

我が国の航空機騒音調査の現状

平成 24 年 11 月 24 日 (土)

日東紡音響エンジニアリング株式会社

DL 事業部 忠平 好生

tadahira@noe.co.jp



目次

- 航空機騒音について
- 騒音
- 航空機騒音の評価方法
- 航空機騒音の測定方法
- 航空機騒音の自動測定
- 航空機騒音の面的評価と将来予測



航空機騒音について

- 航空機騒音とは
 - 日常的に発生する騒音の中では、最も大きな騒音源
 - 一般の騒音が局所的、多発的なのに対し、航空機騒音は地域全体の広範囲に影響を及ぼす
- 航空機騒音に係る環境基準
 - 環境基本法(1993)に基づく基準で、前身の公害対策基本法(1967)に基づいて、生活環境を保全し人の健康の保護に資する上で維持されることが望ましい航空機騒音に係る基準(昭和48年環境省告示154号)として定められた
- 航空機騒音測定・評価の目的
 - 環境基準達成状況の把握
 - 航空機の騒音証明
 - ICAOが定めた航空機重量毎の騒音基準
 - 空港への航空機材の乗り入れ制限等の政策に利用



騒音

- 音, 騒音の定義
- 等ラウドネス曲線
- 騒音レベル



音, 騒音の定義

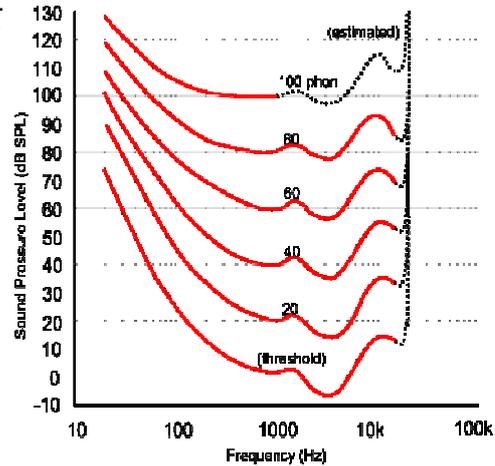
- JIS Z 8106:2000「音響用語(一般)」より
 - 音(音響振動)
 - 弾性媒質中の粒子がその平衡位置を中心として行う運動
⇒物理現象としての「音」
 - 音(可聴音)
 - 聴覚を引き起こされる音響振動
 - 音響振動によって引き起こされる聴覚
⇒人の感覚としての「音」
 - 騒音
 - 不快な又は望ましくない音, その他の妨害
⇒漠然とした情緒的な主観量(騒音問題の難しさ)
⇒人間の感覚に対応した評価が求められる



等ラウドネス曲線

■ ISO 226:2003「Acoustics -- Normal equal-loudness-level contours」

- 人の聴覚は周波数によって感度が異なる
- ラウドネスレベル
 - 聴感上の音の大きさ
 - 単位はphon
- 可聴範囲
 - 音圧レベル: 0~120dB
 - 周波数: 20~20kHz



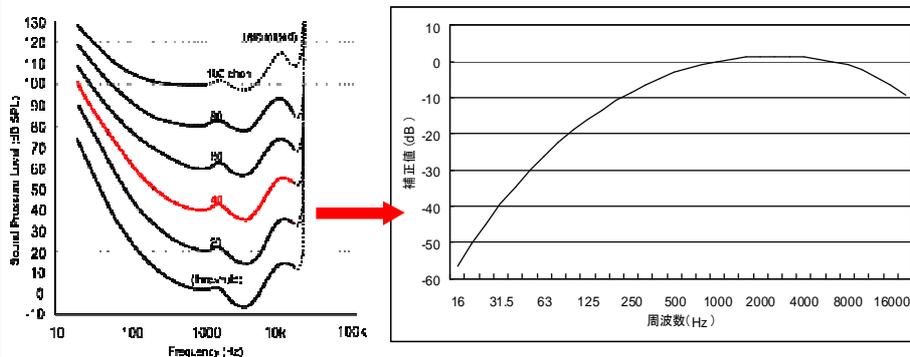
5



騒音レベル

■ 周波数補正回路「A特性」

- 40phonの等ラウドネス曲線の逆特性を近似
 - ⇒ A特性音圧レベル=騒音レベル



6



航空機騒音の評価方法

- WECPNL
 - 加重等価平均感覚騒音レベル
 - 航空機騒音の長期連続曝露の指標としてICAO(国際民間航空機構)が提案したもの
 - 我が国では独自の簡略化を行い, 昭和48年から現在まで航空機騒音の評価指標として採用
- L_{den}
 - 時間帯補正等価騒音レベル
 - WECPNLの「逆転現象」の解消, 国際動向への整合性を図るため, 平成25年4月から新たな航空機騒音の評価指標として採用



