

研究報告

海外空港の航空機騒音対策に関する総合的分析*

篠原 直明(航空環境研究センター 所長)

航空機騒音に対する対策は、大別すると音源側対策、受信側対策のほか空港施設・構造の改良に分けられる。これらは、ICAO (国際民間航空機関)で航空機騒音対策に定めたバランスドアプローチ(Balanced Approach)という概念に基づき、各国がそれぞれの対策を実施している。バランスドアプローチとは空港毎に騒音問題を見定め、最も費用対効果に優れた方法により騒音問題に取り組むことを目標として、1) 航空機自体の騒音軽減、2) 空港周辺の土地利用計画・管理、3) 騒音軽減運航方式、4) 運航制限の4つの要素をバランスよく組み合わせて可能な方策を検討する考え方である。一方で実際の方策は、対策の原理は共通するものの、航空機騒音の評価指標を含め、各国それぞれ異なる。住宅防音工事などに重きを置く場合もあれば、騒音による着陸料金による差別化や騒音軽減運航などで発生源側の低減の工夫に特徴がある空港もある。

本稿では、海外主要空港の航空機騒音評価と航空機騒音対策を調べた結果をもとに、日本の対策とも併せ、評価や対策の考え方やその温度差に関する総合的な分析を行った。

1. 航空機騒音対策体系のレビュー

分析検討に先立って、航空機騒音対策のレビューをしておきたい。前述のようにICAOのバランスドアプローチの概念に基づいて、各国は航空機騒音対策を講ずるが、実際に

取りうる対策の体系は大別すると、「発生源対策」、「空港構造・施設改良」、「空港周辺対策(受信側対策)」に分類することができる。図-1にはその航空機騒音対策の一般的な体系図を示す。

発生源対策は、ICAOの騒音証明制度による国際的な低騒音型促進の枠組みのほか、騒音別着陸料金による低騒音機の促進などの機材改良に加え、発着枠上限の設定や夜間運航の規制などの発着規制、騒音軽減のための運航方式などによる運航方法改善に分類される。

空港構造・施設の改良には、滑走路移転や海上空港の新設、防音壁等の設置のほか、エンジン試運転時の消音施設が含まれる。日本では市街地にある空港の騒音問題抜本的解決のために海上空港を建設した例が挙げられる。

受信側対策は、住宅防音工事に代表される補償制度のほか、騒音の大きさに応じた土地利用計画の策定や建築規制などがあげられる。国によって受信側対策の軽重も見られる。

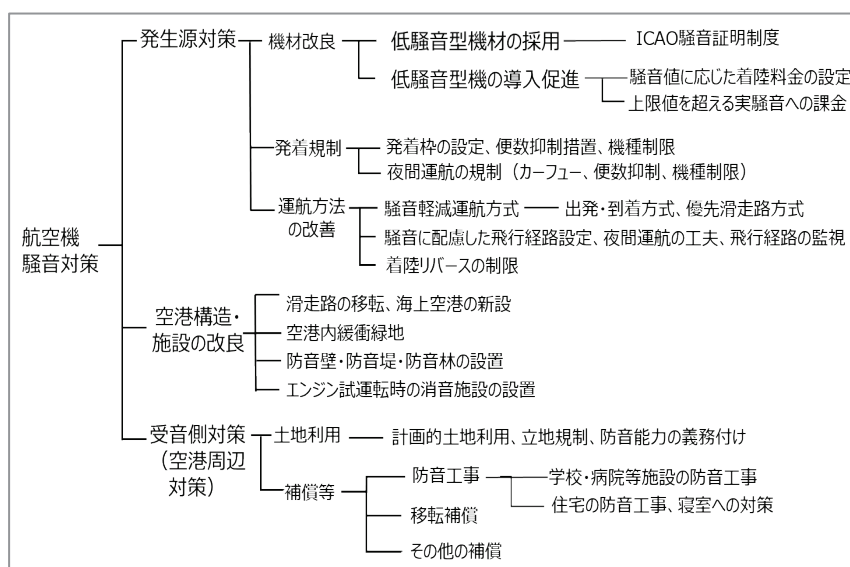


図-1 航空機騒音対策の一般的な体系図

* Comprehensive analysis of aircraft noise countermeasures at domestic and overseas airports

2. 航空機騒音の評価指標

2.1 評価の考え方と評価指標

日本で航空機騒音に係る環境基準が制定される以前の昭和40年代、航空機騒音は問題が顕在化したものの、空港周辺の土地利用の在り方や周辺対策についてどのような評価指標を用いて実施するべきかが、国際的にも議論されている最中だった。ICAOでは、包括的な航空機騒音対策と航空機騒音の影響・評価の必要性から検討を重ねた結果、1971（昭和46）年に航空機騒音の評価指標としてWECPNLを提唱した。航空機騒音によるやかましさを（ノイジネス）を考慮するとしてKryterによって提案されたPNL（Perceived Noise Level）をベースとした評価で、これは高音域成分の強いジェット機騒音の不快感が大きいことに着目したものである。しかし、ICAOが騒音対策の指標としてWECPNLを提案したものの、当時の米英などではすでに他の指標を用いていたこともあり、WECPNLを評価や対策の指標としたのは日本などのごく一部にとどまった。

一方、一般的に道路交通騒音や環境騒音を計測するときにはA特性音圧レベルを用いる。航空機騒音の評価でも、A特性音圧に基づく等価騒音レベル(L_{eq})ベースによる評価指標もある。当初はPNLベースの評価指標を採用していた国も、他の交通騒音との相互比較が可能な等価騒音レベルベースの評価へと転換した例は多い(2.3節参照)。

図2に航空機騒音評価の体系を示す。上段図はPNLとA特性音圧の周波数特性のイメージを、下段図はそれぞれの評価の流れを説明している。PNLは2~4kHzを中心とした帯域を大きく評価する。昔の航空機に顕著だったキーンという高周波のやかましさをより評価する意図である。実際のPNL算出はこのような周波数重み補正を施すのではなく、瞬時値を周波数分析した結果をノイジネスを表すNoy曲線に当てはめ、また、特異音補正を行うなど複雑な処理を施す。このPNLに基づき航空機騒音の最大値を求めたものが、 $L_{PN,max}$ であり、単発騒音の積分値に相当するものがEPNL (L_{EPN})、1日の累積騒音として表したものがWECPNLやNEFである。

