

空域からみた東京湾内新規滑走路整備の可能性に関する検討*

Feasibility Study on New Runway in Tokyo Bay Using Instrument Flight Procedures Criteria *

清水吾妻介**・平田輝満***・屋井鉄雄****

By Azumanosuke SHIMIZU**・Terumitsu HIRATA***・Tetsuo YAI****

1. 研究の背景と目的

我が国の首都圏空港について、2010年の羽田再拡張後、将来的に空港容量が再度不足することが危惧される。従って、羽田再拡張後の首都圏空港容量拡大方策についての検討が重要である。

空港容量を拡大させる選択肢のひとつである滑走路増設について、増設する滑走路が既存滑走路と競合することなく独立に運用できることが理想的である。しかし羽田の再拡張後の井桁の滑走路配置に対して、その近傍に新規滑走路を配置しても、既存の滑走路との運用上の従属性が必ず残ると考えられる。仮に従属性を緩和できるとしても、東京上空低高度の飛行制限を緩和し、騒音負担を受容することが必要となる可能性が高い。逆に、羽田再拡張後の飛行経路および環境制約を前提に、滑走路運用上および空域における飛行経路上、独立に運用可能な滑走路が配置できれば、追加の滑走路1本による最大限の容量拡大が、羽田空港周辺への騒音影響を最小限に抑えながら可能となる。この時の拡大容量が将来的な首都圏空港容量拡大の可能性に対する見極めにとっても大きな意味を持つと考えられる。

以上を背景として、都心からのアクセス性および騒音影響を考慮し、東京湾内（なるべく都心近郊）を対象とし、さらに陸域通過最低高度については現状の羽田と同程度とすることを前提とした上で、再拡張後の羽田と独立に運用することができる新滑走路整備の可能性に関する知見を得ることを目的として、滑走路とその近傍から広域のターミナル空域内飛行経路までを対象に、空域における飛行方式設定の観点から技術的な検討を行った。

2. 欧米における空域運用の現状と近年の検討

図-1はNY首都圏エリアにおける飛行経路設定の一例で、北風時のニューアーク(EWR)出発とテタポロ(TEB)着陸の独立運用経路設定である。EWR出発は離陸後2500ftまで上昇し西方直近のTEB最終進入経路の直上を1000ftの最低垂直間隔でクリアしている。このような箇所は他にも多数存在し、空域を3次元に高度に活用し高密度な経路設定を行っている。また、本エリアでは航空機遅延や環境問題等の抜本的対策として、周辺空域を含めた非常に広域の空域再編を10年にわたる計画の末、現在実施中であり、段階的に空域管制運用の効率化を行っている。またロンドンヒースロー空港の第3滑走路整備計画においても飛行経路設定の観点から滑走路運用方法や処理容量の検討を実施している。このように、空域混雑や環境問題等も背景に、出発到着航空路の設定や空域設計に関する問題が相対的に重要性を増しつつ、その検討が世界の多くの空港・空域において進展している。

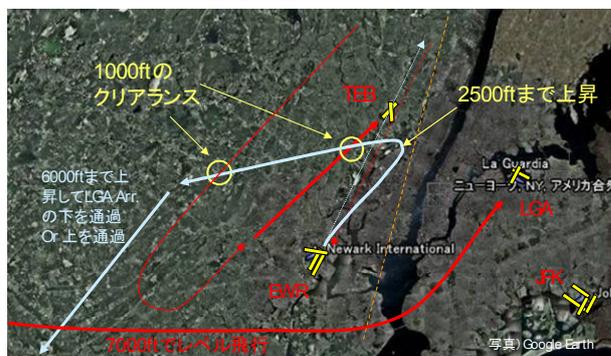


図-1 NY首都圏エリアにおける飛行経路設定の例

3. 飛行方式設定基準の概要

我が国において定期旅客輸送の航空機は計器飛行方式で運航されており、離陸から着陸までの全ての飛行経路には、地上障害物や空中の他機との間隔を確保するための保護区域が設けられている。これらの飛行経路と保護区域の設定の仕方は「飛行方式設定基準」¹⁾として、国土交通省航空局により定められている。同基準は通常運航を想定しており、エンジントラブルなどの緊急事態に対応した経路や高度については、別途運航者が設定す

