

課題名 S2-11 風力発電等による低周波音の人への影響評価に関する研究

課題代表者名 橘 秀樹（千葉工業大学附属総合研究所 教授）

研究実施期間 平成22～24年度

累計予算額 130,112千円（うち24年度42,623千円）
予算額は、間接経費を含む。

本研究のキーワード 環境影響評価、風力発電施設、環境騒音、風車騒音、低周波音、超低周波音、振幅変調音、等価騒音レベル、アノイアンス

研究体制

- (1)研究総括および関係資料の収集（千葉工業大学）
- (2)風車騒音の実測調査および地域住民に対する影響調査（（公社）日本騒音制御工学会）
- (3)風車騒音に係る聴感実験（東京大学生産技術研究所）

研究概要

1. はじめに

再生可能エネルギー利用の一つである風力発電は、わが国では1990年頃から本格的な建設が始まった。これらの風力発電施設はもともと静穏な農山村部に建設されることが多いため、風車から発生される騒音が新たな環境騒音問題となり、直接的な騒音被害だけでなく健康上の不安を感じるという苦情が近隣地域の住民から訴えられるようになった。この問題は風力発電の先進国であるヨーロッパ諸国でも同様で、調査研究が盛んにおこなわれてきており、それに基づいて騒音基準など行政的な対応も行われているが、国際的に統一されるまでには至っていない。わが国でも、最近20年ほどにわたってこのような風車騒音問題に対して行政機関等でも対応が必要となったが、この種の騒音に関する科学的知見の蓄積が乏しく、現在のところ全国的に統一的な基準が整備されるには至っていない。また、これまで一部の地方条例を除いて風力発電施設が環境影響評価の対象となっていなかったことから、技術的にも事前評価手法の熟度が低い状況にある。しかし、平成23年の環境影響評価法の改正に伴って平成24年10月から風力発電施設も環境アセスメントの対象として含まれることになり、この新たな環境騒音問題に関して、騒音暴露状況の測定・評価の手法及びそれに基づく対策方法の確立が喫緊の課題となっている。そのために、風車騒音の人間に対する生理・心理的影響さらには社会的影響に関する学術的な調査研究が必要となった。



写真1 現在一般的となっている3翼アップウインド型風車の例

2. 研究開発目的

新たな環境騒音問題の一つである風車騒音は、道路交通騒音、鉄道騒音、航空機騒音などのこれまでの公害型の騒音とは歴史的、社会的背景が大きく異なっている。また、風車騒音の問題では超低周波音領域を含む低周波数成分の聴覚心理的影響及び健康影響が懸念されており、マスコミ等でもしばしば取り上げられている。このような背景から、上述のとおり風車騒音に対しても環境影響評価などの行政的対応が必要となっている。そこで本研究では、そのための学術的基礎資料を得るために、風車騒音の実態把握を目的として、全国規模の実測調査と住民に対する社会反応調査を実施した。それと同時に、低周波数の音に対するヒトの聴感心理反応を調べることを目的として、超低周波音を含む低周波数の音を試験音とした一連の実験を実施した。

3. 研究開発の方法

上記の目的を達成するために、本研究では以下の三つのサブテーマを設定し、相互に連携を取りながら風車騒音に関する多面的な調査研究を実施した。

(1) 研究総括および関係資料の収集

研究課題代表者・分担者を中心として、音響学、機械工学、心理学、医学などの諸分野の専門家から成る研究委員会を組織し、環境省との密な連携のもとに研究の全体計画、低周波音測定方法の開発、実測並びに社会反応調査の対象地区の選定、サブテーマ間の調整、調査研究結果の取りまとめ、及び風車騒音等の騒音問題に関する関連資料の整理などを行なった(図1参照)。なお、音響学及び心理学の専門家2名にアドバイザーを依頼し、上記研究委員会と同時にアドバイザーボード会合を開催して研究の方法、調査研究結果の考察等に関して指導・助言を得た。

それと並行して、環境騒音に関連した国内・国際学会で発表された風車騒音に係る主要な論文、及び各国の風車騒音に係る法律・基準等の資料を収集し、研究委員会のメンバーが分担して科学的知見並びに行政的対応について調査した。

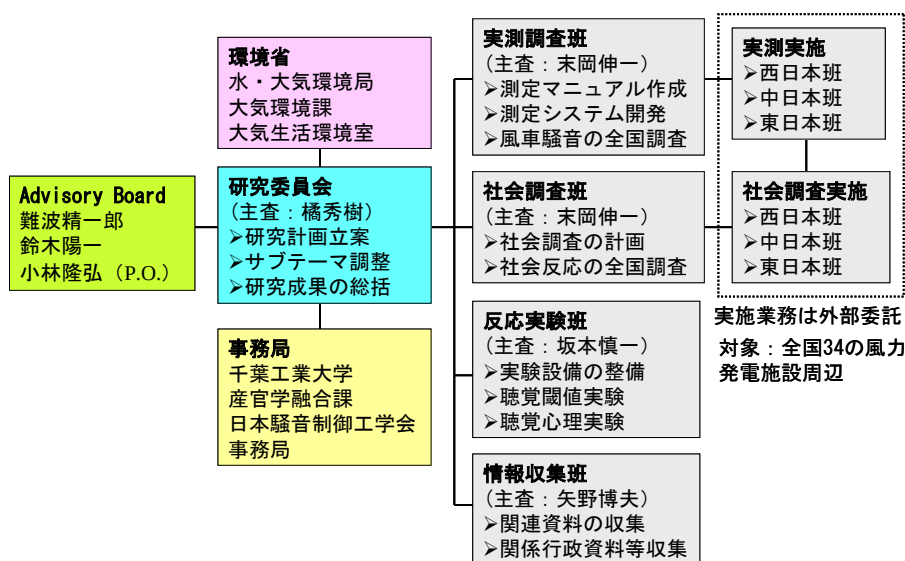


図1 研究組織並びにサブテーマごとの検討内容

(2) 風車騒音の実測調査および地域住民に対する影響調査

風力発電施設周辺における風車騒音の物理的特性と周辺地域の住民に対する影響の実態を調べるために、全国34の風力発電施設周辺地域において実測調査と社会反応調査を実施した。それと同時に、風車騒音の影響を受けていない類似の18の地域を対照地域として選定し、比較のために同様の調査を行った。これらの実測調査、社会反応調査の方法は以下に述べるとおりである。なおこのサブテーマは、公益社団法人・日本騒音制御工学会に業務を委託し、同学会に所属する全国の研究者・専門家の協力を得て実施した。

1) 実測調査

実測調査の方法としては、平成22年度に試作開発した広帯域音圧レベル計とそのマイクロホンに風雑音防止のための二重構造の防風スクリーンを装着した音圧測定システムを用い、各対象地域において原則的に120時間の連続測定を実施した。測定点は対象地域ごとになるべく一様に分布するように配置した最大7点とし、風

力発電施設周辺地域では参考までに風車の近傍点(基準点)にも測定点を設けた。測定現場で録音された音圧信号は、後日まとめて分析し、A特性、C特性及びG特性周波数重み付き音圧レベル(L_A , L_C , L_G)及び周波数分析として1/3オクターブバンド音圧レベルを求めた。

2) 社会反応調査

社会反応調査では、調査員が直接住民宅を訪問してインタビュー方式で調査をする方法をとることとした。その内容(調査票)としては、一般的な住環境に関する意識、各種の環境騒音に対するアノイアンス、自覚的健康状態に関する質問事項及び調査員が判断して記述する事項で構成されており、おおむね20分以内のインタビューで終了する内容としている。

調査項目のうち、アノイアンスに関する質問は、日本音響学会及び日本騒音制御工学会が一般的な住環境に関する意識を調べるために開発した調査票を基礎とし、風車騒音に関する質問事項を加えて若干の修正・追加を行った。そのうち、住環境に関する基本的な質問事項は全く同じであり、これまで蓄積されている風力発電施設周辺以外の調査結果とも比較検討が可能である。自覚的健康状態に関しては、東京大学で開発されたTHI(Total Health Index)に基づいて質問を行う方法を採用した。具体的には、THI質問用紙から、呼吸器、目と皮膚、消化器、生活不規則性、情緒不安定に係る54項目の質問を選定して使用した。

なお、本研究では風力発電施設周辺地域との比較を目的として、地域特性は類似で風車騒音の影響を受けていない地域を対照地域として選定し、実測調査と同時にアンケート調査も行った。

インタビュー方式の調査では、調査員の等質性を保つことが重要である。そのために、アンケートの留意事項と調査員用の応答集を作成し、事前に具体的な調査方法について研修を行った。調査の具体的方法は以下のとおりである。

- ① 風力発電施設周辺の調査対象としては、風車からおおむね1 km 以内の住戸を選定する。
- ② 本研究の影響調査WGのメンバーが中心となって、各対象地域周辺の住宅を訪問してインタビュー方式で調査を行う。すなわち、調査員が質問を読み上げながら回答を調査票に記入する。
- ③ 測定班が連続騒音調査を行っている4日間のうちの1~2日間に実施する。
- ④ 2日程度前に調査対象地域の住民に調査実施についてビラを配布する。

(3) 風車騒音に係る聴感実験

環境騒音の問題では、一般に可聴周波数範囲(20~20,000 Hz)の音を対象とし、音の大きさ(ラウドネス)、うるささ(ノイジネス)及びアノイアンスに関する研究が行われてきたが、上述のとおり、風車騒音の問題では超低周波音を含む低周波数の音の影響が問題となっている。この問題を実験的に調べるために、一連の聴感実験を実施した。この実験的研究は、東京大学生産技術研究所に委託して実施した。

1) 低周波音聴感実験用設備の整備

超低周波音領域を含み、可聴周波数範囲全体の音を再生する実験装置として、東京大学生産技術研究所の応用音響実験設備の中の残響室と無響室を組み合わせた実験設備を使用し、低音再生用スピーカ(ウーファ)16台を使用した再生システムを構築した。この聴感実験システムその概要を図2に、また評価実験を行う受音室の様子を写真2に示す。

2) 低周波音に対するヒトの聴感反応に関する実験

超低周波音領域を含む低周波数の音に対するヒトの聴感反応を調べるために、以下に述べる7段階の実験を行った。これらの実験は、東京大学の倫理規定に従って実施した。

実験-1: 低周波数の純音に対する聴覚閾値

実験-2: 風車騒音に含まれる低周波数成分の可聴性(1)

実験-3: 風車騒音に含まれる低周波数成分のラウドネスに対する寄与

実験-4: 風車騒音に含まれる低周波数成分の可聴性(2): 帯域制限ノイズの聴覚閾値

実験-5: 振幅変調音の聴感印象(1): 風車騒音に含まれる振幅変調音の可聴性

実験-6: 振幅変調音の聴感印象(2): 振幅変調の強さとノイジネスの関係

実験-7: 低周波数成分を含む一般環境騒音のラウドネス評価のための騒音評価尺度の検討

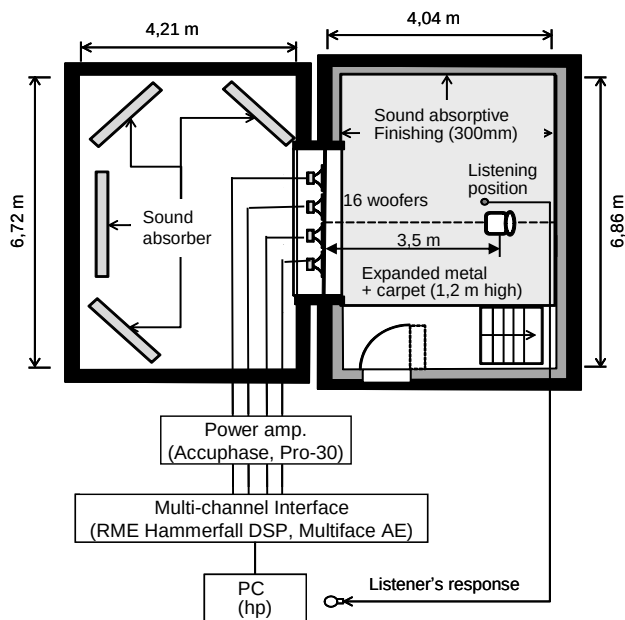


図2 聴感実験システムのブロック図



写真2 受音室の概要

4. 結果及び考察

(1) 研究総括および関係資料の収集

研究委員会では、風車騒音の実測調査、社会反応調査、反応実験及び資料収集の各項目について、調査研究の内容及び方法について討議し、各作業班の連携を密にした。主な内容は以下のとおりである。

1) 風車騒音の測定方法

風車騒音には超低周波音領域を含む低周波数の成分の聴覚・心理的影響が問題とされ、それを明らかにするためには、まず測定機器の開発が必要となった。そこで、1 Hz～可聴周波数全域にわたる周波数の音を同時に測定できる音圧レベル計（広帯域騒音レベル計）を試作した。

また、低周波数成分を含む音圧を屋外で測定する場合、計測用マイクロホンに自然風が当たることによって発生する風雑音を防ぐ必要がある。そのための高性能の防風スクリーンとして、市販の全天候型防風スクリーン（直径20 cm、ウレタンフォーム製）の性能をさらに高めるために二次防風スクリーンを開発した（写真3参照）。

2) 社会反応調査の実施方法

風力発電施設周辺地域の住民に対する風車騒音の影響を調べる社会反応調査の方法について検討した結果、前述のとおりこれまで日本音響学会及び日本騒音制御工学会で開発が進められてきた一般住環境に関する調査票を基本とし、それに風車騒音の影響及び自覚的健康状態を調べるための質問項目を付加した質問票を作製した。具体的方法としてインタビュー方式のアンケート調査を行うことを決定し、調査の実施のためのマニュアルも作成した。

3) 反応実験の方法及び項目

風車騒音の問題では、超低周波音領域を含む低周波数成分の聴覚・心理的影響が重要な研究課題となっており、世界各国でも多くの研究が進められている。本研究でも、この問題に取り組むために、研究委員会で前述の実験装置の設計を行い、実験の内容について計画を立案した。

4) 関係研究資料の収集

研究委員会では、騒音関係の国際学会並びに国内の学会において最近発表された風車騒音に関連する論文を調査した。その内容は、本研究における実測調査、社会反応調査及び実験室における聴感実験の計画、具体的方法などに反映させた。

(2) 風車騒音の実測調査および地域住民に対する影響調査

1) 実測調査

平成22年度から3年間にわたって、北海道から沖縄まで全国34箇所の風力発電施設周辺の36地域で実測調査を行った。その一例を写真3に示す。



写真3 広帯域音圧レベル計を使用した風車騒音の測定の例

a. 風力発電施設周辺地域における風車騒音の分析

風車が定格稼働で回転している時間帯（夜間あるいは夕方）の録音記録について、A特性音圧レベル(L_A)、C特性音圧レベル(L_C)、G特性音圧レベル(L_G)および中心周波数0.8 Hz～5 kHzの1/3オクターブバンド音圧レベルを毎正時10分間にわたって分析し、それらの値を対象としている時間帯全体にわたってエネルギー平均して、その時間帯の等価音圧レベルを求めた。これらの各風力発電施設周辺地域における風車騒音の実測データのうち、A特性等価音圧レベルについて風車からの距離による減衰特性を調べた。

b. 対照地域における残留騒音の分析

対象とする時間帯（主に暗騒音が低い夜間）の毎正時10分間の録音記録について、A特性音圧レベル(L_A)、C特性音圧レベル(L_C)、G特性音圧レベル(L_G)および中心周波数0.8 Hz～5 kHzの1/3オクターブバンド音圧レベルを50 msごとに記録した。それらのレベル記録から、各地域で道路交通騒音などの暗騒音の影響を受けていない状態における残留騒音を求めるために、95%値（90%レンジの下端値）を求めた。これらのレベル値について、対象としている時間帯全体にわたるエネルギー平均値を計算し、その時間帯における残留騒音のレベルとした。

本研究で対象とした風力発電施設周辺の36地域の内、暗騒音の影響を受けずに風車騒音が測定できたのは29の風力発電施設周辺の31地域の合計164地点であった。また対照地域18箇所のうち、残留騒音が測定できたのは14箇所の合計33地点であった。これらのデータから以下に述べる分析を行った。

まず、31地域における民家周辺の合計164地点で測定された風車稼働時の1/3オクターブバンド音圧レベルの分析結果を重ねて図3に示す。この結果から、風車騒音の全体的な周波数特性としては、低周波数から高周波数にかけて-4 dB/オクターブの傾斜となっていることが分かった。

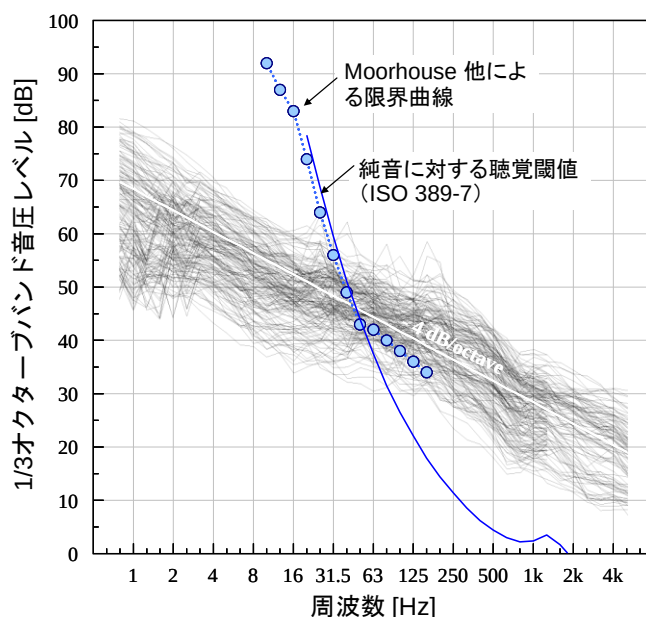


図3 29の風力発電施設周辺の164地点における風車騒音の測定結果

つぎに、これらの風車騒音のA特性等価音圧レベル L_{Aeq} の度数分布を整理した結果を図4に示す。また、18箇所の対照地域で行った残留騒音の測定結果のうち、暗騒音の影響を受けていない合計33測定点における95%時間率騒音レベル L_{A95} の度数分布を整理し、図4に合わせて示す。これらの結果を見ると、風力発電施設周辺の居住地域（本調査の測定では、最近接風車から最短90 m、最長1,250 m）における風車が定格稼働の状態における等価騒音レベルは26 dB～50 dBの範囲に分布しており、最頻値は41 dB～45 dBの階級で36 dB～40 dBの階級がそれに次いでいる。一方、風車騒音の影響がない対照地域における残留騒音は16 dB～35 dBの範囲に分布しており、最頻値は21 dB～25 dBの階級となっている。これらの結果から、風力発電施設の周辺地域で風車が定格稼働の状態における騒音レベルと対照地区における残留騒音の騒音レベルには平均的に15 dB程度の差が認められる。

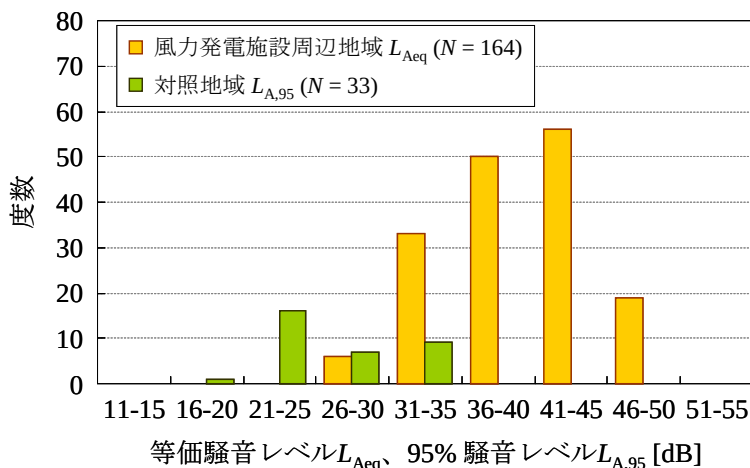


図4 風力発電施設周辺地域における等価騒音レベル(L_{Aeq})と対照地域における95%騒音レベル(L_{A95})の比較

2) 社会反応調査

社会反応調査としては、風力発電施設周辺地域について騒音の実測調査と同時に実施した。また、対照地域を平成23年度、平成24年度にそれぞれ9箇所選び、騒音の実測調査と社会反応調査を実施した。

風力発電施設周辺地域（風車地域）では、訪問住戸数1,539に対して回答数は747で、回収率は49%であった。また、対照地域では、訪問住戸数828に対して回答数は373で、回収率は45%であった。

調査を実施した地域と回答者の属性について、風車地域と対照地域を比較した結果、両地域できわめて類似した特性となっていた。

つぎに、風車地域におけるアンケート調査の結果を分析した結果、以下のことが分かった。

- 何らかの音を「最も悩まされている音」として挙げた回答は、全回答数747のうち197件であった。その内訳を見ると、60%（119件）が風力発電施設の音を挙げている。
- 上記の回答のうち、風力発電施設の音以外の音を挙げた回答（78件、以下、「風車騒音以外グループ」と呼ぶ）と風力発電施設の音を挙げた回答（119件、以下、「風車騒音グループ」と呼ぶ）の別に、検討を行った。まず、生活環境の満足度に対する回答を見ると、「風車騒音グループ」の回答で「静けさ」に対する不満の程度が「風車騒音以外グループ」よりも大きくなっている。その他の項目については、両グループ間で大きな差は見られない。
- 「悩まされたりうるさいと感じることがある音」に対する回答では、「風車騒音グループ」で風力発電施設の音に対して「非常にある」という強い反応が見られる。
- 騒音によって迷惑を受ける時間帯については、「風車騒音以外グループ」では特に指摘が多い時間帯はないが、「風車騒音グループ」では夜間、深夜を指摘する割合が大きい。
- 睡眠影響の原因に関する質問に対する回答では、「最も悩まされている音」として挙げた騒音によると思うと答えた割合は、「風車騒音以外グループ」では59%であるが、「風車騒音グループ」では87%となっている。
- 「自然エネルギーを利用する風力発電は、よい方法か」という質問に対する回答では、「風車騒音以外グループ」では85%が「よい方法と思う」と答えているのに対して、「風車騒音グループ」では若干その割合が小さくなっている。それでも、「よい方法と思う」との回答は66%となっている。
- 「風力発電施設の音が聞こえるか」という質問に対する回答を見ると、「風車騒音グループ」では「聞こえる」という回答が100%となっているが、「風車騒音以外グループ」でも「聞こえる」という回答は68%になっている。

- h. 「風力発電施設が見えるか」という質問に対する回答では、両グループともに90%以上が「見える」と答えている。
- i. 「風力発電施設の景観上の問題」に関する質問に対する回答を見ると、「風車騒音グループ」では39%が「景観の邪魔になる」と答えているのに対して、「風車騒音以外グループ」ではその割合は8%と小さくなっている。
- j. 「風力発電施設があることによって、よいことがあるか」という質問に対する回答では、両グループともに「ない」という回答が圧倒的に多い。

つぎに「最も悩まされている音」に関する質問に対して「風力発電施設の音」を挙げた119件の回答について、物理量として風車からの距離と風車の稼働時の騒音レベルとの関係を調べてみた。その結果、「悩まされたりうるさいと感じたことがある」に対する回答が「非常にある」の反応の割合は、最近接風車からの距離が近いほど大きくなっている。また、風車稼働時の等価騒音レベルで整理した結果、「非常にある」及び「非常にある」+「だいたいある」の反応の割合は、等価騒音レベルが高くなるほど大きくなる傾向が見られた。これらの傾向は、アンケート調査の結果を多重ロジスティック解析の手法を用いて分析した結果でも確認された。

(3)風車騒音に係る聴感実験

本サブテーマでは、風車騒音などで問題となっている低周波数の音に対する人の聴覚反応について、一連の研究を行った。その結果とそれに基づく考察は以下の通りである。

1)実験-1:低周波数の純音に対する聴覚閾値

超低周波音領域から可聴周波数領域にわたる 10 Hz～200 Hz の低周波数の音に対するヒトの聴覚閾値に関して、20 歳代から 60 歳代までの広範囲な被験者を対象とした実験を行った。その結果、これまで世界各国で行われている類似の実験とほぼ一致した結果が得られた。また、年代別の閾値の比較としては、20 歳代から 50 歳代までの間では有意な差は見られないが、60 歳代と 20 歳代の間では、多くの周波数で 60 歳代は 20 歳代に比べて閾値が高くなる有意な傾向が見られた。この実験結果から、低周波数の音に対する加齢に伴う閾値の上昇は 60 歳代で若干見られるが、高周波数の音に比べて上昇の程度は少ないと言える。

2)実験-2:風車騒音に含まれる低周波数成分の可聴性(1)

風車騒音の周波数成分をローパスフィルタリング処理によって高音域成分を段階的に遮断して実験を行った結果、風車騒音に含まれる超低周波音及び可聴周波数領域の数 10 Hz 以下の成分は、風力発電施設周辺の居住地域で一般的に観測される風車騒音では不可聴であることが分かった。

3)実験-3:風車騒音に含まれる低周波数成分のラウドネスに対する寄与

上記の実験と相補的な実験として、風車騒音をモデル化した試験音についてハイパスフィルタリング処理によって低音域成分を段階的に遮断してラウドネス実験を行った結果、風車騒音に含まれる超低周波音及び可聴周波数領域の数 10 Hz 以下の成分は、ラウドネスにはほとんど寄与していないことが確かめられた。また、周波数特性に大きな変化をつけた音についても、ラウドネスとの対応は A 特性音圧レベルが精緻な聴覚モデルに基づいて提案されている Zwicker あるいは Moore のラウドネスレベルに比べても遜色がないことが分かった。これは、風車騒音に対しても騒音評価量として A 特性音圧レベルが適用できることを示唆している。

4)実験-4:風車騒音に含まれる低周波数成分の可聴性(2):帯域制限ノイズの聴覚閾値

上記の2)に関連して、風車騒音をモデル化した音を原音とし、ローパスフィルタリング処理によってその高音域成分を段階的に遮断した試験音を作り、それらのレベルを増減して聴覚閾値を調べた。その結果、1/3 オクターブバンド分析によるスペクトル特性曲線が ISO 389-7 に示されている純音に対する閾値曲線に下から接するレベルで聴覚反応が生じ始めることが明らかとなった。この実験によって、低周波数成分が卓越する帯域ノイズの可聴性を判断する基礎が得られた。

5)実験-5:振幅変調音の聴感印象(1):風車騒音に含まれる振幅変調音の可聴性

風車騒音に含まれている振幅変調音の聴感上の問題として、変動感が生じる周波数成分を調べるために、ローパスフィルタリング処理によって風車騒音の高音域成分を段階的に遮断した試験音を用いて実験を行った。その結果、風力発電施設周辺で一般的に観測される風車騒音では 100 Hz 以上の周波数成分、風車近傍で観測される風車騒音では 50 Hz 以上の周波数成分によって規則的変動感が生じ、それ以下の周波数成分では変動感を感じない、あるいは音そのものが聞こえないことが分かった。この結果は、風車騒音の特徴である規

則的変動感が生じるのは可聴領域の周波数成分であることを意味している。

6) 実験-6: 振幅変調音の聴感印象(2): 振幅変調の強さとノイズネスの関係

風車騒音には音圧が規則的に変動する振幅変調音 (swish 音) が含まれており、その振幅変調の強さ (振幅変調度) と聴感的印象の関係について調べるために、振幅変調度を人為的に変化させたモデル騒音を用いてノイズネスに関する聴感実験を行った。その結果、提示レベルによらず振幅変調度が 2 dB になるとほぼ 100 % の確率で変動感を感じることに、また振幅変調度が大きくなるとノイズネスが増加する傾向が確認された。

7) 実験-7: 低周波数成分を含む一般環境騒音のラウドネス評価のための騒音評価尺度の検討

風力発電施設に係る環境影響評価では、風車騒音に関する評価尺度を決めておく必要がある。そこで、一般環境に存在する種々の騒音に風車騒音も加え、超低周波音領域まで含めた試験音を準備してラウドネス評価実験を行った。その結果、周波数重み付け特性としては A 特性がラウドネスとの対応がきわめて高く、周波数ごとの詳細なデータを必要とする Zwicker あるいは Moore のラウドネスレベルに比べても遜色がないことが分かった。これは、風車騒音のラウドネス評価にも一般環境騒音の評価で広く用いられている A 特性音圧レベルが適用できることを意味する。

5. 本研究により得られた主な成果

(1) 科学的意義

日本全国に分布する多数の風力発電施設周辺における実測調査の結果、風車騒音の実態 (音圧レベル、周波数スペクトル、時間変動特性など) が明らかとなった。また、それと並行して行った風力発電施設の影響を受けていない対照地域における実測調査の結果から、農山村部など静穏な地域における環境騒音の実態が把握できた。これらの結果から、風力発電施設が発生する騒音の影響の程度を定量的に把握することができた。

実測調査と並行して、風力発電施設周辺及び対照地域の住民に対する社会反応調査を実施した。その結果、風力発電施設の有無による一般生活環境及び音環境に対する意識の同異が明らかになった。また、風力発電施設周辺の住民が風車騒音によって受けている心理的及び自覚的健康状態の程度を把握することができた。これまで我が国ではこのような大規模な実測による物理的調査と社会反応調査を同時に行った例はなく、本研究の科学的意義はきわめて大きいと考えられる。

これらの調査研究と並行して、低周波音に対するヒトの聴覚生理・心理反応に関して、一連の聴感実験を実施した。まず、超低周波音領域を含む低周波数の純音に対するヒトの聴覚閾値を 20 歳代から 60 歳代までの広い年齢層にわたって調べており、これまでの類似の研究でも例のない成果を得ることができた。また、風車騒音に含まれる低周波数成分の可聴性について一連の実験を行い、一般的な風車騒音では、超低周波音領域及びそれに近い可聴周波数領域の低周波数の音は非可聴であることが確認された。

つぎに、風車騒音で大きな問題である振幅変調音について、振幅変調の程度と変動感の関係、さらに振幅変調音によるノイズネスの増加の程度を実験的に調べた。この問題については諸外国でも研究例は多いが、本研究の成果によってこれらの問題に関する定量的な資料が得られた。

さらに、風車騒音以外に種々の一般環境騒音も含めてラウドネス反応を調べた結果、多様な周波数特性を持つ種々の騒音 (環境音) に対しても A 特性の周波数重み付けをした A 特性音圧レベル (騒音レベル) がラウドネス反応と高い相関を有することを明らかにした。特にこの実験では、超低周波音領域を含む試験音を用いており、これは今までに例のない実験と言える。

(2) 環境政策への貢献

< 行政が既に活用した成果 >

環境省請負業務「平成 24 年度・風力発電施設の騒音・低周波音に関する検討調査業務」に本研究の研究代表者が委員長として参画し、本研究の成果を反映させて環境アセスメントにおける風車騒音の目標値の設定に貢献した。

< 行政が活用することが見込まれる成果 >

本研究によって、風車騒音の物理的特性及び風力発電施設周辺の住民の反応の実態が明らかになった。また、低周波音に対するヒトの聴覚生理心理反応の基礎的データが得られた。平成 24 年 10 月に施行された「環境影響評価法施行令の一部を改正する政令」では、風力発電施設も環境影響評価法の対象事業として含まれることになり、平成 25 年 4 月以降に新たな手続の創設 (計画段階配慮書手続及び事後調査報告書の公表・報告手続) が行われることになっているが、本研究の成果はそのための基礎資料として有益な科学的知見を与える

ことが見込まれる。環境省では、風車騒音の環境影響評価のための具体的指針を検討するために、本年度から「風力発電施設から発生する騒音等の評価手法に関する検討会（仮称）」を発足させることになっているが、この検討会でも、風車騒音の物理的特性及び近隣住民に対する影響実態に関して、本研究の成果が基礎資料として有効に利用されることが期待できる。

6. 研究成果の主な発表状況

(1) 主な誌上発表

<査読付き論文>

特に記載すべき事項はない。

(2) 主な口頭発表(学会等)(発表予定も含む)

- 1) 矢野博夫, 太田達也, 橘 秀樹: 日本騒音制御工学会2011年秋季研究発表会
「風車騒音のimmission測定に用いる計測システムの開発」
- 2) 福島昭則, 藤本一壽, 吉久光一, 岩瀬昭雄: 日本騒音制御工学会2011年秋季研究発表会
「風車騒音の分析における暗騒音の影響の除去と分析対象時間帯の設定方法について」
- 3) 福島昭則, 藤本一壽, 吉久光一, 岩瀬昭雄: 日本騒音制御工学会2011年秋季研究発表会
「風車騒音の分析における暗騒音の影響の除去と分析対象時間帯の設定方法について」
- 4) 山本和寛, 野田賢次, 吉久光一, 末岡伸一: 日本騒音制御工学会2011年秋季研究発表会
「風力発電施設周辺における残留騒音の推定方法」
- 5) 内田英夫, 山本泰久, 岩崎雅仁, 岩瀬昭雄, 末岡伸一: 日本騒音制御工学会2011年秋季研究発表会
「風力発電施設周辺地域における騒音・低周波音の音圧レベル頻度分布」
- 6) 太田 達也, 矢野 博夫, 橘 秀樹: 日本音響学会2012年春季研究発表会
「一般環境における低周波騒音の測定事例」
- 7) 坂本慎一, 横山 栄, 辻村壮平, 橘秀樹: 日本音響学会2012年春季研究発表会
「低周波数領域における純音閾値実験」
- 8) 坂本慎一, 横山 栄, 矢野博夫, 橘 秀樹: 日本騒音制御工学会2012年春季研究発表会
「低周波性騒音に関する聴感実験 –その1. 純音閾値」
- 9) 横山 栄, 坂本慎一, 矢野博夫, 橘 秀樹: 日本騒音制御工学会2012年春季研究発表会(2012年)
「低周波性騒音に関する聴感実験 –その2. 風車音の可聴性」
- 10) H. YANO, T. OHTA and H. TACHIBANA : 15th International Meeting on Low Frequency Noise and Vibration and its Control (2012.5)
“Development of measurement system for wind turbine noise”
- 11) H. TACHIBANA, S. SAKAMOTO, S. YOKOYAMA and H. YANO : 15th International Meeting on Low Frequency Noise and Vibration and its Control (2012.5)
“Audibility of low frequency sounds – Part 1: Experiment on hearing thresholds for pure tones”
- 12) S. YOKOYAMA, S. SAKAMOTO, H. YANO and H. TACHIBANA : 15th International Meeting on Low Frequency Noise and Vibration and its Control (2012.5)
“Audibility of low frequency sounds – Part 2: Audibility of low frequency components in wind turbine noises”
- 13) 坂本慎一, 横山 栄, 矢野博夫, 橘 秀樹: 日本音響学会騒音・振動研究会(2012.6)
「低周波性騒音の可聴性に関する聴感実験」
- 14) H. TACHIBANA, H. YANO, S. SAKAMOTO and S. SUEOKA : Inter-noise 2012 (2012.8)
“Synthetic research program on wind turbine noise in Japan”
- 15) 福島昭則, 小林知尋, 矢野博夫, 橘秀樹: 日本騒音制御工学会 2012 年秋季研究発表会
「風力発電施設からの騒音・低周波音の測定における風の影響について」
- 16) 小林知尋, 福島昭則, 岩瀬昭雄, 橘 秀樹: 日本騒音制御工学会 2012 年秋季研究発表会
「風車騒音に含まれるSwish 音の物理特性について」
- 17) 横山 栄, 坂本慎一, 矢野博夫, 橘 秀樹: 日本騒音制御工学会 2012 年秋季研究発表会
「低周波性騒音に関する聴感実験 –その3. 風車音のラウドネス評価における周波数重み付け特性」
- 18) 横山 栄, 坂本 慎一, 矢野 博夫, 橘 秀樹: 日本音響学会秋2012年季研究発表会
「風車音の可聴性に関する聴感実験」
- 19) 横山 栄, 辻村壮平, 坂本慎一, 矢野博夫, 橘 秀樹: 日本音響学会2013年春季研究発表会
「風車音に含まれる低周波数成分に関する聴覚閾値実験」

- 20) H. TACHIBANA, H. YANO and A. FUKUSHIMA : 5th International Conference on Wind Turbine Noise (2013.8)
 “Assessment of wind turbine noise in immission areas”
- 21) S. YOKOYAMA, S. SAKAMOTO and H. TACHIBANA : 5th International Conference on Wind Turbine Noise (2013.8)
 “Perception of low frequency components contained in wind turbine noise”
- 22) H. TACHIBANA, H. YANO, S. SAKAMOTO and S. SUEOKA : Inter-noise 2013 (2013.9)
 “Nationwide field measurements of wind turbine noise in Japan”
- 23) S. KUWANO, T. YANO, T. KAGEYAMA, S. SUEOKA and H. TACHIBANA : Inter-noise 2013 (2013.9)
 “Social survey on community response to wind turbine noise in Japan”
- 24) T. YANO, S. KUWANO, T. KAGEYAMA, S. SUEOKA and H. TACHIBANA : Inter-noise 2013 (2013.9)
 “Dose-response relationships for wind turbine noise in Japan”
- 25) A. FUKUSHIMA, K. YAMAMOTO, H. UCHIDA, S. SUEOKA, T. KOBAYASHI and H. TACHIBANA : Inter-noise 2013 (2013.9)
 “Study on the amplitude modulation of wind turbine noise: Part 1 – Physical investigation”
- 26) S. YOKOYAMA, S. SAKAMOTO, H. TACHIBANA : Inter-noise 2013 (2013.9)
 “Study on the amplitude modulation of wind turbine noise: part 2– Auditory experiments”
- 27) S. SAKAMOTO, S. YOKOYAMA, S. TUJIMURA and H. TACHIBANA : Inter-noise 2013 (2013.9)
 “Loudness evaluation of general environmental noises containing low frequency components”

7. 研究者略歴

課題代表者: 橘 秀樹

東京大学大学院工学系研究科建築学専攻博士課程満期退学、工学博士、
 現在、千葉工業大学附属総合研究所教授

研究参画者

(1) 1): 橘 秀樹(同上)

2): 矢野博夫

中央大学大学院理工学研究科電気工学専攻修士課程修了、工学博士、
 現在、千葉工業大学情報科学部教授

(2): 末岡伸一

東京理科大学工学部機械工学科卒業、元(公社)日本騒音制御工学会副会長、
 技術士(応用理学)、現在、末岡技術士事務所

(3): 坂本慎一

東京大学大学院工学系研究科建築学専攻博士課程修了、博士(工学)、
 現在、東京大学生産技術研究所准教授

S2-11 風力発電等による低周波音の人への影響評価に関する研究

(1) 研究総括および関係資料の収集

千葉工業大学

附属総合研究所

情報科学部

橘 秀樹

矢野博夫

〈研究協力者〉

小林知尋（平成24年度）

平成22～24年度累計予算額：46,573千円

（うち、平成24年度予算額：8,975千円）

予算額は、間接経費を含む。

〔要旨〕

「風力発電等による低周波音の人への影響評価に関する研究」と題する本研究（仮題番号S2-11）では、調査研究内容を三つのサブテーマに分けて実施した。そのうち、サブテーマ(1)「研究総括および関係資料の収集」では、音響学、機械工学、心理学、医学などの諸分野の専門家で構成した研究委員会が中心となり、本研究の全体計画、低周波数成分を含む風車騒音の測定方法の開発、実測並びに社会反応調査の実施方法、聴感反応実験の内容及び実験手法の検討、風車騒音を初めとする低周波音問題に関する関連資料の調査・整理などを行なった。

〔キーワード〕 風車騒音、超低周波音、低周波音、振幅変調音、環境影響評価

1. はじめに

再生可能エネルギー利用の一つである風力発電は、わが国では1990年頃から本格的な建設が始まった。これらの風力発電施設はもともと静穏な農山村部に建設されることが多いため、風車から発生される騒音が新たな環境騒音問題となり、直接的な騒音被害だけでなく健康上の不安を感じるという苦情が近隣地域の住民から訴えられるようになった。このような風車騒音問題に対して行政機関等でも対応が必要となったが、わが国ではこの種の騒音に関する科学的知見の蓄積が乏しく、現在のところ全国的に統一的な基準が整備されるには至っていない。また、これまで一部の地方条例を除いて風力発電施設が環境影響評価の対象となっていなかったことから、技術的にも事前評価手法の熟度が低い状況にある。しかし、平成23年の環境影響評価法の改正に伴って平成24年10月から風力発電施設も環境アセスメントの対象として含まれることになり、この新たな環境騒音問題に関して、騒音源である風車の騒音発生の低減のための技術開発と同時に、騒音暴露状況の測定・評価の手法及びそれに基づく対策法の確立が喫緊の課題となっている。

２．研究開発目的

再生可能エネルギーの利用による地球温暖化対策の一つとして風力発電の導入・促進を図っていくためには、上述のとおり風車騒音問題に関する適切な行政的対応が必要である。そのための基礎資料として、風車騒音の物理的特性の把握、施設周辺の住民に対する騒音影響の実態把握、低周波音を含む風車騒音のヒトに対する生理・心理的影響に関する実験的研究が必要である。またそれと同時に、この騒音問題に関する内外の調査研究資料、法律・基準等の情報を収集・整理する必要がある。本研究ではこれらの調査研究を総合的に行うことを内容としており、それを円滑かつ効果的に行う目的のために、研究委員会を組織した。また、この組織を中心として、風車騒音に係る学術研究および世界各国における行政的対応の実態を調査することとした。

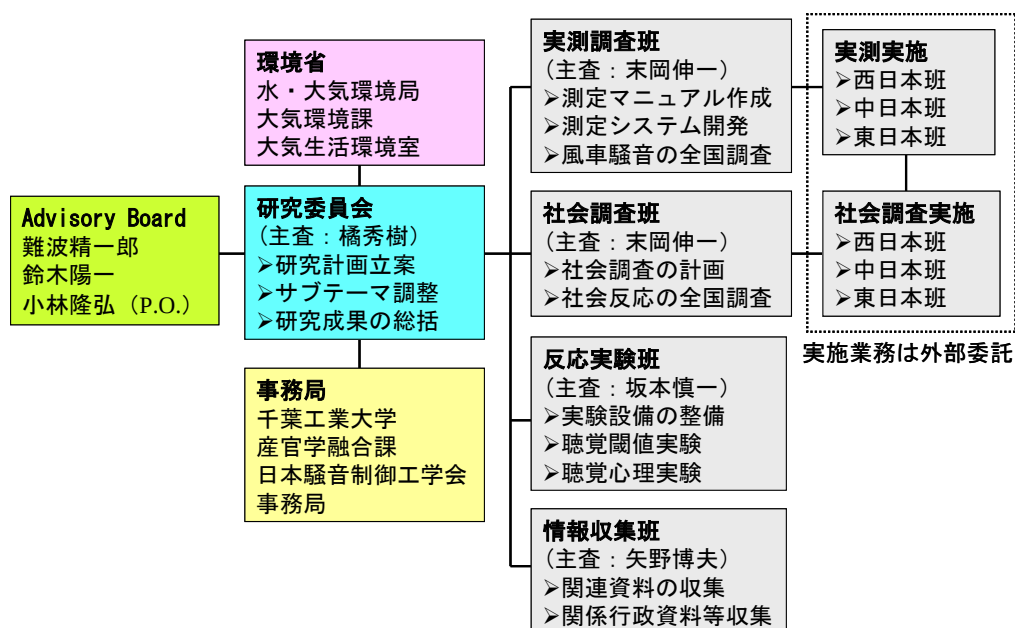
３．研究開発方法

（１）研究総括

研究課題代表者・分担者を中心として、音響学、機械工学、心理学、医学などの諸分野の専門家から成る研究委員会（表(1)-1参照）を組織し、環境省との密な連携のもとに研究の全体計画、低周波音測定方法の開発、実測並びに社会反応調査の対象地区の選定、サブテーマ間の調整、調査研究結果の取りまとめ、及び風車騒音等の騒音問題に関する関連資料の整理などを行なった（図(1)-1参照）。

なお、音響学及び心理学の専門家２名にアドバイザリーを依頼し、上記研究委員会と同時にアドバイザリーボード会合を開催して研究の方法、調査研究結果の考察等に関して指導・助言を得た。

上記の定期的な会合の他に、班ごとの打ち合わせ会やEメール等によって連絡・議論を密に行なった。



図(1)-1 研究組織並びにサブテーマごとの検討内容

表(1)-1 研究委員会構成

	氏名	所属	WG担当
アドバイザー	難波精一郎	大阪大学（名誉教授）	
アドバイザー	鈴木陽一	東北大学電気通信研究所	
委員長	橘 秀樹	千葉工業大学附属総合研究所	総括
委員	矢野博夫	千葉工業大学情報科学部	情報収集班主査
委員	坂本慎一	東京大学生産技術研究所	反応実験班主査
委員	井上保雄	(株)アイ・エヌ・シー・エンジニアリング	実測調査班
委員	今泉博之	(独)産業技術総合研究所	反応実験班幹事
委員	岩瀬昭雄	新潟大学工学部	実測調査班幹事
委員	落合博明	(財)小林理学研究所	情報収集班幹事
委員	影山隆之	大分県立看護科学大学精神看護学研究室	影響調査班
委員	桑野園子	大阪大学（名誉教授）	影響調査班幹事
委員	笹澤吉明	琉球大学教育学部	影響調査班
委員	塩田正純	芝浦工業大学	情報収集班
委員	末岡伸一	末岡技術士事務所	実測調査班主査 影響調査班主査
委員	西村正治	鳥取大学工学部	情報収集班
委員	藤本一壽	九州大学大学院人間環境学研究院	実測調査班幹事
委員	矢野 隆	熊本大学大学院	影響調査班幹事
委員	山田伸志	前・放送大学山梨学習センター	情報収集班
委員	山本貢平	(財)小林理学研究所	情報収集班
委員	吉久光一	名城大学理工学部	実測調査班幹事
委員	横山 栄	東京大学生産技術研究所	反応実験班

（２）関係資料の収集

環境騒音に関連した国内・国際学会で発表された風車騒音に関係する主要な論文、及び各国の風車騒音に係る法律・基準等の資料を収集し、研究委員会のメンバーが分担して科学的知見並びに行政的対応について調査した。

４．結果及び考察

（１）研究総括

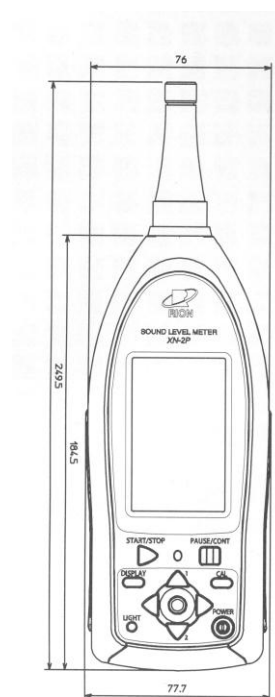
研究委員会の定例会議では、風車騒音の実測調査、社会反応調査、反応実験及び資料収集の各項目について、調査研究の内容及び方法について討議し、各作業班の連携を密にした。主な内容は以下のとおりである。

１）風車騒音の測定方法

風車騒音には超低周波音領域を含む低周波数の成分の聴覚・心理的影響が問題とされ、それを明らかにするためには、まず測定機器の開発が必要となった。そこで、表(1)-2及び図(1)-2に示す1 Hz～可聴周波数全域にわたる周波数の音を測定できる音圧レベル計（広帯域騒音レベル計）を試作した。

表(1)-2 広帯域音圧レベル計の仕様（概略）

測定周波数範囲	1Hz～20kHz（平坦特性）
周波数重み付け特性	A, C, G, Z（平坦）特性
時間重み付け特性	FAST特性及びSLOW特性
測定レベル範囲	A特性 25dB～138dB C特性 33dB～138dB G特性 43dB～138dB Z特性 50dB～13dB (1Hz～20kHz)
録音機能	SDカードへ直接記録 サンプリング周波数：48kHz ビット長：16bit データフォーマット：WAV
電源	単3型乾電池4本または外部電源 ニッケル水素2次電池 約13時間（23℃通常動作時） 外部電源電圧：5～6V（定格電圧：6V）
使用温湿度規格	-10℃～+50℃、10%RH～80%RH JIS C 1509-1:2005 クラス1, IEC 61672-1:2002 Class 1, ISO 7196 :1995



図(1)-2 広帯域音圧レベル計の姿図

また、低周波数成分を含む音圧を屋外で測定する場合、計測用マイクロホンに自然風が当たることによって発生する風雑音を防ぐ必要がある。そのための防風スクリーンとして、簡便なものは市販されているが、超低周波音領域まで効果が確認されているものはない。そこで、市販の全天候型防風スクリーン（直径20 cm、ウレタンフォーム製）の性能をさらに高めるために、写真(1)-1に示す二次防風スクリーンを試作した。これを付加した受音系全体の防風性能については国内及び国際学会で発表を行った。本研究における風力発電施設周辺地域及び対照地域における騒音の測定では、常にこの受音系を使用し、内部の計測用マイクロホン（1/2 inchコンデンサーマイクロホン）の振動膜が地上20 cmになるように設置した。これは、風の影響をなるべく避けるためと、長時間（原則5日間）にわたる測定期間中の転倒防止を考慮したためである。



試作・2次Wind Screen
(DH -160)

20cmφ全天候型Wind Screen
(RION WS-03)

計測用1/2 in. マイクロホン

写真(1)-1 本研究で試作した二次防風スクリーン

2) 社会反応調査の実施方法

風力発電施設周辺地域の住民に対する風車騒音の影響を調べるために、インタビュー方式のアンケート調査を行うことを決定し、そのための質問票を作成した。また、調査の実施に当たってインタビューアーの等質性を確保するためのマニュアルの作成も行った。その詳細は、(2)風車騒音の実測調査および地域住民に対する影響調査の項で詳述するとおりである。

3) 反応実験の方法及び項目

風車騒音の問題では、超低周波音領域を含む低周波数成分の聴覚・心理的影響が重要な研究課題となっており、世界各国でも多くの研究が進められている^{1~5)}。本研究でも、この問題に取り組むために、研究委員会で実験装置の設計を行い、実験の内容について計画を立てた。

a 実験設備の構築

騒音に関する聴感実験では、一般に可聴周波数帯域（20 Hz～20,000 Hz）の音が再生できればよいとの考え方がとられているが、本研究では20 Hz以下の超低周波音領域の音まで再生する必要がある。その方法としては、容積の小さな密閉箱に大型のスピーカを取り付け、箱の内部に圧力場を作る方法⁶⁾がとられることもあるが、その場合には再生周波数は数10 Hz以下の低周波音に限られる。本研究では、風車騒音を主対象としているため、低周波数の音と同時に可聴周波音領域の音も同時に再生する必要がある。そこで、東京大学生産技術研究所の応用音響実験設備の中の残響室と無響室を組み合わせた実験設備を使用し、低音再生用スピーカ（ウーファ）16台を使用した再生システムを構築することとした。その詳細はサブテーマ(3)風車騒音に係る聴感実験に述べるとおりである。

b 実験内容

風車騒音に含まれる可聴周波数領域の低周波領域から超低周波音領域にわたる低周波音の可聴・可覚性に関して、研究委員会では主として聴覚生理・心理の視点から議論し、上記の実験設備を用いて以下の聴感実験を行うことを決定した。詳細は(3) 風車騒音に係る聴感実験に述べる。

実験-1：低周波数の純音に対する聴覚閾値

実験-2：風車騒音に含まれる低周波数成分の可聴性(1)

実験-3：風車騒音に含まれる低周波数成分のラウドネスに対する寄与

実験-4：風車騒音に含まれる低周波数成分の可聴性(2)：帯域制限ノイズの聴覚閾値

実験-5：振幅変調音の聴感印象(1)：風車騒音に含まれる振幅変調音の可聴性

実験-6：振幅変調音の聴感印象(2)：振幅変調の強さとノイジネスの関係

実験-7：低周波数成分を含む一般環境騒音のラウドネス評価のための騒音評価尺度の検討

(2) 関係研究資料の収集

研究委員会では、下記の国際学会並びに国内の騒音関係の学会において発表された風車騒音に関連する論文を調査した。それらのうち、平成24年度を中心に最近の文献、資料の概要を以下に述べる。

1) 15th International Meeting on Low Frequency Noise and Vibration and its Control (22nd – 24th May 2012)

この会議は低周波数の騒音・振動に関する国際会議で、隔年に開催されており、今回が15回目である。この会議で発表された論文のうち、風車騒音に関する論文の概要は以下のとおりである。

**Jørgen Jakobsen : Danish regulation of low frequency n Brian Howe, Nick McCabe, Sean Ferguson :
Infrasonic measurements, pre- and post-commissioning, Ontario wind farm**

概要：カナダ・オンタリオ州の風力発電施設を対象として行われた超低周波音領域の音圧レベル測定について報告している。地中にウインドスクリーンを装着したマイクロホンを設置する方法による長期にわたる屋外測定と住宅（2軒）の内部における有人測定である。内外で類似した結果が得られたとしている。

Jørgen Jakobsen : Danish regulation of low frequency noise from wind turbines.

概要：デンマークの風車騒音に関する法令（2012年1月より施行）では、低周波音に関する新しい内容が追加された。この新たな規制では、室内における低周波音の10 – 160 Hz（1/3オクターブバンド）の周波数範囲におけるA特性音圧レベルが20 dB以下と規定された。

Mahtab Kamali, Siva Sivoththaman and Stephen McColl : Analysis of Models for Audible and Low Frequency Noise Prediction for Wind Turbine Case Studies

概要：再生可能エネルギー利用としての風力発電の最近の傾向について概観し、風車騒音の低周波音問題についてデンマークにおける問題を概説している。

Christian Sejer Pedersen, Henrik Møller, Steffen Pedersen : Low-frequency noise from large wind turbines – additional data and assessment of new Danish regulations

概要：最近の大型風車では低周波数成分が大きくなっており、デンマークの新しい騒音規制では低周波騒音の規制が付け加えられた。この報告では3.6 MWまでの風車のデータが追加された。その中で、250 Hz以下の帯域に主成分が示された。したがって低周波数成分が重要であることは間違いない。デンマークの規制では計算に基づいて室内の音圧レベルを予測することになっているが、それでは過小評価になる恐れがある。

Werner Richarz, Harrison Richarz : Can Infrasonic Lift Noise from Wind Turbine Rotors Contribute to Audible Sound?