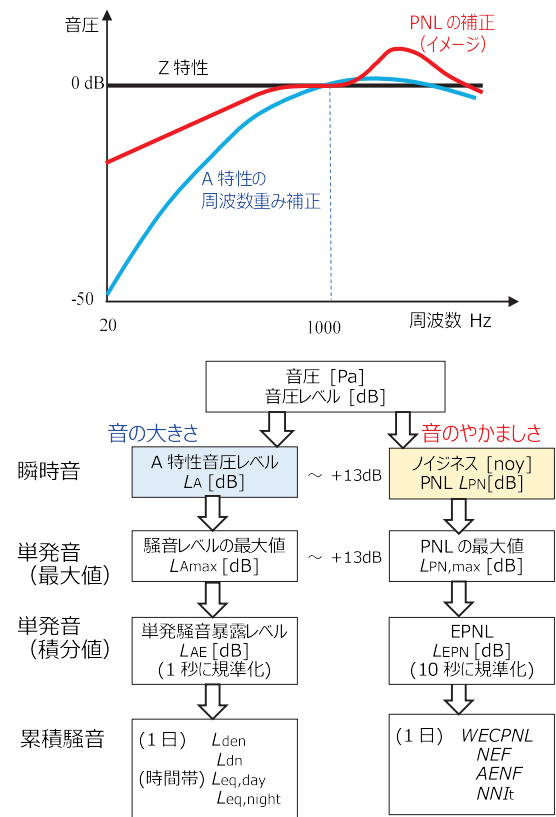


図2 航空機騒音評価の周波数重み補正イメージ(上) および評価体系図(下)

A特性音圧は、人の耳で音の大きさを感じた場合を想定した周波数重み補正を行う。その瞬時値 L_A に基づき求めた航空機騒音の最大値が L_{Amax} 、単発騒音の積分値が L_{AE} となる。累積騒音は、1日の指標で L_{den} や L_{dn} 、時間帯を区切った指標もあり $L_{eq,day}$ や $L_{eq,night}$ としている。

2.2 航空機騒音に係る環境基準

日本では、ICAOの提唱したWECPNL受け、昭和48年には「航空機騒音に係る環境基準について」(以下、環境基準という)を制定し、航空機騒音の評価指標はWECPNLとなった。ただし、ICAOの提唱通りの評価式は、PNLをベースとしたもので、かつ測定・評価の手順は、0.5秒ごとの周波数分析を必要とするなど当時の測定機器では複雑すぎた。このため、航空機騒音ではPNLはおよそ $dBA+13$ の関係となることを利用し、最大騒音 (L_{ASmax}) と発生回数を用いた簡略化手順が環境基準のWECPNL評価式に適用された。(WECPNL)と表す。式1)

その後2002年に成田空港で平行滑走路が供用

されたとき、機数が増えたにも拘らず、僅かであるが、WECPNL値が低くなる矛盾が発生した。これは、環境基準のWECPNLが前提とした簡略化の定義に起因するもので「逆転問題」として、指標の改訂を要望する動きが起きた。国際動向や交通モード間の整合性、評価の継続性に鑑みて L_{den} が採用されることになった。航空機騒音に係る環境基準の一部改正を告示、2013（平成25）年4月に施行された。 L_{den} は式2によって算出する。測定日ごとに、昼間、夕方、夜間の各時間帯に測定された航空機騒音の単発騒音暴露レベル(L_{AE})の値から、測定日ごとの時間帯補正等価騒音レベル(L_{den})を次式により算出する。式でもわかるように夕方の時間帯には+5dBの重みづけを、夜間の時間帯には+10dBの重みづけをするものである。

2.3 海外で用いられる評価指標

ICAOが騒音対策の指標としてWECPNLを提案したものの、当時の米英ではすでに他の指標

$$WECPNL_J = \overline{L_{Amax}} + 10 \log_{10}(N_w) - 27$$

$$N_w = N_{7-19} + 3N_{19-22} + 10(N_{0-7} + N_{22-24})$$

(式1)

L_{Amax} : 観測した最大騒音(L_{ASmax})の平均値
 N : 時間帯ごとの騒音発生回数

$$L_{den} = 10 \log_{10} \left\{ \frac{T_0}{T} \left(\sum_i 10^{\frac{L_{AE,di}}{10}} + \sum_j 10^{\frac{L_{AE,ej}+5}{10}} + \sum_k 10^{\frac{L_{AE,nk}+10}{10}} \right) \right\}$$

(式2)

i, j, k は、それぞれ昼間 d(7:00~18:59)、夕方 e(19:00~21:59)、夜間 n(0:00~6:59、22:00~23:59)の時間帯に発生した単発騒音を表す添え字

を用いていたこともあり、WECPNLを評価や対策の指標としたのは日本などのごく一部にとどまった。その後、各国は等価騒音レベルで評価する L_{den} などへの転換が続き、日本も2013年から指標が変わった。しかし今もなお、用いる評価指標は、国によってさまざまである。環境基準の旧指標であるWECPNLはPNLをベースとしたやかま

