海外空港

# マドリード空港（LEMD / MAD）

## 1.概況

### 1.1 空港の概況

スペインの中央部に位置するマドリード自治州の州都マドリードは人口327万人の大都市である。マドリード空港は、市街地から北西約12kmに滑走路4本を有する大きな国際空港である。正式名称はアドルフォ・スアレス・マドリード・バラハス空港(以下、マドリード空港またはMAD空港とする)という。英語表記ではA.S. Madrid Barajas Airportと記されることが多い。市街地からは鉄道(地下鉄・郊外線)でつながっており、アクセスは良い。

国が51%の株式を保有する上場企業であるAENA(Aeropuertos Españoles y Navegación Aérea：英語ならSpanish Airports and Air Navigation)が運営する。AENAはスペイン国内の46の空港と2つのヘリポートの運営を行うほか、イギリス、ブラジル、メキシコ、ジャマイカ、コロンビアの5カ国で23の空港の運営にも関与している。

マドリード空港は1933年に民間輸送が始まったが、1970年代以降の航空交通量の伸びに伴って拡張を繰り返してきた。当時は現在のターミナル1を中心に3本の複雑な交差形態の配置だった。1988年には空港敷地を北側に拡張し現在の36L/18R滑走路を運用した。2006年には北側と南側にそれぞれ平行滑走路を増設した結果、現在では4つのターミナルと4本の滑走路を持つ総面積4,000haの大きな空港になった。離着陸回数は426,053回(2019年)、旅客数は6,170万人、取扱貨物は55.8万トンで、欧州でも屈指の空港(旅客取扱数2018年で欧州5位)である。

図1　マドリード空港と周辺地域 (黄破線は住居集落、青破線は工業地域、筆者記載)

### 1.2 環境対策の概況

図1に示すように、空港の西側には人口密集地のマドリード市街地が広がっている。しかし空港周囲は、近郊地域で、住居集落と郊外地(農地が多い)、工業地域が点在した形になっている。それでも空港南西部には住居地域(バラハス地区)が近接している。飛行経路下にも多くの住居地区があるため、騒音問題は空港運営の重要な課題項目になっている。

国の定める法律によって、環境管理目標としての騒音の目安が示されるが、実際の騒音対策は空港管理者であるAENAが実施している。

航空機の運用の工夫による環境対策は、優先滑走路や住居集落を避けたRNAV経路の設定などを行っている。発生源対策として、低騒音型機の誘導策や深夜時間帯の高騒音機就航制限をとるが、厳しい姿勢を持つとまでは言えない。受音側対策として、住宅への防音工事を行っている。昼間を対象とした区域のみならず、夜間騒音を対象にした区域も設定している。騒音監視装置や情報公開などの取り組みも実施している。

## 2.空港運用状況

### 2.1 滑走路の配置

マドリード空港の滑走路は空港敷地の北側部分に南北方向のオープンパラレル滑走路36L/18Rと36R/18Lが、南側部分に北西・南東方向のオープンパラレル滑走路32L/14Rと32R/14Lを配置している(図2および表1)。北向き運用が優先滑走路であり、年間の73.6%(2019年)が運用される。7〜23時の昼間の時間帯はどちらの運用方向であっても、パラレルの滑走路をほぼ均等に使っている。23時から翌朝7時までの深夜の時間帯は、騒音対策のために優先して使用する滑走路を北向き運用では36L離陸と32R着陸、南向き運用では18L着陸と14L離陸に指定している。また、効率的な運用と騒音対策のために、着陸スレッショールド(THR)を500〜900m程度内側に移設している。

