

解 説

航空管制と環境への配慮*

武田 修 (航空環境研究センター 調査役)

1. 始めに

近年我が国の航空輸送は平成 24 年以降増加傾向にあり、国内定期航空輸送の旅客数は平成 30 年度では全体で 10,300 万人(対前年比 1.2%増)、また国際航空輸送の旅客数は 2330 万人(対前年比 5.2%増)となっている(H30 年航空輸送統計)。そして、政府が打ち出している訪日外国人旅行者数増という目標とも相まって、今後ますます航空輸送は増加傾向にあるといわれている。こうした航空交通の伸びとトレードオフの関係にあるのが騒音問題である。

航空機騒音の問題は日本だけの問題ではなく、また国際線の存在を考えた場合、国家間の垣根を超えた規制の必要性がある。このため、民間航空全般に対する国際的な政策を決定する機関である国際民間航空機関(International Civil Aviation Organization : ICAO)では航空機騒音対策を行うための全体の指針として、バランスアプローチという考え方を 2001 年に提唱し、4 つの騒音対策の手法を整理している。

その手法とは

1. 騒音発生源対策
2. 土地利用計画と管理
3. 騒音軽減運航方式
4. 運航規制

であり、

これらを組み合わせて、空港周辺の騒音対策を検討することを提案している。

騒音発生源対策とはメーカーによる航空機自体の改良のこと、土地利用計画と管理は行政の都市計画や建築規制等のこと、騒音軽減運航方式は空港周辺の飛行経路や高度指定等のこと、運航規制は航空会社に課される夜間規制等のことである。言い換えると、航空機メーカー、行政、空港管

理者、航空会社の 4 者がそれぞれ負担を分け合っ
て騒音対策を行っていくという指針である。

本稿では、この中でも「騒音軽減運航方式」にか
かわって密接な関係にある航空管制の流れと騒
音対策という点に焦点を当てて解説を試みたい。

2. 航空機の運航と航空管制

二つの飛行方式

航空機の飛行方式は、大別すると IFR
(Instrument Flight Rules)と呼ばれる「計器飛行
方式」と VFR (Visual Flight Rules) と飛ばれる
「有視界飛行方式」の二つがある。

IFR は一見するとその運航全てが計器に依存
して飛行する方式にもとらえられるが、航空交通
管制のクリアランス(管制承認)に従って飛行す
るほか、常に航空管制官の指示を受けながら飛行
する飛行方式であり、計器に依存する部分も当然
あるが、姿勢のコントロール、あるいは外部監視
は基本的に目視で行い、また、IFR そのものの方
式の中にも目視による飛行なども存在する。

一方 VFR は IFR 以外の飛行をいうが、パイ
ロットが目視によって地表、地上の障害物、空中
のほかの航空機、雲などとの間隔を保ちながら飛
行する方式であり、目視を基本とするところから
一定の気象条件下でのみ飛行が可能である。

以後は、IFR について中心に述べることとする。

航空交通業務と空域

前項で説明した飛行方式により飛行する航空
機を支える支援体制が航空交通業務である。航空
交通業務は、管制業務、飛行情報業務、警急業務の
三つからなる。管制業務は航空機の運航の安全性
および効率性を促進すること、飛行情報業務は管
制業務を行う機関または他の航空交通業務を行

* Review of the latest situation of airport noise modeling technologies

う機関と連絡ある航空機に対して必要な情報を提供すること、警急業務は航空機が航行中に緊急状態、遭難状態あるいは不法行為を受けた場合などに必要な対応をすること、を主たるサービスとして提供する。

これらの業務は、ICAO の非加盟国および公海の一部の上空を除いた FIR (飛行情報区: Flight Information Region) と呼ばれる区域のなかで提供されるものであり、この空域は各国や地域別に割り当てられている。ちなみに、日本においてはその名称を「福岡 FIR」と呼んでいる。

