

「航空機騒音に係る環境基準の改正について」 騒音評価手法等専門委員会報告（案）

1. 背景

我が国においては、昭和 48 年に「航空機騒音に係る環境基準」が策定され、空港周辺の防音事業、航空機の低騒音化等の対策が講じられてきた。航空機騒音に係る環境基準の評価指標については、我が国では、ICAO の国際民間航空条約第 16 附属書を基本として独自に簡略化を行った *WECPNL*¹ を採用している。しかしながら、平成 14 年に成田国際空港において暫定平行滑走路（B 滑走路）が供用開始となった際に *WECPNL* 値の逆転現象が確認されており、これを契機として諸外国の航空機騒音評価手法の現状を見ると、以下の点が指摘できる。第 1 に、近年、騒音測定機器の技術的進歩に伴い高度な測定が簡易に行えるようになったこと、第 2 にこのような技術の進歩を背景として、国際的には、騒音の評価手法は、容易に測定ができ、かつ、エネルギー積分により騒音の総暴露量を評価できる L_{den} ²、 L_{dn} ³、 $L_{Aeq,T}$ ⁴ といった等価騒音レベルを基本とした評価指標が主流となっており、特に、航空機騒音については、それらへの変更が実施されていることである。このような状況を踏まえ、我が国においても評価指標の見直しが必要となってきた。

このため、平成 19 年 3 月 1 日付けで環境大臣から中央環境審議会に対し「航空機騒音に係る環境基準の改正について」諮問され、同審議会騒音振動部会に設けられている騒音評価手法等専門委員会において、航空機騒音をよりの確に評価できる評価指標が必要であるという観点に立ち、最新の状況等を踏まえ、航空機騒音に係る環境基準の評価指標について検討を行った。

その結果をとりまとめたので、ここに報告する。

2. 検討の基本的考え方

上述の通り、近年、騒音測定機器が技術的に進歩したこと、国際的に等価騒音レベルを基本とした評価指標が採用されていることを踏まえて、評価指標の見直しを行う。

3. 航空機騒音に係る環境基準における評価指標の再検討に当たっての考え方

（1）現行の評価指標（*WECPNL*）の考え方

¹加重等価平均感覚騒音レベルまたは、加重等価継続感覚騒音レベル (Weighted Equivalent Continuous Perceived Noise Level)。我が国で採用している *WECPNL* は最大騒音レベルを用いて簡易に算出できるようにしたもので、最大騒音レベルのパワー平均値に、夕方の機数、夜間の機数による補正を加えて算出される。

²等価騒音レベルを基本とした指標のひとつ。夕方の騒音、夜間の騒音に重み付けを行い評価した 1 日の時間帯補正等価騒音レベル。

³等価騒音レベルを基本とした指標のひとつ。夜間の騒音に重み付けを行い評価した 1 日の時間帯補正等価騒音レベル。

⁴等価騒音レベル。時間 T の間に発生した騒音のエネルギー量を T で平均した時間平均騒音レベル。

環境基準策定時、航空機騒音の影響について、国内・海外の社会調査及び海外諸国が採用している航空機騒音の評価指標について比較検討を行った結果、我が国では ICAO（国際民間航空機関）が提唱していた評価方式を基本とすることとした。ICAO 方式は、航空機騒音を 0.5 秒毎に 1/3 オクターブバンド分析し、騒音エネルギーを加算する方式であった。これは、高頻度のデータサンプリングを必要とし、また、 PNL^5 の算出と特異音補正のための周波数分析が必要であるため、当時の測定技術、データ処理技術では定義通りの ICAO 方式による評価を一般的な評価方法として採用することは困難であった。そこで、我が国では当時一般的に用いられていた騒音計による測定結果から近似的に $WECPNL$ を求める方法を採用した。