表1　マドリード空港の滑走路配置

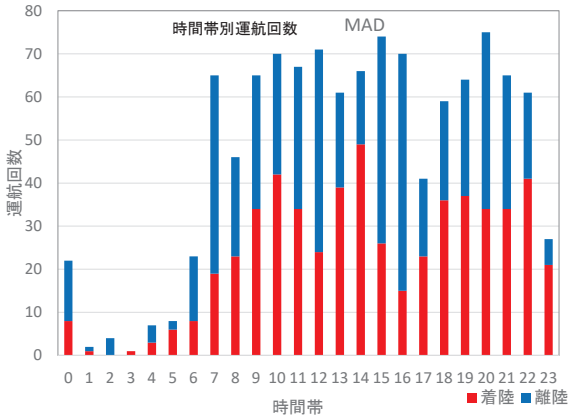
| 滑走路 | 滑走路長 | 着陸THRのDisplaced | 北向き運用(優先) | | 南向き運用 | |
|---|---|---|---|---|---|---|
| | | | 昼間 | 深夜 | 昼間 | 深夜 |
| 36L/18R | 4,349 m | 18R 814 m | 離陸 | 離陸 | 着陸 | |
| 36R/18L | 3,500 m | 18L 500 m | 離陸 | | 着陸 | 着陸 |
| 32L/14R | 4,100 m | 32L 928 m | 着陸 | | 離陸 | |
| 32R/14L | 3,500 m | 32R 500 m | 着陸 | 着陸 | 離陸 | 離陸 |

### 2.2 時間帯別や機種別の運航状況

図3にマドリード空港の運航状況を示す。上段図は時刻別運用状況である。運航頻度が高い時間帯は7時から22時台の間で1時間当たり60回程度の運航があり、1日の運航総数は約1,100便である。この空港は24時間運用で、6時台、23〜0時台は時間当たり20便程度の運航があり、1〜5時台にかけても運航数は少ないものの離着陸がある。

下段図は、機種別運航回数グラフだが、A320(A319やA321を含む)が最も多く全体の40%を占める。次いでB737シリーズが約20%である。CRJなどのリージョナル機も約10%ある。これらを合わせた小型機(単通路機以下)は85.5%に及んでいる。B777以上の大型機は極めて少ない。中大型機の中心はこの空港をホームベースとするイベリア航空も運航するA330である。B787も運航が伸びているようだ。これらを合わせると15%の中大型機運航がある。

図2 マドリード空港・滑走路配置と運用方向



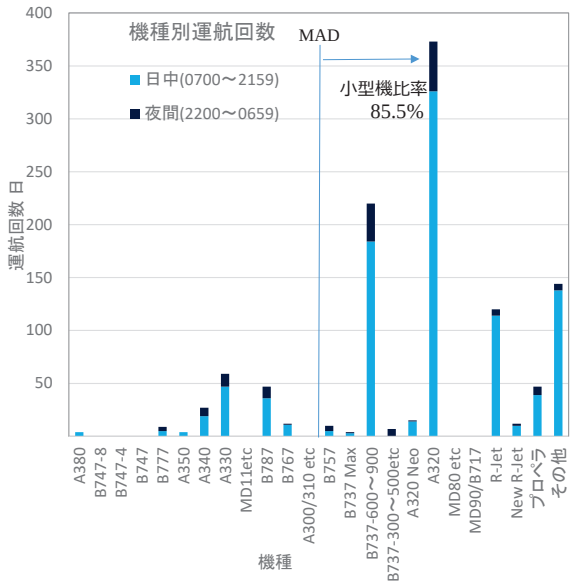




図3　時間帯別離着陸回数と機種別運航回数
(2018.12.13の例、Flightrader24から)

## 2.3 滑走路別の運用状況

マドリード空港では運用効率と騒音対策の観点から北向き運用が優先(Preferential)となっている。また、昼間(7～23時)はそれぞれの平行滑走路をおおよそ均等に用いるが、夜間(23～7時)は騒音対策上の観点から優先的に使用する滑走路を定めている。図4は2019年の年間運航割合を滑走路別に比率で示したものだが、北向き運用割合は昼間で72.6%、夜間では82.8%に達する。10ノットまでの追い風条件なら北向き運用を用いる。また、図からも理解できるように、夜間の時間帯は北向き運用では36L離陸と32R着陸を、南向き運用では18L着陸と14L離陸を優先的に用いている。