WECPNL(加重等価平均感覚騒音レベル)

$$WECPNL = 10 \log_{10} \frac{1}{N} \sum_i^N 10^{\frac{L_{A,Smax,i}}{10}} + 10 \log_{10} N_w - 27$$

$$N = N_d + N_e + N_n$$

$$N_w = N_d + 3N_e + 10N_n$$

$L_{A,Smax,i}$: 1日の*i*番目の1機毎の最大騒音レベル

N : 1日の航空機騒音の測定回数

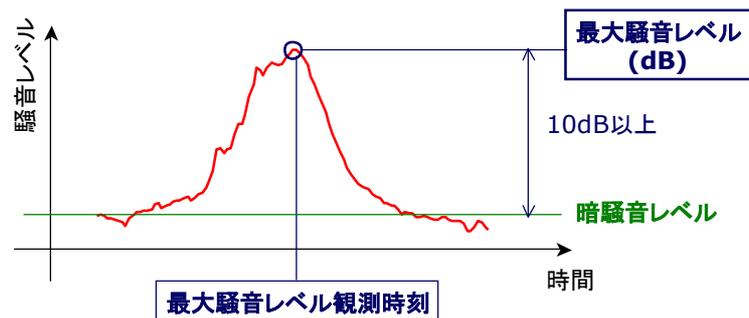
N_d, N_e, N_n : それぞれ昼間(7:00~19:00), 夕方(19:00~22:00), 夜間(22:00~7:00)の測定回数

N_w : 時間帯毎に重み付けした測定回数

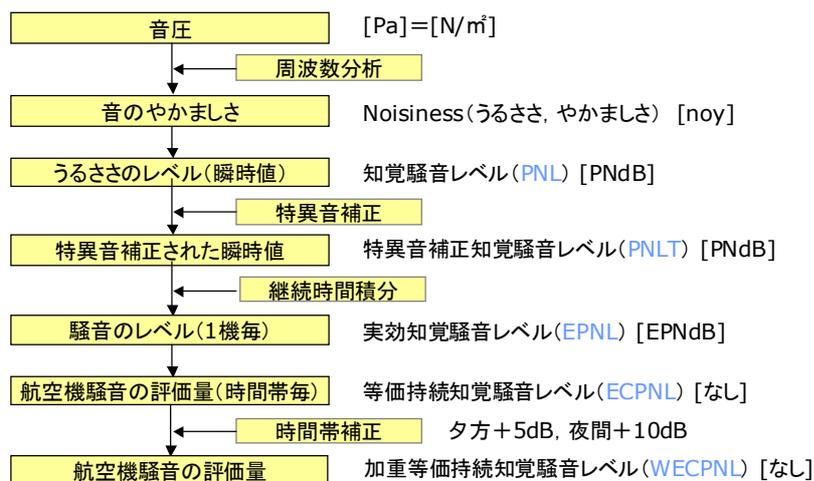


WECPNLの測定

- 最大騒音レベル ($L_{A,Smax}$)
 - 航空機騒音発生時の最大騒音レベル
(暗騒音より10dB以上大きいもの)
- 最大騒音レベルの観測時刻

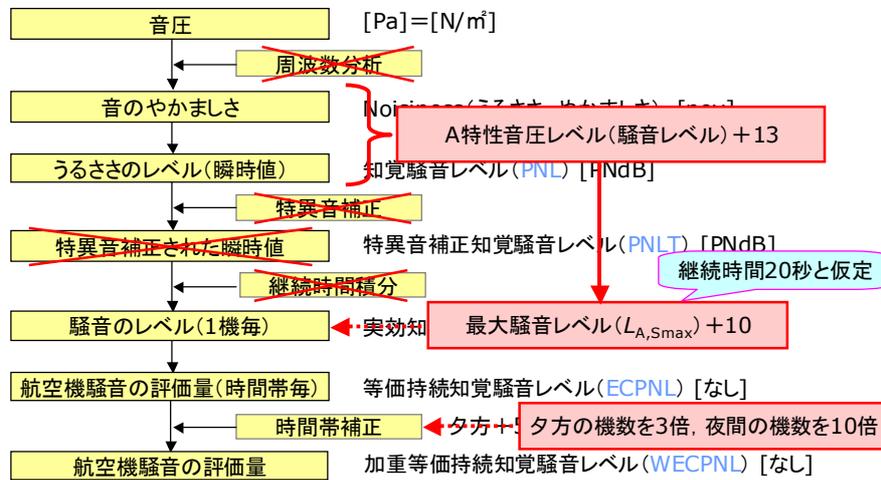


ICAOのWECPNL



ICAOのWECPNLの簡略化

www.noe.co.jp



11

環境基準改正の経緯

www.noe.co.jp



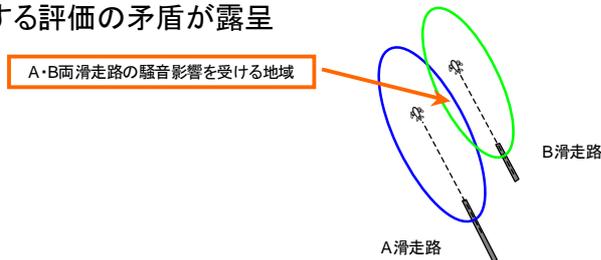
- 逆転現象
- 国際的な動向との整合性
- 航空機以外の騒音評価指標との整合性