概要：風車騒音の自己相関関数から風車のブレードの通過周波数で周期的なパルスが生じていることが分かる。その振幅から風車騒音の低周波数成分のパワーが分かるが、それは50%あるいはそれ以下である。自己相関関数の形は最初の数個の倍音成分で決まり、それより高い倍音成分は位相がランダムになるため自己相関関数の形には大きく影響しない。低周波数のパルスは実際には非可聴で、位相がランダムになった成分がswish音となって聞こえている。

Thomas Sørensen : Experiences with the New Danish Rules for the Calculation of Low Frequency Noise from Wind Turbines

概要：2012年2月に改正されたデンマークの風車騒音の規制では、風車からの低周波騒音に関する条件が付け加えられた。それには風車からの発生騒音の低周波数成分の測定方法と伝搬計算モデルが含まれている。しかし、これらを実際に適用する際には多くの問題があり、それらについて実例をもとに述べている。

Bruce Walker : Time domain analysis of low frequency wind turbine noise

概要：超低周波音および低周波音の位相も正確に把握できるフィールド測定に適した測定システムを開発した。このシステムでは、複数の対を組んで相互相関関数を求めることによって音源位置の推定も可能である。本報告では、このシステムの進歩および実際の適用例を示す。それと同時に聴覚閾値とアノイアンスの判定をするための低周波数までの再生が可能なシステムを組み立てた。

Hiroo Yano, Tatsuya Ohta, Hideki Tachibana : Development of measurement system for wind turbine noise

概要：平成22年度から開始された風車騒音に関する環境省戦略指定研究に関する発表で、風車騒音の測定用の広帯域音圧レベル計の試作、風雑音を防ぐためのウインドスクリーンの開発を行い、その性能を調べるために実施した実験的検討の結果を述べている。

Hideki Tachibana, Shinichi Sakamoto, Sakae Yokoyama, Hiroo Yano : Audibility of low frequency sounds – Part 1: Experiment on hearing thresholds for pure tones

概要：平成22年度から開始された風車騒音に関する環境省戦略指定研究に関する発表で、低周波数の音に対するヒトの可聴性を調べるための実験的研究として、実験設備の作成、それを用いた基礎的実験として行われた20 – 200 Hzまでの純音に対する聴覚閾値の実験結果が報告されている。

Sakae Yokoyama, Shinichi Sakamoto, Hiroo Yano, Hideki Tachibana : Audibility of low frequency sounds – Part 2: Audibility of low frequency components in wind turbine noises

概要：平成22年度から開始された風車騒音に関する環境省戦略指定研究に関する発表で、現場で測定された風車騒音とモデル音を用いて風車騒音の低域成分の可聴性についてM系列相関の手法を適用して行った聴感実験の結果を報告している。この実験では、一般の風車騒音に含まれている超低周波音領域の成分は非可聴であることを確認している。

2) 国際騒音制御工学会議 inter-noise 2012

この会議は騒音・振動制御を主な内容とする国際会議で、世界各地で毎年開催されている。この会議で発表された論文のうち、風車騒音に関する論文の概要は以下のとおりである。

Hideki Tachibana, Hiroo Yano, Shinichi Sakamoto, Shinichi Sueoka : Synthetic research program on wind turbine noise in Japan

概要：平成22年度から開始された風車騒音に関する環境省戦略指定研究に関する発表で、この研究プロジェクトで行われている全国規模の実測調査と社会反応調査、低周波音の聴感印象に関する実験室実験の概要が報告された。

Valentin Buzduga, Sarah Taubitz : On the Characterization of the Secondary Windscreens Used in Wind Turbine Noise Measurements

概要：風車騒音の音響パワーレベル測定に関する国際規格IEC61400-11に関して、二次防風スクリーンの性能測定について技術的な検討結果を述べている。

Jesper Gomes : Noise Source Identification with Blade Tracking on a Wind Turbine

概説：風車騒音の発生メカニズムの解析のためにアレーマイクロフォンを用いたBeam Formingの手法が有効であるとし、その原理と応用、効用について述べている。

Charlie Pearson, Will Graham, Tamás Bertényi : Phased array measurement and simulation of vertical axis wind turbine noise

概説：垂直軸風車の騒音発生メカニズムについて、風車の翼に対する乱流の作用、翼の上で騒音が発生する条件などシミュレーションによる検討結果について述べている。

Conny Larsson, Olof Öhlund : Variations of sound from wind turbines during different weather conditions

概要：風車騒音の伝搬に影響を与える気象条件および地域条件について検討するために、スウェーデンの森林地域、湾（水上）および複合的な地表条件の地域において、1～2年間にわたる長期観測を行った結果が報告されている。

Lars S. Søndergaard : Noise from wind turbines under non-standard conditions

概要：風車騒音の発生メカニズムに関して、翼に対する風の入射条件について二つの方法による実験的研究の結果を述べている。

Peter McPhee, Amy Barad, Tyler Studds, Leigh Cameron, Martha Broad, Nils Bolgen : Development of a pre-construction acoustic methodology for wind energy projects

概要：風車騒音の環境影響評価の手法について、The Massachusetts Clean Energy Center (MassCEC)が開発した騒音予測、実測、データ分析などの方法の概要を報告している。

Peter H. Guldberg : Analysis of background low frequency sound levels at four wind energy sites

概要：風力発電施設建設前の暗騒音について、風車の稼働条件の風速以上の条件における低周波数（12.5-500 Hz）のレベルを4カ所で測定した結果について報告している。

Lawrence Cheung, Giridhar Jothiprasad, Hao Shen : Large eddy simulation of airfoil self-noise

概要：風車の翼近傍における騒音の発生メカニズムについてLarge Eddy Simulations (LES)による解析結果と実測結果の比較について述べている。

Seunghoon Lee, Soogab Lee : Wind turbine noise reduction by means of serrated trailing edges

概要：風車の流体力学的騒音を低減するために、翼端を鋸歯状にすることによる効果を実験的に調べた結果、5 dBAの低減効果が得られたとしている。

Takashi Ohmura, Masamitsu Nakanishi, Nozomi Sakuraia, Akira Shimada, Atsushi Kawabara :

Investigation, prediction and assessment of wind turbine noise and infrasound in Japan

概要：日本における風車騒音の現状とそれに対する取り組み方に関する環境省の方針、特に2012年から施行される環境影響評価法に風車騒音が含まれることなどを紹介している。

Martin T. Schiff, Shannon R. Magari, Clinton E. Smith, Annette C. Rohr : Evaluation of wind turbine-related noise in western New York State

概要：米国ニューヨーク州における風力発電施設周辺の5カ所と風車騒音がない対照地域2カ所で気象条件と騒音の測定を行い、社会反応調査との対応について調べた結果を報告している。

David S. Michaud, Steven E. Keith, Katya Feder, Tara Bower : Health Impacts and Exposure to Wind Turbine Noise: Research Design and Noise Exposure Assessment

概要：カナダでも風力発電が増加しており、事業者は2025年には総発電量の25%を占める見込みを示している。しかし、風車騒音による健康影響が懸念されている。この問題に対する Health Canadaと Statistics Canadaの共同研究の方針が述べられている。

Francisco de Assis Leandro Filho : Evaluation of the structural response of typical wind turbines by stochastic methods

概要：風車の構造力学、発電量などを確率統計学的に考察し、解析ソフトANSYSを用いて検討した結果を述べている。

Malgorzata Pawlaczyk-Luszczynska, Adam Dudarewicz, Kamil Zaborowski, Malgorzata Zamojska, Malgorzata Waszkowska, Mariola Sliwinska-Kowalska : Annoyance related to noise from wind turbines in subjective assessment of people living in their vicinity

概要：風力発電施設周辺における騒音レベルの計算値とインタビュー方式による Golberg General Health Questionnaire GHQ-12を含む住民反応調査の結果の対応を調べており、騒音レベルが大きくなると反応が高くなること、また視覚的な影響もアノイアンスに関連することなどを述べている。

Stephen E. Ambrose, Robert W. Rand, Carmen M. E. Krogh : Falmouth, Massachusetts wind turbine infrasound and low frequency noise measurements

概要：Massachusetts州Falmouthに建設された風力発電周辺で予想外の騒音および健康影響が発生した。その周辺における騒音測定と健康影響について調査した結果、風速、風車の騒音発生出力と健康影響の症状の間に高い相関があったとしている。

Alec N. Salt, Jeffery T. Lichtenhan : Perception-based protection from low-frequency sounds may not be enough

概要：哺乳動物の聴覚は低周波数の音に対しては内有毛細胞(IHC)より外有毛細胞(OHC)の方が感度が高く、知覚できないようなレベルの低周波音にも反応するとの前提で、話声の領域に含まれるような高音域成分の有無によって低周波数の音に対する耳の感度を変化することを実験データ

によって示し、聴覚的に知覚されないような低周波数の音も耳は感知し、それによって人間に影響を与えている可能性があるとしている。

その他に、風車騒音によるアノイアンスに関する以下の論文が発表された。

Carmen ME Krogh, Roy D Jeffery, Jeff Aramini, Brett Horner : Annoyance can represent a serious degradation of health: wind turbine noise a case study

Carmen ME Krogh, Roy D Jeffery, Jeff Aramini, Brett Horner : Wind turbine noise perception, pathways and effects: a case study

Carmen ME Krogh, Roy D Jeffery, Jeff Aramini, Brett Horner : Wind turbines can harm humans: a case study

3) 日本騒音制御工学会 2012 年春季研究発表会講演論文集

坂本慎一、横山栄、矢野博夫、橘秀樹：低周波性騒音に関わる聴感実験 ―その1. 純音閾値

概要：平成22年度から開始された風車騒音に関する環境省戦略指定研究に関する発表で、低周波音の聴感特性を調べるための実験装置を作製し、その基礎的な応用として10 Hz～200 Hzの純音に対するヒトの聴覚閾値を調べた結果を報告している。

横山 栄、坂本慎一、矢野博夫、橘 秀樹：低周波性騒音に関する聴感実験 ―その2. 風車音の可聴性

概要：平成22年度から開始された風車騒音に関する環境省戦略指定研究に関する発表で、風車騒音に対するヒトの聴覚特性を調べる実験として、実際に収録した風車騒音を用いてその低周波数成分の可聴性についてM系列相関法を適用して調べた結果を報告している。

田原靖彦、角田雅樹：超低周波音が脳波に及ぼす影響-若年層被験者を対象とした予備検討概要：超低周波音に暴露された時のヒトの脳波の変化を調べる実験として、スピーカ音源と脳波計を用いて、 α 波、 γ 波の発生などを予備的に調べた結果を報告している。

渡辺敏夫：低周波音のマスキング特性について

概要：低周波数領域のバンドノイズによるマスキング効果について、20 Hz、40 Hzのバンドノイズを用いてマスキング効果を調べた結果、3つのグループに分かれることを報告している。

松田 礼、町田信夫：作業時における低周波音の影響

概要：定常性低周波音と変動性低周波音に着目し、低周波音用チャンバを用いてそれらの感覚閾値を測定し、それ以上の場合の作業パフォーマンスに対する影響を調べている。

落合博明、井上保雄、今泉博之、塩田正純、山田伸志：風車音の家屋内外音圧レベル差の測定事例

概要：風車騒音問題では住宅室内の音圧が重要である。この論文では、環境省の委託で行われた実測調査の結果を窓構造別に整理した結果を報告している。

久保田富夫、福田敦史、福原安里、野呂啓史、福原博篤：風力発電設備の騒音・低周波音計測の一手法とその測定事例

概要：風車の発生騒音の測定に関して、風雑音の防止の方法、測定点の配置などについて、実験的に検討した結果を報告している。

4) 日本騒音制御工学会2012年秋季研究発表会講演論文集

小林知尋、福島昭則、岩瀬昭雄、橘 秀樹：風車騒音に含まれるSwish 音の物理特性について

概要：平成22年度から開始された風車騒音に関する環境省戦略指定研究に関する発表で、風車騒音に含まれる規則的な脈動音（swish音）の物理的評価方法として、風車騒音の騒音レベルのFastレベル記録とSlowレベル記録の差に着目し、その90%レンジの上端値と下端値の差を変動の大きさを示す指標とすることを提案している。

福島昭則、小林知尋、矢野博夫、橘秀樹：風力発電施設からの騒音・低周波音の測定における風の影響について

概要：平成22年度から開始された風車騒音に関する環境省戦略指定研究に関する発表で、風車騒音の測定で大きな問題であるマイクロホンに対する風の影響について、単機の風力発電施設の周辺地域において同時測定した低周波音の相互相関に着目し、風雑音の影響を検討している。また風雑音による超低周波音域におけるレベル増加の傾向についても調べている。

5) 日本音響学会 2012 年秋季研究発表会講演論文集

丸山勇祐、藤橋克己、島村亜紀子：風が建物屋内での音響計測にあたえる影響について その2. 周波数特性

概要：室内における音圧測定に対する外部の風の影響について継続的に検討を行い、風によって室内で生じる音圧は風速の2乗に比例することと、風の乱流強度に応じて大きくなることをみいだしているが、この報告ではさらに音圧の周波数特性と風の乱れの周波数特性との関係について調べている。

土肥哲也、中右介：家屋内における低周波音の音圧レベル分布－低周波音・衝撃音発生装置を用いたフィールド試験－

概要：低周波数成分を含む外部騒音の建物内への影響に関して、低周波成分を含んだ定常音・衝撃音の両音源と模擬家屋を用いたフィールド実験を行い、家屋内音圧レベルの分布と内外レベル差に対する衝撃性の影響を実験的に調べた結果を報告している。

横山 栄、坂本慎一、矢野博夫、橘 秀樹：風車音の可聴性に関する聴感実験

概要：平成22年度から開始された風車騒音に関する環境省戦略指定研究に関する発表で、実際に録音した風車騒音とそのモデル音をローパスフィルタリングによって高音成分を段階的にカットした時の可聴性をM系列相関の手法を用いて実験的に調べた結果、一般的な風車騒音に含まれる超低周波及び可聴周波数領域の低周波数成分は非可聴であることを明らかにしている。

6) 日本音響学会2013年春季研究発表会講演論文集

岡田恭明、吉久光一、東一樹、西村直人：風力発電施設から発生する騒音の測定事例 - 音響放射特性に関する基礎検討 -

概要：風力発電施設周辺の多くの点で実測調査を行った結果に基づき、ナセル上部の風速や風車の発電出と風車の音響放射特性の関連、風車騒音の指向特性、距離減衰特性などを検討した結果を示している。

横山 栄、坂本慎一、矢野博夫、橘 秀樹：風車音に含まれる低周波数成分に関する聴感閾値実験

概要：平成22年度から開始された風車騒音に関する環境省戦略指定研究に関する発表で、風力発電施設から放射される低周波数成分の可聴性について実験室における聴感実験の結果について報告している。この実験では、ローパスフィルタリングによって低周波数に限定した風車音の可聴閾値を調べた結果、1/3オクターブバンドスペクトルが純音閾値曲線に下から接するあたりで「聞こえる/耳元で何かを感じる」という感覚が生じ始めることを明らかにしている。

5. 本研究により得られた成果

(1) 科学的意義

本研究を遂行するに当たり、音響学にとどまらず、機械工学、心理学、医学などの諸分野の専門家の参画を得て、風車騒音の問題に総合的に取り組む体制を構築した。このような組織は外国では数例見られるが、我が国では初めてである。この組織において、サブテーマ(2)風車騒音の実測調査および地域住民に対する影響調査及びサブテーマ(3)風車騒音に係る聴感実験で得られた研究成果について総合的に議論し、研究の深化と関連付けをすることができた。その内容の詳細はサブテーマ(2)及び(3)の項で詳述するとおりである。また、内外における風車騒音関連の研究資料を整理し、本研究に反映することができた。

(2) 環境政策への貢献

<行政が既に活用した成果>

特に記載すべき事項はない。

＜行政が活用することが見込まれる成果＞

本研究によって、風車騒音の物理的特性及び風力発電施設周辺の住民の反応の実態が明らかにされた。また、低周波音に対するヒトの聴覚生理心理反応の基礎的データが得られた。平成24年10月に施行された「環境影響評価法施行令の一部を改正する政令」では、風力発電施設も環境影響評価法の対象事業として含まれることになり、平成25年4月以降に新たな手続の創設（計画段階配慮書手続及び事後調査報告書の公表・報告手続き）が行われることになっているが、本研究の成果はそのための基礎資料として有益な科学的知見を与えることが見込まれる。環境省では、風車騒音の環境影響評価のための具体的指針を検討するために、本年度から「風力発電施設から発生する騒音等の評価手法に関する検討会（仮称）」を発足させることになっているが、この検討会でも、風車騒音の物理的特性及び近隣住民に対する影響実態に関して、本研究の成果が基礎資料として有効に利用されることが期待できる。

6. 国際共同研究等の状況

特に記載すべき事項はない。

7. 研究成果の発表状況

（1）誌上発表

- 1) 坂本慎一、横山 栄、辻村壮平、橘 秀樹, “低周波性騒音に関する聴感実験設備,” 騒音制御 37(2), pp.73-78 (2013)

（2）口頭発表（学会等）

- 1) 矢野博夫, 太田達也, 橘 秀樹 : 日本騒音制御工学会2011年秋季研究発表会(2011.9)
「風車騒音のimmission測定に用いる計測システムの開発」
- 2) 太田 達也, 矢野 博夫, 橘 秀樹 : 日本音響学会2012年春季研究発表会 (2012.3)
「一般環境における低周波騒音の測定事例」
- 3) H. YANO, T. OHTA and H. TACHIBANA : 15th International Meeting on Low Frequency Noise and Vibration and its Control (2012.5)
“Development of measurement system for wind turbine noise”
- 4) H. TACHIBANA, H. YANO, S. SAKAMOTO and S. SUEOKA : Inter-noise 2012 (2012.8)
“Synthetic research program on wind turbine noise in Japan”
- 5) H. TACHIBANA, H. YANO and A. FUKUSHIMA : 5th International Conference on Wind Turbine Noise (2013.8)
“Assessment of wind turbine noise in immission areas” (発表予定)
- 6) H. TACHIBANA, H. YANO, S. SUEOKA : Inter-noise 2013 (2013.9)
“Nationwide field measurements of wind turbine noise in Japan” (発表予定)

（3）出願特許

特に記載すべき事項はない。

(4) シンポジウム、セミナー等の開催（主催のもの）

特に記載すべき事項はない。なお、平成25年9月に開催される日本騒音制御工学会研究発表会のスペシャルセッションで、本研究全体の成果を「環境省環境研究総合推進費による風車騒音に関する調査研究：総合報告」と題して発表する予定である。

(5) マスコミ等への公表・報道等

特に記載すべき事項はない。

(6) その他

特に記載すべき事項はない。

8. 引用文献

- 1) Geoff Leventhall, "Low Frequency Noise. What we know, what we do not know, and what we would like to know," Proc. 13th International Meeting on Low Frequency Noise and Vibration and its Control, 1-26 (2008).
- 2) Bo Søndergaard, "Low Frequency Noise from Wind Turbines - Methods for prediction and assessment of the noise levels and the audibility of low frequency noise," Proc. 13th International Meeting on Low Frequency Noise and Vibration and its Control, 376-391 (2008).
- 3) Andy T. Moorhouse, David C. Waddington and Mags D. Adams, "A procedure for the assessment of low frequency noise complaints," J. Acoust. Soc. Am. 126(3), pp.1131-1141 (2009.9)
- 4) Carlos A. Jurado and Christian S. Pedersen, "Frequency selectivity at very low centre frequencies: the influence of the helicotrema on individual differences in low frequency sound perception," Proc 14th International Meeting on Low Frequency Noise and Vibration and its Control, 129-145 (2010).
- 5) Sabine A. Janssen, Henk Vos, Arno R. Eisses, and Eja Pedersen, "Predicting annoyance by wind turbine noise," Proc. Inter-noise 2010, CD-ROM (2010).
- 6) 時田保夫、中村俊一、織田 厚, "低周波音行暴露実験室の構造と音響特性," 日本音響学会誌 40 (10), pp.701-706 (1984).

(2) 風車騒音の実測調査および地域住民に対する影響調査

公益社団法人 日本騒音制御工学会

末岡伸一

平成22～24年度累計予算額：62,744千円

(うち、平成24年度予算額：27,516千円)

予算額は、間接経費を含む。

[要旨]

サブテーマ(2)では、風力発電施設周辺における風車騒音の実態を調べるための実測調査と周辺住民に対する風車騒音の影響を調べるために、全国34の風力発電施設周辺36地域において調査を実施した。それと同時に地域特性が類似で風車騒音の影響がない18の地域を対照地域として選定し、同様の実測調査及び社会反応調査を行った。これらの調査の結果から、風力発電施設が建設されている地域は本来きわめて静穏な地域が多く、風車騒音によって騒音レベルが上昇していること、対照地域に比べて風車周辺地域の住民には睡眠影響などが比較的高く見られること、風車騒音の影響は特に夜間に大きいことなどが明らかとなった。

[キーワード] 風車騒音、超低周波音、低周波音、等価騒音レベル、社会反応調査

1. はじめに

我が国では、2000年頃から風力発電施設の建設が本格化した、これに伴って施設の周辺住民から直接的な騒音被害だけでなく、健康上の不安を感じるという苦情が訴えられるようになった。本研究ではその実態を把握することを目的として、風力発電施設周辺における風車騒音の物理的特性の把握と近隣住民を対象とした社会反応調査を3年間にわたって実施した。また、比較のために風力発電施設がない地域も対照地域として選定し、実測調査及び社会反応調査を行った。

2. 研究開発目的

(1) 実測調査

風力発電施設周辺における風車騒音の実態を調べるために、全国34の風力発電施設の周辺の36地域で広帯域音圧レベル計による実測調査を行った。今回の調査で対象とした風力発電設備は、すべて3翼のアップウインド型である(写真(2)-1参照)。また、環境騒音の比較検討のために、地域特性が類似で風車騒音の影響を受けていないと思われる全国の18地域を対照地域として選定し、環境騒音及び残留騒音の測定を行った。



写真(2)-1 3翼アップウインド型風車の例

（２）社会反応調査

上記の風力発電施設周辺地域及び対照地域の実測調査と並行して、対象とした地域の住民を対象として環境騒音及び健康状態に関するインタビュー方式のアンケート調査を実施した。

３．研究開発方法

（１）実測調査

風力発電施設周辺地域及び対照地域における騒音測定の方法としては、平成22年度に試作開発した広帯域音圧レベル計とそのマイクロホンに風雑音防止のための二重構造の防風スクリーンを装着した音圧測定システムを用い、各対象地域において原則的に120時間の連続測定を実施した。測定点は対象地域ごとになるべく一様に分布するように配置した最大7点とし、風力発電施設周辺地域では参考までに風車の近傍点（基準点）にも測定点を設けた。この基準点では、地上高さ4 mにおける風速も測定した。測定現場で録音された音圧信号は、後日まとめて分析し、A特性、C特性及びG特性周波数重み付き音圧レベル（ L_A , L_C , L_G ）及び周波数分析として1/3オクターブバンド音圧レベルを求める方法をとった。写真(2)-2及び(2)-3に風力発電施設周辺における実測調査の様子を示す。



写真(2)-2 風車騒音の測定風景-1 (W09周辺)



写真(2)-3 風車騒音の測定風景-1 (W28周辺)

(2) 社会反応調査

社会反応調査では、調査員が直接住民宅を訪問してインタビュー方式で調査をする方法をとることとした。その内容（調査票）としては、表(2)-1に示すように、一般的な住環境に関する意識、各種の環境騒音に対するアノイアンス、自覚的健康状態に関する質問事項及び調査員が判断して記述する事項で構成されており、おおむね20分以内のインタビューで終了する内容としている。

調査項目のうち、アノイアンスに関する質問は、日本騒音制御工学会が一般的な住環境に関する意識を調べるために開発してきた調査票を基礎とし、風車騒音に関する質問事項を加えて若干の修正・追加を行った。そのうち、住環境に関する基本的な質問事項は全く同じであり、これまで蓄積されている風力発電施設周辺以外の調査結果とも比較検討が可能である。自覚的健康状態に関しては、東京大学で開発されたTHI（Total Health Index）に基づいて質問を行う方法を採用した。具体的には、THI質問用紙から、①呼吸器、②目と皮膚、③消化器、④生活不規則性、⑤情緒不安定に係る54項目の質問を選定して使用した。

なお、本研究では風力発電施設周辺地域との比較を目的として、地域特性は類似で風車騒音の影響を受けていない地域を対照地域として選定し、実測調査と同時にアンケート調査も行った。

インタビュー方式の調査では、インタビューアの等質性を保つこと（インタビューア・バイアスの除去）が重要である。そのために、アンケートの留意事項と調査員用の応答集を作成し、事前に具体的な調査方法について研修を行った。調査の具体的方法は以下のとおりである。

- ① 風力発電施設周辺の調査対象としては、風車からおおむね1 km 以内の住戸を選定する。
- ② 本研究の影響調査WGのメンバーが中心となって、各対象地域周辺の住宅を訪問してインタビュー方式で調査を行う。すなわち、調査員が質問を読み上げながら回答を調査票に記入する。
- ③ 測定班が連続騒音調査を行っている4日間のうちの1～2日間に実施する。
- ④ 2日程度前に調査対象地域の住民に調査実施についてビラを配布する。

表(2)-1 本研究の社会反応調査で使⽤したアンケート調査票

生活環境についてのアンケート調査票

問1 あなたは、現在の家に何年お住まいですか。該当する番号を選んで下さい。

1. 1年未満 2. 1年～3年未満 3. 3年～5年未満 4. 5年～10年未満 5. 10年以上

問2 あなたは、現在お住まいの地域の生活環境に、どの程度満足していますか。項目ごとに該当する番号を選んで下さい。

	満足	比較的満足	どちらとも言えない	多少不満	不満
(1) 買物の便	1	2	3	4	5
(2) 交通の便	1	2	3	4	5
(3) 緑の豊かさ	1	2	3	4	5
(4) 空気のきれいさ	1	2	3	4	5
(5) 静けさ	1	2	3	4	5
(6) 公共施設	1	2	3	4	5

問3 この1年あまりを振り返って、あなたは自宅で、下記の音で悩まされたり、うるさいと感じたことがありますか。項目ごとに該当する番号を選んで下さい。

	まったくない	それほどない	多少ある	だいぶある	非常にある	聞こえない
(1) 道路の自動車の音	1	2	3	4	5	9
(2) 飛行機の音	1	2	3	4	5	9
(3) 新幹線鉄道の音	1	2	3	4	5	9
(4) 在来鉄道の音	1	2	3	4	5	9
(5) 工場・事業場の音	1	2	3	4	5	9
(6) 建設工事の音	1	2	3	4	5	9
(7) 風力発電施設の音	1	2	3	4	5	9
(8) その他の音 ()	1	2	3	4	5	

問 4 問3に挙げた音の中で、あなたが最も悩まされているのは、どの音ですか。該当する音の番号を一つだけ選んで下さい。悩まされる音がない場合は、「なし」で結構です。

()

問5 問4で「なし」以外の回答なさった方にお尋ねします。その音でどのような迷惑を受けているか、該当する番号を選んで下さい。いくつでもけっこうです。

1. 気になるがたいしたことはない
2. くつろげない
3. イライラしたり、腹が立つ
4. 身体の具合が悪くなる

5. 電話の声やテレビ・ラジオの音が聞き取りにくい
6. 仕事や勉強、読書の邪魔になる
7. 会話の妨害になる
8. その他 ()

問 6 その音で迷惑を受けるのは、1日のうちいつごろか、該当する番号を選んで下さい。いくつでもけっこうです。

1. 早朝 2. 昼間 3. 夕方 4. 夜間 5. 深夜 6. 一日中 7. 決まっていない

問 7 その音で、迷惑を受ける季節はいつですか。該当する番号を選んで下さい。いくつでもけっこうです。

1. 春 2. 夏 3. 秋 4. 冬

問 8 その音で迷惑を受けたとき、どのようにしたいと思いますか。また、実際にどのようにしましたか。

そうしたいと思う 実際にしたことがある 無回答

(1) 音を出している相手に直接苦情を言う	1	2	9
(2) 電話や手紙で相手に抗議する	1	2	9
(3) 役所・警察などに訴える	1	2	9
(4) 自治会や地区長などの組織に訴える	1	2	9
(5) 住民運動や活動家を通じて働きかける	1	2	9
(6) 自分の家に防音工事等をする	1	2	9
(7) 引っ越しをする	1	2	9
(8) その他、具体的にお答え下さい ()			

問 9 睡眠についておたずねします。

(1) 睡眠で困っていることがありますか？

1. ある 2. ない

(2) (1)の質問で、あるとお答えの方は、つぎの項目ごとに該当する番号を選んで下さい。

項 目	週に3回以上	週に1～2回	たまに	無い
夜、床についてもなかなか寝付けない	1	2	3	9
夜中に目が覚めて、その後寝つけない	1	2	3	9
朝、早く目が覚める	1	2	3	9
起きたとき、よく眠れなかった感じがする	1	2	3	9
昼間、眠くて仕事がよくできない	1	2	3	9
その他()	1	2	3	9

(3) 上記のように困っているのは、質問4で答えた「悩まされる音」が原因だと思いますか？

1. 思う 2. 思わない

(4) 睡眠への影響について気になることがあればお聞かせください。

問10 あなたご自身のことについておたずねします。さしさわりのない範囲でお答え下さい。

(1) 性別

1. 男 2. 女 9. 無回答

(2) 年齡

1. 20歳未満 2. 20歳代 3. 30歳代 4. 40歳代
5. 50歳代 6. 60歳代 7. 70歳以上 9. 無回答

(3) あなたご自身のご職業

1. 自営業 2. 給与所得者 3. 自由業 4. 専業主婦 5. パートタイマー
6. 学生 7. 無職 8. 農林水産業 9. その他 ()

(4) あなたの家族は、あなたを含めて何人ですか。

1. 1人 2. 2人 3. 3人 4. 4人 5. 5人 6. 6人以上 9. 無回答

(5) あなたの家族で、次の項目に該当する方がいらっしゃいましたら選んで下さい。いくつでもけっこうです。

1. 夜勤の方 2. 受験生 3. 病気の方 4. お年寄り 5. 乳幼児
6. 小学生 9. 該当者無し

(6) あなたは、音を気にするほうですか。

1. 気にしない 2. どちらともいえない 3. 気にする 9. 無回答

(7) あなたは、騒音振動など環境問題に関心をおもちですか。

1. もっていない 2. どちらともいえない 3. もっている 9. 無回答

(8) あなたは、自然エネルギーを利用する風力発電は、よい方法と思いますか。

1. 思う 2. 思わない 3. その他 ()

(9) お宅では、風力発電施設からの音が聞こえますか。

1. 聞こえる 2. 聞こえない

(10) お宅では、風力発電施設の稼働によって家具や建具が振動することがありますか。

1. ある 2. ない

(11) お宅から風力発電施設が見えますか。

1. みえる 2. みえない

(12) 風力発電施設が見えるとお答えになられた方に、風力発電施設の景観上の印象をおたずねいたします。

つぎのうちからいずれかを選んで下さい。

1. 問題はない 2. 景観の邪魔になる 3. 特に何とも思わない

(13) お宅の庭や家の中で、風車の回る影がうつりますか。いくつ選んでもけっこうです。

1. 庭にうつる 2. 家の中までうつる 3. うつらない

(14) お宅では、風力発電施設があることによって、よいことがありますか。

1. ある 2. ない 3. わからない

(15) (14)でよいことがあるとお答えになられた方は、具体的にお答えください。

(16) 環境について何か気になりますか、自由にお答え下さい。

____()

問11 あなたの健康のあらましについてお答え下さい。他人には絶対知られないようにしておりますので、ありのままお答え下さい。

1	最近せきが出ますか	よく	ときどき	いいえ
2	くしゃみが出ることがありますか	よく	ときどき	いいえ
3	のどがつまったような感じがありますか	よく	ときどき	いいえ
4	痰(たん)がからむことがありますか	よく	ときどき	いいえ
5	鼻水が出ることがありますか	よく	ときどき	いいえ
6	かぜをひきやすいですか	はい	どちらでもない	いいえ
7	鼻がつまることがありますか	よく	ときどき	いいえ
8	息をするとゼイゼイと音がしますか	よく	ときどき	いいえ
9	のどが痛かったり、いがらっぽかったりしますか	よく	ときどき	いいえ
10	痰(たん)がでることがありますか	よく	ときどき	いいえ
11	皮膚が弱いほうですか	はい	どちらでもない	いいえ
12	目が疲れやすいですか	よく	ときどき	いいえ
13	できものができやすいですか	よく	ときどき	いいえ
14	目が充血してまっかになることがありますか	よく	ときどき	いいえ
15	じんましんが出ることがありますか	よく	ときどき	いいえ
16	目が痛かったり熱く感じたりすることがありますか	よく	ときどき	いいえ
17	まぶたが重いと感ずることがありますか	よく	ときどき	いいえ
18	発疹(赤いぶつぶつ)が出ることがありますか	よく	ときどき	いいえ
19	目やにが多いですか	多い	ふつう	いいえ
20	皮膚がかゆくなることがありますか	よく	ときどき	いいえ
21	げっぷが出ることがありますか	よく	ときどき	いいえ
22	消化不良を起こすことがありますか	よく	ときどき	いいえ
23	みぞおちのあたり(胃)が痛むことがありますか	よく	ときどき	いいえ
24	下痢をすることがありますか	よく	ときどき	いいえ
25	歯をみがくときなどに、はきけのすることがありますか	よく	ときどき	いいえ
26	胃腸の具合が悪いことがありますか	よく	ときどき	いいえ
27	胃が重かったりもたれたりすることがありますか	よく	ときどき	いいえ
28	食後に胃が痛むことがありますか	よく	ときどき	いいえ
29	空腹時に胃がいたむことがありますか	よく	ときどき	いいえ
30	早寝早起きのほうですか	はい	どちらでもない	いいえ
31	医者などから血圧のことで何か言われましたか	高血圧	いいえ	低血圧
32	人に顔色が悪いと言われるますか	よく	ときどき	いいえ
33	間食をしますか	よく	ときどき	いいえ
34	食欲のないときがありますか	よく	ときどき	いいえ
35	仕事がついと感ずることがありますか	よく	ときどき	いいえ
36	近ごろ体がだるいですか	いつも	ときどき	いいえ
37	近ごろ朝起きるのがつらいですか	いつも	ときどき	いいえ
38	朝食を食べないことがありますか	よく	ときどき	いいえ
39	食事の不規則なことがありますか	よく	ときどき	いいえ
40	近ごろ寝不足ですか	はい	どちらでもない	いいえ

41	人が自分をどう思っているか気になりますか	はい	どちらでもない	いいえ
42	よく赤面しますか	はい	どちらでもない	いいえ
43	過ぎたことをくよくよ考えますか	はい	どちらでもない	いいえ
44	他人に誤解されやすい性格だと思いますか	はい	どちらでもない	いいえ
45	冷汗をかくことがありますか	よく	ときどき	いいえ
46	気疲れするほうですか	はい	どちらでもない	いいえ
47	試験の時や目上の人の質問に答える時汗をかきま	よく	ときどき	いいえ
48	すか	はい	どちらでもない	いいえ
49	見知らぬ場所では落ち着きませんか	はい	どちらでもない	いいえ
50	目上の人が近づくとふるえそうになりますか	はい	どちらでもない	いいえ
	どなりつけられると体がすくみますか			
51	気分には波がありすぎると思いませんか	はい	どちらでもない	いいえ
52	夜中の突然の音などでおびえることがありますか	はい	どちらでもない	いいえ
53	人に見られていると仕事が手につきませんか	はい	どちらでもない	いいえ
54	ちょっとしたことが気になりますか	はい	どちらでもない	いいえ

問12 あなたがお住まいの地域について、特にご意見がありますか？

（調査員記入事項）

- (1) 地域 1. 住居系 2. 商業系 3. 工業系 4. 農林水産系 5. その他（ ）
- (2) 建物 1. 戸建住宅 2. 集合住宅（長屋・アパート等） 3. 中高層集合住宅
 4. 農家 5. その他（ ）
- (3) 建物構造 1. 木質系 2. 鉄骨系 3. コンクリート系 4. その他（ ）
- (4) 窓構造 1. 木製サッシ 2. アルミ一重サッシ 3. アルミ二重サッシ
 4. その他（ ）
- (5) 築年数 1. 5年未満 2. 10年未満 3. 20年未満 4. 20年以上
- (6) 居住階数（集合住宅の居住者） （ ）階建ての（ ）階
- (7) 所有区分 1. 持ち家 2. 賃貸 3. その他（ ）
- (8) 回答者の住宅周辺の騒音発生源
1. 高速道路 2. 幹線道路 3. 在来線鉄道 4. 新幹線鉄道
5. 鉄道の橋梁 6. 飛行場 7. 上空の航空機・ヘリコプター 8. 建設作業
9. 工場・事業場 10. 駐車場 11. 学校（幼稚園・保育園を含む）
12. 飲食店・ファミレス等 13. 商店・コンビニ等 14. 娯楽施設 15. 商店街等の拡声機
16. 農業作業 17. 風力発電施設 18. その他（ ）

アンケート調査員の留意事項

1 全般的事項

- ① この調査は、学術調査を実施するものであり、公正かつ適切に行われることを強調すること。
- ② この調査は、風車騒音の苦情対応としての調査ではなく、科学的知見を得て今後の環境対策に

活用する基礎資料である点に理解を得るように努めること。

- ③ アンケートの実施においては、身なり、態度などで疑われないように注意するとともに、丁寧な対応に特に留意すること。
- ④ 訪問先の内情を探るような態度・しぐさは控えること。

2 調査計画について

- ① この調査は、あくまでも環境省の戦略指定研究として実施するものであり、公正かつ適切な回答が得られるように計画・実施すること。
- ② 回答については、外部へ決して漏れないことをよく説明する。
- ③ 具体的な調査対象の住居は、できるだけ風車騒音のみの場所が解析上好ましいことから、自動車騒音に常時暴露されている幹線道路に面した住居などは除外するのが適切である。
- ④ アンケートの事前予告（お願い文の配布）は、調査日時の3日前が好ましいと考えられているが、必要により判断してかまわない。なお、実測調査 WG の測定開始前日にビラ配布を行うとすれば、実測開始2から3日後にアンケート調査を実施することになる。
- ⑤ 調査日の曜日は、平日を原則とするが、状況により判断してかまわない。

3 調査実施について

- ① 回答数が少ない場合は、**予備地域において調査**を行い20件程度の回収に努力する。
- ② 現場主任（責任者）は、常に調査員と連絡がとれる体制（携帯電話等）をとり、必要な指示や応援が可能なように措置すること。
- ③ 苦情が生じないように調査の終了時刻は、**可能な限り日没前**とし、遅くとも18時前とする。
- ④ 調査員は、2名が望ましいが1名でも可である。
- ⑤ 担当調査員以外の関係者は、不審者として通報されないように、周辺で「たむろ」していると見られないように十分に注意する。
- ⑥ このアンケートは、**過去1年間を振り返って「風車音と生活環境」**について調査するものであり、平均的な環境の状況を判断してもらうように説明する。
- ⑦ 質問は調査員が読み上げるだけでは分かりにくい場合もあり、**提示用フォルダー**を手渡して、それを補助的に見てもらいながら回答してもらうと効率的である。なお、提示用フォルダーは、見やすいように字体、ページ数を変えてあり、当然のことながら調査員回答事項は、印刷されてない。
- ⑧ このアンケートは、従来のドーザーレスポンス調査の質問表に東大（又はトータル）ヘルスインデックスの質問項目を付加したものである。
- ⑨ 質問は、回答者用と調査員記入項目に別れているが、調査員記入事項については、**回答者に質問してはならず**、調査員の主観的判断でかまわない。
- ⑩ 各質問については、回答を強要するものではないので、**無回答でも可**である。なお、自由に意見を聞く質問については、「あれば何う」との趣旨で決して強要しないこと。
- ⑪ 回答者には、家族と相談することなく主観的に答えてもらうこと。

- ⑫ 調査員は、調査票表紙の右上に**調査家屋コード**を記入すること。調査家屋コードは、**1222－01（月日+通し番号）**とし、地図上にもこれを記入して、後日騒音等の推計に利用する。

4 問1～3について

- ① 問1の「現在の家に住む」とは、現住所との意味であり、家の建直しを意味していない。
- ② 問2の生活環境の質問は、地域の概要についての質問で、「静けさ」の満足度がキーとなる質問である。
- ③ 道路とは、相当量の交通量が想定される幹線道路（国道・都道）と主要な市町村道を意味しており、いわゆる生活道路は含まれていない。
- ④ 飛行機とは、飛行場に離着陸するものを意味しており、はるか上空通過の飛行機や飛行中のヘリコプターは含まれない。
- ⑤ 鉄道の音とは、新幹線鉄道、在来鉄道を意味しており、夜間の保線工事音などは含まれない。また、橋梁部は、特に音が大きいので鉄道騒音に含めず、その他の音として整理する。
- ⑥ 工場・作業場とは、法的な区分によるものではなく、経営形態にかかわらず機械、設備等により製造等の作業を行っている場合のすべてを意味している。
- ⑦ 建設作業とは、道路等の公共物や住居・ビルなどの建築工事・土木工事のすべてとダンプ等による建設資材の搬入を含むものである。
- ⑧ 風力発電施設の音とは、翼、発電機（ナセル）、タワー（内側設置の電気関係設備を含む）及び機種によっては外部設置の電気関係設備等から生じる音である。
- ⑨ その他の音とはおおむね次の事項であり、口頭で例示してもよい。

暴走族等、朝晩のバイクのふかし、生活道路の自動車音（市町村道等）、道路上の人声、コンビニ・スーパー等（車の出入りを含む）、ファミリーレストラン等（車の出入りを含む）、カラオケなどの営業、駐車場（専用のもの）、学校・幼稚園等（拡声器放送を含む）、資材置場（車の出入りを含む）、集合住宅の室内音（隣家や上階からの音・給排水音など）、ペット（犬・猫など）、エアコン室外機、カラス等の鳥

なお、今回の調査には、振動等を調査対象としていないが、回答があった場合は、アンケートの性質上その他の音の項目に記入すること。

5 問4～9について

- ① 問4は、問3での回答（無回答の項目を除く）から、一つだけを選択してもらうものである。
- ② 特に悩まされる音がない場合は、問9の睡眠についての質問にすすむこと。
- ③ 問5は、類似の質問が問10にあるが、ここでは騒音影響に概括的に回答を求めるものである。
- ④ 問6～7は、迷惑を受ける時間帯を尋ねるもので、特に**夜間の風力発電施設**についての回答に留意する。
- ⑤ 問8は、迷惑に関する行動についてどのように考えるかを尋ねているもので、「そうしたいと思っている」「実際に行動した」に該当しない場合は、回答が無いことになる。なお、無回答には、思わない、答えたくない、を含むものである。
- ⑥ 問9は、睡眠にかかる一連の質問で、過年度に実施した他の騒音地域での回答と比較するため

に同文としてある。

6 問10について

- ① これらは、個人にかかる質問なので、**回答したくない場合は回答が不要である**点をよく説明すること。
- ② 無回答とは、「答えたくない」「判断できない」「こたえられない」などを含んでいる。
- ③ 給与所得者とは、いわゆる会社員、公務員などである。
- ④ 自由業とは、文筆家、芸術家など、主として自宅で仕事を行う者のことである。
- ⑥ 無職とは、主としてリタイアした方や資産で生活している方などである。
- ⑦ お年寄りとは、仕事をリタイアして主として自宅にいる者のことで、特に年齢で区分するものではないこと。一般的には、給与所得者では65～70歳、農林業を含む自営者は、70歳以上と考えられる。
- ⑧ 「よく利用する」とは、回答者がどう考えるかであるが、おおむね1年に数回以上の利用と考えられる。また、「ほとんど乗らない」とは、数年に1度以下と考えられる。
- ⑨ (16)の自由記載については、すでに質問した内容の繰り返しや補充でもかまわない。さらに、例えば風車のシャドウフリッカー（影）、交通量の増加、野鳥の増減、強風時の風車による風切り音、風車故障時の音、振動を感じることもある、など自由な意見があれば記述する。

7 問11について

- ① この一連の質問は、東大で開発された健康に関するトータルヘルスインデックスの質問のうち、必要な項目を選択したものである。
- ② これらの回答を尺度化の手法で解析するもので、対照地域との相違について検討するものである。
- ③ この項の調査結果については、**プライバシー保護のため無記名で処理**されているため、各個人への結果報告は出来ないようになっている。健康について相談を受けた場合は、かかりつけ医師がいる場合にはその医師に、いない場合には市の保健センターに相談することをお勧めすること。

8 問12について

この問は、問10の(16)の環境にかかる質問と若干重複するが、物理的な環境のみならず地域社会の変化、騒音対策に対する意見など自由な意見があれば記述する。

9 調査員記入事項について

- ① 各質問については、調査員が判断するものとし、回答者に質問は行わない。
- ② その他とは、回答枝が無い場合（括弧内に記述）のほか、不明な場合も含んでおり、この場合

は括弧内に不明と記述する。

- ③ 建物構造や所有区分などについては、△△荘のごとく明らかな場合は適切に判断することになるが、判断が困難な場合も十分に想定される。その場合は、その他に○を記入する。

10 アノイアンスデータおよびTHIデータの整理

- ① 調査データを配布したexcel表に記入する。
- ② 具体的には、別添の**アンケートデータ整理表**により整理する。

(平成23年7月22日版)

4. 結果及び考察

(1) 実測調査

平成22年度から3年間にわたって実測調査を行った風力発電施設周辺及び対照地域の概要を表(2)-2及び表(2)-3に示す。

表(2)-2 実測調査及び社会反応調査を実施した風力発電施設周辺地域（平成22, 23, 24年度）

ID	所在県	地域特性（所見）	定格出力	調査年月
W01	長崎県	半島の丘に風車が設置。周辺は田園地帯と漁村。船舶の航路に近く、大型船舶も通行する。	1,980kW×1機	2010年12月
W02	山口県	山間部の丘陵地に風車が設置。周辺は田園地帯（主に水田）。	2,500kW×7機	2011年1月
W03	静岡県	標高340～400mの山地に風車。山の南側斜面はみかん畑、北側斜面は田畑。	2,000kW×10機	2011年2月
W04	和歌山県	標高450～500mの山頂に風車。急斜面を利用したみかん栽培農家の集落。	1,300kW×10機	2011年3月
W05	千葉県	台地上に風車。周辺は田園地帯（主に露地野菜栽培）。若干離れて工業地域、団地など。	1,500kW×9機	2011年2月 アンケートは11月
W06	千葉県	台地上に風車。周辺は田園地帯（主に露地野菜栽培）	1,500kW×6機	2011年2月 アンケートは11月
W07	島根県	山の尾根沿いに風車。周辺は田園地帯（主に水田）。	2,300kW×9機	2011年8月
W08	鹿児島県	山間部に風車。周辺は田園地帯（田畑）および牧場。	2,400kW×21機	2011年10月
W09	鳥取県	海岸沿いに風車。周辺は平地で田園地帯（畑、果樹園）。	1,500kW×9機	2011年12月
W10	鳥取県	山の裾野に風車。周辺は主に田園地帯（水田）で、風車の近傍は工業団地。	1,500kW×1機	2011年12月
W11	鹿児島県	山頂に風車。海に近い。周辺は田園地帯（畑）。	1,980kW×1機	2012年1月
W12	石川県	丘陵地に風車。その麓の平坦な田園地域に農家および一般民家の集落。	1,990kW×5機	2011年8月
W13	愛知県	平地に風車。平坦な田園地域で、主として野菜栽培の農家。温室も多い。	1,000kW×1機	2011年11月 アンケートは10月
W14	静岡県	山地の尾根伝いに風車。北側には別荘建物が多く、南側谷合に農業、漁業を営む集落。	2,000kW×17機	2011年12月
W15	兵庫県	山地の尾根伝いに風車。南側傾斜地は別荘地、東側丘陵地の谷合は田園地域、北側は平坦な田園地に農家と地場産業に従事する民家の集落。	2,500kW×15機	2012年1月
W16	静岡県	河川、海沿いに風車。東北側は平坦な田園地域に農業・漁業従事者の民家、一般的民家の集落。	3,000kW×5機	2012年1月
W17	秋田県	海岸に沿って風車。北側は海水浴場。防風林を隔てた内陸側は畑。	1,500kW×17機	2011年10月
W18	秋田県	海岸に風車。防風林を隔てた内陸側は田畑と牧場。	600kW×1機 1,250kW×1機	2011年11月
W19	山形県	防風林の中に風車。防風林の陸側は田畑。	2,080kW×7機	2011年10月
W20	山形県	田園地帯に風車。周辺は主として水田で、集落が散在。	400kW×2機 600kW×4機 1,500kW×2機	2011年10月
W21	秋田県	海に近い丘陵地上に風車。周辺は主に水田。	1,500kW×1機	2011年10月

W22	山口県	山頂に風車が設置され、周囲は山および田畑。風車につながる県道沿い集落（約15軒）がある。	1,950kW×1機	2012年8月
W23	沖縄県	海岸近くの平地に風車があり、風車周辺は運動公園で、その先に集落やサトウキビ畑がある。	1,995kW×1機	2012年8月
W24	鹿児島県	山頂に風車が点在し、周辺の山間部に集落（約15軒）や田畑、放牧地がある。	1,300kW×10機	2012年9,10月
W25	鹿児島県	山頂の尾根沿いに風車が設置され、山の麓に新興住宅地や畑がある。	1,300kW×8機	2012年10月
W26	千葉県	丘の上に風車が設置され、周辺は公園と畑。その先に集落がある。（この施設は風車騒音の特性把握が目的で民家側測定点なし）	1,500kW×1機	2012年11,12月
W27	北海道	なだらかな丘陵の牧草地帯に風車が設置され、周囲の平坦な田園地帯に農家が、海岸の道路沿いには漁業に従事する民家が点在する。	1,000kW×20機 1,500kW×5機 1,650kW×14機	2012年9月
W28	北海道	海岸近くの標高40mの台地に風車が設置され、その周囲の海岸沿いに漁業に従事する民家が、台地の上には作業用の広場に民家が点在している。（風車はW35と同じ）	1,500kW×5機 2,500kW×1機 （停止中）	2012年10月
W29	愛知県	なだらかな丘陵地の田園地域に風車が設置され、周囲には農家が点在し、風車の南側の道路沿いには農家が集落をなしている。	1,500kW×1機	2012年10月
W30	福井県	なだらかな丘陵地の田園地域を囲むように風車が設置され、その中に農家が小集落をなし、風車の南側の道路沿道には農家を含む民家が密集している。（風車はW36と同じ）	2,000kW×10機	2012年11月
W31	鳥取県	標高80mの小高い丘に風車が設置され、500m以内の海岸沿いに漁業に従事する民家が密集している。	600kW×1機	2013年1月
W32	北海道	港湾施設と公園の間に設置された風車から500m程度離れた住居地域にアパートや民家が密集している。	1,000kW×1機	2012年9月
W33	北海道	公園の丘陵部に設置された風車から200mほど離れて学校、さらに離れた先に住宅が密集している。	400kW×1機	2012年9月
W34	北海道	田畑の中に風車が10機散在し、そのうちの2機は学校、老人福祉施設や農家、住居が集まる集落から300m程度の位置にある。	1,950kW×10機	2012年9月
W35	北海道	海岸近くの標高40mの台地に風車が設置され、台地の上には作業用の広場に民家が点在している。海岸沿いに漁業に従事する民家の集落があるが、海岸は波の音で風車の音は聞こえていない。（風車はW28と同じ）	1,500kW×5機 2,500kW×1機 （停止中）	2012年10月
W36	福井県	なだらかな丘陵地の田園地域を囲むように風車が設置され、南端には学校や小集落をなす農家が点在する。風車の南側の道路沿道には農家を含む民家が密集している。（風車はW30と同じ）	2,000kW×10機	2012年11月

備考：W01～W06は平成22年度、W07～W21は平成23年度、W22～W36は平成24年度に測定。

表(2)-3 実測調査及び社会反応調査を実施した対照地域（平成23, 24年度）

ID	所在県	地域特性（所見）	調査年月
C01	島根県	山裾の農村部で周辺は田園地帯（主に水田）	2011年8月
C02	鹿児島県	山裾の農村部で周辺は田園地帯（畑）	2011年10月
C03	鳥取県	平地の農村部で周辺は田園地帯（畑・水田）	2011年12月
C04	愛知県	平坦な田園地域で野菜栽培を主とした農家の集落	2011年10月
C05	兵庫県	平坦な田園地域に専業農家と一般住宅が混在	2012年1月
C06	静岡県	丘陵地で果物栽培農家と一般住宅が混在	2012年1月
C07	秋田県	平地の農村部で周辺は田園地帯（主に水田）	2011年10月
C08	山形県	平地の農村で周辺は田園地帯（主に水田）	2011年10月
C09	山形県	山裾から平地にかかる農村部で周辺は田園（主に水田）	2011年11月
C10	山口県	平地で農村と住宅地が混在。周辺は田園地帯（主に水田）	2012年8月
C11	沖縄県	古くからの集落で、典型的な沖縄の家屋も多い。	2012年8月
C12	鹿児島県	山間部の農村。周辺は田畑と山。	2012年10月
C13	北海道	海岸沿いには漁村が、なだらかな丘陵地の道路沿いには新興住宅が集落をなし、田園地域内には農家が点在する。	2012年9月
C14	北海道	漁業に使用する作業場を有する地域に民家が点在する。	2012年10月
C15	愛知県	田園地域の道路沿道に農家が集落を形成する。	2012年10月
C16	北海道	漁業を中心とする海岸の段丘地に民家が集落を形成している。	2012年9月
C17	北海道	老人施設、小事業所、民家などが混在する地方の町はずれ。	2012年9月
C18	福井県	平坦な田園地帯。農家を中心とした集落が形成されている。	2012年11月
備考：C01～C09は平成23年度、C10～C18は平成24年度に測定。			

上記の風力発電施設周辺及び対照地域における騒音の分析方法及び分析の結果は以下に示すとおりである。

1) 風力発電施設周辺地域における風車騒音の分析

風車が定格稼働あるいはそれに近い状態でよく回転している時間帯（夜間あるいは夕方）の録音記録について、A特性音圧レベル（ L_A ）、C特性音圧レベル（ L_C ）、G特性音圧レベル（ L_G ）および中心周波数0.8 Hz～5 kHzの1/3オクターブバンド音圧レベルを50 msごとに記録した。その中から原則として毎正時10分間の記録について暗騒音の影響の有無を目視によって調べ、暗騒音に影響している恐れがある場合には録音記録を再生して耳で確認する方法によって調べた。その結果、明確な暗騒音が認められた場合にはその区間のレベル記録を削除した。このような区間が長い場合には、対象とした10分以外の部分で暗騒音の影響を受けていない部分を加えて合計で約10分になるように調整し、その間の時間平均レベルを求めて当該1時間の代表値とした。それらの値を対象としている時間帯（たとえば夜間）全体にわたってエネルギー平均し、その時間帯の等価音圧レベルとした。

なお、夏季から秋季にかけて実施した実測調査では、セミなどの虫の鳴き声が録音に含まれており、約2 kHz以上でその影響が大きい。これを避けるために、1/3オクターブバンド周波数分析結果にこれらの音（暗騒音）が明確に見られる場合には、カットオフ周波数1.25 kHzのローパスフィルタリング処理を行った上で上記のレベル分析を行った。

本研究で対象とした34の風力発電施設の周辺地域36箇所（W01～W36）において広帯域音圧レベル計によって録音された音圧記録について、上記の方法で分析を行った結果として、各測定点における対象とした時間の等価音圧レベル（A特性： L_{Aeq} 、C特性： L_{Ceq} 、G特性： L_{Geq} ）と1/3オクターブバンド音圧レベルの分析結果をまとめて添付資料の図1-1～図36-2及び表1～表36に示す。

なお、これらの各風力発電施設周辺地域における風車騒音の実測データのうち、A特性等価音圧レベルについて風車からの距離による減衰特性を調べてみた。その方法としては、最近接風車からの距離の関数として式(1)によって距離減衰特性に関する回帰式を求めた。その場合、暗騒音の影響が大きいデータ、風車からの距離が100m未満の測定点のデータ、影となる場所に測定点があるため他の測定点と比べ騒音レベルが小さいデータ（W05 M05）、ウインドファームの中にある家屋の測定点（W08 M02）のデータは除外した。

$$L = A \log_{10} \ell + B \quad (1)$$

ここに、 L ：騒音レベル [dB]、 ℓ ：最近接風車からの距離 [m]、 A, B ：係数。

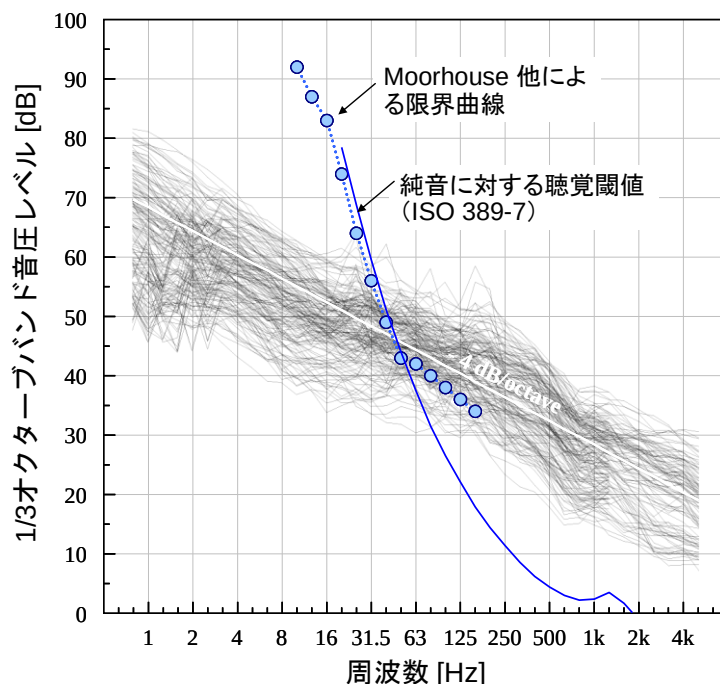
2) 対照地域における残留騒音の分析

対象とする時間帯（主に夜間）の毎正時10分間のレベル記録について、A特性音圧レベル（ L_A ）、C特性音圧レベル（ L_C ）、G特性音圧レベル（ L_G ）および中心周波数0.8 Hz～5 kHzの1/3オクターブバンド音圧レベルを50 msごとに記録した。ただし、明確な暗騒音がある場合には、他の10分間データを用いた。そのレベル記録からA特性音圧レベル（ L_A ）、C特性音圧レベル（ L_C ）、G特性音圧レベル（ L_G ）及び中心周波数0.8 Hz～5 kHzの1/3オクターブバンド音圧レベルのそれぞれについて95%値（90%レンジの下端値）を求めた。これらのレベル値について、対象としている時間帯全体にわたるエネルギー平均値を計算し、その時間帯における残留騒音のレベルとした。対照地域の測定についても、夏季及び秋季のセミや虫の鳴き声の影響を除外するために、必要に応じて上記のローパスフィルタリング処理を行った。

上記の方法で分析を行った結果として、本研究で対象とした18箇所の対照地域（C01～C18）における残留騒音の分析結果を添付資料の図37～図54及び表37～表54に示す。

以上に示した風力発電施設周辺地域36箇所のうち、風車騒音が測定できたのは29の風力発電施設周辺の31地域の合計164地点であった。また対照地域18箇所のうち、残留騒音が測定できたのは14か所の合計33地点であった。これらのデータから以下に述べる分析を行った。