表-1 航空機騒音評価指標の分類と採用国

	累積期間	指標	説明	採用国	式の概要
やかましさに基づくもの PNL	日	WECPNL	ICAOで提唱したWECPNL式、EPNLに夕方は5dB、夜は10dBの重みづけ（時間帯区分が昼・夕・夜）、24時間累積の平均	ICAO	$WECPNL = 10 \cdot \log \left[\sum (10^{(L_{EPN,d}/10)} + 10^{(L_{EPN,d+5}/10)} + 10^{(L_{EPN,n+10}/10)}) \right] - 49.4$
		WECPNL,J	日本式WECPNL、 L_{Amax} 平均と騒音発生回数で評価する。発生回数は夕方3倍、夜間10倍（時間帯区分が昼・夕・夜）、24時間累積の平均	(旧・日本)	$WECPNL_J = L_{ASmax}(ave) + 10 \cdot \log (Nd + 3Ne + 10Nn)$
		WECPNL,K	日本式WECPNLと同じ	韓国	WECPNL_Jと同じ
		NEF	Noise Exposure Forecast EPNL平均と荷重発生回数の24時間平均、夜は22時~で重みづけは16.7倍（+12dBに相当）	カナダ、 (旧・米国)	$NEF = L_{EPN}(ave) + 10 \cdot \log (Nd + 16Nn) - 88$
		ANEF	Australian Noise Exposure Forecast NEFのオーストラリア版、時間帯区分が夜は19時からで重みづけは4倍（+6dB）	オーストラリア	$ANEF = L_{EPN}(ave) + 10 \cdot \log (Nd + 4Nn) - 88$
		NNI	Noise Number Index PNLmaxの平均値と騒音発生回数を用いた指標	(旧・英国)	$NNI = L_{PN,max}(ave) + 15 \cdot \log (N) - 80$
		IP	Psophique Index PNLmax（夜間は重みづけ）し、累積した24時間の分単位の平均を意味する。	(旧・フランス)	$IP = 10 \cdot \log \left[\sum 10^{(L_{PN,max,d}/10)} + 10^{((L_{PN,max,n+10})/10)} \right] - 32$
騒音の大きさに基づくもの A特性音圧	日	Lden	航空機騒音LAEに夕方+5dB、夜間+10dBの重みづけをし（時間帯区分が昼・夕・夜）、24時間累積した平均	日本、EU、 フランス、オランダ	$L_{den} = 10 \cdot \log \left[\left(\sum 10^{(L_{AE,d}/10)} + 10^{(L_{AE,e+5}/10)} + 10^{(L_{AE,n+10}/10)} \right) / 86400 \right]$ 時間帯区分は国によって違うが 7~19/19~22/22~7
		Ldn	航空機騒音LAEに夜間+10dBの重みづけをし、24時間累積した平均	米国	$L_{dn} = 10 \cdot \log \left[\left(\sum 10^{(L_{AE,d}/10)} + 10^{(L_{AE,n+10}/10)} \right) / 86400 \right]$ 米国の時間帯区分 d: 6:00~22:00、n:22:00~6:00
		LVA	航空機騒音LAEに夜間+10dBの重みづけをし、24時間累積した平均、評価期間が年間を3分割した期間の最繁忙週（のべ21日間）で評価する	イタリア	$LVA = 10 \cdot \log \left[\left(\sum 10^{(L_{AE,d}/10)} + 10^{(L_{AE,n+10}/10)} \right) / 86400 \right]$ 時間帯区分 d: 6:00~23:00、n:23:00~6:00
	年	Ke	Kosten Unit 年間の累積指標、時間帯で重みづけした L_{Amax} の累積	(旧・オランダ)	$Ke = 20 \cdot \log \left[\sum nti \times 10^{(L_{ASmax}/15)} \right] - 157$ ntiは時間帯区分で変わる 昼1、深夜10、他は2~8
	時間帯	Lday	昼間時間帯の航空機騒音LAEを累積し、時間帯で平均した等価騒音レベル。時間帯は原則6~22時	英国、ドイツ、 スイス	$L_{day} = 10 \cdot \log \left[\left(\sum 10^{(L_{AE}/10)} \right) / T \text{時間} \times 3600 \right]$
		Lnight	深夜時間帯の航空機騒音LAEを累積し、時間帯で平均した等価騒音レベル時間帯は原則として22~6時	EU、ドイツ	$L_{night} = 10 \cdot \log \left[\left(\sum 10^{(L_{AE}/10)} \right) / T \text{時間} \times 3600 \right]$
		Ld	時間帯を7~19時とした、航空機騒音LAEを累積し、時間帯で平均した等価騒音レベル	スペイン	$L_d = 10 \cdot \log \left[\left(\sum 10^{(L_{AE}/10)} \right) / 12 \text{時間} \times 3600 \right]$
		Le	時間帯を19~23時とした、航空機騒音LAEを累積し、時間帯で平均した等価騒音レベル	スペイン	$L_e = 10 \cdot \log \left[\left(\sum 10^{(L_{AE}/10)} \right) / 4 \text{時間} \times 3600 \right]$
		Ln	時間帯を23~7時とした、航空機騒音LAEを累積し、時間帯で平均した等価騒音レベル	スペイン	$L_n = 10 \cdot \log \left[\left(\sum 10^{(L_{AE}/10)} \right) / 8 \text{時間} \times 3600 \right]$
		Lnight,1h	深夜時間帯の1時間ごとのLeq	スイス	

しさを表すが、新指標の L_{den} はA特性音圧による大きさ(ラウドネス)によるものである。各国の評価指標はそのどちらかに分類される。表-1に航空機騒音の評価指標を取りまとめた。1970年代はPNLに基づくものが多かったが、1990年代以降、A特性音圧に基づく等価騒音レベル(L_{eq})ベースのものへと転換されている。代表例として、米国はNEFから L_{dn} へ、英国はNNIから $L_{eq,16h}$ などへ、フランスはIPから L_{den} に変わった。日本もWECPNLから L_{den} に変わった。現在もなおPNLベースの指標を用いるのはカナダのNEF、オーストラリアのANEF、韓国のWECPNL(算出式は日本式のWECPNLと同じ)である。

等価騒音レベルベースの指標も、24時間の累積騒音を単一指標で表す L_{den} や L_{dn} に対し、時間帯区分ごとに表す L_{day} や L_{night} のマルチインデックスを採用する場合もある。時間帯区分も国によって異なることがある。

3. 住宅防音工事などの受音側対策

3.1 日本の対策

航空機騒音対策の根拠法として、昭和42年8月の「公共用飛行場周辺における航空機騒音による障害の防止等に関する法律」(略称：騒防法)がある。昭和48年の航空機騒音に係る環境基準(以下、環境基準)の制定に伴い、騒防法も改正され、WECPNLによる騒音区域の決定と、住宅防音工事の実施などを含む、区域ごとに対応する対策を進めた。また、都市化が進むと予想される空港周辺地域には、土地利用に関する規制・誘導により、騒音障害を未然に防ぐための法律「特定空港周辺航空機騒音対策特別措置法」(略称：騒特法)も定められ、昭和57年に成田空港周辺に地区指定を行った。環境省は平成19(2007)年に、航空機騒音に係る環境基準の改正を告示し、評価指標をWECPNLから L_{den} に変更した。基準値と区域の関係は表-2~4の通り。

3.2 海外の対策

ICAO(国際民間航空機関)では1971年に空港周辺対策に用いる評価指標としてWECPNLを提唱したが、それを採用する国が少なかったことなど

表-2 航空機騒音に係る環境基準値

環境基準類型	L_{den} 基準値
I	57dB以下
II	62dB以下

表-3 騒防法区域と基準、対策内容

騒防法区域	L_{den} 基準値	主な内容
第3種区域	76dB以上	緩衝緑地帯等整備
第2種区域	73dB以上	移転補償
第1種区域	62dB以上	住宅防音工事補助

対象は14空港(特定飛行場)

表-4 騒特法区域と基準、制限内容

騒特法区域	L_{den} 基準値	主な内容
防止特別地区	66dB以上	新たな住宅等の建築禁止 既存住宅の移転補償
防止地区	62dB以上	新たな住宅には防音工事が 必要