そして、この FIR においてさらに細かく管制空域が分類されており、日本においては飛行する空域の分類が A から G まで (F はなし) の 6 つに区分け (ICAO の分類の中では 7 つ) されており、この中で管制業務等の提供の有無が定められている。

細分化された管制業務と飛行経路等

航空機が空港から空港へ移動する場合、一つの管制機関がすべてを担当するわけではなく、様々な管制機関における航空管制官のいわば分業で運用されている。

例えば、羽田から福岡に向かう場合、羽田空港飛行場管制所の航空管制官による地上、空港周辺における管制指示を受けたのち、羽田のターミナル・レーダー管制所管制官→東京管制部管制官→福岡管制部管制官→福岡ターミナル・レーダー管制所管制官→福岡空港飛行場管制所管制官という流れで移行していく。通常これらの受け渡しを「ハンドオフ」と呼んでいるが、飛行場管制所と通信設定している部分を除き空港用及び航空路用レーダーを用いたレーダー管制業務が提供されている。(図 1)

飛行経路は自由に飛べる？

航空機が IFR で飛行する場合、前述のとおり航空管制官から飛行経路及び飛行高度の承認を受けて飛行するが、これはフライトの前段で出発空港における飛行場管制所から目的地までの管制承認を受け取る形をとっている。

飛行経路は基本的には自由に選択できるが、昨今の航空交通量をみると一機ごとに経路がバラバラとなると秩序ある流れが形成しにくくなるばかりでなく、管制処理の効率性、さらには安

計器飛行方式(IFR)運航の例 (図 1)



全上の問題も浮上しかねない。このため、国土交通省航空局のAIC（航空情報サーキュラー：Aeronautical Information Circular）において各空港からの標準の飛行計画経路が定められており、各航空会社もこの経路情報をもとに飛行計画を作成している。AICの経路には主要空港ごとに空港周辺の経由する通過FIX（通過地点）とそれに接続する航空路が出発及び到着方面別に記載されており、これに各空港において定められているSID（標準計器出発方式：Standard Instrument Departure）、トランジション、STAR（標準計器到着方式：Standard Instrument Arrival）が接続するよう設定されている。（図2）

ここで示される飛行経路はあくまで標準経路であり、台風などの気象条件や迂回経路を飛行せざるを得ない場合は、変更経路を航空管制官と調整する。

飛行経路の構成

飛行経路は従来地上の無線標識所から上空に発出される信号をつなぎ合わせる形で構成されていたが、現在はGPSや機上の自蔵航法装置を利用して任意の地点間を飛行することができるRNAV（広域航法：Area Navigation「アールナビ」と呼ぶ）という航法概念による経路が多く使用されている。

従来の方法では多くの航空機が双方向で同一の経路を飛行することになり、処理能力が限られることと、経路が無線標識所の位置に依存するという課題があった。任意の地点間を結ぶ飛行経路が構成できれば、経路の複線化や一方通行による処理能力拡大、また安全性の確保にもつながることになる。

こうしたRNAVを主体とした経路設定は、当初は航空路を中心として設定されていたが、機上のアビオニクス精度向上とも相まって空港周辺においても経路設定が可能となっている。現在では、無線施設による制約や地上の障害物のために設定できなかった地域への飛行経路設定、騒音対策として特定地点を避けるような曲線による飛行経路の設定が可能となっている。

