

## 2.3 低周波音の聴覚閾値等に関する被験者実験

### 2.3.1 固定発生源の聴覚閾値、「寝室の許容値」、「居間の許容値」及び「気になるレベル」に関する実験

#### 2.3.1.1 実験方法

##### 2.3.1.1.1 実験実施の場所及び年月日

###### (1) 実験場所

独立行政法人産業技術総合研究所 つくば中央第6 低周波音実験室

###### (2) 実験年月日

平成21年11月4日～平成22年2月3日

##### 2.3.1.1.2 被験者

###### 2.3.1.1.2.1 被験者群

###### (1) 若齢者

前回実験では、一般成人として、20～65歳の応募者からランダムに抽出された者、21名（平均年齢43.2歳）が参加した。また、苦情者群の男女比率にあわせて、女性の割合が多かった（男性5名、女性16名）。

今回の実験では、聴覚的に感度がより高く、長時間の測定でも安定して測定結果が得られると考えられる若齢者に限って採用し、また男女はほぼ同数とした。彼らは、学内のアルバイト掲示を見て応募してきた19～26歳（平均21.4歳）の筑波大学学生44名であり、男性24名、女性20名であった。

###### (2) 苦情者

NPO法人を通じて募集した、41歳及び71歳の男性2名であった。そのうちの1名は、前回実験にも参加した者である。より多くの参加者を見込んで募集を行ったが、結果的に男性2名、女性2名の応募しか得られなかった。さらに、そのうちの女性2名は、応募後に実験への参加を辞退した。

###### 2.3.1.1.2.2 実験参加への同意

本実験は、産業技術総合研究所人間工学実験倫理委員会の承認のもとに行われた。両群の被験者ともに、実験参加にあたり、同委員会が承認した説明書に基づいて実験趣旨等の説明を受け、同意書に署名をした。さらに、苦情者群は、（社）日本騒音制御工学会から事前に実験の趣旨等の説明も受け、実験当日に確認のための署名を行った。

###### 2.3.1.1.3 実験の流れ

両群の各被験者に対して、以下のとおり、順次測定を行った。測定の項目とそれぞれの概要を記す。

(1) 外耳道の確認

耳鏡を用いて外耳道を確認し、必要に応じて耳垢の除去を行った。

(2) ティンパノメトリ

インピーダンスオージオメータ（モリタ製作所、SI-50I）を用いて、鼓膜及び中耳の状態を確認した。なお、苦情者群の実験は2日間にわたったため、両日ともにティンパノメトリを行った。

(3) 純音聴力測定

純音オージオメータ（Rion、AA-79S）及びJIS T 1201-1に準拠したオージオメータを用いて、聴力を測定した。なお、苦情者群の実験は2日間にわたったため、両日ともに純音聴力測定を行った。

(4) 低周波音実験

2.3.1.1.4 節の方法により、聴覚閾値及び「寝室の許容値」を求めた。さらに、前回実験と判断基準をできるだけ揃え、結果を比較しやすくするために「気になるレベル」及び「居間の許容値」を併せて測定した。

(5) 質問紙調査

次の(a)~(c)の3つの質問紙調査を行った。なお、若齢者群については、(b)及び(c)の調査は省略した。

- (a) ISO 389-9（文献4）に基づく、聴覚の傷病歴等に関わる質問紙（附録1、若齢者用；附録2、苦情者用、前回実験と同じ）
- (b) 独自に作成した低周波音被害に関する調査票（附録3、前回実験と同じ）
- (c) THI 東大式自記健康調査票（附録4、前回実験と同じ）

