

消費者安全法第 23 条第 1 項に基づく 事故等原因調査報告書について

消費者安全調査委員会は平成 26 年 12 月 19 日に「消費者安全法第 23 条第 1 項に基づく事故等原因調査報告書—家庭用ヒートポンプ給湯機から生じる運転音・振動により不眠等の健康症状が発生したとの申出事案—」を公表しました。

本報告書では、家庭用ヒートポンプ給湯機から生じる運転音に含まれる低周波音が健康症状の発生に関与する可能性を否定できない事例があること、地方自治体の対応が一様でないこと等が指摘されています。

これに併せ、「消費者安全法第 33 条の規定に基づく意見」が、消費者庁、経済産業省、環境省及び公害等調整委員会に対して出されました。公害等調整委員会に対しては、紛争となった場合の地方公共団体における適切な苦情処理対応について検討を行い、地方公共団体に対して指導、助言を行うこととされており、当委員会では、意見を踏まえた対応について検討しております。

本報告書とヒートポンプ給湯機から生じる低周波音について、公害等調整委員会の柴山秀雄委員（元芝浦工業大学工学部教授）に解説をいただきましたので、掲載いたします（本解説文中の頁番号は、後半（39 頁以降）に掲載した参考資料の該当頁ですので、随時ご参照ください）。

○消費者安全法第 23 条第 1 項に基づく事故等原因調査報告書（副題：家庭用ヒートポンプ給湯機から生じる運転音・振動により不眠等の健康症状が発生したとの申出事案）について

公害等調整委員会委員 柴山 秀雄

p.1 （消費者安全法第 23 条第 1 項に基づく事故等原因調査報告書

副題：家庭用ヒートポンプ給湯機から生じる運転音・振動により不眠等の健康症状が発生したとの申出事案）

消費者安全法第 23 条第 1 項に基づく事故等原因調査報告書、副題は家庭用ヒートポンプ給湯機から生じる運転音・振動により不眠等の健康症状が発生したとの申出事案について説明します。できる限りこの構成に従って説明していこうと考えておりますが、話の流れに合わないときに少し順序を入れ替えて説明させていただきますのでよろしくお願い致します。

消費者安全調査委員会（以下「調査委員会」という。）は、消費者の生命又は身体被害に関わる消費者事故等について、被害の発生又は拡大の防止のために原因を究明する必要があると認めるときは、調査権限を行使するなどして「自ら調査」を行い、調査を終了したときは、消費者安全法第 31 条に基づき、報告書を作成し内閣総理大臣に提出するとともに公表しています。平成 26 年 12 月 19 日に報告された「家庭用ヒートポンプ給湯機から生じる運転音・振動により不眠等の健康症状が発生したとの申出事案（以下、「本報告書」という。）」は「自ら調査」の一つです。

調査目的は、生命身体に係る消費者被害の発生又は拡大の防止を図るため、事故の発生原因や被害の原因を究明することであり、消費者安全の確保の見地から調査したものです。当然、事故の責任を問うために行うものではありません。

p.2 (事案の概要)

平成 24 年 10 月に、群馬県に在住する A 氏（50 歳代男性）は、平成 21 年 2 月頃、不眠、頭痛、めまい、吐き気等を発症し、同年 5 月頃、A 氏の配偶者 B 氏（50 歳代女性）も同じような症状を訴えました。これらの症状は、「隣家の敷地内（自宅から約 2 m 離れた場所）に設置されている家庭用ヒートポンプ給湯機（以下「ヒートポンプ給湯機」という。）から生じる低周波音と思われる運転音・振動によるものである。」として、A 氏及び B 氏は調査委員会に事故等原因調査等の申出を行いました。

本件事案は、調査委員会において、「事故等原因調査等の対象の選定指針」（平成 24 年 10 月 3 日消費者安全調査委員会決定）に基づき、

- (1) ヒートポンプ給湯機は、広く消費者の利用に供されており、省エネルギーの観点等から今後も普及が見込まれるという「公共性」が高いこと。
 - (2) 健康症状の程度は、自宅では夜眠れないことがあるほど深刻な状況であるという「被害の程度」が重大であること。
 - (3) ヒートポンプ給湯機が隣家に設置されている場合には、当該ヒートポンプ給湯機を申出者の一存では撤去等できないという「消費者による回避可能性」が低いこと。
- これらの事項を総合的に勘案し、事故等原因調査を行う事案として選定されています。

p.3 (事実情報等)

低周波音と健康症状との関連性については、未だ何らかの見解を示すに至っていないことから、調査委員会は、ヒートポンプ給湯機から発生した運転音・振動と健康症状の発生との関連性を中心に調査を行い、工学等事故調査部会及び調査委員会で審議を行っていま

す。

ヒートポンプ給湯機の運転音が申出者の健康症状の発生に関与しているかを検討するに当たって、①ヒートポンプ給湯機の稼動により運転音が発生し（原因）、②空気中を音が伝わり（伝搬）、③人が知覚して、不快を感じる（結果）という基礎的な事項を整理・解析しています。

p.4 (装置構成と湯の生成プロセス)

まず、ヒートポンプ給湯機の概要と音の発生原因について整理をします。ヒートポンプユニットは、冷媒として大気中に存在する二酸化炭素（CO₂）を用い、①から④までの4つの過程を繰り返すことによって90℃程度の湯を作っています。

- ① 冷媒を膨張弁で膨張させて、低圧（低温）の冷媒にする。
- ② 低温になった冷媒と空気との熱交換を空気熱交換器で行う。この結果、冷媒の温度が上がる。
- ③ 冷媒をコンプレッサーで圧縮して、高圧（高温）の冷媒にする。
- ④ 高温になった冷媒の熱と給水した水との熱交換を水熱交換器で行い、水の温度を上げる。

この作業系列の中で、②及び③の過程でファンとコンプレッサーが稼動し、音波が発生します。

p.5 (音の伝搬)

JIS Z 8106 :2000 音響用語によれば、音とは、音響振動によって引き起こされる聴覚と説明されています。一般的には、聴覚の周波数範囲は20～20,000Hzです。音による原因で紛争が生じた場合、被害の原因を音波としての物理的な観点と音の聞こえという聴覚としての感覚的な観点の両側面から因果関係を考える必要があります。

まず、音を物理側面から考えてみます。力を加えると変形し、力を取り除くと元の形に戻ろうとする性質を弾性といいます。この性質を持つ物質を弾性体といい、空気はその一つです。

空気の弾性体としての性質を理解するための注射器によるモデル図を図3に示します[1]。注射器のシリンダ内に空気を入れ、栓をした状態を考え、そのときのシリンダ内の空気の圧力をシリンダ外の気圧と同じ状態にします。空気を外に漏らさずにピストンを押ししていくと空気の体積が減少し、逆に、ピストンを引くと空気の体積は増加します。そして、ピストンを離すとシリンダ内の空気は元の空気の体積に戻ろうとします。このように、空気

は弾性の性質を有しています。

シリンダ内の空気が洩れないことや外から空気が入り込まない条件下では、シリンダ内の空気の質量は一定です。体積密度は単位体積あたりの質量ですから、ピストンを押し、体積が減少した圧縮時のシリンダ内の密度は高くなり、逆に、ピストンを引いた拡張時のシリンダ内の密度は低くなります。空気の密度が高い状態を密、そして密度が低い状態を疎といいます。

次に、音波の伝搬について考えます。シリンダの一端を開放し、ピストンが前後に高速に運動している場合の空間内の疎密状態を図4に示しています。図4上はピストンが空気を押すと近傍に密な状態が生じたことを示しています。図4中は体積が減少した空気は元の体積に戻ろうとして隣接する空気を押し、このため隣接した部分にも密な部分が生じる様子を示しています。図4下は空気中を伝搬する音波における、空気粒子の疎及び密な状態を示しています。

図5は大気中を伝搬する正弦波音の瞬時状態の模式図です。縦軸は音圧、横軸は音波の進行方向の距離を示しています。図5上は正弦波音における粒子の疎密を示しています。図5下に示した音圧に対応して疎密が変化しています。音波が空気中を伝搬するとき、空気の粒子は音波の伝わる方向と同方向に振動する縦波です。

音波が生じていない状態の大気の圧力を静圧といいます。音波によって生じた圧力の静圧からの変化量を音圧といいます。

音圧が小さい時は小さな音そして音圧が大きい時は大きな音として聞こえますが、音圧の大きさの変化と人の聞こえる感じ方の変化は単純に比例していません。このことについては、後で、等ラウドネス特性を用いて説明をします。

[1] 平原 達也, 蘆原 郁, 小澤 賢司, 宮坂 榮一著: 音と人間, p.2, コロナ社(2013)

p.6 (純音の波形とスペクトル)

本報告書で用いられている音波に関する諸量についての記号と、その計量単位について述べます。

図6(a)は正弦波音の波形を表しています。図に示すような周期的に繰り返される音波を周期波とよび、1周波に要する時間を周期、1秒間に繰り返される周波の数を周波数と呼んでいます。周波数の単位はヘルツ、単位記号はHzです。周期をTとし、周波数をfとすれば、両者には

$$T=1/f$$

の関係があります。

時間をtとすれば、正弦波音 $p(t)$ は

$$p(t) = A \sin \omega t$$

と表現できます。ここに、 A は音圧の最大値です。 ω は角周波数 (rad/s) であり、 $\omega = 2\pi f$ の関係があります。

時間的に変化する音圧の大きさを表す場合に用いられる一つに実効値があります。音圧 $p(t)$ の実効値 P_{rms} は

$$P_{rms} = \sqrt{\frac{1}{T} \int_0^T P^2(t) dt}$$

で表せます。音圧の単位はパスカル、単位記号は Pa ($1\text{Pa}=1\text{N/m}^2$) です。

また、音圧レベル L_p は次式で定義されています。

$$L_p = 10 \log_{10} \frac{P_{rms}^2}{P_0^2}$$

ここに、 P_0 は、基準音圧 (2×10^{-5} Pa) です。音圧レベルの単位はデシベル、単位記号は dB です。

図 6(a) は周期が 0.2s である正弦波音 (純音) の波形を表しています。したがって、正弦波音の周波数は 5Hz です。音波の音圧の最大値は 1Pa であるから、実効値は 0.707Pa であり、音波の音圧レベルは 91dB となります。

図 6(b) は周波数領域での表現で、正弦波音のスペクトルを表しています。横軸は周波数 (Hz)、縦軸は音圧 (Pa) を表しています。音波の周波数成分は 5Hz のみに存在しますので、スペクトルは線スペクトルで表現されます。

音圧を表現する場合、対数表示が多く用いられます。聴力の正常な人が聞きえる音圧の可聴範囲は $2 \times 10^{-5} \sim 20\text{Pa}$ ですから、音圧をパスカルで表現すると、数値範囲は広くなります。そのため、音圧レベルで行ったように常用対数を用いて数値変換をして表現し易くしています。また、人の音の感じ方は音の強さの対数に比例することが多く、対数を用いて表示することは非常に有用な手法と解釈できます。

p.7 身近な音の周波数と騒音レベル

図 7 は超低周波音及び低周波音等の周波数帯域の区分と、身近なものから発生した音の周波数帯域を表しています。音波の周波数帯域を超低周波音 (1~20Hz)、低周波音 (1~100Hz)、可聴音 (20~20,000Hz)、超音波 (20,000Hz 以上) に区分し、それぞれの周波数帯域を色付けしています。その図の下に、身近な音源の音の周波数帯域を示します。

図 8 は身近なものから発生する音の騒音レベル (A 特性音圧レベル) を表しています。オレンジ色の枠で囲っているヒートポンプ給湯機の近傍の騒音レベルは 40dB 程度です。ジェット機の近くの騒音レベルは 120dB と高く、音圧レベルがこれ以上に高くなると痛さを感じます。

p.8 (等ラウドネス曲線)

物理的に同じ音圧であっても、人の聴覚は周波数によって感度が違うため、周波数によって感じる音の大きさは違います。この聴感上の音の大きさをラウドネスといいます。音の周波数を変化させたときに、その音が聴感上同じ大きさ(ラウドネス)に聞こえる音圧レベルを結んで作られた周波数特性を等ラウドネス曲線(聴覚の等感曲線)といい、聴覚における最も基礎的な特性の一つです。

図9に音圧を縦軸に、周波数を横軸にした新旧規格の等ラウドネス曲線を示します。周波数が1,000Hzで、音圧レベルが40dBのときの「ラウドネス」は40phon(ホン)です。これを一定にしながら、周波数を変えていくと、音圧も変わります。周波数を変化させながら、等しいラウドネスになる音圧レベルをプロットし、その値を結んだ曲線が「等ラウドネス曲線」、あるいは、「聴覚の等感曲線」です。

