

航空管制からみた混雑空港の発着容量拡大方法に関する検討

平田輝満
HIRATA, Terumitsu

(財) 運輸政策研究機構運輸政策研究所研究員

1—はじめに

我が国の首都圏における空港発着容量は、ニューヨーク、ロンドン、パリといった世界の首都圏に比べ未だ低いレベルにある。2009年には成田空港で暫定平行滑走路の延伸が、2010年には羽田空港で再拡張（D滑走路の新設）が予定されており、それぞれ容量が年間約2万回、約10万回程度増加する。しかしながら、未だ旺盛な国内・国際需要やアジアのゲートウェイ空港としての容量の十分性、また近年の小型機による多頻度運航化などのニーズを勘案すると、羽田再拡張などにより生まれる新規発着容量はすぐに満杯になることが予想される。一方、福岡や那覇などの地方空港においても近年発着容量の需給逼迫が顕在化しており、H14の交通審議会航空分科会の答申を受け、中長期的な視点から拠点空港としての空港能力向上策について総合的な調査を精力的に実施中である。空港発着容量の拡大には、滑走路建設などのハード整備が効果的ではあるが、既存ストックの有効活用策の検討と活用限界の見極めも十分に行うべきである。

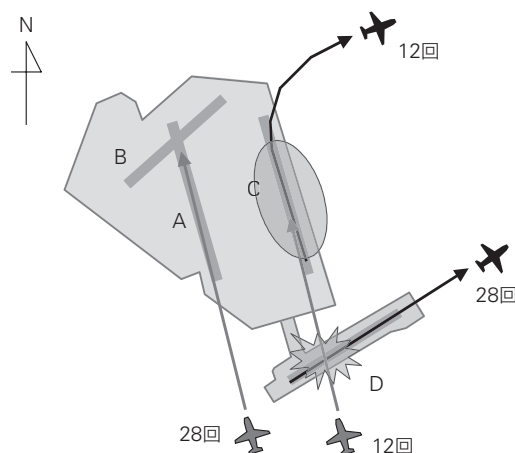
以上の問題意識から、本研究では、混雑空港の発着容量について、航空管制の運用方法からみた拡大方法について海外空港の事例を参考に検討を行った。具体的には、①羽田空港再拡張後の滑走路運用計画とさらなる容量拡大に向けた管制運用上の課題の整理及び、機材の小型化・多頻度化と管制運用との関連について述べ、続いて、海外混雑空港における管制運用方法の工夫による容量拡大方法の先進事例として、ヒースロー空港（英）及びフランクフルト空港（独）を取り上げ、それら方法の我が国への適用性について考察を行った。

2—羽田空港再拡張後の管制運用計画と管制に関わる最近の話題の整理

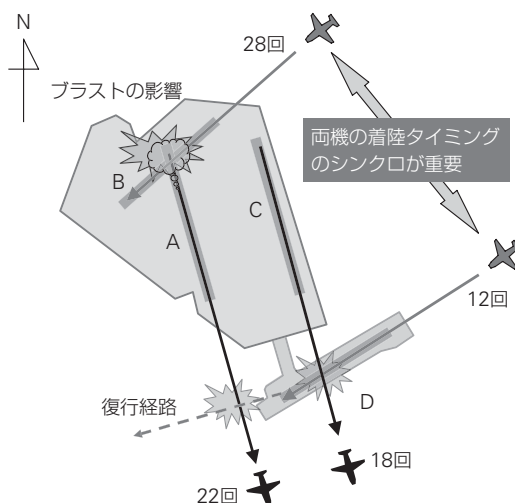
2.1 羽田再拡張後の管制運用計画

現在の羽田空港では、基本的に3本ある滑走路のうち離着陸を分離して2本の滑走路を同時運用しており、それぞれ独立に運用が可能である。しかし、再拡張後は、北風運用時に

は3本、南風運用時には4本の滑走路全てが同時運用となり、さらにはほぼ全ての離着陸機が相互に従属運用となるため、従来と比較して高度な管制運用となる（図—1、図—2）。北風運用時はさほど複雑ではなく、離着陸共用となるCラン（C滑走路）の効率運用が容量拡大のキーポイントとなる¹⁾。しかしながら、南風時の運用が複雑となり、具体的には、Dラン着陸機とCラン離陸機、またDラン着陸機（の復行経路）とAラン離陸機が従属運用となり、さらにAラン離陸機のプラストがBランに残存することからAラン離陸機とBラン着陸機も従属運用となる²⁾。現在計画されている発着容量以上にさらに容量拡大するためには、これら従属性がネックとなる可能性が