12



WECPNLの逆転現象

- 平成14年成田空港暫定平行滑走路(B滑走路)供用開始
- 成田市がB滑走路供用に伴う騒音影響の変化を独自調査
 - A滑走路とB滑走路の影響を分けて整理
 - A滑走路とB滑走路の全体でのWECPNL値が, A滑走路のみ又はB滑走路のみのWECPNL値を下回る現象(逆転現象)を確認
 - $WECPNL(A \cdot B \text{両滑走路}) < WECPNL(A \text{滑走路のみ})$
 - $WECPNL(A \cdot B \text{両滑走路}) < WECPNL(B \text{滑走路のみ})$
 - 滑走路が増えて騒音曝露量が増大したにもかかわらず“静かになった”とする評価の矛盾が露呈



13



国際動向との整合性

- 諸外国の航空機騒音評価指標

評価指標	国名
L_{den}, L_{night}	European Union (EU統一指標), オランダ
L_{den}, L_{Amax}	デンマーク
L_{den}	フランス, スウェーデン, ベルギー (Flemish)
L_{dn}	ベルギー (Walloon), オーストリア, 米国
$L_{Aeq,16h}$ & $L_{Aeq,8h}$ 他, L_{Aeq} 関連	英国, チェコ, トルコ, スペイン, ドイツ, イタリア
NNI他	アイルランド, スイス
NEF関連	オーストラリア, ギリシャ, カナダ
WECPNL	日本, 韓国

中央環境審議会騒音振動部会
H19.03.19 騒音評価手法等専門委員会(第16回)議事より

14

他の騒音評価との整合性



■ 我が国の交通騒音の騒音評価指標

種別	基準等				備考
	環境基準	規制基準	指針条例等		
環境騒音	L_{Aeq}				
道路交通騒音	L_{Aeq}	L_{Aeq} (要請限度)			環境基準: 平日の1日 要請限度: 平日の3日間
鉄道騒音	新幹線	L_{AP}			パワー平均値
	在来線			L_{Aeq}	新設, 大規模改良
航空機騒音	大規模飛行場	WECPNL			
	小規模飛行場			L_{den}	

15

L_{den} (時間帯補正等価騒音レベル)



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

$L_{AE,di}$, $L_{AE,ej}$, $L_{AE,nk}$: それぞれ昼間(7:00~19:00), 夕方(19:00~22:00), 夜間(22:00~7:00)の*i*, *j*, *k*番目の1機毎の単発騒音暴露レベル

N_d , N_e , N_n : それぞれ昼間(7:00~19:00), 夕方(19:00~22:00), 夜間(22:00~7:00)の測定回数

T : 測定時間(24時間=86,400秒)

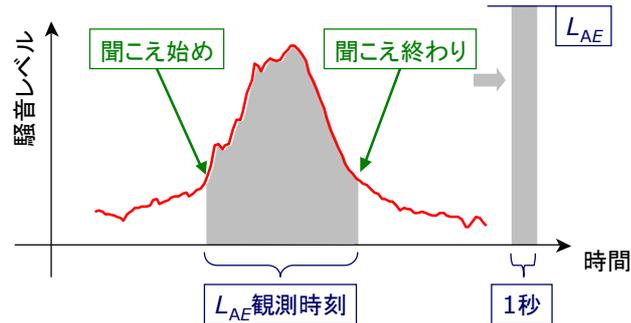
T_0 : 規準時間(1秒)

16



L_{den} の測定

- 単発騒音暴露レベル(L_{AE})
 - 単発的に発生する騒音の全エネルギーと等しいエネルギーを持つ継続時間1秒の定常音の騒音レベル
(騒音レベルの最大値が暗騒音より10dB以上大きいもの)
- L_{AE} の観測時刻
 - 最大騒音レベルの観測時刻を用いて時間帯補正を行う



17



WECPNLと L_{den} の関係(1)

- 航空機騒音に係る環境基準
 - 現行の環境基準(昭和48年12月告示)

地域の類型	現行基準値
I	70 WECPNL以下
II	75 WECPNL以下

- 改正後の環境基準(平成25年4月施行)