*キーワード：空港計画，航空交通管理，航空管制

**学生員，工修，東京工業大学大学院総合理工学研究科
(横浜市緑区長津田町4259-G3-14, TEL045-924-5675)

***正員，博(工)，運輸政策研究機構運輸政策研究所
(東京都港区虎ノ門3丁目18番19号, TEL03-5470-8415)

****正員，工博，東京工業大学大学院総合理工学研究科
(横浜市緑区長津田町4259-G3-14, TEL045-924-5615)

ることとなっている。飛行経路と保護区域の寸法形状は、出発、エンルート、到着・進入、空中待機といった飛行フェーズ別に異なるが、使用する航法システムによっても異なり、さらに航空機の速度によっても異なる。航法システムには、従来から用いられているVOR、DME、ILS等の他に、測位衛星を利用したシステムを用いることができ、航空機の航法性能としてRNP値（例：値が0.3の場合、航空機実位置が95%の確率で片幅0.3NMの範囲内に収まる）を指定することで、従来方式に比べて保護区域をかなり小さくすることができる。航空機は速度性能に応じて7種類に区分されており、速度が大きいほど保護区域も大きくなる。

4. 空域検討の方法と仮定

(1) 空域検討の方法

a) 検討の方法

次に示すように、概略的検討から始めて、最後の具体例の検討まで、大きく3段階の検討を進めた。

- ① 騒音影響からみた新規滑走路の方位と位置の概略検討：初期段階の概略的な検討として、東京湾の形状、騒音影響および羽田空港の位置から、新滑走路の方位と位置に意味付けをし、2種類の検討ケースを設定した。
- ② 初期出発と最終進入区域からみた滑走路配置可能領域の抽出：滑走路直近の出発区域と進入区域のみを考慮して、羽田との独立運用が可能な滑走路配置可能領域を抽出した。
- ③ 広域飛行経路からみた滑走路配置と飛行方式設定の検討：②で得られた抽出領域内で、滑走路から離れた広域を考慮しても経路分離が可能である配置成立例と飛行方式設定の詳細について検討を行った。

b) 独立運用要件

二つの飛行経路が競合することなく、互いに独立に運用できるための要件として、各々の飛行経路の飛行方式設定上の区域が平面的に重複していないこと、重複している場合には重複部分において高度差1000ft以上の高度分離がなされていることが必要である（図-2）。管制方式基準²⁾では航空機の横間隔（水平分離）としては保護区域の一次区域が重ならないことを条件としているが、近い将来導入が進むと思われるRNPを適用した高精度な運航を行う場合には、二次区域までを考慮することが必要となることも考えられる。したがって、今回の検討ではRNPについては一次区域だけでなく二次区までを検討対象とした。区域の高度について、ILS進入のグライドスロープのように航空機に対して垂直（高度）方向のガイダンスが与えられる場合には、その地点のノミナル高

度をもってその地点におけるノミナル経路に垂直な区域全幅の高度とし、垂直ガイダンスがない部分では、飛行方式の一部として指定した高度を当該部分の区域全幅の高度とした。このノミナル高度を用いた高度分離の考え方は、現在の基準上に明確に記されたものではなく、飛行方式設定基準の整備が今後続けられていく過程で異なった考え方が採られる可能性も有ることから、検討初期段階での使用にとどめ、設定例の最終的な成立可能性の検討に当たっては、より厳格な高度指定による分離を想定した。このように空港の近傍において高度指定を行うことで経路を分離し、互いの滑走路の独立運用を可能にしている実例としては、那覇空港と米軍嘉手納基地の進入出発経路の立体交差がある。

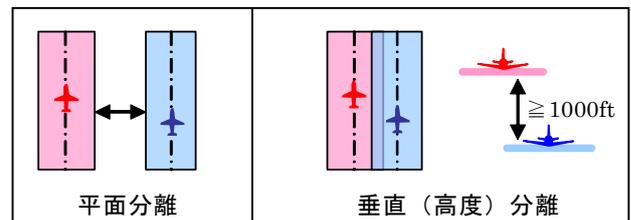


図-2 経路分離の考え方

(2) 検討における仮定

a) 新滑走路の規模

新設滑走路の規模は最大で大型ジェット機の発着を想定して滑走路長3000mとし、就航率を羽田と同程度にすることを想定して両側ILS整備とした。

b) 滑走路方位と位置

滑走路方位をあらかじめ決めておくことはせず、飛行経路設定上の条件から結果として得るものとし、ウインドカバレッジは考慮しない。滑走路位置については、都心からのアクセス性および騒音影響を考慮し、東京湾内に配置することとした。