本来の ICAO の評価方式は、一機が飛行したときの実効感覚騒音レベル $EPNL$ を用い、時間帯別の全航空機による騒音を総計し、さらに等価継続感覚騒音レベル ($ECPNL$) を算定することとし、時間帯に応じて加重評価している。

これに対し、我が国の環境基準においては、次のように簡便化した。

- a) 航空機から発生する騒音の PNL を、一般的な騒音計により測定される騒音レベルから求める。
- b) 離着陸において、最大値から 10dB 低いレベルを超える騒音の継続時間を 20 秒と仮定する。
- c) 時間帯区分として、昼間 (7:00-19:00)、夕方 (19:00-22:00)、夜間 (0:00-7:00、22:00-24:00) の 3 分類とする。ICAO では、夕方の騒音に 5 dB、夜間の騒音に 10dB 加算の補正を行うが、計算の容易さのため、エネルギー的にほぼ等価であることから、夕方 5 dB 加算する代わりに夕方の時間帯に測定される機数を 3 倍、夜間 10dB 加算する代わりに夜間の時間帯に測定される機数を 10 倍とする。
- d) ICAO の特異音補正の方法は周波数分析と複雑な計算を必要とするので、この補正は省略する。

このようにして環境基準として採用した測定方法は次のとおりである。

$$\begin{aligned} WECPNL &= \overline{L_{A, Smax}} + 13 + 10 + 10 \log_{10} N - 50 \\ &= \overline{L_{A, Smax}} + 10 \log_{10} N - 27 \end{aligned}$$

ここで、 $\overline{L_{A, Smax}}$ は最大騒音レベルの平均値

$$N = N_1 + 3N_2 + 10N_3$$

N_1 、 N_2 、 N_3 はそれぞれ昼間、夕方、夜間の機数

$$(1 \text{ 日} : 86400 \text{ 秒}、10 \log_{10} 86400 = 49.4 \div 50)$$

(2) 諸外国の動向

諸外国においては、航空機騒音の評価指標は、現在、等価騒音レベルを基本とした指標が多く採用されている。過去 15 年程度の傾向をみると、1997 年にイタリアにおいて $WECPNL$ から等価騒音レベルを基本とした指標に変更された。また EU では、すべての屋外騒音源に対するアセスメント、マッピング、計画、制御を目的として騒音を記述するため、2002 年、EU 全体の統一指標として、 L_{den} (L_{night} 併用) が採用されている。このため、EU 諸国内では L_{den} 採用が進んでおり、等価騒音レベルを基本とした指標を採用する国が増加する傾向に

⁵ 感覚騒音レベル (Perceived Noise Level)。通常の騒音評価で用いられる A 特性とは異なる感覚尺度。

ある。なお、等価騒音レベルを基本とした評価方法は、各種騒音との相互比較が可能となること等により諸外国において採用されている。

このように、国際的には等価騒音レベルを基本とした評価指標 (L_{den} 、 L_{dn} 、 $L_{Aeq,T}$) が採用されており、我が国においても国際動向に合致した評価指標を採用する必要がある。

(3) 測定技術・機器の改善

騒音測定に使用する騒音計の機能は、航空機騒音に係る環境基準が策定された当時から現在に至るまでの 30 年間程度において、デジタル技術の普及などにより飛躍的に進歩している。

航空機騒音に係る環境基準が策定された 1970 年代後半、現場の騒音計測器として一般的に使用されていたものは対数目盛りのアナログタイプの指示計であり、騒音計の示す騒音レベルの瞬時値を目視し測定者が記録するものであった。デジタル処理技術の進歩等に伴い、1980 年代になると、等価騒音レベルを求めるのに必要な機能が加えられ、1990 年代になると、数値表示の騒音計が開発され、現在の形態の騒音計が確立された。演算機能においても、1990 年代になると等価騒音レベル演算をデジタル処理で実現できるようになった。近年では、騒音計に大容量のメモリ機能が付与された騒音計が開発され、長時間連続の自動測定に耐えうる大量の測定データの記録が可能となり、また等価騒音レベルの算出が騒音計内部で実現できるようになり、長時間の等価騒音レベルの測定が可能となった。さらに、騒音そのものをデジタル録音する機能も付加されており、測定後において再生しながら航空機騒音以外を除外する処理も可能となった。