■図—1 羽田再拡張後の滑走路運用計画（北風時）



■図—2 羽田再拡張後の滑走路運用計画（南風時）

ある。従って、Bラン、Dランへの着陸機を如何にシンクロさせるかが非常に重要になると考えられ、もしそうであれば、このシンクロのための対応をターミナルレーダー管制業務の中で行う必要がある。後述のホールディングの活用はその対応策の1つになり得ると考えている。地上管制においてもBラン着陸機が旅客ターミナルへ向かうために他の滑走路を横断する必要があることなどがさらなる容量拡大への課題である。

2.2 関東区域の再編

2009年には羽田と成田の進入管制区が統合され、羽田のレーダ室で一元管理される予定である。このねらいの一つとして羽田・成田の交通量をみながら両者の進入管制区のエリアをより柔軟に調整可能となることが挙げられる。また、現在の東京管制部 (ACC) の管轄区域と羽田のターミナルレーダー室の管轄区域との間に「中間空域 (ACCで管轄)」を設立し、羽田到着機の到着順序付け作業をこの空域で行うことも検討されている³⁾。これに伴い関東空域が再編されるが、これらを機に関東ターミナル空域における管制をより効率化させるための管制方式を設定するチャンスでもあり、前述の課題なども念頭に置きながら検討を進めることも重要であろう。

2.3 機材の小型化・多頻度化と管制との関連

一方、羽田の容量制約の緩和、原油高、旧型機材の更新時期を背景に、我が国においても機材の小型化が益々進展すると思われる。中小型機の比率が増加すると、後方乱気流間隔の短縮による容量拡大も期待でき、その効果を最大限にする柔軟な管制方法の実施可能性についても十分に考慮すべきである(後述のBunchingなど)。さらに機材の小型化に伴い航空機の低騒音化も進展するため、東京上空ルートの積極活用による容量拡大方法も検討することで、機材の小型化による提供座席数の減少を発着回数増で補える可能性もあると考える。

■表—1 ヒースロー空港と羽田空港の比較

	ヒースロー	羽田
年間旅客数 (2006)	6,753万人	6,522万人
年間発着回数 (2006)	47万7千回	31万回
1便あたり平均座席数 (2006)・OAG時刻表より算出	約200席	約250席
同時運用可能な滑走路本数	4,000m×2本	3,000m×2本
発着容量	78回/時	60回/時
離陸後の旋回方向	複数	単一
機材構成	Heavy : Medium = 3 : 7	Heavy : Medium = 7 : 3
騒音制約	騒音制約から離着陸分離方式で運用 (例外あり)。	騒音制約から離着陸分離方式で運用。空域制限がきつい。

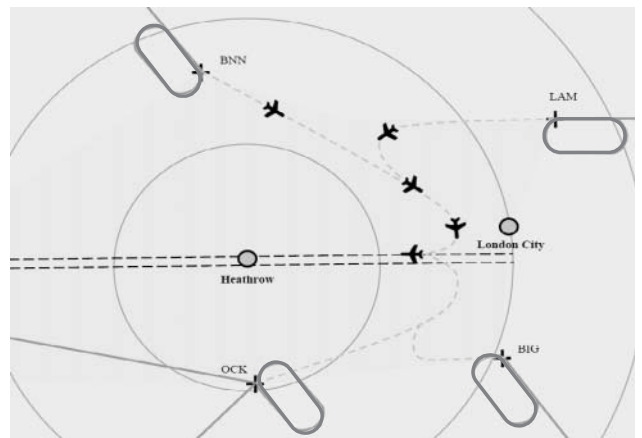
以上、羽田再拡張後の運用計画や容量拡大に向けた課題の整理、関東空域の再編、機材の小型化などの航空市場変化について述べてきたが、容量拡大のためには上記以外の視点も含めた総合的な検討が必要であり、以降では、特に、羽田の進入管制の効率化方策や地方混雑空港の拡張に対する管制上の新たな視点への示唆として、ヒースロー空港とフランクフルト空港における先進的な管制運用方法の紹介及び我が国への適用性について述べる。