c) 航法システム

世界的にはRNPを適用した飛行方式の実運用が一部の空港で始まっており、我が国においても、現在進行中のRNAV整備に続く次の世代の将来航法として導入が進むことが期待される。本検討では、RNAV1およびRNP1の適用を基本とし、必要に応じてRNP0.3を使用するものとした。

d) 進入出発方式

羽田の進入出発方式は、再拡張後の運用形態として公表されている方式を基本とした。羽田と新滑走路に仮定した進入出発方式の種別を、表-1に示す。現在の羽田に設定されている出発方式設定勾配（上昇率）の最大値は5.0%であるが、基準上は7.0%まで引き上げることが可能であるので、本検討においては、5.0%~7.0%の上昇勾配を用いることとした。また、基準では、RNPを用いる場合、出発方式については通常RNP1を用いるが、状況に応じてRNP0.5またはRNP0.3に準拠することが可能であ

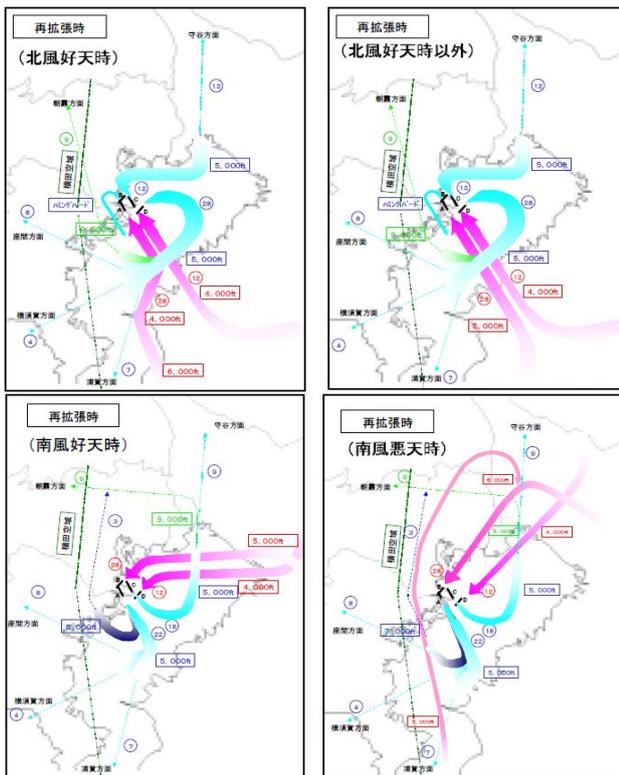
るとされており、非精密進入については初期・中間・最終進入においてRNP0.3を適用することとされていることから、本検討でRNPを用いる際には最高でRNP0.3を想定した。なお、飛行方式を検討するに当たって航空機区分はD（大型ジェット機）とした。航空機区分Dで可能であるように方式設定を行えば、より速度の遅い（より保護区域が小さい）航空機区分A～Cでは充分可能である。

表－1 仮定した進入出発方式

風向	北風時		南風時	
	好天時	悪天時	好天時	悪天時
羽田	到着	A.C滑走路へILS進入	B.D滑走路へLDA進入	B.D滑走路へILS進入
	出発	C.D滑走路から計器出発	A.C滑走路から計器出発	
新滑走路	到着	ILS進入		ILS進入
	出発	計器出発		計器出発

d) 経路の配置と高度

検討に用いる羽田の進入出発経路は、図－3に示す再拡張後の飛行経路配置と高度を原型とし、それに競合回避上の必要に応じて変更を加えることとした。新滑走路の進入出発経路は、可能な限り海域に配置し、陸域に経路の一部を置く場合は、再拡張後の羽田便の陸域通過高度と同程度以上の飛行高度を確保するとした。



図－3 再拡張後の羽田飛行経路 出典3)

e) 地上障害物

本検討は、空港計画でいえばごく初期の段階における概略的検討であり、経路の殆どは海上であることから、詳細な障害物の検討は行わないこととした。ただし、顕著な既存構造物（海ほたる、ベイブリッジ等）は必要

