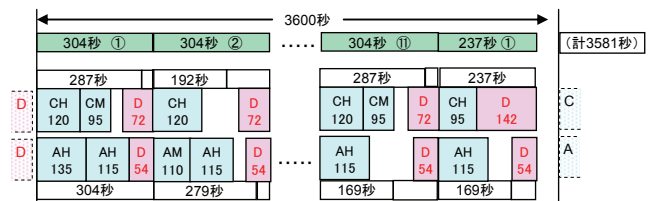


図-6 現況再現のための運用と占有時間のイメージ図

続いて、ATMの高度化やエアラインのダイヤ設定等の協力を前提に、前述の現況再現の運用をベースに、現況再現でバッファとしていた占有時間の枠もすべて完全に離着陸させることを考えた。つまり、Cラン離陸機の2機目は毎サイクルで必ずMを離陸させ（つまり、全体の約85%のMをCランから離陸させる戦略的機材配置を実施）、さらにD着陸機の到着間隔も柔軟に制御するとともに、Bラン着陸機も現在の着陸専用滑走路の場合の最大容量である31回/時を前提とした。この運用を前提とすると44回/時まで計算上容量拡大が可能と

なり、ATM のパフォーマンス（ここではターミナルエリアにおける離着陸順序の戦略的設定）のレベルによって、滑走路の処理容量が大きく変わることが分かる。一方で、これら容量の前提となる高度な管制運用は、運航側の戦略的機材配置に対応したダイヤ設定と機材繰り、非 FCFS への理解と協力、またある程度の遅延の許容など様々な課題の解決が必要となる。また、再拡張後は飛行ルートの交錯による処理容量低下を避けるために 2本の滑走路を方面別に使用することとし、方面別便数のバランスを考慮して各滑走路の便数を配分していることから、この観点からの検討も別途必要となる。

表-3 ATM の高度化等を前提とした場合の容量

	機材の戦略的配置 【容量：44 回/時】
D 着陸機	約 4 分半の間隔で着陸。但し、1 サイクルは 3 機連続で着陸させる。
A 離陸機	D 着陸機の間機種を問わず毎回 2 機ずつ出発。
C 離陸機	D 着陸機の間毎回 H→M の順序で出発。また、約 85% の M 離陸機は C ランから離陸させる。
滑走路別発着回数 (南風時)	

5. おわりに

本研究では、羽田再拡張後を対象とした容量算定方法について既存の算定方式と極力整合する形で検討を行い、占有時間の概念をもとに交差する複数滑走路における処理容量の算定方法を提案した。また、提案した容量算定方法により航空局の計画容量の再現のための運用方法および ATM パフォーマンス（離着陸の順序付けの高度化レベル）が処理容量に与える影響について検討を行った。その結果、複数滑走路間で離着陸機が複雑に交錯する羽田再拡張後は、ATM パフォーマンスによって大きく滑走路の処理容量が変化することを示した。

一方、容量算定方法については、従来に比べ再拡張後の滑走路運用は複雑となり、離着陸の順序付け等の運用の仮定により大きく発着容量が変化することから、本稿では、結果的に従来型の容量算定（スロット値算定）というよりは、実際の滑走路運用と処理回数そのものも強く意識した容量算定という形になっているかもしれない。いずれにしても、そのような容量算定の前提と実際の管制運用との関係、従来の安全係数（復行確率等を前提）と交差経路における安全性の考え方の相違、航空機

速度等のバラツキの考慮など、検討課題は多く残されており、追加的検討が必要である。

補注

補注 1) 管制方式基準上、滑走路もしくは飛行経路が交差する場合、「先行到着機が滑走路又は飛行経路の交差部分を通過したとき、後続出発機が使用する滑走路に入る恐れがなくなったときその他着陸して衝突の危険性がなくなったとき」に後続離陸機に離陸許可の発出が可能。

補注 2) 管制方式基準上、離着陸機間の最低レーダー間隔 2NM は、離陸後 1 分以内に 3NM となることを条件としているが、この時点で 2NM あればその条件は自動的に担保されている（飛行経路は直進を仮定）。

参考文献

- 1) 平松健志, 平田輝満, 屋井鉄雄: 空港容量算定シミュレーションの開発と容量拡大効果に関する研究, 運輸政策研究, Vol.9, No.2, pp.25-37, 2006.
- 2) 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.
- 3) 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) 航空保安協会, 2000.
- 4) 「福岡空港の総合的な調査」PI レポート(ステップ 4) 詳細版