

時間変動を伴う純音性設備騒音の入眠時における主観評価に関する実験的検討

Experimental Study on the Subjective Responses of a Fluctuating Pure Tone in a State of Sleep

学籍番号 36724
氏名 高部 茂生 (Takabe, Shigeo)
指導教官 佐久間 哲哉 助教授

1. 研究の背景・目的

近年、マンションや住宅の居室において、給水ポンプ音を代表とする純音性設備騒音が問題となっている。純音性設備騒音は、低レベルな音量においても睡眠妨害に繋がりがやすく[1]、騒音レベル評価だけではクレームが減らない現状から、騒音に対する居住者の心理印象を検討する必要があると考えられる。特に、純音性設備騒音では、設備の on/off による音源の突発性、設備稼働による on/off 時間の割合、モーター回転による唸りなど[2]、音源の変動性がクレームに繋がっているが、時間変動性と主観評価の関係については、未だ明らかにされていない。

よって本研究では、室内騒音の適用等級値周辺の等価騒音レベルを想定し、入眠時の純音性設備騒音の on/off 稼働時間率・周期的時間変動などの時間変動性の影響を、実験室実験を通して検討する。

2. 実験概要

2.1 実験システム 実験は、図 1 に示す居室を模擬した半無響室内で行った。スピーカーは、被験者に見えないように布で隠した。純音性設備騒音(125Hz 純音)、室内背景音(ピンクノイズ)を各々 2ch で呈示した。照明は間接照明とした(受聴点 16.4lx)。

2.2 実験手続き

被験者には、夜間の寝室において入眠時に設備音が聞こえてくる状況を想定するよう教示し、聞こえてくる音の印象を各呈示音終了後に評価させた。評価は、呈示音 1 音ごとに被験者を覚

醒状態に戻すため、隣のイスに移動して行った。

評価は、「うるさい」「落ち着く」「睡眠の邪魔になる」「気になる」「圧迫感がある」「閉塞感がある」「不快である」の 7 評価語について、単極尺度の評価尺度法(9 段階)で行った。

2.3 呈示音の作成 本実験では 3 つの時間変動性要因を設定し、作成した(表 1, 表 2)。

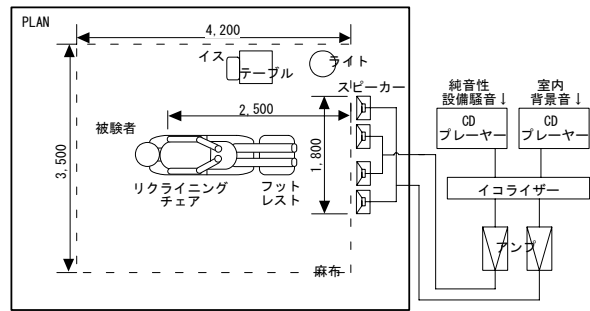
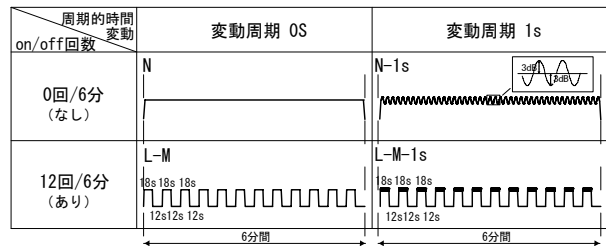


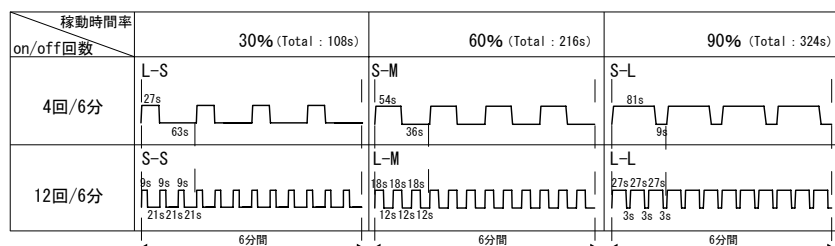
図 1 実験室概要

表 1 純音性設備騒音の時間変動性 (実験 1)



「表中の波形は、縦軸方向は騒音レベル、横軸は経過時間」

表 2 純音性設備騒音の時間変動性 (実験 2)