2000年から2003年にかけて行われた日本、ドイツ、デンマーク、イギリス、アメリカの共同研究によるラウドネス特性の測定が実施され、その測定データと従来使用されていたロビンソン・ダッドソン旧規格の等ラウドネス曲線とを比較した結果、特に1,000Hzより低い周波数域における誤差が大きいことがわかったため、2003年にISO 226:2003「Acoustics - Normal equal-loudness-level contours」として修正されました。その等ラウドネス曲線を図10に示します。この等ラウドネス曲線から、2,000~4,000Hz付近の周波数帯域の聴覚感度は高いことが分かります。

等ラウドネス曲線は騒音レベルの測定と深い関係があり、精密な騒音評価法を開発するための重要な基礎となります。

p.9 (感覚特性)

A特性周波数重み付け特性

人間の聴覚が音の周波数により感度が違うことを説明しましたが、騒音計には、人間の聴覚感度特性を反映したA特性と呼ばれる周波数重み付け特性(周波数補正特性)が備わっています。図11にA特性周波数重み付け特性を示します。A特性の周波数特性は、1930年代に米国ベル研究所のフレッチャー氏とマンソン氏によって求められた40phonの純音の等ラウドネス曲線を元に定義されています。A特性を用いて測定したA特性音圧レベルを騒音レベルといいます。

G特性周波数重み付け特性

1~20Hzの超低周波音の感覚を評価するための周波数重み付け特性にG特性(ISO 7196)

があります。図 12 に G 特性周波数重み付け特性を示します。可聴音における周波数重み付け特性である A 特性に相当するものです。周波数が低くなるに従い閾値は上昇しています。この周波数特性は、10Hz を 0dB として 1~20Hz は 12dB/oct.の傾斜を持ち、評価範囲外である 1Hz 以下および 20Hz 以上は 24dB/oct.の傾斜を有しています。一般に、G 特性音圧レベルがおおよそ 100dB を超えると、低周波音を知覚すると言われ、個人差が大きいことも報告されています。

p.10 (音色と不快感)

音色は、「聴覚に関する音の属性の一つで、物理的に異なる二つの音が、たとえ同じ音の大きさ及び高さであっても異なった感じに聞こえるとき、その相違に対応する属性。」と定義されています。音波を周波数分析すると、ある周波数の音圧レベルがその周波数付近の音圧レベルと比較して、極端に高い音圧レベルを示す周波数が存在する場合があります。その周波数を「卓越周波数」といいます。図 13 は卓越周波数の事例です。

また、周波数帯域内で 1 つの卓越周波数が存在し、その音圧レベルが特に高い場合には、「純音性が高い。」といえます。純音性が高い音は、耳につきやすいため不快感が発生しやすく、したがって、苦情の対象になることが多いこととなります。ISO 1996-2:2007 の付属書 C や JIS Z 8731:1999 においては、純音性が高い騒音の場合には、測定された当該の騒音レベルに最大 6 dB の調整値を加えることが定められています。

p.11 (低周波音に関する問題の状況)

騒音対策について考えます。音の発生をできる限り減らすことが一番の対策であり、音波の発生原因になる振動を止め、また渦や気流の乱れ等の圧力変化を起こさせないようにすることが発生源の対策です。図 14 に騒音対策の 3 対策を示します。次に、具体的な対策について述べます。

1 騒音対策

1.1 直接的圧力変化の防止対策（発生源の対策）

- (1) 気体の容量変動に伴うものは、容積を徐々に変化される。
- (2) 流体の流路を急激に拡張したり、あるいは縮小したりすることによる空気中の直接的圧力の急峻な変化には緩衝装置を用いる。また、突起物の作成は避けるべきである。
- (3) 板や膜などの振動を伴うものは、振動面積を狭くしたり、水膜形成を防ぐ手法を活用したり、共鳴を防ぐなどの対策を実施する。

- (4) 気体の非定常変動によるものは、旋回失速防止装置、整流板、ダクト補強、共鳴防止が対策になる。

1.2 物体の振動低減対策

- (1) 加振力の低減
- (2) 振動絶縁
- (3) 制御処理

1.3 音波の伝搬に影響する要素を利用する技術

- (1) 距離減衰（0~6dB/倍距離）
- (2) 指向性による減衰（放射音波特性に強い指向性がある場合、強く放射される方向を受音点に向けない。）
- (3) 空気吸音による減衰（長い伝搬距離、高周波音の場合に有利。）
- (4) 気温・風による減音（風速、気温分布により異なる。）、地表面の吸収による減衰、草や樹木による減衰等。

2 超低周波音及び低周波音が発生する機器と発生機構

図 15 に超低周波音及び低周波音が発生する可能性のある音源を示します。

- (1) 往復・回転圧縮機械：回転に起因し、空気の圧縮，膨張が周期的に繰り返される場合
例：コンプレッサー，真空ポンプ，ディーゼルエンジン，ルーツブロワ等。
- (2) 送風機：サージング現象，旋回失速現象が発生する場合
例：大形ブロワ。
- (3) 振動ふるい機：回転が基になる構造物，面の振動
例：振動コンベヤ，破碎機等。
- (4) 各種炉：燃焼，管類の共鳴によるもの
例：ボイラ。
- (5) 交通機関：航空機・船舶、車両
例：航空機・船舶のエンジン，車両のトンネルへの突入、交通機関による橋梁の振動等。
- (6) その他：発破，ダム放流，越流堰の水膜共鳴等

3 苦情件数の推移

図 16 に低周波音に係る苦情件数の推移を示します。最近、低周波音による苦情が増加する傾向にあります。平成 24 年度に地方公共団体が受けた低周波音に係る苦情の件数は 258 件（平成 23 年度 249 件）でした。内訳を見ると、工場・事業場に係るものが 75 件（同 83 件）と最も多く約 30%を占めています。

環境基準では、夜間は昼間よりも低い基準値を定めており、夜間は騒音による睡眠への影響を適切に防止することを基準設定の基本的考えとしています。ただし、この基準は、騒音レベルの大きさを定めたものであって、特に低周波音に言及したものではありません。また、低周波音に対する規制基準はありません。

1 低周波音苦情への対応のための参照値

環境省は、低周波音苦情を的確に対処するための参照値を物的苦情と心身に係る苦情に分けています。基準値は、「この値以下に保つことが望ましい目標（すなわち目標値）」や「超えてはならない値（規制値）」ととらえられますが、参照値はこのようなどちらの意味での値ではありません。苦情申し立てがあった場合に、低周波音によるものかどうかを判断するための目安です。

具体的には、測定された「ある周波数の低周波音が、その値以上であれば、その周波数の低周波音が苦情の原因である可能性が高い」と判断するための、「その値」であって、1/3 オクターブバンド中心周波数毎に定めています。図 17 に低周波音による心身に係る苦情に関する参照値を示します。

2 測定方法、測定場所、測定量並びに測定周波数範囲

2.1 測定方法

測定方法は、原則として「低周波音の測定方法に関するマニュアル（平成 12 年 10 月、環境庁；環境省ホームページ、<http://www.env.go.jp/air/teishuha/manual/>）」及び低周波音問題対応のための「手引」によるものとする。

2.2 測定場所

(1) 物的苦情に関する測定場所

問題となる住居などの建物の屋外で、建物から 1~2m 程度離れた位置とする。

(2) 心身に係る苦情に関する測定場所

苦情者の住居などの問題となっている部屋の問題となっている位置とする。窓の開閉条件は原則として窓を閉めた条件とする。

2.3 測定量

測定量は G 特性音圧レベル $L_G(\text{dB})$ 及び 1/3 オクターブバンド音圧レベル $L_{p,1/3\text{oct}}(\text{dB})$ とする。

2.4 測定周波数範囲

測定周波数範囲は、原則として 1/3 オクターブバンド中心周波数 1~80Hz とする。

3 評価指針の適用

適用にあたっては、次の事項に留意することが重要です。

(1) 参照値は、規制基準、要請限度とは異なる。

(2) 参照値は、都市計画法の用途地域、騒音規制法等の地域指定と関係なく、低

周波音によると思われる苦情が寄せられた場合に適用する。

- (3) 参照値は、固定された発生源からの低周波音によると思われる苦情に対応するためのものである。したがって、交通機関等の移動発生源とそれに伴い発生する現象及び発破・爆発等の衝撃性の発生源から発生する低周波音には適用しない。
- (4) 参照値は、低周波音によると思われる苦情に対処するためのものであり、対策目標値、環境アセスメントの環境保全目標値、作業環境のガイドラインなどとして策定したものではない。対策に当たっては技術的可能性等総合的な検討が必要である。

<https://www.env.go.jp/air/teishuha/tebiki/04.pdf>

p.13 (申出者宅の測定箇所)

本件事案の申出者宅の平面図を図 18 に示します。申出者は、自宅内でも場所によって、ヒートポンプ給湯機の運転音の被害の程度に違いがあると主張しています。「1階和室では症状の程度が重い」、「2階洋室は症状が比較的軽い」、「つらいときには外に出て自宅の敷地の角（住宅前道路）で過ごす」、との主張に基づいて、音の測定場所をア点からエ点までの4点としました。なお、各測定点の選定理由を括弧に示しています。

ア点：ヒートポンプ給湯機近傍のヒートポンプユニット前（音源と被害場所の音との相関関係）

イ点：1階和室（発症当時の寝室であり、症状の程度が重い部屋）

ウ点：2階洋室（現在の寝室であり、症状の程度が比較的軽い部屋）

エ点：住宅前道路（自宅外で症状が楽になる場所）

なお、イ点（1階和室）及びウ点（2階洋室）では、A氏の睡眠時の頭の位置にマイクロホンの高さを設定しています。

さらに、「音というより振動という表現が相応しいと感じる」という申出者からの主張を踏まえて、「オ点：1階洋間床：(振動の程度。)」で振動レベル測定をしています。

なお、後で述べますが、本調査では部屋の定在波（同一周波数の同種の進行波の干渉によって生じる空間的にある固定した分布をもつ周期的な波）を調査し、住宅固有の定在波周波数と卓越周波数との関係についても検討しています。

p.14 (ヒートポンプ給湯機の運転音)

測定は、午後 8 時頃から翌日午前 8 時頃までにかけて継続的に 2 日間計測を行い、両日とも、ヒートポンプ給湯機は、午前 3 時 50 分頃から午前 5 時 30 分頃までの約 100 分間連続的に運転して実施した。

1 測定日時と気象条件は、以下のとおり。

測定 1 回目：平成 25 年 6 月 25 日 午後 8 時～26 日午前 8 時
晴れ、気温 21～24℃、風速 2m/s 以下

測定 2 回目：平成 25 年 6 月 26 日 午後 8 時～27 日午前 8 時
おおむね雨、気温 18～19℃、風速 2m/s 以下

ア点（ヒートポンプ給湯機近傍）の結果を基に、2 日間のヒートポンプ給湯機の運転音を分析したところ、両日とも運転時は音全体の騒音レベルが約 10dB 上昇するとともに、運転の途中で周波数の変化がみられた。以下では周波数の変化前を「運転時前半」、変化後を「運転時後半」と表現します。測定時間は運転時前半が約 30 分間、そして運転時後半が約 70 分間です。

測定 2 回目の測定はおおむね雨の中で測定が実施されており、雨音の影響を考慮にいい、ヒートポンプ給湯機の運転音の解析は測定 1 回目データを採用している。

2 ア点（ヒートポンプ給湯機近傍）の音圧周波数特性

運転時前半と運転時後半の運転音を 1/3 オクターブバンド周波数分析した結果を図 19 と図 20 に示します。

2.1 運転時前半の周波数分析結果

公称中心周波数 40Hz 及び 80Hz 以上での幅広い帯域で音圧レベルが 5dB から 10dB 程度高い。特に低周波音では、40Hz の公称中心周波数（以下、「公称中心周波数」は省略する。）に卓越周波数*があり、音圧レベルは約 52dB である。80Hz と 100Hz での音圧レベルは 38dB 及び 32dB 程度である。

2.2 運転時後半の周波数分析結果

40Hz の音圧レベルの上昇は運転時前半に比べて 5dB 程度低い。また、80Hz 以上で音圧レベルの上昇があるが、80Hz と 100Hz での音圧レベルは 44dB 程度であり、運転時前半の音圧レベルと比較すると 6dB 程度高い。