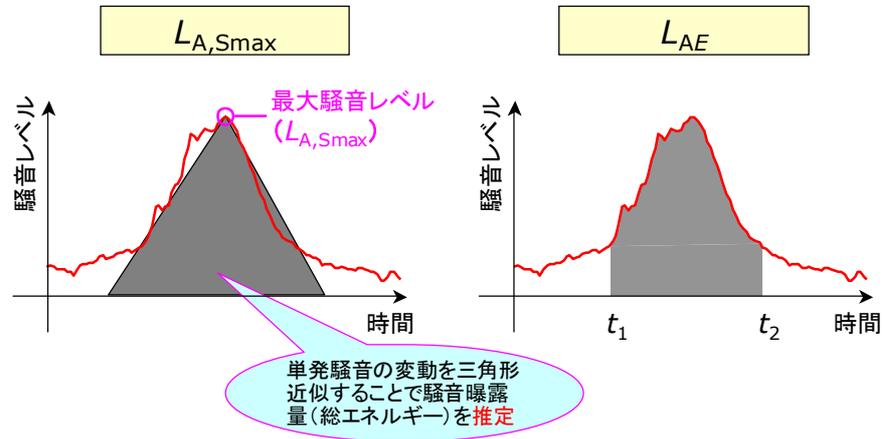
地域の類型	新基準値
I	L_{den} 57 デシベル以下
II	L_{den} 62 デシベル以下

「13」の差

18

WECPNLと L_{den} の関係(2)

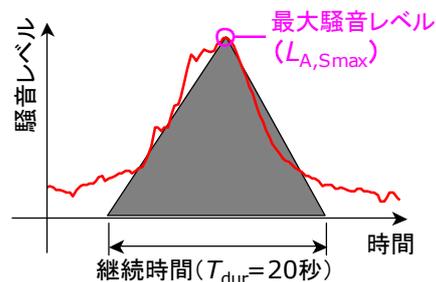
- WECPNL簡略化における騒音曝露量の近似



19

WECPNLと L_{den} の関係(3)

- 単発騒音の継続時間を20秒に固定
 $\Rightarrow L_{AE}$ は $L_{A,Smax} + 10\text{dB}$ で近似できる



$$L_{AE} \cong 10 \log_{10} \left\{ \frac{T_{dur} (= 20) \times 10^{\frac{L_{A,Smax}}{10}}}{2} \right\} = L_{A,Smax} + 10$$

20

WECPNLと L_{den} の関係(4)



- L_{den} をWECPNL簡略化と同じ条件で展開すると...

$$L_{den} = 10 \log_{10} \left(\frac{\sum 10^{\frac{L_{AE,d}}{10}} + \sum 10^{\frac{L_{AE,e}+5}{10}} + \sum 10^{\frac{L_{AE,n}+10}{10}}}{86400} \right)$$

$$\cong 10 \log_{10} \left(\frac{10^{\frac{\overline{L_{AE}}}{10}} \times N}{86400} \right)$$

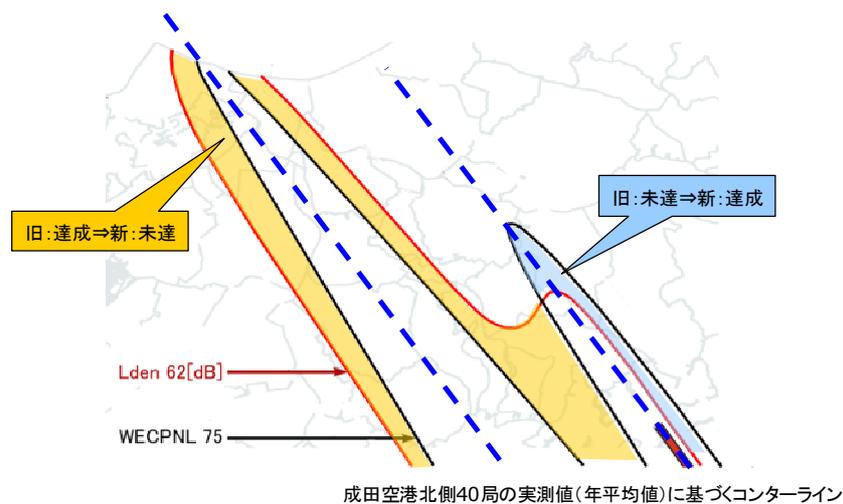
$$\cong \overline{L_{A,Smax}} + 10 \log_{10} N - 40$$

$$WECPNL = \overline{L_{A,Smax}} + 10 \log_{10} N - 27$$

$$\therefore L_{den} \cong WECPNL - 13$$

※環境省・航空機騒音に関する評価方法検討業務・平成17年度報告書

WECPNLと L_{den} の差の実際





航空機騒音に係る環境基準の問題点

- 健康影響を評価できない
 - 近年、欧州では疫学研究が盛んに行われ、交通騒音による睡眠妨害が虚血性心疾患、子供の認知能力(読解力、長期記憶力)低下などの要因となることが判明
 - WECPNL, L_{den} は不快感の評価指標であり、住民の睡眠を保護しない(WHOガイドライン1999)
 - ⇒EUでは L_{den} だけでなく、夜間騒音の評価量として L_{night} (夜間の等価騒音レベル)を併用している
- 技術の進歩が考慮されていない
 - 今回の改正は、WECPNLを L_{den} に読み換えただけ
 - 現基準は、技術的事由により、基準値が緩和されたという経緯があるが、低騒音機の普及などにより、緩和の根拠がなくなった