対象は成田空港のみ

から、現在の版では削除されている。このため、空港周辺の土地利用の目安や受音側対策の基準とする評価指標は各国に委ねられる状況である。EUでは、EU Directive 2002/49/EC (Environmental Noise Directive)という環境騒音の評価と管理に関する指令がある。これは、①環境騒音の暴露状況把握、②環境騒音とその影響を公開、③騒音を低減し良好な環境を保つ、から構成される。参加国は道路・鉄道・工場・航空の騒音源ごとに、騒音の大きさごとの影響面積や人口を5年ごとにノイズマップとともに報告する。また、 L_{den} 55dB以上、 L_{night} 50dB以上の騒音に暴露されている状況を低減するためのアクションプランを作成する。EU加盟各国はENDをもとに国内法に取り込んだ法律を作成し実行している。しかし、これは騒音影響低減への取組み方針を示すもので、空港周辺の騒音対策(特に受音側対策)については、各国はそれぞれの事情に応じた評価指標・対策基準を用意している。国別の状況を以下に概況する。

英国では環境保全計画案の方針を示すPPG24があった。2012年に廃止され、代わって施行されたものは明確なガイドラインレベルは示されていない。空港周辺の防音工事対策には $L_{eq,16h}$ が指標として用いられるが、対策範囲を決める基準値は空港ごとの状況によって異なる。ロンドン・

ヒースローでは $L_{eq,16h} > 69$ dB範囲の住宅に対し防音工事の対策を実施する。対策基準値としては高い値と言える。一方で、夜間騒音に対する寝室への対策も行っている。こちらは、深夜時間帯に運航される騒音の大きい機種を想定した単発騒音で範囲を指定している。また、政府は空港管理者に対して、防音工事の見直し ($L_{eq,16h} > 63$ dB) を期待しているようだ。

ドイツでは、航空機騒音対策に用いる法律は、連邦法である航空機騒音防止法で定められる。評価指標は $L_{eq,day}$ (6~22時)と $L_{eq,night}$ (22~6時)である。同法では、zone 1 ($L_{eq,day} > 60$ 新設・改良空港)に存在する住宅は防音工事の対象となる騒音保護区域を定めるとともに、指定日以降の住宅建築は禁止される。新設・拡張空港は既設空港より5dB厳しい。夜間騒音は、 $L_{eq,night} > 50$ 以上(新設・改良空港)で寝室の防音工事を行うが、深夜時間帯の最大騒音と発生回数(室内で $L_{A_{smax}} 53$ dB×6回)を利用した基準もある。なお、フランクフルトでは、一定の騒音下で、住宅屋外(庭)での生活を享受できないことに対する金銭補償を行い、また、空港に近い着陸経路下で乱気流による屋根被害に対する被害補償と移転区域を行う範囲を指定しているなど、補償に手厚い。

フランスでは、空港周辺対策として補償制度と土地利用規制があり、 L_{den} が用いられている(以前はPNLベースのIP:Psophique Indexという指標だったが、変更された。)補償制度としての住宅防音工事は、Zone I - L_{den} 70dB以上、zone II -65dB以上、Zone III -55dB以上で実施され、それぞれ室内での騒音目標値が定められる。住宅防音工事対象が L_{den} 55dB以上は世界的に見ても低めの基準である。土地利用規制は、騒音に応じ4つのゾーンに区分される。それぞれで土地利用の基準が示され、これに合致しないと建築許可が下りない。最少はZone Dの50dB以上であり、実質的に50~55dBは居住者が住宅の防音措置を行うことになる。

オランダでは、Ke (コステンユニット)という時間帯で重みづけした最大騒音の累積と騒音発生回数の年間値を利用したものを指標としたが、

2007年には指標が L_{den} に変更されている。Ke 65/ L_{den} 71を移転の対象、Ke 35/ L_{den} 58を防音工事対象とする。深夜騒音を考慮して L_{night} 48dB以上に対する寝室の防音工事を行う。

スペインでは、空港周辺の防音工事対策を、将来を想定して予測した L_d 60dB、 L_e 60dB、 L_n 50dBの昼間・夕方・夜間それぞれの時間帯区別騒音範囲に存在する住居と学校や病院・文化施設に対して行う。別途定められる内部居住空間の騒音目標値(例えば住宅の居室 L_d 45dB、寝室では L_n 30dB)に合致するように必要な遮音性能が決まる。防音工事は対策範囲を示した日に存在する建物が対象だが、期日以降の建築には防音措置の適用などの土地利用制限が付く。

イタリアでは、 L_{VA} という年間3分割期間の各最繁忙週の3週間を対象とした L_{den} を指標とする。 L_{VA} 65dB未満は土地利用制限が付かないが、65~75dBの住宅は防音措置を施した場合を除き禁止となる。防音工事等の対策はケースバイケースで実施されているようだが、積極的でない。

スイスは、連邦騒音保護条例により騒音基準を決めている。騒音感受レベルごとに、計画推奨値、受忍限度値、警告値を定めている。また、さまざまな騒音源に対する基準を定めている。大規模空港で用いる騒音指標 L_{rt} は $L_{A_{eq,16h,6-22}}$ と同じと考えてよい。夜間時間帯は1時間ごとの $L_{eq,1h}$ に対する基準値が設定される。住宅地の基準値は、昼間 L_{rt} において計画推奨値57dB、受忍限度値60dB、警告値65dBである。防音工事は受忍限度値を超える場合に実施される。夜間騒音に対する寝室への防音も実施している。(夜間受忍限度値は $L_{eq,1h}$ 55dB 22時台、 $L_{eq,1h}$ 50dB 23時台~6時台)

米国は、連邦航空規則14 CFR Part 150を定め、空港周辺の騒音環境改善のための枠組みを提供している。指標として L_{dn} (DNL)を用い、航空機騒音を軽減するための連邦の基準は65dBである。(カリフォルニア州のみ L_{den} (CENL)を用いる。)空港管理者はPart 150に基づき、航空機騒音を予測して騒音暴露範囲を定め、騒音の程度に応じた土地利用方針、騒音軽減方策を検討し、防音工事を含めた騒音対策計画NCP (Noise Compatible

Plan)を作成する。計画策定時に基準値以上の住宅には防音工事を実施するが、空港ごとに適用範囲は異なる。土地利用方針はあるが、強い規制には結びついておらず、騒音地域内への後住者が悩みでもある。

オーストラリアでは、航空機騒音の評価指標はANEFを用いる。米国で以前用いたNEFを独自に修正したもので、時間帯区分と回数の荷重係数が異なる。ANEFをもとに、航空機騒音と建築容認の目安を示している。ANEFが20未満であればすべての建築物が容認されるが、20～25では条件付き容認、25以上では容認出来ない。防音工事等の補償に基準は、ANEF 40区域の移転、ANEF 30以上の住宅の防音工事だが、すでに対策終了しており、あまり積極的ではない。