* 本報告書での運転音の周波数分析においては、両側の中心周波数の音圧レベルに対して 10dB 以上のピークを卓越周波数と呼んでいる。

p.15 （申出者宅内及び自宅前における測定結果）

1 分析結果

1.1 イ点（1階和室：発症当時の寝室であり、症状の程度が重い部屋）の分析結果

図 21 には音周波数特性を示します。運転時には、40Hz と 50Hz で音圧レベルが上昇し、特に 40Hz で卓越周波数が発生している。40Hz の音圧レベルは 49dB であり、停止時の音圧レベルと比較すると 27dB 程度上昇している。

図には、聴覚閾値 (ISO 389-7:2005) と参照値 (低周波音による心身に係る苦情に関する参照値) を同記している。40Hz における音圧レベルは、参照値よりは低い、聴覚閾値とはほぼ同じ値を示している。

1.2 ウ点 (2階洋室：現在の寝室であり、症状の程度が比較的軽い部屋) の分析結果

図 22 に分析結果を示します。2階洋室は症状の程度が比較的軽い、40Hz の音圧レベルは上昇していたが、その程度は低い。

1.3 エ点 (住宅前道路：自宅外で症状が楽になる場所) の分析結果

図 23 に分析結果を示します。自宅外で症状が楽になる住宅前道路では、40Hz の音圧レベルは変化していない。

2 各測定点での A 特性音圧レベルの変化

各測定点における、運転停止時と運転時の A 特性音圧レベルを各図の枠中の左に赤点 (運転停止時) と青点 (運転時) で示し、それらを緑線で囲って示します。

イ点では、ヒートポンプ給湯機停止時の騒音レベルは約 18dB であり、ヒートポンプ給湯機の運転時では 20dB であった。

ウ点では、騒音レベルは 20dB 程度で変化はなく、40Hz の卓越周波数での音圧レベルに影響されていない。

一方、住宅前道路における騒音レベルは、高い周波数領域の音圧レベルの違いにより 5dB 程度の変化があった。結果として、申出者が訴える場所 (部屋) による症状の程度の違いと低周波音領域における卓越周波数での変化した音圧レベルに対応関係が認められた。なお、低周波音領域以外の音圧レベルには症状の程度の違いとは整合していない。

p.16 (運転音の住宅内への伝搬)

先に「ヒートポンプ給湯機の運転音」及び「申出者宅内及び自宅前における測定結果」で、ア点 (ヒートポンプ給湯機近傍) とイ点 (1階和室) で測定した音を 1/3 オクターブフィルターで分析した結果を図 21~23 に示しましたが、発生源と申出者宅の音との因果関係を音周波数特性を用いて検討するためには、分析の周波数分解能を上げる必要があります。

その目的で、測定した音を FFT 分析しています。その結果を図 24 に示します。

ア点 (ヒートポンプ給湯機近傍) とイ点 (1階和室) の音周波数特性の 25~400Hz 帯域で卓越周波数 (紫色の四角枠で囲っている) が多く観測されています。ア点とイ点との距離は約 4.3m ですが、卓越周波数 40Hz における両地点の音圧レベルは 48~50dB であり、

音圧の伝搬距離減衰を考慮すれば、2点間での音圧レベル差は低いことが分かります。

一方、40Hz以外の卓越周波数における1階和室の音圧レベルとヒートポンプ給湯機近傍の測定点における音圧レベルの差は比較的高く、特に高い周波数領域ではその傾向は強くなっています。

特定の周波数において、音圧レベル差が表れない原因として、住宅内に当該周波数の定在波が発生していると考えられます。また、定在波が発生している場合には、同じ部屋の中でも聞こえ方が異なり、部屋の中心部よりも外縁部で音圧レベルが高くなることから、部屋の壁際や床に近いところで症状の程度が重いという申出者の発言とも整合しています。

次に、定在波の測定結果を示します。

1 定在波の測定

申出者の症状の程度が重いイ点（1階和室）及びオ点（1階洋間）の両室を対象に、低周波音領域での定在波の発生の有無を調査した。

1.1 測定日時と気象条件

平成26年1月21日 午後3時～午後6時

降雨なし、気温 6～10℃、風速 4 m/s 以下

1.2 測定手順

測定中は音を発生させる他の機器（冷蔵庫、空調機器等）を停止させた上、次の手順で音の測定を行った。

(1) ヒートポンプユニットが設置されていた場所にスピーカーを設置して、20Hzから100Hzまでの低周波音領域で各帯域の音エネルギーが等しくなるように作った人工音を発生させ、同時に、スピーカーに近い場所で音圧レベルを測定した。

(2) 申出者宅地内及び申出者宅内において、0.5m間隔、全部で241の測定点で音圧レベルを測定した。

(3) 測定結果を用いて、音圧レベルの分布及び定在波周波数を算出した。

2 住宅固有の定在波周波数と卓越周波数

音実測調査では

2.1 ヒートポンプ給湯機の運転音の卓越周波数

25Hz、40Hz、50Hz、75Hz、80.5Hz、100Hzなどの卓越周波数が確認された。

2.2 両室の定在波周波数

表1に定在波周波数を示していますが、その結果から、定在波周波数は42.5Hz、49.0Hz、73.25Hz、78.5Hz、99Hzに発生していることが分かります。

2.3 運転音の影響

卓越周波数近傍に定在波周波数があることから、申出者宅内に特定の周波数の音が伝搬した時は、部屋内で定在波が発生していると考えられる。特に、定在波比が高い場合には、最大音圧レベルと最小音圧レベルの差は大きく、部屋内の音圧レベ

ル分布の高低は顕著になります。

p.17 (窓閉めによる低周波音の苦情)

「窓を開けると楽になる」という申出者の主張があり、その原因について考察をします。

1 音圧分布の変化

部屋の定在波の観点から、窓開により部屋の定在波周波数、定在波の最大音圧レベルの発生する位置及び定在波比が窓閉の状態と異なることから、部屋内の音圧分布が変化したと考えられる。

2 マスキング

窓の遮音性能は低周波音に対しては低く、中高音に対して高い。窓を閉めることによって、部屋内では中高音の音圧レベルは低くなるが、低周波音の音圧レベルに変化はないことから、申出者は低周波音が知覚し易くなったといえる。以上の事から、部屋内の暗騒音レベルは低くなり、申出者は中高音によってマスキングされていた低周波音が気になり、不快になったと考えられる。図 25 は中高域の音が減衰し、低周波領域の音の減衰量が低いことを示しています。

p.18 (類似事案に関する聞き取り等調査)

本件事案のほか、ヒートポンプ給湯機から生じる運転音・振動により健康症状が発生したとされる他の申出事案及び消費者庁の事故情報データベースに登録されている相談事案の中から 18 の事案（以下「類似事案」という。）について、健康症状を訴えている者の症状、ヒートポンプ給湯機の設置状況等を自宅に赴いて聞き取り調査を実施しました。本件事案と合わせた 19 の事案について調査し、その結果を述べます。

1 発症者の属性

その住宅に居住していた者を合計すると 50 名（男性 22 名、女性 28 名）であった。このうち、健康症状を訴える者は 50 名中 28 名であり、同じ住宅に居住していても健康症状を訴える者と訴えない者がいた。

健康症状を訴える者（以下「発症者」という。）を性別にみると男性 6 名、女性 22 名、年齢別にみると 10 歳以下から 81 歳以上までに及んでいた（表 2 参照）。

2 健康症状の種類

発症者 28 名の主な症状は、不眠、頭痛、めまいや吐き気等であり、不眠を訴える者が

28名中27名と最も多かった(表3参照)。なお、発症者に対し既往歴を確認したところ、特定の既往症があることは認められなかった。

3 健康症状の発症時期

健康症状の発症時期については、設置と同時期とした者が28名中24名と多く、また、1か月以上6か月未満で発症した者は1名、半年以上経ってからの発症者は3名であった。また、発症した場所は主に寝室として使用している部屋であった。

4 住宅内の場所による変化

不快を感じる場所については、住宅内でどの場所(部屋)に居ても同じ不快感を訴える事案が多かったが、同一住宅内で場所によって不快を感じる程度が異なるとする事案が6事案あった。また、部屋の中でも聞こえ方が異なり、部屋の壁際や床に近いところで症状の程度が重いとする者がいた。

5 時間帯、季節、天候などによる変化

不快を感じる時間帯は、ヒートポンプ給湯機が運転している夜間から早朝にかけて最も不快とする事案が14事案と多かった。

季節による症状の影響については、冬の方が症状は重いと感じるとの回答が11事案と多かった。

天候については、雨の音でヒートポンプ給湯機の音が掻き消される感じがして、雨の日が楽になるとの回答が5事案あったが、特に変わらないとの回答も8事案あった。

6 訴える現象

室内でのヒートポンプ給湯機運転音の聞こえ方・感じ方については、脳や身体に直接響くような感覚であると表現する者が多くみられた。

音だけではなく何らかの振動のようなものを感じる、と回答した者が多数いたことから、本件事案における音周波数特性等の実測調査の他に、床面の振動測定を行ったが、人が身体に感じる強さの振動は発生していなかった。

7 対応策

症状を緩和するために行われた対応策を示す。

- (1) 発症者の移動
- (2) 音環境の変更
- (3) 窓構造の変更
- (4) ヒートポンプ給湯機への対策

8 ヒートポンプ給湯機の設置場所

多くの者が発症したとする寝室とヒートポンプ給湯機までの距離をみると、10m以下が16事案、うち13事案で5m以下となっており、ヒートポンプ給湯機がその寝室の目の前や近くにある例が多かった。

また、据付けガイドブックには、据付け位置の選定に当たっては近所宅の間取りや据付け位置に配慮する旨が記載されている。寝室までの距離が短い、窓等の開口部に近い

等、据付けガイドブックに沿って設置されているとはいいい難いものが多くみられた。

p.19 (類似事案の音実測調査)

本件事案の音実測調査の結果と同様な特徴が、他の類似事案において表れるかを調べている。19事案の中から、5つの事案(事案2、12、15、16、19)について、ヒートポンプ給湯機近傍(ア点)及び健康症状が重いと訴える部屋(イ点)の2か所で音の同時測定を実施し、室内での卓越周波数の発生の有無を解析した結果、事案12、15、16ではヒートポンプ給湯機の運転音が住宅内に伝搬し、室内で卓越周波数が計測された。

次に、卓越周波数が計測された事案12と計測されなかった事案2との音周波数特性の違いを示す。

1 事案2

「2階洋室」を健康症状が重い部屋(イ点)として、測定を実施した。

1.1 測定日時と気象条件

平成26年1月18日 午後4時～19日午前6時
時折小雨あり、気温 0～9℃、風速 2 m/s 以下

1.2 音周波数特性

ア点とイ点における音周波数特性を図26と図27に示す。ア点(ヒートポンプ給湯機近傍)では、ヒートポンプ給湯機の運転に伴って25Hz以上の周波数領域で音圧レベルが高くなったが、イ点(健康症状が重い部屋)では音圧レベルの変化はほとんど計測できなかった。

2 事案12

「1階洋室」を健康症状が重い部屋(イ点)として、測定を実施した。

2.1 測定日時と気象条件

平成26年6月22日 午前1時～午前5時
降雨あり(時間雨量最大0.5mm)、気温 20～22℃、風速 1 m/s 以下

2.2 音周波数特性

ア点とイ点における音周波数特性を図28と図29に示す。ア点(ヒートポンプ給湯機近傍)では、ヒートポンプ給湯機の運転に伴って80Hz及び100Hzで卓越周波数がみられ、イ点(健康症状が重い部屋)での80Hzにおける音圧レベルは聴覚閾値と同程度になっている。FFT分析の結果から、卓越周波数は87.8Hzであり、運転音に含まれる低周波音は健康症状の発生に関与している可能性があると考えられる。なお、超低周波音領域での卓越周波数は確認されていない。

p.20 (季節による運転音の変化)

申出者を含め、症状は冬の方が重いと感じる発症者は多くいます。季節による症状の変化が生じる原因として、季節によってヒートポンプ給湯機の運転状態が変化している可能性があります。冬期模擬運転時と中間期（夏期と冬期の中間の時期）模擬運転時の外気温度をそれぞれ7℃と16℃に設定し、給水温度を約7℃、出湯温度を65℃及び貯湯タンク内の水位をほぼ下限値とした条件下で、ヒートポンプ給湯機を稼働した時に発生した各運転音を無響室で測定し、卓越周波数の音圧レベルの変化について解析した結果を述べます。