現在、国際的に騒音評価手法の主流となっている等価騒音レベルの手法は、騒音エネルギーの積分計算が必要となるが、現在のデジタル技術を前提とすれば、ICAO の方式の 0.5 秒毎のエネルギー加算はもとより、等価騒音レベルの演算が技術的、コスト的に容易となっている。このような最新の技術に対応した騒音評価手法の導入が必要である。

4. 航空機騒音の状況

(1) 航空機騒音に係る環境基準の達成状況等の推移

我が国では航空機騒音の発生源対策として、航空機の低騒音化、空港の沖合展開・海上空港の整備、騒音軽減運航方式の採用等が実施されている。特に、昭和 48 年に航空機騒音に係る環境基準が策定された後、民間空港、防衛施設における防音対策や、夜間運航における騒音低減対策、ICAO Chapter3⁶に適合する低騒音型機の導入が積極的に推進されてきた。また、「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」(昭和 42 年法律第 100 号)や「防衛施設周辺の生活環境の整備等に関する法律」(昭和 49 年法律第 101 号)等に基づき、住宅防音工事の補助、移転補償、緩衝緑地帯等の整備といった対策が採られてきた。一方、航空機の発着数をみると環境基準の策定当時に比べ約 2 倍に増加しており、現在も増加傾向にある。このため、空港周辺における航空機騒音の全測定地点のうち、航空機騒音に係る環境基準に適合している地点の割合は、70~75%程度を推移しており、今後も引き続き航空機騒音対策を充実していく必要がある。

⁶ 航空機離着陸時の側方、進入、離陸の 3 地点における騒音について定めた航空機単体規制基準。

(2) 成田の逆転現象の程度と原因

平成 14 年、暫定平行滑走路（B 滑走路）の供用開始に伴い、成田国際空港の一部の観測点において、すでに供用されていた A 滑走路と B 滑走路の全体での *WECPNL* の評価値が、A 滑走路のみの *WECPNL* の評価値を下回る逆転現象⁷が確認された。これを受け、成田の航空機騒音常時監視局の平成 15 年度における観測データの解析・検討を行い、その結果、一部の監視局で、年平均、週平均、日平均のそれぞれにおいて逆転現象が発生していることが確認された。逆転現象の程度は、最大で 0.5dB 程度であった。

これは、社団法人日本騒音制御工学会に設けられた学識経験者による委員会における検討の結果、*WECPNL* を採用した際の簡略化に起因して発生していることが明らかとなっている。

(3) 航空機騒音の対象範囲

航空機の運航に伴う騒音には、航空機の飛行音以外にリバース音⁸、タキシング音⁹、ランナップ音¹⁰、APU¹¹等の空港場内音、エンジン試運転音といった地上音がある。現行の評価指標では、これら地上音の騒音暴露量に対する寄与が的確に表現できない。そこで、騒音暴露量に対する各地上音の影響について、実測データにより検証した。

着陸時に観測されるリバース音については、空港から離れた地点では 0.3dB 以下の影響にとどまることが多いが、空港近傍地点では、1 dB 以上増加する地点が多くみられた。また、複数の空港で、3～6 dB 程度増加する地点があった。

航空機の自走時に発生するタキシング音については、短期騒音測定の結果を調べたところ、0.1dB 以下の影響にとどまる地点が多いが、ごく一部の空港において、誘導路近傍で 1 dB 程度増加する地点がみられた。

自衛隊機等の離陸前に観測されるランナップ音については、滑走路側方 1 km 地点での騒音暴露量の増加は、ランナップ音を離陸音と同レベルと設定した場合で最大 0.4dB の影響が認められた。