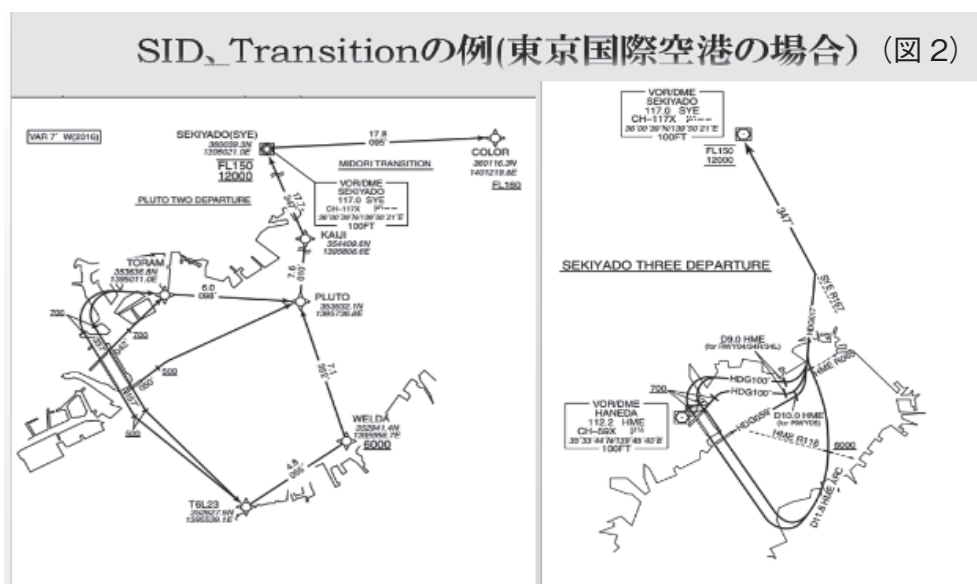
進入方式について

航空機が航空路を飛行し目的空港に近づいてのち、着陸するまでの飛行方式を定めたものが進入方式である。

IFRの進入方式を大別すると航空保安無線施設を使った従来型の進入方式とRNAVによる機体の航法性能に依存した新しい進入方式の2つに区分することができる。

(1) 航法無線施設を利用した方式

旅客機が就航する空港では一般に、VOR（超



短波全方向式無線標識：VHF Omni Directional Radio Range)と I L S (計器着陸装置：Instrument Landing System)を備えている。

a . VOR 進入方式

V O R 進入方式は、航空機に磁方位を提供する短距離用の航法無線システムを利用した進入方式であり、方位誤差が少なく信頼性が高いので多くの空港で利用されている。この機器にはDME (距離測定装置：Distance Measure Equipment)と呼ばれる距離を測る装置も併設されているので、無線標識からの方位と距離を知ることができる。空港に進入する場合は、チャートに示された経路の方位を守りつつ、各段階の最低高度を守って降下を続けていくことになる。(図3)



b . I L S 進入方式

I L S 進入方式は、水平方向の着陸進入コースを提供するローカライザーと垂直方向の降下コースを提供するグライドスロープ、通過点を知らせるマーカービーコンを利用した進入方式で、航空機は滑走路への最終進入段階において水平及び垂直両方のガイダンスを機上で得ることができるのでV O R 進入方式に比べてより悪天候に強い進入方式である。この方式には3段階のレベルがあり、カテゴリーⅢでは航空機が自動着陸できる性能がある。(図4)

(2)新しい進入方式(航法装置に依存した方式)

a . R N A V 進入方式

R N A V は前段で説明した通り、地上の無線施設だけでなく機上における自蔵航法装置やG P Sからの情報をもとに、機上航法装置が自機の位置、取るべき針路等を計算し計器進入を行う方式である。

進入経路を設定する場合も従来の進入方式に比べて経路設定の自由度が高いため、最近ではほとんどの空港に設定されている。

現在RNAVによる進入方式には航空機側の航法精度を指定しないRNAV(GNSS) 進入と航法精度要件が指定され機上監視警報機能を求める

ILS進入方式 (図4)

地上から発せられるローカライザーとグライドスロープという信号等により、ある地点(滑走路端から15~30Km)から滑走路に向かって真っすぐ一定の角度(3°)で降下する方式。降下する角度も機上で表示されるので、悪天候でも着陸可能。精密度に応じて、3つのカテゴリーに分かれている。