に応じて考慮した。

f) 既存空域・飛行経路

東京湾とその周辺には、羽田の他にも空港（飛行場）やヘリポートが存在するが、今回の検討では、羽田の再拡張後の進入出発経路と横田空域のみを競合回避の検討対象とした。

表－2 検討条件のまとめ

滑走路位置	東京湾内
滑走路長	3000m以下
滑走路方位	配置可能な方向（ウィンドカバレッジは考慮せず）
滑走路標高	現羽田と同程度
運用形態	他の滑走路とは独立にIFR運用。 風向きによる運用方向は羽田と同一（同期）。
飛行経路配置と陸域通過高度	他空港の経路と分離し、可能な限り陸域回避。 陸域の最低通過高度は羽田再拡張後と同程度とする。
飛行経路間の水平分離の考え方	下記垂直間隔が設定できない場合には互いの一次区域*が重複しないこと。陸域通過最低高度については現状の羽田と同程度。
飛行経路間の垂直分離の考え方	互いの一次区域*が重複する区間においては、双方が高度指定（制限）もしくは垂直ガイダンスに従って飛行することとし、高度差1000ftを設定する。
方式設定上昇勾配	7.0%以下
航法システム精度	最高で、ターミナル：RNP0.3、進入：ILS
地上障害物	制限表面に関して、顕著な物件のみ考慮

(*：RNAV,RNPIによる場合には二次区域まで考慮する)

5. 空域検討の結果（複数の配置案とそれらの評価）

(1) 騒音影響からみた新規滑走路の方位と位置の概略検討

滑走路の両側にILS進入方式を設けることを想定するので、滑走路の手前の滑走路延長線上にILS進入（中間進入および最終進入）経路として最低でも5.5～6NMの直線区間が必要である。したがって、図－4に示すように、東京湾内においては湾の長手方向である北東-南西（図中の①）、および、東京湾入り口付近においてはその長手方向である南-北（図中の②）に滑走路方位をとる方が経路配置の上で有利である。それ以外の、例えば湾内の北西-南東（図中の③）では湾の中央に滑走路を置いてもILS進入の陸域通過高度が2000ft程度にしかならず、角度を付けてILSのLLZコースに会わせることを想定してもさほど改善は望めない。

羽田の進入出発経路との競合を回避する観点から見ると、図中の①は、北風時に木更津から羽田A・C滑走路へ向かうILS進入機、南風時にA・C滑走路からの離陸機の下側の空間を活用するケースである。この場合、A・C滑走路の進入出発区域との平面的な重複をできるだけ少なくしつつ湾内長手方向を利用するため、必然的に新滑走路は羽田D滑走路とほぼ平行な配置となる。一方、図中の②は、羽田の各滑走路における進入出発経路の上を飛び越える形で羽田空港上空付近の空間を活用するケースである。初期段階の検討結果としての分類であるこれら二つのケースを、次の滑走路配置可能領域抽出の対象とした。

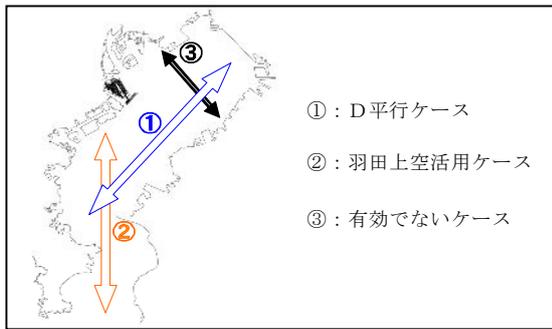


図-4 東京湾上空を有効に活用する滑走路位置と方位

(2) 初期出発と最終進入区域からみた滑走路配置可能領域の抽出

a) D平行ケースの配置可能領域

D平行ケースにおいては、必然的に羽田A・C滑走路へのILS進入経路の直下で、かつ、羽田からできるだけ離れた（すなわち羽田ILS進入経路の高度ができるだけ高い）位置に新滑走路が有る状態が、最も上下の経路間のクリアランスが大きい状態となる。この状態を中心にして、保護区域の重複部分で先述の独立運用要件としての垂直分離ができる限界の滑走路位置を抽出した。図-5に北風運用時の羽田ILS進入と新滑走路ILS進入および進入復行についての検討作業の例を示す。風向きと進入出発方式の組合せのすべてについて限界位置を求め、それらを重ね合わせることで得られた新滑走路配置可能領域を図-6に示す。羽田に近いところにある領域の欠けた部分は、海ほたるの施設を考慮すると制限表面との関係から滑走路を配置できない範囲である。