整備時に観測される APU 等の空港場内音については、概ね 0.1dB 程度の影響にとどまった。

エンジン試運転音については、観測例によると、寄与量は極めて小さい。なお、整備に伴うエンジン試運転は実施時間帯が制限され、また深夜の場合は騒音低減対策を施した施設内で実施されているため、近年では問題となっていない。

航空機騒音に係る環境基準の対象騒音は、一連の運航に係る騒音を幅広く評価することが望ましく、騒音暴露量に影響を及ぼすレベルの地上音も発生しているため、騒音評価手法の見直しに当たっては影響を及ぼす地上音を極力把握・評価する手法を採用することが適切である。

⁷ 2本の滑走路が存在するとき、2本の滑走路に離着陸する航空機全てを対象とした *WECPNL* の評価値が、どちらか1本の滑走路に離着陸する航空機のみを対象とした *WECPNL* の評価値より低くなる現象。

⁸ 着陸機の接地後の逆噴射。

⁹ 航空機が自力で地上のある地点から別の地点まで走行すること。

¹⁰ 防衛施設において自衛隊機等が離陸直前に滑走路端で行うエンジンの最終点検。

¹¹ Auxiliary Power Units。航空機に空気圧、油圧、電力などを供給するため、推進用エンジンとは別に航空機に装備された動力装置。

5. 航空機騒音に係る環境基準の基準値について

(1) 現行の評価指標と各種指標の関係

新評価指標を導入するに当たっては、現行の *WECPNL* と等価騒音レベルを基本とした L_{den} 、 L_{dn} 、 $L_{Aeq, 24h}$ との関係を確認する必要がある。そこで、多数の民間空港・防衛施設における実測値を用いて両者の対応関係を検証した。その結果、 L_{den} 、 L_{dn} 、 $L_{Aeq, 24h}$ のいずれも *WECPNL* とほぼ直線的な関係にあることが確認された。

夕方に 5dB、夜間に 10dB の重み付けをした L_{den} の算定の際に継続時間を 20 秒と仮定し、*WECPNL* と L_{den} との関係を求めると、13 の差が生じる ($L_{den} \doteq \text{WECPNL} - 13$)。また、*WECPNL* と L_{den} の関係を実測値で確認すると、環境基準値の近傍の *WECPNL* 70~80 の地域では多くの場合、*WECPNL* と L_{den} の差は概ね 13 となる。これは、*WECPNL* 70~80 の地域では、騒音の継続時間が一般に 20 秒に近いためと考えられる。

なお、総務省「社会生活基本調査」(平成 13 年度)によると、多くの国民が 7:00 頃に起床し、22:00 台に就寝している。また、夕方(19:00~22:00)の時間帯に「くつろぎ」、「夕食」をする割合が高くなっている。また、NHK「国民生活時間調査」(平成 17 年)についても同様の結果となっている。現行の環境基準の時間帯区分は、次の通りであるが、国民の生活実態は環境基準設定当時と大きく変わっておらず、時間帯区分は現行のものを踏襲することが適当である。

昼間：7:00~19:00

夕方：19:00~22:00

夜間：0:00~7:00、22:00~24:00

(2) 評価指標の検討

現行の評価指標 *WECPNL* を新たな指標 (L_{den} 、 L_{dn} 、 $L_{Aeq, 24h}$) に変更する場合、現行評価指標との継続性、国際的整合、逆転問題の発生、地上音の評価、測定の容易性、総暴露量の把握、住民反応等の各点による評価が必要である。

① 現行評価指標との継続性

L_{den} 、 L_{dn} 、 $L_{Aeq, 24h}$ のすべてが *WECPNL* とほぼ直線関係にあり、 L_{den} については昼間、夕方、夜間の時間帯区分が踏襲でき夕方の時間帯が評価できる、 L_{dn} については夕方の時間帯の重み付けができなくなる、 $L_{Aeq, 24h}$ については時間帯の重み付けがなくなるといった特徴がある。

