

科学研究費助成事業 研究成果報告書

平成 27 年 5 月 29 日現在

機関番号：17501

研究種目：挑戦的萌芽研究

研究期間：2012～2014

課題番号：24651081

研究課題名(和文)環境共生長寿命住宅の実現に向けたバイオアコースティクスの利用

研究課題名(英文)Application of bio-acoustics for realization of environment symbiosis housing

研究代表者

大鶴 徹(Otsuru, Toru)

大分大学・工学部・教授

研究者番号：30152193

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 3,100,000円

研究成果の概要(和文)：環境共生住宅の長寿命化実現への障害として、日本で特に被害の大きいイエシロアリ(Coptotermes formosanus)を対象に、振動・音響信号の木材への付加と摂食活性に関する基礎的な実験を行った。その結果、木材へ付加された振動・音響信号の量および周波数特性によりイエシロアリの摂食活性が変化することを示した。また、特に振動・音響信号の量とイエシロアリの摂食活性に相関が認められた。

研究成果の概要(英文)：In this study, for realization in environment symbiosis housing, relationships between acoustical signal or vibration on chewed surface of a wooden block and feeding activity on the termites "Coptotermes formosanus" is investigated as follows. First, several groups of workers and soldiers of the termites were placed between a pair of wooden blocks with and without signal supplement during two weeks, and the comparison of the amounts of food ingested between with and without signal supplement was conducted. Here, six types of signals with which the amplitude and frequency characteristic of vibration acceleration are different are supplied to the wooden blocks. Next, the relationships between the total amount of food ingested of both wooden blocks and the amplitude of vibration acceleration of supplemental signals were also observed. There was a negative correlation between the vibration acceleration level on the vibration surface and the amounts of food ingested of both wooden blocks.

研究分野：建築環境・設備

キーワード：環境共生住宅 シロアリ デジタル信号処理 振動・音響信号 バイオ・アコースティクス

1. 研究開始当初の背景

2001年に社団法人日本しろあり対策協会が行った調査によると、日本の住宅におけるシロアリの平均被害率は約34%とされ、被害率は温暖な地域ほど高い傾向にあるが、北海道・東北でも25%という数値が報告されている。また、「シロアリ防除処理として日本だけでも1,000億円規模のマーケットがある」との推定もあり、その予防・駆除には主に化学薬品が使用されている。しかし、近年、シックハウス症候群に代表される住宅内部の化学物質汚染が社会問題となっている。例えば、建築基準法の改訂により、シロアリの駆除薬の一つであったクロルピリホスの使用が、アメリカ合衆国に追従する形で2003年に日本でも全面的に禁止された。これらをふまえ、現在、薬剤処理に頼らないシロアリ防除システムの構築が課題となっている。

一方、バイオ・アコースティクス分野において、アリやミツバチ等の真社会性昆虫は、振動・音響信号を用い情報収集・交換を行うことが実験的検証によって明らかになっているものの、シロアリを対象とした研究は少ない。これに対し、シロアリが木材を摂食する際に発生するアコースティックエミッション(AE)により、木材の被害を早期にかつ非破壊的に検出する技術の研究が多く行われている。これらの研究では、被害部位の特定を目的としているため、減衰の大きい超音波領域を使用している。

2. 研究の目的

本研究では、振動・音響信号を利用したシロアリ防除システムの可能性を探るため、その生息に水が必要であるものの乾材シロアリに比べ摂食量の多い地下シロアリの一種であるイエシロアリ(*Cryptotermes formosanus*)を対象に、木材への振動・音響信号の付加と摂食活性に関する基礎的研究を行う。

3. 研究の方法

近年、Evansらは乾材シロアリを対象に、木材に付加した振動・音響信号と摂食活性との関係について研究成果を発表している。これは、上記AEに関する研究とは異なり、可聴域の振動・音響振動を対象としている。まず、木材の寸法と摂食活性に関する選択実験を行い、乾材シロアリが材の内部から寸法を判別している可能性を示した。続いて、この判別に振動・音響信号を利用していると仮定し、寸法の異なる数種の木材を摂食する際に発生する振動の測定・分析を行った後、測定された信号や人工的に作成した信号の木材への付加と