2.3.1.1.4 低周波音実験

2.3.1.1.4.1 実験装置

前回実験と同じ低周波実験室を使用した。内寸は3.5 m（縦）×2.5 m（横）×2.6 m（高さ）である。実験室の平面図を図2.3.1.1に示す。

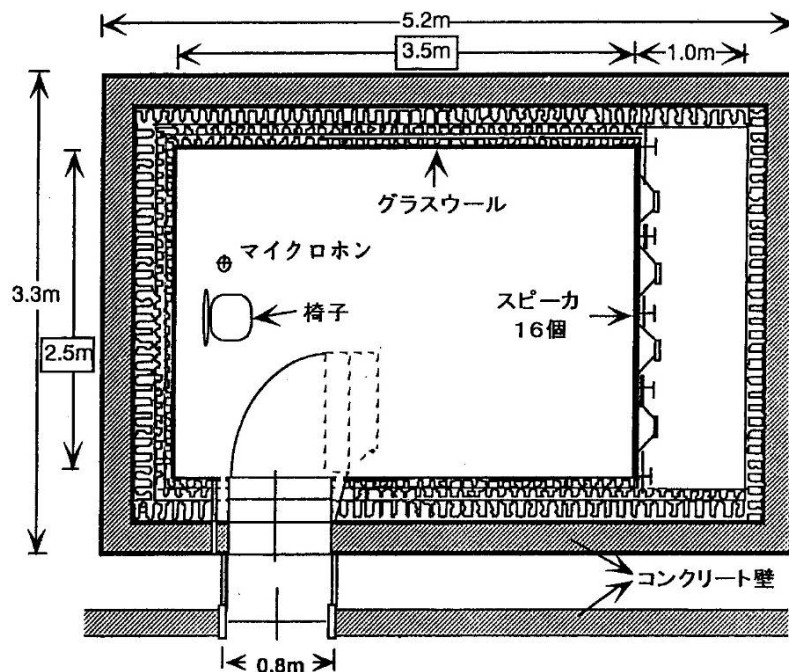


図 2.3.1.1 低周波音実験室の平面図 (文献 2)

実験室の主な音響特性は、以下のとおりであった：

- ・ 遮音性能：50 dB@125 Hz、65 dB@500 Hz
- ・ 内壁の吸音率：0.6@125 Hz、0.95@500 Hz
- ・ 共振周波数：5 Hz
- ・ 暗騒音：11.5 dB(A) 以下

また、中心周波数 10～200 Hz の 1/3 オクターブバンドの暗騒音レベルは、すべてのバンドで ISO 389-7 (文献 5) に示される聴覚閾値を少なくとも 14 dB 下回っており、聴覚閾値の測定に影響の無いことを確認した。

被験者に相対する壁面には口径 46 cm のダイナミック形スピーカ (TOA、HLS46S-8) が 16 台埋め込まれており (図 2.3.1.2)、これらを同期して動かすことにより、室内の圧力変化 (圧力場) を生成した。被験者の頭部中心を基準にした前後及び上下±15 cm の位置での音圧レベルの偏差は、±1 dB 以下であった。ただし、同じく前後±15 cm の位置では、80 Hz 及び 160 Hz で偏差が±1 dB を超えた。そのため、ヘッドレスト (図 2.3.1.3) により、実験中の被験者頭部の前後の動きを制限した。



図 2.3.1.2 低周波音実験室のスピーカ

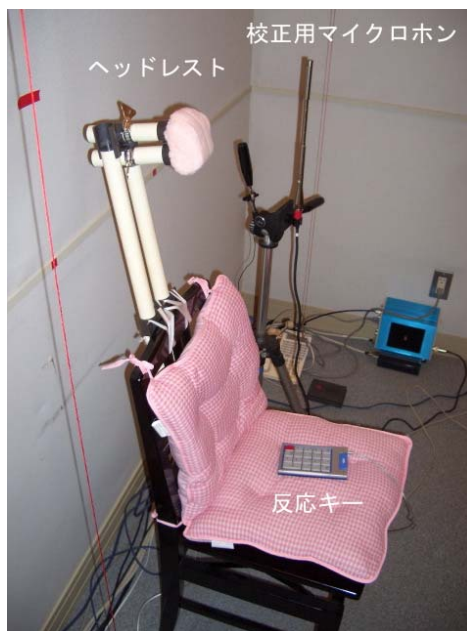


図 2.3.1.3 被験者用の椅子

実験に使用した刺激音は、MATLAB 2009a (The MathWorks, Inc.)を用いて、サンプリング周波数 44.1 kHz、量子化ビット数 24 bit にてコンピュータ上で作成し、

wav 形式ファイルで保存した。それらのサウンドファイルは、MATLAB プログラムにしたがって、順次、D/A コンバータ (Roland、UA-1000) でアナログ信号に変換した後、8 台 16 チャンネルのパワーアンプ (TOA、IP-300D) で増幅し、スピーカから出力した。