② 国際的整合

WECPNL を使用しているのは、日本以外の主要国では中国、韓国だけであり、最近ではエネルギーベースの評価量を用いる国が圧倒的に多くなってきている。たとえば EU では、统一的に L_{den} を用いることが決定されており、アメリカ、イギリス等では L_{dn} 、 $L_{Aeq, 24h}$ を採用している。

③ 逆転問題

WECPNL は、採用の際に用いた近似計算に起因し、ある特定のケースにおいて軽微ではあるが逆転現象が発生する。一方、 L_{den} 、 L_{dn} 、 $L_{Aeq, 24h}$ については、逆転問題は発生しない。

④地上音の評価

$L_{A, Smax}$ を用いる *WECPNL* においても、地上音は一部評価されているが、 L_{den} 、 L_{dn} 、 $L_{Aeq, 24h}$ については、エネルギー加算を行う指標であることから、地上音をより幅広く評価でき、地上音も含め総合評価をより正確に行うことができる。

⑤測定の容易性

上述のとおり、*WECPNL* は測定を簡便にするために騒音レベルの最大値を読み取ることによって求められるように考えられた評価量であるが、 L_{den} 、 L_{dn} 、 $L_{Aeq, 24h}$ などのエネルギーベースの騒音評価量は、騒音の総量を求めるために積分演算が必要である。しかし、前述のとおり、積分騒音計などの普及によって、現行の環境基準設定当時（昭和 48 年）には難しかった演算も容易になり、さらに自動計測システムも開発されている。

⑥総暴露量の把握

WECPNL は、1機あたりの騒音のエネルギー量を近似しているため、騒音の総暴露量を厳密に表現できない。 L_{den} 、 L_{dn} 、 $L_{Aeq, 24h}$ は、各指標とも騒音の総暴露量を適切に表現できるが、 L_{den} については夕方、夜間の時間帯の重み付けができる、 L_{dn} については夕方の時間帯の重み付けがなくなる、 $L_{Aeq, 24h}$ については時間帯の重み付けがなくなるといった特徴がある。さらに、道路交通騒音等、他の騒音との暴露・影響・反応の相対的な比較が可能となる。

⑦住民反応

WECPNL では、ICAO の方式によるエネルギー加算の手法を簡略化しているため、それに相応して住民反応との対応も本来のエネルギー加算の手法と異なることになる。 L_{den} 、 L_{dn} 、 $L_{Aeq, 24h}$ では、この点が改善されるとともに、地上音等の付随した騒音も含む総合評価もできるため、より住民の騒音実感に近い評価が可能となる。なお、環境騒音の測定方法に関する国際規格である ISO1996 等においても等価騒音レベルが採用されており、一般的にエネルギー加算による騒音評価手法は騒音の総暴露量が評価できる。

以上のことから判断して、航空機騒音に係る環境基準においては新たな評価指標として等価騒音レベルを基本とした評価指標を採用することが望ましく、特に、現行基準との継続性の面から、 L_{den} に変更することが適当であると考えられる。

L_{den} での評価では、次の算式により 1 日ごとの時間帯補正等価騒音レベルを算出する。

算式

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

（注） i, j, k とは、各時間帯で観測標本の i 番目、 j 番目、 k 番目をいい、 $L_{AE, di}$ は、午前 7 時から午後 7 時までの時間帯における i 番目の L_{AE} ¹²、 $L_{AE, ej}$ は、午後 7 時から午後 10 時の

¹² 単発騒音暴露レベル。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。

時間帯における j 番目の L_{AE} 、 $L_{AE, nk}$ は、午前 0 時から午前 7 時、午後 10 時から午後 12 時の時間帯における k 番目の L_{AE} をいう。また、 T_0 は規準化時間（1 秒）を、 T は観測 1 日の時間（86400 秒）をいう。