3—海外混雑空港における容量拡大のための管制運用方法の先進的事例と我が国への適用可能性

3.1 ヒースロー空港におけるホールディングの積極活用と羽田への示唆

ヒースロー空港は羽田空港と同規模の滑走路本数を有しながら、その発着回数は羽田より非常に多いことでよく比較対象となる(表—1)。機材構成の差 (Medium機が、ヒースロー：7割、羽田：3割)、出発経路が複数設定可能、滑走路占有時間の短縮などが大きな原因ではあるが、管制運用上でも、ホールディング (空中待機：以下、HLD) を積極活用した滑走路使用効率の最大化とBunching (後方乱気流区分で同クラスの機材をまとめること) による着陸セパレーションの短縮を図っている。また地域社会としてある程度の到着遅れ時間を許容することで、設定する発着容量 (スロット数) を上げている。

通常、HLDは到着空港の混雑時などに緊急避難的に使用するが、ヒースロー空港では滑走路処理容量の最大化を意図して戦略的にHLDを使用している。具体的には、空港の進入管制区内に到着機用のHLDパターンを複数設置し (図—3)、到着機を一旦すべてHLDさせるようにし、さらに多少過剰気味の到着枠を設定することで、常に空港の最終進入経路直前に進入を待つ航空機がスタンバイするように調整をしている。こうすることで継続的需要 (Continuous Demand)⁴⁾ を



出典：Paul⁵⁾

■図—3 ヒースロー空港のHLDパターン

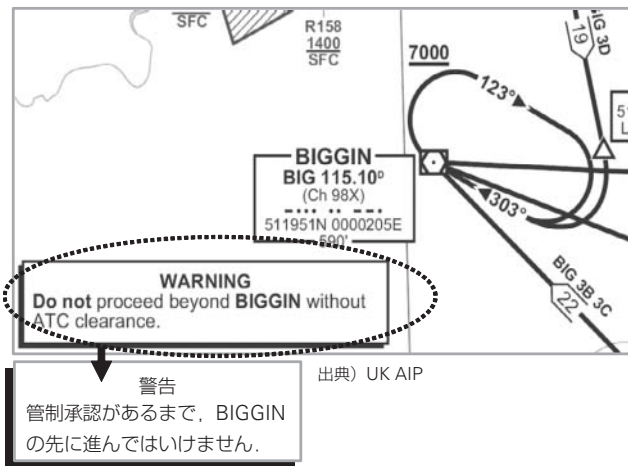
創出し滑走路使用効率の最大化、容量増加を達成している。実際、ヒースローのAIP(Aeronautical Information Publication:航空路誌)上には各HLDパターンに「警告:管制承認があるまで必ずここでHLDせよ」といった世界的にも珍しい記載がなされている(図-4)。

さらに、このホールディングを複数地点で設定することで、Bunchingによる着陸セパレーションの短縮を容易化し容量拡大を図っている。連続する機材のサイズの組み合わせで必要なレーダーセパレーションが異なるため、HLDパターンから航空機を最終進入へ誘導する順序を機材サイズの連続性をみながら柔軟に決定しているのである。フランクフルト空港では近年、次世代航法の1つであるRNAV(Area Navigation)を活用したLinear HLD(RNAV-STAR(Standard Terminal Arrival Route:標準到着経路)の一部区間)と旧来型のCircular HLDを組み合わせた、より柔軟な運用も行っている(図-5)。Circular HLDではHLDパターンから引き出すタイミング次第で最終進入経路上の到着機間隔のロスが出てしまうが、Linear HLDではその幾何

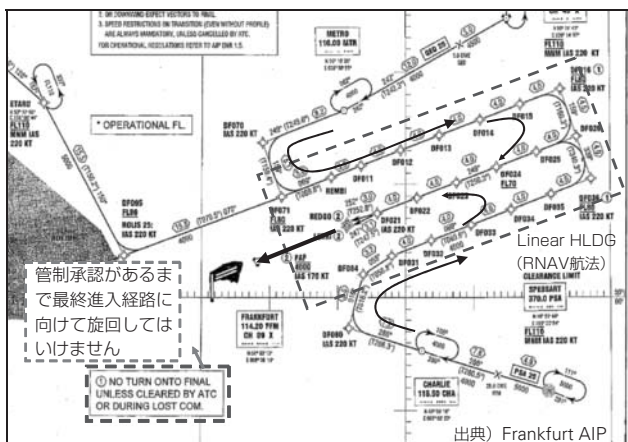
構造上、管制官の意図した間隔設定及びBunchingが比較的容易に実施可能であると想像される。