「表中の波形は、縦軸方向は騒音レベル、横軸は経過時間」

on/off：呈示時間内に純音性設備騒音に on/off があった回数

稼働時間率：呈示時間を 100%とした時の純音性設備騒音が鳴っている長さの割合

周期的時間変動：純音性設備騒音の周期的な唸り

on/offは、0回(無:N),4回(少:S),12回(多:L)。

稼働時間率は、30%(短:S)、60%(中:M)、90%(長:L)とし、マンション居住者の設備利用頻度データ^[3]からモデル化した。周期的時間変動は、予備実験結果から最も不快に繋がった周期、1秒(1s)、0秒(無し)とした。呈示時間は、睡眠想定下での被験者の音源に対する慣れを考慮し、6分(90秒×4回)とした。また呈示音量は、純音性設備騒音と室内背景音がある状態で被験者頭部位置において LAeq を調整した。

2.4 実験構成 実験は、表 3 に示す統制要因で、以下の 2 種類を行った。実験 1 では、on/off (有無)・周期的時間変動が主観評価へ与える影響について LAeq を 3 水準設けて検討した。呈示音量は 25,35,45dBA、室内背景音は常に 22dBA とした。実験 2 では、on/off(回数:少,多)・稼働時間率が主観評価に与える影響を検討した。LAeq は 35dBA 1 水準とし、S/N を 0,13dB の 2 水準設け、それぞれ室内背景音を 32,22dBA とした。各実験の呈示音のレベル統計量は図 2 に示す。

3. 実験1:on/off, 周期的時間変動, LAeq が主観評価に与える影響

表 4 に、全要因の主効果、及び音源間の交互作用を要因とした 4 元配置分散分析を行った結果を示す。当然ながら LAeq の主効果は有意性が見られたことに加え、各時間変動性の要因においても全評価語で主効果が有意となった。また、時間変動性要因間の交互作用では、「落ち着く」でのみ有意となった。以下では、LAeq と対応のよい評価語である「うるさい」をうるささ感、「睡眠の邪魔になる」を妨害感、として考察する。

3.1 各要因の主効果と交互作用

「うるさい」「睡眠の邪魔になる」共に、on/off、周期的時間変動が有ることによって不快側の評価となったことから、時間変動性はうるささ感・妨害感両方に影響を与えると思われる(図 4・図 5)。図 6 に示すように、「睡眠の邪魔になる」では、周期的時間変動が無い場合に、

on/off の影響がより大きくなるという傾向が見られたことから(有意差は無いが、この傾向は有意差の見られた「落ち着く」と一致)、設備騒音に周期的時間変動が無い状態では、on/off の影響が、特に妨害感に効いてくる可能性があると考えられる。

また、騒音レベルとの関係では、有意性は無いが、図 7 に示すように、「睡眠の邪魔になる」で音量が低くなるに連れ on/off の影響が大きくなる傾向が見られる。これは、道路交通騒音を対象として、連続音と間欠音の睡眠

表 3 各実験の統制要因

要因		水準	数
実験 1	時間変動性	on/off	0回/6分(N)、12回/6分(L)
		周期的時間変動	0秒、1秒(1s)
	音量	LAeq	25/35/45dBA
		被験者	男女16名(20~50代・集住経験有り)
実験 2	時間変動性	on/off	4回/6分(S)、12回/6分(L)
		稼働時間率	30%(S)、60%(M)、90%(L)
	音量	LAeq	35dBA
		S/N	0、+13dB
被験者		男女14名(20~50代・集住経験有り)	14

