

研究報告

海外事例にみる騒音軽減のための到着経路と可能性*

深野 賢治(航空環境研究センター 調査役)

1. はじめに

技術の進歩により航空機の低騒音化が進み単発騒音は小さくなったが近年の航空需要の高まりによる交通量の増大から、空港周辺住民からの苦情は増大している。また、GPS等を利用したRNAV航法の普及により、従来の地上無線施設を利用した航空路と比較して柔軟な飛行経路が設定可能となり、騒音の軽減、温室効果ガス排出量の削減、管制処理能力の向上に貢献している。一方で航法精度が向上し飛行経路のばらつきが少なく空港周辺のみならず遠方でも苦情が発生している。空港ではいろいろな騒音軽減方式に加え住宅密集地上空を避けて飛行するなどの対策が取られているが混雑時の適正な管制間隔維持等の問題もあり解決すべき課題も多く残されている状況である。少しでも騒音軽減に役立つ運航方式、特に柔軟な飛行経路について、内外の実状を比較し今後の方向性について考察したい。

2. 航空機騒音対策の分類

航空機騒音対策を大別すると発生源対策、空港構造・施設の改良、受音側対策(空港周辺対策)に

分類される。発生源対策には航空機メーカーによる航空機そのものの機材改良だけでなく、発着枠を設定するなどの運航規制、運航方法の改善がある。航空機の運航方法を改善する方策である騒音軽減方式や騒音に配慮した飛行経路設定を筆者の独断により図1に示す通り、高度を高くとり音源を遠ざける方法、時間帯を分けて飛行経路を振り分ける方法、住宅密集地を避ける飛行経路を設定する方法の3つに分類してみた。

3. 運航方法の改善

3.1 音源を遠ざける

到着機の高度を高くする方式として高降下角進入方式と継続降下運航方式等がある。

(1) 高降下角進入方式

高降下角進入方式は、最終進入経路の降下角を最適角度である3.0度よりも高い降下角で進入する方式であり、国際民間機関のICAO Doc 8186 PANS-OPS¹⁾ではILS進入の場合はCAT Iについてのみ3.5度まで標準方式として設定することが可能とされている。低視程でも着陸が可能なCAT II、IIIでは最大3.0度とされている。本来は地上の障害物を避けるために設定される方式であり、欧州では同目的で高降下角進入方式を実施している空港がある。3.5度を超える降下角を用いる場合もあるが、その場合は非標準方式として位置づけられる。進入角度を高くすることで、地上から音源(航空機)までの距離が遠くなることにより騒音軽減効果がある。騒音軽減目的で実施されている具体例としては、イギリスのロンドンシティ空港で最終進入経路がロンドン市街上空を通過することもあり、ILS進入を含めたすべての進入方式の降下角が5.5度で設定されている。視

運航方法の改善

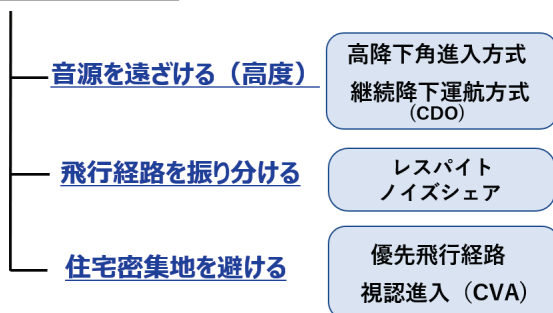


図1 運航方法の改善の分類

* Arrival route and possibilities for noise abatement with reference to overseas cases Arrival routes and possibilities for noise reduction seen in overseas cases

認進入も最終進入の進入角度を5.5度とするプロファイルがVISUAL APPROACH PROFILEという名称で公示されている²⁾。ドイツのフランクフルト空港において3.2度の降下角によるILS進入やGLS (GBAS Landing System) 進入が設定されている³⁾。日本では、羽田空港で南風運用の好天時に騒音軽減を目的として3.45度のRNAV進入方式が滑走路16L/Rへの着陸で実施されている。(図2)