まず、31地域における民家周辺の合計164地点で測定された風車稼働時の1/3オクターブバンド音圧レベルの分析結果を重ねて図(2)-1に示す。この結果を見ると、風車騒音の全体的な周波数特性としては、低周波数から高周波数にかけて-4 dB/オクターブの傾斜に近いことが分かる。また、図中にMoorhouse他によって提案されている1/3オクターブバンド分析結果による低周波音問題の有無を判定するための限界曲線¹²⁾を示す。測定結果をこの曲線と比較すると、すべての測定結果は、20 Hz以下でこの曲線を大きく下回っているが、それ以上の周波数では多くの測定結果が限界曲線を上回っており、ISO 389-7に規定されている純音に対する聴覚閾値の曲線も上回っている。これは、風車騒音は可聴周波数領域の成分によって耳に聞こえる騒音として問題であることを意味している。



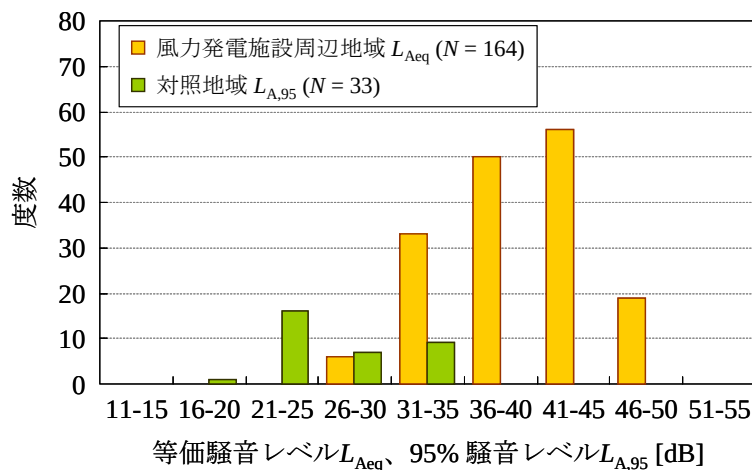
図(2)-1 29の風力発電施設周辺の164地点における風車騒音の測定結果

つぎに、これらの風車騒音のA特性等価音圧レベル L_{Aeq} 、C特性等価音圧レベル L_{Ceq} およびG特性等価音圧レベル L_{Geq} の度数分布を整理した結果をそれぞれ図(2)-2、図(2)-3および図(2)-4に示す。また、18箇所の対照地域で行った残留騒音の測定結果のうち、暗騒音の影響を受けていない合計33測定点における95%時間率騒音レベル L_{A95} の度数分布を整理し、図(2)-2～図(2)-4に合わせて示す。これらの結果のうち、 L_{Aeq} の結果をみると、風力発電施設周辺の居住地域（本調査の測定では、最近接風車から最短90 m、最長1,250 m）における風車が定格稼働あるいはそれに近い状態でよく回転している時の等価騒音レベルは26 dB～50 dBの範囲に分布しており、最頻値は41 dB～45 dBの階級で36 dB～40 dBの階級がそれに次いでいる。一方、風車騒音の影響がないと思われる対照地域における残留騒音は16 dB～35 dBの範囲に分布しており、最頻値は21 dB～25 dBの階級となっている。これらの結果から、風力発電施設の周辺地域で風車が定格稼働あるいはそれに近い状態でよく回転している時の騒音レベルと対照地区における残留騒音の騒音レベルには平均的に15 dB程度の差が認められる。

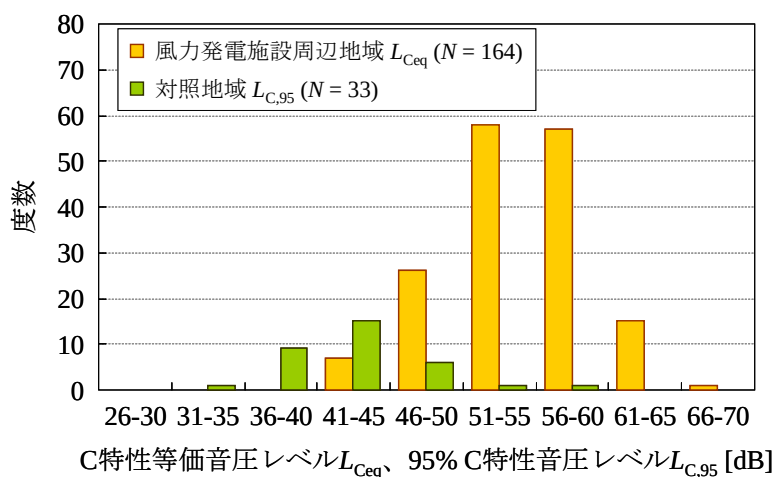
C特性等価音圧レベル L_{Ceq} について整理した結果を見ると、風力発電施設周辺における測定結果の最頻値は51-55 dBの階級で、56-60 dBがそれに次いでいる。風力発電施設周辺地域について、 L_{Aeq} と L_{Ceq} との相関を調べた結果として、 $L_{Ceq} - L_{Aeq}$ の頻度分布を図(2)-5に示す。この結果で、最頻値は15～16dBの階級となっている。また散布図として整理した結果を図(2)-6に示すが、両者の間にはかなり高い相関（相関係数：0.88）が見られる。

超低周波音領域を対象としたG特性等価音圧レベル L_{Geq} の結果を見ると、対照地域に比べて風力発電施設周辺地域の方が L_{Geq} が大きくなっている傾向が認められるが、風力発電施設周辺地域でもG特性等価音圧レベルの感覚閾値100 dB（ISO 7196）に比べて十分に低い結果となっている。

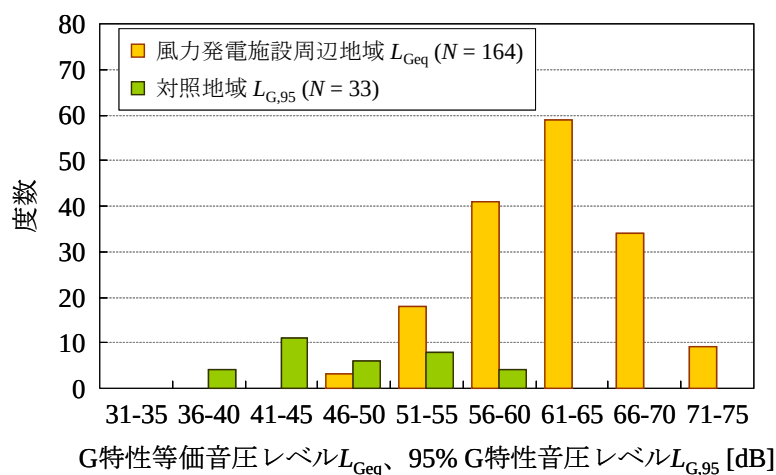
なお、上述のとおり、測定対象地域として選定したが結果として海浜に近く波の音や防風林による風音、近隣の工場の騒音などによって風車騒音が特定できなかった地点も多い。



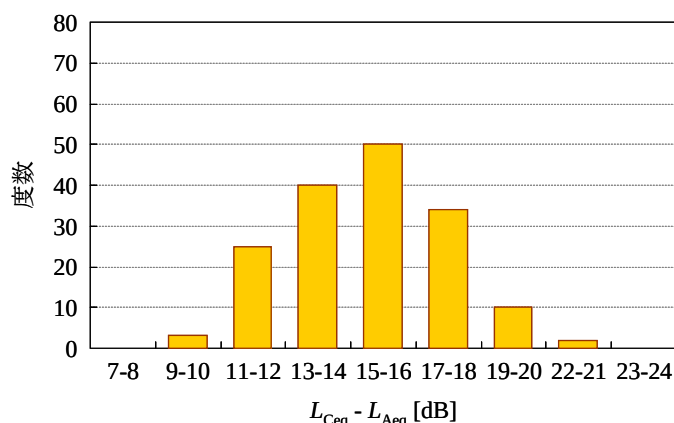
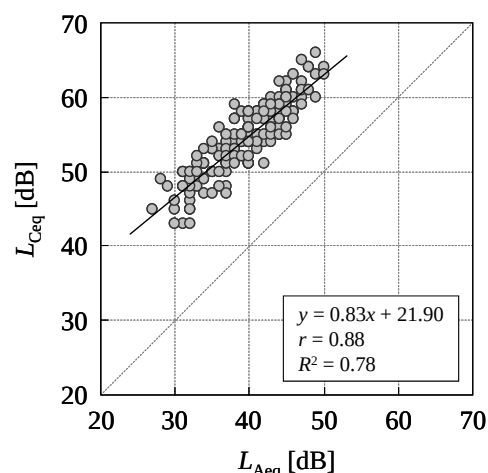
図(2)-2 風力発電施設周辺地域における等価騒音レベル (L_{Aeq}) と対照地域における95%騒音レベル (L_{A95}) の比較



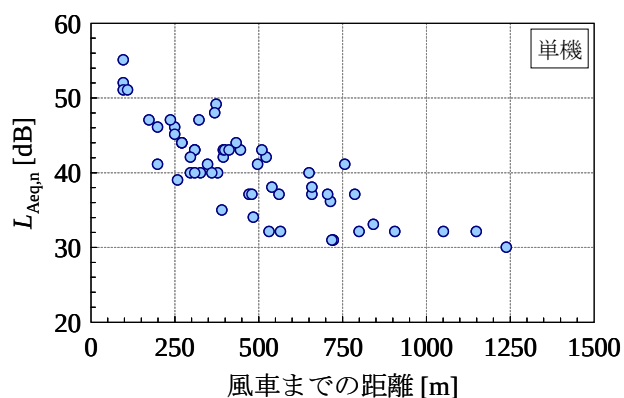
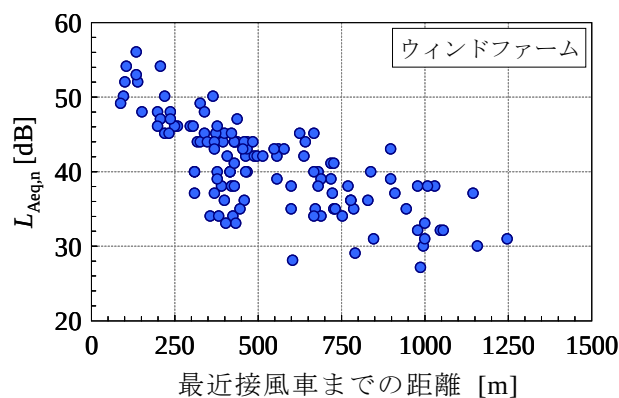
図(2)-3 風力発電施設周辺地域における等価騒音レベル (L_{Ceq}) と対照地域における95%騒音レベル (L_{C95}) の比較



図(2)-4 風力発電施設周辺地域におけるG特性等価騒音レベル (L_{Geq}) と対照地域における95%G特性音圧レベル (L_{G95}) の比較

図(2)-5 $L_{Ceq}-L_{Aeq}$ の頻度分布図(2)-6 L_{Aeq} と L_{Ceq} の相関

風車からの距離による風車騒音の変化も重要である。そこで、過去3年間の実測調査のうちで風車が1機だけの風力発電施設（W01, W10, W11, W13, W22, W23, W29, W31, W32, W33）とそれ以外の複数機から成る施設（ウインドファーム）の別に、風車から測定点の水平距離と等価騒音レベル（ L_{Aeq} ）の関係を調べた結果をそれぞれ図(2)-7、図(2)-8に示す。これらの結果を見ると、風車からの距離が大きくなるほど音圧レベルが低下する距離減衰のおおよその傾向は認められるが、大きなばらつきが見られる。これは、機種が異なる測定対象風車ごとに特定の時間帯の測定結果であり、その時の風車の向きが測定点によって異なること（風車の騒音放射指向特性）、また地形・地物・地表面性状・植生、気象条件などによって音の伝搬が変化することも考慮する必要がある

図(2)-7 風車（単機）から測定点の水平距離と L_{Aeq} の関係図(2)-8 最近接風車から測定点の水平距離と L_{Aeq} の関係

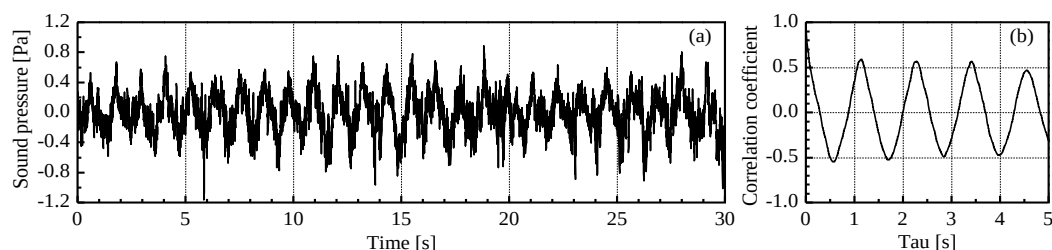
3) 風車騒音に含まれる振幅変調音の分析方法の提案

風車騒音では規則的な脈動音（振幅変調音）が聞こえることがあり、これが心理的アノイアンスの大きな原因となっている。この脈動音は英語の擬音語として“swish”, “swoosh”, “thump”などで表現されている。このような振幅変調音が発生するメカニズムとしては、タワーと翼の乱流的

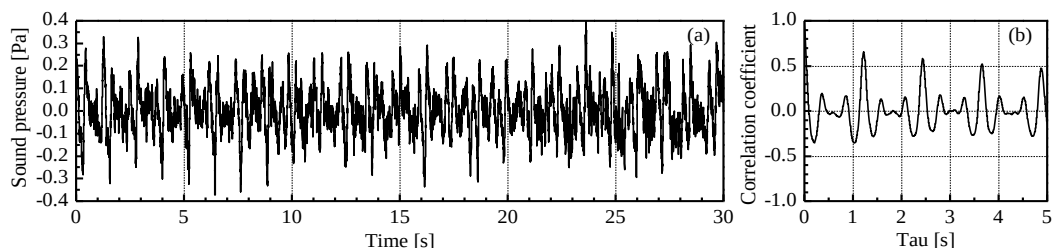
な干渉（Tower-blade wake interaction）によって、回転周期に応じてパルスが発生するとする説¹⁾もあるが、引用文献 2 によれば、ブレードで発生する空力的騒音が下向きに指向性が強いこと、音源の高速移動によって生じる Doppler 効果に伴う音圧振幅の変化、およびブレードとタワーの間に生じる空力的交互作用などが原因で、その出現はブレードの回転面と観測点の位置関係に大きく依存すると言われている。

本研究では、全国の風力発電施設を対象として周辺における風車騒音の実測調査を進めているが、その中で得られた超低周波音領域も含む録音記録から振幅変調音が顕著に認められるデータを抽出し、その物理的特性について解析を行った。

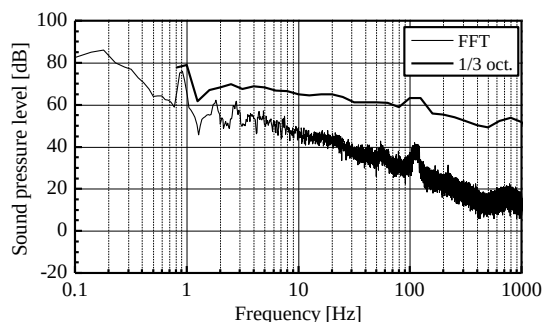
まず、風車近傍における測定例として、1,980 kW 風車の近傍で測定された音圧レベル記録とその自己相関関数を図(2)-9 に示す。この例では周期が約 1.1 s の明確な周期性が認められる。また、2,500 kW 風車 7 機から成る風力発電施設の周辺で、最近接風車から 561 m 離れた民家の庭で測定された音圧レベル記録とその自己相関関数を図(2)-10 に示す。この例でも、周期が約 1.2 s の明確な周期性が認められる。これら 2 例の音圧記録の FFT（周波数分解能：0.046 Hz）および 1/3 オクターブバンド周波数分析の結果をそれぞれ図(2)-11、図(2)-12 に示す。いずれの例でも、脈動の周期（ブレードの回転周期の 1/3 の周期）に相当する周波数の基本波およびその低次の倍音成分が含まれていることが分かる。ただし、それらの成分の音圧レベルは感覚閾値に比べてはるかに低いと考えられる。



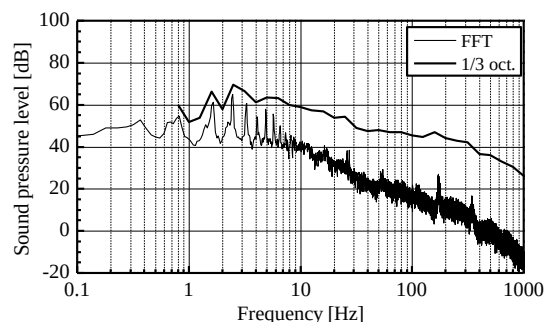
図(2)-9 1,980 kW風車の近傍における音圧とその自己相関関数



図(2)-10 2,500 kW風車7機の施設から561m離れた点における音圧とその自己相関関数



図(2)-11 図(2)-9の音圧のスペクトル



図(2)-12 図(2)-10の音圧のスペクトル

つぎに、振幅変調音の振幅変動の程度を定量的に評価する方法について検討した。図(2)-13 は上に述べた民家の庭で測定された音圧記録（60 s）に A 特性周波数重み付けをした波形で、周期が約 1.2s の振幅変調の様子がみられる。図(2)-14 は、この A 特性音圧波形の FAST および SLOW の時間重み付けをして求めたレベル記録であるが、風速の変化による風車の回転状況の変化に伴う長周期の時間変動性（ドリフト）がみられる。この影響を除いて振幅変調音の振幅変調の程度を調べるために、次式のとおり Fast 特性によるレベル $L_{A,F}(t)$ と Slow 特性によるレベル $L_{A,S}(t)$ の差 $\Delta L_A(t)$ を求めた。すなわち、

$$\Delta L_A(t) = L_{A,F}(t) - L_{A,S}(t) \quad (2)$$

その結果を図(2)-15に示す。この図に見られるレベル（差）変動について、自己相関関数およびパワースペクトルを求めた結果をそれぞれ図(2)-16, 図(2)-17に示すが、図(2)-16では周期1.2 sの周期性、図(2)-17では0.83 Hzの卓越成分が明確に認められる。

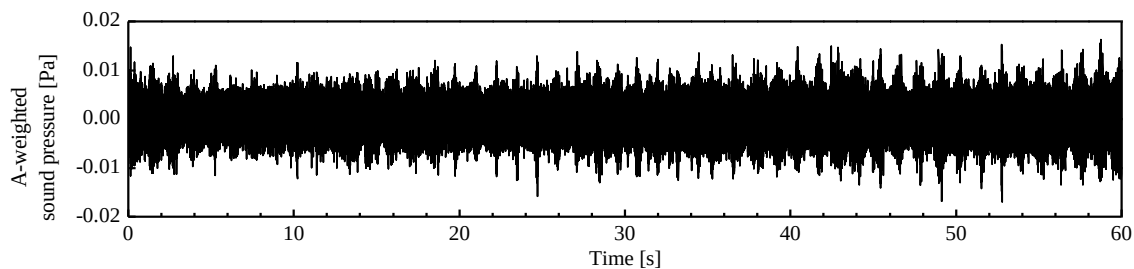
つぎに、このような振幅変調によるレベル変動の程度（振幅変調度と呼ぶ）を定量的に評価する統計的方法として、このレベル変動データの90%レンジの幅で表す方法をとることとした。すなわち、

$$D_{AM} = \Delta L_{A,5} - \Delta L_{A,95} \quad (3)$$

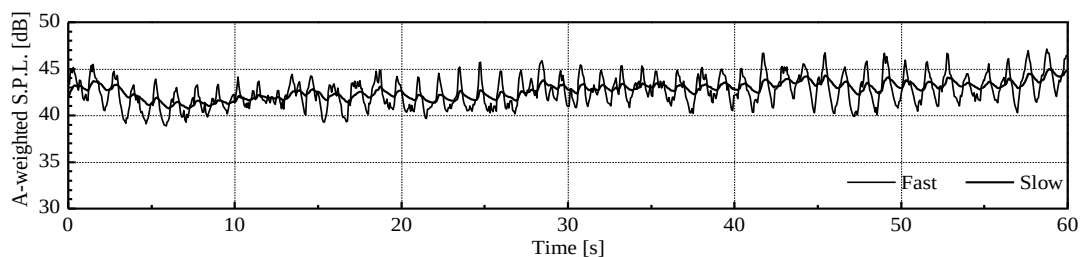
ここに、 $\Delta L_{A,5}$ 、 $\Delta L_{A,95}$ はそれぞれ $\Delta L_A(t)$ の5%時間率レベルと95%時間率レベル。

その結果として、ここで用いている振幅変調音のレベル（差）変動 $\Delta L_A(t)$ の累積確率密度分布を求めた結果を図(2)-18に示す。この例では、振幅変調度 D_{AM} は 3.9 dB であった。引用文献 2によれば、振幅変調音で 2 dB 以上のレベル変動がある場合に脈動性によるアノイアンスが生じるとされている。なお参考までに、ここで対象とした音圧信号（Data-3）を 1/1 オクターブバンドごとに分割して前記の装置で再生して試聴したところ、脈動性が明らかに感じられたのは中心周波数 63 Hz～1 kHz の各帯域であった。これらの帯域別に振幅変調の程度を上述の方法で求めたところ、それぞれ 5.1, 5.4, 4.5, 4.5, 4.0 dB であった。

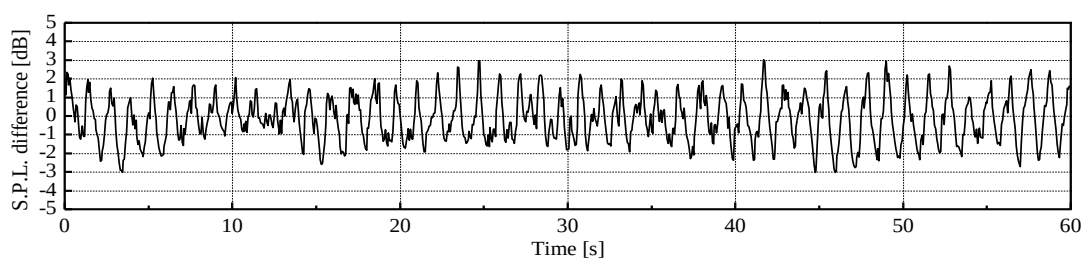
風力発電施設周辺における風車騒音の影響を評価する場合、音圧レベルの時間平均値による評価だけでなく、明確な周期性を持つ振幅変調成分（swish 音）の程度も考慮する必要がある、ここで述べた検討を行った。なお、振幅変調音の聴感印象については、(3) 風車騒音に係る聴感実験でも検討を行っている。



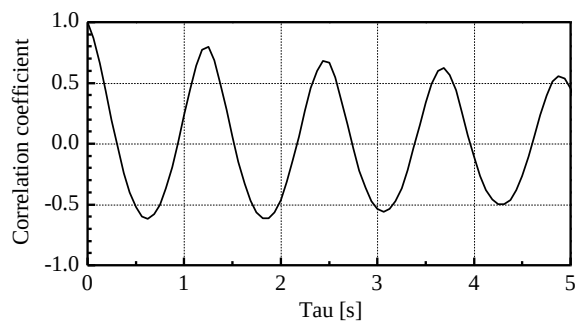
図(2)-13 2,500 kW風車7機の施設から561m離れた点におけるA特性音圧 (60秒間)



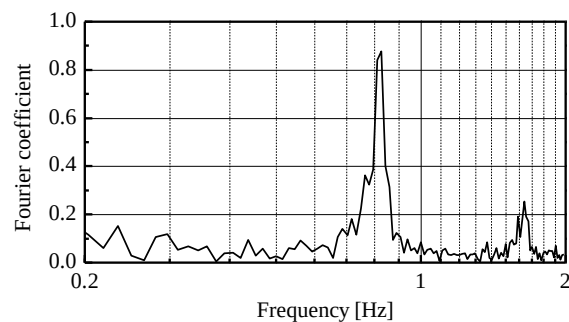
図(2)-14 上図のFAST特性記録 $L_{A,F}(t)$ とSLOW特性記録 $L_{A,S}(t)$



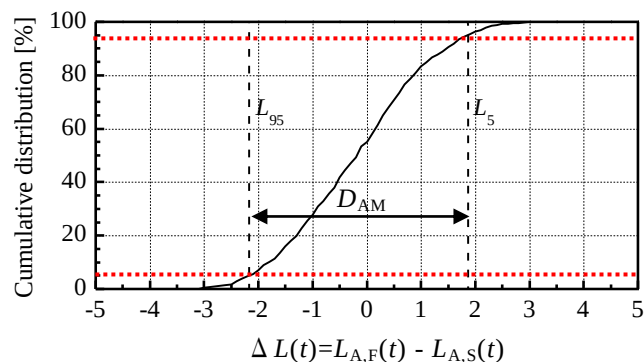
図(2)-15 FAST特性記録とSLOW特性記録のレベル差: $\Delta L(t) = L_{A,F}(t) - L_{A,S}(t)$



図(2)-16 $\Delta L(t)$ の自己相関関数



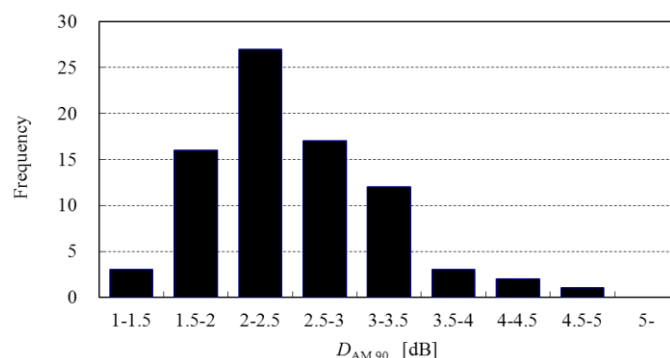
図(2)-17 $\Delta L(t)$ のパワースペクトル



図(2)-18 振幅変調度 D_{AM} の求め方

4) 風車騒音に含まれる振幅変調音の実態

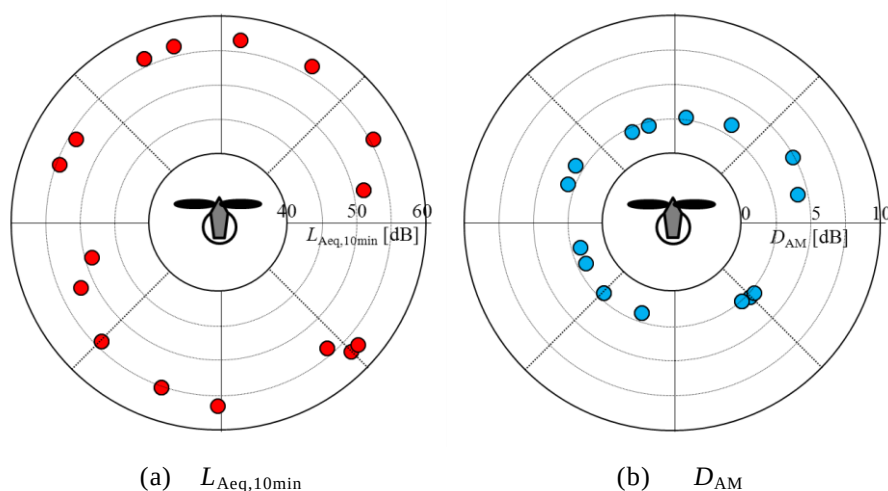
本研究で実施した風力発電施設周辺における風車騒音の実測結果のうち、18の施設周辺における合計81の測定点における音圧記録について、以上に述べた方法によって振幅変調音の振幅変調度 D_{AM} を分析した。その結果をヒストグラムの形で図(2)-19に示す。この結果を見ると、 D_{AM} の範囲は1 dB～5 dB程度で、最頻値は2～2.5 dBのクラス となっている。この分析結果から、風車騒音が聞こえる地域では、ほとんどすべての地点で振幅変調音が感じられているものと思われる。



図(2)-19 18の風力発電施設周辺合計81の測定点における振幅変調音の振幅変調度 D_{AM} の実態

5) 風車騒音の指向性

風車騒音の指向性を調べるために、W26の施設（1,500 kWの風車単機）のタワーを中心とする半径90 mの円周上に測定点を設け、音圧の同時測定を行った。その結果として、10分間等価騒音レベル（ $L_{Aeq,10min}$ ）と3分間で評価した振幅変調度 D_{AM} の分析結果を図(2)-20に示す。この結果を見ると、風車騒音の時間平均的な強さを表す等価騒音レベルは風車の翼の回転軸方向で大きく、それに対して振幅変調度は軸方向から70°程度ずれた方向に大きくなっている。この傾向は文献3の記述とほぼ一致している。



図(2)-20 10分間等価騒音レベルと振幅変調度の指向性の測定結果

(2) 社会反応調査

1) 調査結果の概要

社会反応調査としては、風力発電施設周辺地域については平成22年度に6箇所、平成23年度に15箇所、平成24年度に15箇所です騒音の実測調査とほぼ同時に実施した。また、風力発電施設から遠く、かつ風力発電施設周辺地域と類似した環境で、風車騒音の影響を受けていないと思われる地域（対照地域）を平成23年度、平成24年度にそれぞれ9箇所選び、騒音の実測調査と社会反応調査を実施した。これらの調査実施の概要は表(2)-4、表(2)-5に示すとおりである。

表(2)-4 社会反応調査実施の概要（風力発電施設周辺地域）

ID	調査日	アンケート調査家屋の内訳					アンケート 回答者数
		ビラ配布	訪問	回答	不在	辞退・拒否	
W01	H22.12.22	41	40	19	18	3	22
W02	H23.1.10	53	48	21	24	3	25
W03	H23.2.3-4	46	24	17	7	0	20
W04	H23.3.9-11	45	33	20	10	3	20
W05	H23.11.18	60	43	16	24	3	16
W06	H23.11.18	60	31	18	12	1	18
W07	H23.8.20	87	76	41	28	7	42
W08	H23.10.1	75	60	28	28	4	29
W09	H23.12.3-4	53	53	27	21	5	28
W10	H23.12.10-11	62	62	23	25	14	23
W11	H24.1.9-10	63	50	24	22	4	25
W12	H23.8.24-25	50	50	20	28	2	20
W13	H23.10.15-16	43	37	21	15	1	21
W14	H23.12.11-12	46	43	20	22	1	20
W15	H24.1.14-15	48	38	20	16	2	20
W16	H24.1.22-23	45	40	20	18	2	20
W17	H23.10.1-2	50	61	21	32	8	21
W18	H23.11.7~8	94	61	24	28	9	24
W19	H23.10.10.12-13	80	42	21	19	2	21
W20	H23.10.28~29	86	58	21	34	3	21
W21	H23.10.20-22	95	67	20	32	15	20
W22	H24.8.7-9	13	12	9	1	2	12
W23	H24.8.21-23	50	41	17	21	3	20
W24	H24.10.3-5	15	15	10	3	2	12
W25	H24.10.11-13	55	52	24	25	3	26
W26	H24.11.29-30	0	3	3	0	0	3
W27	H24.9.23-24	48	35	20	13	2	20
W28	H24.10.4-5	46	40	20	18	2	20
W29	H24.10.18-19	50	44	20	21	3	20
W30	H24.11.8-10	47	38	20	16	2	20
W31	H24.12.11-13	70	39	20	15	4	20
W32	H24.9.2-3	80	57	21	34	2	21
W33	H24.9.14-15	60	49	20	27	2	20
W34	H24.9.26-27	50	43	20	21	2	20
W35	H24.10.3-6	20	23	17	6	0	17
W36	H24.11.8-10	70	31	20	10	1	20
合計		1956	1539	723	694	122	747

表(2)-5 社会反応調査実施の概要（対照地域）

ID	調査日	アンケート調査家屋の内訳					アンケート 回答者数
		ビラ配布	訪問	回答	不在	辞退・拒否	
C01	H23.8.24	55	55	20	22	13	20
C02	H23.10.3	55	55	21	27	7	21
C03	H23.12.7	68	68	19	32	17	21
C04	H23.10.17-18	42	42	20	20	2	20
C05	H24.1.15-16	45	45	20	20	5	20
C06	H24.1.24-25	42	38	21	14	3	21
C07	H23.10.2-3	50	59	24	31	4	24
C08	H23.10.13-14	60	45	20	18	7	20
C09	H23.10.29-30	71	53	21	28	4	21
C10	H24.8.5	56	52	20	19	13	21
C11	H24.8.19-20	47	47	20	24	3	20
C12	H24.10.6-7	45	44	20	22	2	23
C13	H24.9.25-26	50	41	20	16	5	20
C14	H24.10.6-8	49	38	20	11	7	20
C15	H24.10.20-21	45	35	20	13	2	20
C16	H24.9.14-15	50	34	21	12	1	21
C17	H24.9.21-22	60	30	20	9	1	20
C18	H24.11.8-10	60	47	20	21	6	20
合計		950	828	367	359	102	373

2) 調査対象地域の特性及び回答者の属性

上表に示すとおり、風力発電施設周辺地域では、訪問住戸数1,539に対して回答数は747で、回収率は49%であった。また、対照地域では、訪問住戸数828に対して回答数は373で、回収率は45%であった。ただし、対照地域C06及びC08では調査の過程で地域の一部で風車の視認性が確認されたため、これらの地域の回答は全体の集計からは除外することとし、332件の回答を解析の対象とした。

これらの調査結果について、まず調査票の間1～間10に対する回答について単純集計を行った結果について以下に述べる。

まず、社会反応調査を実施した地域と回答者の属性について、風力発電施設周辺地域（以下、風車地域と呼ぶ）と対照地域を比較して図(2)-21～図(2)-32に示す。これらの結果から、以下のことが分かる。

- 地域類型に関しては、風車地域と対照地域はきわめてよく類似しており、農林水産系と住居系が約50%となっている（図(2)-21）。
- 住宅建物の種類も両地域で類似しており、戸建住宅が約8割となっている（図(2)-22）。
- 住宅建物の構造も両地域で類似しており、木質系が約90%を占めている（図(2)-23）。また、建物の遮音性能に大きな影響を与える窓（開口部）に関しては両地域ともにアルミ一重サッシが70～75%となっている。アルミ二重サッシは風車地域で若干多いが、有意な差とは言えない（図(2)-24）。
- 築年数に関しても両地区でよく似ており、20年以上の家屋が約6割を占めている（図(2)-25）。

また所有形態も、両地区とも9割以上が持家である（図(2)-26）。

- e. 回答者の性別については、風車地域では男女ほぼ半数ずつであったが、対照地域では約6割が女性であった（図(2)-27）。その年代は両地域でよく似ており、50歳台から70歳以上の高齢者が圧倒的に多かった（図(2)-28）。
- f. 回答者の職業の種類構成も両地域できわめてよく似ており、無職と農林水産業従事者が半数以上を占めている（図(2)-29）。
- g. 「音を気にするほうか」という問10(6)に対する回答も両地域で特段の差は見られず、「気にしない」という回答が比較的多くなっている（図(2)-31）。
- h. 環境問題への関心を尋ねた問10(7)に対しては、関心を持っているという回答が風車地域の方が対照地域に比べて若干大きめとなっているが、その差は小さい（図(2)-32）。

以上に述べたとおり、地域の特性、回答者の属性のすべてにわたって、風車地域と対照地域はきわめて類似した特性となっていると言える。

3）生活環境に対する満足度及び環境騒音に対する意識

生活環境に係る広範な項目に対する満足度や環境騒音に対する意識について、風車地域と対照地域を比較しながら検討した。その結果は以下に述べるとおりである。

- a. 買物の便、交通の便、緑の豊かさ、空気のきれいさ、静けさ、公共施設を内容とした生活環境に対する満足度を尋ねた問2に対する回答（図(2)-33）を見ると、風車地域では対照地域に比べて静けさに対する満足度が若干小さくなっているが、その他の項目についてはよく似た傾向となっている。
- b. 悩まされたりうるさいと感じたことがある音に関する質問（問3）に対する回答（図(2)-34）を見ると、風力発電施設の音に対する反応が風車地域で画然と大きくなっており、これは当然のことと考えられる。その他の種類に対する回答の傾向は両地域でよく似ており、道路の自動車の音、それに次いで飛行機の音に対する反応が高くなっている。
- c. 問3で示した種々の騒音の中で、最も悩まされている音を尋ねた問4に対する回答（図(2)-35）では、風車地域の方が対照地域よりも全体として指摘の割合が多く、その中で風力発電施設の音が最大（16%）となっている。
- d. 一般的な睡眠に関する質問（問9(1)）に対する回答（図(2)-36）では、「睡眠で困ることがある」という回答が風車地域の方で対照地域よりも若干高めとなっている。

4）風力発電施設周辺地域における反応の分析- 1

つぎに、風車地域におけるアンケート調査の結果を詳細に分析した結果について述べる。

- a. 問4で何らかの音を「最も悩まされている音」として挙げた回答は、全回答数747のうち197件であった。その内訳（図(2)-37）を見ると、60%（119件）が風力発電施設の音を挙げている。それに次いで、22%が道路の自動車の音となっている。
- b. 問4に対する回答のうち、風力発電施設の音以外の音を挙げた回答（78件、以下、「風車騒音

以外グループ」と呼ぶ)と風力発電施設の音を挙げた回答(119件、以下、「風車騒音グループ」と呼ぶ)の別に、検討を行った。まず、生活環境の満足度(問2)に対する回答(図(2)-38)を見ると、「風車騒音グループ」の回答で「静けさ」に対する不満の程度が「風車騒音以外グループ」よりも大きくなっている。その他の項目については、両グループ間で大きな差は見られない。

- c. 問3の「悩まされたりうるさいと感じとことがある音」に対する回答を(図(2)-39)を見ると、「風車騒音グループ」で風力発電施設の音に対して「非常にある」という強い反応が見られる。「風車騒音以外グループ」でも、「だいぶある」、「多少ある」を含めれば風車騒音に対する反応は道路の自動車の音に次いで高くなっている。
- d. 騒音によって迷惑を受ける時間帯に関する問6に対する回答(図(2)-40)を見ると、「風車騒音以外グループ」では特に指摘が多い時間帯はないが、「風車騒音グループ」では夜間、深夜を指摘する割合が大きい。
- e. 騒音によって迷惑を受ける季節に関する問7に対する回答(図(2)-41)を見ると、両グループともに特段指摘が高い季節は見られない。
- f. 「最も悩まされている音」として挙げた騒音によって迷惑を受けたときの対処について問うた問8に対する回答(図(2)-42)を見ると、ほとんどすべての対処方法に関して「風車騒音グループ」では「実際にそうしたことがある」及び「そうしたいと思っている」という回答が高くなっている。
- g. 睡眠影響の原因に関する質問(問9(3))に対する回答(図(2)-45)では、「最も悩まされている音」として挙げた騒音によると思うと答えた割合は、「風車騒音以外グループ」では59%であるが、「風車騒音グループ」では87%となっており、風車騒音によって睡眠に影響を受けていると思っている割合が圧倒的に高い結果となっている。
- h. 「風車騒音以外グループ」と「風車騒音グループ」の回答者の属性を比較した結果を図(2)-46～図(2)-48に示すが、両グループで顕著な差は見られない。一方、「音を気にするほうか」という問10(6)に対する回答(図(2)-49)では、「風車騒音グループ」の方が「風車騒音以外グループ」よりも「気にする」という回答が多くなっている。
- i. 「環境問題への関心」に関する質問(問10(7))に対する回答(図(2)-50)では、「関心をもっている」という回答の割合が「風車騒音グループ」で高くなっている。
- j. 「自然エネルギーを利用する風力発電は、よい方法か」という問10(8)に対する回答(図(2)-51)を見ると、「風車騒音以外グループ」では85%が「よい方法と思う」と答えているのに対して、「風車騒音グループ」では若干その割合が小さくなっている。それでも、「よい方法と思う」との回答は66%となっている。
- k. 「風力発電施設の音が聞こえるか」という問10(9)に対する回答(図(2)-52)を見ると、「風車騒音グループ」では「聞こえる」という回答が100%となっており、これは当然と考えられる。一方、「風車騒音以外グループ」でも「聞こえる」という回答は68%になっており、聞こえても「最も悩まされる騒音」が他にあるとしている。
- l. 「風力発電施設の稼働によって家具や建具が振動することがあるか」という問10(10)に対する回答(図(2)-53)を見ると、「ある」と答えているのは「風車騒音グループ」では18%であるが、「風車騒音以外グループ」では1%となっている。

- m. 「風力発電施設が見えるか」という問10(11)に対する回答（図(2)-54）では、両グループともに90%以上が「見える」と答えている。
- n. 「風力発電施設の景観上の問題」に関する問10(12)に対する回答（図(2)-55）を見ると、「風車騒音グループ」では39%が「景観の邪魔になる」と答えているのに対して、「風車騒音以外グループ」ではその割合は8%と小さくなっている。
- o. 「風車の回る影がうつるか」という問10(13)に対する回答（図(2)-56）では、両グループともに「映らない」という回答が多いが、「風車騒音グループ」では「家の中までうつる」、「庭にうつる」という回答の割合が若干多くなっている。
- p. 「風力発電施設があることによって、よいことがあるか」という問10(14)に対する回答（図(2)-57）では、両グループともに「ない」という回答が圧倒的に多い。

5) 風力発電施設周辺地域における反応の分析-2

つぎに「最も悩まされている音」に関する問4に対して「風力発電施設の音」を挙げた119件の回答について、物理量として風車からの距離と風車の稼働による騒音レベルとの関係を調べてみた。

ここで、風車からの距離については地図情報から水平距離を求めたが、複数の風車から成る施設（ウインドファーム）については、アンケート調査の対象とした家屋から最近接風車までの水平距離とした。また、風車稼働時の騒音レベルとしては、アンケート調査を行った家屋のすべてについて騒音データが得られているわけではないので、それを推定する必要がある。そこで、（1）の1）で述べたとおり、風力発電施設ごとに実測されたデータをもとに、最近接風車からの距離の関数として式(1)によって距離減衰特性に関する回帰式を求めた。

これによって得られた回帰係数を用いて、アンケート調査の対象とした家屋の最近接風車からの距離 ℓ_{ik} ごとに騒音レベルの推計値 $L_{ik,estm}$ （ i ：調査対照地域の番号、 $k = 1 \sim M$ ： M はアンケート数）を求めた。

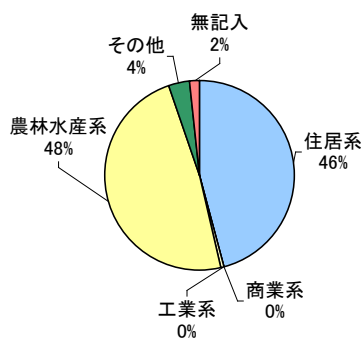
$$L_{ik,estm} = A_i \log_{10} \ell_{ik} + B_i \quad (4)$$

なお、W08 M02の家屋については推計値は用いず、実測値を用いた。

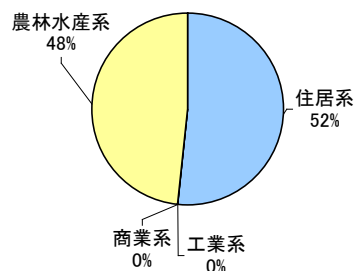
これらの物理量による解析結果は、以下に述べるとおりである。

- a. 風車からの距離で整理した結果を図(2)-58に示す。図中の棒グラフでは反応の段階を区別している。その中で、風車騒音に対する強反応として問3の「悩まされたりうるさいと感じたことがある」に対する回答が「非常にある」、「非常ある」+「だいたいある」の回答について、回答全体に対する割合をそれぞれ図中の△および○で示す。これを見ると、「非常にある」の反応の割合は、最近接風車からの距離が近いほど大きくなっている。一方、「非常にある」+「だいたいある」の反応の割合で見ると、明確な傾向は見られず、60～70%となっている。
- b. つぎに、風車稼働時の等価騒音レベルで整理した結果を図(2)-59に示す。この図でも棒グラフは反応の段階を区別している。その中で、風車騒音に対する強反応として問3の「悩まされたりうるさいと感じたことがある」に対する回答が「非常にある」、「非常ある」+「だいたいある」の回答について、回答全体に対する割合をそれぞれ図中の（△）および（○）で示す。これを見ると、「非常にある」及び「非常にある」+「だいたいある」の反応の割合は、レベルが

[31-35]のクラスから[41-45]のクラスにかけて等価騒音レベル大きくなるほど大きくなる傾向が見られる。諸外国の調査の結果では、風車に対する反応は騒音レベルだけでなく視認性、風力発電に対する意見なども大きく影響するとされており、今後これらの要因も含めた多元的な解析を行う。

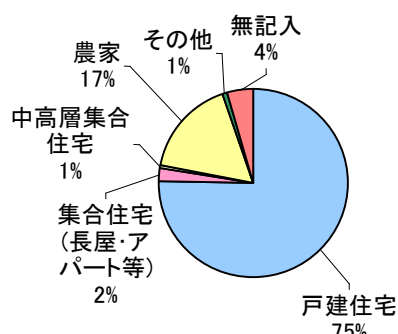


(a)風車周辺地域（747件）

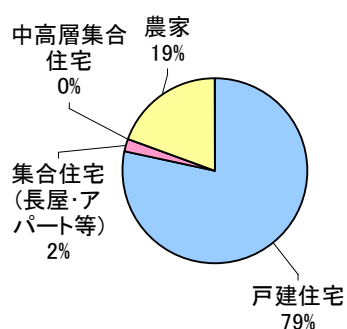


(b)対照地域（332件）

図(2)-21 調査対象の地域類型

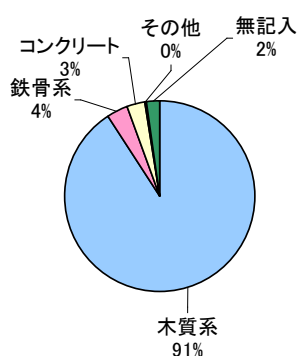


(a)風車周辺地域（747件）

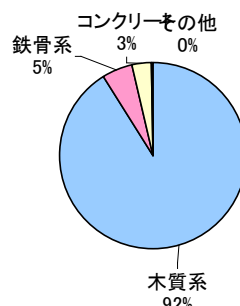


(b)対照地域（332件）

図(2)-22 回答者が居住する建物の種類

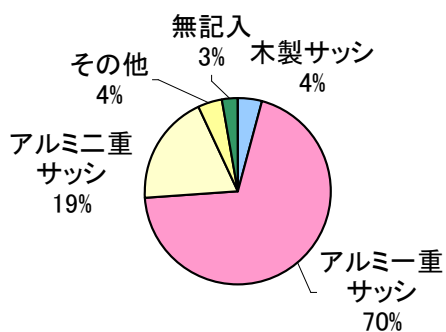


(a)風車周辺地域（747件）

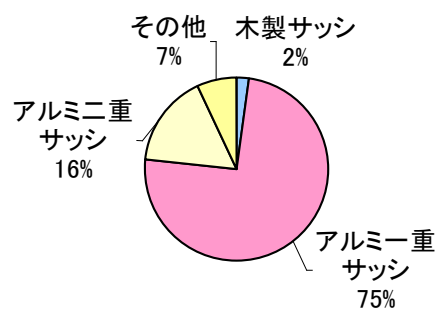


(b)対照地域（332件）

図(2)-23 回答者が居住する建物の構造

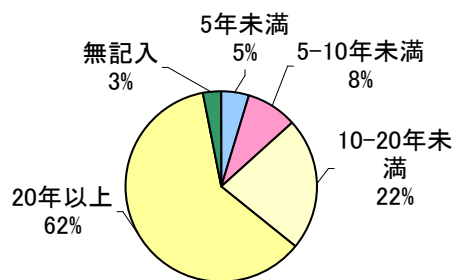


(a)風車周辺地域（747件）

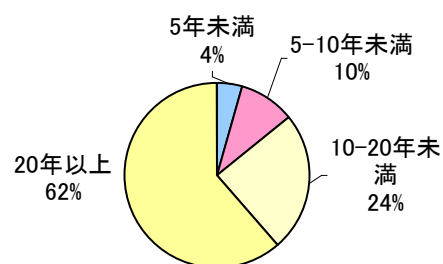


(b)対照地域（332件）

図(2)-24 回答者が居住する建物の窓構造

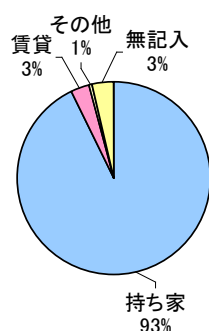


(a)風車周辺地域（747件）

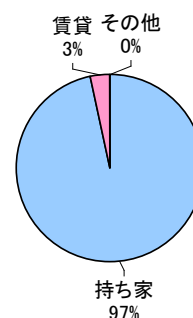


(b)対照地域（332件）

図(2)-25 回答者が居住する建物の築年数

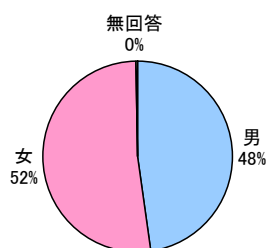


(a)風車周辺地域（747件）

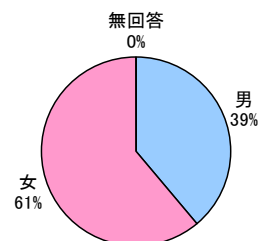


(b)対照地域（332件）

図(2)-26 回答者が居住する建物の所有区分

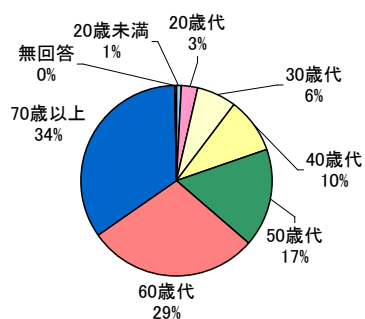


(a)風車周辺地域（747件）

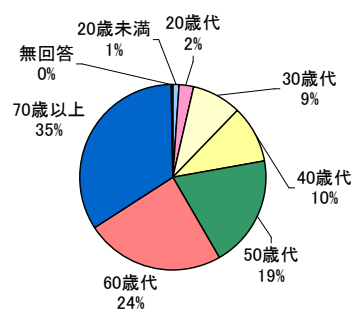


(b)対照地域（332件）

図(2)-27 回答者の性別（問10(1)）

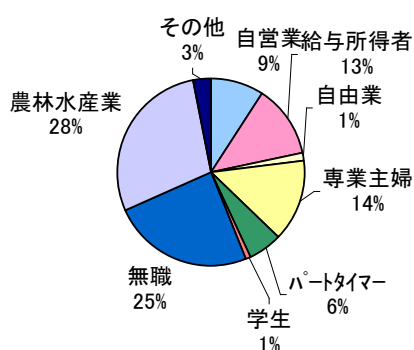


(a)風車周辺地域（747件）

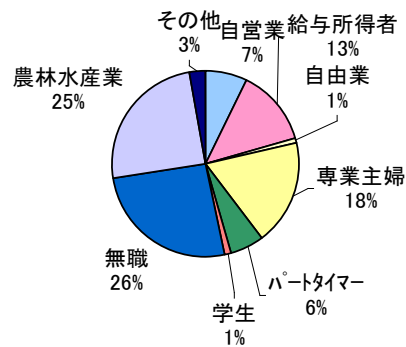


(b)対照地域（332件）

図(2)-28 回答者の年齢（問10(2)）

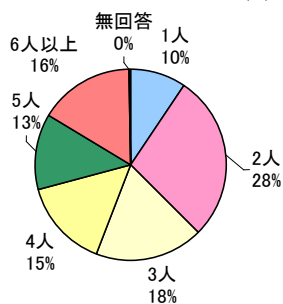


(a)風車周辺地域 (747件)

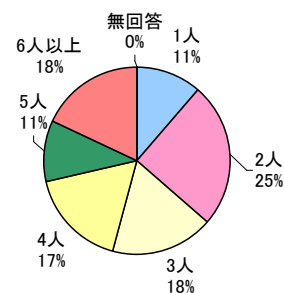


(b)対照地域 (332件)

図(2)-29 回答者の職業 (問10(3))

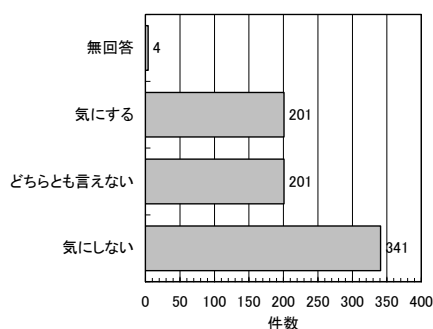


(a)風車周辺地域 (747件)

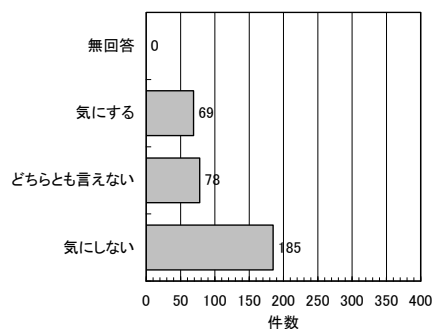


(b)対照地域 (332件)

図(2)-30 回答者の家族の人数 (問10(4))

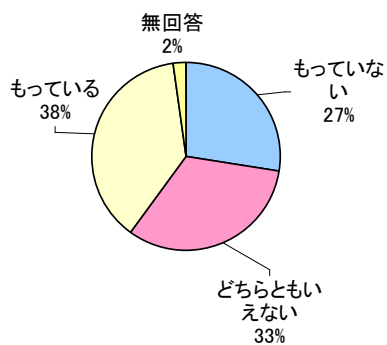


(a)風車周辺地域 (747件)

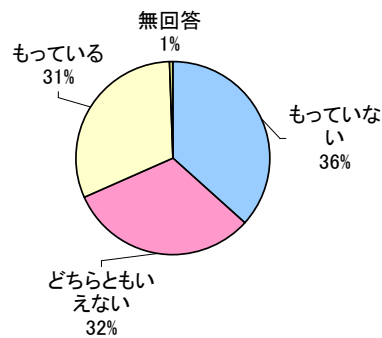


(b)対照地域 (332件)

図(2)-31 「音を気にするほうか」 (問10(6))

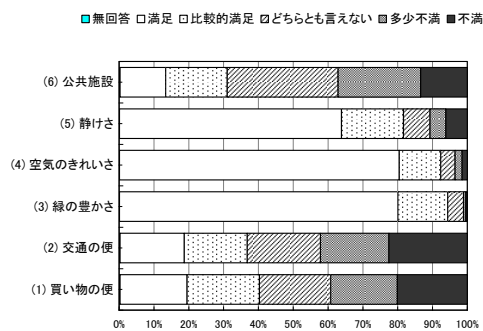


(a)風車周辺地域 (747件)

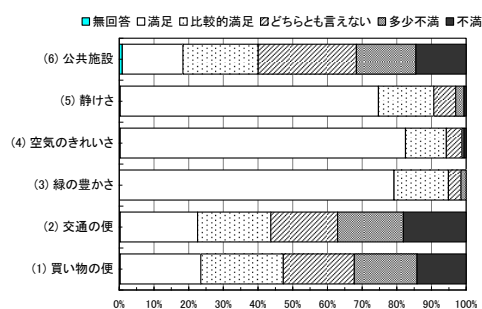


(b)対照地域 (332件)

図(2)-32 「環境問題への関心」 (問10(7))