3.3 対策基準の国内外横断比較

航空機騒音対策に用いる騒音評価指標は各国で異なり、住宅防音をはじめとする対策基準もさまざまである。さまざまな評価指標間で、いったいどのくらい値が違うのだろうか？一般的にはWECPNLと L_{den} の間には約13dB、 L_{den} と L_{dn} では約1dBの差があると理解されている。しかし、各国で採用する評価指標が異なる限り、対策基準を横並びに比較することができない。詳細は省くが、世界の主要な20空港のある日の運航実績をネットから取得し、その時刻別の運航回数を用いて、単発騒音は一定とした指標間の結果比較をした。表-5に $L_{eq,24h}$ を基準とした指標間比較を示す。

Leq,24h相当	国・地域・空港	指標と基準値	対策種別
68	英国(ヒースロー)	$L_{eq,16h}$ 69 dB	住宅防音
63	オーストラリア	ANEF 30 dB	住宅防音
62	米国	L_{dn} 65 dB	(空港によって防音実施)
61	カリフォルニア	L_{den} 65 dB	(空港によって防音実施)
59	英国(ガトウィック)	$L_{eq,16h}$ 60 dB	住宅防音
	ドイツ	L_{day} 60 dB	住宅防音(新設・改良空港)
	スイス	L_{nt} 60 dB	住宅防音 II
	韓国	WECPNL 75 dB	住宅防音(3種区域)
58	日本	L_{den} 62 dB	住宅防音(1種区域)
	スペイン	L_d 60dB	住宅防音
57	ドイツ	L_{night} 50 dB	夜間・寝室防音(新設空港)
	スペイン	L_n 50 dB	夜間・寝室防音
55	オランダ	L_{night} 48 dB	夜間・寝室防音(土地利用規制)
54	オランダ	L_{den} 58 dB	住宅防音(土地利用規制)
53	オーストラリア	ANEF 20 dB	住宅防音(土地利用規制)
51	フランス	L_{den} 55 dB	住宅防音 zone III
46	フランス	L_{den} 50 dB	住宅防音(土地利用規制)

表-5 住宅防音の基準最低値の比較 ($L_{eq,24h}$ 基準化)

表-4 $L_{eq,24h}$ を基準とした指標間比較

	評価指標	$L_{eq,24h}$ との比較 dB	
		差の平均	標準偏差
P N L	WECPNL	+16.1	0.6
	NEF	-31.3	0.9
	ANEF	-32.9	0.2
	NNI	-15.6	0.7
	IP	+23.3	0.7
A 特 性 音 圧	L_{den}	+3.8	0.6
	$L_{den,France}$	+3.4	1.0
	L_{dn}	+3.0	0.7
	L_{VA}	+1.2	1.3
	Ke	-10.5	2.1
	$L_{eq,24h}$	0.0	0.0
	$L_{eq,day}$	+1.4	0.2
	$L_{eq,night}$	-6.6	2.1
	L_d	+1.5	0.2
	L_e	+1.2	0.5
	L_n	-7.1	2.0
$L_{eq,night 1h,max}$	-0.4	1.6	

さらにこの結果をもとに、各国の評価指標と基準を $L_{eq,24h}$ 相当に換算したうえで各国の比較を行った。表-5は、住宅防音工事の対策基準または建築制限時の防音義務付け基準の最低値(網掛け)を国別に比較したものである。住宅防音工事で最も低騒音に対して助成しているのはフランスの L_{den} 55dB ($L_{eq,24h}$ 相当 51dB)で、24hの騒音暴露に対する補償として次いで日本の対策基準 L_{den} 62dB (同58dB)が続く。ドイツ・スイスの昼間 L_{day} 60や韓国のWECPNL 75 (ともに同59dB)と同程度である。米国 L_{dn} 65 (同62dB)やオーストラリアのANEF 30(同63dB)は基準値としては高い方で、英国・ヒースロー空港の $L_{eq,16h}$ 69dB (同68dB)は最も対策基準値が高い。

夜間騒音に対する基準はドイツとスペインの L_{night} 50dB (同57dB)が挙げられる。欧州では夜間騒音に対する対策を実施している例が多い。(ヒースローも夜間騒音対策エリアがあるが、高騒音機の単発騒音(L_{AE})を対象とした範囲なので、ここでの検討にはない。)

補償としての防音工事対策を総括すると、手厚いのはドイツ・スペインの2国で、1日を通じた平均騒音暴露に対する対策の基準値が低いだけでなく、夜間騒音を想定した寝室防音も実施する。フランスは平均騒音暴露に対しては最も低い基準値で対策するが、夜間の寝室対策は実施して

いない。日本は24h騒音暴露に対する補償は平均的(やや手厚い)なグループに属する。夜間対策は法令にはないが、成田空港の夜間運航禁止時間帯(カーフェュー)の縮小に伴い、寝室防音工事対策を始めた。米国は補償対策の基準値はやや高めであり、積極的な補償対策姿勢は見えない。オーストラリアも同様である。オランダやオーストラリアは、防音工事対策はすでに完了しており、防音工事を義務付ける建築制限の基準値を補償対策よりも低めに設定している。

4. 騒音軽減のための音源側対策

4.1 着陸料金による低騒音型機の促進

航空機騒音の発生源対策のうち、代表的なものとしてICAO(国際民間航空機関)の航空機騒音証明制度が挙げられる。これにより航空機は騒音基準(当初の基準をChapter 2基準という)に適合しなければならず、1971年の発効依頼、Chapter 3, 4, 14と段階的な強化を図り今日に至っている。空港管理者を中心に、騒音証明制度だけでは高騒音型機の退役が加速しないとの懸念もあり、航空機運航の際に徴収する着陸料金に、騒音の大きさに応じて課金や調整を行い、低騒音型機の導入促進と高騒音型機の排除を目論んでいる。

騒音の大きさの判断には、ICAO騒音証明値を利用する方法(マージン量:基準力の余裕値で決定、騒音証明値の大きさで決定に分かれる)と像音実測値を利用する方法に区分される(図3)。

着陸料における騒音の大きさの決定方法

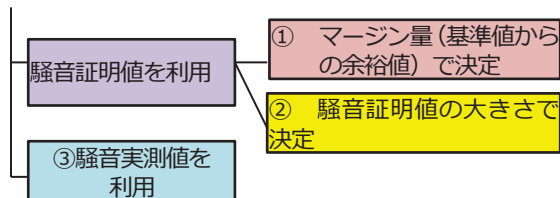


図3 騒音の大きさの決定方法の分類

また、課金の方法に「騒音によって着陸料金を調整する(料金調整型)」と「着陸料金とは別に騒音によって追加課金をする(追加課金型)」に分類される。着陸料金の設定は、国の方針やそれぞれの空港の取り組みによって異なる。騒音を考慮した着陸料金は欧州と日本・韓国等で実施する空港