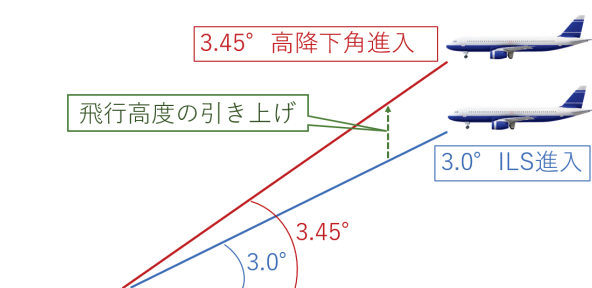


図2 羽田空港の例

(2) 継続降下運航方式

海外の空港では多く検討・導入されている継続降下運航方式(CDO:Continuous Descent Operation)について、国際民間機関のICAO Doc 9931では「最適な継続降下運航は、巡航高度からの降下開始から水平飛行区間を少なくした降下を行うことにより、パイロットと管制官の降下予測を容易にし、騒音、燃料消費、排出ガス及びパイロットと管制官の通信を軽減する。」と定義されている⁴⁾。図3の赤い線がCDOのイメージである。エンジンの回転数をアイドリング(最小推力)に近い状態でグライダーのように静かに降りてくることにより消費燃料を削減できる。通常は

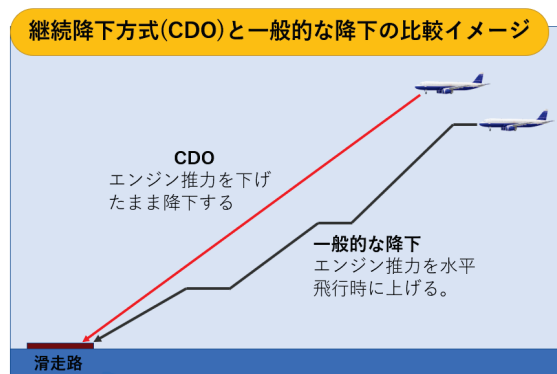


図3 継続降下と一般的な降下

黒い線のように空域の制限を受ける。また、他の航空機と安全な間隔を維持するために、階段状に降下することになる。国内では燃料消費削減を主な目的として関西空港、鹿児島空港、那覇空港で交通量の少ない時間帯に実施されている。

巡航高度から着陸までの一連の降下において騒音として問題になるのは少なくとも10000ft以下の飛行ではないかと思われる。特に空港に着陸する直前の最終進入といわれる到着経路付近の継続降下が騒音対策として効果がある。着陸直前の低い高度で水平飛行をすると一定程度エンジン推力を上げなければならないからである。空港周辺からの継続降下方式はCDOの代わりにCDA (Continuous Descent Approach) と呼ばれている。FAA (Federal Aviation Administration : アメリカ連邦航空局)では安全性の面からも非精密進入で積極的な継続降下(CDFA : Continuous Descent Final Approach)を推奨している⁵⁾。CDAはパイロットのワークロード軽減にもつながる。ICAOでは以下の2つの経路設定の方式を紹介している。

① クローズド・パス方式

標準到着経路を指定して飛行する。継続降下が可能なように各地点の通過高度を指定する。

アメリカでは計器進入方式でこの方式による経路設定が多い。図4はロサンゼルス空港のILS or LOC RWY25という名称のILS進入図である。

少し見づらくて恐縮だが、高度10,000ft (約

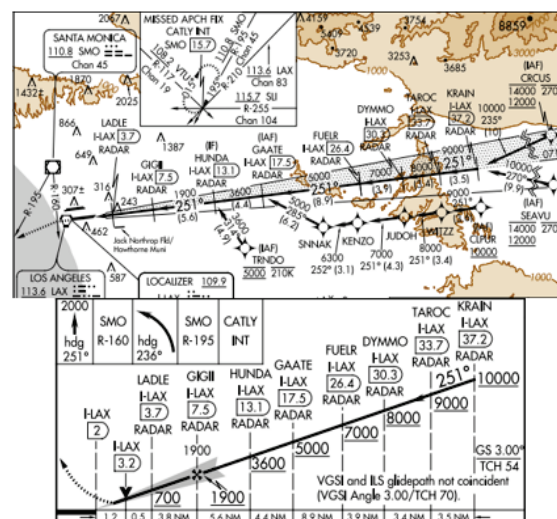


図4 ロサンゼルス空港のILS or LOC RWY25L

3,000m)から着陸まで滑走路からの距離と通過高度が細かく明示されている。到着機は図の指示通りに飛行することで3度の降下角で進入を続けることができる。図にはCDO方式との記載はないが、結果として継続した降下をすることとなる。

② オープンCDO方式

進入経路の一部をレーダー誘導により飛行する。管制官によるレーダー誘導が行われる場合、管制官からパイロットに着陸までの予想飛行距離が通報される場合がある。イギリスのロンドン・ヒースロー空港では航空路誌(AIP)にその旨の記載がある。管制官からパイロットへの降下指示に着陸までの予想飛行距離が通報される。降下指示を受けたパイロットは、継続降下達成に最も適している降下率で降下し、水平飛行することなく、距離に対し適切な高度でグライドパスに会合しなければならない²⁾。