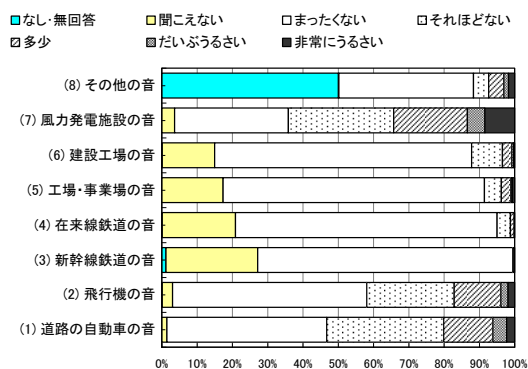


(a)風車周辺地域（747件）

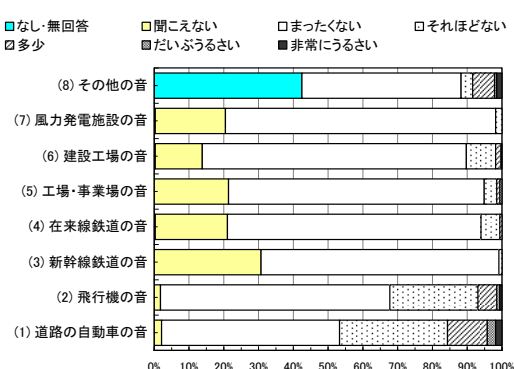


(b)対照地域（332件）

図(2)-33 生活環境の満足度（問2）

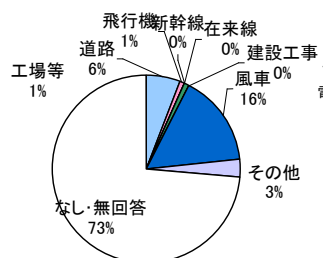


(a)風車周辺地域（747件）

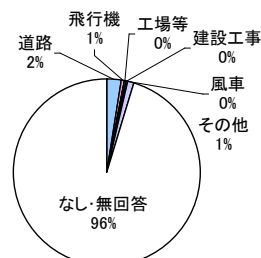


(b)対照地域（332件）

図(2)-34 悩まされたりうるさいと感じたことがある音（問3）

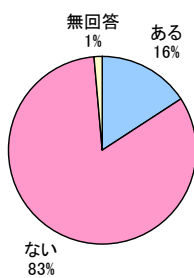


(a)風車周辺地域（747件）

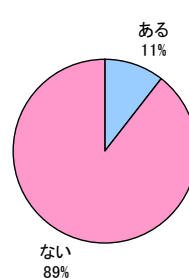


(b)対照地域（332件）

図(2)-35 最も悩まされている音（問4）

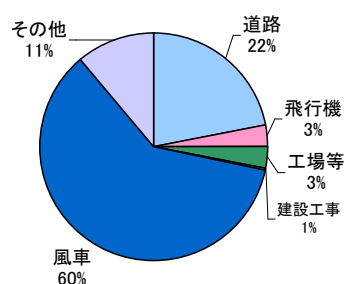


(a)風車周辺地域（747件）

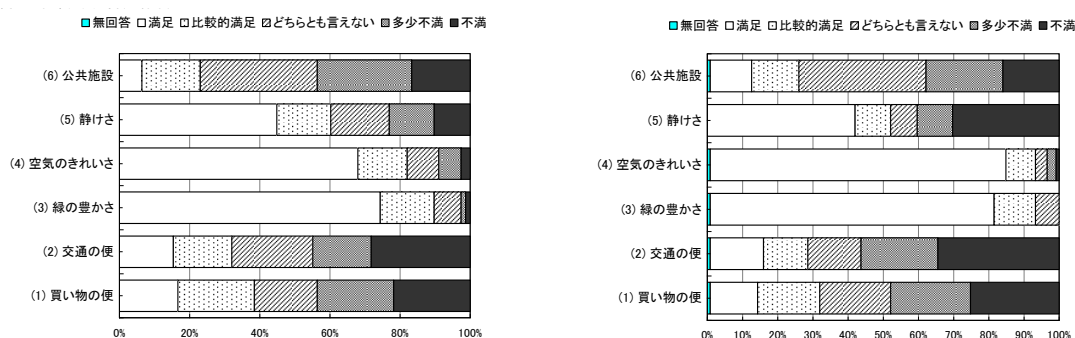


(b)対照地域（332件）

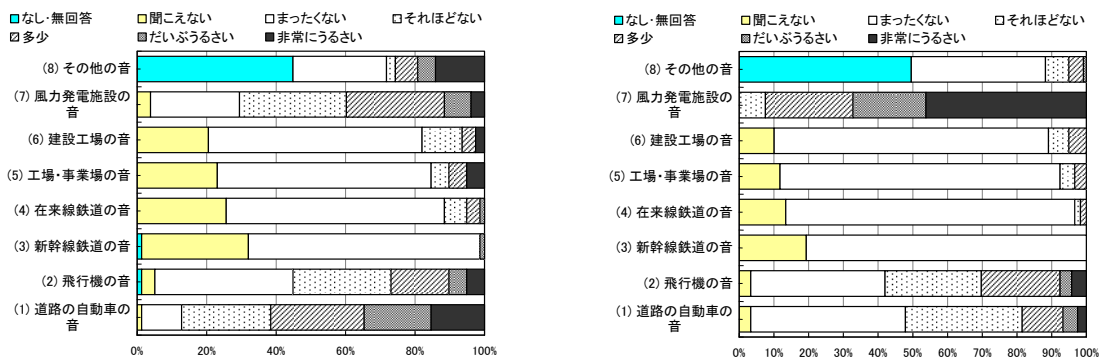
図(2)-36 睡眠で困っていることがあるか（問9(1)）



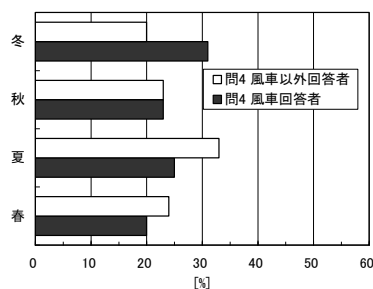
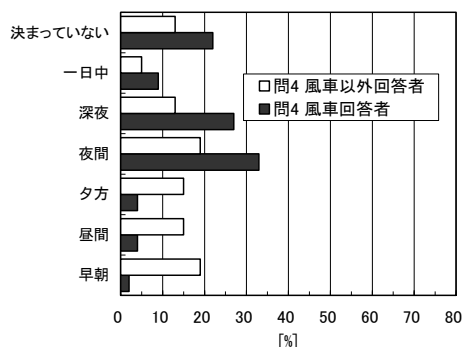
図(2)-37 問4で「最も悩まされている音」を挙げた回答（197件/全回答747件）の内訳
（風車騒音を指摘した回答数は119件で全体の60%）



(a)風車騒音以外を挙げた回答（78件） (b)風車騒音を挙げた回答（119件）
図(2)-38 生活環境の満足度（問2）

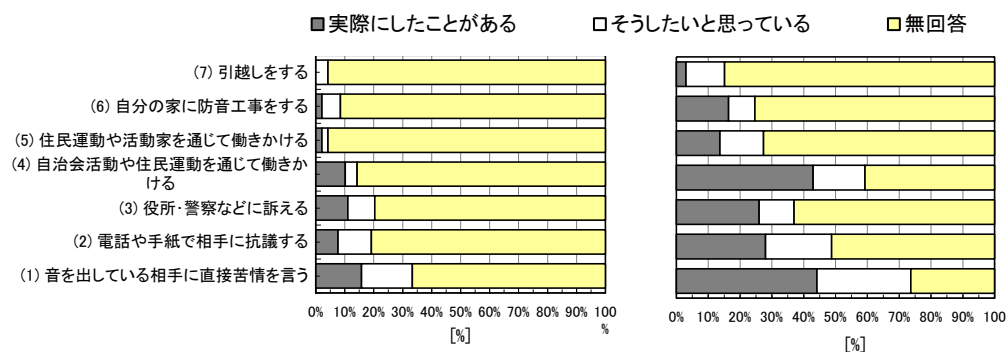


(a)風車騒音以外を挙げた回答（78件） (b)風車騒音を挙げた回答（119件）
図(2)-39 悩まされたりうるさいと感じたことがある音（問3）



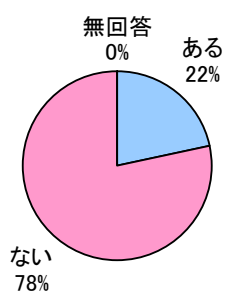
図(2)-40 迷惑を受ける時間帯（問6）

図(2)-41 迷惑を受ける季節（問7）

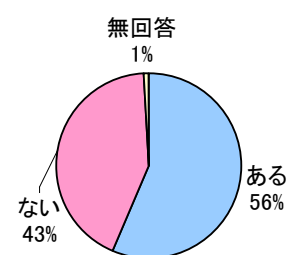


(a)風車騒音以外を挙げた回答 (78件) (b)風車騒音を挙げた回答 (119件)

図(2)-42 迷惑を受けたときの対応 (問8)

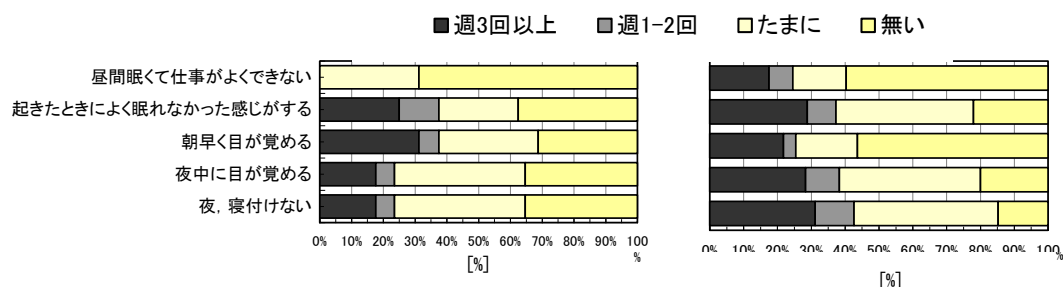


(a)風車騒音以外を挙げた回答 (78件)



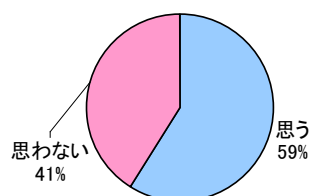
(b)風車騒音を挙げた回答 (119件)

図(2)-43 睡眠の悩み (問9(1))

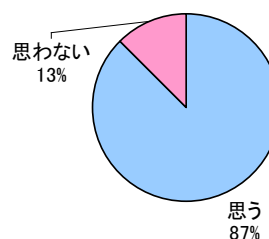


(a)風車騒音以外を挙げた回答 (78件) (b)風車騒音を挙げた回答 (119件)

図(2)-44 睡眠影響の状況 (問9(2))

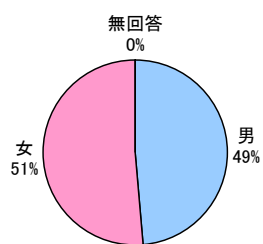


(a)風車騒音以外を挙げた回答 (78件)



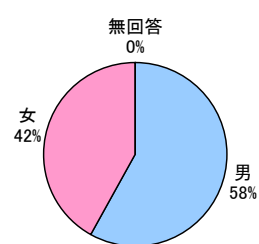
(b)風車騒音を挙げた回答 (119件)

図(2)-45 悩まされている音が睡眠の悩みの原因か (問9(3))

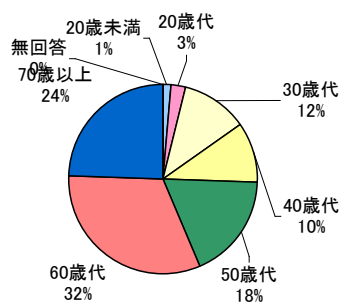


(a)風車騒音以外を挙げた回答 (78件)

図(2)-46 回答者の性別 (問10(1))

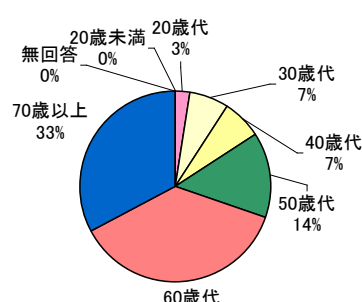


(b)風車騒音を挙げた回答 (119件)

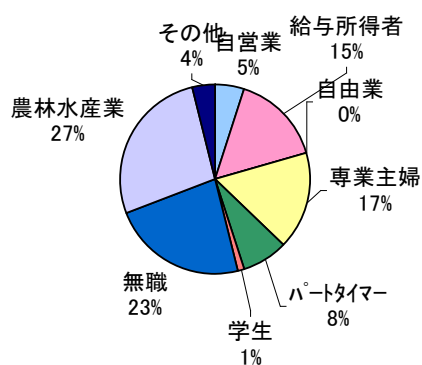


(a)風車騒音以外を挙げた回答 (78件)

図(2)-47 回答者の年齢 (問10(2))

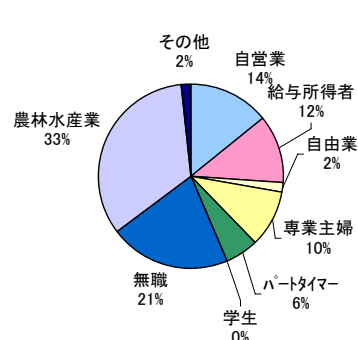


(b)風車騒音を挙げた回答 (119件)

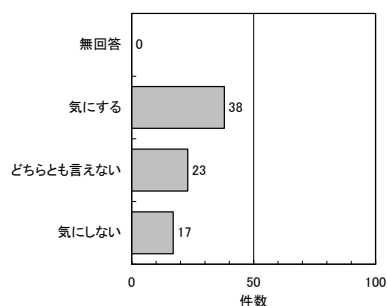


(a)風車騒音以外を挙げた回答 (78件)

図(2)-48 回答者の職業 (問10(3))

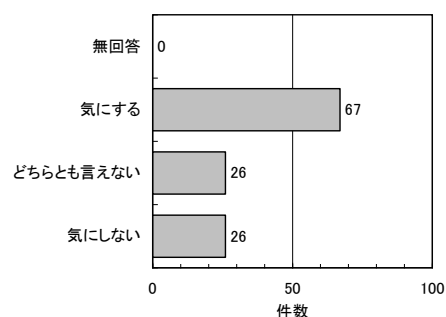


(b)風車騒音を挙げた回答 (119件)

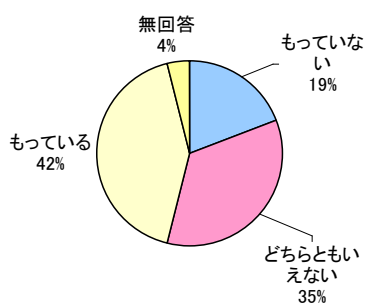


(a)風車騒音以外を挙げた回答 (78件)

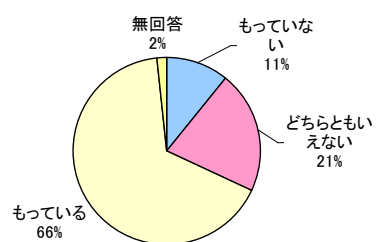
図(2)-49 「音を気にするほうか」 (問10(6))



(b)風車騒音を挙げた回答 (119件)

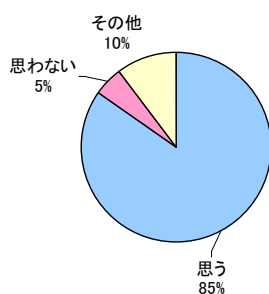


(a)風車騒音以外を挙げた回答 (78件)

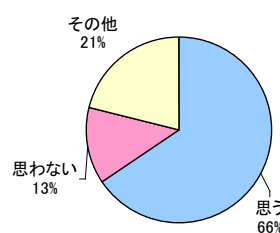


(b)風車騒音を挙げた回答 (119件)

図(2)-50 「環境問題への関心」 (問10(7))

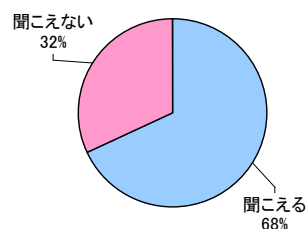


(a)風車騒音以外を挙げた回答 (78件)

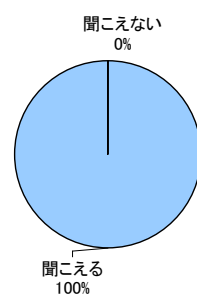


(b)風車騒音を挙げた回答 (119件)

図(2)-51 「風力発電はよい方法か」 (問10(8))

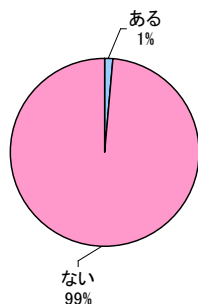


(a)風車騒音以外を挙げた回答 (78件)

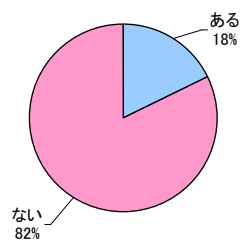


(b)風車騒音を挙げた回答 (119件)

図(2)-52 「風力発電施設の音は聞こえるか」 (問10(9))

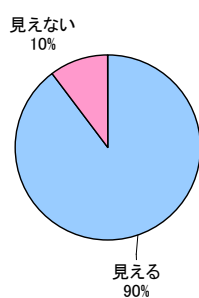


(a)風車騒音以外を挙げた回答 (78件)

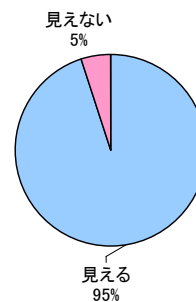


(b)風車騒音を挙げた回答 (119件)

図(2)-53 風力発電施設の稼働によって家具や建具が振動することがあるか (問10(10))

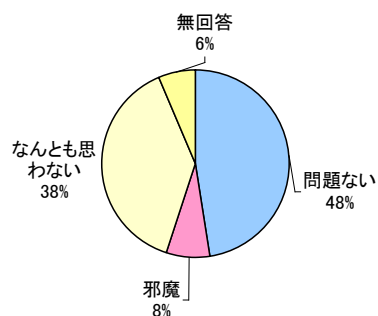


(a)風車騒音以外を挙げた回答（78件）

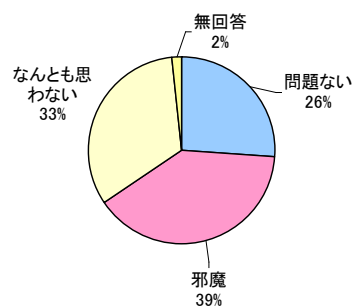


(b)風車騒音を挙げた回答（119件）

図(2)-54 風力発電施設が見えるか（問10(11)）

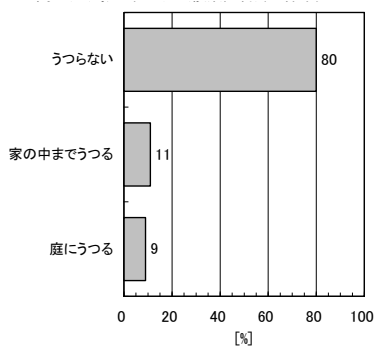


(a)風車騒音以外を挙げた回答（78件）

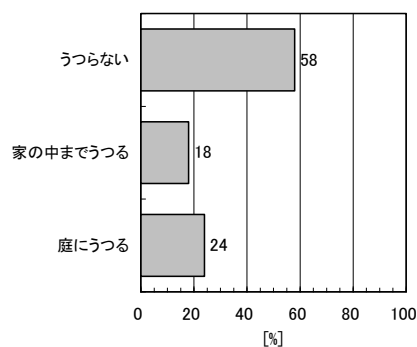


(b)風車騒音を挙げた回答（119件）

図(2)-55 風力発電施設の景観上の印象（問10(12)）

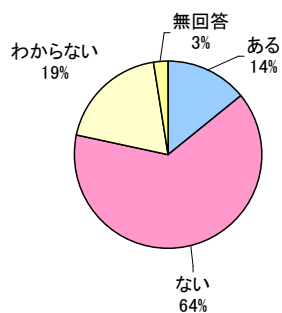


(a)風車騒音以外を挙げた回答（78件）

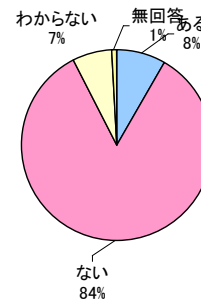


(b)風車騒音を挙げた回答（119件）

図(2)-56 風車の回る影がうつるか（問10(13)）（複数回答可）

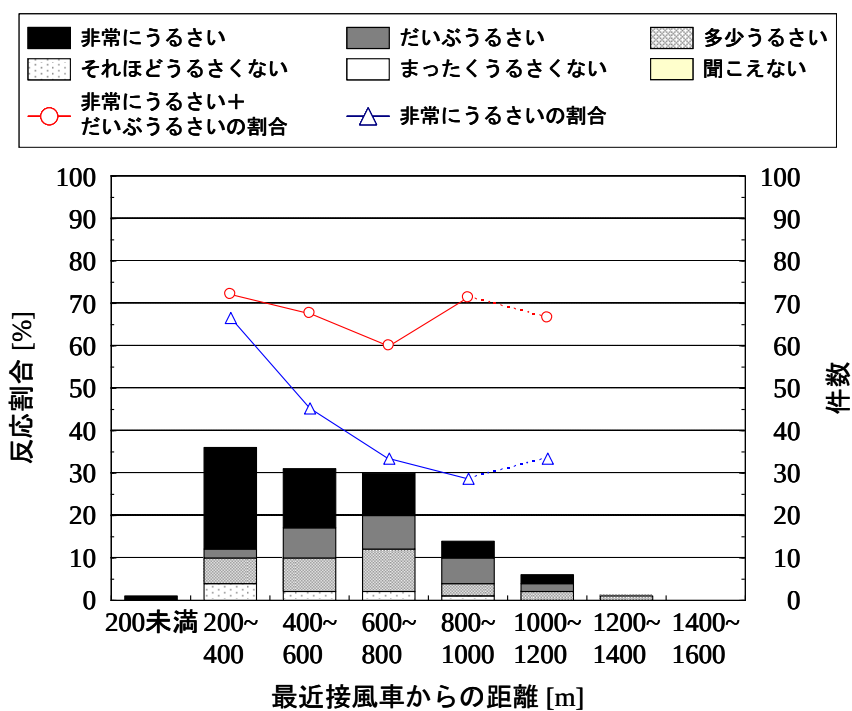


(a)風車騒音以外を挙げた回答（78件）

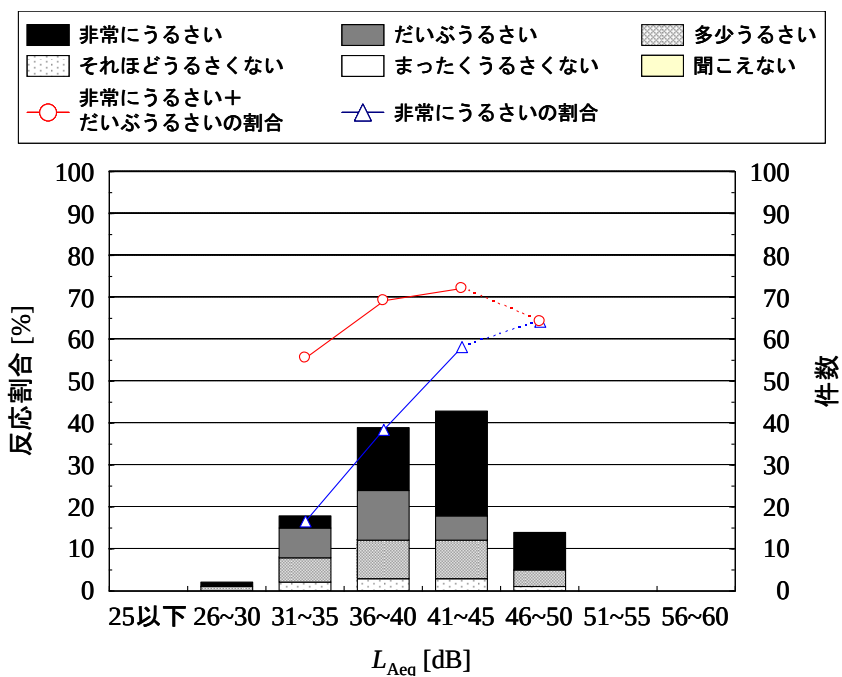


(b)風車騒音を挙げた回答（119件）

図(2)-57 風力発電施設があることによって、よいことがあるか（問10(14)）



図(2)-58 最近接風車からの距離と「うるささ」反応の関係



図(2)-59 等価騒音レベルと「うるささ」反応の関係

6) うるささ反応に関する多重ロジスティック解析

本研究におけるアンケート調査の中で最も重要な質問の一つは、風車騒音のうるささに関する設問（問3の7）である。自己申告による①騒音に対する敏感さ（問10の6）あるいは②環境問題への関心（問10の7）、③風力発電施設に対する態度（問10（8））、④風車の景観上の問題（問10（12））、⑤風力発電施設があることによるメリット（問10（14））などの修飾要因を⑥騒音暴露量、⑦回答者の住居から最近接風車までの距離とともに用いて、以下に述べる多変量解析を行った。

前述の方法で推定した回答者ごとの風車騒音の暴露レベル（主として夜間の等価騒音レベル $L_{Aeq,n}$ ）でクラス分けし、その回答数を調べた。また、それぞれのクラスごとに、問3の中で風車騒音に対して「非常にうるさい」、「非常にうるさい+だいぶうるさい」、「非常にうるさい+だいぶうるさい+多少うるさい」と回答した割合を求めた。その結果を表(2)-6に示す。

表(2)-6 騒音暴露量とうるささの訴え率

$L_{Aeq,n}$ (dB)	回答数	「%非常にうるさい」	「%非常に+だいぶうるさい」	「%非常に+だいぶ+多少うるさい」
-30	30	10.0	10.0	26.7
31-35	114	2.6	9.7	31.6
36-40	247	6.5	12.6	36.0
41-45	207	14.0	19.8	38.7
45+	53	18.9	22.6	50.9

表(2)-6から、31～35 dBの範囲で「%非常にうるさい」が最小であるので、この値を基準カテゴリーとした。（30 dB以下の場合に訴え率が高くなっているが、サンプル数が30と小さいために偶然の結果という可能性が考えられる。）

「%非常に+だいぶうるさい」と「%非常に+だいぶ+多少うるさい」の場合には、30 dB以下と31-35 dBの範囲の訴え率はほぼ同じ、あるいは30 dB以下が最小であったため、30 dB以下の範囲を基準カテゴリーとした。

まず、性別、年齢、 $L_{Aeq,n}$ に関して粗オッズ比を計算したところ、性別と年齢に関しては有意ではなかった（95%信頼区間の下限が1以下）。一方、 $L_{Aeq,n}$ の粗オッズ比は40 dB以下では有意ではなかったが、41 dB以上では有意であった。

つぎに、「非常にうるさいかどうか」を従属変数、 $L_{Aeq,n}$ 、性別、年齢を独立変数として多重ロジスティック解析を行った。「非常に+だいぶうるさい」と「非常に+だいぶ+多少うるさい」に関しても同様の分析を行った。「%非常にうるさい」、「%非常に+だいぶうるさい」、「%非常に+だいぶ+多少うるさい」に関する調整オッズ比は図(2)-60に示すとおりである。 $L_{Aeq,n}$ が41dB以上の時、性別・年齢調整オッズ比は(a)のように有意に高い（95%信頼区間の下限は1以上）。同図の(b)、(c)に示すように $L_{Aeq,n}$ が増加すると調整オッズ比も増加するが、それらは有意ではない（95%信頼区間の下限は1以下）。

また、環境問題への関心および風力発電施設に対する態度、風力発電施設があることによるメリット、風車の景観上の問題、自己申告による音に対する自覚的な感受性が風車騒音に対するう

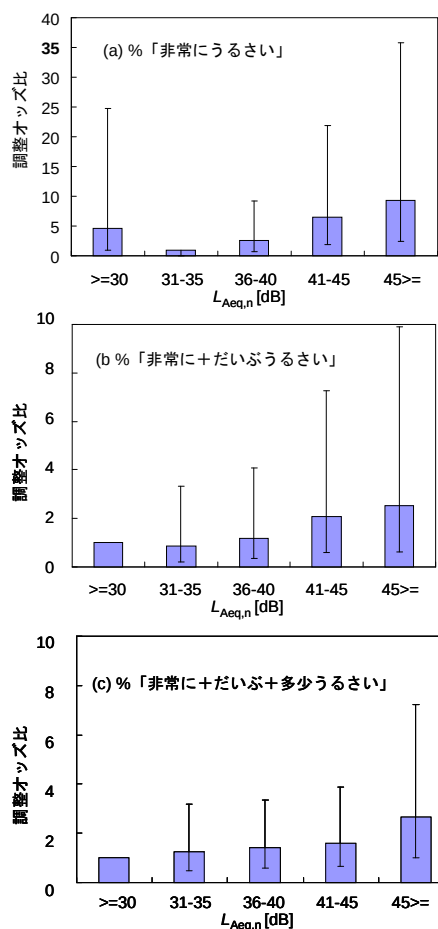
るさを修飾するかどうかを検討した。これら5つの修飾要因と「%非常にうるさい」との関連をFisherの直接確率法によって検定し、 $L_{Aeq,n}$ と「%非常にうるさい」との関連が修飾要因によって層別化されたときにその関連に線形傾向があるかどうかをMantel-Haenszelの χ^2 (χ^2_{MH})によって検定した。

表(2)-7に示すように、環境問題に関心を持っている人、風力発電施設を良い方法と思わない人、風車によって景観が邪魔されていると感じている人、音に敏感であると思っている人は、それ以外の人よりも「%非常にうるさい」が高かった。これらの要因で層別化した場合、環境問題に関心が低い人、風力発電は良い方法だと思わない人、風力発電でメリットがある人、または景観の邪魔になると答えた人では、 $L_{Aeq,n}$ と「%非常にうるさい」との関連が有意ではなかった。しかし、どのサブグループにおいても、 $L_{Aeq,n}$ と「%非常にうるさい」との関連はある程度一貫しており、 $L_{Aeq,n}$ とその他の修飾要因は互いに独立して「%非常にうるさい」と関連しているものと考えられる。

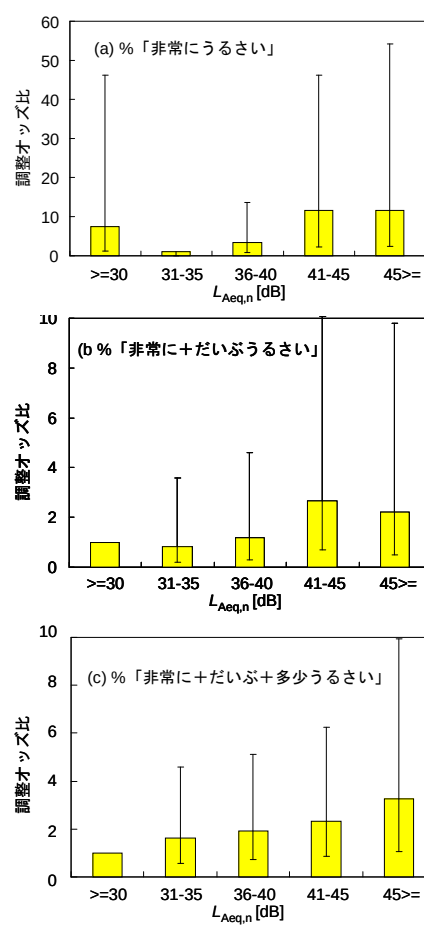
表(2)-7で「%非常にうるさい」と有意に関連していた4つの修飾要因（環境問題への関心および風力発電施設に対する態度、風車の景観上の問題、自己申告による音に対する自覚的な感受性）と $L_{Aeq,n}$ を独立変数として同時に用いて多重ロジスティック解析を行った。その調整オッズ比を図(2)-61 (a)に示す。風力発電施設に対する態度は「%非常にうるさい」と有意な関連は見られず、 $L_{Aeq,n}$ 、環境問題への関心、景観上の問題、騒音に対する敏感さが独立して「%非常にうるさい」と関連していた。図(2)-60 (a)と同様に $L_{Aeq,n}$ が41dB以上の場合に調整オッズ比は有意に高かった。また、この解析で $L_{Aeq,n}$ をそのまま連続量として用いた場合には、 $L_{Aeq,n}$ が5dB増加すると、調整オッズ比（95%信頼区間）は1.82(1.22-2.71)であった。

以上と同様の分析を「%非常に+だいたいうるさい」、「%非常に+だいたい+多少うるさい」に關しても行った。独立変数として「%非常に+だいたいうるさい」、「%非常に+だいたい+多少うるさい」と有意に関連している5つの修飾要因と $L_{Aeq,n}$ を同時に用いて、多重ロジスティック解析を行った。その調整オッズ比を図(2)-61 (b)、(c)に示す。「%非常にうるさい」の場合と同様に、 $L_{Aeq,n}$ 、環境問題への関心、景観上の問題、騒音に対する敏感さが独立して「%非常に+だいたいうるさい」、「%非常に+だいたい+多少うるさい」と関連していた。「%非常にうるさい」の場合と同様に $L_{Aeq,n}$ をそのまま連続量として用いた場合には、 $L_{Aeq,n}$ が5dB増加すると、調整オッズ比

（95%信頼区間）は「%非常に+だいたいうるさい」では1.52(1.09-2.13)、「%非常に+だいたい+多少うるさい」では1.18(0.95-1.48)であり、前者では有意な関連が見られた。図(2)-60 (a)、図(2)-61 (a)を図(2)-60 (b)、図(2)-60 (c)、図(2)-61 (b)、図(2)-61 (c)と比較すると、厳しいうるささに限って集計する方が低いうるささまで考慮して集計するよりも $L_{Aeq,n}$ との関係が大きくなることが分かる。



図(2)-60 性別・年齢調整オッズ比



図(2)-61 修飾要因調整オッズ比

表(2)-7 サブグループ別の等価騒音レベル $L_{Aeq,n}$ と「%非常にうるさい」との関連

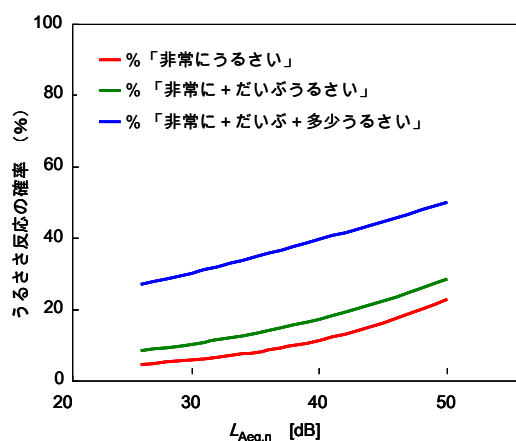
要因	カテゴリー	訴え率(%)	$L_{Aeq,n}$ との関連 (χ^2_{MH})
環境問題への関心	ない/どちらともいえない	2.5	2.53(NS)
	ある	18.4	9.67***
(Fisherの直接検定)			
風力発電はよい方法か	そう思う	5.9	9.23**
	思わない	14.6	3.61(NS)
(Fisherの直接検定)			
風力発電によってよいことがあるか	ある	4.9	0.36(NS)
	ない/わからない	10.0	12.15***
(Fisherの直接検定)			
景観の邪魔になるか	ならない	5.1	13.60***
	なる	37.2	2.21(NS)
(Fisherの直接検定)			
音を気にするほうか	気にしない/どちらともいえない	2.5	5.41*
	気にする	15.9	26.04***
(Fisherの直接検定)			

以上のような詳細な分析とは別に、暴露－反応関係は風車騒音の問題を考える上で非常に重要である。ここでは「 $L_{Aeq,n}$ －うるささ」、あるいは「距離－うるささ」の関係をロジスティック関

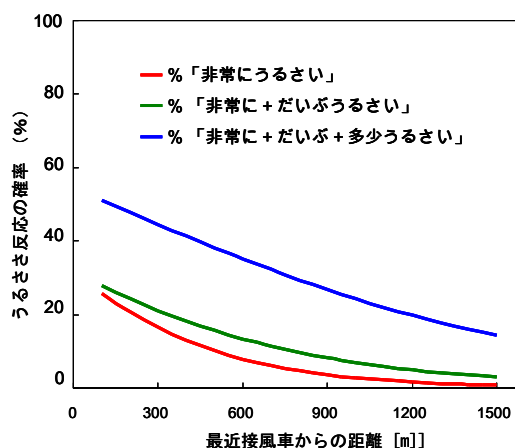
数として求めてみた。その結果を図(2)-62、図(2)-63に示す。

まず、 $L_{Aeq,n}$ を変数とした場合についてみると、 $L_{Aeq,n}$ が26から50 dBまで増加すると「%非常にうるさい」、「%非常に+だいたいうるさい」、「%非常に+だいたい+多少うるさい」はそれぞれ3～21、6～27、25～48%の範囲で変化している。この暴露－反応曲線の傾向は、スウェーデンやオランダで得られた結果⁴⁾と良く一致している。すなわち、両国での調査では暴露側の騒音レベルが30-35 dBで%very annoyed (両調査では4段階のうるささ尺度が使われ、veryは最上位のカテゴリー)は2-3%、40-45 dBでは18-19%となっている。

つぎに風車からの距離について着目すると、今回の調査では回答者の住居は最近接風車から90～1,466 m離れていた。図(2)-4に示すように90～1,466 mの範囲で、「%非常にうるさい」、「%非常に+だいたいうるさい」、「%非常に+だいたい+多少うるさい」はそれぞれ26～1、28～3、51～14%まで変化している。「%非常にうるさい」は100 m点の26%から500 m点の10%まで減少している。



図(2)-62 $L_{Aeq,n}$ とうるささの反応確率との関係



図(2)-63 距離とうるささの反応確率との関係

7) 睡眠問題に関する分析結果

回答者の健康状態を睡眠の観点から評価するために、自覚的睡眠感に関する質問をアンケートに加えた。国際睡眠学会等によれば、十分眠れないことが高頻度で（たとえば週3日以上）生じ、そのため日中の眠気によって社会活動に支障が生じる場合を不眠という。これはさらに、その症状によって、入眠困難・中途覚醒・早朝覚醒・熟眠困難のような亜型に分けられることが多い。そこで本調査ではアンケートの回答から、睡眠問題の有無を次のように定義した。

①睡眠で困っていることが「ある」かつ週3回以上「夜、床についてもなかなか寝つけない」かつ週3回以上「昼間眠くて仕事がよくできない」→入眠困難

②睡眠で困っていることが「ある」かつ週3回以上「夜中に目が覚めて、その後寝つけない」かつ週3回以上「昼間眠くて仕事がよくできない」→中途覚醒

③睡眠で困っていることが「ある」かつ週3回以上「朝、早く目が覚める」かつ週3回以上「昼間眠くて仕事がよくできない」→早朝覚醒

④睡眠で困っていることが「ある」かつ週3回以上「起きたときよく眠れなかった感じがする」
かつ週3回以上「昼間眠くて仕事がよくできない」→熟眠困難

⑤上記4つの症状のうち1つ以上あり→不眠

睡眠に関する設問は風車と直接関係しない表現であり、風車周辺地域、対照地域で全く同じ質問内容となっている。

前述の方法で推定した回答者ごとの風車騒音の暴露レベル（主として夜間の等価騒音レベル $L_{Aeq,n}$ ）でクラス分けし、クラスごとに睡眠問題の訴え率を求めた。その結果を表(2)-8に示す。訴え率の線形傾向はMantel-Heanszelの $\chi^2(\chi^2_{MH})$ によって検定した。 $L_{Aeq,n}$ が高くなると入眠困難・早朝覚醒・熟眠困難の訴え率は有意に上昇しており、中途覚醒でも同様の傾向がみられた。他方、性別や年齢による訴え率の差はみられなかった。

表(2)-8 騒音暴露量と睡眠問題の訴え率

$L_{Aeq,n}$ [dB]	不眠	入眠困難	中途覚醒	早朝覚醒	熟眠困難
-30	0.7	0.0	0.0	0.7	0.0
31-35	0.5	0.5	0.5	0.0	0.5
36-40	0.7	0.4	0.7	0.4	0.7
41-45	3.1	2.2	3.1	1.3	2.6
46+	2.7	2.7	1.4	2.7	2.7
χ^2_{MH}	5.3*	6.9**	6.0*	3.7(NS)	.3**

睡眠問題ごとに騒音暴露量に関するオッズ比を求めると（ただし、 $L_{Aeq,n}$ 30 dB以下では一部の訴え率が0であるので、35 dB以下の回答者をすべて一括して比較基準とした）、表(2)-9のような調整オッズ比が得られた。41-45 dBに比べ46 dB以上のオッズ比が必ずしも高くなっていない場合があるが、等価騒音レベルが高いとどのタイプの睡眠問題でもオッズ比が上昇する傾向はうかがえる。

表(2)-9 騒音暴露量と性別・年齢調整オッズ比（95%信頼区間）

$L_{Aeq,n}$ [dB]	不眠	入眠困難	中途覚醒	早朝覚醒	熟眠困難
-35	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00
36-40	1.24 (0.17-8.90)	1.24 (0.08-20.11)	2.54 (0.23-28.34)	1.44 (0.09-23.37)	2.44 (0.22-27.30)
41-45	5.69 (1.16-27.94)	8.31 (0.95-73.01)	11.76 (1.42-97.40)	5.55 (0.55-54.27)	9.71 (1.15-82.01)
46+	5.26 (0.72-38.65)	11.09 (0.96-127.74)	5.53 (0.34-90.74)	13.64 (1.17-159.01)	10.13 (0.89-115.20)

また、この解析で $L_{Aeq,n}$ をそのまま連続量として用いた場合には、 $L_{Aeq,n}$ が 5 dB 増加するときの調整オッズ比（95%信頼区間）は、不眠で 2.05 (1.55-2.71)、入眠困難で 2.73 (1.89-3.95)、中途覚醒で 2.31 (1.69-3.17)、早朝覚醒で 2.24 (1.52-3.30)、熟眠困難で 2.46 (1.78-3.39)と、いずれも有意であった（95%信頼区間下限が 1 より大）。

表(2)-10（サブグループ別の睡眠問題訴え率）に示すように、環境問題への関心がある人、風車は景観の邪魔になると答えた人、音を気にするほうだと自覚している人では、一部またはすべての睡眠問題について訴え率が高かった。これら3つの要因のうち、環境問題への関心または景観の

邪魔感で回答者をサブグループに分けた場合、どのサブグループでも $L_{Aeq,n}$ が高いほど睡眠問題の訴え率が高かった。しかし、「音を気にしない/どちらともいえない」群と「音を気にするほうだ」という群に分けた場合には、表(2)-11に示すようにいずれの睡眠問題についても、「音を気にするほうだ」という群でのみ $L_{Aeq,n}$ と訴え率の関連がみられた。

表(2)-10 サブグループ別の睡眠問題訴え率

要因	カテゴリー	不眠	入眠困難	中途覚醒	早朝覚醒	熟眠困難
環境問題への関心	ない/どちらともいえない	0.4	0.4	0.4	0.4	0.4
	ある	2.6	1.6	2.1	1.0	2.1
	(Fisher の直接確率法)	**	NS	*	NS	*
風力発電はよい方法か	そう思う	1.0	0.7	1.0	0.5	0.8
	思わない	2.1	0.0	2.1	0.0	2.1
	(Fisher の直接確率法)	NS	NS	NS	NS	NS
よいことが	ある	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0
	ない/わからない	1.6	1.1	1.5	0.7	1.5
	(Fisher の直接確率法)	NS	NS	NS	NS	NS
景観の邪魔に	ならない	0.9	0.8	0.8	0.6	0.8
	なる	6.4	3.9	6.4	2.6	6.4
	(Fisher の直接確率法)	**	*	**	NS	**
音を気にするほうか	気にしない/どちらともいえない	0.3	0.0	0.1	0.1	0.0
	気にする	4.1	3.3	3.7	2.2	4.1
	(Fisher の直接確率法)	***	***	***	***	***

表(2)-11 音への感受性別にみた騒音暴露量と訴え率の関連

「音を気にしない/どちらともいえない」と答えた群

$L_{Aeq,n}$ [dB]	不眠	入眠困難	中途覚醒	早朝覚醒	熟眠困難
-35	1.0	0.0	0.0	1.0	0.0
31-35	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
36-40	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
41-45	0.6	0.0	0.6	0.0	0.0
46+	0.0	0.0	1.0	0.0	0.0
(χ^2_{MH})	NS	NS	NS	NS	NS

「音を気にするほうだ」と答えた群

$L_{Aeq,n}$ [dB]	不眠	入眠困難	中途覚醒	早朝覚醒	熟眠困難
-35	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
31-35	2.0	2.0	2.0	0.0	2.0
36-40	2.7	1.4	2.7	1.4	2.7
41-45	10.3	8.6	10.3	5.2	10.3
46+	10.5	10.5	5.3	10.5	10.5
(χ^2_{MH})	7.1**	6.6**	4.8*	7.2**	7.1**

以上のように、等価騒音レベル $L_{Aeq,n}$ と睡眠問題訴え率には関連があり、この関連は特に「音への感受性が高いと自覚している人」で顕著であった。

8) 自覚的健康状態に関する分析結果

回答者の健康状態を心身の自覚症状という観点から評価するために、鈴木らが開発したthe Total Health Index (THI)から、呼吸器・目と皮膚・消化器・生活不規則・情緒不安定性の5つの下位尺度（計54問）を抜粋し、アンケートに加えた。THIの設問は風車と直接関係しない表現であり、風車周辺地域、対照地域で全く同じ質問内容となっている。

その分析方法としては、各問への回答は3件法（三者択一）で、これを0～2点で得点化し、下位尺度ごとに合計点を算出する（高得点ほど自覚的健康状態がよくないことを示す）。引用文献5によれば、上記5つの下位尺度は、高いレベルの超低周波音に曝露された際に生じやすい自覚症状を含んでいる。

THIではしばしば、高得点者をスクリーニングする基準として、開発者らが報告している「標準集団」のデータにおける男女別上位5%値を用いる。そこで本研究でも、このスクリーニング基準を男女別に適用して、高得点者の割合と風車との関係を解析した。

a. 性別・年齢・風車からの距離との関連

性別・年齢、及び風車地域については風車からの距離とTHI高得点者の割合（％）との関連を集計し、Fisherの直接確率法または χ^2_{MH} により関連の有無を検討した。その結果を表(2)-12に示すが、性別・年齢によって高得点者の割合の差が散見されるほか、風車からの距離が400 m未満において呼吸器系の高得点者の割合が高い傾向が見られる。

表(2)-12 性別・年齢・風車からの距離との関連

要因	カテゴリー	呼吸器	目と皮膚	消化器	生活不規則	情緒不安定性
(全体)		4.3	7.4	2.2	2.8	5.7
性別	男	3.5	4.4	2.2	2.8	5.5
	女	5.1	9.9	2.2	3.0	5.9
	(Fisherの直接確率法)	NS	***	NS	NS	NS
年齢	-29	5.0	7.5	0.0	12.5	10.3
	30-39	5.3	13.2	2.6	6.6	6.6
	40-49	3.1	7.3	1.0	6.2	4.1
	50-59	5.6	8.3	2.8	3.8	10.4
	60-69	4.4	5.8	3.6	1.5	5.8
	70+	3.8	7.0	1.2	0.9	2.9
	(χ^2_{MH})	NS	NS	NS	25.4***	5.2*
風車からの距離	対照地域	2.7	7.3	1.2	2.9	4.6
	800m～	4.0	8.0	4.0	2.2	4.6
	600-799m	4.9	8.7	3.3	2.7	8.6
	400-599m	4.8	5.9	0.5	2.6	8.5
	～399m	7.4	7.4	2.9	3.7	2.2
	(χ^2_{MH})	4.7*	NS	NS	NS	NS

b. 多重ロジスティック解析による分析

THIの下位尺度ごとに、性別・年齢、及び風車地域については風車からの距離による多重ロジス

ティック解析を行い、風車からの距離別に性別・年齢調整済みオッズ比を求めた。その結果を表(2)-13に示す。この結果では、風車から400 m未満では呼吸器系の症状のオッズ比が高くなっているが、その他では1より有意に高いオッズ比がみられない。対照地域も含めて比較すると、呼吸器症状では風車に近いほどオッズ比が高くなる傾向が認められる。

表(2)-13 性別・年齢調整オッズ比（95%信頼区間）

要因	カテゴリー	呼吸器	目と皮膚	消化器	生活不規則	情緒不安定性
風車からの距離	対照地域	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00
	800m～	1.51 (0.55-4.14)	1.17 (0.59-2.35)	3.45 (0.99-12.02)	0.70 (0.21-2.27)	1.01 (0.42-2.44)
	600-799m	1.92 (0.74-4.95)	1.35 (0.69-2.63)	2.64 (0.73-9.55)	0.86 (0.29-2.58)	2.05 (0.98-4.30)
	400-599m	1.90 (0.74-4.95)	0.88 (0.42-1.89)	0.44 (0.05-3.96)	0.78 (0.26-2.23)	1.99 (0.95-4.16)
	～399m	2.96 (1.17-7.51)	1.11 (0.51-2.40)	2.38 (0.58-9.75)	1.13 (0.38-3.41)	0.48 (0.14-1.69)

ここで、風車によるアノイアンスを修飾する可能性を想定した諸要因と、THIでみた自覚症状との関連を確認すると、次表のように、騒音振動など環境問題への関心が高い人や、音を気にするほうだという自覚がある人には、心身の自覚症状の高得点者が多いことがわかった。この理由としては、①アレルギー症状など環境が原因である可能性がある症状をもつ人では環境問題への関心が高まる可能性や、②外的環境に対して神経質・過敏な人は自分の体調（＝体内環境）にも神経質・過敏で症状を訴えやすい可能性などが考えられる。従来、自己評価した音感受性と騒音によるアノイアンスや睡眠影響との関連は報告されてきたものの、そのような人の特徴については手がかりが乏しかったので、②の可能性が示唆されたことは興味深い。

表(2)-14 環境に対する諸印象と自覚的健康状態の関係の解析

要因	カテゴリー	呼吸器	目と皮膚	消化器	生活不規則	情緒不安定性
環境問題への関心	ない/どちらともいえない	3.3	5.5	1.1	2.6	4.4
	ある (Fisherの直接確率法)	6.1 *	10.7 **	4.1 **	3.5 NS	8.0 *
風力発電はよい方法か	そう思う	4.5	7.1	2.9	2.5	5.4
	思わない (Fisherの直接確率法)	8.9 NS	13.0 NS	0.0 NS	4.4 NS	10.9 NS
景観の邪魔に	ならない	4.6	6.9	2.3	2.4	5.7
	なる (Fisherの直接確率法)	9.5 NS	12.2 NS	5.4 NS	5.3 NS	9.3 NS
音を気にするほうか	気にしない/どちらともいえない	3.1	5.4	1.3	2.2	4.5
	気にする (Fisherの直接確率法)	8.2 ***	13.2 ***	4.7 **	5.1 *	9.3 **

しかし、表(2)-13で風車からの距離が400 m未満の回答者で呼吸器症状のオッズ比が高かったことは、上記のような人がこの地域に多かったためとは言えない。因みに、性別・年齢に加え「環境問題への関心」および「音を気にするほうだという自覚」の影響を多重ロジスティック解析で調整しても、なお風車からの距離が400 m未満の回答者における呼吸器症状のオッズ比は2.73 (95%信頼区間1.06-7.01) と1より有意に高くなっている。

ここで問題となるのは、大気汚染物質の発生などとは無関係の風車が呼吸系症状と何らかの相関を持っていることであり、この問題について考察を加える。

THIの提案に関する引用文献5 (p.35) では、飛行機離発着や低周波環境騒音で悩まされている住民では、多愁訴尺度に関する得点が最も敏感に増加するが、それと共に（理由は判然とはしないが）呼吸器尺度の得点も増加分が大きい傾向が見られる、としている。すなわち、呼吸器尺度は目と皮膚・消化器・生活不規則・情緒不安定性などの尺度に比べて、多愁訴（いわゆる不定愁訴で、身体のどこか特定の部位ではなく全般的な不調を漠然と訴える自覚症状）の尺度と相関が高い傾向が見られる引用文献5 (p.164)。（今回の調査で多愁訴尺度を使わなかった理由は、この尺度の項目数が多いことと内容が漠然とした症状群で騒音振動などの環境要因による反応としては特異性が低いことによる。）

そこで、さらに今回の調査結果について呼吸器尺度の10項目を個別に分析してみたが、特定の項目だけが風車からの距離または等価騒音レベルと強く相関しているということにはなかった。

以上の考察から、風車からの距離が近い、または等価騒音レベルが高い範囲における回答で呼吸器症状の得点が高い傾向が見られたことは、これらの範囲に住む住民に不定愁訴をもつ割合が高かったと理解すべきであろう。たとえば、風車は景観の邪魔と答えた人を除いて解析すると、風車から400 m未満での調整オッズ比は1.62(0.52-5.00)に低下し、1より有意に大とは言えなかった。したがって、風車直近で呼吸器尺度高得点者が多い理由の一部は、景観問題と関連している可能性もある。また、「不眠あり」の回答者（わずか13名）を除くと、この調整オッズ比は2.27(0.84-6.09)に低下し、1より有意に大とは言えなかった。これは「不眠あり」群では呼吸器尺度高得点者の割合が15.4%と高いことによる。したがって、風車直近で呼吸器尺度高得点者が多い理由の一つとして、睡眠問題と関連している可能性も考えられる。

c. 等価騒音レベルと自覚的健康状態の関係

家屋外で主として夜間における等価騒音レベル ($L_{Aeq,n}$) が推定できた884の回答について、その値と睡眠問題高得点者の割合 (%) との関連を集計し、Mantel-Haenszelの χ^2 乗検定 (χ^2_{MH}) によって関連の有無を検討した。その結果、表(2)-15に示すように、 $L_{Aeq,n}$ が高くなるにつれ呼吸器症状の高得点者の割合が高くなる傾向がみられた。

表(2)-15 等価騒音レベル ($L_{Aeq,n}$) と自覚的健康状態の関係

要因	カテゴリー	呼吸器	目と皮膚	消化器	生活不規則	情緒不安定性
$L_{Aeq,n}$ [dB]	-30	3.0	7.5	1.5	5.2	5.2
	31-35	4.2	6.5	1.9	2.3	6.1
	36-40	2.5	7.3	1.1	2.4	5.9
	41-45	6.7	8.0	2.7	2.6	5.8
	46+	8.2	6.9	2.7	1.4	2.7
	(χ^2_{MH})	4.2*	0.6	0.7	1.8	0.2

そこで、性別・年齢・等価騒音レベルと睡眠問題とのロジスティック解析を行った。その結果を表(2)-16に示すが、性別・年齢の影響を調整すると、 $L_{Aeq,n}$ が46 dB以上でも呼吸器症状のオッズ比が有意に大とは言えない結果となっている。

表(2)-16 性別・年齢調整オッズ比 (95%信頼区間)

要因	カテゴリー	呼吸器	目と皮膚	消化器	生活不規則	情緒不安定性
$L_{Aeq,n}$ [dB]	-30	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00
	31-35	1.45 (0.43-4.83)	0.92 (0.39-2.15)	1.35 (0.24-7.56)	0.51 (0.15-1.69)	1.33 (0.51-3.45)
	36-40	0.86 (0.25-3.02)	1.11 (0.50-2.45)	0.66 (0.11-4.07)	0.52 (0.17-1.58)	1.24 (0.64-3.10)
	41-45	2.46 (0.79-7.66)	1.23 (0.55-2.79)	1.77 (0.35-9.03)	0.59 (0.19-1.88)	1.19 (0.46-3.10)
	46+	3.18 (0.86-11.77)	1.06 (0.35-3.27)	1.94 (0.26-14.36)	0.27 (0.03-2.29)	0.54 (0.11-2.72)

ここで、b.に示したように「環境問題への関心」および「音を気にするほう」という自覚と自覚症状の訴えには関連がみられたので、これら二つの要因および性別・年齢を調整した多重ロジスティック解析を行ってみたが、等価騒音レベルごとのオッズ比は基本的に表(2)-16と同じ結果となった。したがって、b.に示したように風車からの距離が400 m未満の回答者で呼吸器症状のオッズ比が高かったことを風車近くで等価騒音レベルが高いことだけでは説明しきれない。

9) 回答者の自由意見に関する考察

風車騒音に関するアンケート調査を通して多くの自由意見が得られている。これらは、調査票でコード化された反応とは別に、回答者自身が実生活で感じている生の反応と考えられる。ここでは、問4で最も悩まされる音として「風力発電施設の音」を選んだ回答者が問5でその音によって具体的にどのような影響を被っているのか、また問10(16)「環境について気になること」および問12「地域についての意見」、問10(15)「風力発電施設があることによって具体的にどのような良いことがあるか」に関してどのような自由回答をしているのかを検討してみた。

a. 騒音の具体的な影響

問5では、問4で挙げた最も悩まされる音の具体的な影響として、「1. 気になるがたいしたことではない」、「2. くつろげない」、「3. イライラしたり、腹が立つ」、「4. 体の具合が悪くなる」、「5. 電話の声やテレビラジオの音が聞き取りにくい」、「仕事や勉強、読書の邪魔になる」、「会話の妨害になる」、「8. その他()」から複数選択させている。そのうち、「8. その他」で具体的な影響を回答した人は747名中45名であった。問4で最も悩まされる音として最も気になる音として「風力発電施設の音」を選んだ人は121名で、そのうち自由回答した人は31名(26%)であり、自由回答の割合は「風力発電施設の音」以外を選んだ場合(626名中、14名(2%))より大きい。最も気になる音として「風力発電施設の音」を選び、自由回答した31件のうち、最も多いのは「寝つきにくい」、「眠れない」、「目覚める」等の睡眠妨害(12件)であり、問6で夜間・深夜に音で迷惑を受けている人が多いことと符合している。その他の回答としては「気になる」、「低周波の心配」、「頭痛、圧迫感、手足のしびれ」等であった。

b. 環境について気になること

問10(16)の「環境について何か気になりますか」という質問に関して、風車への不満は合計66件あり、そのうち「風力発電施設の立地の不満」、「建設時の説明への不満」、「事業への不信感」、「風車そのものに対する嫌悪感」など風車あるいは風力発電事業に対する態度が16件、「目障り」、「シャドーフリッカー」、「夜間の照明の点滅」、「景観への影響」、「日影」など視覚的な影響が15件、「風切り音」、「風車の音が気になる」など風車音の影響が8件、「落雷の頻度」、「積雪への影響」など気象への影響が8件、「野生動物」や「生態系」、「環境」などへの影響の危惧が6件、低周波音による影響の心配が6件、その他7件であった。風車への不満として、風車あるいは風力発電事業への態度や視覚的な影響が多くを占めている。

c. 地域についての意見

地域についての意見のうち、風車への不満は47件あり、そのうち「風力発電施設の立地の不満」、「建設時の説明への不満」、「事業への不信感」など風車に対する態度に関するものが最も多く25件、風切り音など音の影響を訴えるものが8件、低周波音の心配が4件、電波障害などが4件、地域や個人への利益の還元がないことに関して3件、その他3件であった。

d. 風力発電施設があることによる具体的なメリット

一方、問10(16)では風力発電施設があることによって良いことがある場合に、その具体的な内容を聞いている。その旨の自由回答は109件あり、そのうち最も多いのが「風向が分かる」（27件）、続いて「目印になる」（15件）、「風力発電は環境に優しい」（14件）、「良い景観である」（12件）、「子供の遊び場、散歩道になっている」（11件）、「地域への還元」、「土地の賃料」、「工事の請負」、「2重サッシの設置」など利益の還元（10件）、見学者増や地域観光への貢献（6件）、環境整備（3件）、その他（12件）であった。