（3）基準値設定の考え方

近年急速に発達した騒音測定技術の導入、国際的動向へ整合する評価手法への改善が喫緊の課題である。また、航空機騒音に係る環境基準の達成に向け、関係機関による対策が進められている途上である。環境基準値の設定に当たっては、まずは、現行基準レベルの早期達成の実現を図ることが肝要であり、騒音対策の継続性も考慮し、引き続き現行の基準値と同等のレベルのものを基準値として設定することが適当である。

（4）基準値

現行の航空機騒音の環境基準は、I 類型、II 類型それぞれ *WECPNL* で 70 以下、75 以下である。前述の通り *WECPNL* と L_{den} の理論的及び実態的な関係は、 $L_{den} \doteq \text{WECPNL} - 13$ となる。従って、 L_{den} を用いた環境基準を現行と同等のレベルとすると L_{den} による環境基準値は下表の通りとなる。

表 L_{den} による環境基準値

地域の類型	基準値
I	57 デシベル以下
II	62 デシベル以下

（注）I をあてはめる地域は専ら住居の用に供される地域とし、II をあてはめる地域は I 以外の地域であって通常的生活を保全する必要がある地域とする。

（5）その他の配慮事項

1 日当たりの離着陸回数が 10 回以下の飛行場については、平成 2 年 9 月 13 日環大企第 342 号により技術的助言として L_{den} による指針が示されているが、航空機騒音に係る環境基準の評価指標が同じ L_{den} となるため、統一することが適切である。また、現行の環境基準告示の達成期間等に記述されている *WECPNL* の値についても、基準値に準じた取り扱いとすることが妥当である。

なお、測定においては、従来と同様に対象とする航空機騒音とそれとは無関係な背景騒音との区別に特段の配慮が必要である。

また、既存の飛行場への新評価手法の適用に当たっては、新たな騒音測定機器への切替等のための経過措置について配慮する必要がある。

6. 結語

本報告では、平成 19 年 3 月 1 日付けで環境大臣から諮問された、航空機騒音に係る環境基準の改正についての知見をまとめている。

本専門委員会で各種指標の関係を検討したところ、*WECPNL* と等価騒音レベルを基本とした指標とはほぼ直線関係にあり、現行の基準値との継続性等を考えると、 L_{den} を採用することが適当であるとの結論を得た。

航空機騒音に係る環境基準の評価指標を L_{den} に切り替えることにより、最新の騒音測定

技術の活用、国際的動向への整合、逆転問題の解消、地上音等の寄与を考慮した総暴露量についてより正確な評価等が可能となる。我が国の航空機騒音に係る環境基準の評価指標は、昭和 48 年以来長年にわたり *WECPNL* を採用してきたが、騒音測定技術の進歩に伴い高度な測定が簡易に行えるようになったこと、また国際的な動向からも取り残されている感が強いことから、早急な評価指標の改正が必要である。

航空機騒音に対しては、これまでに多くの騒音低減対策が採られてきたが、環境基準が未達成の地域も依然としてあり、今後も、引き続き強力に対策を推進する必要がある。

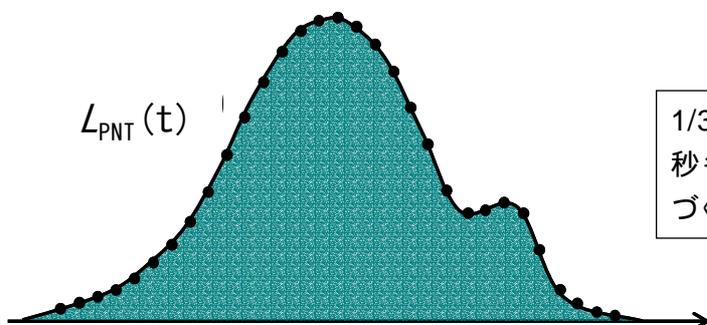
さらに、航空機にとどまることなく、生活環境の中には様々な騒音発生源が存在する。これを契機として、騒音を総合的に評価できる手法の検討を進めることも必要である。