1 音圧レベルの変化

解析した結果から、外気温度の違いにより、運転音に含まれる卓越周波数やその周波数における音圧レベルは変化することが確認された。特に、冬期模擬運転時(図 30 左)と中間期模擬運転時(図 30 右)の低周波音領域の卓越周波数の音圧レベルとを比較した結果、音圧レベル差が10dB以上高くなっていた。

なお、卓越周波数や音圧レベルの変化はヒートポンプ給湯機の自動制御による運転状態に依存していると推定される。

表4にコンプレッサー及びファンの運転音の高調波周波数を示す。

2 発症者の発言と整合

外気温度を変えた季節の模擬運転から発生した運転音を測定した結果、冬期は中間期に比べて卓越周波数における音圧レベルは高くなっていることから、「冬の方が症状は重いと感じる」という発症者の主張と整合している。

p.21 (低周波音領域の4つの周波数における聴覚閾値)

発症者4名及び対照者4名について聴覚閾値の測定を行い、発症者と対照者に聴覚閾値の違いがあるかを調べた。

1 測定システム

低音再生用スピーカー（ウーファー）16台とそれらを駆動するための電子機器から構成され、レベル校正された正確な超低周波音を再生可能な東京大学生産技術研究所の応用音響工学実験設備で測定を実施した。

2 試験音

31.5Hz、40Hz、50Hz、63Hzの4種類の純音を評価対象音とした。無響室において椅子に座った被験者にこれらの試験音を暴露し、それぞれの音に対する閾値を測定した。

3 聴覚閾値

適応法（単純上下法）と呼ばれる手法を採用し、下降系列2回と上昇系列1回の測定値の平均値を各周波数の聴覚閾値とした。

4 測定結果

4.1 聴覚閾値の測定結果を図31に示す。群ごとの平均値で見ると、低周波音領域における聴覚閾値は、発症者群と対照者群とで大きな違いはない。測定された聴覚閾値はISO 389-7に規定された閾値曲線よりやや高いレベルであるが、犬飼ら[2]が発表した結果と比較して、矛盾がない結果である。

4.2 被験者ごとの測定結果を図32に示す。発症者群、対照者群共に個人差が大きく、各周波数において15～20dBの幅でばらついている。年齢なども、ばらつきの要因である可能性が考えられる。

[2] 犬飼幸男他：「低周波音の聴覚閾値及び許容値に関する心理物理的実験-心身に係る苦情に関する参照値の基礎データ」, 騒音制御 Vol.30, No.1(2006), pp.61-70

p.22 (発症者群と対照者群の寝室許容値)

被験者が自分の寝室を想定した場合に許容できる騒音レベルを寝室許容値と定義し、収録したヒートポンプ給湯機の運転音に対する寝室許容値の測定を実施した結果を示す。

1 測定の目的

この測定では、ヒートポンプ給湯機の運転音を無響室で聴き、その運転音がヒートポンプ給湯機の運転音を含まれない生活環境音と比較して、不快な特性があるのか調査する目的で、寝室許容値の測定を行った。

2 試験音

試験音は、深夜、ヒートポンプ給湯機が実際に運転しているときの隣家の住戸内で収録した音（ヒートポンプ給湯機運転時）、停止時の音（ヒートポンプ給湯機停止時）、及び運転時の音で特徴的な卓越周波数である40Hzのピークを低減した音（ヒートポンプ給湯機運転時 40Hz off）の3種類の試験音を用いて、寝室許容値を測定した。図33に3種類の試験音と無響室の暗騒音のスペクトルを示す。

3 測定システム

東京大学生産技術研究所の応用音響工学実験設備を利用した。閾値測定では低音用スピーカー（ウーファー）のみを使用したが、寝室許容値の測定では、それらに加えて周波数8kHzまでの音を再生するため、中・高音用スピーカーをウーファーセットの中心に設置した。

4 測定方法

測定方法として、被験者調整法[2]と呼ばれる方法を採用した。小さい音（10dBA）から測定を開始して、被験者自身が許容できないレベルまで音を大きくしていく中で許容値を求める上昇系列での測定と、大きな音（40dBA）から測定を開始して、被験者自身が許容できるレベルになるように小さくしていく中で許容値を求める下降系列の測定を交互に各2回繰り返して、それらの平均値を寝室許容値とした。

5 測定結果

被験者は発症者4名、対照者5名である。背景騒音（一般家庭の測定は、背景騒音なし（無響室の暗騒音））と背景騒音の騒音レベル20dB及び30dBの3種を試験音に重畳して測定を行った。被験者が調整した寝室許容値の平均値の結果を図34に示す。背景騒音の騒音レベルを高くすると、寝室許容値の平均音圧レベルは高くなる傾向があり、背景騒音にはマスキングによる効果があるものと考えられる。

被験者ごとの結果から、寝室許容値は聴覚閾値に近いが、対照者の寝室許容値と比較すると、発症者群は低周波音の卓越周波数を知覚すると、直ちに不快を感じることを示唆した。

p.23 （ヒートポンプ給湯機と健康症状の関連について）

健康症状の発生に影響する可能性がある因子としては、ヒートポンプ給湯機から生じる運転音のほか、

- (1) 設置状況
- (2) 住宅固有の音の伝搬特性
- (3) 個人因子

などは健康症状の発生に複合的に関与している可能性がある。上記の因子について考え、その中で健康症状の発生を取り除ける条件について検討する。

1 設置状況

類似事案も含めた現地調査によれば、ヒートポンプ給湯機が発症者宅の窓や換気扇などの開口部の近くに設置されていることが確認された。

ヒートポンプ給湯機の設置については、日本冷凍空調工業会が据付けガイドブックにおいて、隣家も含めた寝室の傍を避けること、開口部（窓、床下通風口など）から極力距離をとること等を記載している。しかし、アンケート調査では、据付けガイドブックは住宅事業者、設置事業者等に十分に認知されていない状況がわかった。

2 住宅固有の音の伝搬特性

住宅内の固有な特性により、部屋内の定在波の音圧分布が定まり、位置により音圧レベルが顕著に違う可能性があることから、住宅固有の音の伝搬特性が発症に影響するこ

とが考えられる。

3 個人因子

同一住宅内でも発症した者と発症していない者がいることから、個人因子が何らかの影響を与えている可能性が考えられる。しかし、低周波音固有の人体への影響の有無とそのメカニズムは、学術的に不明な点も残されているのが現状である。

聴感調査において、症状を訴えている者は、症状を訴えていない者と比較して、低周波音の寝室許容値と聴覚閾値との音圧レベル差が低く、知覚すると直ちに不快に感じる傾向が示唆され、先行研究と同様な結果を確認した。

一方、症状を訴えている者が症状を訴えていない者と比較して、低周波音での聴覚閾値が低い（耳の感度が高い。）ことはなく、両者の聴覚閾値に大きな違いはなかった。

なお、低周波音の健康症状への影響については、個人の気質が関係しているとの議論があるが、今回実施した調査・分析からは、個人の気質と健康症状の発生との間に関連は認められなかった。

p.24 （類似事案等も含めた事例分析の結果）

類似事案等も含めた聞き取り等調査、音実測調査、アンケート調査、聴感調査による事例分析から、以下の点が明らかになった。

- (1) 聞き取り調査において、発症時期の多くはヒートポンプ給湯機が設置された時期と同時期であること、また、ヒートポンプ給湯機を移設又は撤去したことで健康症状が改善した事案がみられるなど、時間的な関連が認められた。

聞き取り調査において、発症者が訴える健康症状が不眠、頭痛、めまい、吐き気等であること、窓を閉めた方が症状は重くなることがあること、同じ住宅内で不快に感じる場所（部屋）と比較的楽な場所（部屋）が存在する場合があることや同じ住宅に居住していても健康症状を訴える者と訴えない者という個人差があるなど、他の低周波音に係る問題でみられる状況と共通点がある。

- (2) 本件事案と同様にヒートポンプ給湯機の運転音が室内に伝搬し、低周波音領域で卓越周波数を生じていることが、実測した類似5事案のうち3事案において確認した。
- (3) アンケート調査において、自宅から隣家のヒートポンプ給湯機の設置場所までの距離が健康症状の有無に対し有意であった。
- (4) 聴感調査において、発症者群は対象者群に比べて、調査実施後の血圧の上昇が顕著である者が多かった。

以上ことから、運転音に含まれる低周波音が健康症状の発生に関与していること及びヒートポンプ給湯機の設置が健康症状の発生に関与していると考えられる。

p.25 (健康症状が発生した場合の問題の解決について)

ヒートポンプ給湯機の運転音の問題は、隣家が所有するものが多く、解決が難しいものとなっている。低周波音は、人に聞こえにくい領域の音であること、音の聞こえ方に個人差があることなどから音源の特定が難しいこと、また、設置者の理解を得ることが難しいこと等が低周波音に関する問題の解決を難しくしていると考えられる。

また、環境省の示す参照値は、寄せられた相談が低周波音によるものかどうかを判断するための値の1つではあるが、感受性等に個人差があることもあり、参照値以下であっても低周波音が原因である場合も否定できないとされている。他方、発症者への聞き取り調査においては、製造事業者等によって、測定値が参照値以下であることから、対応がなされない事例がみられた。健康症状の発生には個人因子も影響する可能性を考慮すると、一定の音圧レベルによっては一律に対応できない場合があると考えられる。

p.26 (リスク低減策)

現時点において、万能な対策を示すことは困難であるが、関係する行政機関、事業者等において、健康症状の発生リスクの低減や症状の軽減に向けた取組が必要と考えられます。

こうした取組によりできるだけ発症のリスクを低減するとともに、なお残るリスクに備えて、健康症状が発生した場合の対応の改善についても併せて検討されるべきと考えられます。

1 設置上の対策

据付けガイドブックの活用を促すことで、全ての事案を防げるとは限らないものの、発症リスクの低減や症状の軽減に一定の効果があると考えられる。

また、新築時に設置されるヒートポンプ給湯機の多くの場合には住宅事業者が設置場所を決めていると考えられるが、そのような場合に、住宅の設計者に据付け場所の選定ポイントなどの情報が提供されるよう配慮する必要がある。

2 消費者への周知

据付けガイドブックに沿った設置を円滑に行うには、ヒートポンプ給湯機の所有者の理解が重要である。そのため、ヒートポンプ給湯機の購入前に、設置状況によってはヒートポンプ給湯機の運転音に起因した健康症状を訴える者が生じる可能性があることを、製品カタログに記載する等により消費者に伝えることも有効と考えられる。

3 低周波音の音圧レベルの表示

JIS規格に従って、製品カタログや取扱説明書等に表示されている音圧レベルは、騒音レベル（A特性音圧レベル）となっており、必ずしも100Hz以下の低周波音を十分に反映した値ではない。したがってヒートポンプ給湯機の運転音に含まれる低周波音の音圧レベルの表示の在り方について検討し、消費者の選択に資することが考えられる。また、こうした表示制度の普及が製造事業者による低周波音低減のための製品開発を促すことにもつながると考えられる。

4 運転音の改善

一般に、低周波音の場合、卓越した周波数が問題となることが多く、また、本件事案においても、低周波音領域の卓越周波数が発症に影響している可能性が考えられる。根本的なリスク低減策としては、ヒートポンプ給湯機から生じる卓越した低周波音領域の音圧レベルの低減等に向け、製品開発を行っていくことが有効と考えられる。

5 低周波音による人体への影響についての研究

同一の住宅に居住していても、健康症状を発生した者と発生していない者がいるなど、低周波音による人体への影響の有無及びそのメカニズム（発症の条件、生理的な発症メカニズム等）には不明な点もある。こうしたメカニズムの解明は、製品改良等を通じた未然防止や、健康症状発生時の対応等の検討に寄与すると考えられる。

6 健康症状が発生した場合の対応

ヒートポンプ給湯機から生じる運転音・振動によって健康症状が生じたとの訴えがあった事案について、既設のヒートポンプ給湯機も含めて、製造事業者は、個々の事案に応じて、健康症状の軽減に向けたヒートポンプ給湯機に関する具体的な対策を検討し提案するとともに、その履行がなされるように取り計らうなど丁寧に対応すべきである。

また、環境省が定めた参照値があたかも基準値であるかのように扱われている事例がみられた。健康症状の発生には個人の特性等も影響すると考えられ、一定の音圧レベルによって一律に対応すべきものではなく、参照値以下であっても慎重な判断が必要な場合があることについて、一層明確に周知すべきである。

さらに、紛争となった場合の地方公共団体における適切な公害苦情対応についても検討すべきである。

p.27 (意見)