国内の進入方式で騒音対策として導入されている例として羽田空港のLDA W RWY 22という名称の進入方式がある。羽田空港D滑走路(RWY 23)供用開始時(2006年)に千葉市上空を通過する経路の運用が始まった。当時はB滑走路(RWY 22)へは、5000ft、RWY 23へは4000ftをそれぞれ維持しながら飛行経路が交差し擦過する運用であった。これに対し騒音苦情が相次いだことから一部経路の見直しや通過高度の引き上げを実施した。その結果、現在の飛行経路は、RWY 22

への着陸はCDAが適応され2015年4月から実施されている。図5はCDAを行うLDA W RWY 22とCDO適応以前からあるLDA Z RWY 22という名称の進入方式の2つの進入方式図の断面図を比較している。上がCDAを行う経路、下が水平飛行を必須とする経路。同じ経路上のBEASTというフィックスで高度差が500ftある。BEAST以前では2000ft近くの高度差があり距離減衰だけを考えても1~2dBの騒音軽減効果があるが、水平飛行によるエンジン推力の増加を考慮すると更なる騒音軽減効果があると考えられる。

3.2 飛行経路を振り分ける

レスパイト方式やノイズシェア方式とは複数の滑走路を有する空港で滑走路の使用パターンを時間や曜日を決めて交替させることによって、騒音をシェアし騒音影響の少ない時間帯を設ける方式である。

ロンドン・ヒースロー空港ではレスパイト方式として、西風運用(RWY 27L/R)時に滑走路を南北で着陸専用と離陸専用に分けて午後3時に南北の着陸と離陸を入れ替えている。北側の滑走路を6:00~15:00の間着陸専用とした場合、15:00~最終便まで離陸専用として使用する。南側の滑走路はその逆である。南北滑走路の着陸用と離陸用のパターンは隔週で入れ替える⁶⁾(図6)。ところが東風運用時は入れ替えが実施されていない。常に北側滑走路が着陸用、南側滑走路が離陸用である。

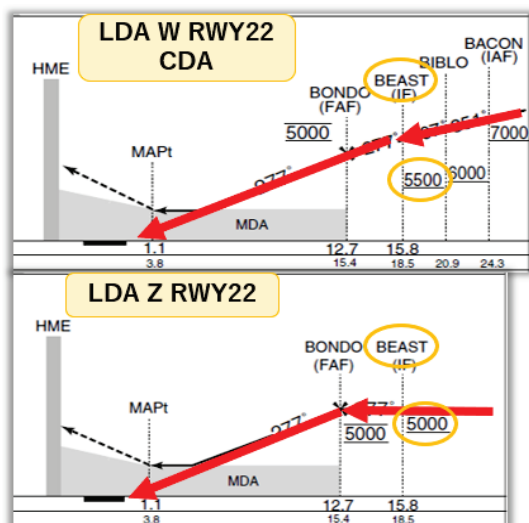


図5 羽田空港のCDAと水平飛行必須経路

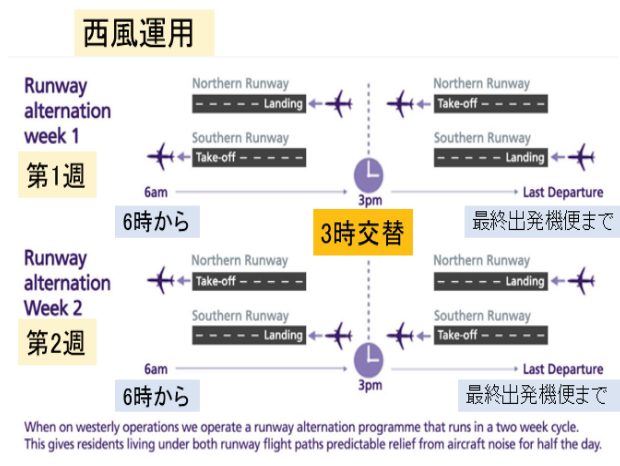


図6 ロンドン・ヒースロー空港レスパイト運用

これは2009年以前の空港東側・北地区にある克蘭フォード地区との「日中は北側滑走路から東向きの離陸を禁止する」という協定を受けてのことである。現在はその協定は終了しているが誘導路の整備など空港インフラの問題があり未だに実施されていない。