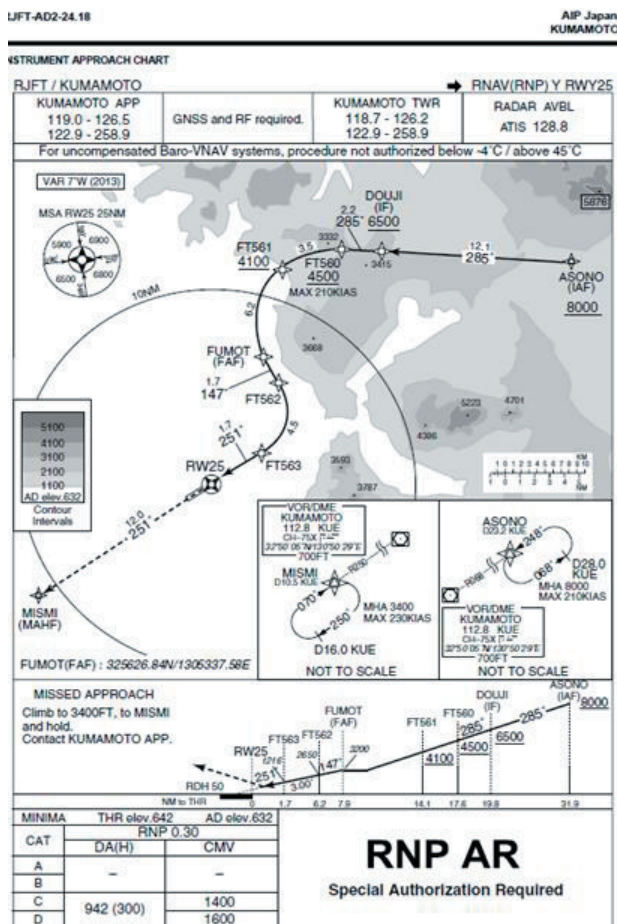


RNP(Required Navigation Performance) 進入方式があり、RNAV(GNSS) 進入はレーダーによる監視を条件とし、RNP 進入においてはレーダー監視空域外でも飛行が可能である。

b. RNP AR 進入方式

RNP AR (Authorization Required) 進入は RNP 進入の中でもさらに航法精度要件が高く、加えて気圧高度による垂直方向の航法ガイダンスを有する方式である。この方式による進入は、ウェイポイント(経路上の通過地点)間を結ぶ円弧による旋回経路を飛行することが可能である。このため、これまで山間部による経路の設定ができなかった部分でも経路を設定することが可能となり経路短縮に繋がるほか、人家の少ない地域を飛行経路として設定することができるので騒音軽減運航方式としても有効性がある。

熊本空港の RNP-AR 進入の例(図 5)



3. 騒音軽減運航方式

ここからは、航空管制や空港の運用と騒音軽減運航方式との関わりについて説明する。国土交通省航空局が発行する航空情報の一つであるAIP(航空路誌: Aeronautical Information Publication)には諸外国及び我が国でも一部実施されている騒音軽減運航方式が定められている。この中では、その内容を定義しているのみであり、実際にどの空港でどのような騒音軽減運航方式を実施しているかは、各空港の騒音軽減運航方式を参照する必要がある。

AIPに記載されている騒音軽減運航方式の種類は、

- (1) 急上昇方式
- (2) カットバック上昇方式
- (3) 低フラップ角着陸方式
- (4) ディレイド・フラップ進入方式
- (5) リバース・スラスト制限
- (6) 優先滑走路方式
- (7) 優先飛行経路