摂食活性に関する選択実験を行っている。その結果、測定された振動・音響信号で、地下シロアリの摂食活性をコントロールできる可能性を示している。しかし、ダイコクシロアリ(*Cryptotermes domesticus*)と同じ*Cryptotermes*属である、*Cryptotermes secundus*との間でも、木材の寸法や付加する振動・音響信号の嗜好が異なっている。

そこで、日本で特に被害の大きなイエシロアリを対象に、木材への振動・音響信号の付加による摂食活性コントロールの可能性を探るため、同様の実験を行う。

4. 研究成果

(1) 木材に付加する振動の加速度レベルと摂食活性との関係に関する検討

Fig. 1に本稿の実験系を示す。2つのBlockの間に職蟻30頭および兵蟻3頭を投入し、2週間後に各Blockに生じたトンネルの長さの和(以下、摂食量)を計測し、摂食活性の評価を行う。

同一材から切り出した2つの木材(スギ辺材、長さ160mm、断面積 $20 \times 20 \text{ mm}^2$)を切断面が向かい合うようにして30mm離し、Fig. 2に示すプラスチックと水分補給用の石膏で作成されたケース(以下、Termites cell)で固定する。一方のBlockの端部に圧電サウンダで信号を付加する。信号は5秒間の信号を連続して再生する。信号を付加したBlockをBlock-L、もう一方をBlock-Rとし、圧電サウンダの加振面をVS、Block-L、Rの摂食面をそれぞれSide-L、Rとする。実験は温度 $28 \pm 2 \text{ }^\circ\text{C}$ 、相対湿

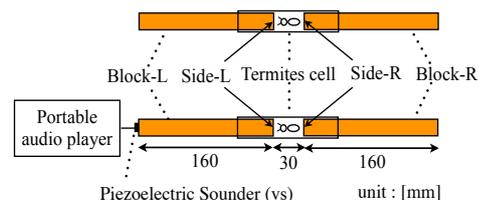


Fig. 1 Schematic of experiment setup.

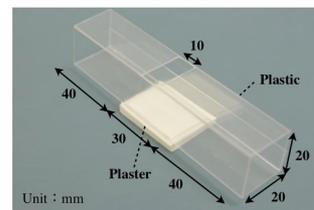


Fig. 2 Termites cell

度 $80 \pm 10 \%$ で管理可能な実験箱($900 \times 1400 \times 400 \text{ mm}^3$)の内部で実施した。

信号を付加しない試験体T0及びSignal 1~6を付加したT1~T6の6種の設定について検討した。Signal 1~6について以下に示す。

Signal 1 : $L=40$ mm の材で得られた摂食信号

Signal 2 : ピンクノイズ

Signal 3 : Signal 1を増幅した信号

Signal 4 : Signal 2を増幅した信号

Signal 5 : Side-Rに1.25 kHzと4.0 kHzにピークを生じさせる信号

Signal 6 : Signal 5に対してカットオフ周波数2.5 kHzのローパスフィルターを施した信号

各設定の繰り返し回数は18回以上である。

Block-L, Block-Rそれぞれの平均摂食量 $F_{L, avg.}$, $F_{R, avg.}$ を算出した。また、試験体ごとに $F_{L, avg.}$, $F_{R, avg.}$ の和である平均総摂食量 $F_{sum, avg.}$ も算出した。

Fig. 3 に $F_{sum, avg.}$ と $L_{a, VS}$ の関係を示す。 $F_{sum, avg.}$ と VSにおける振動加速度レベル ($L_{a, VS}$) には強い負の相関が見られ ($R =$

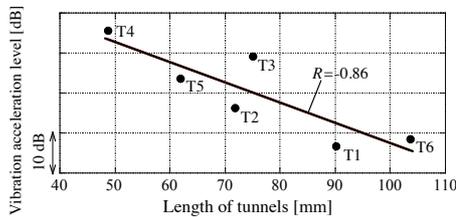


Fig. 3 Relationship between the averaged total length of tunnels of both wooden blocks ($F_{sum, avg.}$) and vibration acceleration levels of the vibration surface of piezoelectric sounder ($L_{a, VS}$).