シドニー空港では、南北平行滑走路の運用開始(1994年)にあたり、空港北側に居住する住民からの反対運動を受け、滑走路の長期的運用計画が策定(1997年)された。その中でノイズシエアの目標として図7のような10個のフライトモードを設け、東西南北別の滑走路使用割合を定めた⁷⁾。その目的は、できるだけ空港南側の海上エリアを多く利用し空港北側の市街地上空を避けること、そして東西のエリアでも一定の割合で騒音を受け持つことである。環境対策に関する業務はオーストラリア政府機関のサービスプロバイダーであるエアサービス オーストラリア(AA: Air Services Australia)が実施している。AAは月間の使用滑走路と飛行経路と年間使用実績をレポートとして公表している。それによると、実際の運用は計

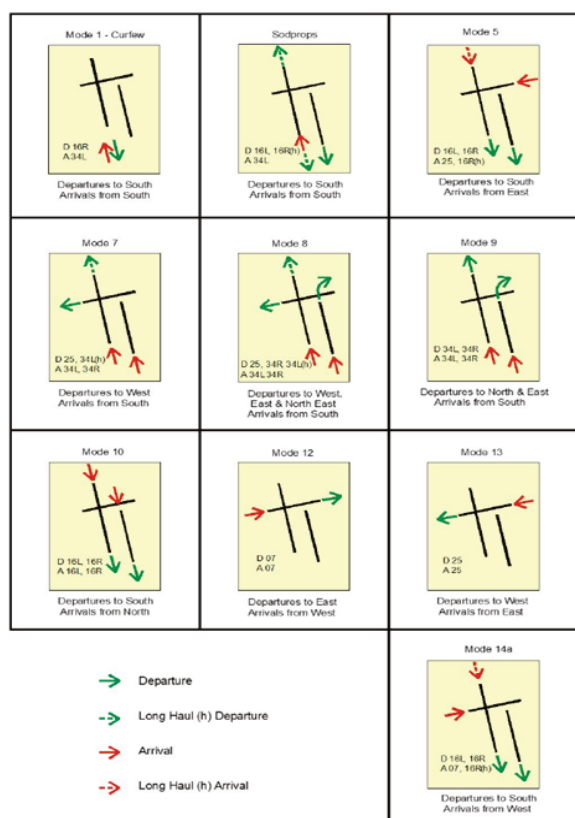


図7 シドニー空港・フライトモード

画通りにノイズシエアが実現できてはいない。東西の滑走路を使用すると処理能力が落ちるため、処理能力の高い南北方向の平行滑走路を使用する時間帯が多くなっている。結果として西側エリアに騒音を負担してもらい北側のエリアの負担を減らす目標は達成されていない。

3.3 住宅密集地を避ける

騒音軽減を目的とした着陸経路の国内例として羽田空港で最終進入経路を東京湾上を飛行するHIGHWAY VISUAL RWAY 34Rという名称のCVA (Charted Visual Approach) とほとんどの経路を東京湾上空を飛行し着陸するILS X RWAY 34Lという名称の進入方式がセットで深夜時間帯を除く北風運用の好天時に実施されている。深夜時間帯は極力東京湾上空を飛行し着陸する経路が設定されている。海外の騒音軽減に有効と思われる柔軟な飛行経路を設定している事例を紹介する。

(1) フランクフルト空港のセグメントRNAV

ドイツのフランクフルト空港では、深夜の運航による空港近郊の居住地域への騒音影響を軽減するために図8のようなセグメント化されたRNAV経路(Segmented RNAV Approach)を実施している⁸⁾。通常経路は滑走路に対して直線的な進入を行っているが、直線進入経路下にある居住地域を迂回する経路を飛行させることによって住民の騒音暴露を低減している。この経路は当初23時以降の遅延便に適用していたが、現在は22時以降の遅延便に適用している。

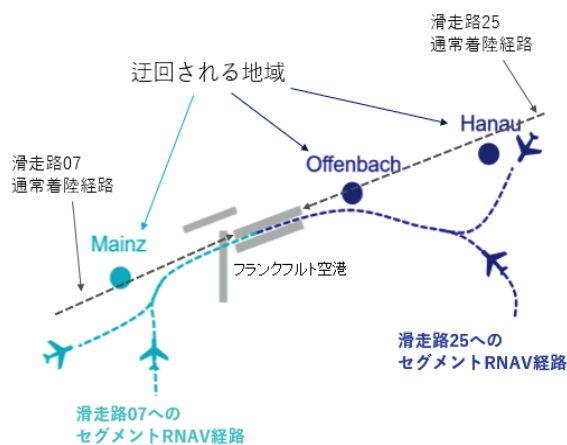


図8 フランクフルト空港セグメントRNAV

(2) ウェイポイントを設定してあるCVA

① ニューヨーク・ラガーディア空港のEXPRESSWAY VISUAL RWY 31 (図9)という進入方式は滑走路31に進入するCVAである。通称ツインタंकと呼ばれる建造物、公園、野球場を視認しながら高速道路上を飛行する経路設定。ツインタंकまでの直線経路の進入はVORを標準としているがバックアップとしてRWY 04 ILS LOCを使用できる。悪天時は使用できない。