の7つである。

また、我が国の代表的な空港で採用している騒音軽減運航方式は、以下のとおりである。

・急上昇方式

函館、仙台、新潟、成田、大阪、高知、松山、福岡、北九州、熊本、宮崎、鹿児島、名古屋、静岡

・カットバック方式

該当なし

・ディレイド・フラップや低フラップ角進入

函館、仙台、新潟、羽田、成田、中部、大阪、関空、神戸、高知、松山、福岡、北九州、熊本、宮崎、鹿児島、名古屋、静岡

・リバース・スラストの制限

羽田、新潟、大阪、福岡、北九州

・優先滑走路方式

仙台、松山、羽田

・優先飛行経路

仙台、羽田、大阪、北九州、新千歳(夜間)、新潟、名古屋、佐賀

(1) 急上昇方式

急上昇方式とは、AIP によれば、「空港から離陸し一定高度に達した後、エンジンは通常上昇出力のまま加速を抑え、進出距離に対して最高の高度が得られるようなフラップ及び最適速度を維持して上昇する方式である」と定義されている。

この一定高度について、日本では 1000ft ～ 1500ft とされているが、ICAO の規定では 800ft で切り替える方式となっている。

急上昇方式を採用している空港は海外でも多く見られるが、海外ではエンジン出力を切替える高度について ICAO 方式を採用している空港も多く、また 1700ft という基準を設定している空港もある。(図 6)

(2) カットバック上昇方式

この方式は、離陸後一定高度に達した後、航行の安全に支障がない範囲内でエンジン出力を絞った状態のまま騒音影響が大きい地域を低騒音で飛行し、これら地域を通過後再び出力を上げ通常の上昇を行う方法である。

(3) 低フラップ角着陸方式

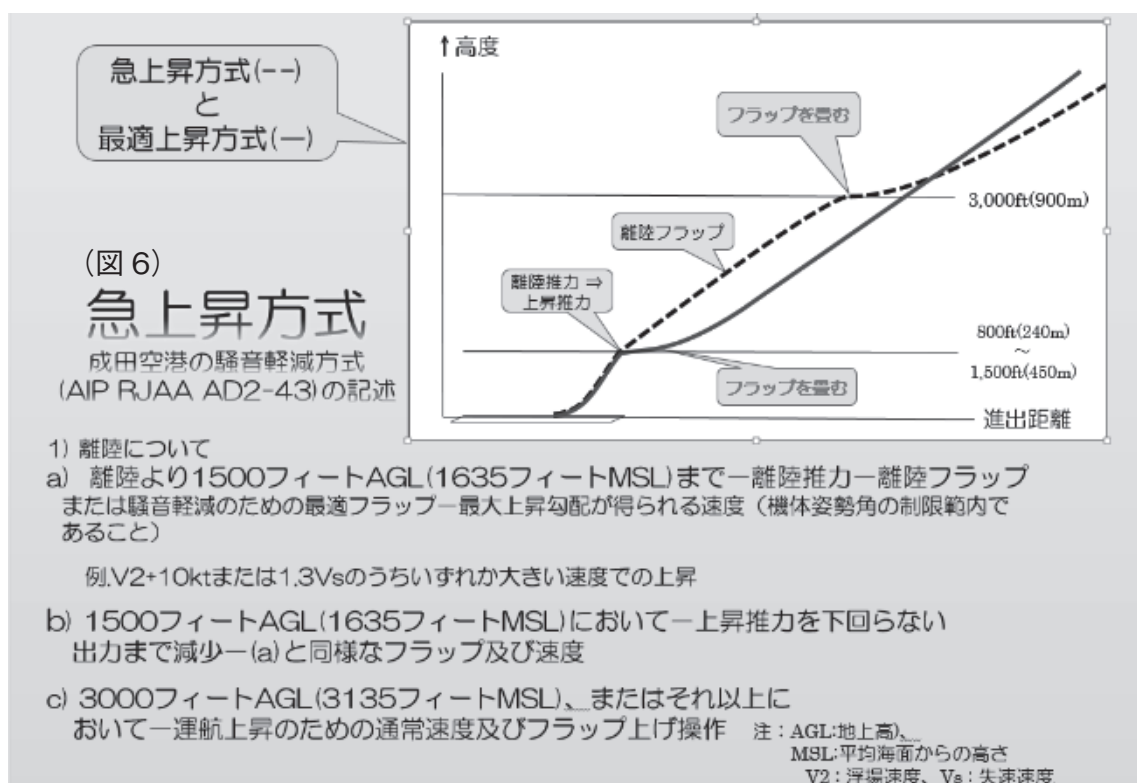
フラップの使用は揚力を増やして低速度での飛行を可能にするが、空気抵抗も増すためフラップ自体の風切り音が騒音源となる。