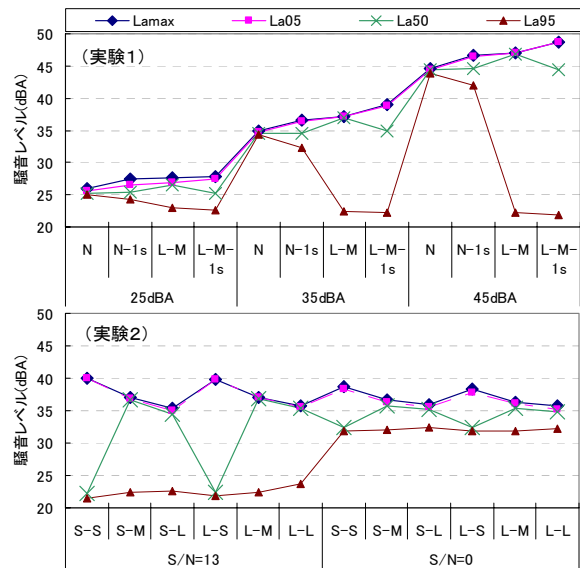


図 2 各実験の呈示音のレベル統計量

表 4 実験 1 の分散分析結果
セル内数字は F 値 **:1%有意 *:5%有意

	自由度	うるさい	落ち着く	睡眠の邪魔になる	気になる	圧迫感がある	閉塞感がある	不快である
on/off	1	30.2 **	22.8 **	34.6 **	18.8 **	22.4 **	13.9 **	30.3 **
周期的時間変動	1	13.4 **	14.0 **	17.2 **	16.9 **	19.0 **	11.2 **	10.4 **
LAeq	2	236.9 **	64.4 **	99.6 **	76.0 **	110.1 **	62.2 **	106.4 **
on/off × 周期的時間変動	1	0.2	6.7 *	2.6	3.5	2.6	0.5	2.8
on/off × LAeq	2	1.4	0.3	1.3	1.6	0.1	0.4	0.4
周期的時間変動 × LAeq	2	4.6 *	1.6	4.4 *	0.8	0.8	0.2	2.6
on/off × 周期的時間変動 × LAeq	2	3.7 *	0.5	0.5	1.0	1.1	8.4 **	1.6
被験者	15	15.0 **	5.4 **	9.2 **	7.9 **	9.0 **	16.1 **	10.7 **
寄与率	30	0.82	0.61	0.71	0.66	0.71	0.71	0.72

影響を脳波で見た知見[4]の傾向と一致した。騒音レベルが小さいほど、設備騒音の on/off が睡眠妨害に繋がる可能性が示唆されたと言える。

3.2 回帰分析結果

次に、各要因が説明変数として有効であることを確認した上で得られた回帰式を、表5に示す。自由度調整済み決定係数に着目すると、「うるさい」「睡眠の邪魔になる」ともに、モデルIよりもモデルIIの方が高く、時間変動性の要因により、うるささ感・妨害感の説明力が上がるのがわかった。また、モデルIと比較して、モデルIIIの(R')²値が高いことから、on/off や周期的時間変動の影響は、時間率騒音レベルと等価騒音レベルの差で説明できる可能性が示唆された。また、モデルIIの回帰式より、うるささ感・妨害感には、周期的時間変動よりも on/off の影響が大きいと考えられる。

4. 実験2: on/off, 稼働時間率, S/N が主観評価に与える影響

表6に、全要因の主効果、及び音源間の交互作用を要因とした4元配置分散分析結果を示す。稼働時間率の「閉塞感がある」を除いて、全評価語で主効果が見られた。また、4 評価語で時間変動性要因間に交互作用が見られ、「睡眠の邪魔になる」では、on/off と S/N の交互作用も見られた。

4.1 各要因の主効果と交互作用

図8に示すように、「うるさい」「睡眠の邪魔になる」共に、on/off が多い方がより不快側の評価となったが、特に「睡眠の邪魔になる」で2水準間の差が顕著なことから、設備騒音の on/off 回数は、特に妨害感に大きく影響すると思われる。また、「うるさい」「睡眠の邪魔になる」共に、稼働時間率が30%, 60%でより不快側の評価となったが(図9)、on/off が少ない時には、稼働時間率が低

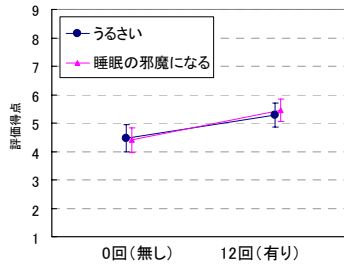


図4 on/offの評価得点

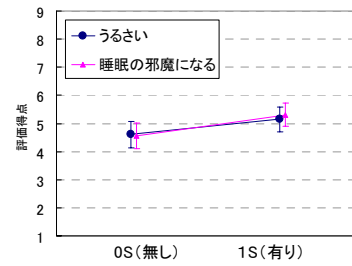


図5 周期的時間変動の評価得点

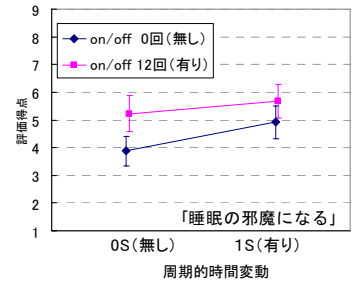
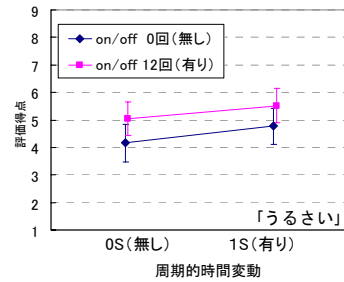