5. 本研究により得られた成果

(1) 科学的意義

日本全国に分布する多数の風力発電施設周辺における実測調査の結果、風車騒音の実態（音圧レベル、周波数スペクトル、時間変動特性など）が明らかとなった。また、それと並行して行った風力発電施設の影響を受けていない対照地域における実測調査の結果から、農山村部など静穏な地域における環境騒音の実態が把握できた。これらの結果から、風力発電施設が発生する騒音の影響の程度を定量的に把握することができた。

実測調査と並行して、風力発電施設周辺及び対照地域の住民に対する社会反応調査を実施した。その結果、風力発電施設の有無による一般生活環境及び音環境に対する意識の同異が明らかになった。また、風力発電施設周辺の住民が風車騒音によって受けている心理的影響及び自覚的健康状況の程度を把握することができた。

これまで我が国ではこのような大規模な実測による物理的調査と社会反応調査を同時に行った例はなく、本研究の科学的意義はきわめて大きいと考えられる。

(2) 環境政策への貢献

<行政が既に活用した成果>

特に記載すべき事項はない。

<行政が活用することが見込まれる成果>

環境省では、風車騒音の環境影響評価のための具体的指針を検討するために、本年度から「風力発電施設から発生する騒音等の評価手法に関する検討会（仮称）」を発足させることになっているが、この検討会でも、風車騒音の物理的特性及び近隣住民に対する影響実態に関して、本研究の成果が基礎資料として有効に利用されることが期待できる。

6. 国際共同研究等の状況

特に記載すべき事項はない

7. 研究成果の発表状況

(1) 誌上発表

特に記載すべき事項はない

(2) 口頭発表（学会等）

- 1) 福島昭則，藤本一壽，吉久光一，岩瀬昭雄：日本騒音制御工学会2011年秋季研究発表会
「風車騒音の分析における暗騒音の影響の除去と分析対象時間帯の設定方法について」
- 2) 福島昭則，藤本一壽，吉久光一，岩瀬昭雄：日本騒音制御工学会2011年秋季研究発表会
「風車騒音の分析における暗騒音の影響の除去と分析対象時間帯の設定方法について」
- 3) 山本和寛、野田賢次、吉久光一、末岡伸一：日本騒音制御工学会2011年秋季研究発表会

「風力発電施設周辺における残留騒音の推定方法」

- 4) 内田英夫、山本泰久、岩崎雅仁、岩瀬昭雄、末岡伸一：日本騒音制御工学会2011年秋季研究発表会

「風力発電施設周辺地域における騒音・低周波音の音圧レベル頻度分布」

- 5) 福島昭則,小林知尋, 矢野博夫, 橘秀樹：日本騒音制御工学会 2012 年秋季研究発表会

「風力発電施設からの騒音・低周波音の測定における風の影響について」

- 6) 小林知尋, 福島昭則, 岩瀬昭雄, 橘 秀樹：：日本騒音制御工学会 2012 年秋季研究発表会

「風車騒音に含まれるSwish 音の物理特性について」

- 7) S. KUWANO, T. YANO, T. KAGEYAMA, S. SUEOKA and H. TACHIBANA : Inter-noise 2013 (2013.9)

“Social survey on community response to wind turbine noise in Japan” (発表予定)

- 8) T. YANO, S. KUWANO, T. KAGEYAMA, S. SUEOKA and H. TACHIBANA : Inter-noise 2013 (2013.9)

“Dose-response relationships for wind turbine noise in Japan” (発表予定)

- 9) A. FUKUSHIMA, K. YAMAMOTO, H. UCHIDA, S. SUEOKA, T. KOBAYASHI and H. TACHIBANA : Inter-noise 2013 (2013.9)

“Study on the amplitude modulation of wind turbine noise: Part 1 – Physical investigation” (発表予定)

(3) 出願特許

特に記載すべき事項はない。

(4) シンポジウム、セミナー等の開催（主催のもの）

特に記載すべき事項はない。

(5) マスコミ等への公表・報道等

特に記載すべき事項はない。

(6) その他

特に記載すべき事項はない。

8. 引用文献

- 1) Werner Richarz and H. Richarz, “Can Infrasonic Lift Noise from Wind Turbine Rotors Contribute to Audible Sound?,” Proc. 15th International Meeting on Low Frequency Noise and Vibration and its Control (CD-ROM) (2012)
- 2) Geoff Leventhall, Dick Bowdler, “Wind Turbine Noise”, Multi-Science Publishing Co. Ltd., 2012
- 3) Seunghoon Lee, Seungmin Lee, and Soogab Lee, “Numerical prediction of acoustic pressure radiated from large wind turbines,” Proc. Inter-noise 2011, CD-ROM (2011).
- 4) E. Pedersen, F. van den Berg, R. Bakker and J. Bouma, “Response to noise from modern wind turbine farms in The Netherlands,” J. Acoust. Soc. Am., 126(2), 634-643 (2009). 4)

- 5) 鈴木庄亮、浅野弘明、青木繁伸、栗原久：健康チェック票T H I プラスー利用・評価・基礎資料

(3) 風車騒音に係る聴感実験

東京大学生産技術研究所

第5部 応用音響研究室

坂本慎一・横山 栄

<研究協力者>

辻村壮平

平成22～24年度累計予算額：20,795千円

(うち、平成24年度予算額：6,132千円)

予算額は、間接経費を含む。

[要旨]

風車騒音では、低周波音の影響が大きな問題となっている。そこで本サブテーマでは、この問題に重点を置いて、低周波数の音に対する聴覚反応に関して実験室実験による詳細な検討を行った。そのために、まず超低周波音領域から可聴周波数域全体にわたって再生可能な実験装置を製作した。この実験装置を用いて、7段階の聴感実験を実施した。その内容は、低周波数の純音に対する聴覚閾値、風車騒音に含まれている低周波成分の可聴性及びラウドネスに対する低周波数成分の寄与、風車騒音特有の音圧レベルが規則的に変動する振幅変調音の聴覚心理的影響、低周波数成分を含む一般環境騒音のラウドネス評価のための騒音評価尺度の検討である。これらの実験を通して、以下の結果が得られた。

- (1) 10 Hz～200 Hz の低周波数の純音に対するヒトの聴覚閾値に関しては、これまでに行われている類似の実験とほぼ一致した結果が得られた。また、年代別の閾値を比較したところ、20 歳代から 50 歳代までの間では有意な差はないが、60 歳代は 20 歳代に比べて閾値が高くなる傾向が見られた。
- (2) 風車騒音に含まれている数 10 Hz 以下の成分は、風力発電施設周辺の居住地域で一般的に観測される風車騒音では不可聴であり、ラウドネスにはほとんど寄与していないことが分かった。
- (3) 風車騒音に含まれている振幅変調音が感じられるのは、可聴周波数領域の 100 Hz 以上の周波数成分によるものであること、また振幅変調による音圧レベルの変動が 2 dB 以上になると変動感が感じられ、ノイジネスが増大することが分かった。
- (4) 風車騒音を含めて環境騒音の評価に適した騒音評価尺度を調べるために、一般環境に存在する種々の騒音に風車騒音も加えて超低周波音領域まで含む試験音を用意してラウドネス評価実験を行った結果、一般環境騒音の評価で広く用いられている A 特性音圧レベルが適用できることが確かめられた。

[キーワード]

風車騒音、低周波音、振幅変調音、環境影響評価、A 特性音圧レベル

1. はじめに

風車騒音の問題では超低周波音領域を含む低周波数成分の聴覚・心理的影響が懸念されており、マスコミ等でもしばしば取り上げられている。この問題に対して科学的な立場から取り組むために、風車騒音の実測調査、社会反応調査と並行して、実験室における聴感実験を行った。

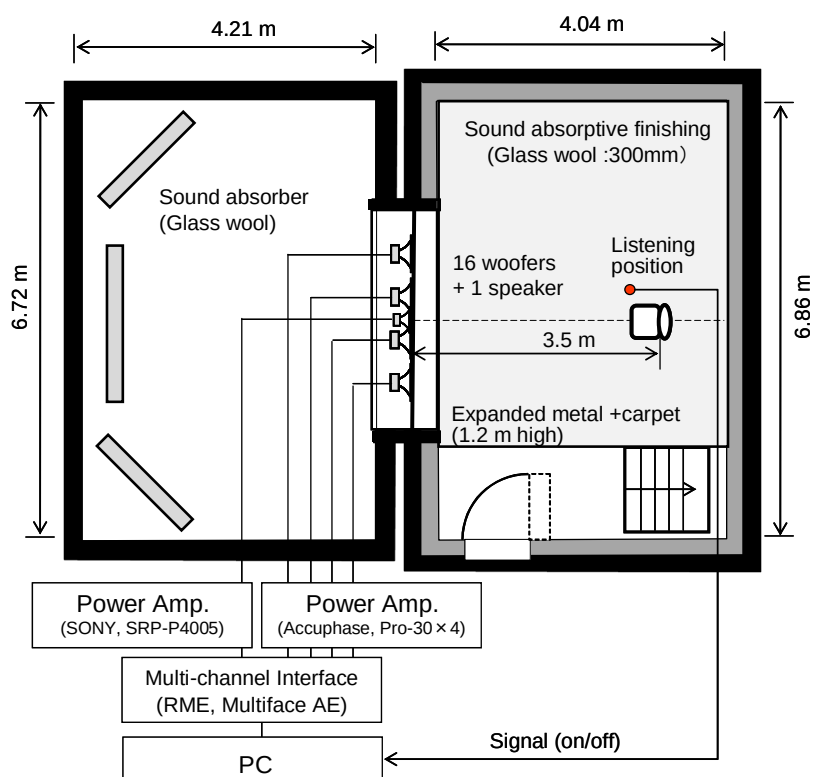
2. 研究開発目的

環境騒音の問題では、一般に可聴周波数範囲（20～20,000 Hz）の音を対象とし、音の大きさ（ラウドネス）、うるささ（ノイジネス）及びアノイアンスに関する研究が行われてきたが、上述のとおり、風車騒音の問題では超低周波音を含む低周波数の音の影響が問題となっている。この問題を聴感実験を通して明らかにすることを目的として、以下に述べる一連の実験を実施した。

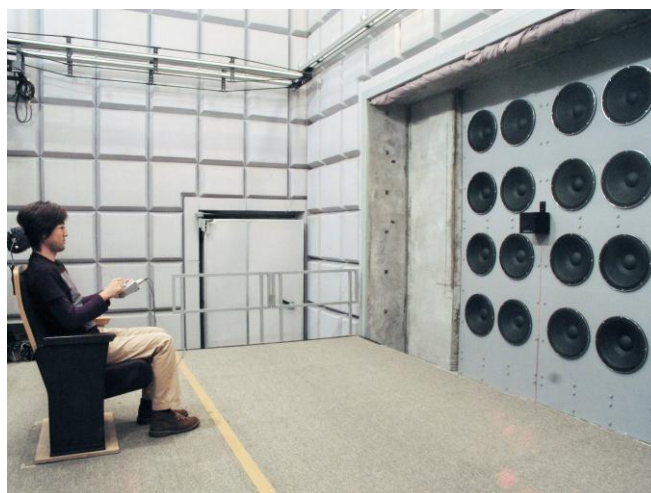
3. 研究開発方法

（1）低周波音聴感実験用設備の整備

超低周波音領域を含み、可聴周波数範囲全体の音を再生する実験装置として、東京大学生産技術研究所の応用音響実験設備の中の残響室と無響室を組み合わせた実験設備を使用し、低音再生用スピーカ（ウーファ）16台を使用した再生システムを構築した。この聴感実験システムその概要を図(3)-1に、また評価実験を行う受音室の様子を写真(3)-1に示す。



図(3)-1 聴感実験システムのブロック図



写真(3)-1 受音室の概要

(2) 低周波音に対するヒトの聴感反応に関する実験

超低周波音領域を含む低周波数の音に対するヒトの聴感反応を調べるために、以下に述べる7段階の実験を行った。これらの実験は、東京大学の倫理規定に従って実施した。

1) 実験-1：低周波数の純音に対する聴覚閾値

a. 実験の目的

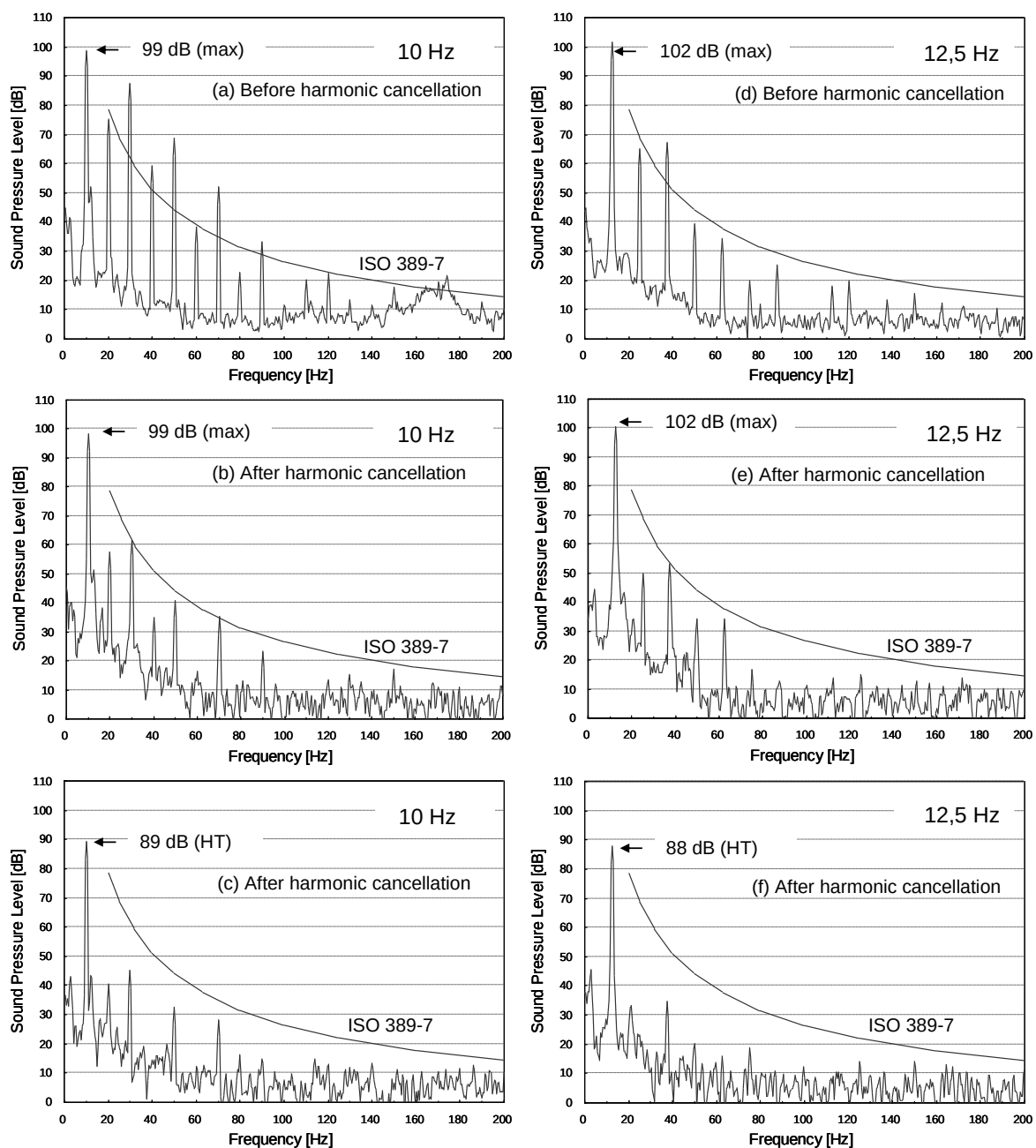
ヒトの可聴周波数領域とされている20 Hz～20 kHzについては、聴覚閾値がISO 389-7:2005¹⁾などに示されている。しかし、風車騒音ではそれ以下の周波数の音の影響が問題視されている。本研究ではこの問題について多角的な視点から聴感実験を行うこととしたが、その最初の実験として、実験設備の適用性を調べるとともに最も基本的な実験として10 Hz～200 Hzの周波数の純音に対するヒトの聴覚閾値を調べることにした。

b. 実験システム

人間の聴覚閾値は周波数が低くなるほど高くなる。そのため、超低周波音及び可聴周波数範囲の低周波数の音をスピーカから高いレベル再生する場合、スピーカの高調波歪によって所定の周波数の倍数の周波数の倍音が発生し、聴感実験の妨げとなる。その例として、10 Hz及び12.5 Hzの純音を受聴点でそれぞれ99 dB、102 dB となるように放射した時の受聴点における音圧スペクトルを図(3)-2最上段に示すが、いずれの周波数でも入力信号の周波数の2、3、5、7 倍の周波数の高調波が顕著に現れ、それらはISO/389-7:2005純音閾値を超えてしまっており、これでは所定の周波数の閾値を調べることはできない。

この高調波歪の影響を低減する方法として、逆位相の音を加える方法を採用した。すなわち、図(3)-3に示すように原信号 ($A \cdot \sin 2\pi f t$: A は振幅、 f 周波数) と倍音成分 ($A_n \sin(n \cdot 2\pi f t + \varphi_n)$: $n=2, 3, 5, 7$, φ_n は n 次倍音の位相) を足し合わせた信号をコンピュータで合成した。この信号処理において、それぞれの倍音成分の振幅 A_n と位相 φ_n は、受音点の音圧をFFT分析で観測しながらそれぞれの倍音成分が最小になるようにマニュアル操作で決定した。16台のスピーカは8対に分割し、上記の

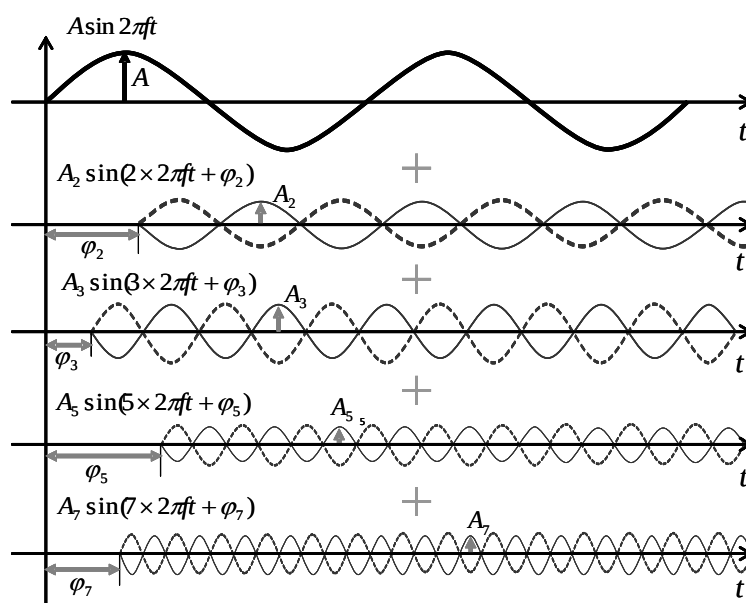
信号処理をそれぞれの対について行った。高調波歪は非線形現象であるので、倍音の抑圧処理は10 Hz, 12.5 Hz, 16 Hz及び20 Hzの周波数について実験における再生レベルごとに行い、コンピュータ内ファイルとして保存しておき、聴覚閾値実験では提示レベルごとの音源ファイルを選択して使用した。



(a) 10 Hz純音

(b) 12.5 Hz純音

図(3)-2 スピーカ再生音の高調波歪の抑圧効果



図(3)-3 高調波歪抑圧の原理

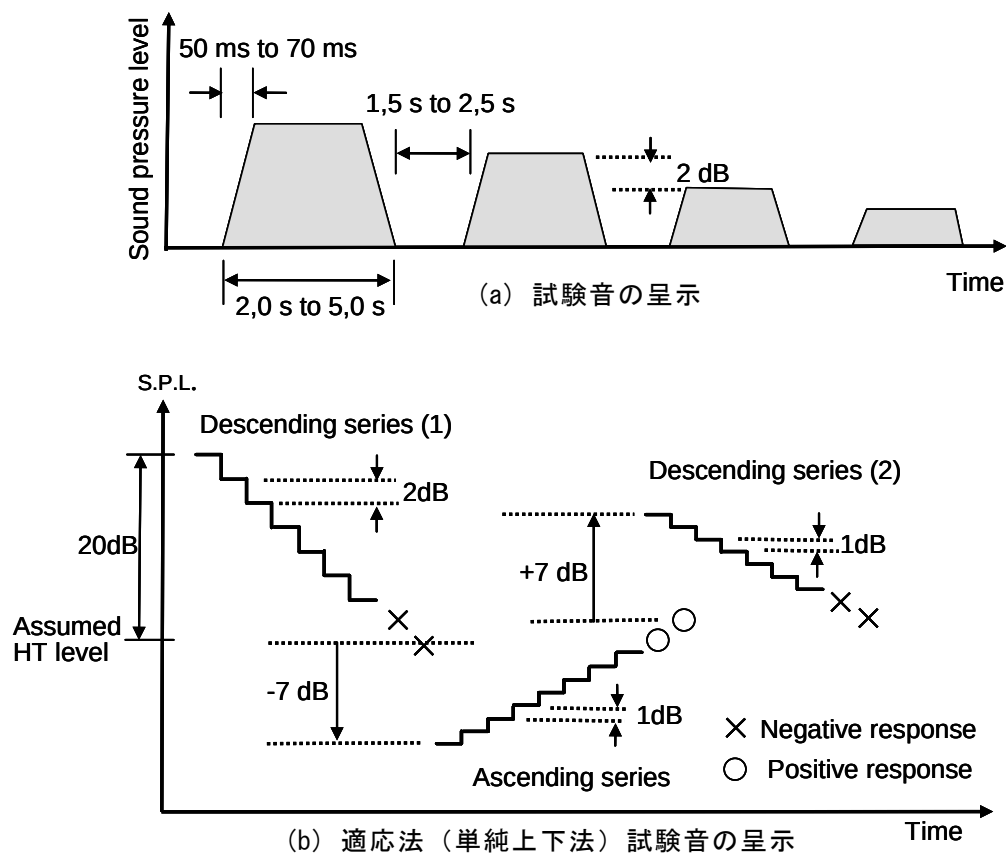
上記の高調波歪の抑圧の効果として、10 Hz及び12.5 Hzの純音が受音点においてそれぞれ99 dB及び102 dB（本実験システムで再生できる最大音圧）になるように再生した時の音圧スペクトルを図(3)-2の中段に示す。いずれの周波数でも、倍音成分のレベルはISO 389-7に示されている閾値以下になっている。図(3)-2の最下段は、10 Hzについて89 dB、12.5Hzについて88 dB（これらのレベルは、本実験で20歳代の被験者グループが閾値と判断したレベルで、後述する）で再生した時の受音点における音圧レベルで、倍音のすべてはISO 389-7に示されている純音閾値よりも低いレベルとなっている。

c. 実験方法と手続き

この実験では、図(3)-4に示すように適応法（単純上下法）を採用し、被験者には「音が聞こえる」あるいは「耳元で感じる」かどうかをできるだけ直感的に判断するように教示した。「音が聞こえている」あるいは「耳元で感じている」間は手元のボタンを押し続け、聞こえなくなったら離す操作を繰り返させた。実験は下降系列から開始することとし、閾値よりも十分に高いと思われるレベルから2 dBずつ下降させた。この系列は、被験者の反応が無くなってからさらに1ステップ（2 dB）低いレベルまで続けた。その点からレベルを7 dB下降させ、その点から上昇系列を開始した。この系列では、被験者の反応が現れ始めたレベルよりも1 dB大きいレベルまで1 dBステップで上昇させた。さらにそのレベルから7 dB高く設定し、二回目の下降系列を開始した。ただし、この系列ではレベルの変化は1 dBとした。このような3系列の実験が終了した後、2回の下降系列において被験者が「聞こえた/耳元で何かを感じた」と判断した最低レベルと上昇系列で被験者の判断が「聞こえる/耳元で何かを感じる」に変化した時のレベルの平均値をとり、その周波数における閾値とした。

この実験の被験者としては、20歳代から60歳代の聴力正常な男女計97名の協力が得られた（表(3)-1参照）。各被験者は、実験に先立って聴力レベルの測定を行い、年齢相応の聴力健常者であ

ることを確かめた。



図(3)-4 試験音の呈示パターン

表(3)-1 被験者の一覧

年齢	男性	女性	合計
20歳代	31	13	44
30歳代	5	5	10
40歳代	8	8	16
50歳代	5	4	9
60歳代	14	4	18
合計	63	34	97

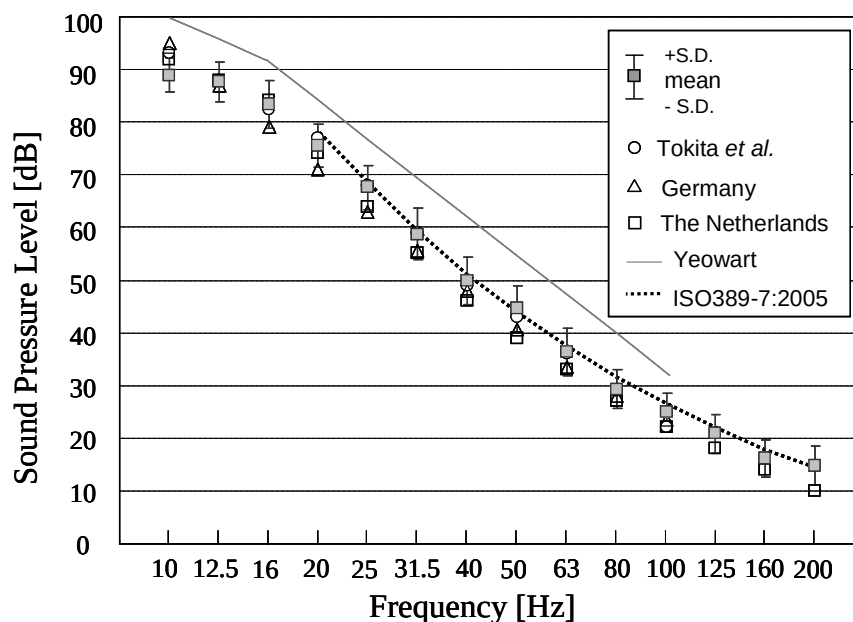
d. 実験結果

実験結果として、まず20歳代の被験者44名の閾値の測定結果を図(3)-5に示す。図中には、全被験者の平均値と標準偏差の幅（ $\pm\sigma$ ）を示す。また図中にはISO 389-7¹⁾に示されている純音閾値、N.S. Yeowart による一般化閾値²⁾、時田他による閾値^{3,4)}及びオランダ、ドイツで基準化されている純音閾値^{5,6)}を参考までに示す。本実験の結果をこれらの既往の純音閾値のデータと比較すると、可聴周波数ではISO 389-7の閾値曲線ときわめてよく一致している。20 Hz以下の超低周波音領域については、本実験の結果はYeowartによる一般化閾値の曲線よりもやや低めになっているが、時田

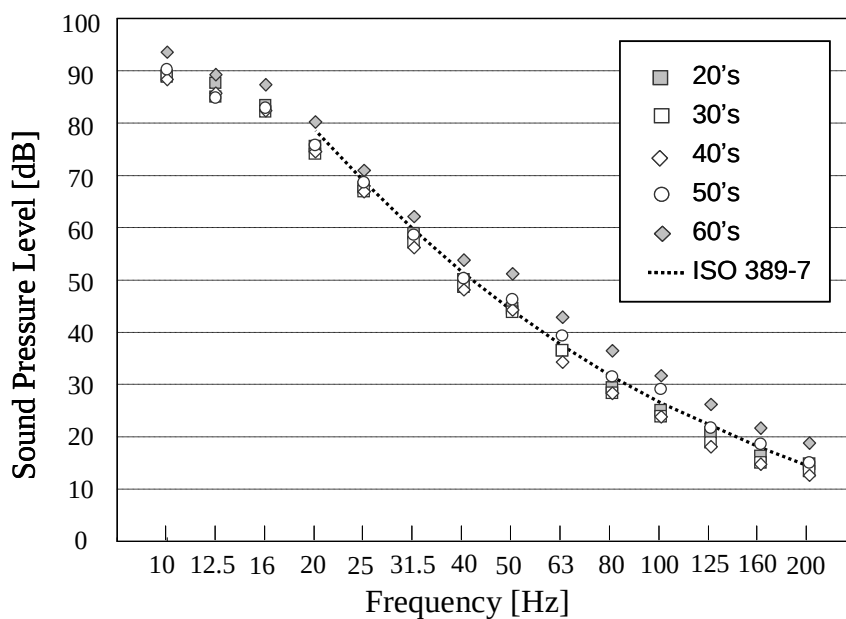
他によるデータ及びオランダ、ドイツで基準化されている純音閾値に近い値となっている。

つぎに、年齢による閾値の違いとして、20歳代から60歳代までの実験結果を図(3)-6に示すが、20歳代から50歳代までの間では有意な差は見られない($p<0,01$)。しかし、60歳代と20歳代の間では、12.5 Hzと31.5 Hzの他の周波数で有意な差が見られる($p<0,01$)。

ISO 7029:2000⁷⁾には、加齢による閾値の上昇に関する記述があるが、これによれば18歳と60歳代の閾値の差は125 Hzで5.3 dBとなるが、本実験で得られた20歳代と60歳代の閾値の差はこれにほぼ近い結果となっている。



図(3)-5 純音に対する聴覚閾値の実験結果（20歳代）



図(3)-6 純音に対する聴覚閾値の実験結果（年代別の比較）

2) 実験-2：風車騒音に含まれる低周波数成分の可聴性(1)

a. 実験の目的

風力発電施設から発生する騒音には超低周波音を含む低周波数の音の影響が懸念されている。この問題を基本的な聴覚の立場から調べることを目的とし、実際の風車騒音に含まれている低周波数成分に対するヒトの可聴性・可覚性を聴感実験によって調べた。

b. 実験システム

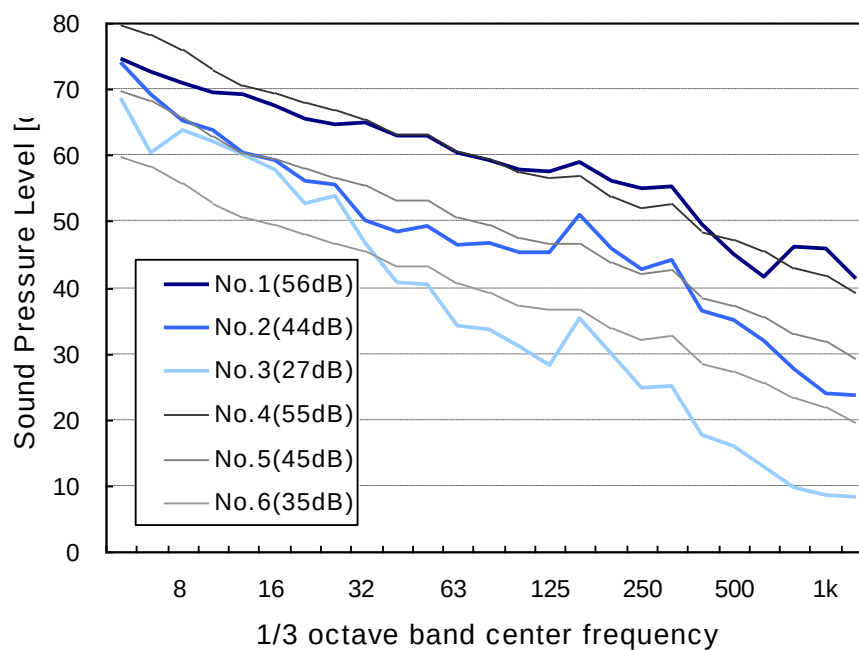
聴感実験には、本研究で開発した低周波音聴感実験用設備を使用した。ただし、この実験では周波数8 kHzまでの音も再生する必要があるため、16台の低音用スピーカ（ウーファ）の中心に中・高音用スピーカを付加した。低音と中・高音用スピーカのクロスオーバー周波数は224 Hz とした。なお、実験システムの信号入力点からスピーカ、受音室を経て受音点に至る再生系全体のインパルス応答の測定を行い、それを用いて逆フィルタリング処理を行って再生システム全体の周波数特性を補正した。

c. 実験方法と手続き

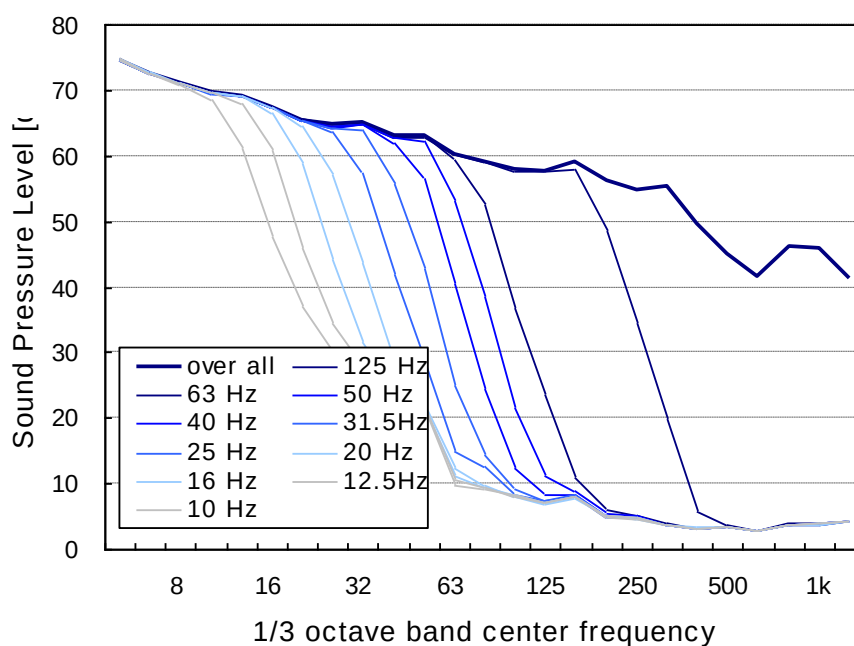
試験音として、風力発電施設周辺において広帯域音圧レベル計を用いて収録された音圧記録のうち、夜間における風車の定格稼働時の記録3種類を選定した。その概要を表(3)-2に示す。試験音No.1は風車近傍点の記録で、一般的な風車騒音のレベルに比べて大きい、参考まで試験音に加えた。試験音No.2 は居住域における代表的な風車音、試験音No.3 は屋内で収録された記録である。また、多くの地点で測定された風車騒音の周波数特性がほぼ-4 dB/オクターブとなっていることから⁸⁾、ピンクノイズを原信号としてこの特性をもつモデル音を作成した。その呈示レベルとしては、一般的な風車騒音のレベルを考慮して3 水準（A特性音圧レベルで55 dB, 45 dB, 35 dBで、以下、試験音No.4, No.5, No.6 と記す）に設定して試験音に加えた。受聴位置における各試験音の周波数特性を図(3)-7に示す。

表(3)-2 本実験で用いた試験音

試験音	最近接風車からの距離	測定点	A特性音圧レベル
No.1	48 m	屋外	56 dB
No.2	436 m	屋外	44 dB
No.3	328 m	屋内	27 dB
No.4	モデル音 (- 4 dB/オクターブ)		55 dB
No.5			45 dB
No.6			35 dB



図(3)-7 試験音の1/3オクターブバンド音圧レベル



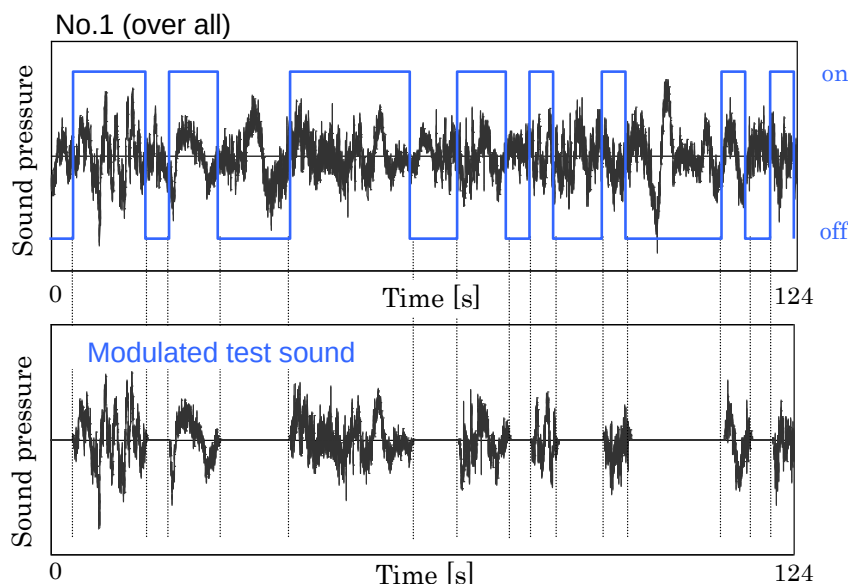
図(3)-8 試験音No.1の1/3オクターブバンド音圧レベルとローパスフィルタリング処理による周波数帯域制限

風車騒音に含まれる低周波数成分の可聴性を調べるために、上述の各風車音（原音：over all）に段階的にローパスフィルタリング処理を施して周波数帯域を制限した。遮断周波数は、125 Hz および63 Hz～10 Hz の1/3 オクターブごとの全10段階とし、それぞれ1/3オクターブバンドの上限周波数までを含むローパスフィルタ（遮断特性：48 dB/オクターブ）を用いた。試験音No.1 を例

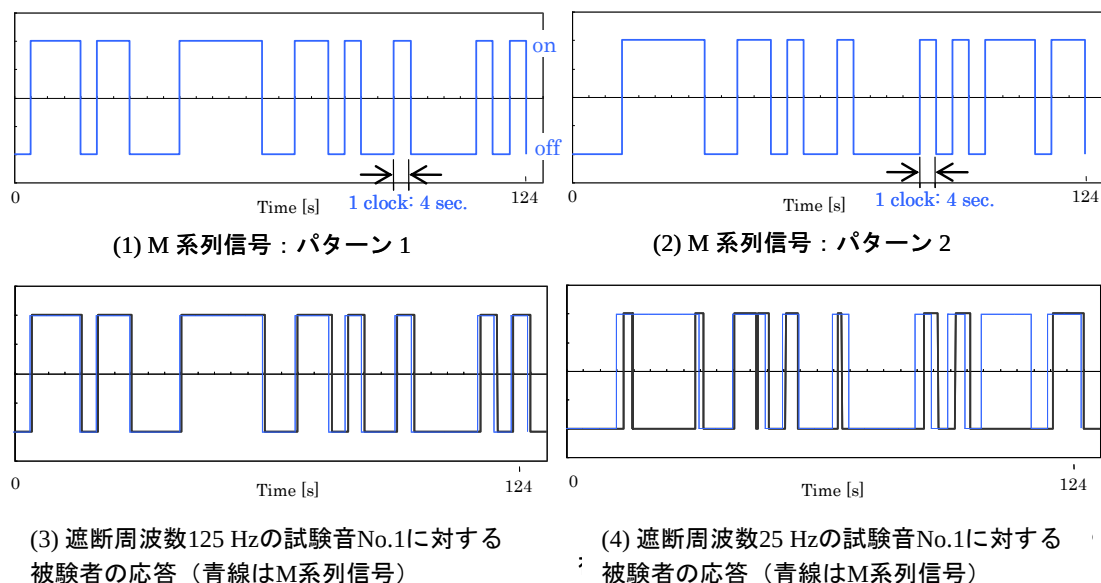
に、原音を加えた全11段階の試験音の周波数特性を図(3)-8に示す。

試験方法としては、純音閾値実験と同様に断続して呈示される試験音が聞こえている間は手元のボタンを押し、聞こえなくなったらボタンを離す方法を採用した。しかし、予備実験で検討したところ、普段聞きなれない低周波数の音に対して直接的に「聞こえる／聞こえない（耳元で感じる／感じない）」の判断を行うのは被験者にとって大きなストレスがかかることが予想された。そこでこれを軽減する方法として、本実験では試験音の断続をM系列信号を用いてランダムに行う方法をとることとした。これは音響伝搬特性の測定を目的として考案されたM系列変調相関法⁹⁾の応用で、聴感実験に用いられるのはこの実験が最初である。具体的には、5次のM系列信号（クロック周期：4 秒）を4種類作成して、上述の各試験音をそれぞれ変調（ON/OFF）した。その一例を図(3)-9に示す。なお、試験音の立ち上がり／立ち下がり時間はそれぞれ0.5 秒とした。

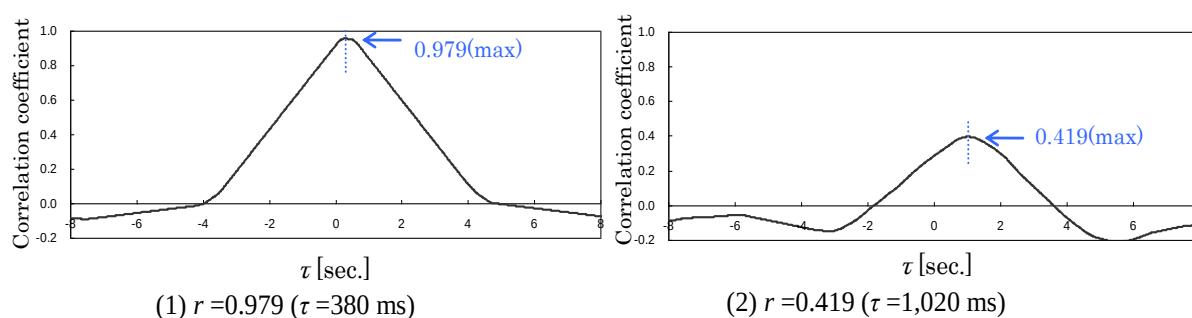
実験では、受聴位置に着席した被験者は、各試験音について実験者の合図で判断を開始し、終了の合図があるまで、音が聞こえている（耳元で何かを感じている）間は手元のボタンを押し、聞こえなくなったら（耳元で何も感じなくなったら）離すという操作を繰り返した。一つの試験音の提示（約2分間）が終了するごとに、可聴性に関する印象を3段階の評定尺度（1.よくわかった／2.わかりにくかった／3.全くわからなかった）で判断させた。なお、実験に先立って、一般的な聴力では聞こえない試験音も含まれていることを予め説明し、実験手続き等を確認するために、上述の試験音のうち2種類について練習を行った後、実験を開始した。実験中は受音室に設置した椅子に正しく座り、頭部をヘッドレスト近くに保つよう指示した。全66種類（試験音No.1～No.6, ローパスフィルタリング処理10段階＋原音）の試験音について、適宜、休憩を取りながら被験者1名あたり約3時間半で実験を実施した。被験者は21歳～25歳の男女学生10名（男性7名、女性3名）である。



図(3)-9 M系列信号による試験音の断続パターンの例



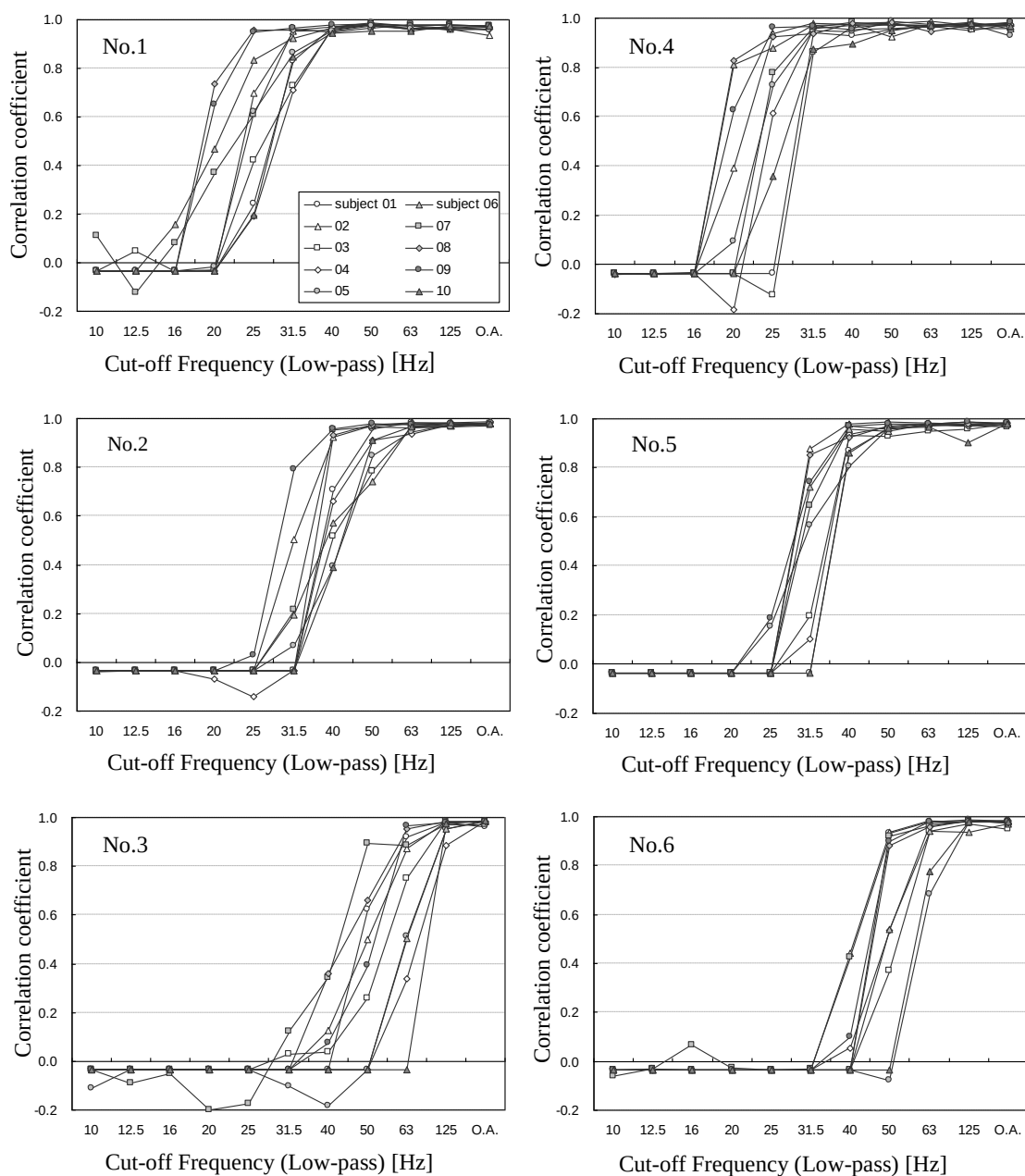
図(3)-10 音源をON/OFFしたM系列信号と被験者の反応の対応



図(3)-11 M系列信号と被験者の反応の相互相関係数

d. 実験結果

音源信号をON/OFFしたM系列信号と被験者による反応（応答スイッチのON/OFF）の対応の例を図(3)-10に重ねて示す。全試験音について、被験者ごとに、試験音を断続したM系列信号と被験者の反応の相互相関関数を求め（図(3)-11参照）、遅れ時間（ τ ）0～4秒間における相関係数の最大値を求めた。図(3)-11に示した例を見ると、(1)では反応の遅れはきわめて小さく、遅れ時間 $\tau = 380$ msで相関係数の最大値は0.979と高い値となっているのに対して、(2)では反応が約1秒ほど遅れており、相関係数の最大値は0.419に低下している。このようにして求めた相関係数のすべての分析結果を試験音No.1～6ごとにまとめて図(3)-12に示す。この結果を見ると、概して遮断周波数が低くなるほど相関係数が低く、試験音の呈示レベルが高いほど遮断周波数が低い音まで相関係数が高い傾向となっている。

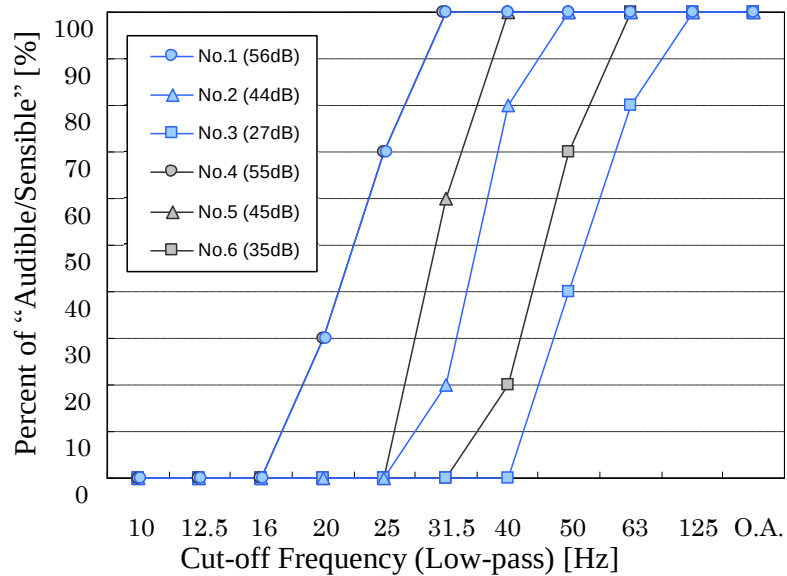


図(3)-12 音源をON/OFFしたM系列信号と被験者の反応の相互相関係数

予備的に行った被験者による可聴性に関する印象評価から考えて、相関係数0.4をひとまず基準とし、相関係数がそれ以上の場合に「聞こえる/耳元で何かを感じる」の判断とすることとした。各試験音について、相関係数が0.4以上となっている結果の割合を整理して図(3)-13に示す。全体として、全周波数帯域が含まれる原音および遮断周波数125Hzの場合には、すべての試験音で「聞こえる/耳元で何かを感じる」の判断は100%となっており、遮断周波数が低くなるほど「聞こえる/耳元で何かを感じる」割合が低くなっている。また、試験音（原音）の呈示レベルが高いほど、低い遮断周波数の音まで「聞こえる/耳元で何かを感じる」傾向となっているが、試験音No.1 およびNo.4（いずれもA特性音圧レベルで約55dB）でも、遮断周波数が20 Hz以下の条件では70%以上

が「聞こえない/感じない」の判断結果となっている。風力発電施設周辺における居住地域で一般的な風車騒音のレベルに対応する試験音No.2、No.3およびNo.5について見ると、遮断周波数が25 Hz～50 Hz以下の条件では「聞こえない/感じない」という判断になっている。この結果から、風車騒音に含まれている超低周波音領域の成分は閾値以下であると言える。

なお、この実験に関連した実験として、実験-3「風車騒音に含まれる低周波数成分のラウドネスに対する寄与」及び実験-4「風車騒音に含まれる低周波数成分の可聴性(2)：帯域制限ノイズの聴覚閾値」を実施した。



図(3)-13 0.4以上の相互相関係数となった実験結果の割合

3) 実験-3：風車騒音に含まれる低周波数成分のラウドネスに対する寄与

a. 実験の目的

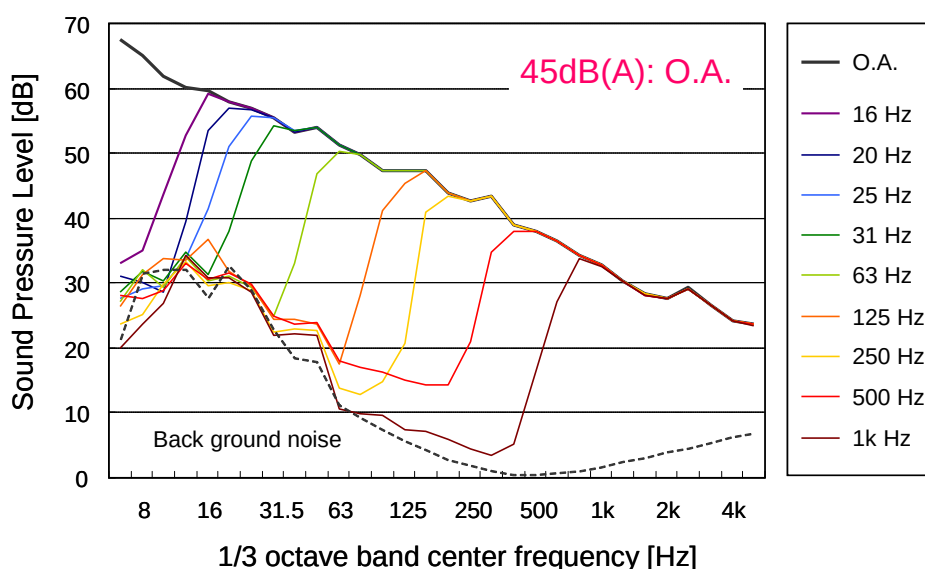
上述の実験-2では、風車騒音の高音域周波数成分を段階的に遮断して、低周波数成分の可聴性を検討したが、それと相補的な実験として、風車騒音の低周波数成分を段階的に遮断した場合の音の大きさ（ラウドネス）の変化を調べることを目的として、本実験を実施した。

b. 実験システム

この実験でも、実験-2で使用した実験システムをそのまま使用した。

c. 実験方法と手続き

実験-2でも用いた-4 dB/オクターブの周波数特性をもつ風車騒音のモデル音を標準刺激とし、その受聴位置におけるレベルをA特性音圧レベルで35, 45, 55 dBの3水準に設定した。これらの各標準刺激に対して、図(3)-14に示すように16 Hz～1 kHzまで遮断周波数を9段階に変化させたハイパスフィルタリング処理（遮断特性：48 dB/オクターブ）によって周波数成分の低周波数側から段階的に制限した信号を比較刺激とし、標準刺激との間のラウドネスマッチングをとる方法を用いた。このラウドネスマッチングの精度を確認するために、標準刺激と同じ周波数特性の音（over all）も比較刺激として加えた。なお、各試験音の立ち上がり／立ち下がり時間はそれぞれ0.5秒とした。

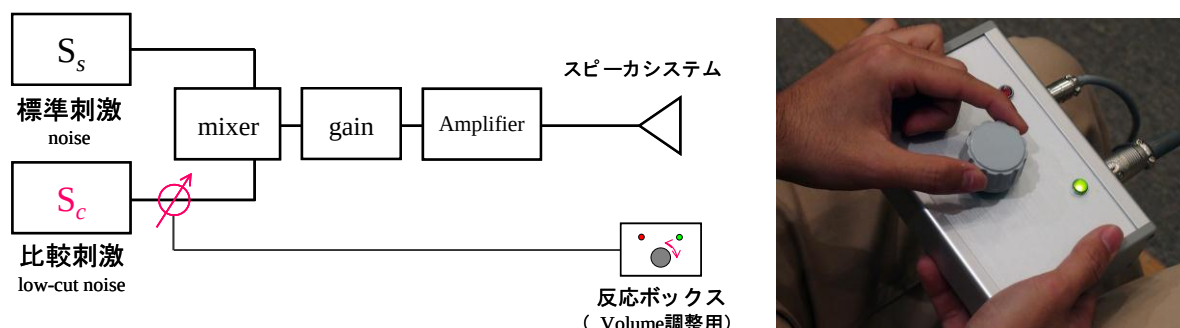


図(3)-14 実験に用いたモデル音（原音）とハイパスフィルタリング処理をした試験音

実験方法としては被験者調整法を適用した。すなわち、レベルを一定とした標準刺激 S_s に対してラウドネスが等しくなるように周波数成分を制限した各比較刺激 S_c のレベルを被験者自身が調整した。具体的には、最初に継続時間6秒の標準刺激 S_s が呈示され、続けて継続時間6秒の比較刺激 S_c が呈示される。被験者は比較刺激 S_c が呈示されている間に手元のボリューム調整用のダイヤルを回してラウドネスマッチングを行った（図(3)-15参照）。なお、標準刺激 S_s 、比較刺激 S_c の呈