#### 2.3.1.1.4.2 聴覚閾値の測定

聴覚閾値は、上下法を用いて測定した。刺激音の周波数は、若齢者では 10 Hz から 80 Hz までの低周波数領域でオクターブ間隔の 4 種類、及び 160 Hz の計 5 種類とした。一方、苦情者ではより詳細に閾値を確認するため、10 Hz から 80 Hz までの低周波数領域、及び 100 Hz から 200 Hz まで、それぞれ 1/3 オクターブ間隔の計 14 種類とした (表 2.3.1.1)。

表 2.3.1.1 聴覚閾値の測定周波数

被験者群	測定周波数、Hz
若齢者	10、20、40、80、160
苦情者	10、12.5、16、20、25、31.5、40、50、63、80、100、125、160、200

1 音あたりの持続時間は 1.5 s、立ち上がり／減衰時間はそれぞれ 0.15 s とし、1~2 s の間隔で繰り返し呈示した。呈示レベルは 1 音ごとに 3 dB ずつ増加または減少させた (図 2.3.1.4)。

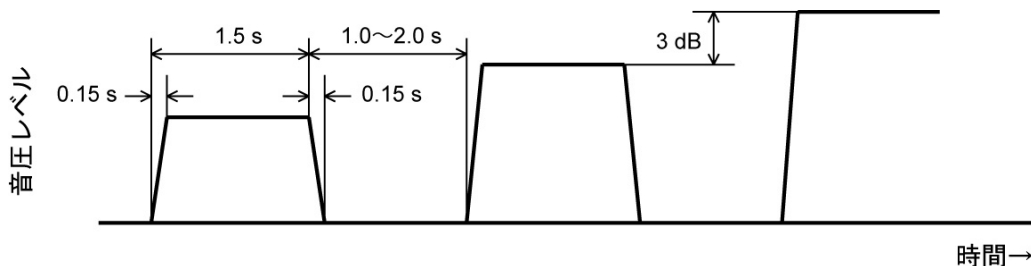


図 2.3.1.4 刺激音系列の概略図 (上昇系列の例)

1 つの測定ブロックは、5 つの上昇系列及び下降系列で構成した。最初の系列は常に上昇系列であり、練習試行として後述の集計からは削除した。上昇系列では被験者の検出反応が連続して 2 回得られたときの最初のレベルを、下降系列では被験者の反応が 2 回連続して無くなったときの最初のレベルを、それぞれその系列の測定点として記録した (図 2.3.1.5)。各周波数について 4 ブロックの測定を行い、結果として 16 個の測定点を得た。それらの算術平均を、その被験者の閾値とした。測定する周波数の順序は被験者によって変え、全体とし