図6 on/offと周期的時間変動の関係

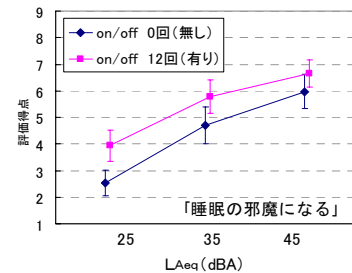
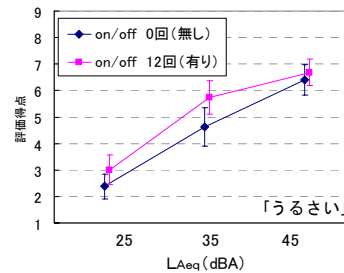


図7 on/offとLAeqの関係

表5 実験1の各要因を説明変数とした回帰式 (X1:LAeq X2:on/off X3:周期的時間変動 X4:LA05-LAeq)

	モデル	回帰式	自由度調整済み決定係数 (R') ²
うるさい	I	Y=0.195*X1-1.961	0.852
	II	Y=0.195*X1+0.068*X2 +0.542*X3 -2.683	0.927
	III	Y=0.194*X1+0.384*X4 -2.559	0.934
睡眠の邪魔になる	I	Y=0.154*X1-0.460	0.700
	II	Y=0.154*X1+0.089*X2 +0.750*X3 -1.366	0.892
	III	Y=0.152*X1+0.485*X4 -1.216	0.871

「各要因のF値は2以上である」

表6 実験2の分散分析結果

セル内数字はF値 **:1%有意 *:5%有意

	自由度	うるさい	落ち着く	睡眠の邪魔になる	気になる	圧迫感がある	閉塞感がある	不快である
on/off	1	9.3 **	23.3 **	23.7 **	29.7 **	6.5 *	8.3 **	22.6 **
稼働時間率	2	7.6 **	12.1 **	7.3 **	7.5 **	3.3 *	1.3	9.2 **
S/N	1	8.5 **	4.4 *	2.6 **	6.1 *	5.9 **	5.7 *	5.1 *
on/off × 稼働時間率	2	1.2 *	1.5	2.0 *	1.9 *	0.8	0.4	3.2 *
on/off × S/N	1	0.0	0.2	1.8 *	0.0	0.3	0.0	0.6
稼働時間率 × S/N	2	0.2	0.2	0.2	0.6	0.4	0.5	0.5
on/off × 稼働時間率 × S/N	2	0.3	0.5	0.6	0.1	0.5	0.3	1.0
被験者	13	9.4 **	12.6 **	6.4 **	5.1 **	4.1 **	5.9 **	7.7 **
寄与率	26	0.53	0.61	0.48	0.46	0.35	0.41	0.52

くても、単純に不快とはならなかった(図10)。つまり、うるささ感・妨害感、稼働時間率だけではなく、1回毎の off 時間の長さ(on/off回数)も影響する可能性がある。

S/Nとの関係では、図11に示すように、「うるさい」「睡眠の邪魔になる」共に、S/Nが大きい方がより不快側の評価となり、定常的な純音性設備騒音の主観評価による知見^[5]の結果と整合した。また、「睡眠の邪魔になる」では、S/Nが大きい方がon/offの影響が大きくなったことから、純音性設備騒音と室内背景音のレベル差が、うるささ感・妨害感に影響し、差が大きい時には、特に妨害感でon/offの影響が大きくなると思われる。

4.2 回帰分析結果

次に、各要因が説明変数として有効であることを確認した上で得られた回帰式を、表7に示す。モデルIより、「うるさい」では、on/off回数の変化の増分よりも稼動時間率の増分の方が大きい、「睡眠の邪魔になる」では、逆転していることがわかる。よって、時間変動性の影響はうるささ感と妨害感で異なると言える。一方、モデルIIでは、自由度調整済み決定係数が低い値となったが、時間率騒音レベルでは、on/off回数の違いを反映できないことが影響したためと思われる(図2参照)。時間率騒音レベルで純音性設備騒音の時間変動性をモデル化することは、必ずしも有効でないと言える。