低フラップ角進入方式は、滑走路長などに十分余裕がある場合、最大フラップ角までフラップを下げず、浅いフラップ角のまま着陸する方式で機体の空気抵抗の減少に見合うエンジン出力の減少分だけ地上騒音が低下する。

(4) ディレイド・フラップ進入方式

ディレイド・フラップ進入方式は、フラップ下げ操作時機を航行の安全確保に支障とならない範囲で遅くする方式であり、低フラップ角方式と同様に機体の空気抵抗が減少するのでエンジンの必要出力が小さくなり騒音が低減する。AIP の中では、地表から 1500ft またはアウター・マーカー(いずれか低高度の方)通過後(空港からの距離にして約 7.5 km 付近)、最終着陸フラップ角を使用するよう定められている。

航空機のフラップ角は例えば B777-300ER 型の場合、1、5、15、20、25、30 度と 6 段階ある



が、AIPの規定では、該当する条件に対して飛行規程中で承認されている最小の証明された着陸フラップ角を最終フラップ角とすることとされている。

(5) リバース・スラストの制限

リバース・スラストは、滑走路に着陸したのち航空機を速度を落とすため、エンジンを逆噴射させて制動を行う方法である。リバースの選択には「フルリバース」と「アイドルリバース」の二種類しかなく、騒音軽減対策として使用されるのは「アイドルリバース」である。この方式も国の内外を問わず多く採用されている方式であるが、気象条件(追風など)や滑走路の路面状況(雨や雪などの条件)、滑走路長などの影響を受けやすいため、あくまで安全上支障ない範囲で実施されている。

(6) 優先滑走路方式

この方式は滑走路の延長方向が海などに面していて騒音影響が少ない場所で進入や出発後の飛行を行わせる方式であり、AIPでは原則として追風成分5ノット以下及び突風の効果を含む横風成分が15ノット以下で、かつ航空輸送の公共性が損なわれない範囲で行われる方式としている。

離陸と着陸を対面方式で行う方法や、複数滑走路がある空港においてより騒音軽減効果が見込まれる滑走路を使用する方法がある。

対面方式は、離陸・着陸どちらかが追風状態になる場合があるため風の状況によっては採用できないケースがあることや、滑走路処理能力が大幅に低くなるため、採用できる空港が限られたり、実施される時間帯が限られるのが現状である。(図7)



(7) 優先飛行経路

優先飛行経路とは、空港周辺地域における航空機騒音軽減のため、離陸上昇あるいは進入着陸時に、運航の安全に支障のない範囲で定められた経路のことである。

出発に関して代表的な例は、大阪空港の優先飛行経路で、北向きに離陸後左旋回しSIDに着航するまでの経路が細かく指定されている。進入の段階では周回進入(空港を目視した後に着陸滑走路に回り込む飛行)の場合に旋回方向を規制している例や羽田空港における夜11時以降の到着機が房総半島を迂回する到着経路などがある。