図9 EXPRESSWAY VISUAL RWY 31

② 同じくニューヨーク・ラガーディア空港のRIVER VISUAL RWY 13 (図10)という進入方式はハドソン川上空を飛行することが義務付けられている。自由の女神、エンパイヤーステートビル、セントラルパークを視認しながら、ウェイ

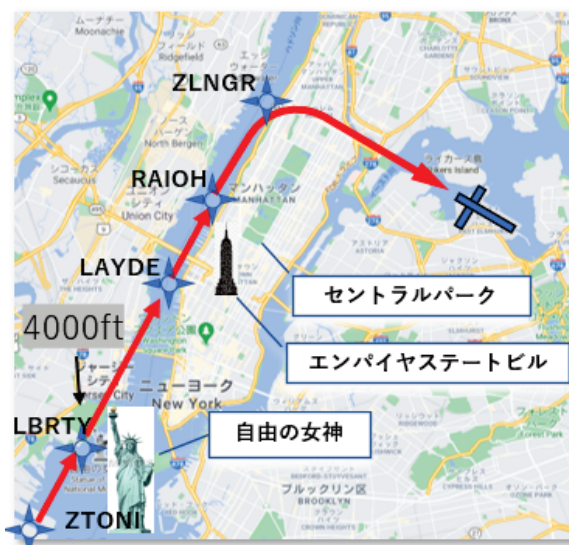


図10 EXPRESSWAY VISUAL RWY 31

ポイントを参照して進入し、滑走路13に着陸する。自由の女神横で4000FTの高度指示がついている。やはり悪天時は使用できない。

(3) RNAV進入とウェイポイントを組み合わせた進入

ジョン・F・ケネディ空港の進入方式RNAV (GPS) Z RWY 13L (図11)は海上からジャマイカ湾海岸線及び高速道路上空を飛行して滑走路13Lに着陸する方式である。極力陸域を避けて飛行することにより騒音影響を抑えている。RNAVにより直線的に進入後パイロットが目視により滑走路を確認しながら旋回し着陸する。目視による旋回経路上(曲線部分)にウェイポイントを設定している。ウェイポイントにより航空機は正確に経路上を飛行することができる。曲線部分には航空灯火もガイダンスとして設置されている。



図11 RNAV(GPS) Z RWY 13L

(4) CVA,RNP AR両方の進入方式がある事例

① サンフランシスコ空港

サンフランシスコ空港では着陸はほとんど海側からでその9割以上が滑走路28L/Rを使用している。QUIET BRIDGE VISUAL RWY 28L/R (図12)という名称のCVAはILS進入経路から北側に11°オフセットしてILS進入経路の直下にある市街地上空を避けている。CVAは運航効率がよく好天時には有効な進入方式であるが、悪天時には使用できない。そのためCVAとほぼ同じ経路を飛行するRNAV (RNP) RWY 28R (図13)という名称の進入方式を設定している。この進入方式はRNP AR(Required Navigation Performance

Authorization Required) という航法精度が高く曲線経路が設定可能な進入方式である。RNP ARは現在対応可能な機種が限られており、乗員の訓練等が必要で、国の特別な許可を必要とする。しかし、着陸までの経路を短縮し燃料を節約することや市街地上空をできるだけ避けた経路を飛行することによる騒音軽減効果が期待できる。