しかしながら一方で、HLDを活用した上記のような運用を行うと到着遅延時間が増加してしまうというデメリットも存在する。従って地域やエアラインなどと遅延の許容時間に関して合意が必要であり、実際にヒースローでは10分程度の許容遅れ時間を空港として宣言し容量の設定を行っている。許容遅れ時間を基にした容量算定は欧米では通常の方法であり、我が国でもこの考え方を基にした容量算定方法についても議論する必要がある。

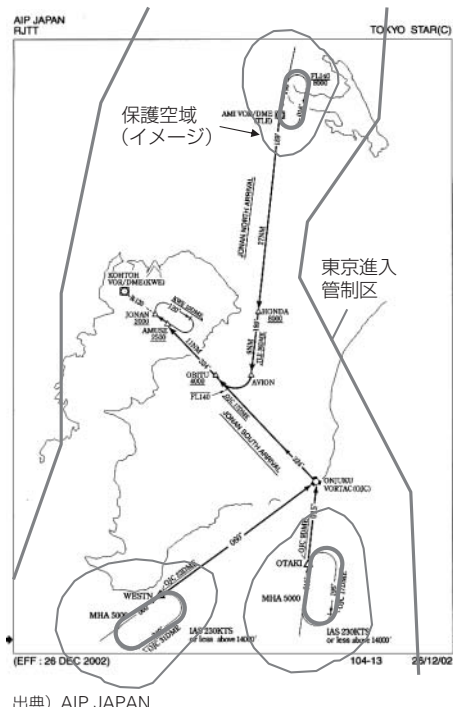
以上で述べたHLDの積極活用を羽田空港で実施することを考える。現在の羽田空港の最終進入経路の手前には3つのHLDパターンが用意されているが、東京進入管制区が非常に狭いことからこれ以上増やすのは困難であり、また南側の2つは非常に近接しているといった問題もある(図-6)。HLDパターンの少なさへの1つの対応策としては、1つのHLDパターンから航空機を引っ張り出す際、通常最下部に積んだ航空機から順番に出すが、上部に積んだ航空機を先に出すことも許容すれば到着順の入れ替えはより柔軟に行うことが可能である(技術的には可能)。大型機が大半を占める現状の機材構成ではBunchingの効果も小さいが将来的に小型化が進展すれば無視できない効果が得られる。遅れ時間の実態については、羽田の詳細な定時性に関するデータがないため定かではないが、各エアラインHP上の到着時刻を一定期間調査した結果(図-7¹⁾)、平均の到着遅れ時間は5分



■図-4 ヒースローのAIP上の珍しい記載



■図-5 Circular HLDとLinear HLDの組み合わせ(FRA)



■図-6 東京進入管制区(羽田)のHLDパターン

に満たない程度であったので、羽田においても多少の追加的遅れ時間を許容する余地が無いわけではないと思われる。さらに、HLD活用の副次的効果として重要なことは、前述の、羽田再拡張後に重要と思われるB・D滑走路への着陸機のシンクロの容易化、管制官のワークロードの低下などが期待できることである。従来のレーダーベクター方式は、きめ細かく効率的な間隔設定が可能である一方、常に全ての航空機をモニター・誘導しなくてはならないため管制官のワークロードは大きい。そこで、ある部分はLinear HLDのようにシステムティックにすることでワークロードを緩和しながらも、同時にきめ細かい間隔設定が可能で、効率もさほど低下させない方法を検討することも必要であると考える。現在、レーダーベクター方式からRNAV方式に移行しつつあるが、将来的にはまさに上記のようなねらいも含まれている。従って、(空域制約ももちろんあるが) Linear HLDのような柔軟な機能も考慮しながら今後のRNAV経路を設計する価値もあるだろう。