優先滑走路方式と優先飛行経路に関しては、管制運用上も安全確保や管制間隔設定目的の場合を除きこれらを順守することが求められている。

4. その他の騒音軽減運航方式

最近では、これまで紹介した騒音軽減運航方式のほかにもいくつか新しい騒音軽減運航方式が日本のみならず諸外国においても採用されている。

継続降下運航方式

継続降下運航方式とは、航空機が着陸のための降下飛行フェーズにおいて、適切な地点から最小のエンジン推力を維持し、降下途中に水平飛行を行うことなく最適な降下率で計器進入開始点まで降下飛行する方式をいう。当然のことながら降下の段階ではエンジンの出力は最小限度(アイドル状態)で済むため、エンジンから発生する騒音も小さくなるとともに単位時間当たりの燃料消費の節減にもつながるメリットがある。現在欧州の主要な空港で積極的に採用されているほか、日本においては、その目的を燃料消費量及びCO2排出量削減の為として、関西空港では正式運用が、また、鹿児島空港と那覇空港において試行運用が行われている。

一方この運航方式は、比較的高い高度から継続降下を行う場合、複数の管制機関を経由するため管制間隔設定の為の十分な調整が必須である。ま

た、一定の定められた経路長に基づき降下率や速度を設定しているため、途中で管制間隔設定上水平飛行を必要とする場合などはその効果が得られないなどといった課題があり、比較的交通量の少ない夜間から深夜帯に実施されている。

このほかにも、羽田空港においては騒音軽減進入方式として、南風運用時の LDA W RWY22 進入方式を実施する際に、BACON と BEAST という地点間を飛行する際は 1500ft/min を超えない降下率で継続的に降下するよう方式が定められている。

高降下角進入方式

高降下角進入方式とは、最終進入の降下角の最適角度といわれている 3.0° の降下角よりも高い降下角で進入する方式であり、ILS の場合は CAT-I についてのみ、 3.5° まで標準方式として設定することが可能とされている。本来は障害物件を避ける目的で設定される方式であり、欧州ではかなりの空港が同目的で高降下角進入を実施している。

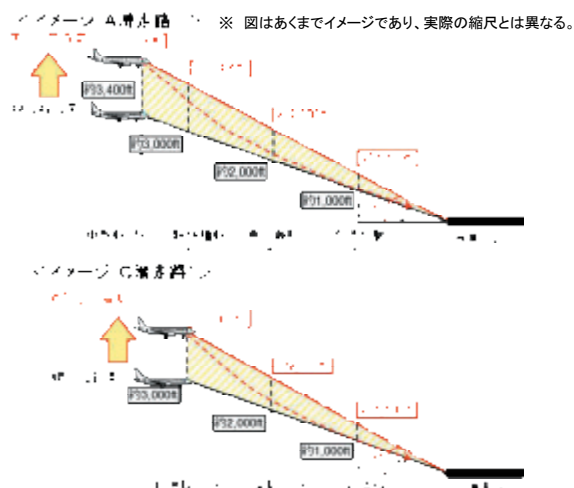
この方式は、降下角が上がることで進入段階の高度が上がり、その分音源からの距離が増すため騒音軽減運航方式としても用いられるようになってきている。騒音軽減目的で実施している具体例としては、ドイツのフランクフルト空港において、 3.2° の降下角による ILS 進入や GLS (GBAS Landing System) 進入方式が設定されているほか、イギリスのロンドンシティ空港では 5.5° の進入方式が行われている。また、ヒースロー空港でもこれまで 2 回のトライアルを実施し、実運用に向け検討が重ねられている。日本においては、今後、羽田空港において騒音軽減を目的とした 3.5° の進入方式が導入される予定である。(図 8)

新到着経路の降下角の引き上げ (図 8)



○ 南風好天時の新到着経路の降下角を 3° から 3.5° に出来る限り引き上げることによって、飛行高度の引き上げ、騒音影響の低減を図る。

■ 飛行高度の更なる引き上げ



※ 気象条件等により、上図点線のような飛行となる場合もある。

※ 飛行高度の引き上げを安定的に実現するため、航空保安施設の整備に関する調整を実施。

レスパイト方式

レスパイトとは、英語の「respite: 一時的な休息を与える」という語からきている方式で、複数滑走路を有する空港において、例えば早朝と夜間の使用滑走路を時間や曜日で交替しながら運用し、騒音から救済される静穏時間帯を確保する方式である。この方式は、ドイツのフランクフルト空港などで行われているほか、今後成田空港においてもC滑走路の運用が開始されたのち同様の方式を採用する予定となっている。