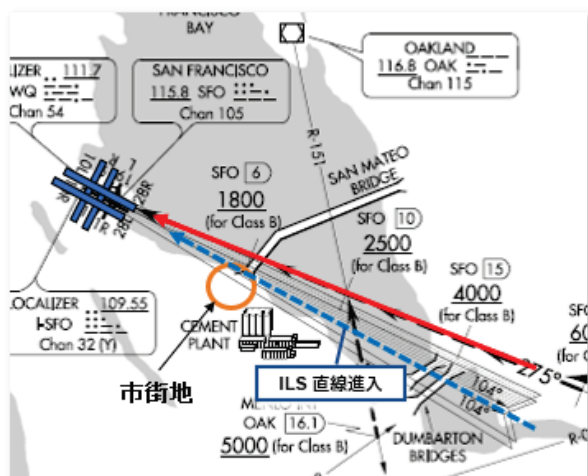


図12 QUIET BRIDGE VISUAL RWY 28L/R



図13 RNAV(RNP) RWY 28R

航空機の着陸方法の一般的な例として天候が良好な場合はパイロットが目視で滑走路を確認して着陸する視認進入(Visual Approach)が行われ、天候が悪く視界不良の時はILSによる着陸が行われる。ILSによる着陸は地上から滑走路の直線的な延長線上に電波を発射し航空機はこの電波を受信し直線的に着陸が行われる。これに対しRNAV航法の一つであるRNP ARは着陸のために通過すべき点(ウェイポイント)を結んだ経路

を飛行して着陸することができる。新たな地上設備も必要ない。空港周辺の山など複雑な地形の間を縫うような旋回をして着陸することもできる。空港周辺の地形、住宅地の配置等を考慮してそれぞれの空港の特性に合ったオーダーメイドな経路設定が可能となる。

② ワシントン・ナショナル空港

ワシントン・ナショナル空港は小型機を中心に運用が行われているが、空港近傍に政府機関などの重要施設があるため飛行禁止区域が設定されており飛行経路の制約が大きい。

そのためポトマック川上空を飛行することで、飛行禁止区域、人口密集地を避ける飛行経路を設定している。図14は南風運用時の飛行航跡である。多くの航空機がポトマック川上空を通り飛行禁止区域及び市街地上空を回避して飛行していることがわかる。



図14 ワシントン・ナショナル空港

進入方式としてはRIVER VISUAL RWY19という名称のCVAが設定されている(図15)。ポトマック川をきれいにトレースする経路となっており飛行禁止区域及び市街地上空を避け住民の騒音暴露を軽減している。空港から4NMで1200ft、3NMで900ftと目視による進入での推奨高度もチャートに記載されている。騒音軽減が目的の一つであると推察される。また、悪天でも使用可能なRNAV(RNP) RWY19という名称のRNAV経路をCVAの飛行経路とほぼ同じ経路で設定している(図16)。ポトマック川上空を飛行し

飛行禁止区域や市街地上空を避けるために曲線経路が設定されている。高度指示もあり降下角は3度に設定されている。



図15 RIVER VISUALRWY 19



図16 RNAV(RNP)RWY 19

4. 考察

4.1 音源を遠ざける

- ・高降下角進入については進入角度を高くすることで、地上から音源(航空機)までの距離が遠くなることにより一定程度の騒音軽減効果が

あるが、ICAOの基準では最終進入の降下角は ILS CAT II、Ⅲ で最大3度とされている。低視程の気象条件が想定される空港においては3.0度のILS CAT Ⅲ を設置した場合、高降下角進入の3.0度以上のCAT I ILSを設置するには別にアンテナ等を設置する必要があり、複数の滑走路がないと設置できない。複数のILSを設置する代わりにGBAS (Ground-Based Augmentation System: 地上型衛星航法補強システム)を利用する方法もある。フランクフルトではILS進入のほかにもGBASを利用したGLS (GBAS Landing System) 3.2度進入方式が設定されている。しかし、GBASに対応している航空機は現時点では多くはない。また、同空港の3.2度GLS進入の運用にあたっては、気象条件として追い風成分が5ktを超えない状況が30分以上継続すると予測される場合にのみ実施されている。また、パイロットから安全上の理由から同方式による進入が実施できない旨の通報があった場合は他の進入方式が適応されるなど制限がある。

日本では騒音対策として羽田空港において南風運用の好天時に3.45度のRNAV 進入方式が滑走路16L/Rで実施されている。同滑走路には3度の降下角のILSが設定されている。視覚的にパイロットに進入角を知らせる進入角指示灯はILSに合わせて3度に設定されているため、RNAV 進入の進入角と一致しない。これはどこの空港でも同じように起こる問題である。

一般的な進入方式としてはILSによる着陸が実施されている。ILS進入では降下角の情報を示すグライドパス会合後は当然継続降下となるが、グライドパスへの会合は降下パスよりも低い高度から会合する必要がある。そのために水平飛行をすることが多い。実際の降下率について、ある空港でILS進入を実施している航空機の高度情報をグラフにした。横軸が時間、縦軸が高度である。一般的飛行として多くの航空機は図17-1のように1~2分水平飛行をしている。図17-2のように数十秒間ぐらいしか水平飛行をしない場合もある。図17-3は降下率を調整して