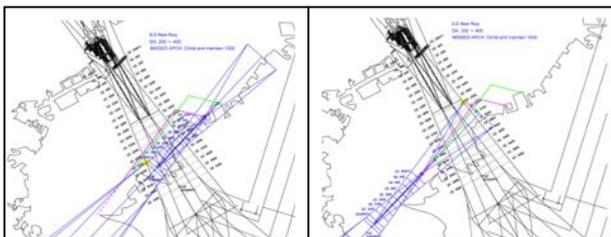


図-5 領域境界抽出作業例（北風時のILS対ILS）

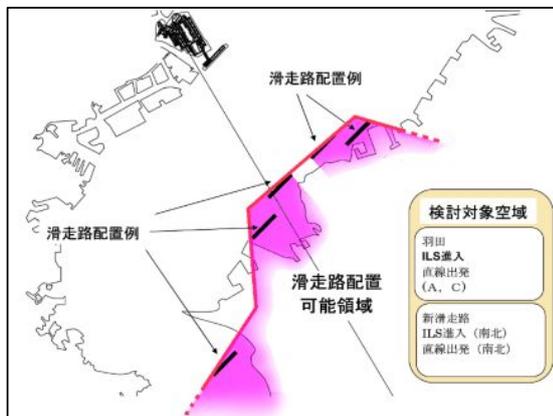


図-6 D平行ケース新滑走路配置可能領域

b) 羽田上空活用ケースの配置可能領域

羽田上空活用ケースについて、直線的に羽田上空を通過させるため、滑走路の配置位置によって滑走路方位が変化するので、やや煩雑になるが、D平行ケースと同様の検討を行い、新滑走路配置可能領域を求めた。結果として得られた領域を図-7に示す。南風時の羽田のLDAおよびILS進入復行経路との分離が厳しく、羽田の進

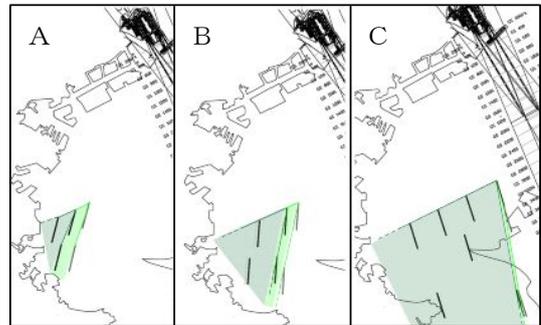


図-7 羽田上空活用ケース新滑走路配置可能領域

入復行機を、羽田西側の市街地を高度2000ftで飛行させることを仮定している。また、図中のAの領域全てとBの領域の大部分は横須賀付近の陸域に十分な高度が確保できない。図中Cの滑走路方位で、領域北限近くに置いた新滑走路へ北から直線でILS進入を行う場合の陸域通過最低高度は2000～3000ft程度となる。

(3) 広域飛行経路からみた滑走路配置と飛行方式設定の検討

a) D平行ケース成立例

D平行ケースについて、上記で抽出した領域に置いた新滑走路の経路が、羽田経路との分離や陸域通過高度などの前提条件を満たしながら設定可能かどうかの検討を行った。D平行ケースの新滑走路を北東向きに離陸した出発機は、羽田のILS進入区域の影響がなくなるまで直進した後、左回りしながら湾内を上昇することとなる。この部分には羽田のC・D滑走路からの出発区域が存在するため、RNAV1とRNP1を用いた経路では、これら経路を共存させることは困難であり、RNP0.3の適用によってようやく図-8に示すような形で配置することができた。図-8の新滑走路位置が北東へずれるに従い、新滑走路出発区域の下に位置する羽田D滑走路出発経路との分離が厳しくなり、D出発機が離陸後に湾内経路の約三分の二にあたる部分で維持しなくてはならない高度がより低くなる。配置可能領域の実質的な最西端に新滑走路を配置した図-8の場合で、D出発機が離陸後に維持する高度は2800ftである。図-9には南風好天時の成立可能性を示す。この場合、羽田LDA進入が湾の北東部をふさいでいるため、新滑走路へのILS進入は湾東端から長い直線状に配置することはできないが、羽田LDA進入の上を