5. 今後の騒音軽減のための運航方式

最後に、現在進められているGBAS(Ground-Based Augmentation System 「ジーバス」と呼ばれる)による進入方式を用いた騒音軽減運航方式の期待について述べておきたい。GBASは、地上からGPSの精度、安全性を向上させる補強信号や航空機の進入降下経路情報を送信し、航空機を安全に滑走路へ誘導するためのシステムである。現在、羽田空港において2020年度には運用を開始するよう準備が進められている。(図9)

これまで説明してきたRNAVの進入経路でも曲線進入は一定の航空機に限り実施することができるが、GBASにおいては曲線進入経路に加え高度のガイダンスも提供できるため、騒音軽減を目的とした精密進入方式を設定することが可能となる。しかも、一式のGBAS機材によって、複数の滑走路方向に同様の精密進入を設定できるため、コスト面や空港としての機能強化にも寄与できるものと期待されている。現在、成田空港においてもGBASの導入を計画しているとのことなので、今後ますます騒音対策強化が図られることを期待したい。

文献

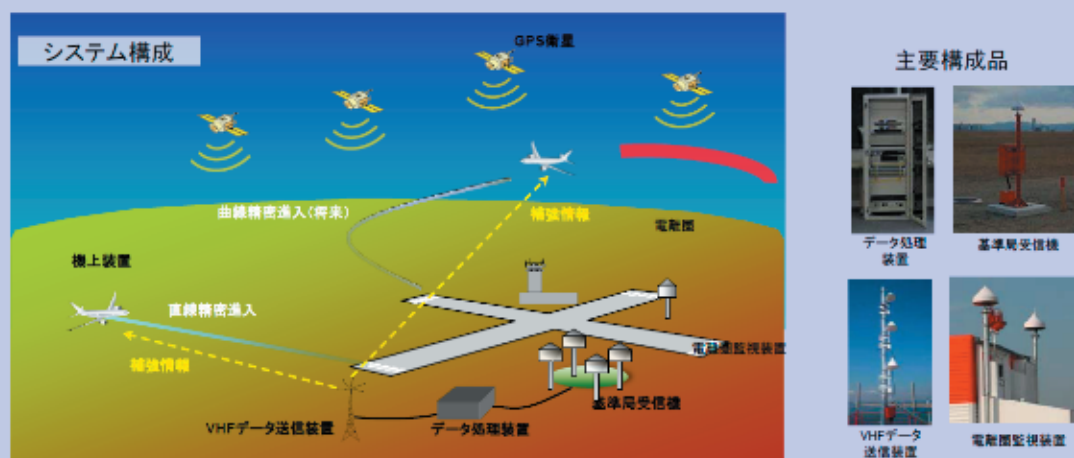
- 1 ICAO : Annex16 Volume 1, Seventh Edition, July 2014, International Civil Aviation Organization
- 2 Aeronautical Information Manual Japan
- 3 飛行方式設定基準
- 4 GBAS の概要 (国土交通省資料)

GBASの概要

(図9)

国土交通省資料

GBAS (Ground-Based Augmentation System: 地上型衛星航法補強システム)
地上からGPS (Global Positioning System) の精度や安全性を向上させる補強信号や航空機の進入降下経路情報を送信し、航空機を安全に滑走路へ誘導するためのシステムです。



GBASが送信する補強情報

①補強信号

- ・GPSの精度向上 基準局でのGPSの誤差を測定し、誤差補正值情報をリアルタイム送信
- ・安全性の向上 GPS衛星信号を監視し衛星の故障・状況の情報をリアルタイム送信

②進入降下経路

空港の各滑走路への進入降下経路情報を送信