て順序効果が相殺されるようにした。

被験者には、呈示された音が聞こえているあいだ、手元の反応キーを押し続けるよう教示した。実験に使用した教示文を、附録 5 に示す。

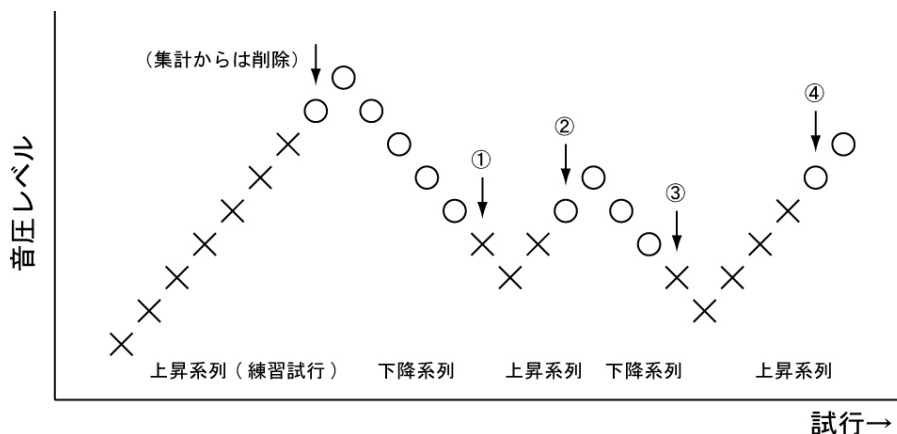


図 2.3.1.5 刺激系列中の測定点

○：検出反応あり、×：検出反応なし、矢印：測定点（①～④の刺激音の音圧レベルを記録した。）

#### 2.3.1.1.4.3 「寝室の許容値」、「居間の許容値」及び「気になるレベル」の測定

前回実験では、被験者調整法を用いて、それらの許容値及びレベルが求められた。しかし、この手法では刺激音の調整がすべて被験者自身に委ねられるため、測定手続きに不透明さの生じることが否めない。そこで、今回の実験では、尺度評定法を用いて「寝室の許容値」を測定した。また、前回実験と判断基準を揃え、両実験結果の比較の妥当性を確保するために、「居間の許容値」及び「気になるレベル」も併せて測定した。

以下の実験手続きは、若齢者群・苦情者群ともに共通である。刺激音の周波数は、聴覚閾値の測定と同じ 10、20、40、80 Hz の低周波数領域の 4 種類、及び 160 Hz の計 5 種類とした。各音の持続時間は 10 s、立ち上がり／減衰時間はそれぞれ 0.15 s とした。

刺激音の音圧レベルには、表 2.3.1.2 に示すとおり、周波数毎に異なる値を設定した。刺激番号 1～9 のレベルは、それぞれの周波数において、0～40 phon の範囲で 5 phon 間隔のラウドネスレベルにあたる音圧レベルである（文献 6）。10 Hz については同文献に規定がないため、文献 7 を参照しながら、20 Hz 以上のレベルを外挿して決定した。また、被験者が、刺激音以外の音（耳鳴り等）に反応している可能性を検出するために、無音（刺激番号 0）の試行を入れた。

これら 45 種類の刺激音（5 周波数×9 音圧レベル）各 1 試行及び無音の 5 試

行、計 50 試行を 1 ブロックとした。そして、「寝室の許容値」、「居間の許容値」及び「気になるレベル」の 3 つの判断基準に対して、各被験者は 2 ブロックずつの試行を行った。各判断基準の測定順序は被験者ごとに変え、被験者群全体として順序効果が相殺されるようにした。

表 2.3.1.2 「寝室の許容値」等の測定における刺激音の音圧レベル (dB)

刺激番号		0	1	2	3	4	5	6	7	8	9
phon		-	0	5	10	15	20	25	30	35	40
周 波 数 (Hz)	10	0	95	97	99	101	103	105	107	109	111
	20	0	77	80	84	87	90	92	95	97	100
	40	0	46	55	61	66	70	73	76	80	83
	80	0	25	36	43	49	53	57	61	65	68
	160	0	13	22	29	34	39	44	48	53	57

被験者に教示した「寝室の許容値」、「居間の許容値」及び「気になるレベル」の意味と評定値は、それぞれ以下のとおりである。

(a) 「寝室の許容値」：自宅の寝室で寝ようとしている状況を想定。

- 「1：許容できる」
- 「2：やや許容できる」
- 「3：あまり許容できない」
- 「4：まったく許容できない」の 4 段階。

(b) 「居間の許容値」：自宅の居間でゆったりと新聞を読んでいる状況を想定。

- 「1：許容できる」
- 「2：やや許容できる」
- 「3：あまり許容できない」
- 「4：まったく許容できない」の 4 段階。

(c) 「気になるレベル」：特定の状況は想定しない。

- 「1：まったく気にならない」
- 「2：あまり気にならない」
- 「3：やや気になる」
- 「4：非常に気になる」の 4 段階。

さらに、いずれの基準についても、「0：聞こえない」の選択肢を用意した。

実験に使用した教示文を、附録 6～8 に示す。また、教示文で不明な点を被験者から質問された場合は、適宜、実験者が説明を補った。

### 2.3.1.2 実験の結果と考察

#### 2.3.1.2.1 被験者のスクリーニング

低周波音実験の結果集計に先立ち、聴覚に異常のある者のデータを除くため、若齢者群の被験者のスクリーニングを行った。2.3.1.2.2 節以降、若齢者群の実験結果には、すべてスクリーニング後のデータを示す。