5. まとめ

入眠時における純音性設備騒音の時間変動性のうるささ感・妨害感に及ぼす影響を検討した。その結果、以下の知見が得られた。

- 純音性設備騒音の on/off, 周期的時間変動は、入眠時のうるささ感・妨害感に繋がり、on/off回数は増えるほど不快となる。
- 稼動時間率は、静寂時間の長さによって、うるささ感・妨害感への影響が異なることから、on/off回数も合わせて評価する必要性が考えられる。
- 等価騒音レベル, S/N は、うるささ感への影響がより大きくなるのに対して、時間変動性要因は、妨害感への影響の方が大きくなる。

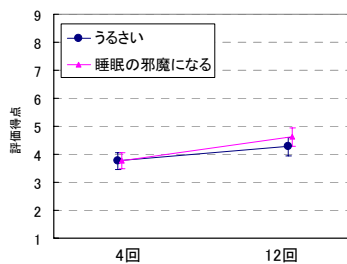


図8 on/offの評価得点

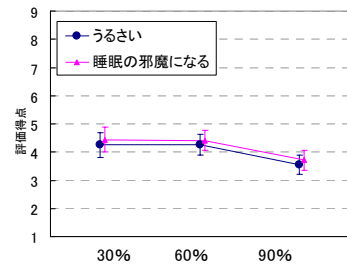


図9 稼動時間率の評価得点

(图中誤差範囲は、平均の95%信頼区間を示す。)

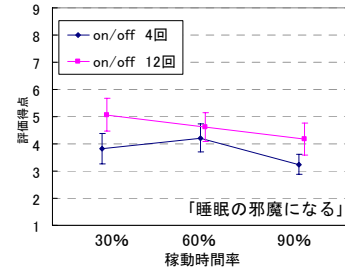
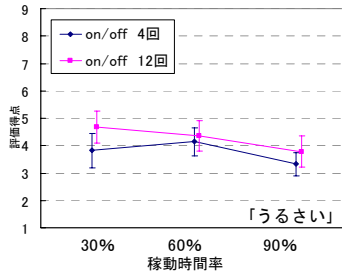


図10 on/offと稼動時間率の関係

(图中誤差範囲は、平均の95%信頼区間を示す。)

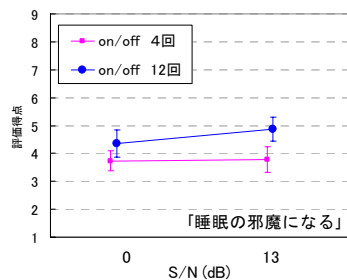
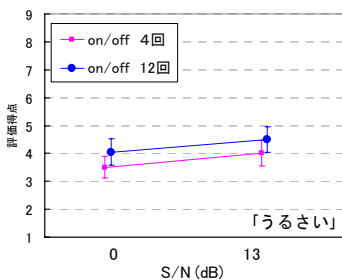


図11 on/offとS/Nの関係

(图中誤差範囲は、平均の95%信頼区間を示す。)

表7 実験2の各モデルの回帰式

(X1:on/off X2:稼動時間率 X3:S/N X4:LA05-LAeq)

	モデル	回帰式	自由度調整済み決定係数 (R ²)
うるさい	I	$Y=0.064*X1-1.161*X2+0.038*X3+3.958$	0.719
	II	$Y=0.177*X4+3.670$	0.251
睡眠の邪魔になる	I	$Y=0.107*X1-1.220*X2+0.022*X3+3.923$	0.700
	II	$Y=0.161*X4+3.874$	0.100

「各要因のF値は2以上である」

- 妨害感においては、等価騒音レベルが低い、またはS/Nが大きいときに、on/offの影響が大きくなる。

従って、入眠時における純音性設備騒音の時間変動性は、実際の居住環境においても睡眠妨害に繋がることが予想される。現在の評価法、及び等価騒音レベルと時間率騒音レベルでは、表現できない時間変動性要因があることから、このような要因の影響を踏まえた騒音評価方法の検討が今後の課題と言える。

参考文献:[1] 平松,騒音技術, No105,1999,3,p19-23 [2]騒音制御工学会編,建築設備の騒音対策,技報堂出版 [3]鎌田ら,環境系論文集 No.566,2003,4,p73-80[4]J.L.Eberhart,J.Sound and Vibration, 116 (3), p.445-464[5]平松,ASJ講演論文集,2003,9,p721-722