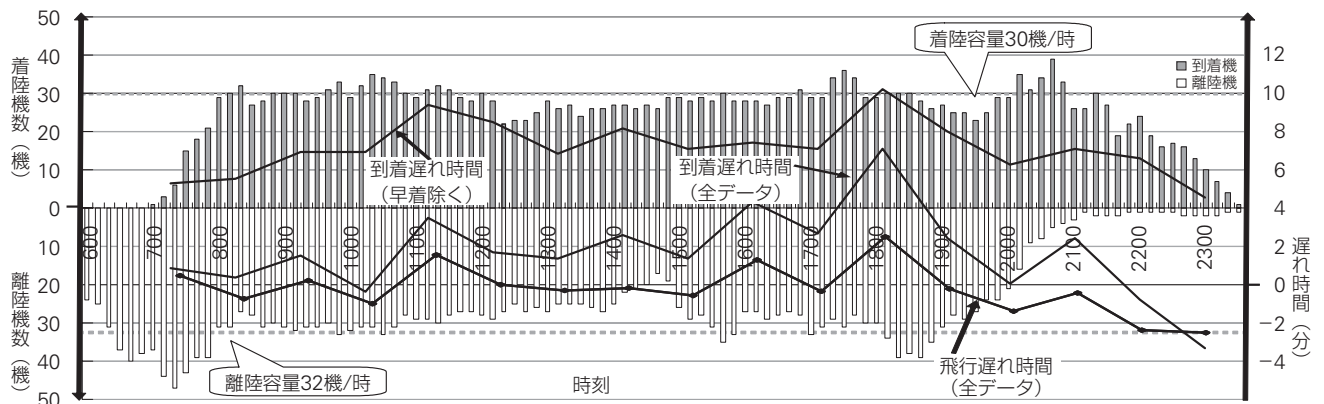
きない2本のClosed-Parallel滑走路と離陸専用の交差滑走路を1本有する。ヨーロッパでも有数のハブ空港であり発着航空機数も順調に伸びている中、将来的な発着容量不足が予測され、現在4本目の滑走路(中小型機専用)の新設計画を策定する一方で、現有ストックの有効活用策も継続的に計画し、試験運用されてきた。特にClosed-parallel滑走路で大きな問題となる大型機からの後方乱気流による処理容量低下の回避策として、管制システムの高度化や最終進入経路の設計・管制運用の柔軟化が検討されてきた。その中心となるHALS(High Approach Landing System)を紹介する。

HALSでは2本の平行滑走路のうち一方の滑走路進入端を内側に移設することで2本の最終進入経路に高度差をつけ、大型機からの後方乱気流を回避するというシンプルなシステムである(図-8)。滑走路端を移設した滑走路の進入経路①は、移設していない滑走路の進入経路②より高度が高くなり、かつ後方乱気流は通常下方後方に向かって広がるため、①上に中・小型機(短い滑走路でも着陸可能)、②上に大型機を着陸誘導することで、①上の航空機は②上の航空機からの後方乱気流を回避することができる。これにより、後方乱気流間隔として必要な5NMのセパレーション(HeavyにMediumが

3.2 フランクフルト空港(独)におけるClosed-parallel滑走路の

容量拡大方法 (HALS)

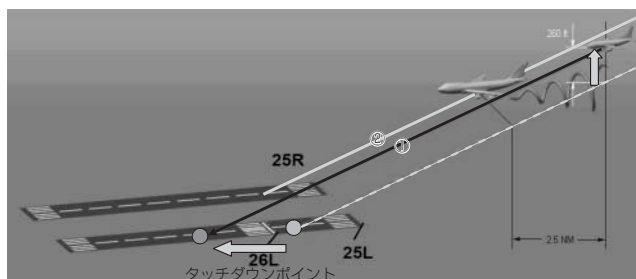
フランクフルト空港は滑走路間隔が518mと独立運用がで



◇離着陸機数：1時間あたりの離着陸機数 (集計開始時刻を10分ずつずらしながら集計：9:00~10:00, 9:10~10:10, …) JTB時刻表2006, 5より

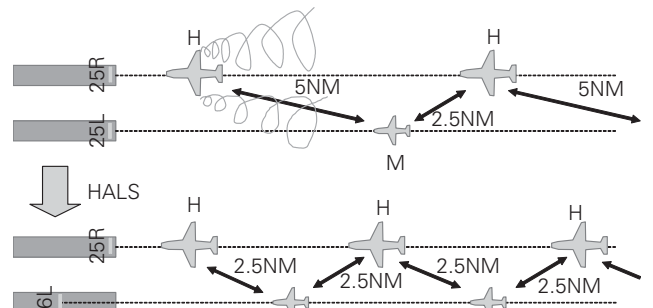
◇到着遅れ時間：2006/5/10からの1ヶ月間, JAL, ANAのHPより取得した新千歳, 伊丹, 関西, 福岡, 那覇発, 羽田到着便から出発遅延便(出発時に15分以上遅れた便)を除いた全4198便の出発, 到着時間から平均遅れ時間を算出