スクリーニングには、文献 4 等を参照して以下の基準を採用した：(1) ティンパノメトリにおいて、中耳のコンプライアンスが最大となる外耳道腔圧が $\pm 50$  daPa を超えない。(2) 純音聴力測定において、いずれかの測定周波数で左右耳の測定値差が 25 dB を超えない。(3) 聴覚の傷病歴に関わる質問紙において過度の音響曝露が報告されておらず、それが聴力測定結果に表れていない。結果的に、(1)と(2)の基準を満たさなかった者が男女各 1 名いた。したがって、集計の対象とした若齢者群は、19~26 歳（平均 21.3 歳）の男性 23 名、女性 19 名、計 42 名となった。

苦情者群については参加者が少ないためスクリーニングを行わず、2 名の参加者のデータをそのまま使用した。両者ともティンパノメトリからは異常（風邪による耳管の詰まり等）は認められず、実験当日の鼻及び耳の状態に問題はなかったと考えられた。

若齢者群及び苦情者群のオージオグラム（聴力図）を附録 9 に示す。

また、スクリーニングの目的には使用しなかったが、「THI 東大式自記健康調査票」への回答の集計結果を附録 10 に示す。今回の苦情者群の尺度得点は、前回実験の苦情者群の平均値 $\pm$ 標準偏差の範囲にほぼ含まれている。したがって、今回の苦情者群は、前回実験の苦情者群と同様の主観的身体状況及び精神心理的傾向を有していたと考えられる。

#### 2.3.1.2.2 聴覚閾値

若齢者及び苦情者の聴覚閾値を図 2.3.1.6 に示す。また、比較のため、標準聴覚閾値レベルとして、10 Hz については文献 7 の値を、20~200 Hz については ISO 389-7（文献 5）に規定された値を示す。この図によると、若齢者群の聴覚閾値は標準聴覚閾値レベルにほぼ一致しており、また個人差の大きさを表す四分位範囲も $\pm 3\sim 5$  dB 程度と小さい（四分位範囲とは、25 パーセンタイルと 75 パーセンタイルを両端とする範囲であり、その中に半数の被験者のデータが含まれる）。したがって、本実験の若齢者群は、聴覚感度に関しては耳科学的に正常な若齢者の標準的な集団を代表し、本研究の目的に合致した被験者群であったと言える。