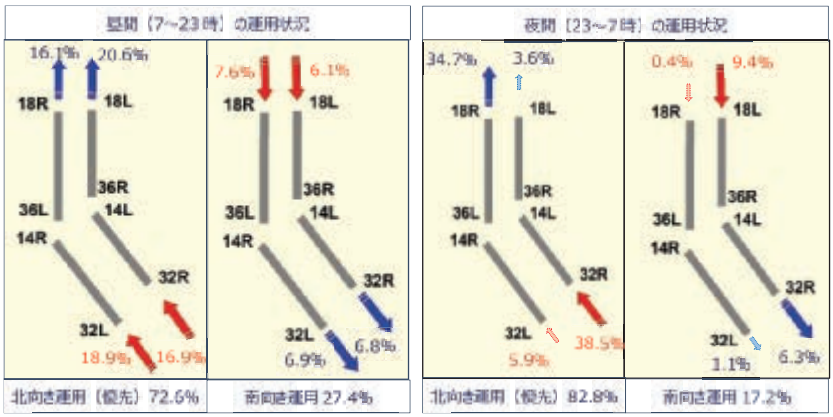



図4　滑走路・運用方向別の運用割合(2019年)

## 3.空港周辺の土地利用状況

図1に示すように、空港から南西部側がマドリード市街地に連なる方向で、空港との境界付近にはバラハス地区など住居が多い地域も存在する。また、工業地域も計画的に配置されている。空港東側や北側は近郊地域で、農地と住居集落が点在している。

## 4.環境負荷を考慮した着陸料金

マドリード空港では1回あたりの着陸に対して最大離陸重量(MTOW)トン当たりの着陸料金単価を設定するが、ICAO騒音証明値のマージン累積値に応じた騒音カテゴリーによって割り増しを行う仕組みを採用する。

着陸料金=8.269210€ / トン×MTOW ×NC
NCはNoise Categoryによる割増率(%)

表2　騒音証明値によるサーチャージ

| Noise Category | 累積マージン※ | 割増率 | |
|---|---|---|---|
| | | 7:00-22:59 | 23:00-6:59 |
| Category 1 | 5EPNdB未満 | 70% | 140% |
| Category 2 | 5EPNdB以上<br>10EPNdB未満 | 20% | 40% |
| Category 3 | 10EPNdB以上<br>15EPNdB未満 | 0% | 0% |
| Category 4 | 15EPNdB以上 | 0% | 0% |

※ICAO騒音基準Chapter 3基準値と騒音証明値の差の合計

騒音カテゴリーはマージン量の合計値が15dB以上のものが最も低騒音側に区分される。10dB以上のカテゴリー3がICAO騒音基準Chapter 4に該当するランクとなる。しかし、表2でも理解できるように、カテゴリー3や4に対しては割増(割引も)を設定しているわけではなく、実質的にはChapter 3基準にしか該当しないものに対して上乗せペナ

ルティーを設定しているにとどまる。なお、割増は深夜の時間帯に対して、その割合が大きくなる。しかし、ヒースローなどの高騒音排除に積極的な空港に比べると、高騒音機に対する重みづけは少ないものにとどまる。

また、エミッションチャージは課していない。

## 5.空港周辺環境対策

### 5.1 評価指標と基準

EU Directive 2002/49/EC (END：欧州環境指令)に基づく国内法(Lay 37/2003 on Noise, RD 1513/2005)があり、$L_{den}$ 55dBと$L_{night}$ 50dB以上の騒音にさらされる人口を減らすべく、5年ごとにノイズマップと騒音問題解決のための行動計画作成を課している(戦略的ノイズマップの作成 Strategic Noise Map :SNM)。さらに、Lay 37に基づくRD 1367/2007では環境騒音管理のフレームワークについて示し、土地利用条件ごとに騒音の上限を定めている。表3に示すように、昼間・夕方・深夜の時間帯区分ごとの等価騒音レベル(厳密には、周波数トーンの補正、低周波の補正、衝撃性の補正が加わる)$L_d$, $L_e$, $L_n$のそれぞれに騒音の上限値が設定されている。評価期間は年間平均に加え、日の評価値も定められている(表の値+3dB)。さらに最大騒音レベルの基準もある(日ごとの最大騒音の97%は表の値を超えない)。