東京都上空から南へ向かって飛び越した後に、ILSのLLZコースに会合する配置とすることで、新滑走路のILS進入は可能となる。羽田LDA進入と新滑走路初期進入の降下勾配を標準的な3度の降下角に近い値に保ち、かつ、垂直分離することができた。南風悪天時の新滑走路への進入は図-9と同様の経路で可能な他、湾東からの直線的なILS進入も成立する。広域の経路については、簡易的な検討結果ではあるが、図-10に示すように配置可能

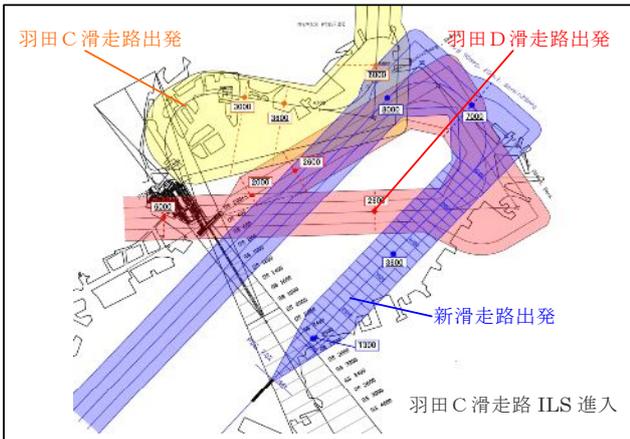


図-8 D平行ケース成立例（北風時）

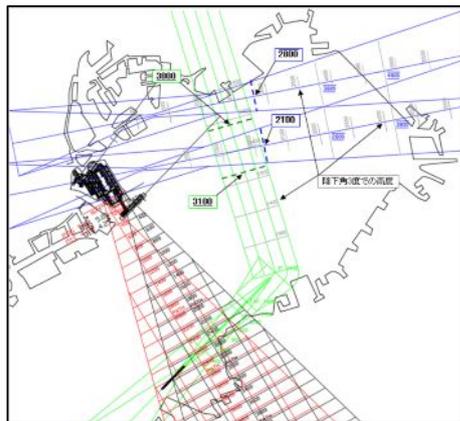


図-9 D平行ケース成立例（南風好天時）

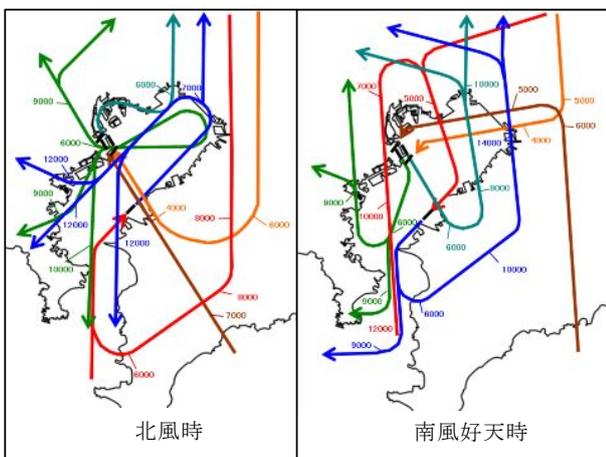


図-10 D平行ケース成立例の広域経路

であった（図は省略するが南風悪天時でも配置可能）。広域での経路配置は滑走路近傍に比べて自由度が高く、図-10に示す以外の経路配置とすることもできる。

b) 羽田上空活用ケース成立例

羽田上空活用ケースについても同様に、前節で抽出した領域に新滑走路を置いた場合に、各種条件を満たして独立運用が可能か否かを検討した。前節の図-7に示したCの領域の図から明らかなように、滑走路近傍の直線進入出発経路確保の観点からは海域の中央に滑走路を置くことが理想的であるが、その場合、浦賀水道を閉塞し首都圏への海上交通を遮断してしまうことになり極めて実現性に乏しいことから、海岸に近い位置で新滑走路配置例を検討することとした。図-7に示したCの領域において、進入出発経路の陸域影響がより少ない西側海岸線に配置した例を図-11に示し、図-12に羽田上空活用ケースの広域（ターミナル空域）での飛行経路配置例を示す。広域での経路配置は滑走路近傍に比べて自由度が大きく、図示した以外の経路配置も考えられる。