一方、苦情者群の聴覚閾値は、すべての測定周波数において標準聴覚閾値レベルよりも高い。附録 9 のオージオグラムとも照らし合わせると、これは加齢



による聴覚閾値の上昇（聴覚感度の低下）を反映したものと考えられる。

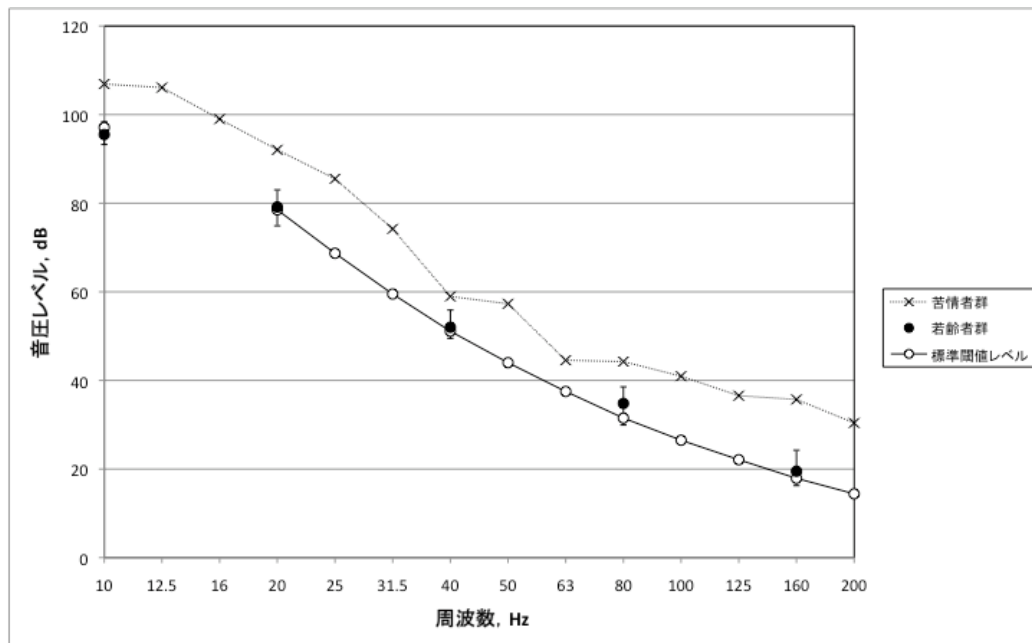


図 2.3.1.6 若齢者群及び苦情者群の聴覚閾値

比較のために、標準聴覚閾値レベルを重ねて示す。

注) 図中 10Hz の○は、参考文献 7 の [Journal of Low Frequency, Noise, Vibration and Active Control 9(3), 106-115(1990)] から引用の標準閾値レベル

### 2.3.1.2.3 「寝室の許容値」、「居間の許容値」及び「気になるレベル」

#### 2.3.1.2.3.1 評定値の集計方法

今回の実験では、被験者は呈示された音に対して、被験者は 5 段階尺度で評定を行った。「0：聞こえない」の評定を除くと、「寝室の許容値」及び「居間の許容値」の評定ラベルは、「1：許容できる」「2：やや許容できる」「3：あまり許容できない」「4：まったく許容できない」であった。したがって、この評定尺度上で許容できるかできないかの境界は、評定値 2 と 3 の間に存在する。

「気になるレベル」でも同様に、気になるかどうかの境界は評定値 2 と 3 の間に存在する。そこで、今回の実験の判断基準では評定値 2.5 にあたる音圧レベルが、前回実験の「寝室の許容値」、「居間の許容値」及び「気になるレベル」にそれぞれ相当すると考えられる。

各判断基準における評定値 2.5 にあたる音圧レベルは、以下の手順で求めた。まず、各刺激音に対する各被験者の 2 回の回答を平均し、それをその被験者の評定値とした。次に、音圧レベルと評定値との関係を求めるため、刺激音周波数ごとに各被験者の評定値に式(1)のシグモイド曲線を当てはめた。

$$R = \frac{4}{1 + e^{-(L-\alpha)/\beta}} \quad (1)$$

ここに、 $R$  はある刺激音周波数における評定値 ( $R = 0, 1, \dots, 4$ )、 $L$  は刺激音の音圧レベル (dB)、 $\alpha$  及び  $\beta$  は曲線の形状を決定するパラメータである。評定値にシグモイド曲線を当てはめた例を図 2.3.1.7 に示す。最後に、式(1)の逆関数である式(2)の  $R$  に値 2.5 を代入し、その評定値にあたる音圧レベル  $L$  を算出した。