がある。米国は連邦ルールとして、特別な運航制限や課金を行わない。

騒音を考慮した着陸料金を設定する目的は、I. 高騒音機の排除、II. 低騒音機の導入促進、III. 騒音対策費用の捻出と分類することができる。I. 高騒音機の排除では、欧州を中心にICAO Chapter 3基準にしか適合しない高騒音機に対し、高い騒音課金を行うものである。ヒースローでは、このカテゴリーに現実的ではない程の高料金設定をすることによって、実質的な排除をしている。また、イレギュラーな深夜運航に対しても5倍の課金をすることで、余分な深夜騒音の発生を抑えている。このスタンスは騒音実測値を利用するフランクフルトでも全く同じである。また、現時点で高騒音機の典型とするMarginal Chapter 3(累積マージンが5dB以内のもの)は、スペインでは昼間70%増し・夜間140%増しの高負荷を課し、パリではその運航禁止措置を講じている。II. 低騒音型機の導入促進は、より強いメッセージ性を表明する料金システムを採用する空港である。平均的な騒音の機種に対する最も低騒音のカテゴリーにおいて、フランクフルトでは騒音料の0.2倍、ヒースローでは着陸料の0.33倍、アムステルダムでは0.5倍、ブリュッセルでは0.7倍と、優遇を強く打ち出している。III. 騒音対策費用の捻出では、フランクフルトのノイズサーチャージ、フランスの騒音航空税(TNSA)、韓国の騒音負担金などが該当する。

これらのように、空港によって、料金設定において空港管理者の強い意志を明確におき、その代表としてヒースロー、フランクフルト、アムステルダム、ブリュッセルの欧州空港が挙げられる。

日本では、成田で騒音証明のマージン量を利用した騒音インデックス区分に基づき、着陸料の差別化を実施している。羽田では国際線着陸料金に、騒音証明値の大きさで決定される騒音料を付加している。国管理の国内線も同じような仕組みがある。また、大阪(伊丹)は騒音の大小が考慮された機種ごとの着陸料金を定める。ただし、いずれも代表例とした欧州4空港のような、高騒音機～低騒音機間の大きな差別化には及ばない。

4.2 夜間運航の規制

夜間の騒音は空港周辺住民への睡眠影響を及ぼすことが懸念される。このため夜間騒音を抑制するために夜間の運航規制をしている空港が多い。その方策には、運航禁止時間帯の設定(カーフェュー)、運航制限時間帯の設定、発着回数規制、運航枠制限などが挙げられる。

夜間運航禁止時間帯(カーフェュー、Curfew)は深夜時間帯における最も厳格な騒音抑制策といえる。フランクフルト(23:00~5:00、0:00までは遅延便を認める)、ミュンヘン(24:00~5:00)、デュッセルドルフ(23:00~6:00)、チューリッヒ(23:30~6:00)などドイツ、スイスの空港に設定される例が多い。このほかパリ・オルリー(23:30~6:00)もカーフェューがある。日本では成田で23:00~6:00のカーフェューが課されている。ただし、2019年にA滑走路は24:00~6:00に変更された。また、A滑走路では0:30まで、B滑走路では24:00までの遅延便(低騒音型に限るなどの条件付き)が認められている。シドニーでも23:00~6:00のカーフェューがあるがリージョナル機(プロペラ機、Bae 146)は例外としている。この結果、23時台~5時台の間に日平均12.0回(2018年実績)の離着陸がある。また、定期便は24時までの離着陸と5時台の着陸を認めている(ともに回数制限あり)。このため、シドニーは緩やかな夜間運航制限にとどまる。

運航制限時間帯の設定は、空港周辺地域との協定や空港と運航者との協力に基づき、ダイヤ設定時間に制限を設けるなどで、実質的な運航制限を設ける。ヒースローでは23:05~4:45の間定期便スケジュールは設定できず、1:00~4:30においては緊急時などの例外を除き離着陸はない。日本では定期便ダイヤ設定時間を設ける場合があり、福岡は7:00~22:00となっている。

発着回数制限(スロット制限)は一定時間あるいは期間内における航空機の運航回数に上限を設ける方式で、スロット制限とも呼ばれる。深夜時間帯の発着回数制限は内容も様々であり、夜間全体の離着陸回数を年間ベースで設定している空港(ヒースロー空港)や、1時間値などの設定方法を採用している空港(シャルル・ド・ゴール、ス

キポール、ブリュッセル空港等)も多くみられる。また、夜間運航制限の実施時に、運航制限前後の時間帯で回数制限を併用する空港がある。日本では新千歳空港で地元との協定により、22時~7時の間の運航回数を30回以下(うち、24時~6時までの間は6回以下)としている。

運航枠制限(Quota Count、ノイズクォータ)は、運航する航空機の騒音を点数化して、一定期間(6か月、1年など)内の上限合計値により運航数を制限する手法である。これには、機種別の騒音エネルギー値、または航空機騒音証明値を基にした個別値が用いられる。総騒音量の維持や削減のために適用されるが、運航者側はより静かな航空機を使用するほど多くのスロットが利用可能になるため、長期的には低騒音機を導入する方向へと促進される。ロンドン・ヒースロー、ガトウィックやマドリード、ブリュッセルなどでQC(Quota Count)という名称でこの方式が採られている。

4.3 騒音軽減運航

ICAOでは騒音軽減運航方式として離陸時の運航手順を定めている。日本でも離陸時には急上昇方式や着陸時にはディレイドフラップ方式などが用いられている。本節では、これら標準的に採られる手法以外で、新たな騒音軽減のための運航や工夫について概説する。

高降下角進入方式は、最終進入の最適降下角とされる3.0度よりも高い降下角で進入する方式である。欧州の多くの空港では、多くは障害物を避ける目的で高降下角進入を実施しているが、進入高度が上がって騒音も軽減されることを目的とした導入例は、フランクフルト空港(3.2°)のほか、ロンドンシティ空港(5.5°)がある。ヒースローでも試行期間を経て実運用に向け検討が重ねられている。羽田空港でも南風で好天時に都心上空を経由する進入方式に騒音軽減を目的とした3.45°の進入方式が導入されている。高降下角進入の騒音低減効果について、フランクフルトでは-0.3~-1.3dBと報告されている。