航空機騒音の測定方法

- 航空機騒音に係る環境基準(改正後)
 - 測定は原則として連続7日間行う
 - L_{AE} の計測は日本工業規格Z 8731(環境騒音の測定・表示方法)に従う
 - 計量法の検定に合格した騒音計を用いる
- 航空機騒音測定・評価マニュアル
 - 改正後の環境基準に沿った航空機騒音のモニタリングと騒音対策の推進を目的として、統一的な測定方法等について調査検討した結果を具体的な手順書として環境省がまとめたもの
 - 連続7日間の短期測定だけでなく、自動監視装置を用いた通年測定(自動測定)にも言及している
 - 平成21年7月に初版を関係自治体に配布、近々、改訂版がリリースされる予定



航空機騒音の自動測定

- 航空機騒音の自動識別技術
- 国内・海外における常時監視の現状と情報公開



航空機騒音の自動識別方法

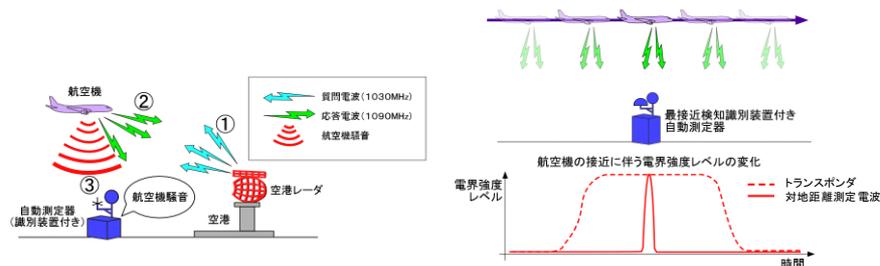
- 航空機の発する電波と騒音の相関を利用した識別方法
⇒電波方式
- 航空機のレーダー航跡を利用した識別方法
⇒航跡方式
- 航空機の発する音の特性を利用した識別方法
⇒音響方式
 - 音波の到来方向に着目した方法(相関法)
 - 航空機騒音の特徴周波数成分に着目した方法

↓
気象条件や対象外騒音等の外乱の影響により精度低下

電波方式による自動識別



- 航空機が発する電波を利用し、航空機接近時に電界強度と騒音レベルの双方が上昇することに着目した識別方式
- 対地距離測定電波による最接近時刻の測定、トランスポンダ応答信号の解析による飛行情報の収集が可能

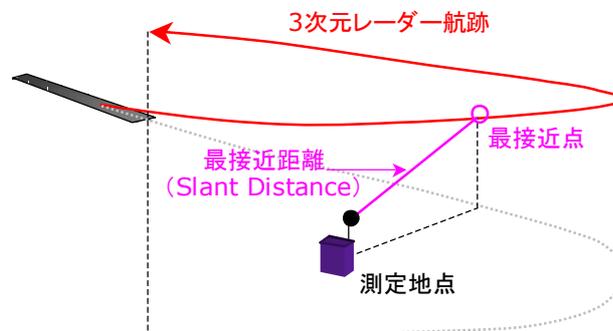


27

航跡方式による自動識別



- 測定地点と航跡の座標から航空機の最接近点を予測し、その時刻周辺の最大騒音レベルを航空機騒音とする
⇒ 航跡データを入手し易い海外で主流の識別方法

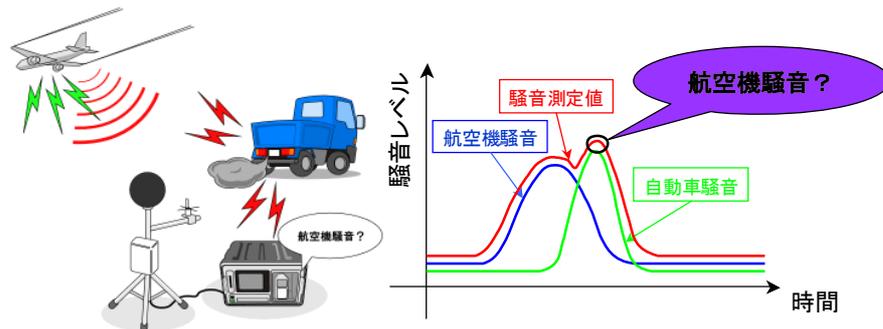


28



かぶり音の影響

- 航空機通過時に他の騒音が同時に発生した場合、航空機騒音と「かぶり音」が合成された騒音が測定されてしまう
- 近年の空港の海上建設、沖合展開に伴い、陸域で観測される航空機騒音とその他の騒音のレベル差が小さくなり、「かぶり音」の影響が顕著化