健康症状発生のリスクをできるだけ低減するとともに、より根本的な再発防止策の検討と発症時の対応の改善を進めるため、経済産業省、環境省、消費者庁及び公害等調整委員会は以下の取組を行うべきである。

1 リスク低減のための対策

- (1) 経済産業省は、住宅の設計・施工時における据付けガイドブックの活用を促すため、住宅事業者や設置事業者へ据付けガイドブックの説明及び普及を促進し、適切な時期にその効果の確認を行うよう、日本冷凍空調工業会を指導すること。
- (2) 経済産業省は、設置状況によってはヒートポンプ給湯機の運転音に起因した健康症状を訴える者が生じる可能性があることを、製品カタログに記載する等により、消費者に伝わるよう、製造事業者を指導すること。
- (3) 経済産業省は、低周波音が健康症状を発生させる可能性があることに鑑み、ヒートポンプ給湯機の運転音に含まれる低周波音の更なる低減等に向けて、製品開発を行う際に配慮するとともに、低周波音の表示の在り方について検討を行うよう、製造事業者を促すこと。
- (4) 環境省は、低周波音の人体への影響について、一層の解明に向けた研究を促進すること。

2 健康症状の発生時の対応

- (5) 経済産業省は製造事業者に対して、ヒートポンプ給湯機から生じる運転音・振動によって健康症状が生じたとする個々の事案に対応して、製造事業者が健康症状の軽減に向けたヒートポンプ給湯機に関する具体的な対策を検討し提案するとともに、その履行がなされるように取り計らうなど丁寧な対応に努めるよう、指導すること。
- (6) 消費者庁は、ヒートポンプ給湯機から生じる運転音・振動によって健康症状が生じたとの苦情相談への対応方法を地方公共団体に周知すること。
- (7) 環境省は、現場での音の測定値が参照値以下であっても慎重な判断を要する場合があることを、一層明確に周知すること。
- (8) 公害等調整委員会は、紛争となった場合の地方公共団体における適切な公害苦情対応について検討を行い、地方公共団体に対して指導、助言を行うこと。

p.28 (結論)

1 ヒートポンプ給湯機と健康症状の関連について

本件事案においては、ヒートポンプ給湯機の運転音が申出者の健康症状の発生に関与していると考えられる。また、類似事案等の事例分析においては、本件事案と共通の要素を含んだ事例がある。

2 健康症状の発生に影響する可能性がある因子について

ヒートポンプ給湯機から生じる運転音のほか、設置状況、住宅固有の音の伝搬特性、個人因子がある。そしてこれらが健康症状の発生に複合的に関与している可能性がある。

3 健康症状が発生した場合の問題の解決について

低周波音に関する問題の解決を難しくしている点について考え、環境省の示す参照値は、寄せられた相談が低周波音によるものかどうかを判断するための値の1つではあるが、発症者への聞き取り調査においては、測定値が参照値以下である理由から、製造事業者等によって対応がなされない事例がある。

健康症状の発生には、個人因子も影響する可能性を考慮すると、一定の音圧レベルによっては一律に対応できない場合がある。

【参考資料】

消費者安全法第23条第1項に基づく 事故等原因調査報告書

家庭用ヒートポンプ給湯機から生じる運転音・振動
により不眠等の健康症状が発生したとの申出事案

公害等調整委員会委員
柴山 秀雄

調査目的

本報告書の調査は、消費者安全法第23条第1項に基づき、消費者安全調査委員会により、生命身体に係る消費者被害の発生又は拡大の防止を図るため事故の発生原因や被害の原因を究明することを目的に、消費者安全の確保の見地から調査したものである。

なお、消費者安全調査委員会による調査又は評価は、事故の責任を問うために行うものではない。

1

事案の概要

群馬県に在住するA氏(50歳代男性)は、平成21年2月頃、不眠、頭痛、めまい、吐き気等を発症した。その後、同年5月頃、A氏の配偶者B氏(50歳代女性)も同じような症状を訴えた。

「これらの症状は、隣家の敷地内(自宅から約2m離れた場所)に設置されているヒートポンプ給湯機から生じる低周波音と思われる運転音・振動によるものである。」として、平成24年10月、A氏及びB氏は調査委員会に事故等原因調査等の申出を行った。

選定理由

事故等原因調査を行う事案として選定された理由。

- (1) ヒートポンプ給湯機は、広く消費者の利用に供されており、省エネルギーの観点等から今後も普及が見込まれる(「公共性」が高い。)
- (2) 申出者が訴えている健康症状の程度は、自宅では夜眠れないことがあるほど深刻な状況である(「被害の程度」が重大。)
- (3) ヒートポンプ給湯機が隣家に設置されている場合には、当該ヒートポンプ給湯機を申出者の一存では撤去等できない(「消費者による回避可能性」が低い。)

2

事実情報等

低周波音に関する問題の状況や制度の状況等について

①機器の稼動により運転音が発生し、②空気中を音が伝わり、③人が知覚して、不快を感じるという流れに沿って基礎的な事項を整理する。

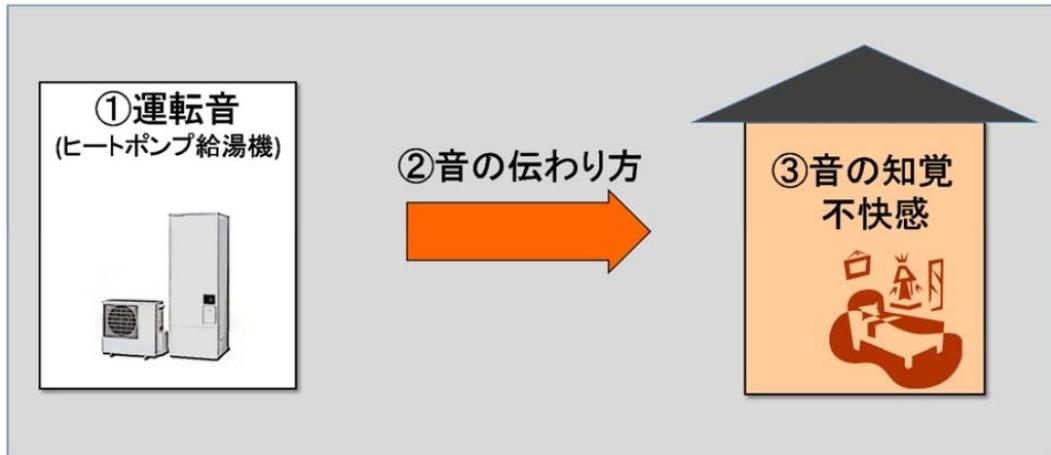


図1 調査の視点

3

装置構成と湯の生成プロセス

ヒートポンプユニットは、冷媒として大気中に存在する二酸化炭素(CO₂)を用い、次の①から④までを繰り返すことによって90°C程度の湯を作る。

- ① 冷媒を膨張弁で膨張させて、低圧(低温)の冷媒にする。
- ② 低温になった冷媒と空気との熱交換を空気熱交換器で行う。この結果、冷媒の温度が上がる。
- ③ 冷媒をコンプレッサーで圧縮して、高圧(高温)の冷媒にする。
- ④ 高温になった冷媒の熱と給水した水との熱交換を水熱交換器で行い、水の温度を上げる。

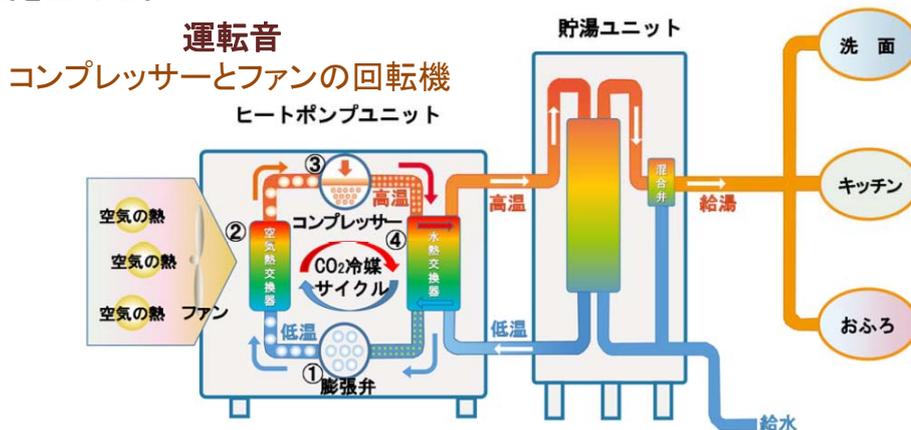


図2 ヒートポンプ給湯機の概略図

40

4

音の伝搬

音響用語(JIS Z 8106 : 2000)によれば、音とは、音響振動によって引き起こされる聴覚と定義されています。周波数範囲は20 ~ 20000Hzである。

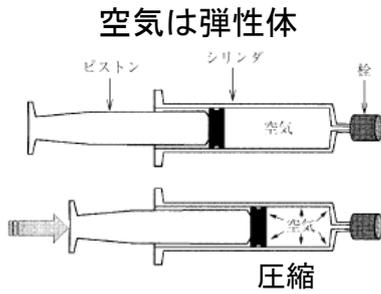


図3 モデル図

空気の密度が高い状態を密な状態、密度が低い状態を疎な状態という。

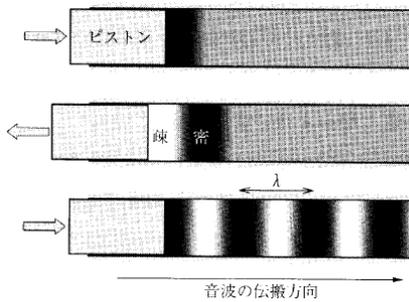


図4 疎密の生成

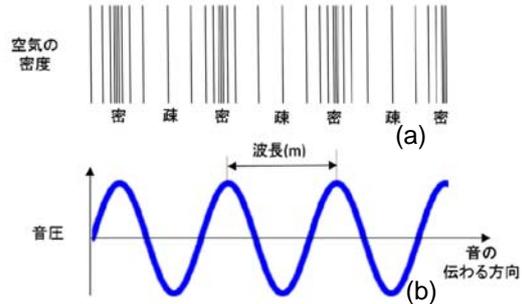


図5 正弦波音の瞬時状態
(a) 粒子の疎密 (b) 正弦波音
音圧の大きさと感じ方

空気の圧力変動の大きさを音圧という。音圧が大きい時は大きな音、音圧が小さい時は小さな音として聞こえる。

しかし、音圧の大きさの変化と人の聞こえる感じ方の変化とは単純比例していない。

純音の波形とスペクトル

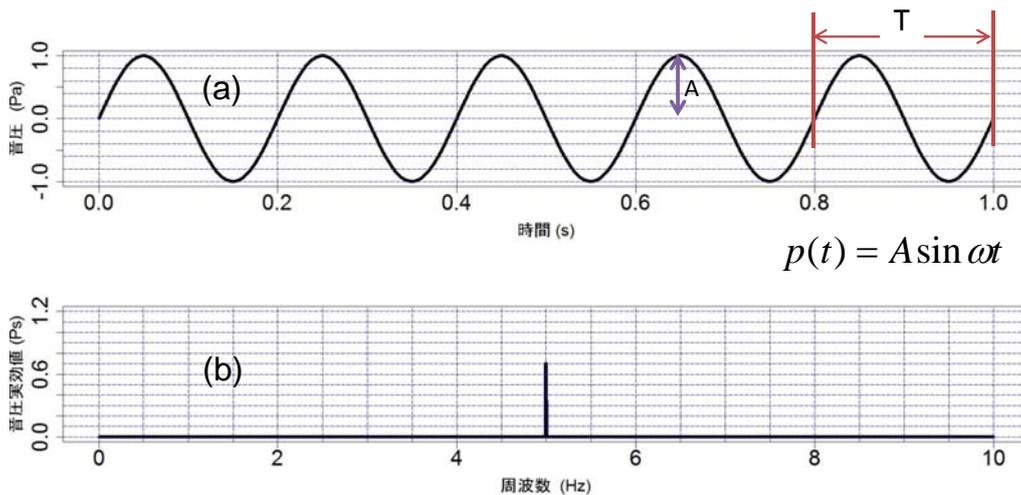


図6 正弦波音とスペクトル
(a) 音圧波形 (b) スペクトル

周期Tと周波数f

$$f = \frac{1}{T} \text{ (Hz)}$$

周波数fと角周波数ω

$$\omega = 2\pi f \text{ (rad/sec)}$$

瞬時音圧p(t)と音圧実効値p_{rms}

$$p_{rms} = \sqrt{\frac{1}{T} \int_0^T p^2(t) dt} \text{ (Pa)}$$

純音の最大値(A)が1Paの場合、音圧の実効値は0.707 Paである。

音圧レベル (dB)