示の際には、手元の反応ボックスにそれぞれ赤、青のLEDランプが点灯するようになっており、被験者は青ランプの点灯中に比較刺激 S_c の大きさを調整した。被験者から調整を終えた合図があるまで、標準刺激 S_s および比較刺激 S_c を繰り返して呈示し、各比較刺激の最終的な調整値を実験者が記録した。各試験音について試行は4回（上昇、下降、上昇、下降の4系列）とし、比較刺激の開始点のレベルは、上昇系列の場合には標準刺激 -15 dB、下降系列の場合には標準刺激 $+15$ dBに設定した。ただし、標準刺激 S_s の呈示レベルを 55 dBとした試験音については、実験装置の再生レベルの限界から標準刺激 $+5$ dB（ 60 dB）を上限とした。

実験では、手続きを確認するために予備実験を行った後、途中に適宜休憩を取りながら被験者1人あたり3時間～3時間半で実施した。実験中は受音室に設置した椅子に正しく座り、頭部をヘッドレスト近くに保つよう指示した。被験者として実験-1の純音閾値実験に参加した21歳～25歳の男女学生10名（男性7名、女性3名）の協力を得た。



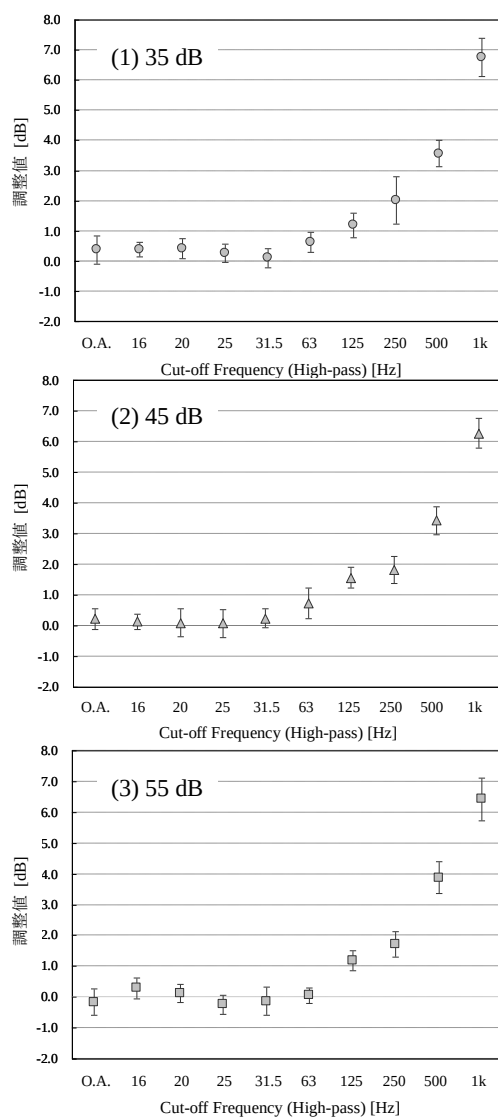
図(3)-15 被験者調整法による実験システムと反応ボックス

d. 実験結果

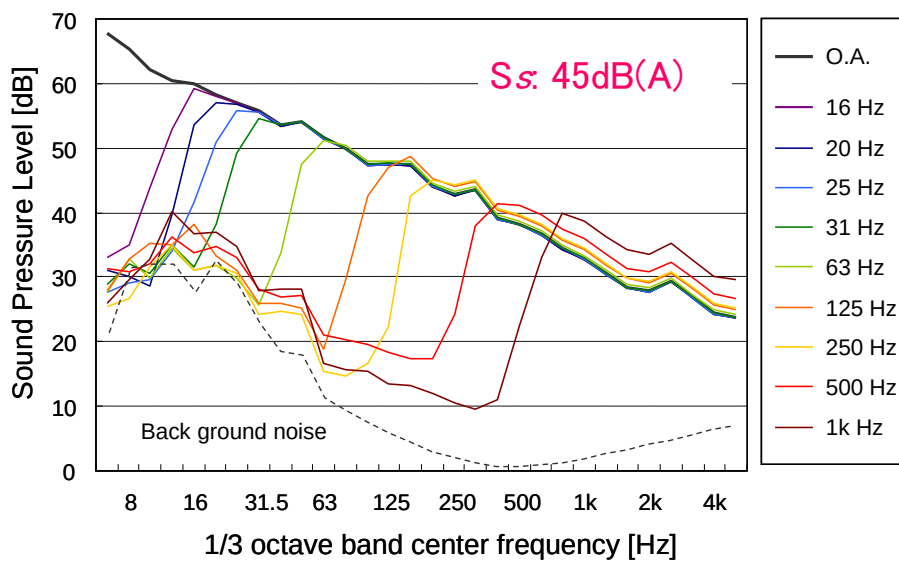
全30条件について被験者10名による4試行分の結果を用いて以下の考察を行った。遮断周波数が 125 Hz帯域以上の条件では、標準刺激と比較刺激の音色が異なり、ラウドネスを等しく調整することが難しいという内観報告が複数あったが、全被験者の調整値の標準偏差は 1 dB未満であったため、全員の結果を用いて集計を行った。各被験者が標準刺激とラウドネスが等しいと判断した比較刺激の調整値の平均値を標準刺激のレベルごとに整理した結果を図(3)-16に示す。図中、縦軸は図(3)-14に示す各比較刺激のレベルを 0 dBとした場合の相対レベルを表している。この結果をみると、標準刺激のレベルによらず、O.A. (over all) および遮断周波数 $16\sim 63$ Hzについては調整値がほぼ 0 dBとなっており、 63 Hz帯域以下の周波数成分を制限しても調整値はほぼ 0 で、ラウドネスはほとんど変化しない結果となっている。一方、遮断周波数を 125 Hz以上とした条件では、遮断周波数が高くなるにつれて調整値が大きくなっている。これは遮断周波数以下の成分がなくなることによるラウドネスの減少を補償していることを意味している。一例として、呈示レベルが 45 dBの標準刺激を用いた場合に同じラウドネスと判断された各比較刺激の周波数特性を図(3)-17に示す。

さらに、低周波数成分も含む広帯域騒音のラウドネス評価に適した騒音評価尺度を検討するために、試験音の $1/3$ オクターブバンド音圧レベルをもとにA特性音圧レベル（ L_A ）、C特性音圧レベル（ L_C ）及びISO 532のB法として規格化されているZwickerのラウドネスレベル（ LL_Z ）¹⁰を計算し

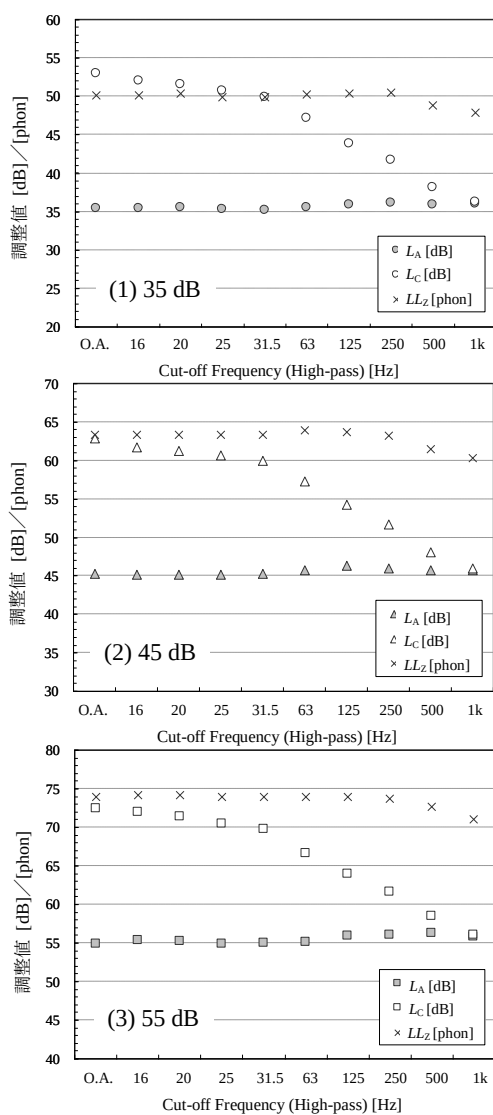
た。なお、 LL_z は25 Hz～12.5 kHzの1/3オクターブバンド音圧レベルから計算した¹¹⁾。ラウドネス評価および各種騒音評価量の算出結果を比較して、標準刺激のレベルごとに整理した結果を図(3)-18に示す。この結果をみると、標準刺激の設定レベルによらず、 L_A によるプロットが最も水平に近く、ラウドネスの評価として最も安定した結果となっている。精緻な聴覚モデルに基づく LL_z による結果がそれに次ぐが、 L_A による結果に比べて若干評価値のばらつきが見られる。それらに対して、 L_C による結果では評価値が大きく変動しており、ここで対象としているような周波数特性を持つ音のラウドネス評価の尺度としては不適切であることが分かった。



図(3)-16 ラウドネスマッチングの結果（調整値）



図(3)-17 等ラウドネスと判断された比較刺激の周波数特性（標準刺激45 dB）



図(3)-18 ラウドネスが等しいと判断された試験音の評価

この実験から、以下のことが言える。

- i. 風車騒音に含まれている低周波数成分（超低周波数領域および可聴周波数領域の約50 Hz以下の成分）のラウドネスに対する寄与はきわめて少ない。
- ii. 風車騒音のラウドネス評価のための騒音評価尺度としては、一般環境騒音の評価にも用いられているA特性音圧レベルが適していることが示唆された。

4) 実験-4：風車騒音に含まれる低周波数成分の可聴性(2)：帯域制限ノイズの聴覚閾値

a. 実験の目的

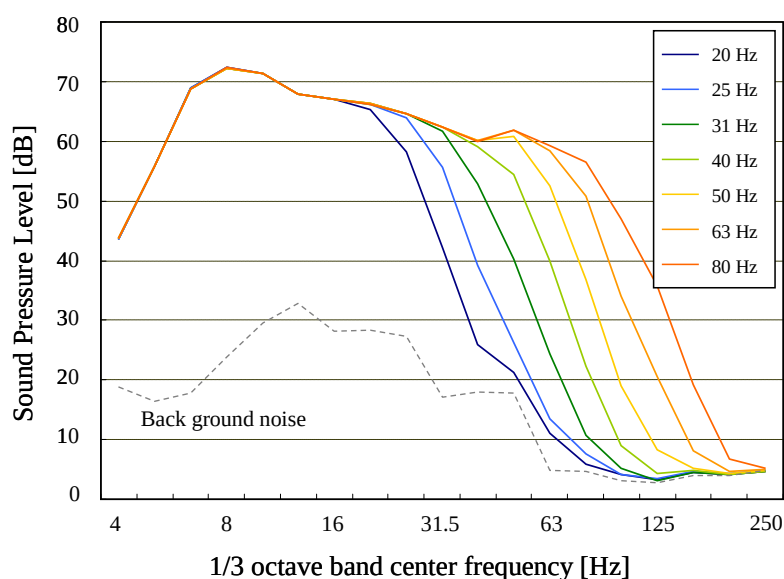
本研究の実験-2の結果では、風車近傍を含めて数百メートルの範囲で観測された風車騒音は騒音として可聴であっても、その超低周波音領域の周波数成分は聴感的には感じられないとの結果を得た。しかし、これらの低周波数成分の感覚閾値を調べておくことも必要である。そこで、本実験では風車音の低周波数成分に着目し、帯域制限ノイズに対する聴覚閾値を調べることを目的として、ローパスフィルタリング処理を施した帯域制限ノイズに対する聴覚閾値を調べる実験を行った。

b. 実験システム

この実験でも、実験-2及び実験-3で使用した実験システムをそのまま使用した。

c. 実験方法と手続き

風車音を人工的に合成した音（風車音をモデル化した-4 dB/オクターブの周波数特性をもつノイズ（以下、モデルノイズと呼ぶ）にローパスフィルタリング処理を施して高周波数成分を段階的に遮断した信号を作成した。A特性音圧レベルが55 dBのモデルノイズを用いて作成した各試験音の受聴位置における1/3オクターブバンドごとの音圧レベルを図(3)-19に示す。遮断周波数の下限は、実験装置の出力限界から20 Hz、上限は、実験室内の暗騒音の影響を考慮して80 Hzとし、1/3オクターブバンドの中心周波数ごと7段階の遮断周波数を設定した。なお、各試験音の下限周波数は遮断周波数に関わらず8 Hzとした。各試験音の再生レベルの範囲は予備実験によって得られた聴覚閾値のレベル ± 15 dB以上とし、その範囲で1 dBごとに作成した。試験音の継続時間は5秒、立ち上がり／立ち下がり時間はそれぞれ0.5秒とした。また、試験音の呈示間隔は1.5、2.0、2.5 秒の3水準として、ランダムになるよう設定した。

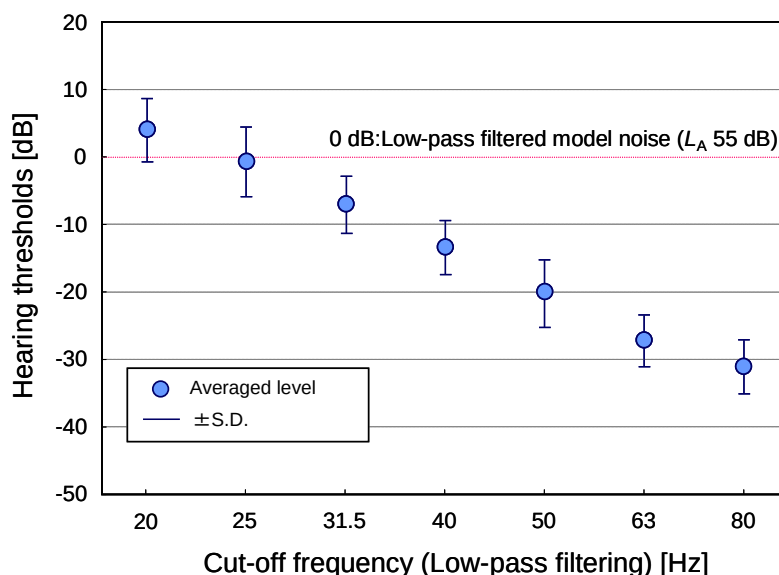


図(3)-19 ローパスフィルタリングによる周波数特性の例（モデルノイズ55 dB）

実験では、再生システムから上述の各試験音を放射し、受音室に設置した椅子に座った被験者に呈示した。実験中は受音室に設置した椅子に正しく座り、頭部をヘッドレスト近くに保つよう被験者に指示した。聴感実験の手続きには適応法（単純上下法）を採用し、被験者には「音が聞こえる」あるいは「耳元で何かを感じる」か否かをできるだけ直感的に判断するように教示した。「音が聞こえている」あるいは「耳元で何かを感じている」間は手元のボタンを押し続け、「聞こえなくなった」あるいは「耳元で何も感じなくなった」時にボタンを離す操作を繰り返させた。実験に際して、一般的な聴力では聞こえない試験音も含まれていることを被験者に告げ、本実験に先立って実験手続き等を確認するための練習を行い、その後、各試験音について5試行（下降・上昇・下降・上昇・下降）を行った。本実験の被験者は平成23年度に実施した純音閾値実験（実験-1）にも参加した20代の聴力正常な男女計10名（男性7名、女性3名）である。被験者1名あたりの7種類の試験音（ローパスフィルタ7段階）の聴感実験に要した時間は約1時間半～2時間で、その間に適宜休憩をはさみながら実施した。

d. 実験結果

試験音ごとに聴覚閾値レベルの算術平均値および標準偏差を集計した結果を図(3)-20に示す。この図の縦軸は図(3)-19に示す各試験音のレベルを0 dBとして表わしており、「音が聞こえない」あるいは「耳元で何かを感じない」という判断から「音が聞こえる」あるいは「耳元で何かを感じる」と判断する境界のレベルとの相対関係を示している。図(3)-20をみると、判断のばらつきは試験音によらず同程度となっており、遮断周波数が低いほど閾値のレベルが高くなっている。

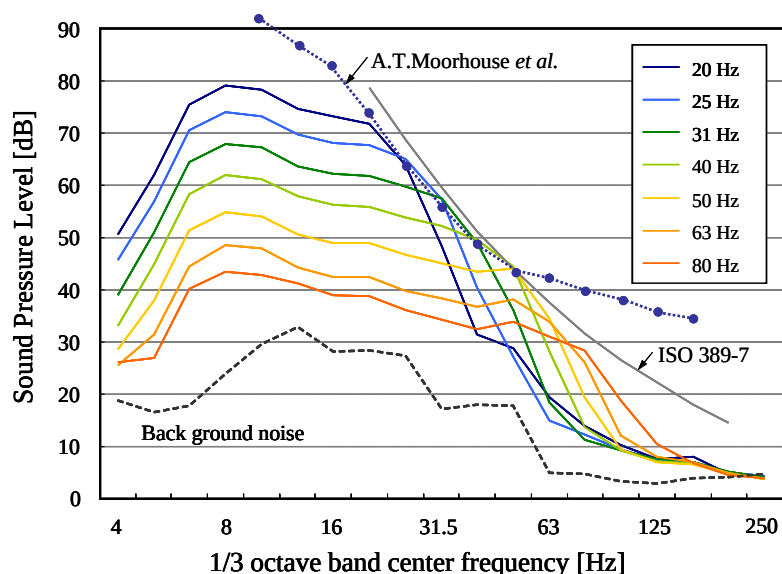


図(3)-20 各試験音に対する聴覚閾値

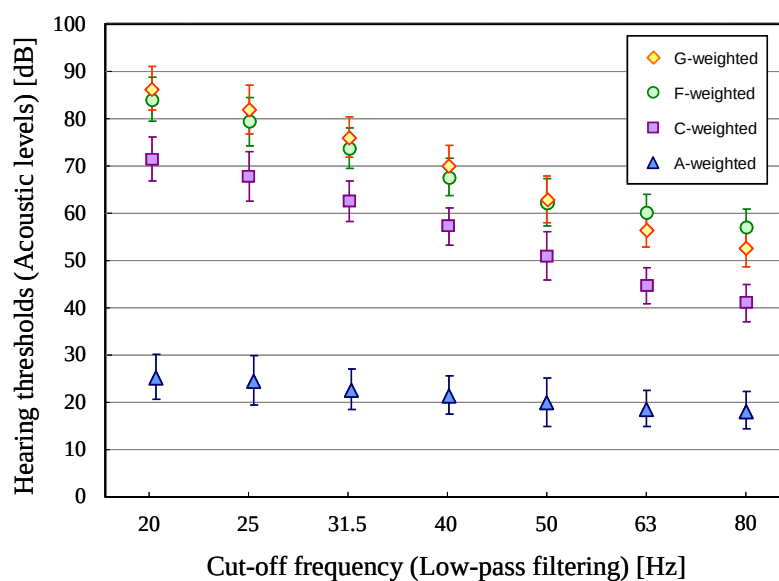
また、各試験音の閾値レベルにおける1/3オクターブバンドごとの音圧レベルを図(3)-21に示す。この図中にはISO 389-7:2005に規定されている可聴周波数範囲の純音聴覚閾値も合わせて示すが、本実験で得られた聴覚閾値における試験音の音圧レベルは、ISO 389-7による純音閾値を結ぶ曲線に下から接する結果となっている。すなわち、広帯域成分を含む騒音を対象として1/3オクターブ

バンド分析の結果が純音閾値を結ぶ曲線に下から接するレベルで「音が聞こえる」あるいは「耳元で何かを感じる」という感覚が生じ始めることが分かった。また、図中にA. T. Moorhouse他が提案している低周波音問題の有無を判定するための限界曲線（1/3オクターブバンド音圧レベル）¹²⁾を示すが、本実験の結果は20 Hz～50 Hzの範囲でこの曲線ともほぼ接している。

さらに、各試験音を閾値レベルで再生した場合の各種周波数重み付け特性による音圧レベルを算出した結果を図(3)-22に示す。この結果を見ると、A特性音圧レベルで評価した場合に遮断周波数によらず閾値のレベルはほぼ20 dB前後で一定となっており、他の周波数重みづけ特性による評価に比べて安定している。これは、この実験で対象とした超低周波音成分も含む帯域雑音に対しても、A特性音圧レベルによる評価が適用できることを示唆している。



図(3)-21 各試験音を閾値レベルで再生した場合の周波数特性（1/3オクターブバンド）



図(3)-22 各試験音を閾値レベルで再生した場合の周波数特性（1/3オクターブバンド）

5) 実験-5：振幅変調音の聴感印象(1)：風車騒音に含まれる振幅変調音の可聴性

a. 実験の目的

風車騒音にはローターの回転に伴って規則的に脈動する振幅変調音 (swish音) が含まれており、これによって聴覚的アノイアンスが大きくなる可能性がある^{13~19)}。そこで、この問題について、まず振幅変調音の可聴性を調べることを目的として基礎的な聴感実験を行った。

b. 実験システム

この実験でも、実験-2、実験-3及び実験-4で使用した実験システムをそのまま使用した。

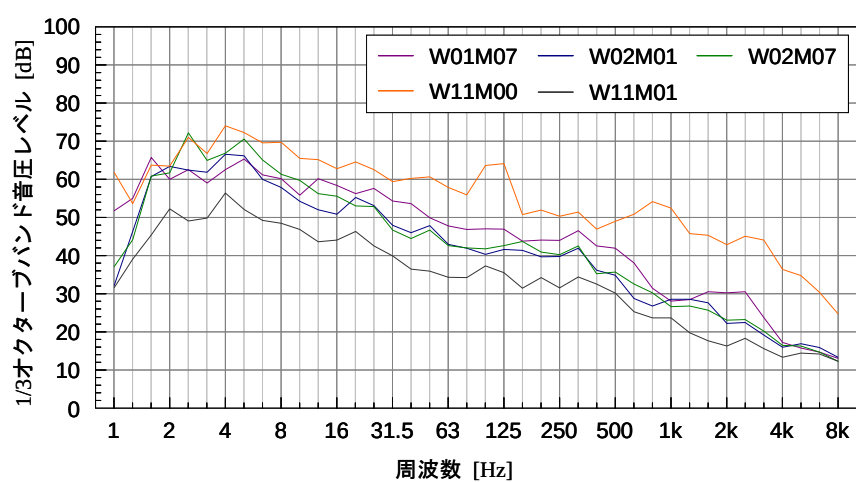
c. 実験方法と手続き

試験音としては、風力発電施設周辺において広帯域音圧レベル計によって収録した音の中から代表的な例として振幅変調音を含む風車実音を5種類選定し、それぞれについて段階的にローパスフィルタリング処理を施して周波数帯域を制限した信号を作成した。この実験に用いた5種類の試験音の周波数特性およびA特性音圧レベルの時間変動特性をそれぞれ図(3)-23及び図(3)-24に示す。遮断周波数は1k Hz～125 Hzの1オクターブバンドごとの4段階と100 Hz～20 Hzの1/3オクターブごとの8段階の全12段階とした（遮断特性：48 dB/オクターブ）。すなわち、本実験で用いた試験音はSwish音を含む風車実音を5種類に対して、それぞれローパスフィルタリング処理を施した12段階に原音を加えた13条件の計65条件である。

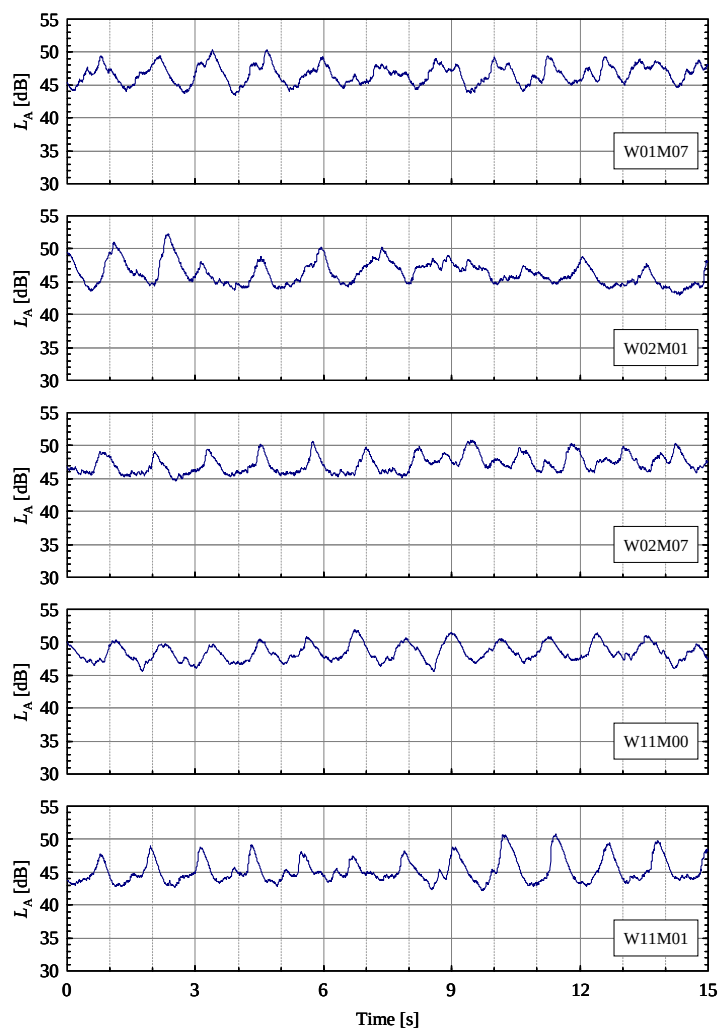
この実験では、実験に先立って被験者には風車が回転しているビデオを見せ、風車では羽の回転に伴って規則的に変動する音が聞こえることを認識させ、その規則的な変動感を調べることを目的であることを伝えた上で実験に入った。

再生システムから各試験音を放射して受聴位置の椅子に座った被験者に提示した。試験音の提示順序については、5種類の音源をランダムに配列し、各音源で原音から遮断周波数が順次低くなるよう被験者に提示した。試験音の提示時間は15秒で、被験者1名あたりの聴感実験に要した時間は約30分であった。

聴感実験の手続きとして、被験者にはそれぞれの試験音について「音が聞こえる」あるいは「耳元で何かを感じる」か否かをできるだけ直感的に判断し、「音が聞こえる」あるいは「耳元で何かを感じる」と回答した場合は「風車の回転に伴う規則的な音の変化（以下、「変動感」と記す）」を3段階の評定尺度（0：全く変動が感じられない／1：わずかに変動が感じられる／2：はっきりと変動が感じられる）により口頭で数字を回答するように指示した。本実験に先立って実験手続き等を確認するための練習を行い、実験中は受音室に設置した椅子に正しく座り、頭部をヘッドレスト近くに保つよう被験者に指示した。この実験の被験者は実験-4の被験者と同じ20代の聴力正常な男女計10名（男性7名、女性3名）である。



図(3)-23 試験音の周波数特性

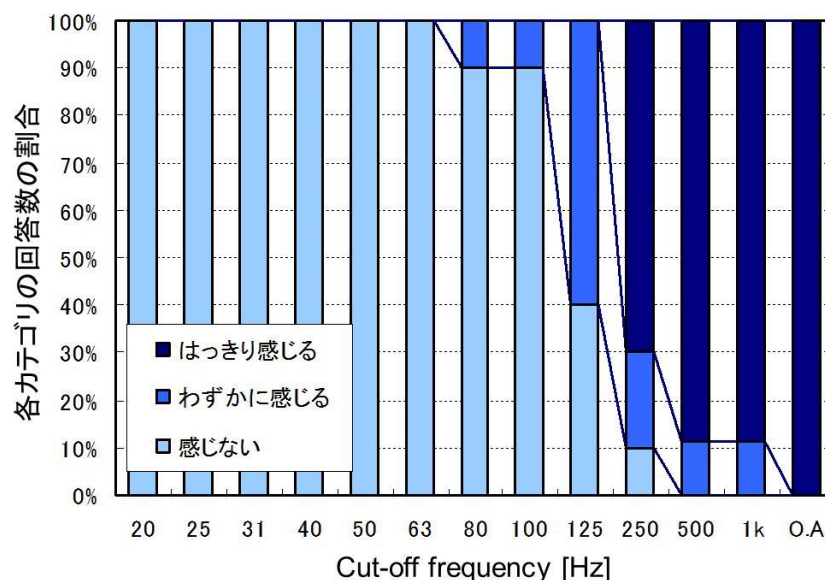


図(3)-24 5種類の試験音（風車騒音）の振幅変調によるA特性音圧レベルの変動

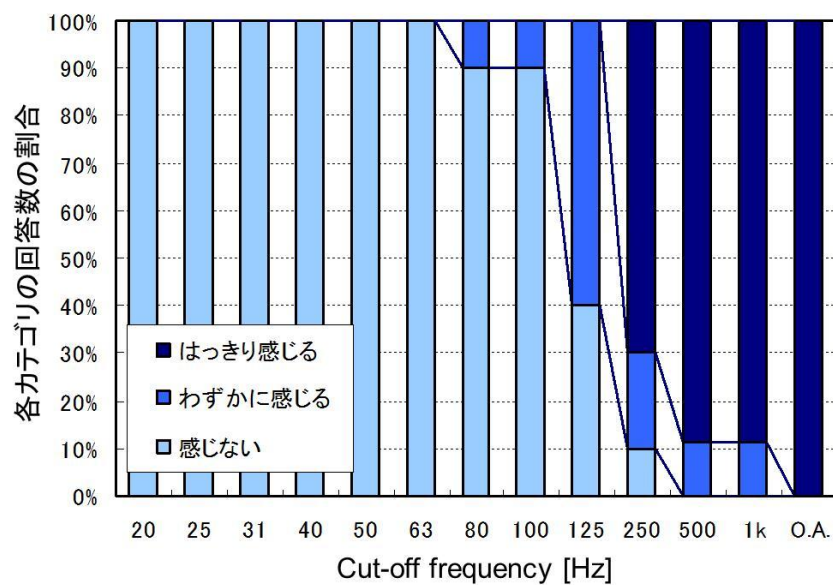
d. 実験結果

5種類の風車騒音について、それぞれの試験音の遮断周波数とそれらに対する変動感の被験者の回答結果をそれぞれ図(3)-25～図(3)-29に示す。これらの結果をみると、いずれの風車騒音についても遮断周波数が低くなるほど変動感は感じられなくなる傾向が見られる。しかし、風車近傍の風車騒音に関しては、居住エリアで収録された他の4種類の風車騒音よりも遮断周波数が低い試験音まで変動感が感じられる傾向が認められた。これらの結果から、居住エリアで収録された風車騒音では100 Hz以下の周波数成分のみに帯域制限した場合には変動感は感じられなくなり、風車近傍の風車騒音では50 Hz以下の成分のみに帯域制限した場合に変動感を感じられなくなる結果となっている。また、「音が聞こえる」あるいは「耳元で何かを感じる」か否かの判断結果を見ると、居住エリアにおいては50 Hz以下の成分のみに帯域制限した場合、「音は聞こえない／耳元で何も感じない」ことがわかった。

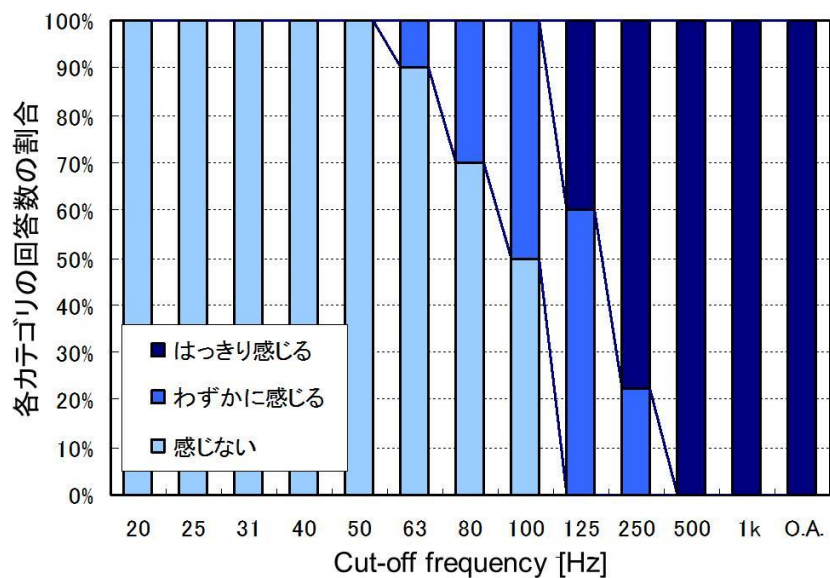
各試験音について、変動感に関する3段階の評定尺度の回答結果から「1：わずかに変動が感じられる」と「2：はっきりと変動が感じられる」という被験者の回答を「変動感を感じる」と捉え、遮断周波数と変動感を感じると回答した被験者の人数を整理して図(3)-30に示す。この結果をみると、全周波数帯域が含まれるover allおよび遮断周波数を500 Hz以上とした場合にはすべての風車騒音で10名の被験者すべてが「変動感を感じる」と判断しているが、遮断周波数が低くなるにつれて「変動感を感じる」人数が少なくなり、その傾向は風車騒音の種類によって異なっている。風車近傍で収録された風車騒音（W11M0）以外の4種類の風車騒音に着目すると、遮断周波数を50 Hz以下とした場合には全ての被験者が変動感を感じていない結果となっている。



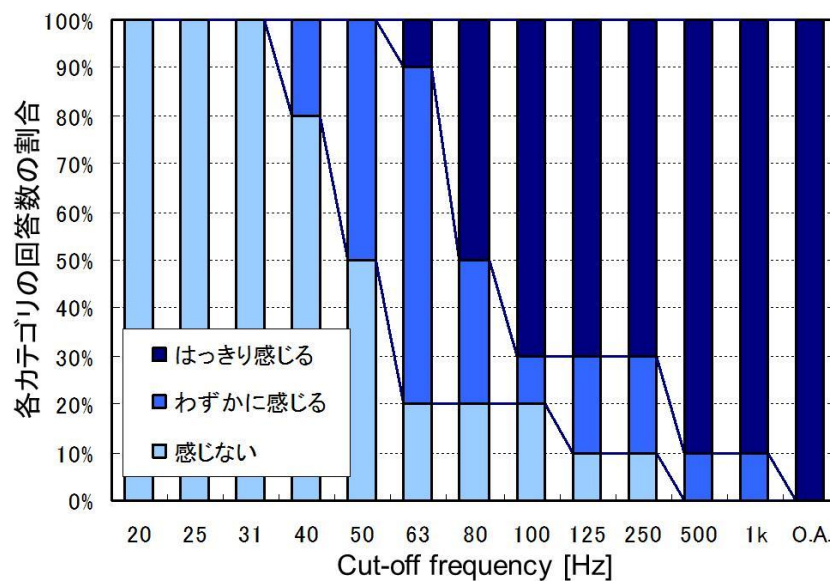
図(3)-25 試験音の遮断周波数に対する変動感に関する各カテゴリの回答数の割合
(W01M7 L_A :46.4 dB、音源からの距離:262 m)



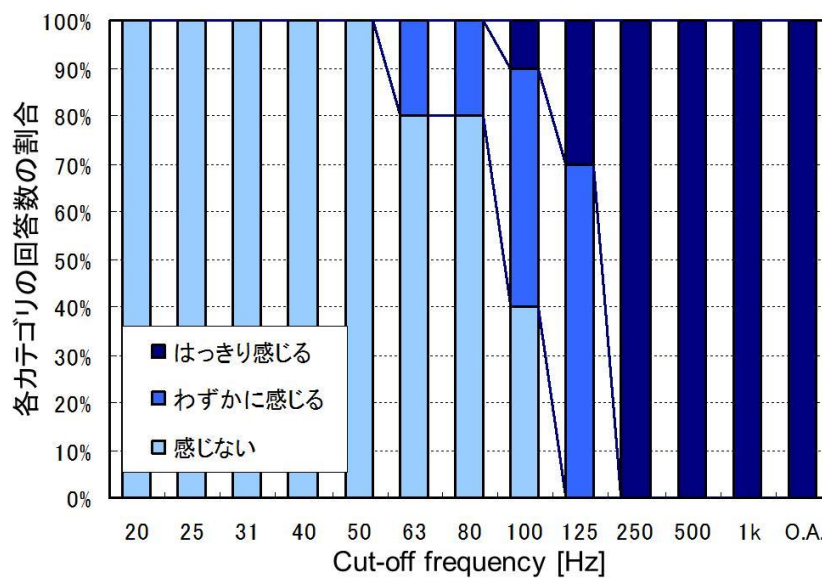
図(3)-26 試験音の遮断周波数に対する変動感に関する各カテゴリの回答数の割合
(W02M1 L_A :41.3 dB、音源からの距離:416 m)



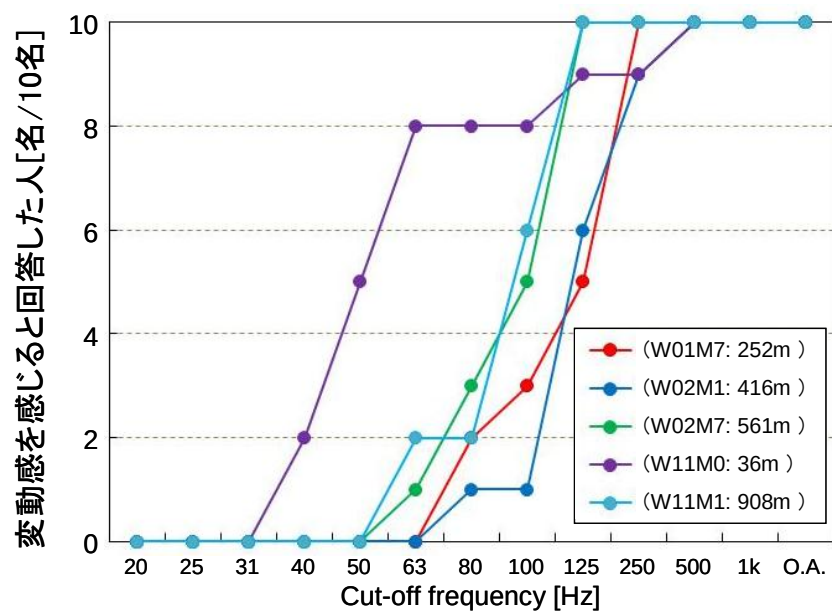
図(3)-27 試験音の遮断周波数に対する変動感に関する各カテゴリの回答数の割合
(W02M7 L_A :41.9 dB、音源からの距離:561 m)



図(3)-28 試験音の遮断周波数に対する変動感に関する各カテゴリの回答数の割合
(W11M0 $L_A: 59.5$ dB、音源からの距離: 36 m)



図(3)-29 試験音の遮断周波数に対する変動感に関する各カテゴリの回答数の割合
(W11M1 $L_A: 35.4$ dB、音源からの距離: 908 m)



図(3)-30 試験音の遮断周波数と変動感を感じる割合の関係

6) 実験-6：振幅変調音の聴感印象(2)：振幅変調の強さとノイジネスの関係

a. 実験の目的

実験-5では、風車騒音に含まれる振幅変調音に含まれている周波数成分に着目して変動感を調べたが、振幅変調の強さ（以下、振幅変調度と呼ぶ）とやかましさの印象（ノイジネス）を調べることを目的とした実験を行った。

b. 実験システム

この実験でも、実験-2～実験-5で使用した実験システムをそのまま使用した。

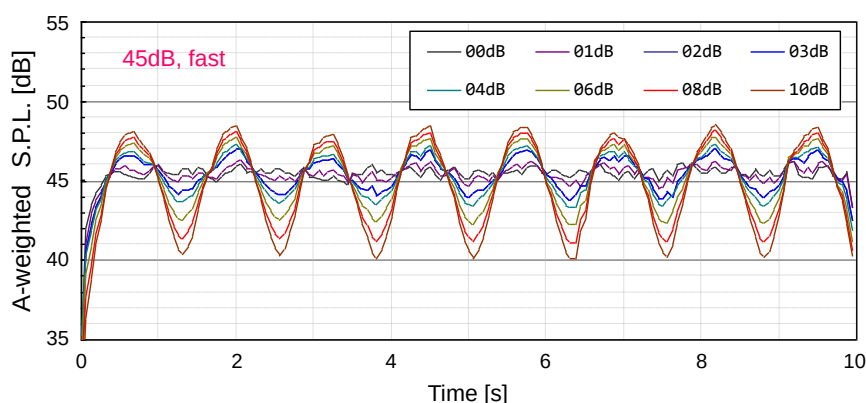
c. 実験方法と手続き

風車騒音に含まれる振幅変調音の振幅変調度と風車騒音に対する総合的なノイジネス反応との関係を調べるために、風車騒音のモデル音の変調度を段階的に変化させて風車騒音の振幅変調音をモデル化し、被験者調整法を用いた聴感実験を行った。

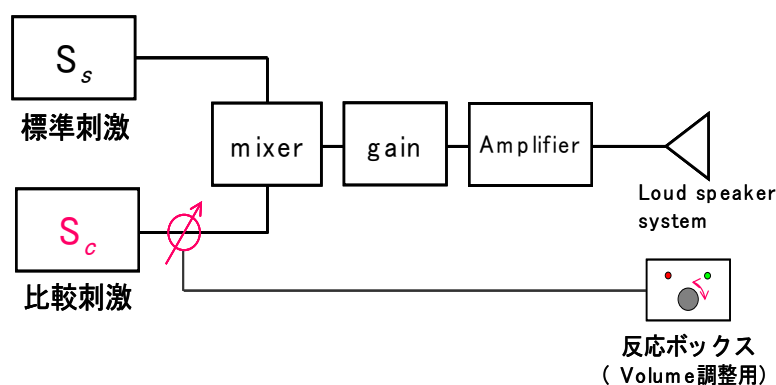
試験音としては、実験-2でも使用した-4 dB/オクターブの周波数特性をもつ風車騒音のモデル音を標準刺激とし、その提示レベルをA特性音圧レベルで35 dB, 45 dB の2水準に設定した。これらの標準刺激に対して、図(3)-31に示すように振幅変調度を8段階に変化させた信号を比較刺激とし、提示レベルを固定した標準刺激とノイジネスが等しくなる比較刺激のレベルを被験者調整法によって調べる方法をとった。なお、ノイジネスマッチングの精度を確認するために、標準刺激と同じ振幅変調度の音も比較刺激として加えている。標準刺激及び比較刺激の提示の際には、手元の反応ボックスにそれぞれ赤、青のLEDランプを点灯させ、被験者は青ランプの点灯中に比較刺激の大きさを調整した（図(3)-32参照）。

この実験でも、実験-5と同様に、被験者には風車騒音の振幅変調音の聴感的影響を調べることを事前に認識させた上で実験を行った。この実験の被験者は実験-4、5の被験者と同じ20代の聴力正常な男女計10名（男性7名、女性3名）である。

実験の手続きとして、受音室の所定の位置に設置した椅子に座った被験者に、標準刺激と比較刺激を組みにしてそれぞれ10秒間提示し、標準刺激とノイジネス（やかましさ）が等しくなるように比較刺激のレベルを調整させた。この調整は、被験者が納得のいくまで繰り返し行った。各試験音について4試行（上昇・下降・上昇・下降）を行い、各試験音の提示順序は変調度がランダムになるように設定した。また、調整終了後、被験者にはそれぞれの比較刺激がどのように聞こえたかを擬音語を用いて口頭で自由に表現させた。被験者1名あたりの実験に要した時間は休憩を含め約1時間～1時間半であった。



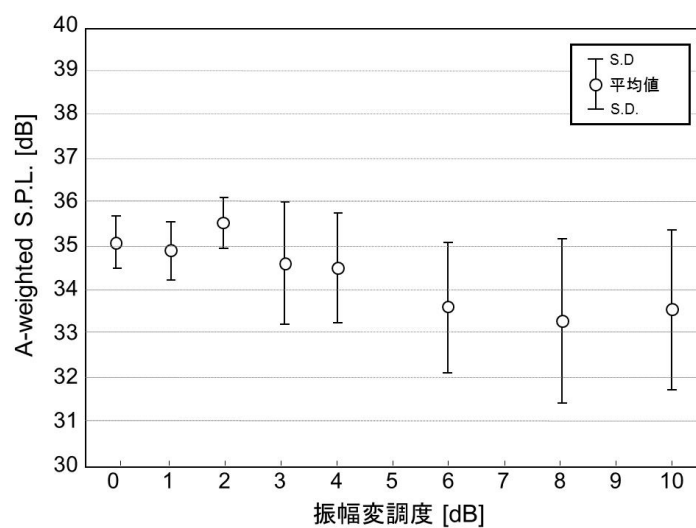
図(3)-31 振幅変調度のバリエーションの例（試験音45 dB, Fast特性）



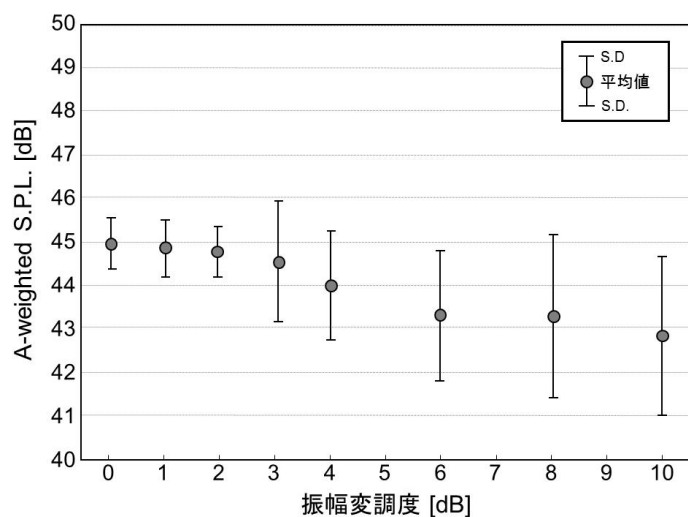
図(3)-32 実験システムのブロック図（実験-6）

d. 実験結果

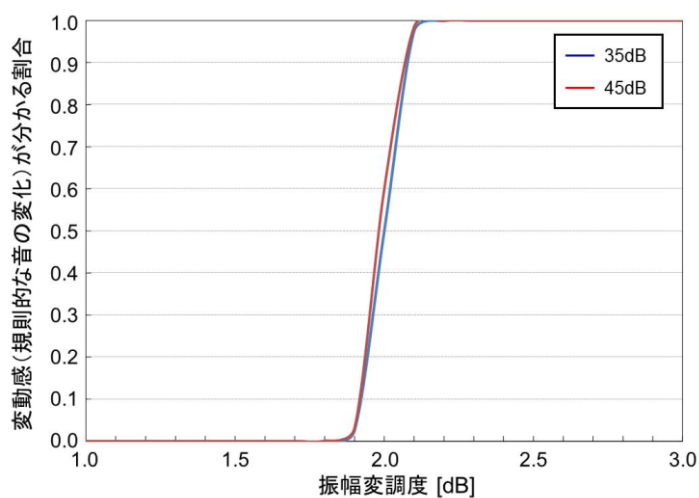
ノイジネス・マッチングの結果を標準刺激の提示レベル（A特性音圧レベルで35 dB、45 dB）の別に図(3)-33、図(3)-34に示す。これらの図の横軸は振幅変調度で、それぞれ比較刺激に相当する。振幅変調度0は標準刺激と同じ振幅変調度の試験音で、ノイジネス・マッチングの精度を確認するために比較刺激に加えた。縦軸はノイジネス・スマッチングにより被験者が標準刺激と同じノイジネスと判断した比較刺激のA特性音圧レベルである。図(3)-33及び図(3)-34中の○印はそれぞれの比較刺激に対する被験者10名の調整結果の平均値で、その上下のバーは $\pm\sigma$ （標準偏差）を示している。これらの結果をみると、標準刺激の提示レベルによらず、振幅変調度0、1、2 dBについては調整値がほぼ0 dBとなっており、被験者の判断の個人差も小さい。一方、振幅変調度が3 dB以上の場合には、調整値が平均値で0.5～2.0 dB程度小さく、ばらつきも大きくなっている。すなわち、これらの条件では低いレベルで標準刺激と同じノイジネスと感じられることを意味している。さらに、被験者が比較刺激を表現した擬音語から、変動性を感じていると思われる擬音語（ザーザーッ、ザーンザーン、グアングアンなど）で表現していた比較音を変動感が感じられていると捉え、ロジスティック回帰分析により振幅変調度の変化に対する変動感を感じる人の割合を検討した。振幅変調度と変動感を感じる人の割合の関係を図(3)-35に示す。この結果から、提示レベルによらず振幅変調度が2.0 dBになるとほぼ100 %の確率で変動感を感じることが示唆される。



図(3)-33 ノイジネスマッチングの結果（標準刺激：35 dB）



図(3)-34 ノイジネスマッチングの結果（標準刺激：45 dB）



図(3)-35 振幅変調度と変動感を感じる割合の関係

7) 実験-7：低周波数成分を含む一般環境騒音のラウドネス評価のための騒音評価尺度の検討

a. 実験の目的

本研究では、風車騒音を主たる対象として特に低周波数成分の影響に重点を置いて研究を行ったが、他の環境騒音との比較も行う必要がある。そこで、多様な状況で観測される一般環境騒音に風車騒音も含めて、騒音評価の基本であるラウドネス反応を調べることを目的とし、本実験を実施した。

b. 実験システム

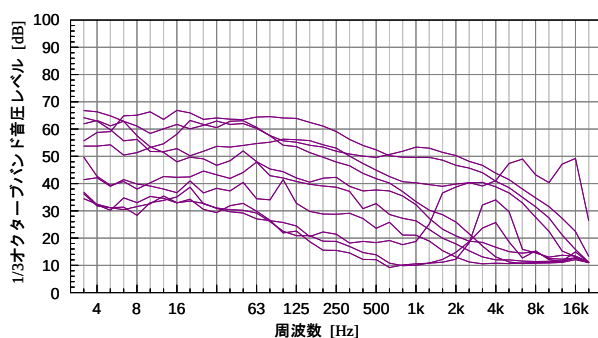
この実験でも、基本的には実験-2～実験-6で使用した実験システムを使用した。試験音の特性から中・高音域の音圧レベルを増大させる必要があるため、中・高音用スピーカをやや大型のものに更新した。低音と中・高音用スピーカのクロスオーバー周波数は、これまでの実験と同様に224 Hzとした。なお、再生システム全体の周波数特性を補正するために、実験システムの信号入力点からスピーカ、受音室を経て受音点に至る再生系全体のインパルス応答の測定を行い、それを用いて逆フィルタリング処理を行った。なお、再生システム的能力から、再生最低周波数は4 Hzとした。

c. 実験方法と手続き

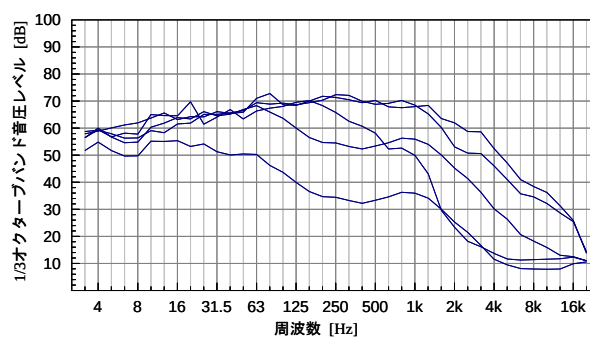
超低周波音領域までの低周波数成分を含む様々な一般環境騒音のラウドネス評価のための聴感物理量を検討するために、以下のような様々な環境で収録した28種類の環境音と5種類の風車騒音及び風車騒音のスペクトル特性をモデル化した人工音（レベルを5段階に変化）の合計38種類の試験音を実験室内で再生し、7段階の評定尺度法による聴感実験を実施した。これらの試験音の受聴点における音圧の1/3オクターブバンド音圧レベルの分析結果を図(3)-36に示す。実際の環境で収録した音は、受音点で現実のレベルになるように再生した。

- a) 自然環境（山中、海浜）や様々な一般居住地域における環境音：10種類
- b) 沿道、沿線、航路直下における交通機関（道路、在来鉄道、航空機）の騒音：5種類
- c) 自動車、在来鉄道、新幹線鉄道、航空機内の騒音：7種類
- d) その他の環境騒音（設備機械の騒音、工事騒音、地下鉄固体音、公共空間の音など）：6種類
- e) 風車騒音（風車直下および周辺居住地域における騒音）：5種類
- f) 風車騒音のモデル音（-4 dB/オクターブのスペクトル特性）35, 45, 55, 65, 75 dB(A)の5段階

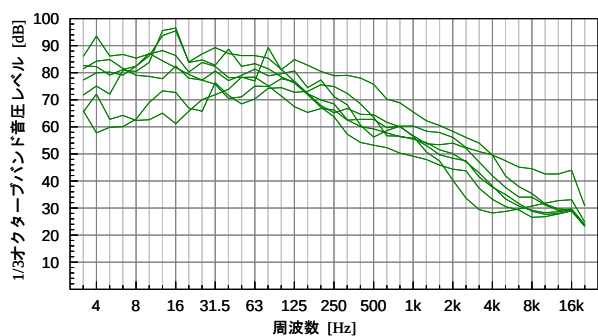
実験では、受音室の所定の位置に設置した椅子に座った被験者に、上記38種類の試験音をランダムな順序でそれぞれ10秒間提示し、各試験音に対する「音の大きさの感じ」を図(3)-37に示すように7段階の評定尺度を用いて1～7の整数値を口頭で回答させた。なお、被験者の評価の再現性を確認するため、被験者1名に対して2試行を行った。被験者1名あたりの実験に要した時間は約30分であった。この実験の被験者は20代の聴力正常な男女計20名（男性18名、女性2名）である。



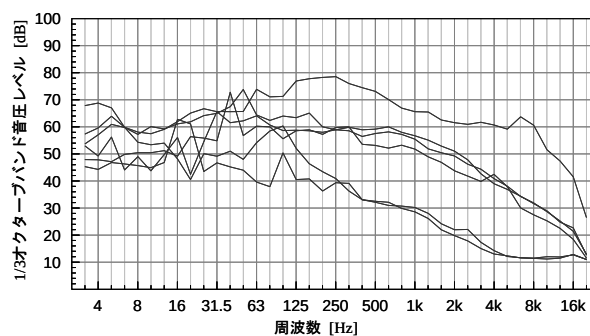
a) 自然環境（山中、海浜）や様々な一般居住地域における環境音：10種類



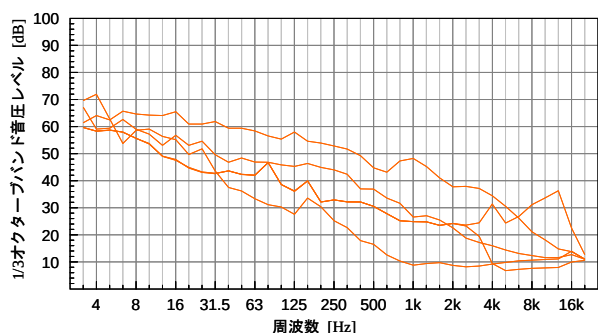
b) 沿道、沿線、航路直下における交通機関（道路、在来鉄道、航空機）の騒音：5種類