グライドパスに会合している。図17-4のようにほとんど一定の降下率で降りている航空機もある。これらの違いはいろいろな要因が影響していると考えられるが、その一つとして空港の混雑状態がある。航空会社も燃料を節約できるのでできれば継続降下をしたいはずである。しかし、多くの航空機が輻輳する空港周辺では安全を保ちつつ空港の処理能力を最大限に引き出すために着陸機の間隔を一定に整える必要

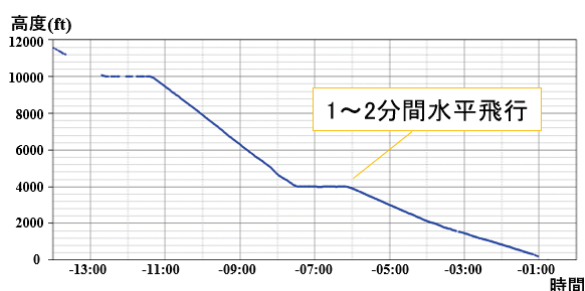


図 17-1 1〜2分間水平飛行

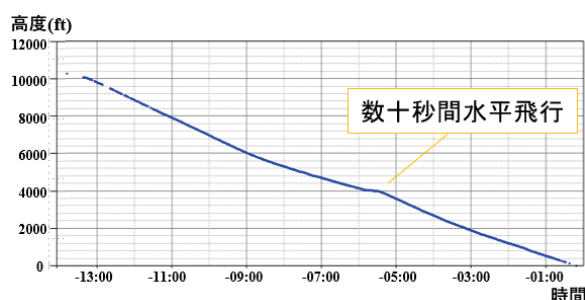


図 17-2 数十秒間水平飛行

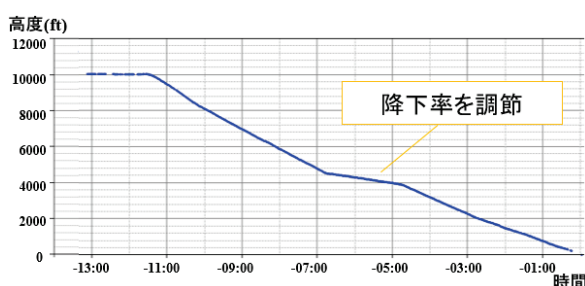


図 17-3 降下率を調整

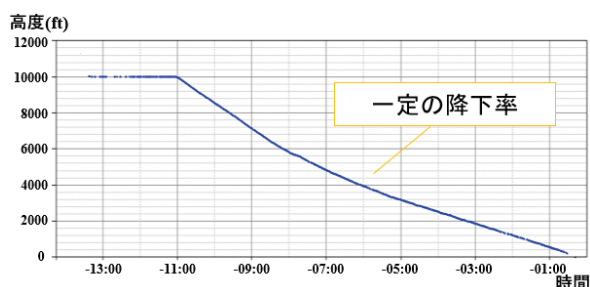


図 17-4 一定の降下率

がある。そのためレーダー誘導等が実施され降下開始後の飛行経路(距離)が航空機によって変わってしまう。パイロットが降下率を計算しCDAを実施するためには降下開始時にできる限り正確な飛行距離を知る必要がある。混雑した空港でより多くの航空機に対してCDAが実施される環境を整える必要がある。

高降下角進入もCDAも実際の運用においては騒音対策として活用されているが、課題も多く継続的な検討が必要である。高降下角進入とCDAは両立する進入方式である。今後も導入が進むことを期待したい。

4.2 飛行経路を振り分ける

ロンドン・ヒースロー空港は内陸に位置しており、東側を中心に周辺に住宅地が広がっている。環境対策が不可欠でその歴史も古くから行われていたが、1950年代に北側滑走路東側にある克蘭フォード地区と滑走路09Lからの離陸を実施しないという協定を結んだ。ジェット機の飛行が始まったころである。現在はその協定は終了しているが、第三滑走路新設計画に対する訴訟などにより誘導路の整備等空港インフラの問題が解決されず、滑走路09Lからの離陸は未だに実施されていない。

シドニー空港の場合は南側に広がるボタニー湾上空を利用した海上経路を主体としたノイズシェアリングの考え方を取り入れているが、目標は達成されていない。パラレル滑走路が南北方向にしかなく、交通量の多い時間帯は南北方向の運用が中心となる。また東西方向の滑走路07/25は滑走路長が2530mしかないことから長距離路線の出発機の使用に制限が発生し、ノイズシェアが目標通り達成されていない。