$$L = \alpha - \beta \cdot \ln\left(\frac{4}{R} - 1\right) \quad (2)$$

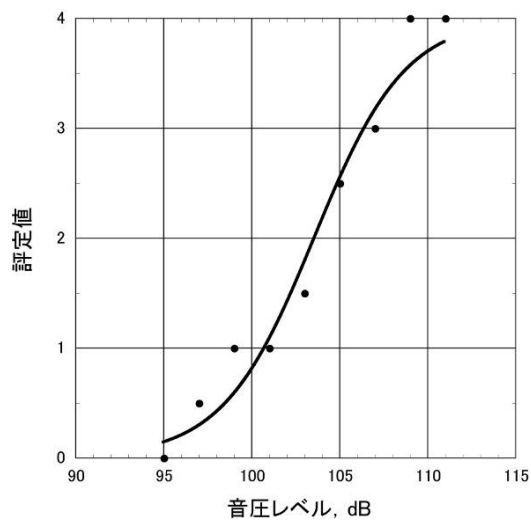


図 2.3.1.7 評定値へのシグモイド曲線の当てはめ例

ある若齢者の 10 Hz の刺激音に対する評定値を示す。この被験者の評定値 2.5 は、およそ 105 dB にあたる。

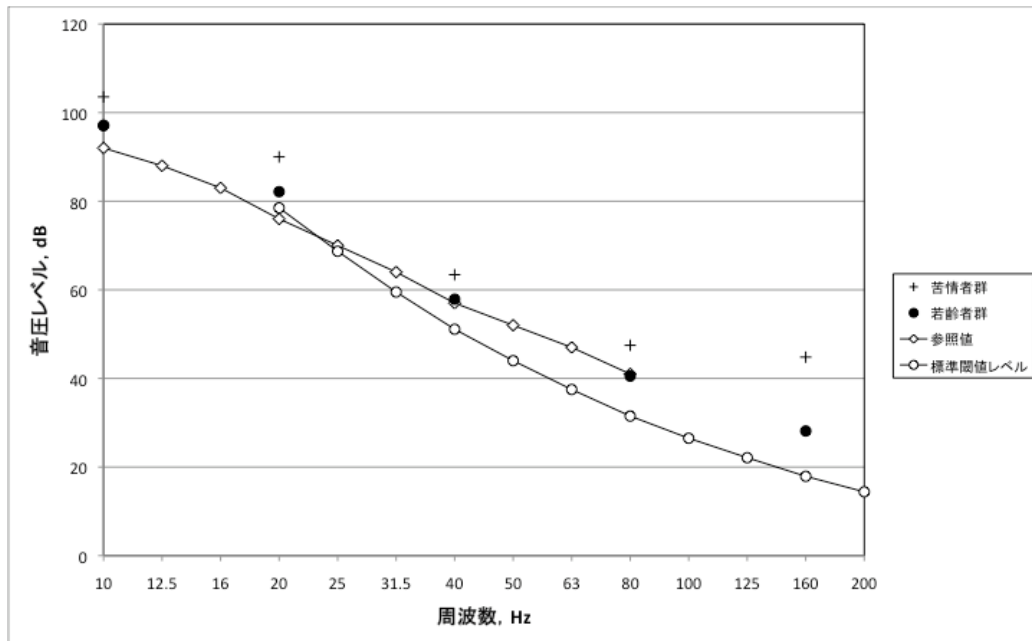


図 2.3.1.8 「寝室の許容値」の若齢者群の 10 パーセントイル及び苦情者群の平均値比較のために、参照値及び標準閾値レベルを重ねて示す。

### 2.3.1.3 引用文献

- 1) 環境省環境管理局大気生活環境室：低周波音問題対応の手引書（2004）.
- 2) 独立行政法人産業技術総合研究所：低周波音に係る聴覚特性実験 報告書，平成 15 年度日本騒音制御工学会請負研究結果報告書（2004）.
- 3) 犬飼幸男、多屋秀人、山田伸志、落合博明、時田保夫：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，30 巻 1 号，pp. 61～70（2006）.
- 4) ISO 389-9: Acoustics – Reference zero for the calibration of audiometric equipment – Part 9: Preferred test conditions for the determination of reference hearing threshold levels (2009).
- 5) ISO 389-7: Acoustics – Reference zero for the calibration of audiometric equipment – Part 7: Reference threshold of hearing under free-field and diffuse-field listening conditions (2005).
- 6) ISO 226: Acoustics – Normal equal-loudness-level contours (2003).
- 7) T. Watanabe and H. Møller, "Low frequency hearing thresholds in pressure field and in free field," *Journal of Low Frequency, Noise, Vibration and Active Control* 9(3), 106-115 (1990).