-0.86), VSの振動加速度レベルが大きいほど摂食活性が低下する可能性を示した。

(2) 木材へ信号を付加した際の摂食活性のばらつきに関する検討

①同一研究所内のイエシロアリに関する検討

①-1 コロニー間の実験結果の比較

青山は地下シロアリの一種であるヤマトシロアリに対し実験的検証により、温度下降に伴う反応行動が産地で異なることを示しており、筆者らもシロアリの産地を要因とする検討が必要と判断した。

そこで、京都大学供試イエシロアリのコロニーCを対象に摂食実験を行う。T0とT4に供試イエシロアリのコロニーCを投入した試験体をそれぞれ T0-C, T4-C とする。繰り返し回数はT0-C, T4-C 共に18回である。

T0-C, T4-Cの2週間後の生存率は、それぞれ58%, 29%であった。Fig. 4にT0-C及びT4-Cの $F_{L, avg.}$ と $F_{R, avg.}$ を示す。また、供試イエシロアリのコロニーBを使用し同様に行った試験体、T0-B及びT4-Bの $F_{L, avg.}$ と $F_{R, avg.}$ を併せて示す。T0-Cの $F_{L, avg.}$ と $F_{R, avg.}$ はそれぞれ33.3 mm, 41.8 mmであった。また、T4-Cの $F_{L, avg.}$, $F_{R, avg.}$ はそれぞれ16.9 mm, 12.9 mmであった。

T0-Cについて、 $F_{L, avg.}$ と $F_{R, avg.}$ の差は9 mmで、その差に対し対応のある t 検定を使用したところ、有意差は認められなかった ($p = 0.54$)。一方、T0-Bでは、 $F_{L, avg.}$ と $F_{R, avg.}$ の差は8 mmで、有意差が認められていない ($p = 0.66$)。

次に、T4-Cについて、 $F_{L, avg.}$ と $F_{R, avg.}$ の差は4 mmで、その差に対し対応のある t 検定を使用したところ、有意差は認められなかった ($p = 0.43$)。一方T4-Bでは、 $F_{L, avg.}$ と $F_{R, avg.}$ の差は24 mmで、有意差が認められている ($p < 0.05$)。

Fig. 5にT0-C, T4-Cの $F_{sum, avg.}$ 、及びT0-B, T4-Bの $F_{sum, avg.}$ を併せて示す。T0-Cの $F_{sum, avg.}$ とT4-Cの $F_{sum, avg.}$ の差は45 mmで、その差に対し対応のない t 検定を使用したところ、有意差が認められた ($p < 0.001$)。なお、

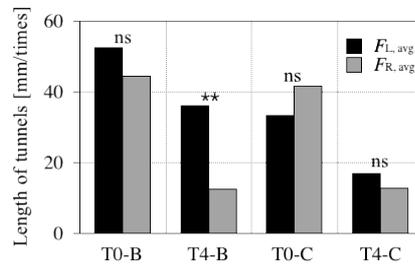


Fig. 4 The averaged total lengths of tunnels in Block-L and in Block-R. ns, Not significant. **, $p < 0.01$.

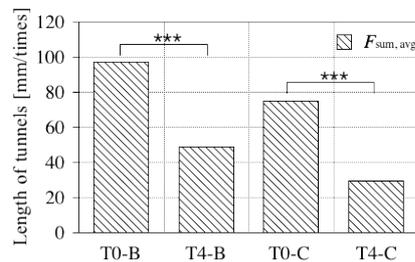


Fig. 5 The averaged total lengths of tunnels of both wooden blocks. ***, $p < 0.001$

T0-Bの $F_{sum, avg.}$ と T4-Bの $F_{sum, avg.}$ の差は48 mmで、有意差は認められている ($p < 0.001$)。

①-2 2つのコロニーを併せた実験結果

コロニーB及びコロニーCを使用した摂食実験を併せた結果をT0-BC, T4-BCとする。Fig. 6に、T0-BC及びT4-BCの $F_{L, avg.}$, $F_{R, avg.}$ 、及び $F_{sum, avg.}$ を示す。T0-BCについて、 $F_{L, avg.}$ と $F_{R, avg.}$ の差は0.5 mmで、その差に対し対応のある t 検定を使用したところ、有意差は認められなかった ($p = 0.96$)。次に、T4-BCについて、 $F_{L, avg.}$ と $F_{R, avg.}$ の差は14 mmで、その差に対し対応のある t 検定を使用したところ、有意差が認められた ($p < 0.01$)。また、T0-BCの $F_{sum, avg.}$ と T4-BCの $F_{sum, avg.}$ の差は47 mmで、その差に対し対応のない t 検定を使用したところ、有意差が認められた ($p < 0.001$)。