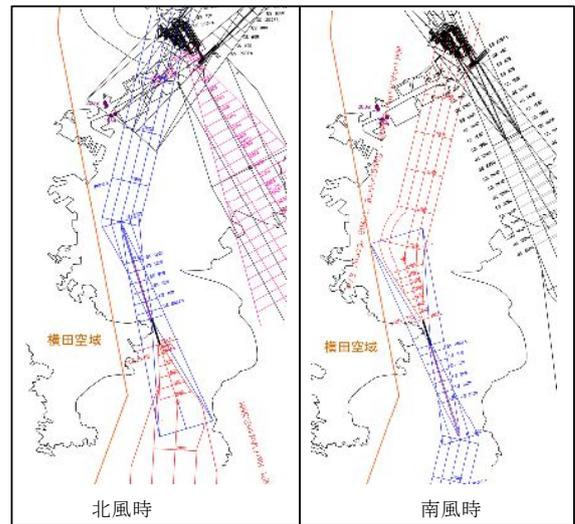


図-11 羽田上空活用ケース成立例

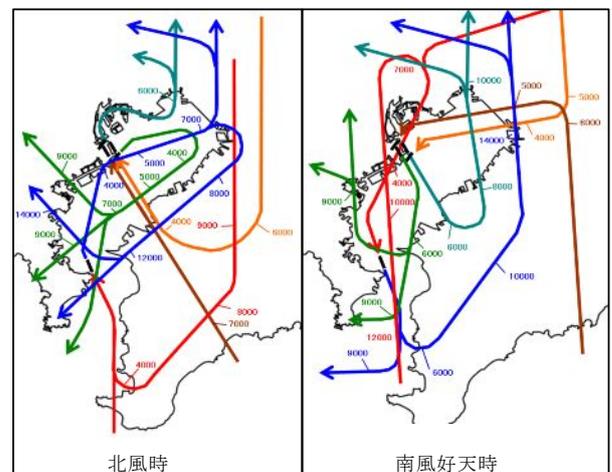


図-12 羽田上空活用ケース成立例の広域経路

(4) 二つのケースの比較評価

D平行配置ケース（Dケースと略記）と羽田上空活用ケース（Hケースと略記）の比較を以下に述べ、表－3にそれらをまとめて示す。

a) 陸域の経路配置と高度

到着機について、北風時には両ケースとも浦賀水道上空を活用するので、関東以南（西）からの到着機は陸域を完全に避けることが可能であり、関東以北からの到着機は飛行距離がやや長くなることを許容すれば、陸域通過高度は半ば任意に選択可能である。南風時には、Dケースで東京湾北岸を、Hケースで羽田付近の海岸を、ともに約4500ftで通過する。南風の悪天時にはDケースで東京湾東端付近から湾内へのILS進入とすることも可能であり、その場合の陸域最低高度は5000ft程度となる。両ケースとも南風時に都心上空を互いに同様の高度と経路で降下する（海岸線通過位置は異なる）。出発機について、北風時にはDケースが東京湾東端で約7000ft、Hケースが羽田付近の海岸で約6000となる。南風時には両ケースとも浦賀水道上空を上昇することから、飛行距離がやや長くなることを許容すれば、陸域通過高度は半ば任意に選択可能である。

b) 必要な航法精度

飛行方式設定上必要な航法精度（性能）について、Dケースでは、南風時到着と北風出発の経路にRNP0.3が必須である。北風時到着の進入部分についてはRNP1での設定が可能であるが、その後の進入復行にはRNP0.3が必要である。南風時出発はRNP1での設定が可能である。Hケースでは、やや制約が緩く、RNP0.3が必須であるのは南風時到着のみで、羽田の出発区域と横田空域との共存のために必要である。北風時の出発と到着（進入復行考慮）はRNP0.3での設定が望ましいもののRNP1での設定可能性があり、南風時出発はRNP1で充分である。広域経路における航法精度は今回具体的に検討していないが、両ケースに大きな違いは無いと考えられる。