表3　騒音法に基づく土地利用条件ごとの騒音上限

| | 既存の都市化エリア | $L_d$ | $L_e$ | $L_n$ | $L_{Amax}$ |
|---|---|---|---|---|---|
| e | 医療・教育・文化施設 | 60 | 60 | 50 | 80 |
| a | 住宅 | 65 | 65 | 55 | 85 |
| d | C以外 | 70 | 70 | 65 | 88 |
| c | レクリエーションと娯楽 | 73 | 73 | 63 | 90 |
| b | 工業 | 75 | 75 | 65 | 90 |

道路、鉄道、空港に対する騒音の制限値
新設のインフラに対しては$L_d$, $L_e$, $L_n$は5dBを減ずる
$L_d$, $L_e$, $L_n$について
d 7:00～19:00、e 19:00～23:00 n 23:00～7:00
年間平均値は表の値を超えないこと
日の値は表の値+3dBを超えないこと
$L_{Amax}$
毎日の値の97%は表の値を超えないこと

### 5.2 騒音対策の枠組み

スペインの騒音法(Lay 37/2003 on Noise)に基づき、騒音に応じた土地利用計画(Easements for Land use planning)を策定し、騒音区域を指定し、騒音対策計画(Noise Action Plan: NAP)を行う。計画の実行は空港管理者であるAENAだが、計画の承認は国や周辺自治体および空港環境の代表者によって構成される委員会がこれにあたる。地方自治体は、騒音対策プランを都市計画に統合する。マドリード空港では、騒音対策計画の対象として、$L_d$ 60dB、$L_e$ 60dB、$L_n$ 50dBの騒音コンターの範囲としている。また、NAPはICAOのバランスドアプローチに従ってデザインされ、以下のような項目がある。

騒音源の低減、騒音軽減運航、航空機の運航の制限、住宅への防音工事、騒音と経路のモニタリング

### 5.3 補償(住宅防音工事と移転)

騒音法に基づき、AENAは防音工事スキーム(Noise Insulation Plan :NIP)を策定した。対策は将来を想定して予測した$L_d$ 60dB、$L_e$ 60dB、$L_n$ 50dBのコンターの範囲に存在する住居と学校や病院・文化施設に対して防音工事を行う。対策範囲を示した適用日に存在する建物が対象である。防音工

図5　マドリード空港の防音工事範囲(NIP)

事のターゲットはRD1367/2007に示される室内空間の騒音基準を満足することである(住宅の居間では$L_d$、$L_e$とも40dB、寝室では$L_n$ 30dB)。

$L_d$, $L_e$, $L_n$の時間帯ごとの平均騒音指標と、1日の騒音量を時間帯によって重みづけした$L_{den}$では直接の比較はできないが、$L_d$および$L_e$の60dBは日本の防音工事対策である$L_{den}$ 62dBと同等だと考えられる。また、夜間時間帯のみを対象とする$L_n$は、日本では対策の基準としては採用されていない。図5のコンターを見れば、$L_d$や$L_e$よりは明らかに広い範囲が対象となっている。

防音工事の実施内容は、対象の家屋の状態と屋外騒音を勘案して、二重窓の設置、外壁の防音、屋根の防音などの工事内容が個別に決定される。なお、対策範囲境界付近で、屋外と室内の騒音基準から判断できる必要計画遮音量は居間、寝室ともに最低20dBと考えられる。AENAでは、二重窓化によって少なくとも5dBの防音性能向上が見込まれると謳っている。この防音工事プログラムは2000年から始まっており、2018年までに12,902件が終了し、残っているのは434件、また費やした費用は1億6千万€と公表している。これを1件当たりの単価にすれば12,400€(約150万円/件)となる。

写真1　RWY32L経路下にある住宅地の二重窓

原則的に移転補償はないものの、例外的な措置として、滑走路端付近にあった住戸を別の地区に移転した事例がある。南側滑走路RWY32R端付近の経路下にあった場所では騒音があまりにも大きいため、市とAENAの取り決めのもとに、70戸の新しいビルをダウンタウンに建築した。