29



かぶり音の自動判定

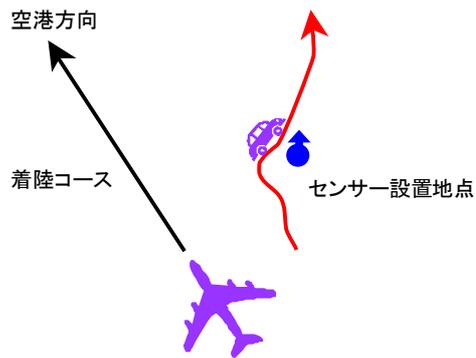
- 全方位音源探査技術
 - 球表面に埋め込んだ複数のマイクロホンで捉えた騒音を、ビームフォーミング手法により全方位にある複数の音源を分離し、それぞれの音源の位置(到来方向)とその強度レベルを解析
 - 分離された音源の強度レベルを比較することで、最も寄与の大きな音源(支配的な音源)を特定し、その到来方向、移動方向、周波数特性等の情報から、それが航空機騒音か否かを自動判定



球パツフルマイクロホン(SBM)センサー

30

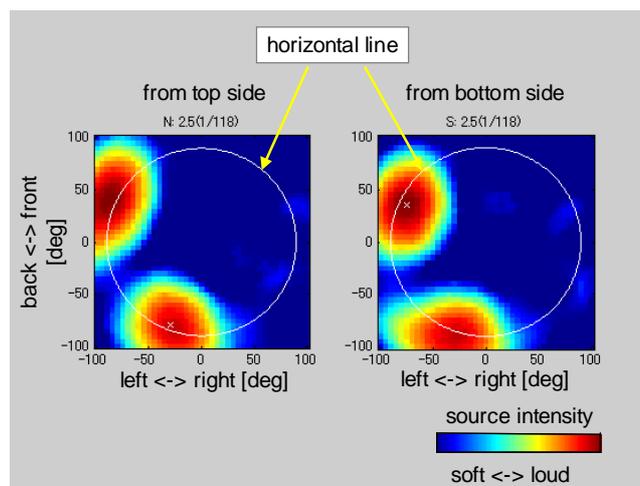
かぶり音判定の一例(1)



かぶり音判定の一例(2)



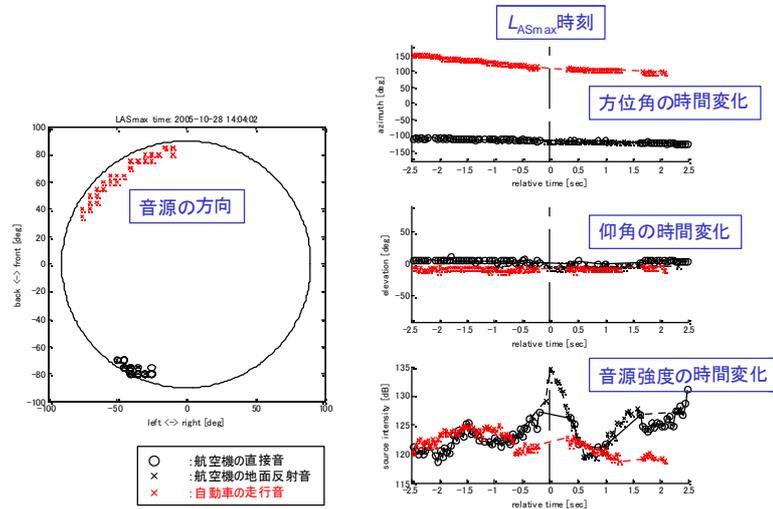
■ 自動車通過音の重畳の例





かぶり音判定の一例(3)

■ 音源探査分析結果の例



33



航空機騒音常時監視の例

■ 国内

- 東京国際(羽田)空港
 - <https://www.franomo.mlit.go.jp/>
- 中部国際空港
 - <http://www.centrair.jp/environment/always-watches/index.html>

■ 海外

- フランクフルト国際空港
 - <http://franom.fraport.de/franom.php?lang=en>
- ロンドン・ヒースロー空港
 - <http://webtrak.bksv.com/lhr>

※同様にB&K社のWebTrakを採用している空港: Adelaide, Boca Raton, Bournemouth, Brisbane, Cairns, Canberra, Columbus, Denver, East Midlands, Gatwick, Gold Coast, Jacksonville, Long Beach, Los Angeles, Madrid, McClellan-Palomar, Melbourne, Oakland, Ontario, Perth, Port of Portland, Reno-Tahoe, Sacramento, San Diego, San Jose, Seattle, Stansted, Sydney, Vancouver, Van Nuys, etc.