継続降下進入方式(CDA,CDO)は、航空機が着陸のための進入の際、水平飛行を行うことなく降下を継続しながら飛行する方式である。通常の着

陸は、降下区間の途中に一つまたは複数の水平飛行を行う必要があるが、水平飛行をせずに継続降下(Continuous Descend)することで、エンジン推力の低減、ひいては騒音低減と燃料削減を可能にする。これらの効力が発揮できるのは、最終進入経路以前の空港遠方である。欧州や米国でも燃料節減効果も狙って実施していることが多い。ただし、運航数が多い繁忙時間帯の実施に課題もあるので、継続降下進入は夜間や特定の経路に適用されることが多い。日本では関西空港のほか、羽田空港(南風時の一部着陸経路の千葉市付近の区間)で実施されている。

優先飛行経路方式は、飛行経路下で騒音影響が出る場合に際し、特定地域を迂回させたり飛行範囲を限定したりすることで騒音軽減する手法である。①内陸空港などで騒音を広範囲な地域に拡散させないための経路を設定する方法と、②海側や住宅地の少ない陸地の上空に経路を設定するものがある。図4はロンドン・ガトウィック空港の優先出発経路の例である。離陸の際に可能な限り住宅密集地区上空を飛行することを避けるため、離陸の騒音優先飛行経路を定めている。経路の逸脱監視と騒音の測定も行われる。優先飛行経路の取組みは、ロンドン・ヒースロー、ブリュッセル、シアトルなど多くの空港で行われている。

RNAV方式による人口密集地を避けた飛行経路設定は新技術の普及によって騒音軽減手法への適用の例と言える。GPS(全地球測位システム)の環境整備が進んだのに加え、航空機の高精度な測位システムが普及したことにより、GPSに基づ

く方式(RNAV方式)で指定された経路を正確に航空機が飛行することができるようになった。そこで人口密集地を避けて飛行経路を設定し、騒音影響を減らす空港がある(フランクフルト、マドリード空港等、図5はフランクフルトの着陸経路の例)。

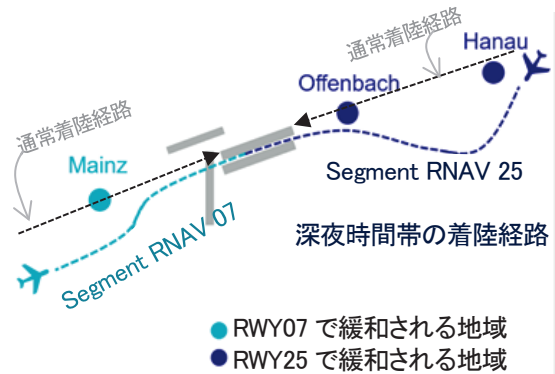


図5 フランクフルト空港のRNAV進入経路

リバース推力制限は、着陸したのち速度を落とすためエンジンを逆噴射させて行う制動(リバース)の使用推力を制限する。リバース推力は連続的に変更可能だが、最も強いフルリバースか、最も弱いアイドルリバースが主に使用されており、騒音軽減のためにアイドルリバースを使用することを求める。ただし、気象条件(風向など)や滑走路の路面状況(雨や雪など)、滑走路長などの条件によっては制限できないため、安全に支障ない範囲で実施される。多くの海外空港で制限を設ける例が多い。多数は夜間時間帯を対象とするが、フランクフルト・ミュンヘン空港などは全日で制限する。日本では、大阪空港で19時以降に制限を課し、福岡でも同様の制限を最近始めた。

4.4 レスパイト・ノイズシェア

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、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。レスパイトの代表例は、ロンドン・ヒースローで、西風(RWY 27)運用時、6:00~15:00と15:00~最終便までの間で、着陸用と離陸用滑走路を北側と南側で入れ替えをする。ただし、東風(RWY 09)

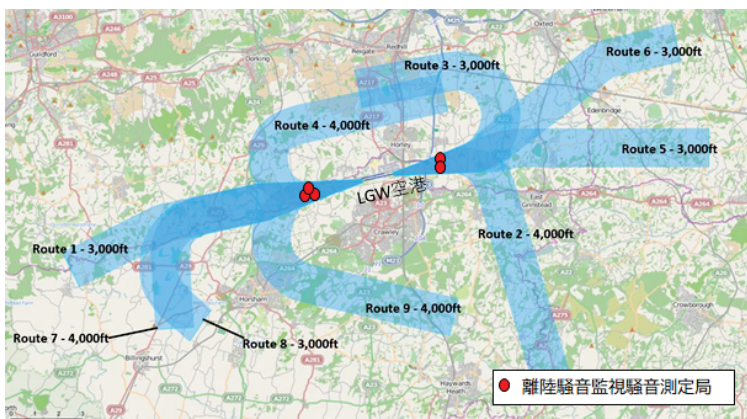


図4 ガトウィック空港の騒音優先出発飛行経路

運用時には着陸は北滑走路、離陸は南滑走路を用いる。深夜時間帯は、運用する滑走路を1本に限定し、4週間サイクルで運用方向と滑走路の入れ替えを行う。深夜の運航の工夫は、フランクフルトでも実施される。夜間運航の原則禁止時間帯は6時間だが、運用の工夫によって静穏時間を7時間とするレスパイト方式を採用している。この方式は、成田空港の機能拡張計画後にも運用される予定である。

ノイズシエアは滑走路の運用を工夫し飛行経路も分散することによって、空港周辺への騒音を多くの地域で分担する考え方である。シドニー空港では、空港を中心とした東西南北の各地域への運航割合目標をあらかじめ設定している（北17%、南55%、東13%、西15%、南が多いのはできるだけ洋上を利用するため）。しかし、実際の運用は、東西方向の滑走路を用いた際に生ずる運航処理能力減の課題から、目標に従ったノイズシエアは実現できていない。深夜時間帯のノイズシエアはシカゴ・オヘア空港でも実施している。

5. 空港構造・施設の改良

空港構造の改良には、騒音発生源である空港を、滑走路移転や新空港建設によって影響を受ける市街地から遠ざける方策と、空港から出る騒音を防音壁や防音堤によって遮蔽する方策が含まれる。

騒音対策のために、滑走路や空港を移転する例は、ほぼ日本に限られる。関西および中部空港は伊丹および名古屋空港の騒音問題の抜本的解決のために建設した海上空港である。北九州空港も市街地から、空港島を建設し海上に移転した。羽田空港も、航空需要の増加と騒音問題を解決するために空港の沖合展開事業が進められた。以前にあった3本の滑走路は順次移転拡張され、平成9年3月の新C滑走路が供用したことにより、騒音影響は大きく低下するとともに首都圏の24時間空港が実現した。海外では、香港市街地にあった旧空港(啓徳)の老朽化、拡張困難、騒音の課題から、約30km離れた海上に空港島を建設し新空港(チェクラップコク)を建設した。