■図-7 羽田空港到着便の平均到着遅れ時間¹⁾



出典：Stefan Mauel⁶⁾

■図-8 HALSのイメージ図



■図-9 HALSによる着陸セパレーションの短縮

■表—2 HALSによる容量拡大効果の試算

試算着陸容量(回/時)		Heavy:Medium=3:7	Heavy:Medium=7:3
バッファなし	HALSなし	47	40
	HALSあり	60	48
バッファあり	HALSなし	41	35
0.5NM	HALSあり	50	41

図—9のセパレーションと最終進入速度150ktを仮定

後続する場合)が必要なくなり、レーダーセパレーションの最低安全間隔2.5NM(我が国では3NM)まで短縮することができる。図—9に示す最低安全間隔を基に容量拡大効果を試算すると、理想的には15%~30%程度の容量増加が期待できる(表—2)。

フランクフルト空港では、1999~2004年にHALSのトライアルを実施し(4,000回以上の着陸を実施、成功)、今後、ドイツ政府の許可が下り次第、レギュラー運用へ移行する計画としているが、現在はまだ運用はしていない。この1つの要因として想像されるのが管制官のワークロードの問題や機材サイズに応じた滑走路への振り分け作業の困難性などである。しかしながら、フランクフルト空港ではHALS/DTOP(Double Threshold Operation)というさらに柔軟な運用についても、フライトシミュレータ実験などにより実施可能性を調査中である。DTOPはHALSで滑走路進入端を移設しつつ、元々の滑走路進入端も同時に使用することで、移設側滑走路にも大型機を降ろせるようにし、機材の振り分けをする必要がなくなるメリットもあると思われる。

以上、フランクフルト空港を例にClosed-Parallel滑走路の容量拡大方策を紹介したが、このような取り組みは米国空港でも実施されている(サンフランシスコにおけるSOIA(Simultaneous Offset Instrument Approach))。我が国では現在Closed-Parallel滑走路を有する混雑空港は存在しないが、地方空港でも一部、容量拡大の必要性が議論され始めている現在、狭隘な国土で、市街地上空への騒音に敏感な我が国では、今後平行滑走路を整備する際、滑走路間の距離を十分に取れなかったり、距離を取るとコスト高に

なったり、出発到着経路が限定されたりといった課題が生ずると考えられるが、その際には、フランクフルトの例にみるようなClosed-Parallel滑走路における管制運用の工夫による容量増加方策も検討する価値があり、それら管制運用方法を十分考慮した滑走路配置計画を検討すべきであると考え。

4—おわりに

本研究では、欧州の混雑空港であるヒースロー空港、フランクフルト空港における先進的な管制運用方法による容量拡大への取り組みを紹介し、羽田空港再拡張後のさらなる容量拡大に向けた課題の整理とそれら先進的取り組みの適用について述べた。HLDについては容量拡大などに寄与する一方で遅延時間が増加する負の面も存在する。近年の原油高や環境問題、定時性の重要性の高まりにも当然ながら配慮しなくてはならない。容量拡大には誘導路やターミナルのデザイン、エアラインの運航(ダイヤ設定等)、地域との合意形成なども重要な課題である⁷⁾。また現在、RNAVやATM(Air Traffic Management)などの次世代管制システムが実用化されつつあり、従来型の管制システムから大きく変容しつつある。それら次世代型システムの潜在能力を十分に発揮するための方策も併せて検討が必要である。

参考文献

- 1) 屋井鉄雄, 平田輝満: 空港管制とエアラインの行動からみた空港容量拡大方法に関する研究, 第80回運輸政策コロキウム, 2006.
- 2) 蒲生猛: 羽田空港の現状と未来, 全地航研修会 講演資料, 2007.
- 3) 国土交通省: 平成19年度航空局関係予算概要 III-3: 航空サービス高度化推進事業, 2007.
- 4) EUROCONTROL: Report on Punctuality Drivers at Major European Airports, 2005.
- 5) Paul Johnson: Application of Wake Turbulence Separation at London Heathrow, WakeNet 2 Workshop 2005.
- 6) Stefan Mauel: Frankfurt Airport Capacity Enhancement Program- The Role of Wake Vortex Reducing Measures, 2nd WakeNet 2 - Europe Workshop, 2004.
- 7) 屋井鉄雄: 東アジアにおける競争優位と日本の空港政策; ていくおふ, No.114, pp.2-9, 2006.