別添 WECPNL と等価騒音レベルを基本とした評価指標の特徴

評価指標 評価項目	WECPNL (現行評価指標)	L_{den}	L_{dn}	L_{Aeq}
①現行との 継続性	—	WECPNL とほぼ直線関係にあり、昼間、夕方、夜間の時間帯区分が踏襲でき夕方の時間帯が評価できる。	WECPNL とほぼ直線関係にあるが、夕方の時間帯が評価できなくなる。	WECPNL とほぼ直線関係にあるが、時間帯の重み付けがなくなる。
②国際的整合	日本以外の主要国では、中国、韓国。	EU、オランダ、スウェーデン、ノルウェー、ベルギー、フランス、デンマークなど多くの主要国が採用している。	主要国では、アメリカ、オーストリア、ベルギー (Walloon) のみ。	スペイン、トルコ、イギリス、ドイツなどが採用している。
③逆転問題の 発生	採用の際に用いた近似計算に起因し、軽微ではあるが逆転現象が発生する。	逆転問題は発生しない。		
④地上音の評価	評価される場合もある。	エネルギー加算を行う指標であることから、リバース、ランナップ等の影響を及ぼす地上音をより幅広く評価でき、地上音も含め総合評価を行うことができる。		
⑤測定の容易性	騒音レベルの最大値を読み取るだけで計算できる。	現在の騒音計であれば、積分値を容易に、しかも自動計測によって得ることができる。		
⑥総暴露量の 把握	1機あたりの騒音のエネルギー量を近似しているため、騒音の総暴露量を厳密に表現できない。	騒音の総暴露量を適切に表現でき、夕方、夜間の時間帯の重み付けもできる。複合騒音の評価につながる。	騒音の総暴露量を適切に表現できるが、夕方の時間帯の重み付けがなくなる。複合騒音の評価につながる。	騒音の総暴露量を適切に表現できるが、時間帯の重み付けがなくなる。複合騒音の評価につながる。
⑦住民反応	エネルギー加算の手法を簡略化しており、簡略化に相応して本来のエネルギー加算の手法とは異なるものとなる。	簡略化に起因する相違が解消され、航空機騒音に付随した音も評価できる。		

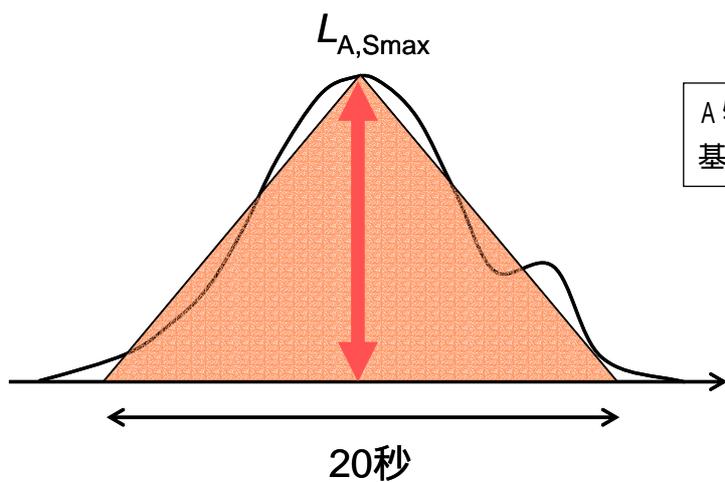
別紙 WECPNL の I C A O方式と環境省方式の比較

【ICAO方式】



1/3オクターブバンド周波数分析(0.5秒毎)をして算出するEPNL(L_{EPN})に基づく評価

【環境省方式】



A特性騒音レベルの最大値($L_{A,Smax}$)に基づく評価、継続時間20秒の三角近似