以上、この産地のイエシロアリでは、コ

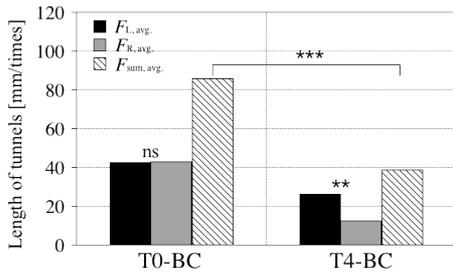


Fig. 6 The averaged total lengths of tunnels in Block-L and in Block-R, and the averaged total lengths of tunnels of both wooden blocks. ns, Not significant. **, $p < 0.01$. ***, $p < 0.001$

ロニーに関わらず、信号を付加することによる摂食活性の低下がみられた。

② 産地が異なるイエシロアリに関する検討

②-1 産地間の実験結果の比較

鹿児島で採取した野生のイエシロアリ（以下、グループ W）を対象に摂食実験を行う。T0 と T4 にグループ W を投入した摂食実験をそれぞれ T0-W, T4-W とする。繰返し回数は T0-W : 18 回, T4-W : 19 回である。

T0-W, T4-W の 2 週間後の生存率は、それぞれ 87%, 82%であった。Fig. 7 に、T0-W 及び T4-W の $F_{L,avg}$ と $F_{R,avg}$ を示す。T0-W の $F_{L,avg}$ と $F_{R,avg}$ はそれぞれ 29.7 mm, 33.8 mm であった。また、T4-W の $F_{L,avg}$ と $F_{R,avg}$ はそれぞれ 21.2 mm, 29.5 mm であった。

T0-W について、 $F_{L,avg}$ と $F_{R,avg}$ の差は 4 mm で、その差に対し対応のある t 検定を使用したところ、有意差は認められなかった ($p = 0.64$)。次に、T4-W について、 $F_{L,avg}$ と $F_{R,avg}$ の差は 7 mm であり、その差に対し対応のある t 検定を使用したところ有意差は認められなかった ($p = 0.50$)。

また、T0-W の $F_{sum,avg}$ と T4-W の $F_{sum,avg}$ の差は 12 mm であり、その差に対し対応のない t 検定を使用したところ有意差は認められなかった ($p = 0.46$)。

また、T0-W の $F_{sum,avg}$ と前項の検討である京都大学供試シロアリを使用した実験 T0-BC の $F_{sum,avg}$ (Fig. 9) との比較を行う。差は 10 mm であり、その差に対し対応のな

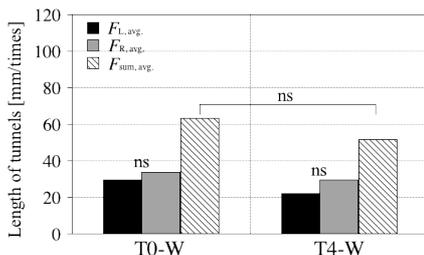


Fig. 7 The averaged total lengths of tunnels in Block-L and in Block-R, and the averaged total lengths of tunnels of both wooden blocks. ns, Not significant.

い t 検定を使用したところ有意差は認められなかった ($p = 0.75$)。

②-2 2つの産地を併せた実験結果

コロニーB, コロニーC 及びグループ W を使用した摂食実験を併せた結果を T0-BCW, T4-BCW とする。Fig. 8 に T0-BCW 及び T4-BCW の $F_{L,avg}$, $F_{R,avg}$ 及び $F_{sum,avg}$ を示す。

T0-BCW について、 $F_{L,avg}$ と $F_{R,avg}$ の差は 1.5 mm で、その差に対し対応のある t 検定を使用したところ、有意差は認められなかった ($p = 0.84$)。また、T4-BCW については、 $F_{L,avg}$ と $F_{R,avg}$ の差は 6 mm であり、その差に対し対応のある t 検定を使用したところ有意差は認められなかった ($p = 0.18$)。