c) 飛行方式に必要な高度制限

進入出発方式に付加した高度制限は、当然の事ながら、今回想定した上昇勾配最大値7%と標準的な降下角3度で達成可能な位置と高度に設定してある。

Dケースでは、羽田の北風時ILS進入経路と南風時出発経路の下に新滑走路直近の進入出発経路が位置することから、進入（復行含む）と出発にあたって高度制限を受ける。北風時には羽田ILS進入区域の下を抜けるまで高度1300ft以下で飛行することが必要であり、南風時には羽田離陸上昇区域の下を抜けるまで1100ft以下（羽田出発の上昇勾配に5.0%を設定した場合、7.0%を設定する場合は2000ft以下）で飛行することが必要である。以上が上限高度の主な制限であり、この他に下限高度の制限が数箇所にある。Hケースでは、北側経路が、羽田の

出発経路の下に位置するので上限高度制限の必要があるが、Dケースに比べると緩い制約となっている。羽田上空通過にあたって、下限高度制限が数箇所にある。

d) 既存空域・飛行経路に与える影響

新滑走路が既存空域・飛行経路に与える主な影響について、Dケースでは、北風時の羽田D滑走路からの出発機が東京湾内を高度2800ft以下で飛行する必要があり、南風好天時の羽田A滑走路へのVisual進入経路は使用できない。Hケースでは、北風時の羽田A滑走路のハミングバード経路（羽田西側を上昇）は使用できない。南風時の羽田A滑走路へのVisual進入経路は使用できない。ハミングバード経路への影響を除けば、これらの影響は羽田の処理能力に影響を与えるものではない。

表－3 DケースとHケースの比較

		D平行配置ケース		羽田上空活用ケース	
		出発	到着	出発	到着
陸域経路最低高度	北風	7000ft	任意	6000ft	任意
	南風	任意	4500ft	任意	4500ft
必要な航法精度	北風	RNP0.3必須	RNP1 (復行RNP0.3)	RNP1 (or RNP0.3)	RNP1 (or RNP0.3)
	南風	RNP1	RNP0.3必須	RNP1	RNP0.3必須
特に必要な高度制限	北風	羽田ILSとの重複部分で1300ft以下		羽田付近で4000ft以上	
	南風	羽田出発との重複部分で2000ft以下		羽田付近で4000ft以上	
既存空域飛行経路への主な影響	北風	羽田D滑走路出発の湾内上昇制限、羽田ハミングバード不可	羽田A滑走路Visual不可	羽田ハミングバード不可	羽田A滑走路Visual不可
	南風	羽田C滑走路の左旋回出発を直線出発に変更	高度指定の他、変更なし	羽田A滑走路の右旋回出発をやや南下	高度指定の他、変更なし

6. おわりに

今回の検討により、羽田からの離陸初期段階で比較的低高度での水平飛行制限をつけるなどの条件が必要ではあるものの、海ほたるから木更津沖周辺でD滑走路と平行な新滑走路か、または、都心からやや距離があるものの、観音崎付近でA,C滑走路とほぼ平行な新滑走路を配置することが可能であることが分かった。また、陸域通過最低高度は、到着経路では東京・千葉上空で4,000～5,000ft程度（羽田再拡張後の北風時到着と同程度）、出発経路では東京・千葉上空で6,000ft（羽田再拡張後の出発と同じかそれ以上）での設定が可能であった。今回は空域条件、特に飛行方式設定を中心に検討を行っているため、制限表面（進入表面や水平表面等）の検証、特に東京・千葉・神奈川といった東京湾沿岸域での騒音影響と騒音軽減方策（小型機の運用など）、港湾航路や海洋環境への影響、木更津飛行場などの近隣飛行場への影響、また新規滑走路へのアクセス方法などについては具体的に検討していない。整備可能性の検討を進める際には、これらの事項の具体的な考察が必要となる。

参考文献

- 1) 国土交通省航空局：管制方式基準、鳳文書林、2008.
- 2) 国土交通省航空局：飛行方式設定基準、鳳文書林、2008.
- 3) 国土交通省航空局：羽田再拡張後の飛行ルート（修正案）について、国土交通省HP、2004.