$$L_p = 10 \log_{10} \frac{p_{rms}^2}{p_0^2}$$

ここに、p₀ = 2 × 10⁻⁵ Paである。
音圧レベルは91dBである。 6

身近な音の周波数と騒音レベル

周波数が高い場合は高い音、低い場合は低い音として聞こえる。

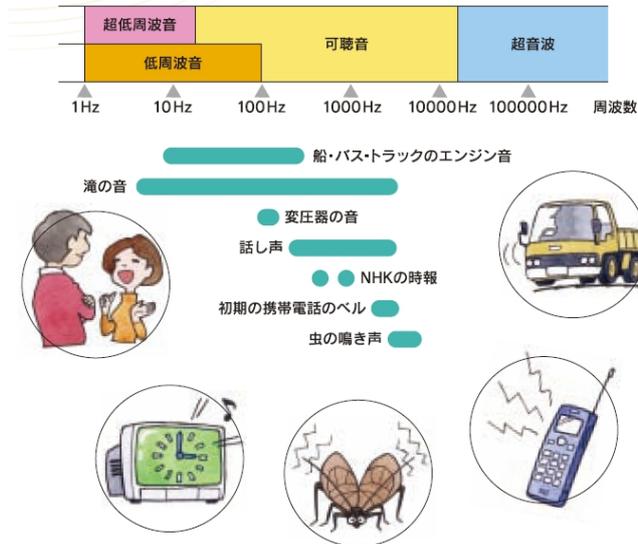


図7 身近な音の周波数

<http://www.env.go.jp/air/teishuha/yokuwaku/>



図8 身近な音の騒音レベル 7

等ラウドネス曲線

感覚的な音の大きさを「ラウドネス」という。等ラウドネス曲線は音の周波数を変化させたときに等しいラウドネスになる音圧レベルを測定し、等高線として結んだものである。

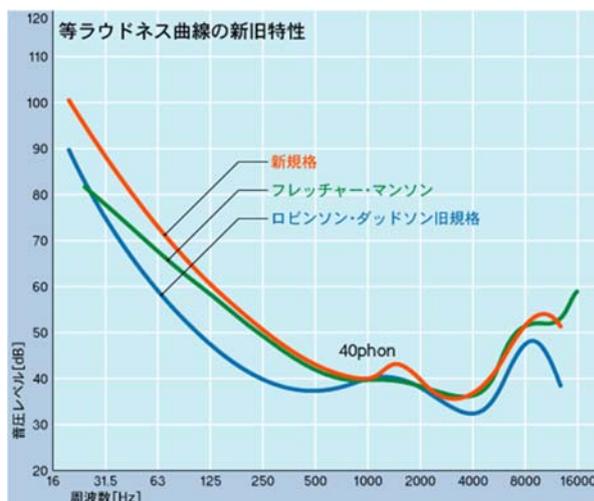


図9 40 phonの新旧規格

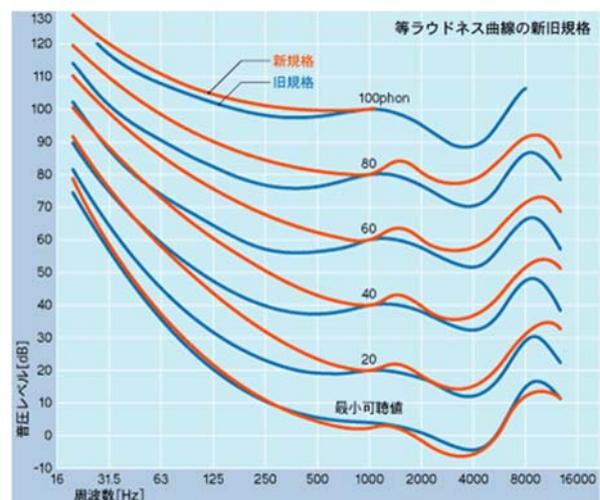


図10 等ラウドネス曲線の新旧規格

ロビンソン・ダッドソン旧規格と大きく異なり、特に、1,000Hz以下の低い周波数帯域の広い範囲で、10~15dBの大きな差が見られる。

感覚特性

聴覚感度に応じた補正

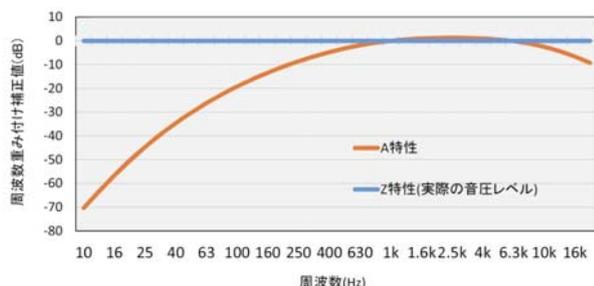


図11 A特性の周波数重み付け特性

補正值: JIS C 1509-1:2005

A特性とは、騒音計による測定に使われる、人間の聴覚を考慮した周波数重み付け特性である。

「超低周波音 1~20Hz」の感覚特性



図12 G特性の周波数重み付け特性

G特性音圧レベルで約100dB を超えると超低周波音を感じると記されている(ISO-7196)。

音色と不快感

通常の音には様々な周波数の音が混在しており、これらの音の周波数と大きさなどの組合せによって、その音の「音色」が決まる。

卓越周波数

周波数分析すると、ある周波数の音圧が極端に大きい場合があり、その周波数を「卓越周波数」と呼ぶ。

また、1つの卓越周波数が特に大きい場合、「純音性が高い」という。純音性が高い音は、耳につきやすいため不快感につながり、一般的に苦情の対象になりやすい。

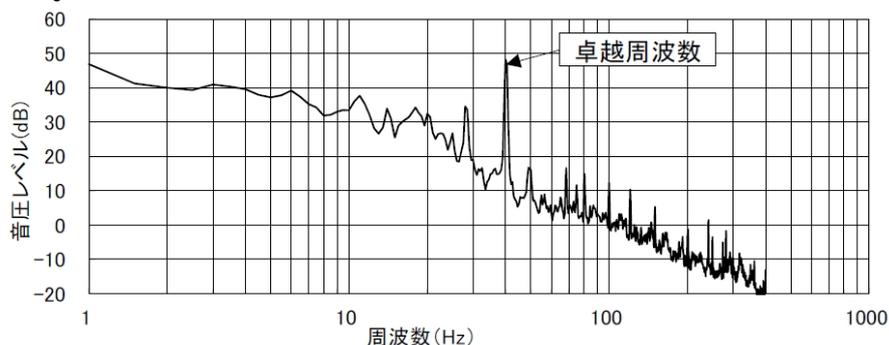


図13 卓越周波数の事例

ISO 1996-2:2007 の付属書C や JIS Z8731:1999 においては、純音性が高い騒音の場合には、測定された当該の騒音レベルに最大6dB の調整値を加えることが定められている。10

低周波音に関する問題の状況



図14 騒音対策の分類



図15 低周波音源

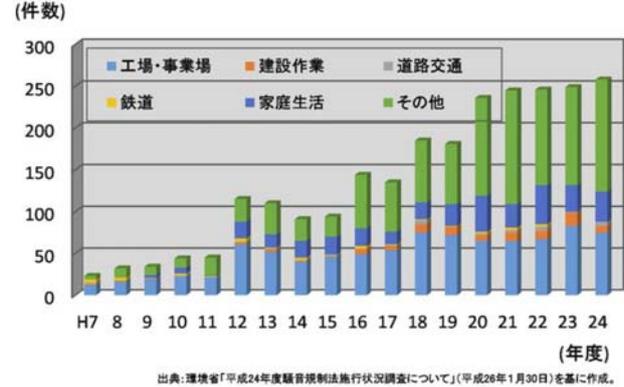


図16 低周波音に係る苦情件数の推移 ¹¹

制度の状況

環境基準

この基準では、夜間は昼間よりも低い値の基準値を定めており、夜間は騒音による睡眠への影響を適切に防止することを基準設定の基本的考え方としていっていると考えられる。ただし、この基準は、騒音レベルの大きさを定めたものであって、低周波音に特に言及したものではない。

低周波音問題への対応指針

環境省は、苦情の申立が低周波音によるものかどうかを判断するための材料の一つとして「心身に係る苦情に関する参照値」(以下「参照値」という。)が示された。この参照値は、一般成人の10%が寝室で許容できる低周波音の音圧レベルとなっている。つまり、参照値以下の音圧レベルであれば、一般成人の90%の者は気にならないということになるが、言い換えれば、10%の者は、参照値以下の音圧レベルであっても気になる可能性があることになる

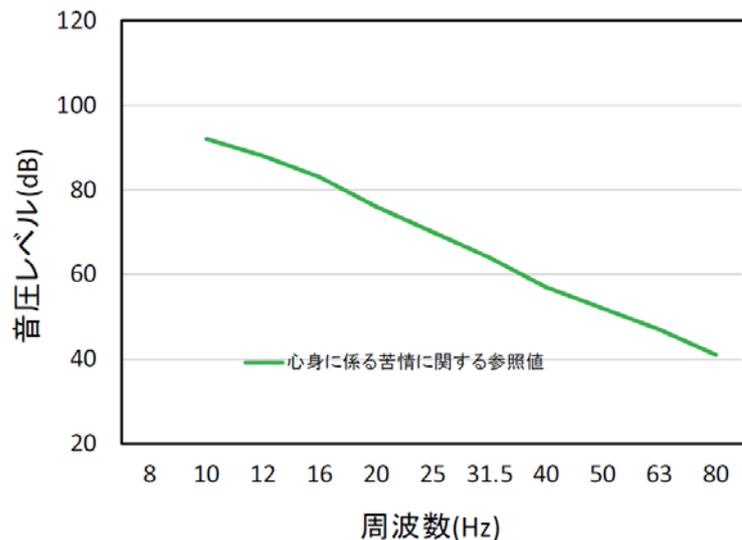


図17 周波数と音圧レベルの関係

申出者宅の測定箇所

部屋(場所)によって症状の程度は異っている。

- ① 1階はうなるように苦しく、そしてつらい。
- ② 2階にいた方がまだ楽である。
- ③ つらいときは、外に出て、自宅の敷地の住宅前道路まで行くと楽になる。

同じ部屋の中でも聞こえ方が異なり、部屋の壁際や床に近いところで症状の程度が重い。

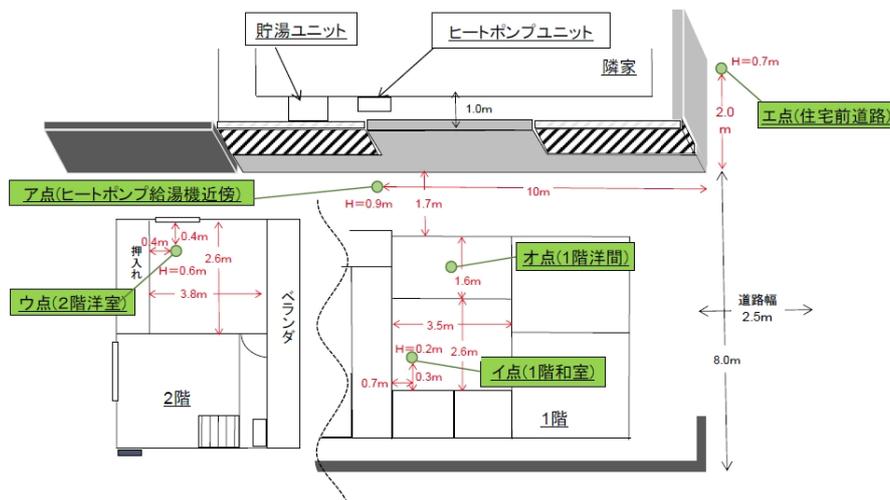


図18 申出者宅の平面図と測定位置

13

ヒートポンプ給湯機の運転音

約100分間の運転のうち、運転時前半が約30分間、運転時後半が約70分間である。

- ① 音全体の騒音レベルが約10dB上昇した。
- ② 運転の途中で周波数の変化がみられた。

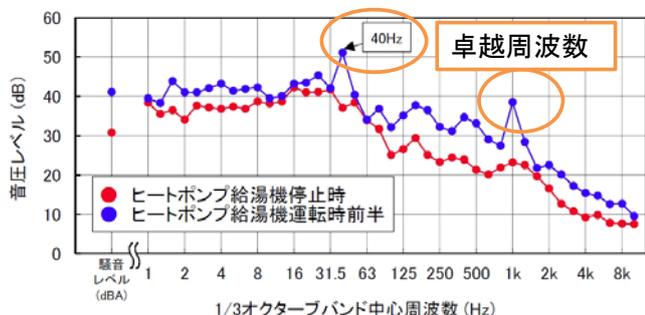


図19 運転時前半のア点(ヒートポンプ給湯機近傍)での測定結果

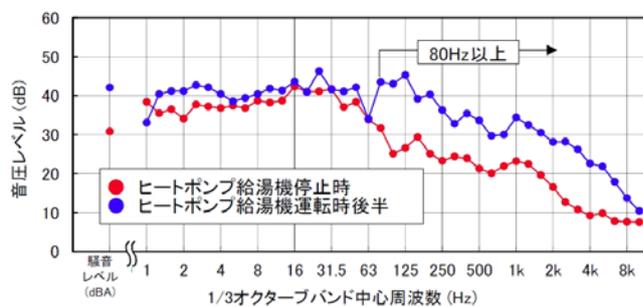


図20 運転時後半のア点(ヒートポンプ給湯機近傍)での測定結果

* 本報告書での運転音の周波数分析においては、両側の中心周波数の音圧レベルに対して10dB以上のピークを卓越周波数と呼んでいる。

* 1/3 オクターブバンド周波数分析では、1オクターブを3分割し、その1/3 オクターブバンド(帯域)の中心の周波数(「中心周波数」という。)の値で当該1/3 オクターブバンド全体を表している。つまり、1つの中心周波数で表示されていても、その周波数を含む前後1/3 オクターブの帯域を表している。