34



航空機騒音の面的評価と将来予測

- 航空機騒音予測の必要性
- 航空機騒音予測技術の概要
- 航空機騒音予測のための計算モデル
- 航空機騒音予測結果の一例



航空機騒音予測の必要性

- 環境基準における「類型」指定
 - 航空機騒音に係る環境基準では、地域の土地利用等の状況に応じて2つの類型に分けて基準値が定められている
 - 多くの場合、飛行場周辺の「騒音コンター」を把握し、土地利用計画と合わせて類型指定を行っている
 - 地域全体の騒音曝露状況を実測で評価するのは非現実的で、予測手法を用いた「面的評価」を行う必要がある
- 空港建設、運用変更(供用時間延長、増便、航路や機材変更など)に伴う環境影響の検討
 - 現状で飛行していない航空機の騒音影響を把握するには騒音予測が必須



航空機騒音予測技術の概要

- 計算モデル(航跡モデル, 音源モデル)を構築し, 音の減衰量を算出する

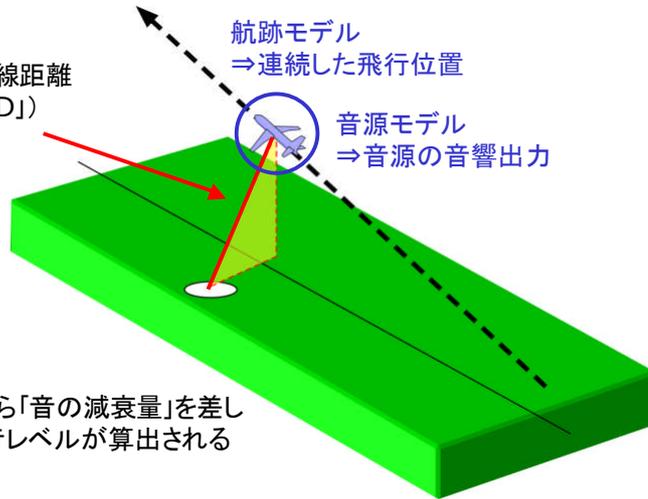
航空機と受音点の直線距離
(Slant Distance「SD」)



SDに応じた
音の減衰量を計算



「音源の音響出力」から「音の減衰量」を差し
引くと受音点での騒音レベルが算出される



航跡モデルの構築

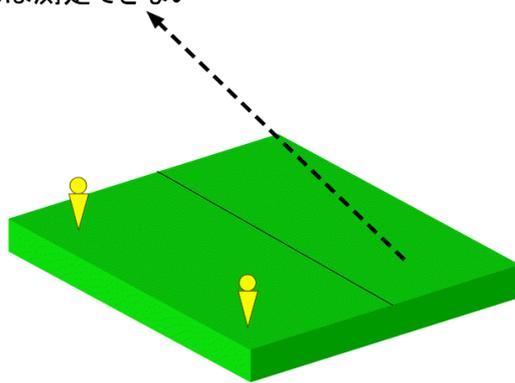
- 飛行経路調査
- 航跡データのモデル化



飛行経路調査(1)

■ 有人による目視調査

- 経緯儀(方位角, 仰角を記録する装置)により, 2点同時に航空機を目視により捕捉し, 航空機の3次元座標を算出する
- 精度は高いが, コスト面の負担が大きい
- 悪天候時(視界不良時)には測定できない



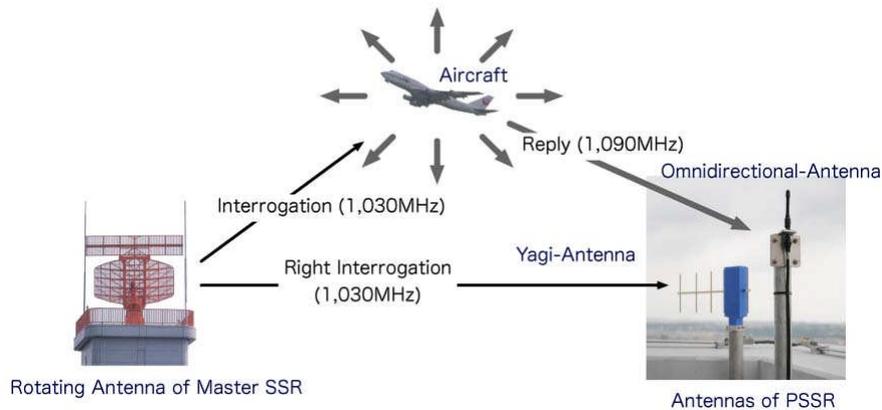
39



飛行経路調査(2)