次に、T0-BCW の $F_{sum,avg}$ と T4-BCW の $F_{sum,avg}$ の差は 35 mm であり、その差に対し対応の

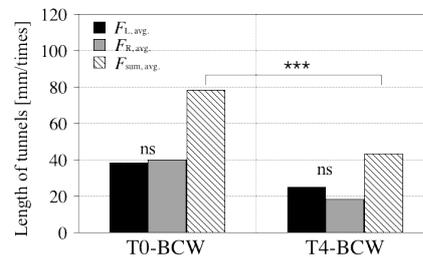


Fig. 8 The averaged total lengths of tunnels in Block-L and in Block-R, and the averaged total lengths of tunnels of both wooden blocks. ns, Not significant. ***, $p < 0.001$

ない t 検定を使用したところ有意差が認められた ($p < 0.001$)。

③使用する木材に関する検討

前項の Fig. 6, 7 を比較すると、グループ W はコロニーB, C に比べ、信号を付加しない実験系 T0 で摂食量が特に低下している。また、グループ W とコロニーB, C は実験前の生育環境が異なるため、木材に対する嗜好が異なり、それが前項の実験結果に影響を及ぼしている可能性がある。そこで、建材として一般的に利用されている SPF 材を対象とし、同様の実験を行う。T0 と T4 で SPF 材を使用した摂食実験をそれぞれ、T0_{SPF}-W, T4_{SPF}-W とする。繰返し回数は T0_{SPF}-W : 16 回, T4_{SPF}-W : 15 回である。

T0_{SPF}-W, T4_{SPF}-W の 2 週間後の生存率は共に 90%であった。Fig. 9 に、T0_{SPF}-W, T4_{SPF}-W の $F_{L,avg}$ と $F_{R,avg}$ を示す。T0_{SPF}-W の $F_{L,avg}$ と $F_{R,avg}$ はそれぞれ 8.1 mm, 11.7 mm であった。また、T4_{SPF}-W の $F_{L,avg}$ と $F_{R,avg}$ はそれぞれ 9.8 mm, 9.9 mm であった。

T0_{SPF}-W について、 $F_{L,avg}$ と $F_{R,avg}$ の差は 3 mm で、その差に対し対応のある t 検定を使用したところ、有意差は認められなかった ($p = 0.37$)。また、T4_{SPF}-W について、 $F_{L,avg}$ と $F_{R,avg}$ の差は 0.1 mm であり、その差に対し対応のある t 検定を使用したところ有意差は認められなかった ($p = 0.99$)。

次に、 $T0_{SPF-W}$ の $F_{sum, avg}$ と $T4_{SPF-W}$ の $F_{sum, avg}$ の差は0.2 mmであり、その差に対し対応のない t 検定を使用したところ有意差は認められなかった($p = 0.97$)。

ここで、 $T0_{SPF-W}$ の $F_{sum, avg}$ と前章での検討であるスギ材を使用した実験 $T0-W$ の $F_{sum, avg}$ との比較を行う。差は46 mmであり、その差に対し対応のない t 検定を使用したところ有意差が認められた($p < 0.001$)。すなわち、グループWに対するSPF材を使

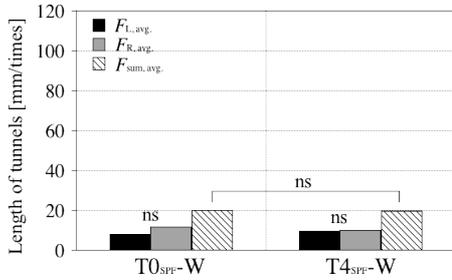


Fig. 9 The averaged total lengths of tunnels in Block-L and in Block-R, and the averaged total lengths of tunnels of both wooden blocks.

ns, Not significant.

用した摂食実験では、信号の付加による摂食活性の低下は見られなかった。

(3) 木材へ狭帯域信号を付加した際の摂食活性変化に関する検討

最後に、木材へ狭帯域信号を付加した際の摂食活性変化の検討を行う。

(1) の検討を踏まえ、Signal 7, 8を新たに作成した。

Signal 7: ポータブルオーディオプレーヤー上のデジタル信号のエネルギーレベルが、Signal 4のデジタル信号のエネルギーレベルと等しい1.0 kHzにピークをもつ 1/3 Octave Band noise.