飛行経路の分散については、ロンドン・ヒースロー空港のように歴史的に特定地域の住民からの反対により飛行できない経路が存在する場合、すべての経路に平均して分散させることは難しい。また新たな飛行経路を設定することも騒音暴露人口を増やすことになり、苦情の数を増やす結果となる。空港の運用方法についてはその他の問題と同様に空港周辺の住民との合意形成にあ

たって計画段階からの透明性の高い手続きや継続的な説明が必要で長い時間を必要とする。

4.3 住宅密集地を避ける

海外特にアメリカでは交通量が多くまた小型機も多いことから、CVAが多く導入されている。地上物標を目視で確認しながら住宅地上空を避けて高速道路等の上空を飛行して着陸するルートチャートとして定めてCVAとして公示している。3.3で紹介した例はほんの一部である。パイロットにとって安全で飛行しやすい経路が結果として騒音軽減対策に繋がっている。悪天候時の対応としてRNP AR進入も同じ経路で設定し騒音対策として効果を上げている。CVAと比較すると航空交通処理容量は少なくなるが、騒音対策としては有効である。日本の空港の多くでも好天時にはILS進入やVOR進入によらずパイロットが空港や地上物標を目視で確認しながら着陸する視認進入を実施している。それにもかかわらず、国内ではCVAとして公示され導入されているのは羽田空港と鹿児島空港だけである。CVAとして少しでも騒音軽減になる適切な進入経路を図に表してして公示することはパイロットと管制官の共通の飛行経路認識が形成され双方の負担を減らすことができるとともに騒音対策の面から有効だと考えられる。RNP AR進入は対応する機材がまだ少ないが、柔軟な飛行経路を設定できる方式として騒音軽減対策としても今後導入が進むべき方式である。

5. まとめ

空港周辺でのCDAは実運航の中で実施されている状況がみられることから、騒音対策として今後も期待できる手法である。例えば7000ft以下を連続的に降下する手法を取り入れるだけでも対策効果を発揮するだろう。羽田空港の南風運用時に実施されている滑走路22へのCDA及び滑走路16L/Rへの降下角3.45度のRNAV進入も騒音対策として効果を発揮している。航空交通流管理の精度が更に向上し、空港周辺の航空機の流れが円滑になり、パイロットがCDAを実施する環境が増える必要がある。CDOまたはCDAが適用され

るべく交通流管理の更なる精度向上など国土交通省の「航空交通システムに関する長期ビジョン(CARATS)」⁹⁾に沿った導入に期待したい。

レスパイト方式については、導入されているものの必ずしも計画どおりには進んでいない。経路分散によるノイズシェアについては積極的に導入されている状況は見られない。今後も調査・研究が必要である。

・海外では騒音対策として人口密集地を避けるCVA、RNAV航法を利用した柔軟な経路が多く導入されている。好天時はCVAの運用。そしてRNAV航法を利用(RNAV+CVA)した経路設定。悪天時は、RNP AR等の航法精度が高く曲線経路を設定することが有効である。国内ではCVAは羽田空港と鹿児島空港で導入されている。RNP AR進入は34空港において導入されている(2021年8月12日現在)。それらの騒音軽減効果について今後、調査・研究が必要である。

参考文献

- 1) ICAO: PANS Aircraft Operations. ICAO Doc 8186 vol2 6th, 2014.
- 2) United Kingdom-NATS-AIS Package
<https://www.aurora.nats.co.uk/htmlAIP/Publications/2021-07-15-AIRAC/html/index-en-GB.html>
- 3) EUROCONTROL HP The European AIS Database
<https://www.ead.eurocontrol.int/cms-eadbasic/opencms/en/login/ead-basic/>
- 4) ICAO: Continuous Descent Operations (CDO) Manual. ICAO Doc 9931, 2010.
- 5) FAA Advisory Circular CDFA Date : 1/20/11
FAA Order 8260.3D
- 6) Heathrow Our Company Noise Operations Runway alternation
<https://www.heathrow.com/company/local-community/noise/operations/runway-alternation>
- 7) Sydney Airport Noise abatement operational procedures
<https://aircraftnoise.sydneyairport.com.au/noise-abatement-operational-procedures/>
- 8) フランクフルト空港HP フラポートAG/アクティブノイズプロテクション
<https://www.fraport.com/de/umwelt/schallschutz/schallschutzprogramme/aktiver-schallschutz.html>
- 9) 国土交通省 第11回将来の航空交通システムに関する推進協議会
https://www.mlit.go.jp/koku/koku_tk13_000033.html
- 10) 一般財団法人空港振興・環境整備支援機構, 航空環境研究特別号「海外空港の環境対策」(2020)