■ 受動型SSRによる測位調査

- 空港レーダ等の覆域において, SSRの質問電波と航空機からの応答信号を受信し, 航空機の飛行位置を算出する



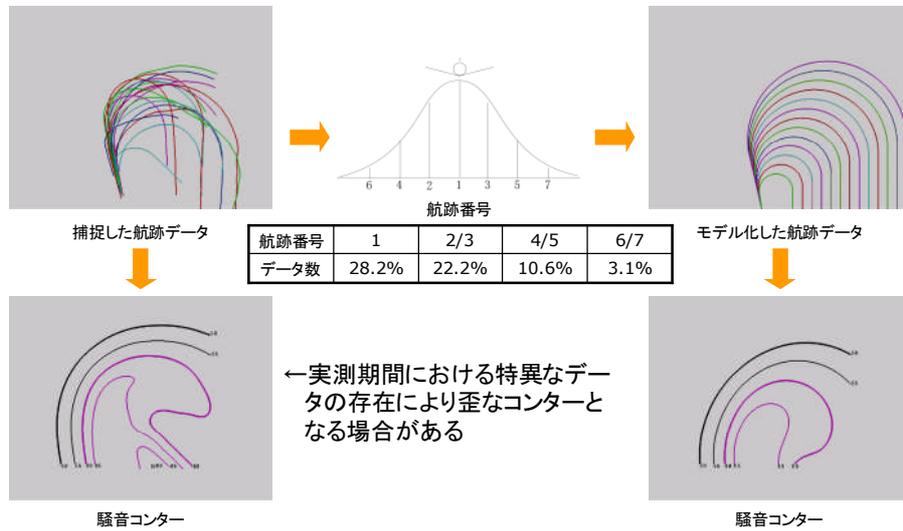
※(独)電子航法研究所の研究資料より引用

40



航跡データのモデル化

- 捕捉した航跡データを統計的にモデル化する



41



音源モデルの構築

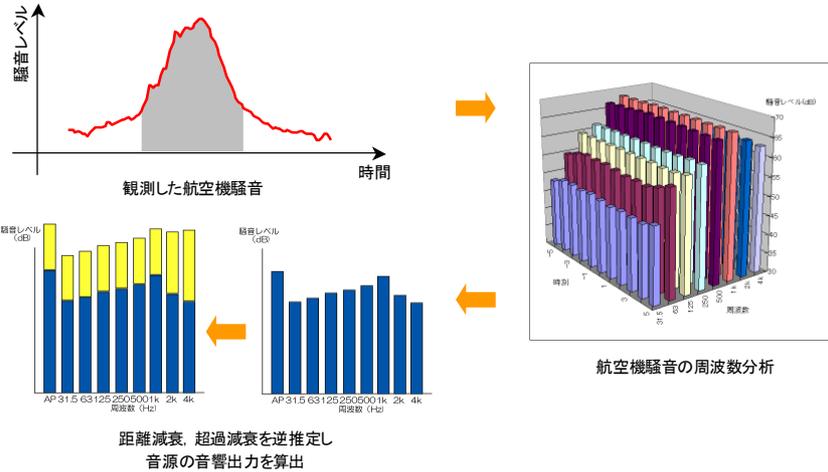
- 周波数成分調査
- 飛行回数調査

42



周波数成分調査(1)

- 飛行経路調査と同時に騒音測定を行い, 航空機騒音の周波数成分を分析し, 周波数毎の音源の音響出力を逆推定

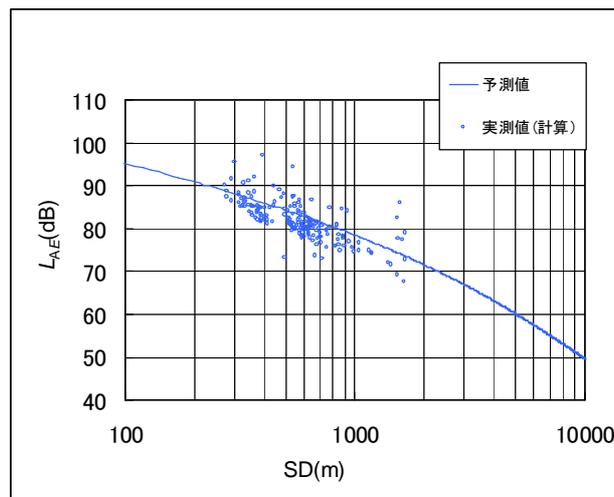


43



周波数成分調査(2)

- 音源モデル($SD-L_{AE}$ 曲線)



44



飛行回数調査

- 離着陸別, 機種別, 飛行方向別の1日あたりの飛行回数を調査
 - 民間航空は, フライトスケジュールや運航記録を用いた集計が可能
 - 自衛隊, 米軍は, 長期間に及ぶ目視調査, 関連情報の収集に頼るしかないのが現状
- 飛行回数集計の一例

離着陸	機種	飛行方向	夜間	昼間	夕方
離陸	B74x	1	0.1	2.5	1.7
離陸	B77x	2	0.0	1.5	1.1
離陸	A30x	3	0.0	0.3	1.5
.
.



航空機騒音予測結果の一例