Signal 8: VSにおける振動加速度レベルをT4のVSにおける振動加速度レベルと同値となるように調整した1.0 kHzにピークをもつ 1/3 Octave Band noise.

Signal 7, 8を木材に付加した条件をそれぞれT7, T8とする。

Fig. 10にT7, T8の $L_{a, VS}$, $L_{a, L}$ 及び $L_{a, R}$ を、T0, T4の $L_{a, VS}$, $L_{a, L}$ 及び $L_{a, R}$ と併せて示す。また、Fig. 11にT7, T8及びT4の $L_{a, VS}$ の周波数特性を示す。

繰返し回数はT7, T8共に18回である。

T7, T8の生存率はそれぞれ37%, 13%であった。Fig. 12に、T7, T8の $F_{L, avg}$, $F_{R, avg}$ をT0, T4の $F_{L, avg}$, $F_{R, avg}$ と併せて示す。T7の $F_{L, avg}$, $F_{R, avg}$ はそれぞれ14.9 mm, 35.7 mmであり、その差に対して対応のある t 検定を使用したところ有意差は認められなかった($p > 0.05$)。また、T8の $F_{L, avg}$, $F_{R, avg}$ はそれぞれ3.9 mm, 3.7 mmであり、その差に対して対応のある t 検定を使用したところ、有意差は認められな

かった($p > 0.05$)。以上より、T7, T8共に、イエシロアリは信号を付加した材と付加しない材を選択した上で摂食していないといえる。

Fig. 13に、T7, T8の $F_{sum, avg}$ をT0, T4の $F_{sum, avg}$ と併せて示す。T0の $F_{sum, avg}$ は58.0 mmであり、T7の $F_{sum, avg}$ は50.6 mmであった。その差に対して対応のない t 検定を使用したところ、有意差は認められなかった($p > 0.05$)。一方、T8の $F_{sum, avg}$ は7.6 mmであり、T0とT8の $F_{sum, avg}$ の差に対して対応のない t 検定を使用したところ、有意差が認められた($p < 0.001$)。また、T7とT8の $F_{sum, avg}$ の差に対して対応のない t 検定を

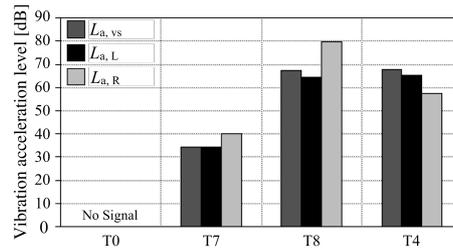


Fig. 10 The vibration acceleration levels at the Side-L, Side-R and vibration surface of piezoelectric sounder.

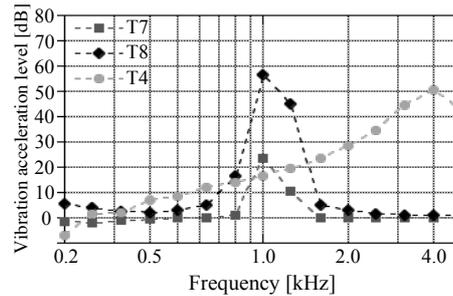


Fig. 11 Comparisons of frequency characteristics of vibration acceleration levels at the vibration surface of piezoelectric sounder ($L_{a, VS}$) at 1/3 octave band frequency.

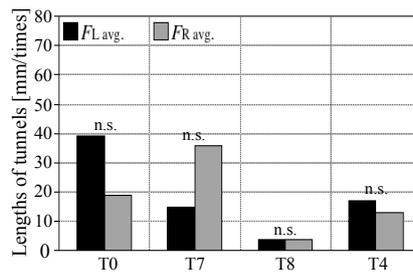


Fig. 12 The averaged total lengths of tunnels in Block-L and in Block-R.

ns, Not significant.