空港からの騒音を低減するために、空港周囲に防音壁を建設している例は海外空港にもみられる。フランクフルト、ブリュッセルは空港内地上騒音の周辺への伝搬を遮るために高さ10m程度のものを設置している。滑走路側方に盛土をした防音堤は日本の成田、伊丹が代表例である。ハンブルグにもリバーズ騒音の低減を目的とした土手を滑走路脇に置いている。アムステルダムでは、離陸滑走開始時の騒音を低減するために、滑走路とその側方住居地域の高さ3m程度の尾根上の土手を幾層にも配置した防音堤がある。

整備に伴うエンジン試運転の騒音を低減する施設を用意する空港も多い。エンジン試運転騒音が多く空港で問題となっていることの証しでもある。格納庫型で相当な消音能力を持つ施設は、ミュンヘン、デュッセルドルフ、ハンブルグ、チューリッヒ、成田にある。これらの空港では24時間運用が可能になっている。屋根部分はないが、3方向を吸音能力を持った大型のフェンスで囲む施設もある。アムステルダム、マドリード、シカゴ、伊丹に設置されている。

6. 地域共生

空港と周辺地域の共生のための方策として、空港および周辺地域のステークホルダーの参加する協議体が設けられる。これらは、空港や住民に対して中立な位置で運営されることが多い。日本を含め欧州・米国でも多くの空港でこのような協議体が設けられ、空港運営および環境対策について協議している。枠組みについて決まったものは無いが、オランダのスキポール空港のORSやフランスのACNUSAなど国の法律上で定義される協議会や行政機関もある。

7. 情報公開

情報公開は環境情報全般を周知するためのものと、騒音や経路のリアルタイム情報を見せるものに大別される。前者は空港運営や運航の情報、防音工事などを説明するもので、騒音測定結果などの分析情報もこれに含まれる。空港によって、

現況や将来の騒音コンターを公開している空港も欧米に見られる。後者のリアルタイム情報は騒音・経路・苦情受付をセットにしたものがやはり欧米の空港に多い。日本でも騒音と経路の情報を公開している空港も増えてきたが充実度は前者に譲る。

8. 航空機騒音対策の総合分析

ここまで、世界の主要空港の航空機騒音対策を簡単に振り返った。各国および空港で行うその対策は、それぞれの特徴を考慮して、最も費用対効果に優れた方法により騒音問題に取り組んでいる。表-6は世界の主要空港での騒音対策を、発生源対策、空港構造の改良、受音側対策、共生・情報公開に区分して、重点度合いに分類したものである。対策を実施しているもののうち、重点度・注力度に応じて「◎」→「○」→「△」とした。実施していない対策は「×」、実施不明は「空欄」である。なお分類は、調べて得た情報を基に筆者の主観でランク付けした。また、図-5は区分ごとに点数化(◎3点、○2点、△1点)したスコアを図示した。

欧州空港は総じて騒音対策に手厚く取り組んでいる。最も充実しているのはフランクフルト

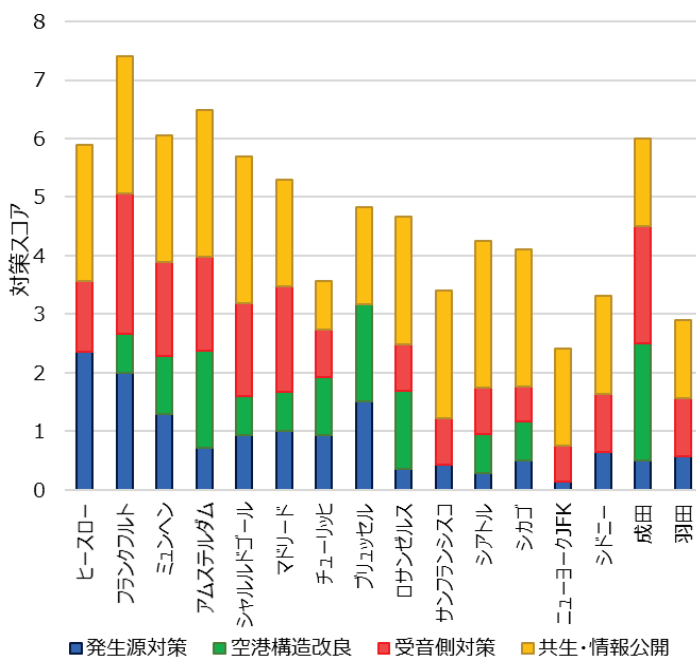


図5 主要空港の騒音対策スコア比較

で、発生源側の対策だけでなく防音工事などの受音側の対策にも手厚く、情報公開も注力している。欧州空港は発生源対策も重点的に実施している。ヒースローは受音側対策よりも騒音別着陸料や夜間運航制限・レスパイトなどで発生する騒音を抑えることに重点を置いているようだ。アムステルダムも同じ傾向があり、受音側対策としての防音工事はすでに終了しており、低騒音型機の促進や運航の工夫によって騒音暴露を抑制する方針が見える。ブリュッセルも同様で、住宅防音工事対策を講じていないものの、音源側対策で可能な限りの騒音低減を図る。

一方、パリ(シャルル・ド・ゴール)は、受音側対策としての防音工事と土地利用に重点を置く。1970年代に郊外に新設された空港で、市街地にあるヒースローなどと様子が異なり、空港周辺地域への後住者(流入者)を防止することに注力していると考えられる。

米国は、連邦が定める騒音対策のガイドラインに基づき各空港が実施する。しかし、騒音による着陸料金や運航規制を行うことはできない。防音工事は L_{dn} 65dB(カリフォルニア州は L_{den} 65dB)以上の範囲でのみ対策できるが、土地利用規制との連携がうまくできておらず、騒音地域への流入居住者に苦慮している。

情報公開は欧米とも積極的で、細やかな情報公開によって住民理解を得ようとする姿勢が見える。補償対策より、住民理解の促進が空港運営に繋がると考えるのだろう。地域共生のための協議会も、複数の協議体があったり、法律で設置が規定されたりする。

日本はこれまで補償による受音側対策が主だったが、運航数の増大とともに空港遠方地域からの苦情などもあり、補償対策外の居住者の理解を得ることが重要になってきた。このため、さらなる騒音軽減運航方式やより充実した情報公開などにも取り組み始めている。