申出者宅内及び自宅前 における測定結果

イ点(1階和室)での測定結果

ヒートポンプ給湯機運転時には40Hzと50Hzで音圧レベルが上昇し、特に40Hzに卓越周波数が発生していた。

- * 40Hzの音圧レベルは49dBとなり(停止時より27dB上昇)、
- * 環境省が示している参照値よりは低いものの、国際規格で定められた聴覚閾値40dBとほぼ同じ値であった。
- * 人間の感覚に補正した音圧レベルを示す騒音レベル(図左端に表示)では、ほとんど変化がみられなかった。

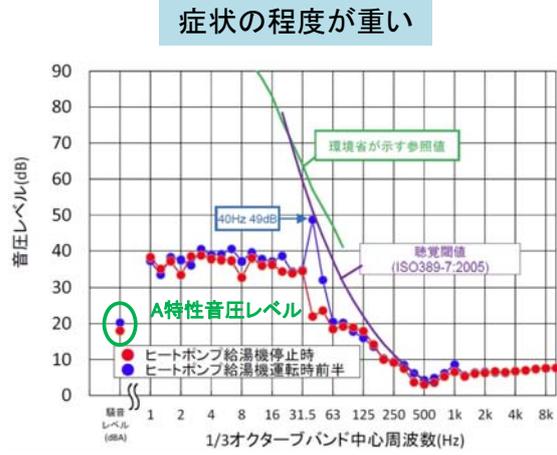


図21 イ点(1階和室)での測定

症状の程度が比較的軽い

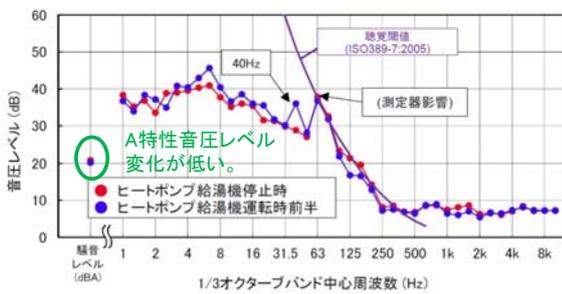


図22 ウ点(1階洋室)での測定

自宅外で症状が楽

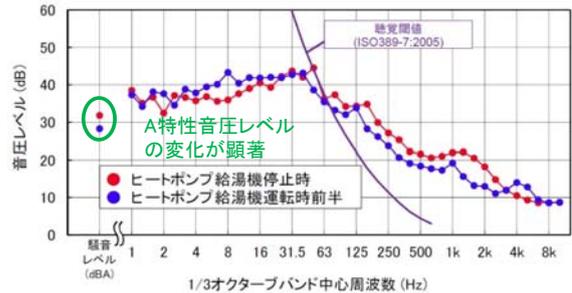


図23 エ点(住宅前道路)での測定

15

運転音の住宅内への伝搬

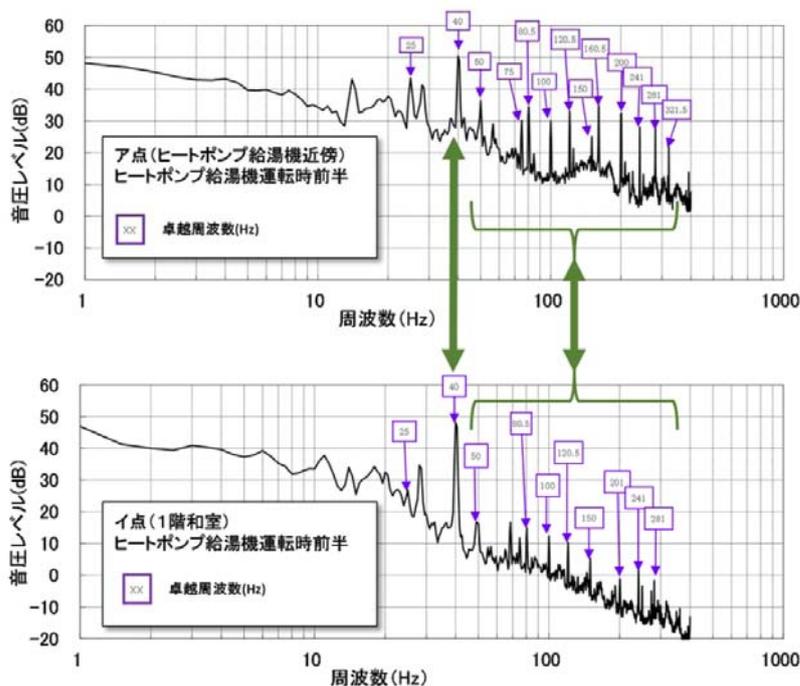


表1 定在波周波数一覧

番号	定在波周波数 (Hz)
1	30.75
2	35.00
3	42.50
4	44.50
5	49.00
6	55.50
7	63.00
8	68.00
9	73.25
10	78.50
11	84.75
12	89.75
13	96.00
14	99.00

図24 ア点(ヒートポンプ給湯機)とイ点(1階和室)のFFT分析結果の比較

16

窓閉めによる低周波音の苦情

窓を閉めることによって低周波音の存在が目立つ

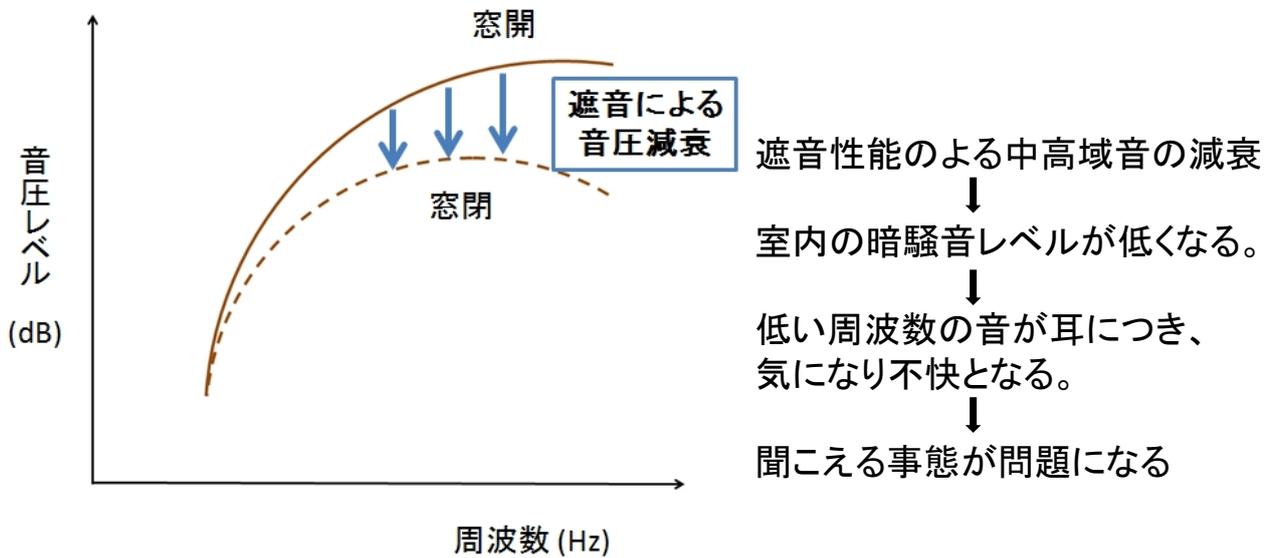


図25 窓の開閉による部屋の音圧周波数特性の変化

類似事案に関する聞き取り等調査

19事案について、その住宅に居住していた者を合計すると50名(男性22名、女性28名)であった。

このうち、健康症状を訴える者は50名中28名であり、同じ住宅に居住していても健康症状を訴える者と訴えない者がいた。

1 発症者の属性

表2 発症者の性別・年齢構成

年齢	男性	女性	計
～10歳	1		1
11～20歳	1	2	3
21～30歳			0
31～40歳			0
41～50歳	1	8	9
51～60歳	2	2	4
61～70歳		6	6
71～80歳		4	4
81歳～	1		1
計	6	22	28

2 健康症状の種類

表3 健康症状(複数回答)

健康症状	人数
不眠	27
頭痛	12
めまい	11
吐き気	10
鬱状態	5
動悸	4
ストレス・イライラ感	4
耳鳴り	3
食欲不振	3
しびれ	2
血圧上昇	2
腹痛	2
自律神経失調症	2
発疹	1
ノイローゼ	1
鼻血	1
全身倦怠感	1
耳の痛み	1
下痢	1

3 健康症状の発症時期

- 隣家又は自宅のヒートポンプ 給湯機の設置と同時期(又は、ヒートポンプ給湯機設置住宅の隣に引っ越した時期)とした者が28名中24名と多い。
- 1か月以上6か月未満で発症した者は1名、半年以上経ってからの発症者は3名であった。
- 発症した場所は主に寝室として使用している部屋であった。