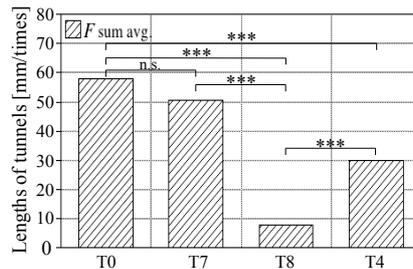


Fig. 13 The averaged total lengths of tunnels of both wooden blocks.

ns, Not significant. ***, $p < 0.001$

使用したところ、有位差が認められた ($p < 0.001$)。以上より、狭帯域信号の木材への付加においても、VSの振動加速度レベルシロアリの摂食量の間に負の相関があることを確認した。

加えて、T4とT8の $F_{\text{sum, avg.}}$ の差に対して対応のない t 検定を使用したところ、有位差が認められた ($p < 0.001$)。以上より、68 dB以上の同じ振動加速度レベルの振動を付加した場合、1.0 kHzにピークを持つ狭帯域振動の木材への付加は、広帯域振動の付加よりも、イエシロアリの摂食活性をより低下させることを示した。

5. 主な発表論文等

(研究代表者、研究分担者及び連携研究者には下線)

[雑誌論文] (計3件)

① Yuta Katsuyama, Toru Otsuru, Reiji Tomiku and Noriko Okamoto, STUDY ON TERMITES CONTROL FOR BUILDINGS USING VIBRO-ACOUSTICS SIGNAL-CHANGE OF FEEDING ACTIVITY OF SUBTERRANES TERMITES BY ADDING BAND NOISE TO WOODEN BLOCKS-, Proc. Kyushu Youngnam Joint Conference on Acoustics, 査読有, CD-ROM, No.225, pp.108-111 (2015)

② 富来礼次, 大鶴徹, 振動・音響信号を利用したシロアリの摂食活性制御の可能性, 騒音制御, 37巻, 査読無, pp. 22-25 (2013)

③ Chiaki Hara, Toru Otsuru, Reiji Tomiku and Noriko Okamoto, Study on termite control for buildings using vibro-acoustic signals, Proc. Youngnam and Kyushu Joint Conference on Acoustics, 査読有, CD-ROM, No.215, pp.89-92 (2013)

[学会発表] (計5件)

① 富来礼次, 大鶴徹, 井上正文, 田中圭, 加津山裕太, 岡本則子, 吉村剛, 振動・音響的アプローチによるシロアリの挙動制御に関する実験的研究, 第273回生存圏シンポジウム, 2015年2月23日, 京都大学宇治キャンパス (京都府宇治市)

② 原千晶, 大鶴徹, 富来礼次, 岡本則子, 振動・音響信号を利用した建築物のシロアリ防除に関する研究-木材へ信号を付加した際の摂食活性のばらつきに関する検討-, 日本音響学会春季研究発表会, 2013年3月10日, 日本大学 (東京都千代田区)

③ 原千晶, 大鶴徹, 富来礼次, 岡本則子, 振動・音響信号を利用した建築物のシロアリ防除に関する基礎的研究-生息地域の異なるグループ間の特性の差異の検討-, 日本音響学会九州支部第10回学生のための研

究発表会講演論文集, 2013年11月30日, 九州大学大橋キャンパス (福岡県福岡市)

④ 大鶴徹, 井上正文, 富来礼次, 田中圭, 原千晶, 岡本則子, 吉村剛, 振動・音響的アプローチによるシロアリの嗜好・忌避挙動の解明, 第218回生存圏シンポジウム, 2013年2月19日, 京都大学宇治キャンパス (京都府宇治市)

⑤ 原千晶, 大鶴徹, 富来礼次, 岡本則子, 振動・音響信号を利用した建築物のシロアリ防除に関する研究-摂食面の振動特性と摂食活性に関する基礎的検討-, 日本音響学会秋季研究発表会, 2012年9月19日, 信州大学 (長野県長野市)

6. 研究組織

(1) 研究代表者

大鶴 徹 (OTSURU TORU)

大分大学・工学部・教授

研究者番号: 30152193

(2) 研究分担者

富来 礼次 (TOMIKU REIJI)

大分大学・工学部・准教授

研究者番号: 20420648

岡本 則子 (OKAMOTO NORIKO)

有明高等専門学校・建築学科・准教授

研究者番号: 00452912

(3) 連携研究者

井上 正文 (INOUE MASAFUMI)

大分大学・工学部・教授

研究者番号: 60128337

田中 圭 (TANAKA KEI)

大分大学・工学部・助教

研究者番号: 00325698