### 5.4 土地利用規制

騒音対策計画(NAP)基づく騒音区域(Noise Easement)を指定するが、これはすなわち土地利用規制となる。$L_d$ 60dB, $L_e$ 60dB, $L_n$ 50dBの範囲内には新規の住宅建築等が制限される。

### 5.5 騒音低減のための施設

エンジン試運転のための施設として、ターミナル地区のエプロンに3方向を防音壁で囲んだランナップ施設がある(図2)。エンジン試運転はこの場所でのみ行う。

## 6.騒音軽減のための方策

騒音軽減運航方式として、出発機は急上昇方式を使用することがAIPで公示されている。1500ft以上で離陸推力から上昇推力に減じ、3000ftでフラップ引き上げといった手順は日本のAIPで示される手順と同じである。

離陸経路をRNAV化することによってばらつきを抑え、また、住居集落を外れるよう設計する騒音影響の最適化も行っている。図6を見ると、左の変更前経路ではばらつき幅が広いが、右のRNAV経路化後では、ばらつきが小さくなり、かつ、緑色で区別した住居集落を避けながら飛行している様子がわかる。

APUの使用制限も実施している。GPU整備スポットでは地上施設を用いること、APUの使用は到着(スポットイン)の2分後および出発(オフブロック)の5分前に限定している。

なお、AIPでは騒音のモニタリングと飛行経路の監視をしていることを明確にしている。ただし、その結果として罰則規定などはないので、騒音影響への配慮を述べているにとどまる。

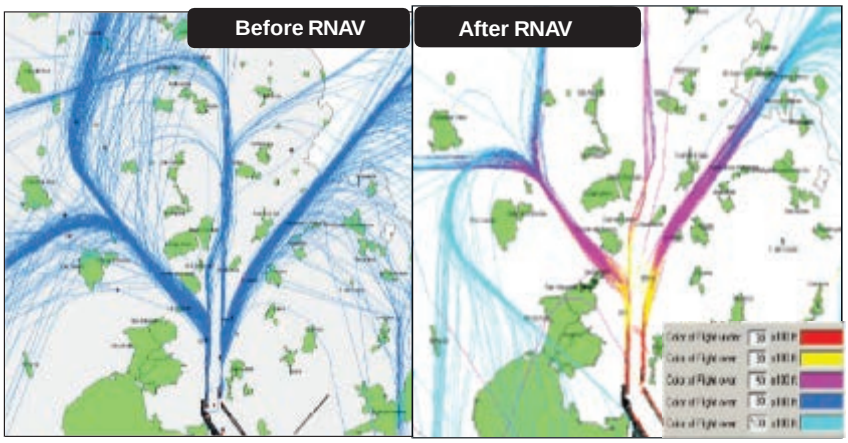



図6 RNAV最適化経路への変更

## 7.深夜時間帯の運航

### 7.1 深夜時間帯の運航制限

23:00～7:00を区切りとする深夜時間帯には、騒音証明値を用いたノイズクォータ(CR)による運航禁止措置がある。表4にノイズクォータ適用表を示す。個別の航空機ごとに離陸と着陸それぞれでCRを算定する。算出の方法も区分もヒースローのものと同じである(ヒースローはさらに低騒音側の0.25がある)。深夜時間帯にはCR4以上の航空機の運航ができない(30分の遅延は認める)。しかし、CR4以上に該当する機種はB747-400やB747 Classicなどであり、率直に言えば有効な機種制限にはなっていない。

表4　ノイズクォータ

| EPNdB | Noise Quota (CR) |
|---|---|
| More than 101.9 | CR16 |
| 99-101.9 | CR8 |
| 96-98.9 | CR4 |
| 93-95.9 | CR2 |
| 90-92.9 | CR1 |
| Less than 90 | CR0.5 |