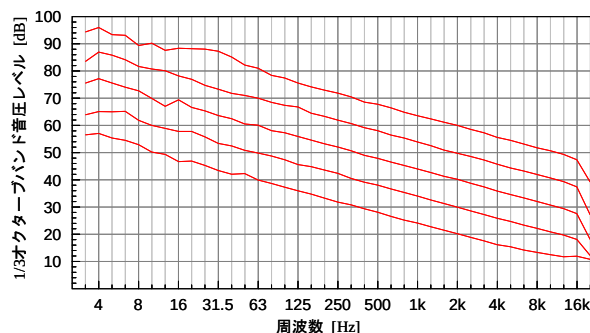
c) 自動車、在来鉄道、新幹線鉄道、航空機内の騒音：7種類



d) その他の環境騒音（設備機械の騒音、工事騒音、地下鉄固体音、公共空間の音など）：6種類

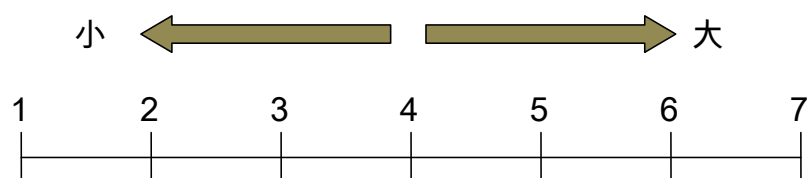


e) 風車騒音（風車直下および周辺居住地域における騒音）：5種類



f) 風車騒音のモデル音（-4 dB/octaveのスペクトル特性）35, 45, 55, 65, 75 dB(A)の5段階

図(3)-36 実験-7に使用した環境騒音の周波数特性（受音点）



図(3)-37 7段階の評定尺度

d. 実験結果

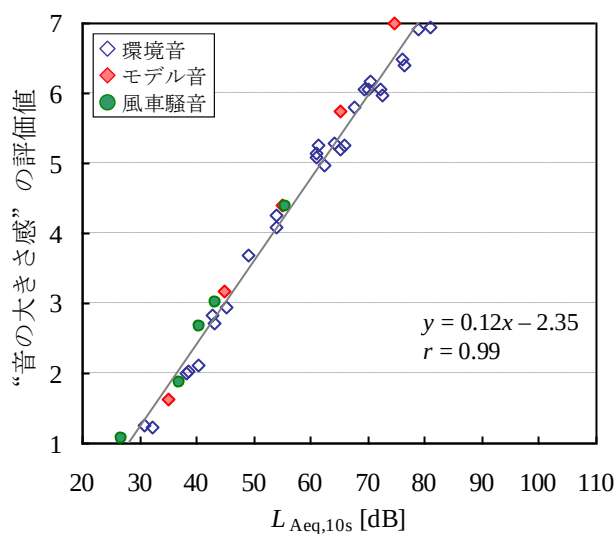
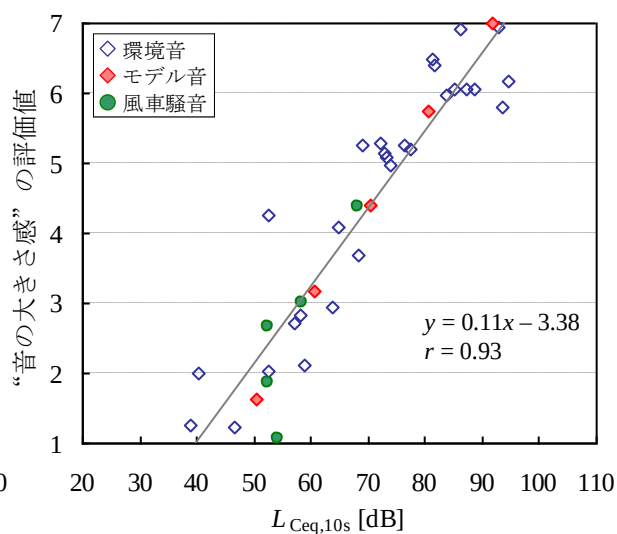
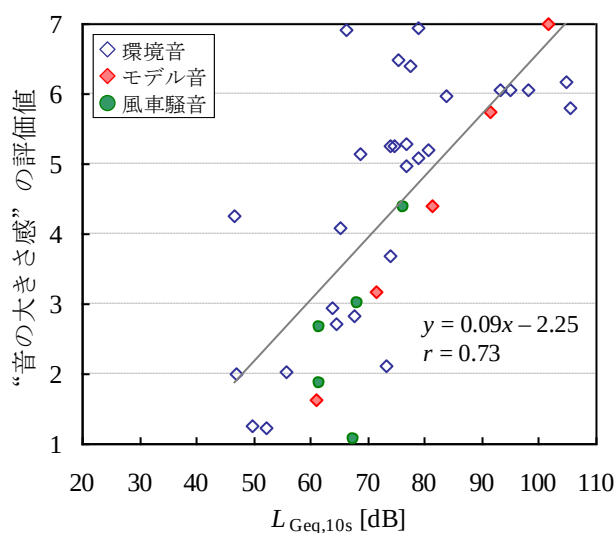
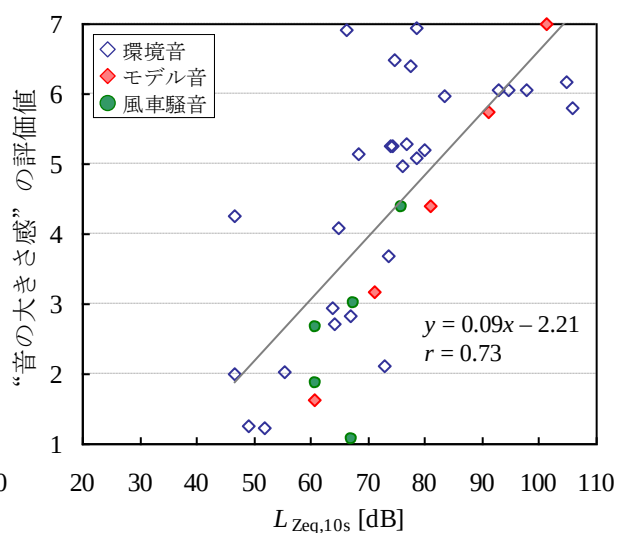
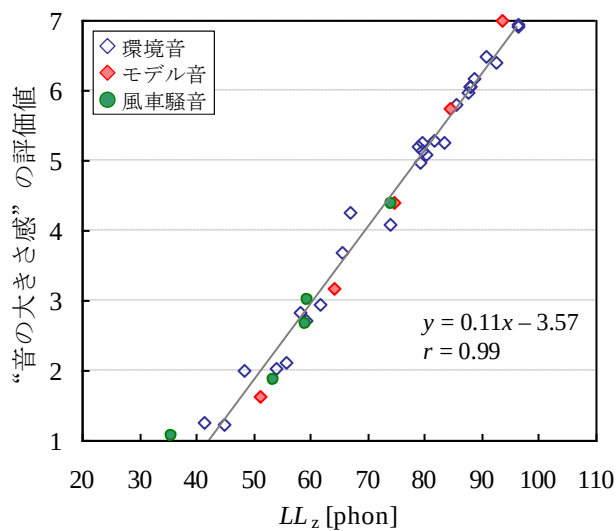
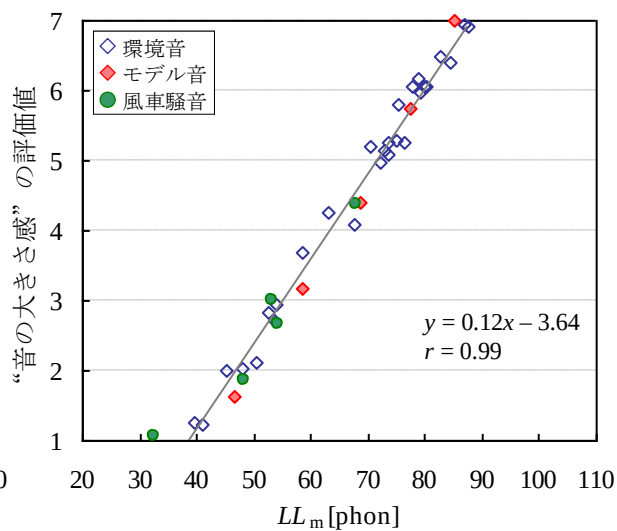
この実験では、レベル、スペクトル特性ともに多様な環境音（ほぼ定常音）を試験音としてラウドネス（音の大きさ感）の評価を行った。その評価結果を整理するにあたり、音の評価尺度としてA特性音圧レベル（ L_A ）、C特性音圧レベル（ L_C ）、G特性音圧レベル（ L_G ）、Z特性（平坦）音圧レベル（ L_Z ）、Zwickerのラウドネスレベル（ LL_Z ）^{10,11)}及びMooreのラウドネスレベル（ LL_m ）²⁰⁾を求め、ラウドネスとの対応を調べてみた。ただし、 LL_Z 、 LL_m はそれぞれ中心周波数25 Hz～12.5 kHz、50 Hz～16 kHzの1/3オクタバンド音圧レベルの値から計算した。

その結果を図(3)-38～図(3)-43に示す。これらの結果で、横軸は各試験音の継続時間10秒にわたって上記の評価尺度で評価した値（ $L_{Aeq,10s}$ 、 $L_{Ceq,10s}$ 、 $L_{Geq,10s}$ 、 $L_{Zeq,10s}$ 、 LL_Z 、 L_M ）で、縦軸は被験者20名のラウドネス評価値の平均である。

これらの結果をみると、 L_A 及び LL_Z 、 LL_m で整理した結果では相関係数が0.99と非常に高く、ばらつきも小さい。それに対して、 L_C 、 L_G 、 L_Z で整理した結果では相関係数が低く、ばらつきも大きい。

ここで用いた騒音評価尺度のうち、A特性音圧レベル L_A は、ラウドネスに関するヒトの聴感特性を反映させて提案され、一般環境騒音の評価にも国際的に広く用いられている量であり、測定・分析もきわめて簡単である。Zwickerのラウドネスレベル LL_Z 、およびMooreのラウドネスレベル LL_m は精緻な聴覚モデルに基づく評価量であるが、本実験の結果を見る限り、ラウドネスとの対応はA特性音圧レベルより勝っているとは言えない。

以上に述べた本実験の結果から、一般環境に存在する多様な音について超低周波音領域までの低周波数成分を含めて評価した場合でも、音の最も基本的な聴感特性であるラウドネスを説明する聴感物理量としてA特性音圧レベル（騒音レベルともいう）が優れていることが確認された。

図(3)-38 L_A とラウドネスの関係図(3)-39 L_C とラウドネスの関係図(3)-40 L_G とラウドネスの関係図(3)-41 L_Z とラウドネスの関係図(3)-42 LL_z とラウドネスの関係図(3)-43 LL_m とラウドネスの関係

4. 結果及び考察

本サブテーマでは、風車騒音などで問題となっている低周波数の音に対する人の聴覚反応について、一連の研究を行った。その結果とそれに基づく考察は以下の通りである。

1) 実験-1：低周波数の純音に対する聴覚閾値

超低周波音領域から可聴周波数領域にわたる 10 Hz～200 Hz の低周波数の音に対するヒトの聴覚閾値に関して、20 歳代から 60 歳代までの広範囲な被験者を対象とした実験を行った。その結果、これまで世界各国で行われている類似の実験とほぼ一致した結果が得られた。また、年代別の閾値の比較としては、20 歳代から 50 歳代までの間では有意な差は見られないが、60 歳代と 20 歳代の間では、多くの周波数で 60 歳代は 20 歳代に比べて閾値が高くなる有意な傾向が見られた。この実験結果から、低周波数の音に対する加齢に伴う閾値の上昇は 60 歳代で若干見られるが、高周波数の音に比べて上昇の程度は少ないと言える。

2) 実験-2：風車騒音に含まれる低周波数成分の可聴性(1)

風車騒音の周波数成分をローパスフィルタリング処理によって高音域成分を段階的に遮断して実験を行った結果、風車騒音に含まれる超低周波音及び可聴周波数領域の数 10 Hz 以下の成分は、風力発電施設周辺の居住地域で一般的に観測される風車騒音では不可聴であることが分かった。この結果は、引用文献 21～24 に述べられている結果と矛盾しない。

3) 実験-3：風車騒音に含まれる低周波数成分のラウドネスに対する寄与

上記の実験と相補的な実験として、風車騒音をモデル化した試験音についてハイパスフィルタリング処理によって低音域成分を段階的に遮断してラウドネス実験を行った結果、風車騒音に含まれる超低周波音及び可聴周波数領域の数 10 Hz 以下の成分は、ラウドネスにはほとんど寄与していないことが確かめられた。また、周波数特性に大きな変化をつけた音についても、ラウドネスとの対応は A 特性音圧レベルが精緻な聴覚モデルに基づいて提案されている Zwicker あるいは Moore のラウドネスレベルに比べても遜色がないことが分かった。これは、風車騒音に対しても騒音評価量として A 特性音圧レベルが適用できることを示唆している。

4) 実験-4：風車騒音に含まれる低周波数成分の可聴性(2)：帯域制限ノイズの聴覚閾値

上記の 2) に関連して、風車騒音をモデル化した音を原音とし、ローパスフィルタリング処理によってその高音域成分を段階的に遮断した試験音を作り、それらのレベルを増減して聴覚閾値を調べた。その結果、1/3 オクターブバンド分析によるスペクトル特性曲線が ISO 389-7 に示されている純音に対する閾値曲線に下から接するレベルで聴覚反応が生じ始めることが明らかとなった。また、そのレベルは、周波数特性の大幅な変化に関わらず A 特性音圧レベルで 20 dB 前後となることが分かった。この実験によって、低周波数成分が卓越する帯域ノイズの可聴性を判断する基礎が得られた。

5) 実験-5：振幅変調音の聴感印象(1)：風車騒音に含まれる振幅変調音の可聴性

風車騒音に含まれている振幅変調音の聴感上の問題として、変動感が生じる周波数成分を調べ

るために、ローパスフィルタリング処理によって風車騒音の高音域成分を段階的に遮断した試験音を用いて実験を行った。その結果、風力発電施設周辺で一般的に観測される風車騒音では 100 Hz 以上の周波数成分、風車近傍で観測される風車騒音では 50 Hz 以上の周波数成分によって規則的変動が生じ、それ以下の周波数成分では変動を感じない、あるいは音そのものが聞こえないことが分かった。この結果は、風車騒音の特徴である規則的変動が生じるのは可聴領域の周波数成分であることを意味している。

6) 実験-6：振幅変調音の聴感印象(2)：振幅変調の強さとノイジネスの関係

風車騒音には音圧が規則的に変動する振幅変調音（swish 音）が含まれており、その振幅変調の強さ（振幅変調度）と聴感的印象の関係について調べるために、振幅変調度を人為的に変化させたモデル騒音を用いてノイジネスに関する聴感実験を行った。その結果、提示レベルによらず振幅変調度が 2 dB になるとほぼ 100 %の確率で変動を感じることに、また振幅変調度が大きくなるとノイジネスが増加する傾向が確認された。

7) 実験-7：低周波数成分を含む一般環境騒音のラウドネス評価のための騒音評価尺度の検討

風力発電施設に係る環境影響評価では、風車騒音に関する評価尺度を決めておく必要がある。そこで、一般環境に存在する種々の騒音に風車騒音も加え、超低周波音領域まで含めた試験音を準備してラウドネス評価実験を行った。その結果、周波数重み付け特性としては C 特性よりも A 特性の方がラウドネスとの対応が高く、周波数ごとの詳細なデータを必要とする Zwicker あるいは Moore のラウドネスレベルに比べても遜色がないことが分かった。これは、風車騒音のラウドネス評価にも一般環境騒音の評価で広く用いられている A 特性音圧レベルが適用できることを意味する。

5. 本研究により得られた成果

(1) 科学的意義

風車騒音では低周波数成分が問題視され、マスコミ報道等でも話題としてしばしば取り上げられている。本研究のこのサブテーマでは、この問題に対して実験室における聴感実験を通して一連の研究を実施した。

最初に、超低周波音領域を含む低周波数の純音に対するヒトの聴覚閾値を調べた。特にこの研究では、加齢に伴う聴覚閾値を20歳代から60歳代までの広い年齢層にわたって調べており、これまでの類似の研究でも例のない成果を得ることができた。また、風車騒音に含まれる低周波数成分の可聴性について一連の実験を行い、一般的な風車騒音では、超低周波音領域及びそれに近い可聴周波数領域の低周波数の音は非可聴であることを確認した。一方、それらの音でも音圧レベルが大きくなれば、聞こえる（耳元で何かを感じる）ようになるが、その感覚閾を判断するための方法を見出した。これは、風車騒音に限らず、他の産業騒音などで問題となっている低周波音問題に対処する場合にも有効であると考えられる。

風車騒音の影響として大きな問題である音圧が規則的に変動する振幅変調音の問題について、振幅変調の程度と変動感の関係、さらに振幅変調音によるノイジネスの増加の程度を実験的に調

べた。この問題については諸外国でも研究例は多いが、本研究の成果によってこれらの問題に関する定量的な資料が得られた。

さらに、風車騒音以外に種々の一般環境騒音も含めてラウドネス反応を調べた。その結果、多様な周波数特性を持つ種々の騒音（環境音）に対しても A 特性の周波数重み付けをした A 特性音圧レベル（騒音レベル）がラウドネス反応と高い相関を有することを明らかにした。特にこの実験では、超低周波音領域を含む試験音を用いており、これは今までに例のない実験と言える。

（２）環境政策への貢献

本研究全体としての環境政策への貢献についてはサブテーマ(1)で述べたとおりである。そのうち、このサブテーマ(3)で得られた研究の結果から環境影響評価等における風車騒音の評価方法に資する内容は以下のとおりである。

- 1) 風車騒音には低周波数の成分も含まれているが、一般環境騒音の中で特異な特性ではなく、風車騒音の低周波数成分そのものは感覚閾値以下である。
- 2) しかし、風力発電施設が建設されるのは本来静穏な地域が多く、風車騒音は可聴性の騒音として深刻な問題として考えるべきである。特に規則的に変動する振幅変調音が近隣住民のアノイアンスを高めていると考えられる。
- 3) 風車音騒音の評価尺度としては、一般環境騒音の評価に広く用いられている A 特性音圧レベル（騒音レベル）が適用できる。環境影響評価など環境騒音行政の中で風車騒音に関する基準あるいは目標値を設定する場合には、この評価尺度を用いることが適当と考えられる。

＜行政が既に活用した成果＞

特に記載すべき事項はない。

＜行政が活用することが見込まれる成果＞

平成24年10月施行の「環境影響評価法施行令の一部を改正する政令」により、出力10,000 kW以上の風力発電施設も環境影響評価法の対象事業に追加された。そのため、風車騒音に関する環境影響評価の方法が検討され始めたが、その中で、本サブテーマで得られた結果、すなわち、風車騒音の評価量としては A 特性音圧レベル（騒音レベル）を使うことが適当であること、また風車騒音に関する基準値あるいは目標値を設定するに当たっては、アノイアンスを高める原因となる振幅変調音（swish音）の影響を含めて考えるべきであることなどが有効な基礎資料となることが見込まれる。

6. 国際共同研究等の状況

特に記載すべき事項はない。

7. 研究成果の発表状況

（１）誌上発表

- 1) 坂本慎一、横山 栄、辻村壮平、橘 秀樹，“低周波性騒音に関する聴感実験設備，”騒音制御 37(2)，pp. 73-78（2013）

(2) 口頭発表 (学会等)

- 1) 坂本慎一, 横山 栄, 辻村壮平, 橘秀樹 : 日本音響学会2012年春季研究発表会 (2012)
「低周波数領域における純音閾値実験」
- 2) 坂本慎一, 横山 栄, 矢野博夫, 橘 秀樹 : 日本騒音制御工学会2012年春季研究発表会 (2012)
「低周波性騒音に関する聴感実験 –その1. 純音閾値」
- 3) 横山 栄, 坂本慎一, 矢野博夫, 橘 秀樹 : 日本騒音制御工学会2012年春季研究発表会 (2012)
「低周波性騒音に関する聴感実験 –その2. 風車音の可聴性」
- 4) H. TACHIBANA, S. SAKAMOTO, S. YOKOYAMA and H.YANO : 15th International Meeting on
Low Frequency Noise and Vibration and its Control (2012.5)
“Audibility of low frequency sounds – Part 1: Experiment on hearing thresholds for pure tones”
- 5) S.YOKOYAMA, S. SAKAMOTO, H. YANO and H. TACHIBANA : 15th International Meeting on
Low Frequency Noise and Vibration and its Control (2012.5)
“Audibility of low frequency sounds – Part 2: Audibility of low frequency components in wind turbine
noises”
- 6) 坂本慎一, 横山 栄, 矢野博夫, 橘 秀樹 : 日本音響学会騒音・振動研究会 (2012.6)
「低周波性騒音の可聴性に関する聴感実験」
- 7) 横山 栄, 坂本慎一, 矢野博夫, 橘 秀樹 : 日本騒音制御工学会 2012 年秋季研究発表会 (2012)
「低周波性騒音に関する聴感実験 –その3. 風車音のラウドネス評価における周波数重み付け
特性」
- 8) 横山 栄, 坂本 慎一, 矢野 博夫, 橘 秀樹 : 日本音響学会秋2012年季研究発表会 (2012)
「風車音の可聴性に関する聴感実験」
- 9) 横山 栄, 辻村壮平, 坂本慎一, 矢野博夫, 橘 秀樹 : 日本音響学会2013年春季研究発表会 (2013)
「風車音に含まれる低周波数成分に関する聴覚閾値実験」
- 10) S. YOKOYAMA, S. SAKAMOTO and H. TACHIBANA : 5th International Conference on Wind
Turbine Noise (2013.8)
“Perception of low frequency components contained in wind turbine noise” (発表予定)
- 11) S. YOKOYAMA, S. SAKAMOTO, H. TACHIBANA : Inter-noise 2013 (2013.9)
“Study on the amplitude modulation of wind turbine noise: part 2- Auditory experiments” (発表予定)
- 12) S. SAKAMOTO, S. YOKOYAMA, S. TUJIMURA and H. TACHIBANA : Inter-noise 2013 (2013.9)
“Loudness evaluation of general environmental noises containing low frequency components” (発表予
定)

(3) 出願特許

特に記載すべき事項はない。

(4) シンポジウム、セミナー等の開催 (主催のもの)

特に記載すべき事項はない。

(5) マスコミ等への公表・報道等

特に記載すべき事項はない。

(6) その他

特に記載すべき事項はない。

8. 引用文献

- 1) ISO 389-7:2005, Acoustics - Reference zero for the calibration of audiometric equipment - Part 7: Reference threshold of hearing under free-field and diffuse-field listening conditions.
- 2) N.S. Yeowart, "Thresholds of hearing and loudness for very low frequencies", In Tempest, W.(Ed.) , Infrasound and Low Frequency Noise, pp.37-64 (1976).
- 3) Y. Tokita, "On the evaluation of infra and low frequency sound," J. Acoust. Soc. Jpn., 41(11), pp.805-812 (1985) (in Japanese).
- 4) 時田保夫, "低周波音の評価について", 日本音響学会誌, 41(11), pp.805-812, 1985
- 5) van den Berg, G. P., Passchier-Vermeer, W., "Assessment of low frequency noise complaints", Proc. of Inter-Noise 99, pp.1993-1996 (1999).
- 6) Gottlob, D.P.A., "German standard for rating low-frequency noise immissions", Proc. of Inter-Noise 98, pp.1679-1684 (1998).
- 7) ISO 7029:2000, Acoustics - Statistical distribution of hearing thresholds as a function of age.
- 8) 福島昭則他, "風車騒音の評価量と周波数特性の分析方法", 日本騒音制御工学会秋季研究発表会講演論文集 pp.185-188, 2011.9
- 9) 青島伸治他, "M 系列の相関を用いた音響測定", 日本音響学会誌, Vol.24(4), pp.197-206, 1968
- 10) ISO 532:1975 Acoustics - Method for calculating loudness level
- 11) Eberhard Zwicker, Hugo Fastl, Ulrich Widmann, Kenji Kurakata, Sonoko Kuwano and Seiichiro Namba, "Program for calculating loudness according to DIN 45631 (ISO 532B)." Journal of the Acoustical Society of Japan (E), 12(1), pp.39-42 (1991)
- 12) Andy T. Moorhouse, David C. Waddington and Mags D. Adams, "A procedure for the assessment of low frequency noise complaints," J. Acoust. Soc. Am. 126(3), pp.1131-1141 (2009.9)
- 13) Dick Bowdler and Geoff Leventhall, "Wind Turbine Noise," (2011)
- 14) G. P. van den Berg, "Effects of the wind profile at night on wind turbine sound," J. Sound Vib. 277(4-5), pp.955-970 (2004)
- 15) Andy Moorhouse, Malcolm Hayes, Sabine von Hünenbein, Ben Piper, Mags Adams, "Research into Aerodynamic Modulation of Wind Turbine Noise: Final report (Report by University of Salford) (2007.7)
- 16) F. van den Berg, "Why is wind turbine noise noisier than other noise?," Proc. EURONOISE 2009 (2009)
- 17) C. Di Napoli, "Long distance amplitude modulation of wind turbine noise," Proc. 4th Int. Meeting on Wind Turbine Noise, Rome (2011)
- 18) Denis Siponen, "The assessment of low frequency noise and amplitude modulation of wind turbines,"

- Proc. 4th Int. Meeting on Wind Turbine Noise, Rome (2011)
- 19) Werner Richarz, Harrison Richarz, "Can Infrasonic Lift Noise from Wind Turbine Rotors Contribute to Audible Sound?," Proc. 15th International Meeting on Low Frequency Noise and Vibration and its Control (2012.5)
 - 20) ANSI S3.4-2007 Procedure for the computation of loudness of steady sounds.
 - 21) George F. Hessler Jr., "A Note on the Debate about Health Effects from Low Frequency Noise (LFN) from Modern Large Wind Turbines," Proc. Wind Turbine Noise 2011 (CD-ROM).
 - 22) American Wind Energy Association and Canadian Wind Energy Association, Wind Turbine Sound and Health Effects : An Expert Panel Review (2009).
 - 23) Massachusetts Department of Environmental Protection Massachusetts Department of Public Health, Wind Turbine Health Impact Study : Report of Independent Expert Panel (2012).
 - 24) Malcom Hunt, Stephen Chiles, "Assessment of Wind Turbine Noise Using NZ Standard NZS6808:2010 – Fit For Purpose," Proc. Forth International Meeting on Wind Turbine Noise, Rome, 2011 (CD-ROM)

Research on the Evaluation of Human Impact of Low Frequency Noise from Wind Turbine Generators

Principal Investigator: Hideki TACHIBANA

Institution: Chiba Institute of Technology

Tsudanuma 2-17-1, Narashino, Chiba 275-0016, Japan

E-mail: pon-t@iis.u-tokyo.ac.jp

Cooperated by: Institute of Noise Control Engineering, Japan (INCE/J)
and University of Tokyo

[Abstract]

Key Words: Wind turbine, Environmental noise, Low frequency noise, Hearing threshold

For the purpose of investigating the effects of wind turbine noise generated from wind power plants on nearby residents, this study program has been conducted for the three years from the 2010 fiscal year. The study consisted of three kinds of approaches: physical research by field measurement, social survey on the response of nearby residents around wind farms, and psycho-acoustical experiments on low frequency noise using a specially made experimental facility. The field measurement and social survey were also conducted in the control areas without wind turbine noise for comparison. From the results of these studies, the following findings have been obtained.

- (1) Wind turbine noise generally has a spectrum characteristic of about - 4 dB/octave (in band spectrum), in which no dominant low frequency components are contained. The sound pressure levels in infrasound region and at low frequencies in audible frequency range are much lower than the human hearing thresholds.
- (2) Although the noise level of wind turbine noise is relatively low (25 to 50 dB in A-weighted sound level) comparing to other community noises, it can be audible and annoying in residential areas around wind farms since these areas are generally very quiet rural districts. Therefore, wind turbine noise should be considered to be a serious environmental noise issue. Especially, when amplitude modulation and tonal components are contained in wind turbine, they tend to much raise psychological annoyance.
- (3) Wind turbine noise is likely to be much sensible especially at night when the background noise is low. This fact might become a serious factor for sleep disturbance and further induce any health effects. In the present state that medical/epidemiological evidences have not been found for the danger of wind turbine noise as a low frequency noise problem, legislative and administrative measures should firstly be taken for the wind turbine noise as a problem of audible noise.

- (4) For the assessment of wind turbine noise, A-weighted sound pressure level can be applied as a main noise indicator as in almost all environmental noise assessments.
- (5) When considering the noise limit or guideline for wind turbine noise, the noise level outside residences at night should be specified by considering the regional characteristics of the wind turbine sites and sound insulation properties of residential buildings.

添付資料 風力発電施設周辺地域及び対照地域における騒音測定結果

風力発電施設：W01 分析時間帯：2010年12月24日22:00～12月25日06:00（8時間）

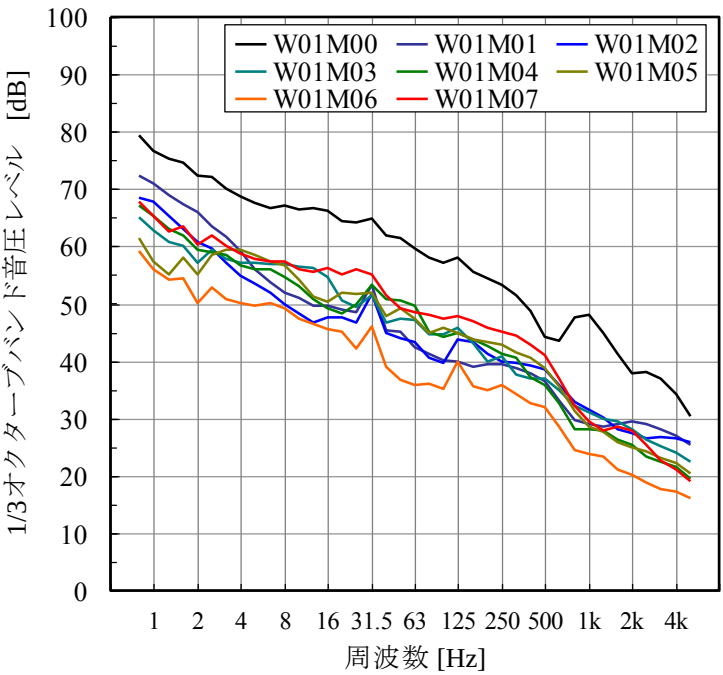


図1-1 各測定点における1/3オクターブバンド音圧レベル

表1 各測定点における等価音圧レベル

測定点	距離 [m]	等価音圧レベル [dB]		
		L_{Aeq}	L_{Ceq}	L_{Geq}
M00	48	56	70	78
M01	449	43	55	63
M02	273	44	55	61
M03	310	43	57	65
M04	395	42	58	64
M05	436	44	57	65
M06	473	37	50	58
M07	252	46	60	69

備考：
M00は参考としての基準点。

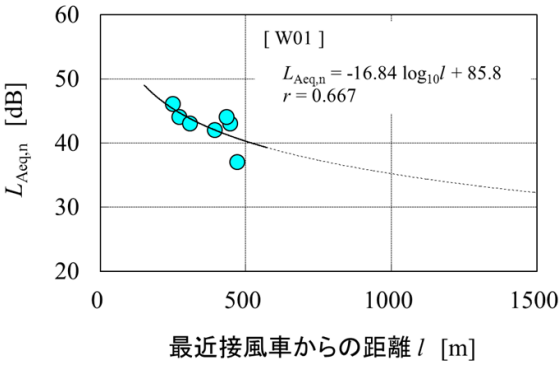


図1-2 等価騒音レベル L_{Aeq} の距離分布

備考：
M00は最近接風車に近いので除外。

風力発電施設：W02 分析時間帯：2011年1月11日 22:00～1月12日 06:00（8時間）

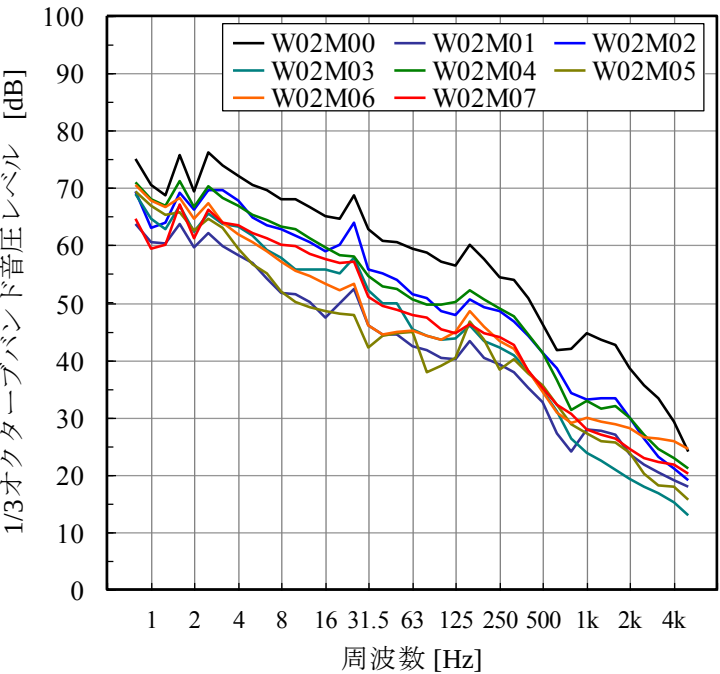


図2-1 各測定点における1/3オクターブバンド音圧レベル

表2 W02周辺における等価音圧レベル

測定点	距離 [m]	等価音圧レベル [dB]		
		L_{Aeq}	L_{Ceq}	L_{Geq}
M00	136	56	71	80
M01	416	40	54	64
M02	240	48	64	75
M03	409	42	59	69
M04	328	49	63	72
M05	464	42	54	61
M06	397	44	57	66
M07	561	43	60	70

備考：
距離は最近接風車までの距離。
M00は参考としての基準点。

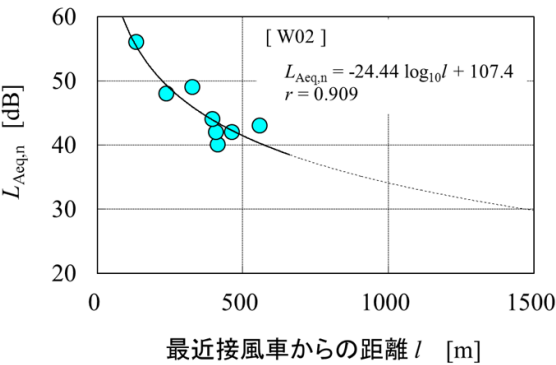


図2-2 等価騒音レベル L_{Aeq} の距離分布

備考：
M00～M07の測定値から作成。

風力発電施設：W03 分析時間帯：2011年2月1日 19:00～2月1日 22:00（3時間）

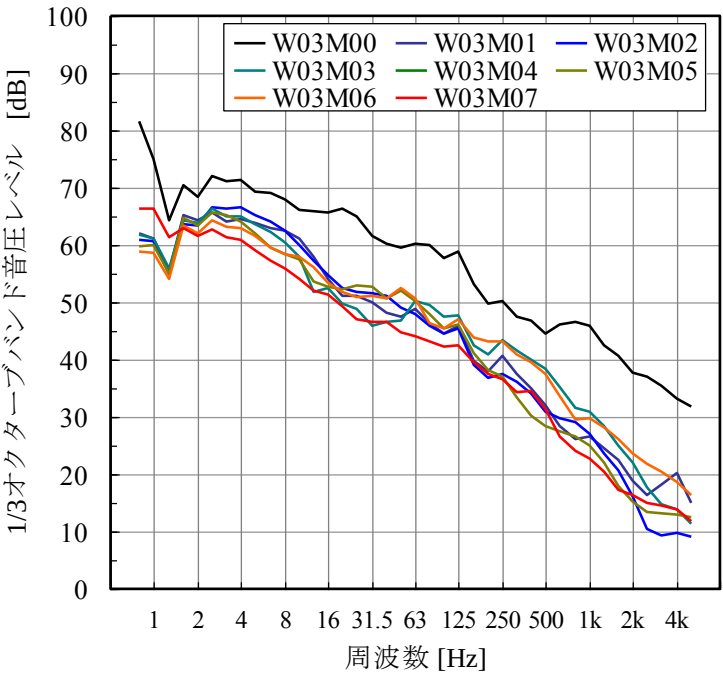


図3-1 各測定点における1/3オクターブバンド音圧レベル

表3 W03周辺における等価音圧レベル

測定点	距離 [m]	等価音圧レベル [dB]		
		L_{Aeq}	L_{Ceq}	L_{Geq}
M00	30	54	70	78
M01	380	40	57	66
M02	560	39	58	67
M03	470	44	58	64
M04				
M05	980	38	59	66
M06	900	43	59	66
M07	1030	38	54	63

備考：
距離は最近接風車までの距離。
M00は参考としての基準点。
M04は機器トラブルにより欠測

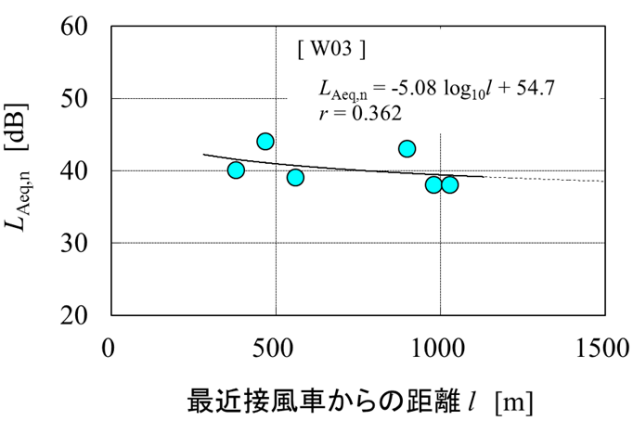


図3-2 等価騒音レベル L_{Aeq} の距離分布

備考：
M00は最近接風車に近いので除外。
M04は機器トラブルにより欠測。

風力発電施設：W04 分析時間帯：2011年3月10日 19:00～3月10日 22:00（3時間）

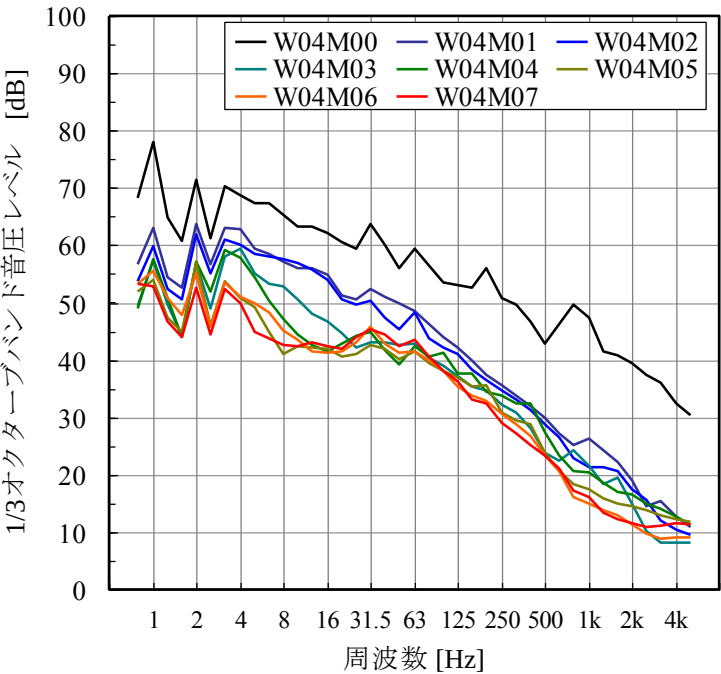


図4-1 各測定点における1/3オクターブバンド音圧レベル

表4 W04周辺における等価音圧レベル

測定点	距離 [m]	等価音圧レベル [dB]		
		L_{Aeq}	L_{Ceq}	L_{Geq}
M00	40	55	68	74
M01	390	38	57	66
M02	400	36	56	65
M03	425	34	51	58
M04	600	35	50	57
M05	1000	33	49	55
M06	1050	32	50	56
M07	1250	31	50	57

備考：
距離は最近接風車までの距離。
M00は参考としての基準点。

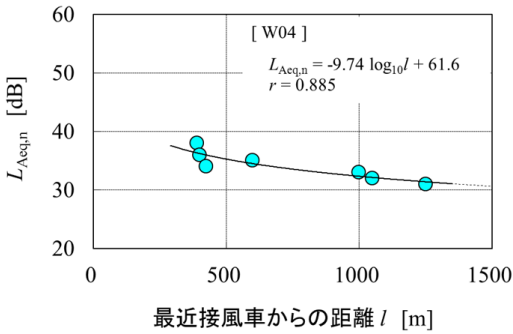


図4-2 等価騒音レベル L_{Aeq} の距離分布

備考：
M00は最近接風車に近いので除外。

表(2)-X 風力発電施設：W05 分析時間帯：2011年2月17日22:00～2月18日02:00（4時間）

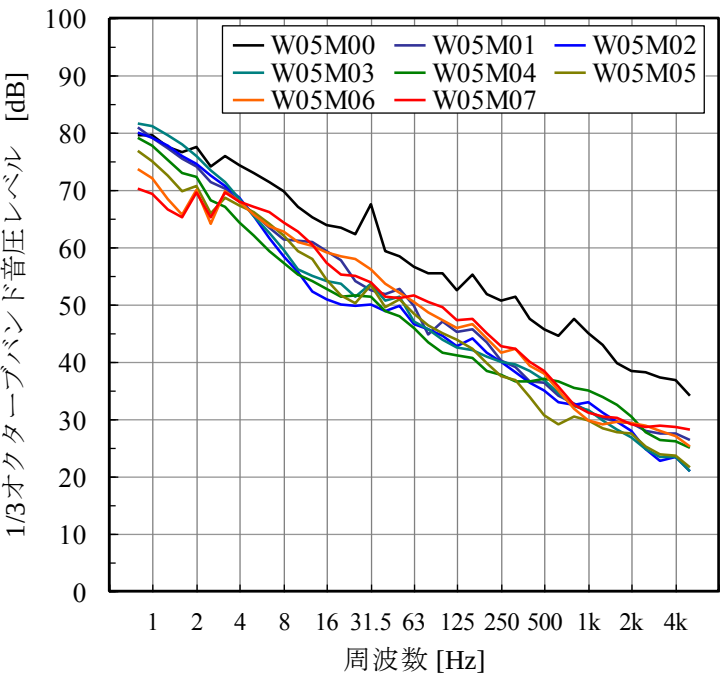


図5-1 各測定点における1/3オクターブバンド音圧レベル

表5 W05周辺における等価音圧レベル

測定点	距離 [m]	等価音圧レベル [dB]		
		L_{Aeq}	L_{Ceq}	L_{Geq}
M00	80	55	69	77
M01	438	44	60	70
M02	947	43	57	64
M03	467	43	58	67
M04	645	44	56	65
M05	329	41	58	67
M06	399	45	62	72
M07	668	45	61	70

備考：
距離は最近接風車までの距離。
M00は参考としての基準点。
M02は現場で風車音が聞こえていなかったため欠測扱い。

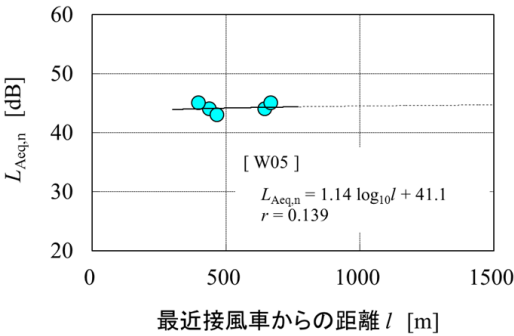


図5-2 等価騒音レベル L_{Aeq} の距離分布

備考：
M00は最近接風車に近いので除外。
M05からは風車が見えないため除外。

風力発電施設：W06 分析時間帯：2011年2月27日 00:00～2月27日 06:00（6時間）

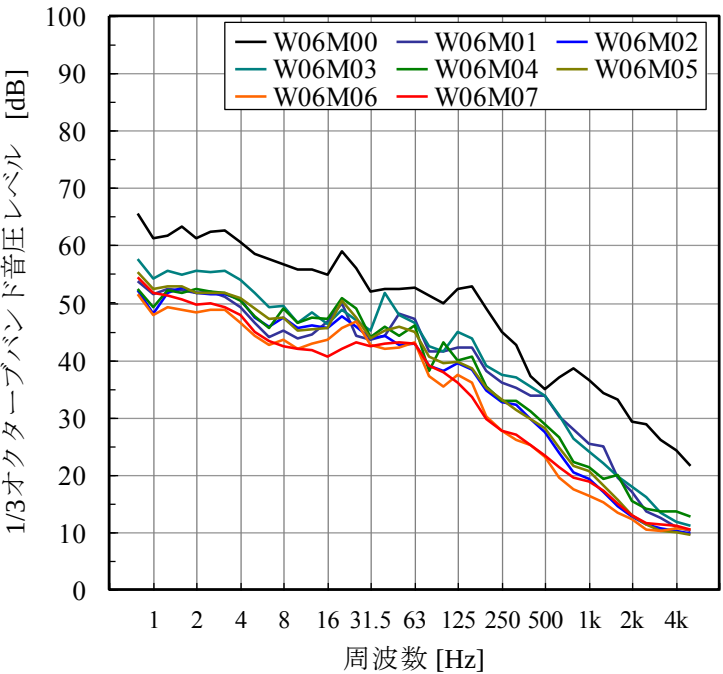


図6-1 各測定点における1/3オクターブバンド音圧レベル

表6 W06周辺における等価音圧レベル

測定点	距離 [m]	等価音圧レベル [dB]		
		L_{Aeq}	L_{Ceq}	L_{Geq}
M00	60	47	62	70
M01	380	39	54	60
M02	360	34	51	59
M03	310	40	55	61
M04	462	36	53	62
M05	675	35	53	61
M06	850	31	50	59
M07	1020	31	49	56

備考：
距離は最近接風車までの距離。
M00は参考としての基準点。
M07は、風車音が聞こえないため欠測扱い。

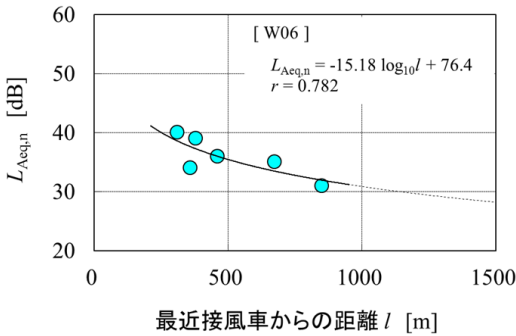


図6-2 等価騒音レベル $L_{Aeq,n}$ の距離分布

備考：
M00は最近接風車に近いので除外。
M07は風車音が聞こえなかったため除外。

風力発電施設：W07 分析時間帯：2011年8月18日18:00～8月19日02:00（8時間）

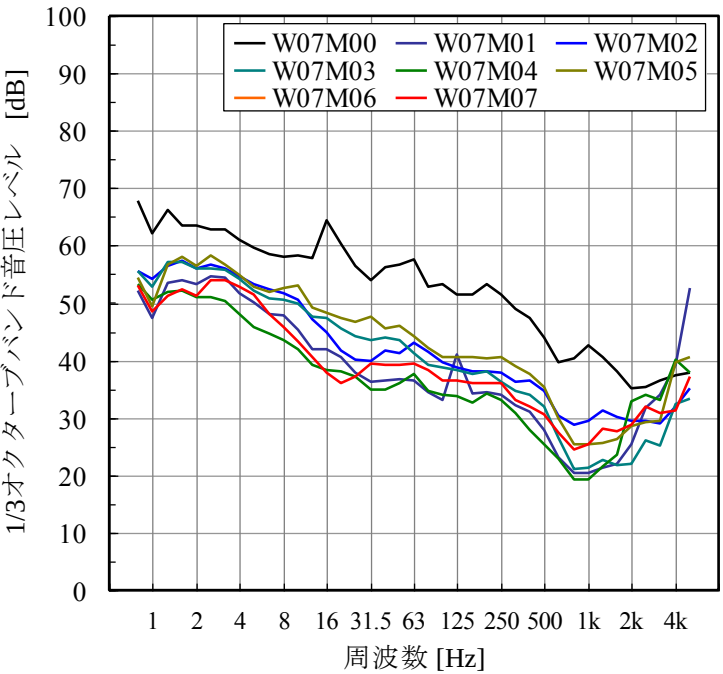


図7-1 各測定点における1/3オクターブバンド音圧レベル

表7 W07周辺における等価音圧レベル

測定点	距離 [m]	等価音圧レベル [dB]		
		L_{Aeq}	L_{Ceq}	L_{Geq}
M00	45	52	65	73
M01	690	34	47	53
M02	683	40	51	56
M03	372	37	51	59
M04	982	32	45	51
M05	417	40	54	61
M06	563			
M07	1147	37	48	52

備考：
距離は最近接風車までの距離。M07については、19:00～02:00（7時間）の分析結果。
M00は参考としての基準点。
セミ・虫の音を削除するためにhigh-cut処理（1.6kHz帯域以上）。
M01の125 Hzは民家設備音の影響。
M06は風車騒音が聞こえなかったため欠測扱い。

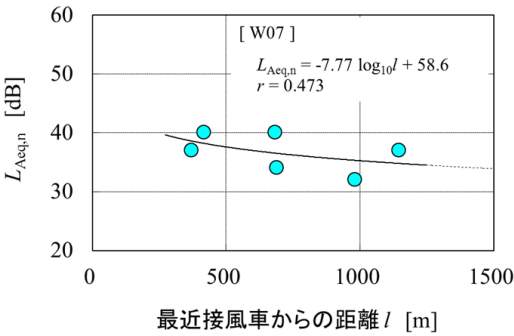


図7-2 等価騒音レベル $L_{Aeq,n}$ の距離分布

備考：
M00は最近接風車に近いので除外。
M06は風車騒音が聞こえなかったため除外。

風力発電施設：W08 分析時間帯：2011年9月29日19:00～9月30日03:00（8時間）

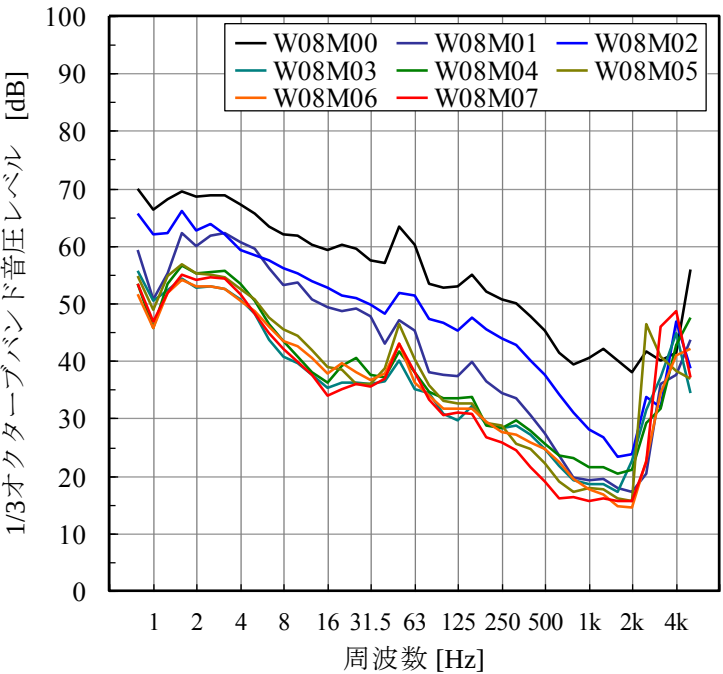


図8-1 各測定点における1/3オクターブバンド音圧レベル

表8 W08周辺における等価音圧レベル

測定点	距離 [m]	等価音圧レベル [dB]		
		L_{Aeq}	L_{Ceq}	L_{Geq}
M00	141	52	67	73
M01	947	35	53	62
M02	832	44	59	65
M03	996	30	45	50
M04	1055	32	46	53
M05	792	29	48	52
M06	1159	30	46	52
M07	987	27	45	49

備考：
距離は最近接風車までの距離。
M00は参考としての基準点。
セミ・虫の音を削除するためにhigh-cut処理（1.6kHz帯域以上）。

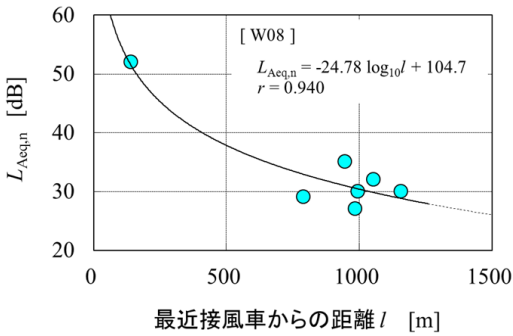


図8-2 等価騒音レベル L_{Aeq} の距離分布

備考：
M02はWF内の測定点のため除外。

風力発電施設：W09 分析時間帯：2011年12月1日 18:00～12月2日 00:00（6時間）

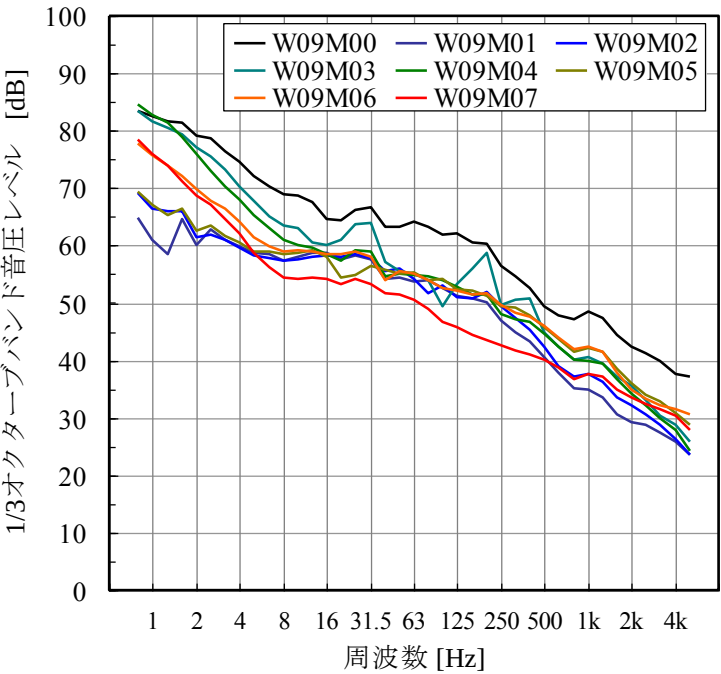


図9-1 各測定点における1/3オクターブバンド音圧レベル

表9 W09周辺における等価音圧レベル

測定点	距離 [m]	等価音圧レベル [dB]		
		L_{Aeq}	L_{Ceq}	L_{Geq}
M00	53	59	73	79
M01	339	48	64	71
M02	366	50	64	71
M03	207	54	68	76
M04	342	51	65	72
M05	402	53	64	69
M06	390	52	65	72
M07	594	47	60	67

備考：
距離は最近接風車までの距離。
M00は参考としての基準点。
M03は公民館の建物の前面で参考点。
M04～M07は松籟の音の影響が大きく、欠測扱い。

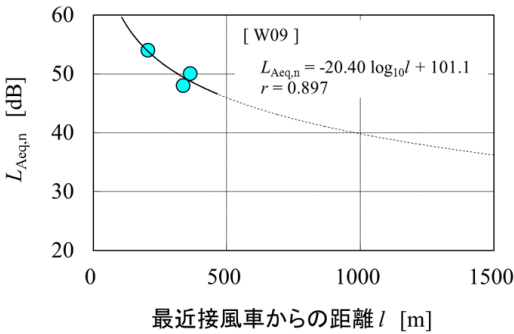


図9-2 等価騒音レベル $L_{Aeq,n}$ の距離分布

備考：
M01～M03の測定値から作成。
M00は最近接風車に近いので除外。
M04～M07は松籟の影響が大きいため除外。

風力発電施設：W10 分析時間帯：2011年12月10日22:00～12月11日06:00（8時間）

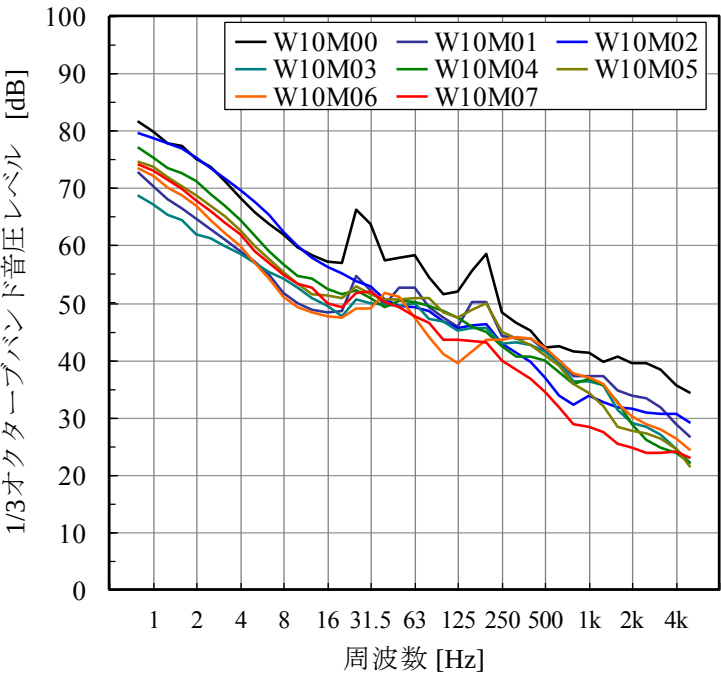


図10-1 各測定点における1/3オクターブバンド音圧レベル

表10 W10周辺における等価音圧レベル

測定点	距離 [m]	等価音圧レベル [dB]		
		L_{Aeq}	L_{Ceq}	L_{Geq}
M00	55	53	68	77
M01	376	49	60	65
M02	554	45	60	69
M03	476	47	58	63
M04	727	46	59	65
M05	323	47	60	65
M06	854	47	57	62
M07	526	42	57	64