4 住宅内の場所による変化 5 時間帯、季節、天候などによる変化

- 冬の方が症状が重いと感じるとの回答が11事案と多かった。変わらないとする回答も7事案あった。

6 訴える現象

7 対応策

類似事案の音実測調査

事案2

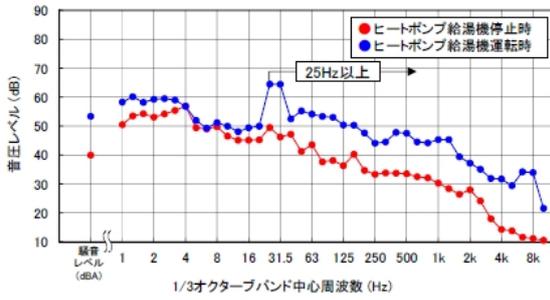


図26 ア点(ヒートポンプ給湯機近傍)の音測定結果

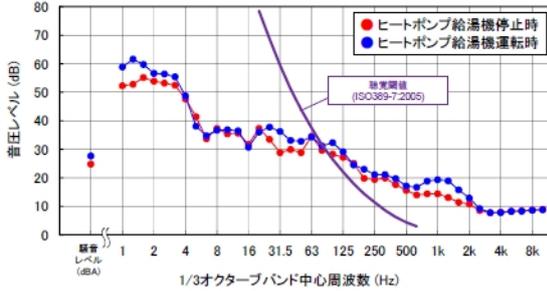


図27 イ点(健康症状が重い部屋)の音測定結果

事案12

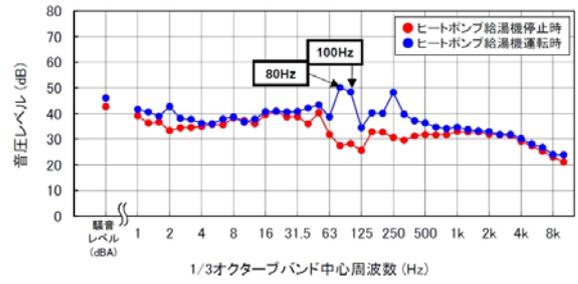


図28 ア点(ヒートポンプ給湯機近傍)の音測定結果

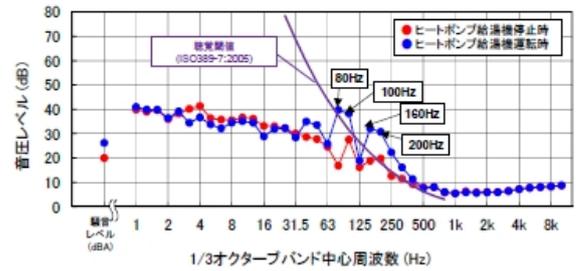


図29 イ点(健康症状が重い部屋)の音測定結果

19

季節による運転音の変化

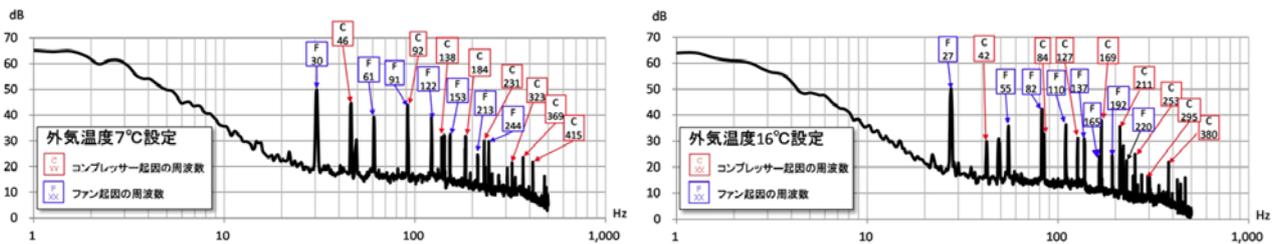


図30 無響室でのヒートポンプ給湯機の分析結果

表4 運転データに対するコンプレッサー及びファンの発生音の周波数

コンプレッサー	運転条件	駆動周波数 (Hz)	計算によるコンプレッサー発生音の周波数(Hz)								
			1次	2次	3次	4次	5次	6次	7次	8次	9次
	設定温度7°C	46	46	92	138	184	230	276	322	368	414
	設定温度16°C	42	42	84	126	168	210	252	294	336	378
ファン	運転条件	回転数 (rpm)	計算によるファン発生音の周波数(Hz)								
			1次	2次	3次	4次	5次	6次	7次	8次	9次
	設定温度7°C	605	30	61	91	121	151	182	212	242	272
	設定温度16°C	548	27	55	82	110	137	164	192	219	247

*冬期模擬運転時の46Hz及び92Hzと中間期模擬運転時の42Hz及び84Hzの卓越周波数の音圧レベルを比較すると、冬期模擬運転時の方が10dB以上大きくなっている。この卓越周波数はコンプレッサー起因であった。

低周波音領域の4つの周波数における聴覚閾値 (31.5Hz,40Hz,50Hz,63Hzの純音)

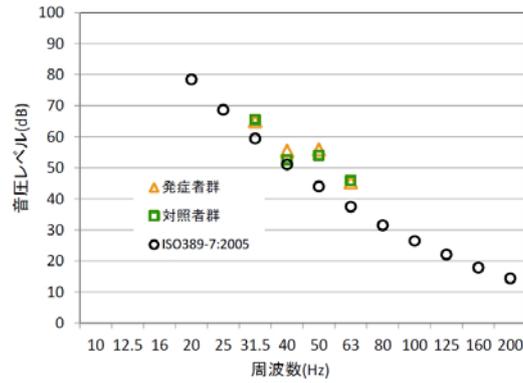


図31 聴覚閾値の測定結果

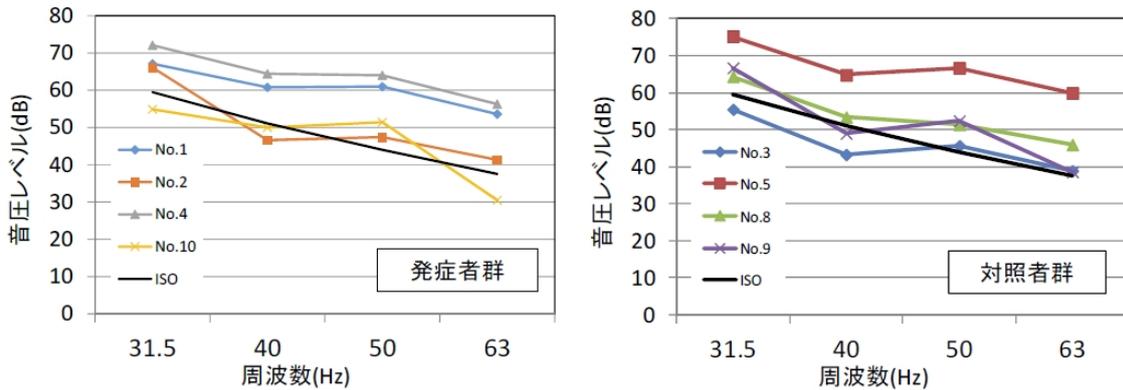


図32 聴覚閾値の被験者別の測定結果

21

発症者群と対照者群の寝室許容値

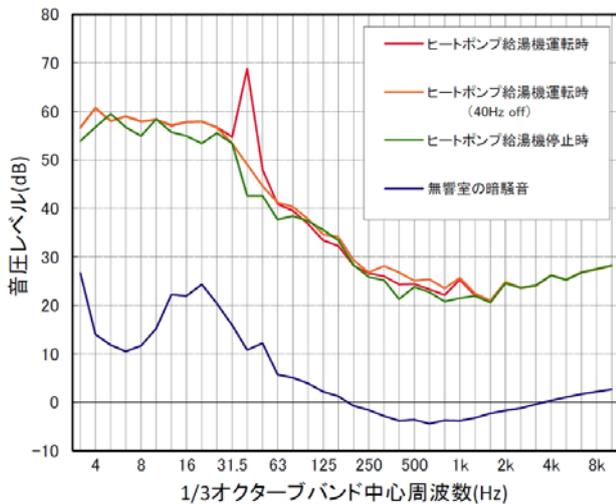


図33 寝室許容値測定に用いた収録音のスペクトル

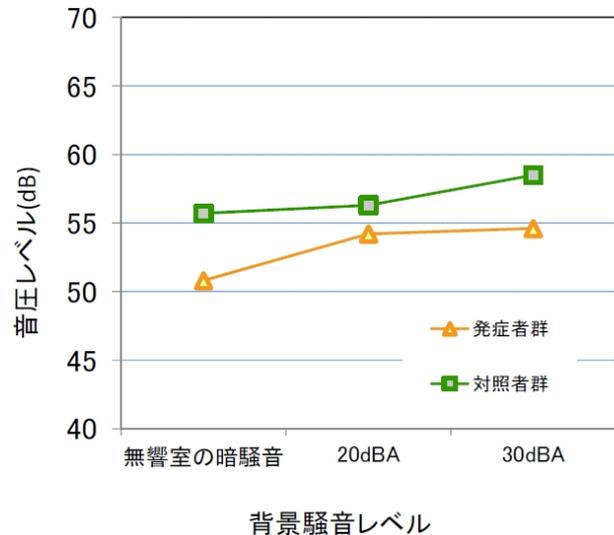


図34 発症者群と対照者群との平均寝室許容値の比較

22

ヒートポンプ給湯機と健康症状の関連 について

健康症状の発生に影響する可能性がある因子としては、ヒートポンプ給湯機から生じる運転音のほか、

- (1) 設置状況
- (2) 住宅固有の音の伝搬特性
- (3) 個人因子

があり、これらが健康症状の発生に複合的に関与している可能性が考えられる。

23

類似事案等も含めた事例分析の結果

類似事案等も含めた聞き取り等調査、音実測調査、アンケート調査、聴感調査による事例分析から、以下の点が明らかになった。

これらのことから、健康症状の発生にヒートポンプ給湯機の設置が関与していることや、さらに③～⑤から、運転音に含まれる低周波音が健康症状の発生に関与していることを否定できないと考えられる。

①聞き取り調査において、発症時期の多くはヒートポンプ給湯機が設置された時期と同時期であること、また、ヒートポンプ給湯機を移設又は撤去したことで健康症状が改善した事案がみられるなど、**時間的な関連が認められた**。

②アンケート調査において、自宅から隣家のヒートポンプ給湯機の設置場所までの距離が、健康症状の有無に対し有意であった。

③類似事案のうち5事案について、現地での音実測調査を実施したところ、そのうち3事案において、本件事案と同様にヒートポンプ給湯機の運転音が室内に伝搬し、**低周波音領域で卓越周波数を生じていることが確認された**。

④聞き取り調査において、発症者が訴える健康症状が不眠、頭痛、めまい、吐き気等であること、窓を閉めた方が症状が重くなること、**同じ住宅内で不快に感じる場所(部屋)と比較的楽な場所(部屋)が存在する場合があること**など、他の低周波音に係る問題でみられる状況と共通する点がみられた。

⑤聴感調査において、発症者群は対象者群に比べて、**調査実施後の血圧の上昇が顕著である者が多かった**。

24

健康症状が発生した場合の問題の 解決について

1. ヒートポンプ給湯機の運転音の問題は、隣家が所有するものが多く、解決が難しいものとなっている。
2. 低周波音は、人に聞こえにくい領域の音であること、音の聞こえ方に個人差があることなどから音源の特定が難しいこと。
3. 設置者の理解を得ることが難しいこと。
4. 環境省の示す参照値以下であっても、低周波音が原因である場合も否定できないとされている。他方、発症者への聞き取り調査においては、製造事業者等によって、測定値が参照値以下であることから、対応がなされない事例がある。
5. 健康症状の発生には個人因子も影響する可能性を考慮すると、一定の音圧レベルによっては一律に対応できない場合がある。

25

リスク低減策

関係する行政機関、事業者等において、健康症状の発生リスクの低減や症状の軽減に向けた取組が必要と考えられる。

住宅固有の音の伝搬特性や、個人因子を変えることは困難であることから、まずは、発生源での対策(設置状況や運転音の改良)が中心になる。

低周波音が健康に与える影響の有無及びそのメカニズム(発症の条件、生理的な発症メカニズム等)には不明な点もある。そのメカニズムを更に解明することで、将来的な、製品改良等を通じた未然防止や健康症状発生時の対応等の検討に寄与すると考えられる。

こうした取組によりできるだけ発症のリスクを低減するとともに、なお残るリスクに備えて、健康症状が発生した場合の対応の改善についても併せて検討されるべきである。

26

意見

健康症状発生のリスクをできるだけ低減するとともに、より根本的な再発防止策の検討と発症時の対応の改善を進めるため、経済産業省、環境省、消費者庁及び公害等調整委員会は以下の取組を行うべきである。

健康症状の発生時の対応

- ① 経済産業省は製造事業者に対して、ヒートポンプ給湯機から生じる運転音・振動によって健康症状が生じたとする個々の事案に対応して、製造事業者が健康症状の軽減に向けたヒートポンプ給湯機に関する具体的な対策を検討し提案するとともに、その履行がなされるように取り計らうなど丁寧な対応に努めるよう指導すること。
- ② 消費者庁は、ヒートポンプ給湯機から生じる運転音・振動によって健康症状が生じたとの苦情相談への対応方法を地方公共団体に周知すること。
- ③ 環境省は、現場での音の測定値が参照値以下であっても慎重な判断を要する必要があることを一層明確に周知すること。
- ④ 公害等調整委員会は、紛争となった場合の地方公共団体における適切な公害苦情対応について検討を行い、地方公共団体に対して指導、助言を行うこと。

27

結論

1 ヒートポンプ給湯機と健康症状の関連について

本件事案においては、ヒートポンプ給湯機の運転音が申出者の健康症状の発生に関与していると考えられる。また、類似事案等の事例分析においては、本件事案と共通の要素を含んだ事例がある。

2 健康症状の発生に影響する可能性がある因子について

ヒートポンプ給湯機から生じる運転音のほか、設置状況、住宅固有の音の伝搬特性、個人因子があること、そしてこれらが健康症状の発生に複合的に関与している可能性がある。

3 健康症状が発生した場合の問題の解決について

低周波音に関する問題の解決を難しくしている点について考え、環境省の示す参照値は、寄せられた相談が低周波音によるものかどうかを判断するための値の1つではあるが、発症者への聞き取り調査においては、測定値が参照値以下である理由から、製造事業者等によって対応がなされない事例がある。

健康症状の発生には、個人因子も影響する可能性を考慮すると、一定の音圧レベルによっては一律に対応できない場合がある。

28