離陸：最大離陸重量における離陸証明値と側方証明値の平均
着陸：最大着陸重量における着陸証明値-9dB

空港南西部には空港敷地と隣接住宅地が近接している地区がある。このため、夜間は航空機の移動を禁止しているエプロンがある(図2参照)

### 7.2 騒音軽減のための措置

深夜時間帯(23～7時)の時間帯には優先滑走路方式が取られ、北向き運用では36L離陸と32R着陸を、南向き運用では18L着陸と14L離陸を用いる。さらに運航する経路も限定している。

着陸機ついては連続降下(CDA：Continuous Descent Arrival)方式がAIPで示されている。適用時間はIFR機23:00～6:00である。

着陸時のリバーススラストの使用制限も課されている。23:00～07:00の間は、原則アイドルリバースまでとしている。

深夜時間帯にはGPU設備のないスポットでもAPUの使用制限が課せられる。到着(スポットイン)の10分後および出発(オフブロック)の10分前を除きAPUの使用禁止としている(但し、ワイドボディ機はそれぞれ15分、50分)。

## 8.地域共生の仕組み

空港と自治体や地元住民との協調の仕組みとして、マドリード空港では環境モニタリング委員会(CSAAM)が組織されている。2003年に創られ、構成者は、環境省・航空局・AENA・航空管制・地方政府・地元協議会の代表である。ここには騒音ワーキンググループ(GTTR)が組織され、CSAAMによって任命された技術者が、空港周辺の騒音改善を目的とした取組みと提案を行う。

## 9.環境監視と情報公開

マドリード空港周辺には22の航空機騒音監視装置を設置している。飛行経路と合わせSIRMAシステムと呼んでいる。航空機騒音の観測は、航空機騒音の自動監視に関する国際規格ISO 20906に準拠し、2018年にはENAC(スペインの品質認証機関)

写真2 SIRMA騒音監視(マイクロホン)の例

図7 騒音情報公開(Interactive Noise Map :WEBTRAK)
空港周辺の○は騒音監視局、数字は騒音瞬時値

による認定を受けている。認定取得は公正さと正確さを担保することにつながると考えているようだ。

ISO 20906はマイクロホン高さを少なくとも6m以上と要求する。写真2はRWY32L経路下の測定局(公民館の屋上)だが、ここでも基準通りの設置をしている。航空機による騒音かを識別する仕組みはついていない。(騒音レベル変化と飛行経路から判定する)

図7には騒音情報公開の例を示す。対話型のWebシステム(WebTrack)を使っている。ここでは航空機の運航の様子と騒音の変化などが、現状(ただし30分遅れ)もしくは過去2か月の範囲で見ることができる。

AENAは別に環境事務所(Environmental Care Office)を設け、苦情の受付や環境情報の提供を行っている。2018年の苦情数は2,018件で、苦情の約9割はWeb経由で来るらしい。

## 10.その他

内陸部にあるマドリード空港は、空港周辺地域が市街化されていない地域が多いとはいえ、騒音をはじめとする環境対策は必要不可欠な要素である。また、大気質の常時観測を空港内外の3か所で実施しているなど、他の環境項目にもずいぶんと気を配っている。残念ながら、騒音対策のうち特に発生源対策については、騒音料金設定や高騒音機の乗り入れ規制などで国のルールに従って実施せざるを得ないところがあるようだ。空港管理者AENAとしてはもっと強く抑制したいとの思いではないだろうか。

また、情報公開や地域共生では、正確性(Accuracy)、透明性(Transparency)といったキーワードが出現することが多く、空港の負の影響に対しての取組み姿勢が見える空港である。

参考資料

1) AIP ESPANA AD2-LEMD MADRID
2) ANEA 環境 ホームページ
http://www.aena.es/en/madrid-barajas-airport/environment.html
3) Madrid Airport Environmental Report 2017
4) Annual Noise Report Madrid 2019
5) Environmental Management AENA 2018
6) ISO 20906, Acoustics — Unattended monitoring of aircraft sound in the vicinity of airports
7) J.T.Ibanez, The Noise as a Reagional Plannning Variable. The Case of Madrid-Barajas and Barcelona El Prat Airports