備考：
M00は参考としての基準点。
M02, M03, M04, M06は風の音の影響が大きい
ため欠測扱い。

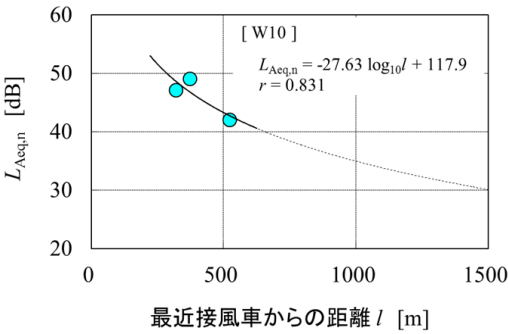


図10-2 等価騒音レベル $L_{Aeq,n}$ の距離分布

備考：
M00は最近接風車に近いので除外。
M02, M03, M04, M06は風の影響が大きい
ため除外。

風力発電施設：W11 分析時間帯：2011年1月11日22:00～1月12日06:00（8時間）

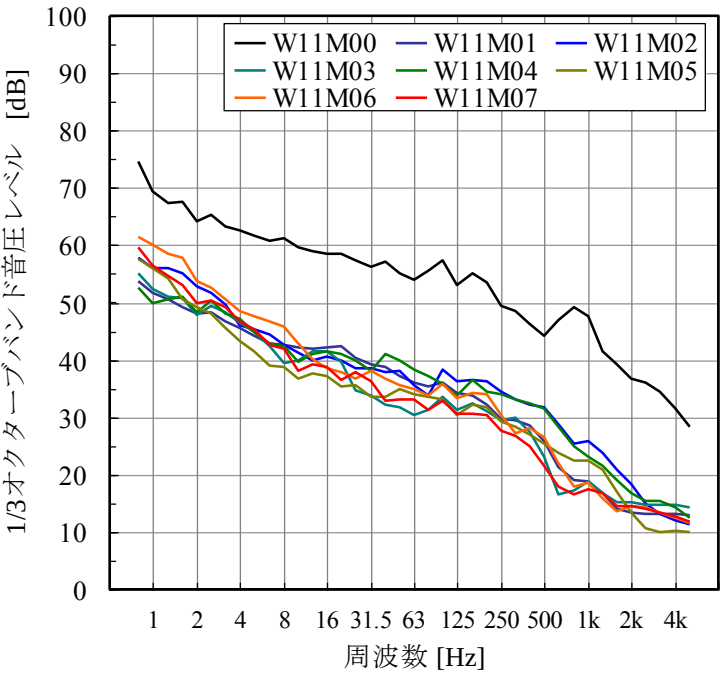


図11-1 各測定点における1/3オクターブバンド音圧レベル

表11 W11周辺における等価音圧レベル

測定点	距離 [m]	等価音圧レベル [dB]		
		L_{Aeq}	L_{Ceq}	L_{Geq}
M00	36	55	66	71
M01	908	32	47	55
M02	661	37	47	53
M03	724	31	43	52
M04	717	36	48	54
M05	531	32	43	49
M06	1053	32	45	51
M07	1239	30	43	51

備考：
M00は参考としての基準点。
M02については、22:00～01:00（3時間）についての分析結果。

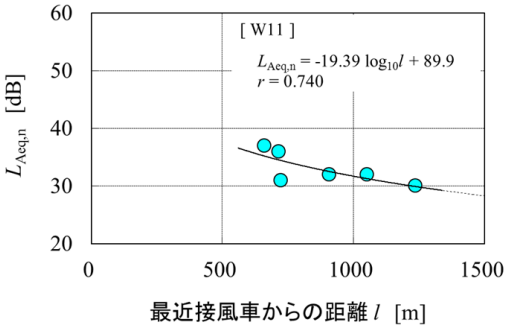


図11-2 等価騒音レベル L_{Aeq} の距離分布

備考：
M00は最近接風車に近いので除外。
M05は風車がほとんど見えないので除外。

風力発電施設：W12 分析時間帯：2011年8月24日12:00～8月25日16:00（4時間）

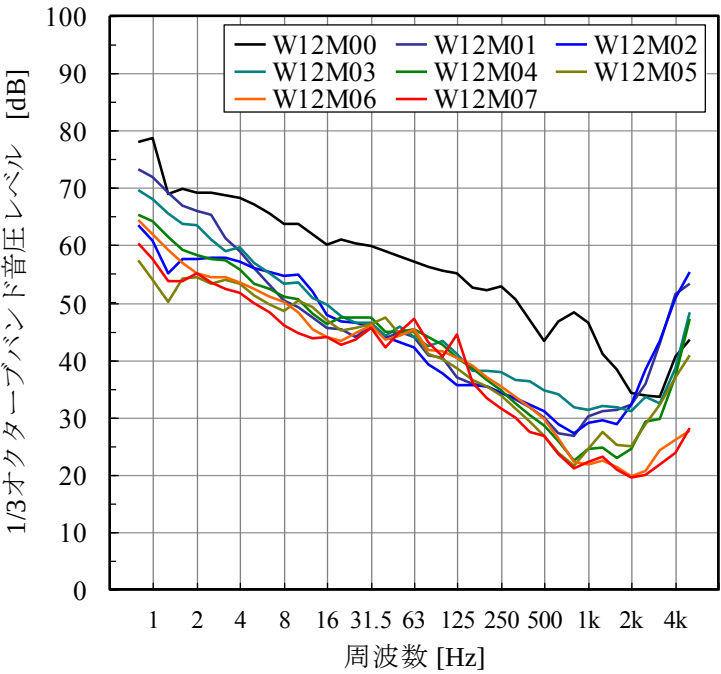


図12-1 各測定点における1/3オクターブバンド音圧レベル

表12 W12周辺における等価音圧レベル

測定点	距離 [m]	等価音圧レベル [dB]		
		L_{Aeq}	L_{Ceq}	L_{Geq}
M00	40	54	67	74
M01	420	38	52	59
M02	310	37	52	61
M03	430	41	54	61
M04	830	36	53	61
M05	730	35	53	59
M06	780	36	52	58
M07	970	35	53	57

備考：
距離は最近接風車までの距離。
M00は参考としての基準点。
セミ・虫の音を削除するためにhigh-cut処理（1.6kHz帯域以上）。
M07は民家の設備機器音の影響のため欠測扱い。

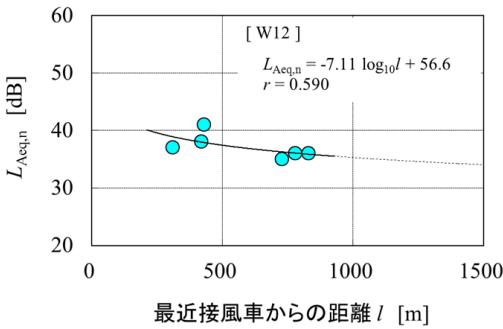


図12-2 等価騒音レベル L_{Aeq} の距離分布

備考：
M00は最近接風車に近いので除外。
M07は民家の設備機器音の影響のため除外。

風力発電施設：W13 分析時間帯：2011年11月15日22:00～11月16日06:00（8時間）

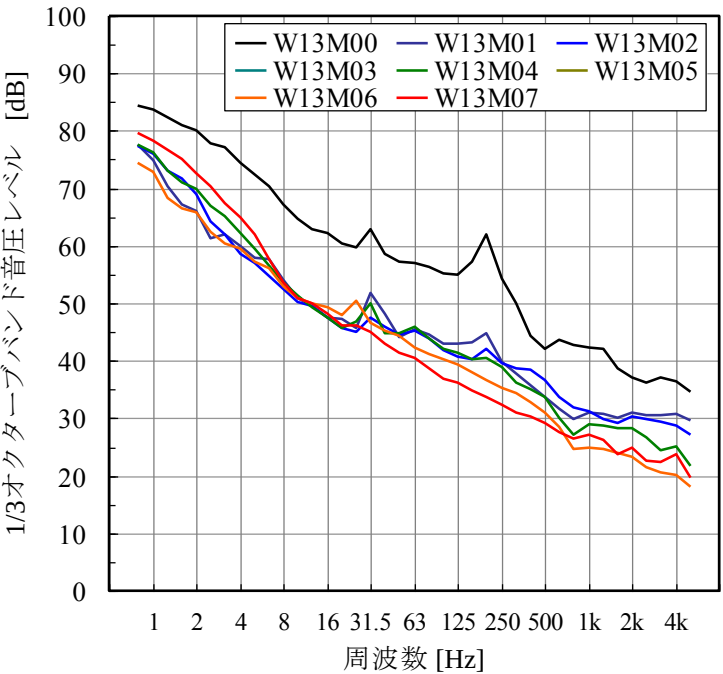


図13-1 各測定点における1/3オクターブバンド音圧レベル

表13 W13周辺における等価音圧レベル

測定点	距離 [m]	等価音圧レベル [dB]		
		L_{Aeq}	L_{Ceq}	L_{Geq}
M00	100	55	68	75
M01	310	43	56	61
M02	510	43	54	60
M03				
M04	760	41	54	61
M05				
M06	660	38	53	63
M07	790	37	51	61

備考：
M00は参考としての基準点。
M03、M05は風車音が確認できないため測定点を設けず。

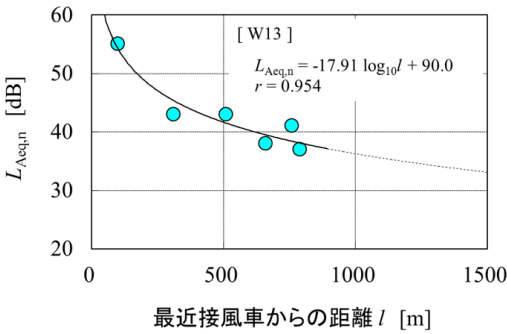


図13-2 等価騒音レベル L_{Aeq} の距離分布

備考：
M03、M05は風車音が聞こえないため除外。

風力発電施設：W14 分析時間帯：2011年12月10日22:00～12月11日06:00（8時間）

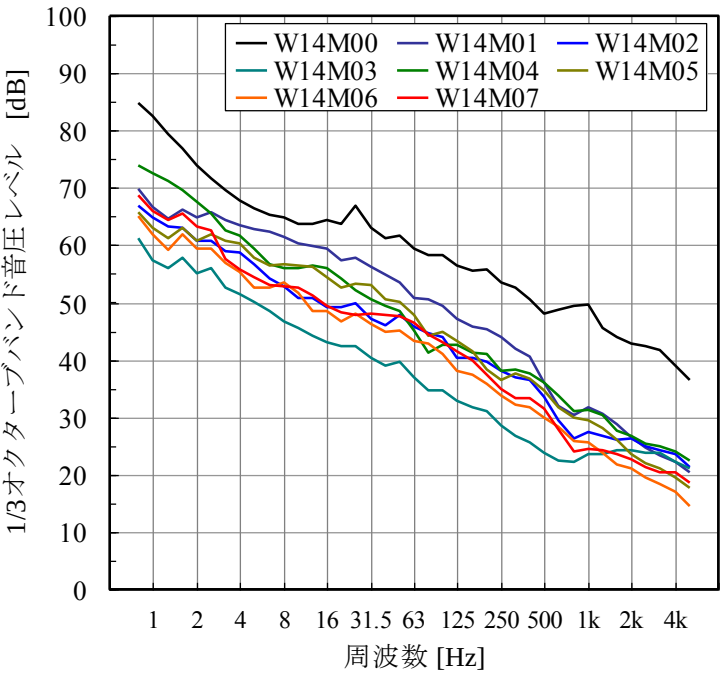


図14-1 各測定点における1/3オクターブバンド音圧レベル

表14 W14周辺における等価音圧レベル

測定点	距離 [m]	等価音圧レベル [dB]		
		L_{Aeq}	L_{Ceq}	L_{Geq}
M00	40	58	70	78
M01	320	44	62	71
M02	470	40	55	63
M03	790	35	47	56
M04	640	42	57	67
M05	720	41	58	67
M06	910	37	53	61
M07	1010	38	55	62

備考：
距離は最近接風車までの距離。
M00は参考としての基準点。

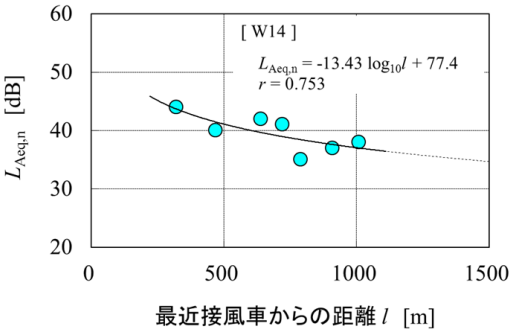


図14-2 等価騒音レベル L_{Aeq} の距離分布

備考：
M00は最近接風車に近いので除外。

風力発電施設：W15 分析時間帯：2012年1月14日 19:00～1月14日 22:00（3時間）

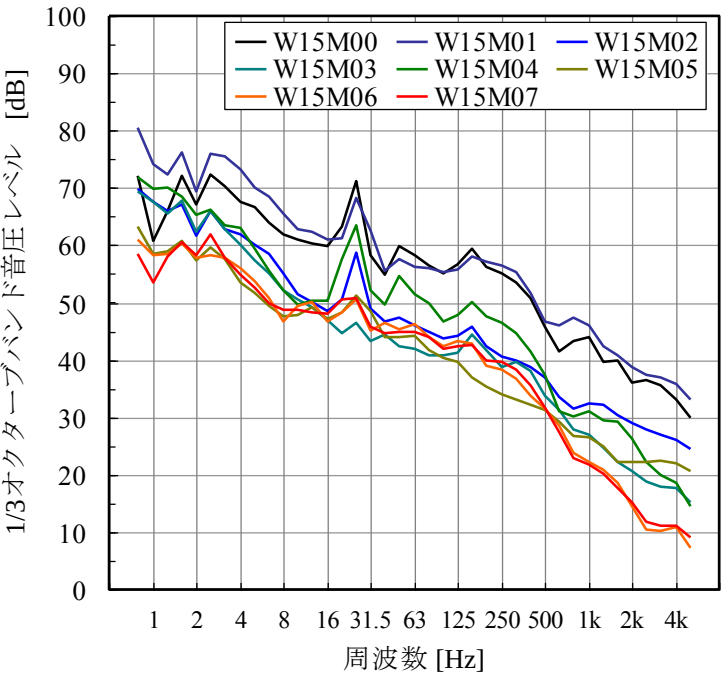


図15-1 各測定点における1/3オクターブバンド音圧レベル

表15 W15周辺における等価音圧レベル

測定点	距離 [m]	等価音圧レベル [dB]		
		L_{Aeq}	L_{Ceq}	L_{Geq}
M00	50	55	70	81
M01	80	57	69	79
M02	330	44	58	69
M03	730	41	53	60
M04	260	46	63	73
M05	600	38	53	63
M06	720	39	55	62
M07	690	39	54	63

備考：
距離は最近接風車までの距離。
M00は参考としての基準点。
M01～M03については、再実施した2013年1月11日 22:00～1月12日 06:00（8時間）の分析結果。

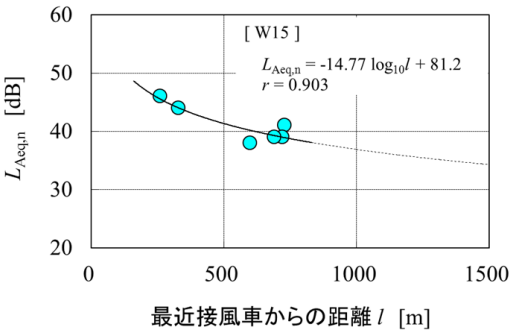


図15-2 等価騒音レベル L_{Aeq} の距離分布

備考：
M00，M01は最近接風車に近いので除外。

風力発電施設：W16 分析時間帯：2012年1月23日22:00～1月24日06:00（8時間）

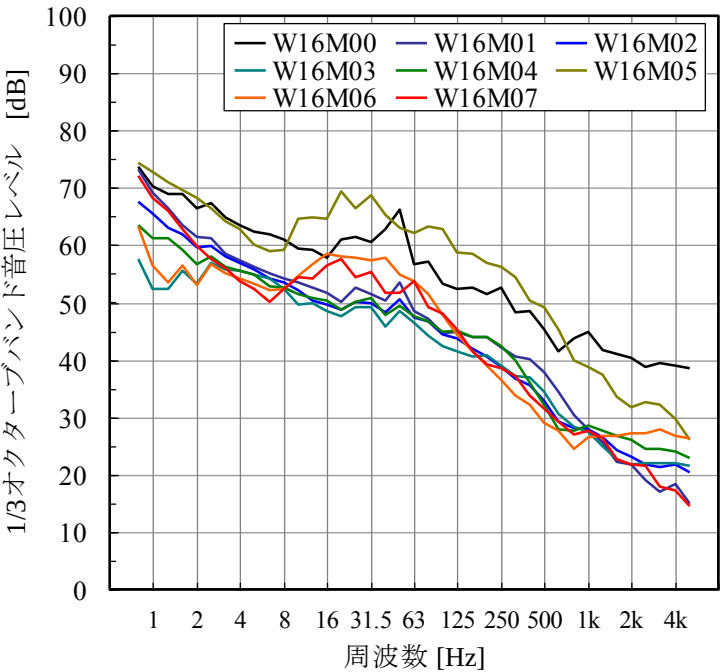


図16-1 各測定点における1/3オクターブバンド音圧レベル

表16 W16周辺における等価音圧レベル

測定点	距離 [m]	等価音圧レベル [dB]		
		L_{Aeq}	L_{Ceq}	L_{Geq}
M00	75	54	69	74
M01	580	43	58	65
M02	670	40	56	63
M03	780	40	55	62
M04	830	42	57	63
M05	490	56	73	81
M06	460	41	63	71
M07	740	40	60	69

備考：
距離は最近接風車までの距離。
M00は参考としての基準点。
M03、M04は近傍の葉擦れ音の影響で欠測扱い。
M05～M07は近くの工場音、遠方の自動車音の影響のため欠測扱い。

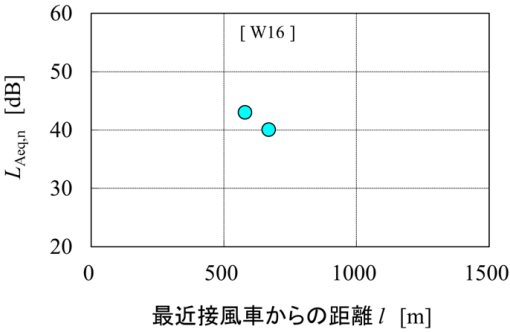


図16-2 等価騒音レベル L_{Aeq} の距離分布

備考：
M00は最近接風車に近いので除外。
M03、M04は葉擦れ音の影響で除外。
M05～M07は工場音、遠方の自動車音の影響で除外。

風力発電施設：W17 分析時間帯：2011年10月3日 19:00～10月3日 23:00（4時間）

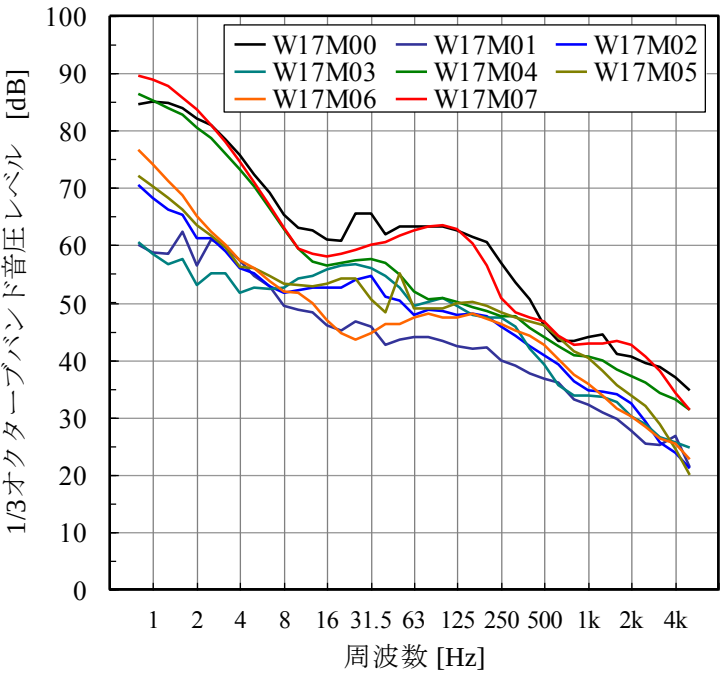


図17-1 各測定点における1/3オクターブバンド音圧レベル

表17 W17周辺における等価音圧レベル

測定点	距離 [m]	等価音圧レベル [dB]		
		L_{Aeq}	L_{Ceq}	L_{Geq}
M00	65	58	72	77
M01	1100	43	54	60
M02	520	47	60	67
M03	1140	47	62	69
M04	540	51	63	71
M05	820	51	61	67
M06	750	48	58	59
M07	320	56	71	73

備考：
距離は最近接風車までの距離。
M00は参考としての基準点。
全測定点にわたって海の波音の影響を受けている。
M01、M02、M03、M05、M06、M07では、風車音は聞こえない。

風力発電施設：W18 分析時間帯：2011年11月8日22:00～11月9日02:00（4時間）

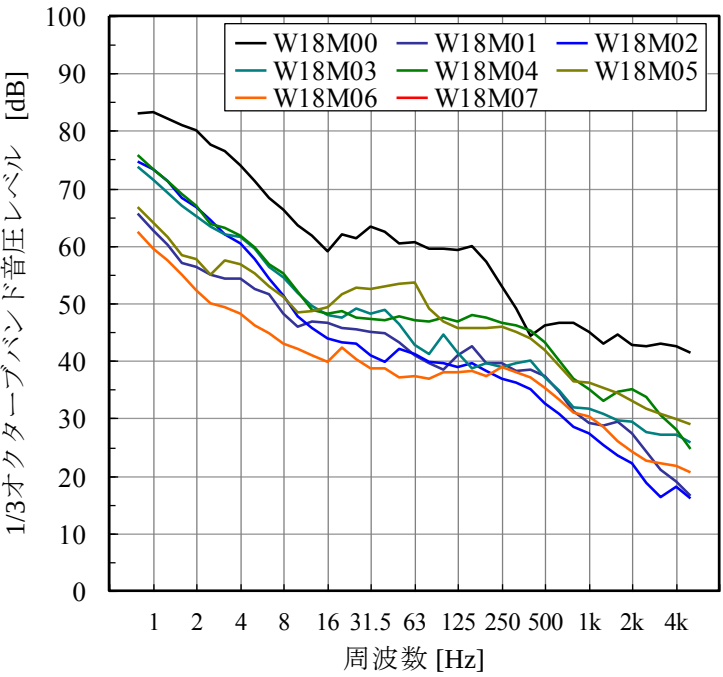


図18 各測定点における1/3オクターブバンド音圧レベル

表18 W18周辺における等価音圧レベル

測定点	距離 [m]	等価音圧レベル [dB]		
		L_{Aeq}	L_{Ceq}	L_{Geq}
M00	25	57	70	75
M01	580	42	53	59
M02	470	39	51	57
M03	250	43	55	62
M04	240	49	58	61
M05	350	48	60	65
M06	1400	41	49	54
M07				

備考：
距離は最近接風車までの距離。
M00は参考としての基準点。
全測定点にわたって海の波音の影響を受けている。
M01、M05、M06では、風車音は聞こえない。

風力発電施設：W19 分析時間帯：2011年10月10日22:00～10月11日05:00（7時間）

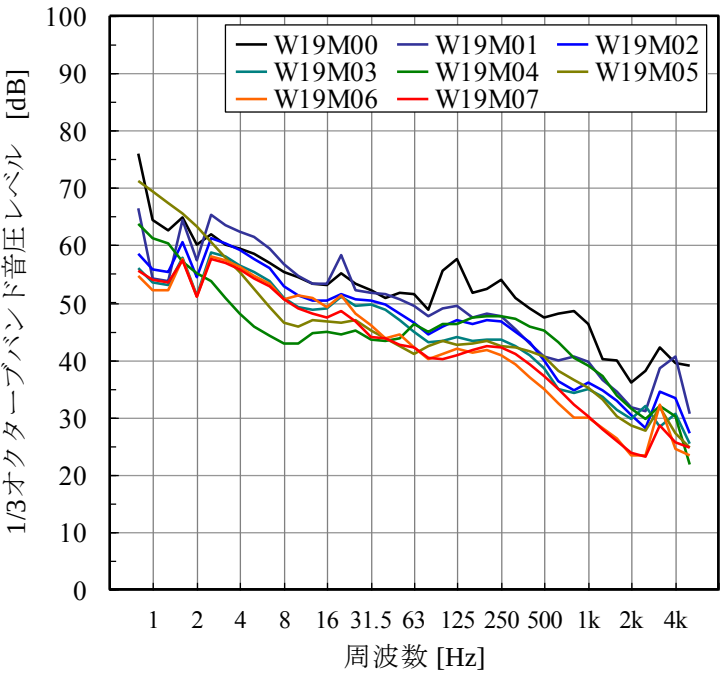


図19-1 各測定点における1/3オクターブバンド音圧レベル

表19 W19周辺における等価音圧レベル

測定点	距離 [m]	等価音圧レベル [dB]		
		L_{Aeq}	L_{Ceq}	L_{Geq}
M00	10	56	64	67
M01	100	50	60	68
M02	200	48	58	64
M03	300	46	56	63
M04	1120	50	57	58
M05	980	46	54	60
M06	420	42	54	63
M07	500	43	53	61

備考：
距離は最近接風車までの距離。
M00～M03は距離減衰を見るための測定点で、近くに民家はない（暴露実態データの集計からは除外）。これらの点では、木々の葉擦れ音が聞こえる。
M04～M07では、海の波音の影響を受けており欠測扱い。

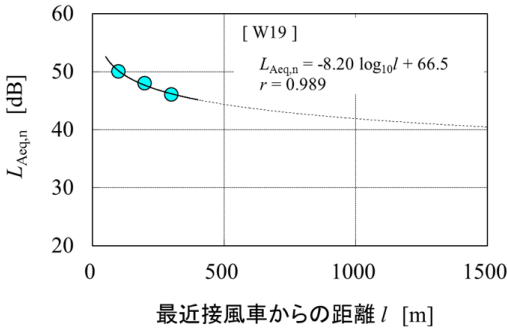


図19-2 等価騒音レベル L_{Aeq} の距離分布

備考：
M00は最近接風車に近いので除外。
M04～M07は海の波音の影響で除外。

風力発電施設：W20 分析時間帯：20xx年11月1日22:00～11月2日06:00（8時間）

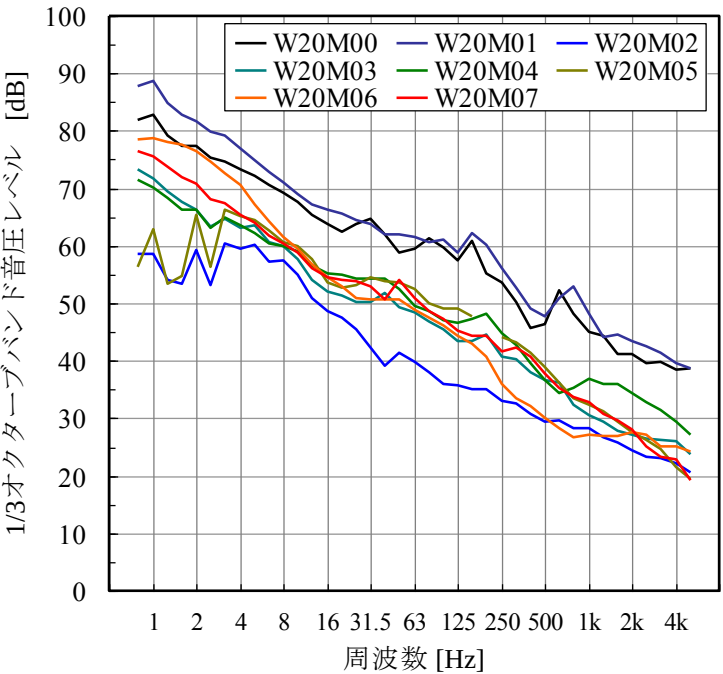


図20-1 各測定点における1/3オクターブバンド音圧レベル

表20 W20周辺における等価音圧レベル

測定点	距離 [m]	等価音圧レベル [dB]		
		L_{Aeq}	L_{Ceq}	L_{Geq}
M00	10	57	70	77
M01	15	59	72	79
M02	600	38	51	61
M03	430	44	58	65
M04	440	47	61	68
M05	340	45	61	67
M06	840	40	58	67
M07	625	45	60	68

備考：
M00, M01は参考としての基準点。
距離は最近接風車までの距離。
M02は、風車騒音が聞こえないため欠測扱い。
M05は、200Hz帯域で民家の設備機器音の影響があり、band-reject処理。

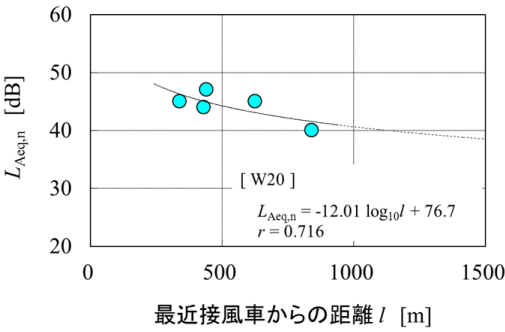


図20-2 等価騒音レベル L_{Aeq} の距離分布

備考：
M00, M01は最近接風車に近いので除外。
M02は風車音が聞こえないので除外。

風力発電施設：W21 分析時間帯：2011年10月25日22:00～10月26日06:00（8時間）

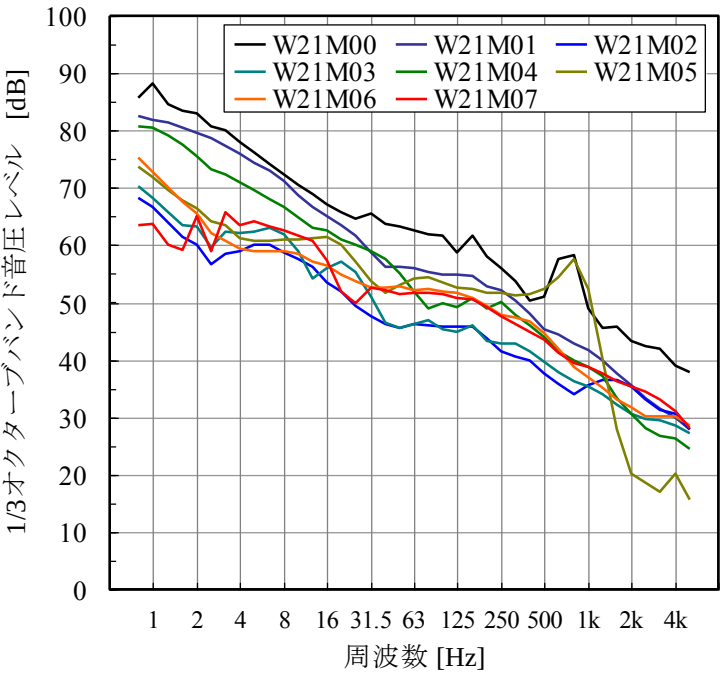


図21 各測定点における1/3オクターブバンド音圧レベル

表21 W21周辺における等価音圧レベル

測定点	距離 [m]	等価音圧レベル [dB]		
		L_{Aeq}	L_{Ceq}	L_{Geq}
M00	20	62	73	79
M01	270	53	67	77
M02	820	47	57	65
M03	640	46	59	69
M04	390	50	65	74
M05	1080	60	66	72
M06	1280	50	62	68
M07	430	50	62	68

備考：
M00は参考としての基準点。
全測定点にわたって道路騒音などの影響を受けている。M05は民家の設備機器音の影響があり欠測扱い。
M01、M03、M04、M06、M07は、木々の葉擦れ音などの影響が大きいいため欠測扱い。
M02は、風車音が聞こえないため欠測扱い。

風力発電施設：W22 分析時間帯：2012年8月7日 18:00～8月8日 02:00（8時間）

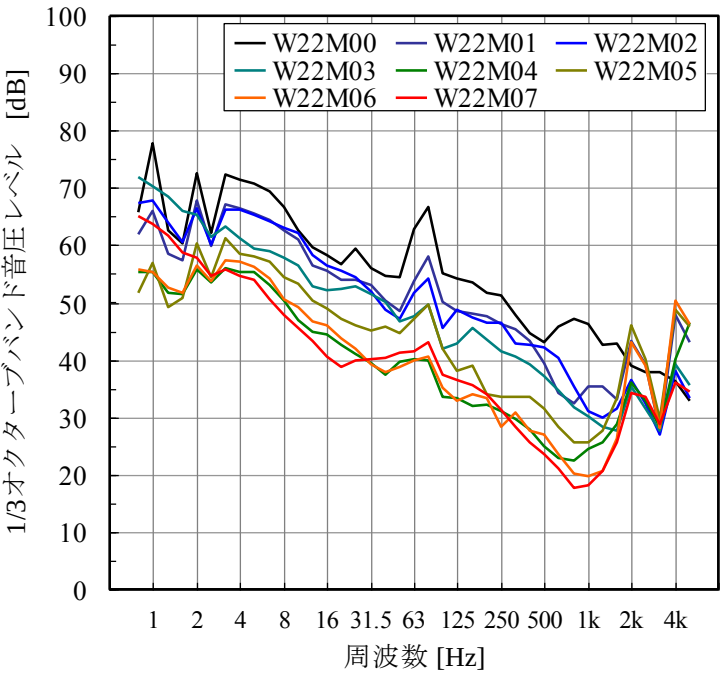


図22-1 各測定点における1/3オクターブバンド音圧レベル

表22 W22周辺における等価音圧レベル

測定点	距離 [m]	等価音圧レベル [dB]		
		L_{Aeq}	L_{Ceq}	L_{Geq}
M00	37	54	69	72
M01	173	47	62	68
M02	238	47	61	69
M03	396	43	58	66
M04	843	33	48	56
M05	563	37	54	61
M06	801	32	48	57
M07	1152	32	49	54

備考：
M00は参考としての基準点。
セミ・虫の音を削除するためにhigh-cut処理（1.6kHz帯域以上）。M04は、1kHz以上の帯域で川の音が聞こえる。

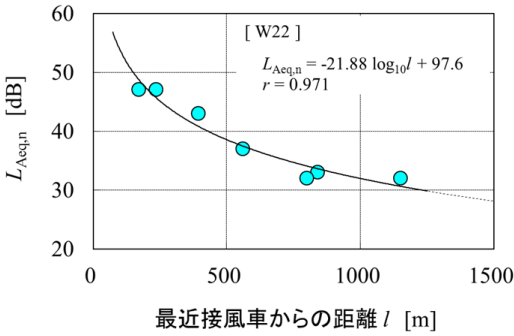


図22-2 等価騒音レベル L_{Aeq} の距離分布

備考：
M00は最近接風車に近いので除外。

風力発電施設：W23 分析時間帯：2012年8月23日22:00～8月24日06:00（8時間）

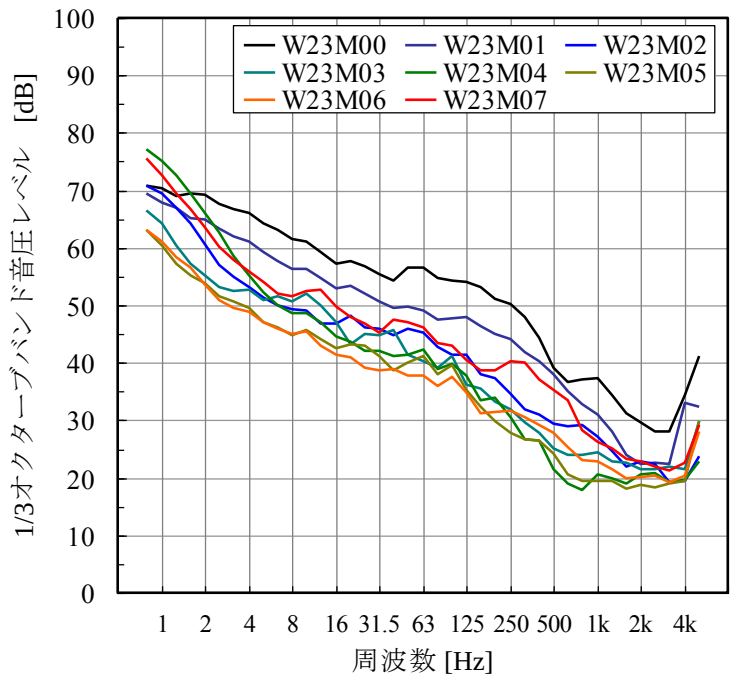


図23-1 各測定点における1/3オクターブバンド音圧レベル

表23 W23周辺における等価音圧レベル

測定点	距離 [m]	等価音圧レベル [dB]		
		L_{Aeq}	L_{Ceq}	L_{Geq}
M00	87	50	65	71
M01	273	44	59	66
M02	483	37	53	60
M03	485	34	51	59
M04	568	32	50	57
M05	721	31	48	56
M06	828	33	47	54
M07	350	41	55	61

備考：
M00は参考としての基準点。
セミ・虫の音を削除するためにhigh-cut処理（1.6kHz帯域以上）。M06は、風車音が聞こえないため欠測扱い。

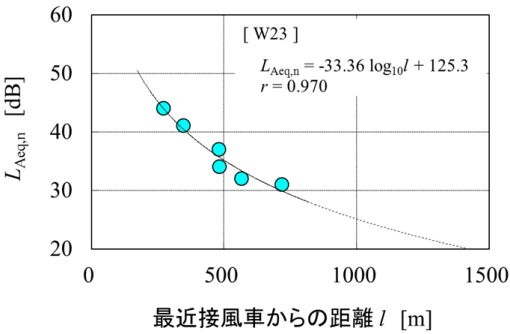


図23-2 等価騒音レベル L_{Aeq} の距離分布

備考：
M00は最近接風車に近いので除外。
M06は風車音が聞こえないため除外。

風力発電施設：W24 分析時間帯：2012年10月1日 15:00～10月1日 19:00（4時間）

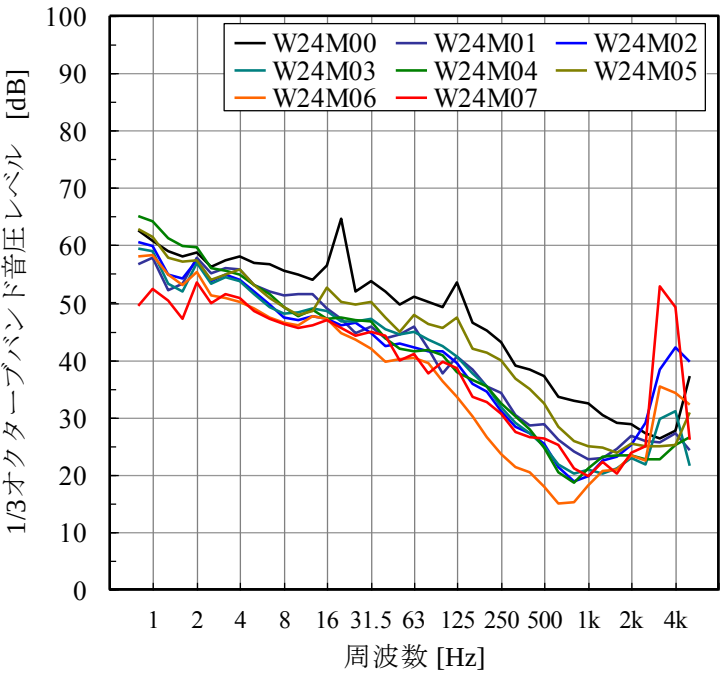


図24-1 各測定点における1/3オクターブバンド音圧レベル

表24 W24周辺における等価音圧レベル

測定点	距離 [m]	等価音圧レベル [dB]		
		L_{Aeq}	L_{Ceq}	L_{Geq}
M00	46	44	62	73
M01	449	35	53	60
M02	435	33	51	59
M03	385	34	53	60
M04	669	33	52	60
M05	309	40	56	63
M06	603	28	49	58
M07	406	33	50	58

備考：
距離は最近接風車までの距離。
M00は参考としての基準点。
M05、M06については16:00～19:00（3時間）、
M07については17:00～19:00（2時間）の分析結果。
セミ・虫の音を削除するためにhigh-cut処理（1.6kHz帯域以上）。

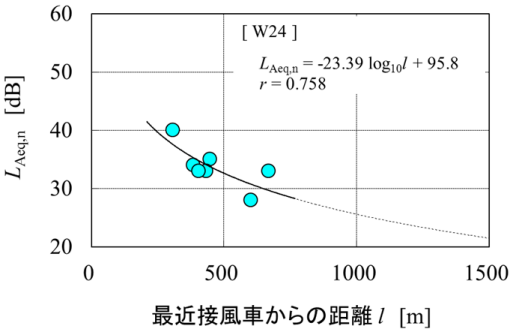


図24-2 等価騒音レベル L_{Aeq} の距離分布

備考：
M00は最近接風車に近いので除外。

風力発電施設：W25 分析時間帯：2012年10月9日18:00～10月10日02:00（8時間）

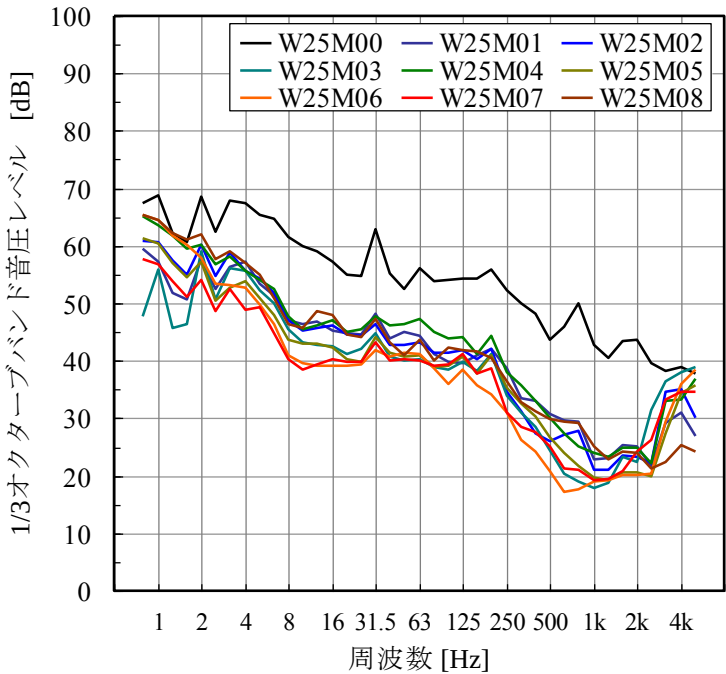


図25-1 各測定点における1/3オクターブバンド音圧レベル

表25 W25周辺における等価音圧レベル

測定点	距離 [m]	等価音圧レベル [dB]		
		L_{Aeq}	L_{Ceq}	L_{Geq}
M00	50	54	66	71
M01	680	38	53	59
M02	726	37	52	58
M03	732	35	50	56
M04	901	39	55	59
M05	780	36	50	55
M06	1002	31	48	53
M07	755	34	49	54
M08	773	38	52	59

備考：
距離は最近接風車までの距離。
M00は参考としての基準点。
M01については、10月13日04:00～10月13日11:00（7時間）の分析結果。
セミ・虫の音を削除するためにhigh-cut処理（1.6kHz帯域以上）。

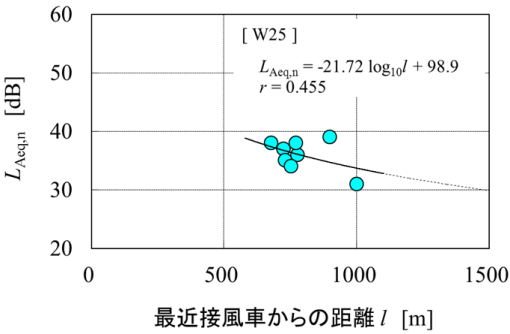


図25-2 等価騒音レベル $L_{Aeq,n}$ の距離分布

備考：
M00は最近接風車に近いので除外。

風力発電施設：W26 分析時間帯：2012年12月1日 00:00～12月1日 08:00（8時間）

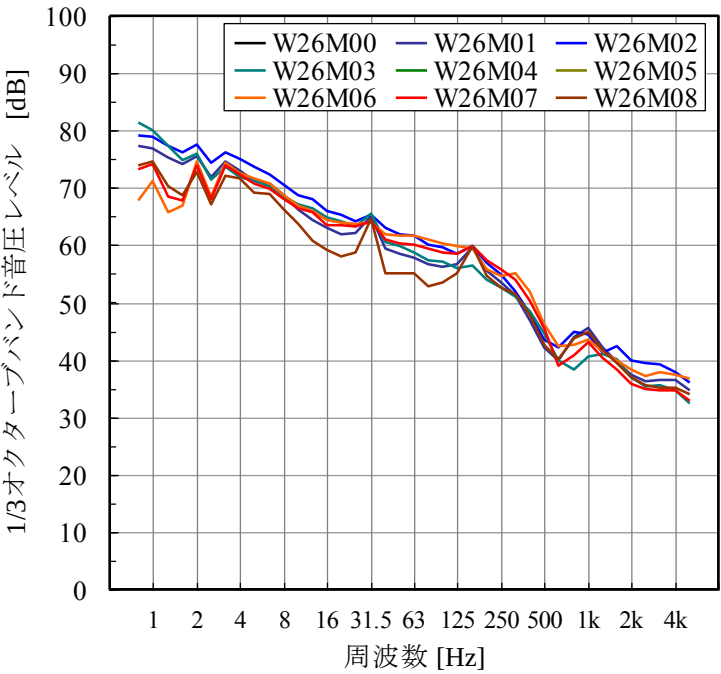


図26 各測定点における1/3オクターブバンド音圧レベル

表26 W26周辺における等価音圧レベル

測定点	距離 [m]	等価音圧レベル [dB]		
		L_{Aeq}	L_{Ceq}	L_{Geq}
M00				
M01	90	55	69	76
M02	90	56	71	79
M03	90	54	69	78
M04				
M05				
M06	90	56	71	77
M07	90	56	70	77
M08	87	54	67	74

備考：
この地域の測定の目的は風車騒音の指向性、距離減衰特定を調べるためで、住居側における風車音の調査ではない。
M00、M04、M05は騒音計を設置していない。

風力発電施設：W27 分析時間帯：2012年9月24日22:00～9月25日06:00（8時間）

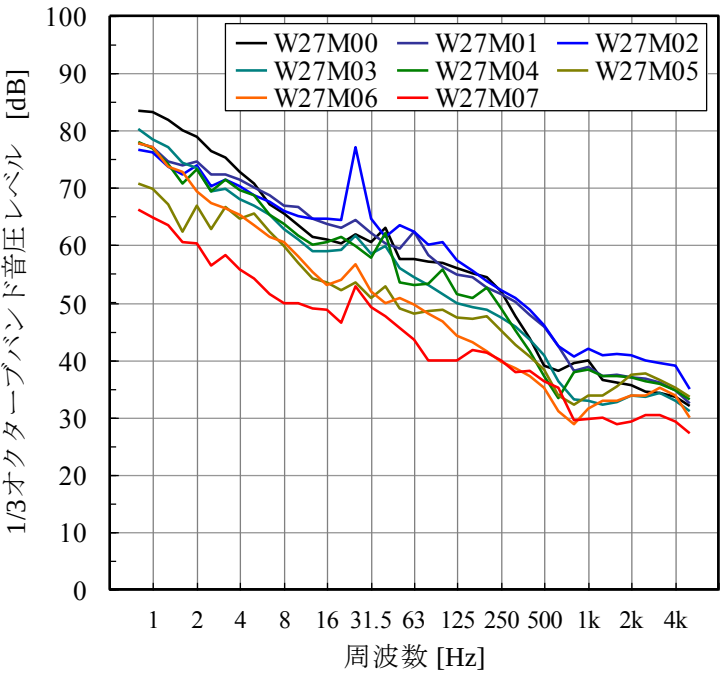


図27-1 各測定点における1/3オクターブバンド音圧レベル

表27 W27周辺における等価音圧レベル

測定点	距離 [m]	等価音圧レベル [dB]		
		L_{Aeq}	L_{Ceq}	L_{Geq}
M00	80	51	68	75
M01	80	52	69	77
M02	80	53	75	86
M03	210	47	65	74
M04	90	49	66	74
M05	220	45	59	67
M06	490	42	59	69
M07	560	42	55	64

備考：
距離は最近接風車までの距離。
セミ・虫の音を削除するためにhigh-cut処理（1.6kHz帯域以上）。
M02で顕著に見られる25 Hzの卓越成分は風車の機械音。
M01, M02, M03は波の音などの暗騒音の影響が大きい。

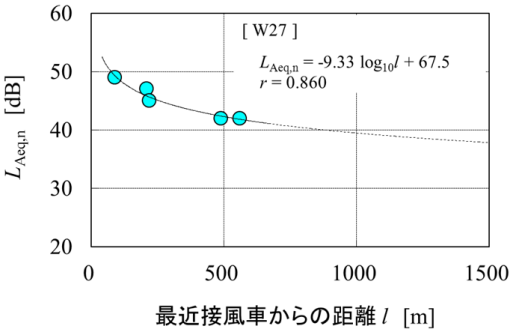


図27-2 等価騒音レベル L_{Aeq} の距離分布

備考：
M00～M02は最近接風車に近いので除外。
M04は最近接風車に近いが近くに民家があるため採用。

風力発電施設：W28 分析時間帯：2012年10月3日22:00～10月4日06:00（8時間）

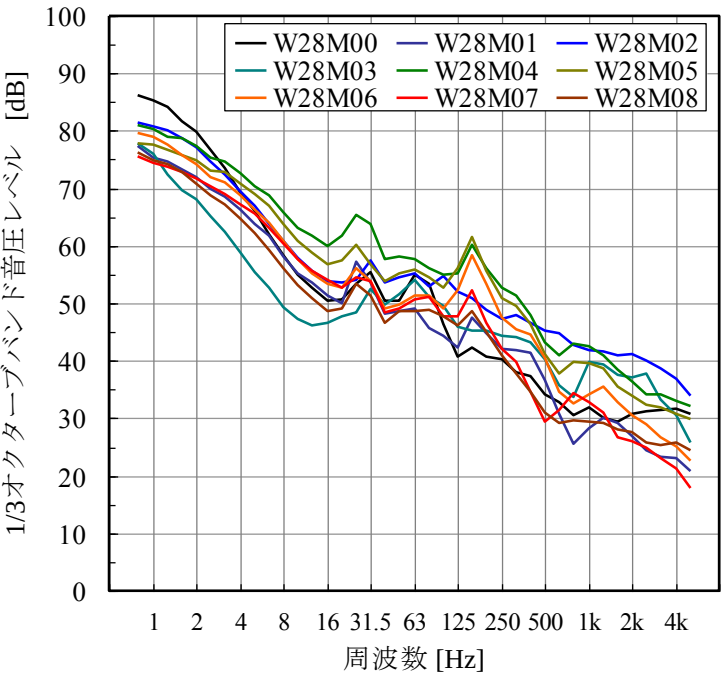


図28-1 各測定点における1/3オクターブバンド音圧レベル

表28 W28周辺における等価音圧レベル

測定点	距離 [m]	等価音圧レベル [dB]		
		L_{Aeq}	L_{Ceq}	L_{Geq}
M00	50	44	60	67
M01	350	44	59	68
M02	730	53	64	68
M03	930	49	60	62
M04	106	54	69	77
M05	137	53	67	72
M06	221	50	63	68
M07	375	45	60	68
M08	550	43	58	65

備考：
W28はW35と同じ風力発電施設
距離は最近接風車までの距離。
M00は参考としての基準点。
M00、M02、M03は、海の波音などの暗騒音の
影響が大きいため欠測扱い。
M04、M05の近くには民家はない。

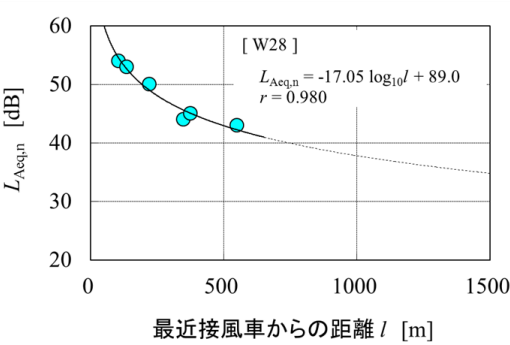


図28-2 等価騒音レベル $L_{Aeq,n}$ の距離分布

備考：
M00は最近接風車に近いので除外。
M02、M03は海の波音などの暗騒音が大きいため除外。
M04、M05の近くに民家はないが風車音は聞こえるので採用。

風力発電施設：W29 分析時間帯：2012年10月17日22:00～10月18日06:00（8時間）

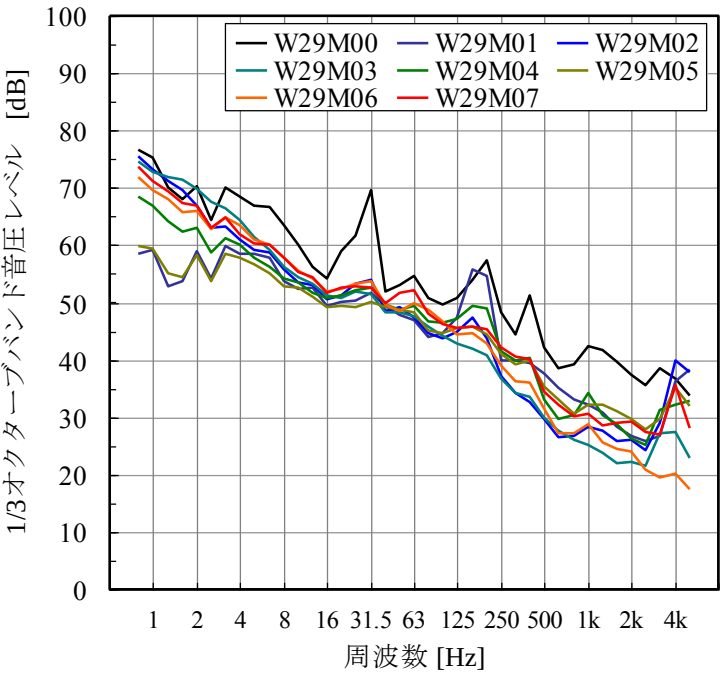


図29-1 各測定点における1/3オクターブバンド音圧レベル

表29 W29周辺における等価音圧レベル

測定点	距離 [m]	等価音圧レベル [dB]		
		L_{Aeq}	L_{Ceq}	L_{Geq}
M00	100	52	69	76
M01	370	48	61	64
M02	380	40	58	66
M03	540	38	57	65
M04	400	43	58	65
M05	500	41	57	63
M06	330	40	58	66
M07	415	43	59	66

備考：
M00は参考としての基準点。
セミ・虫の音を削除するためにhigh-cut処理（1.6kHz帯域以上）。
M01では、160-200 Hzに純音成分が卓越

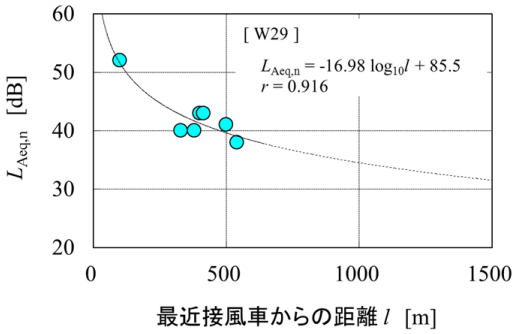


図29-2 等価騒音レベル $L_{Aeq,n}$ の距離分布

備考：
M01は純音性分が卓越しており除外。

風力発電施設：W30 分析時間帯：2012年11月9日22:00～11月10日06:00（8時間）

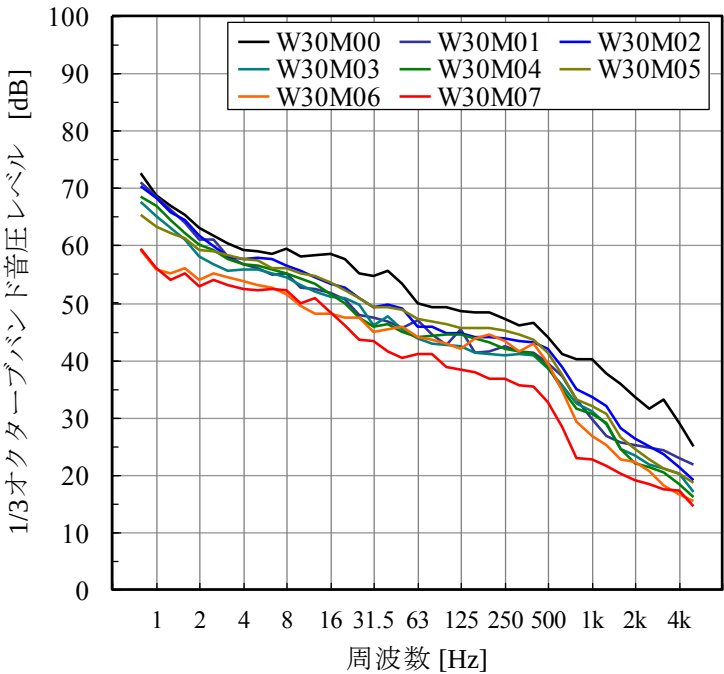


図30-1 各測定点における1/3オクターブバンド音圧レベル

表30 W30周辺における等価音圧レベル

測定点	距離 [m]	等価音圧レベル [dB]		
		L_{Aeq}	L_{Ceq}	L_{Geq}
M00	80	50	62	70
M01	370	44	56	63
M02	250	46	58	65
M03	370	43	55	63
M04	430	44	56	63
M05	380	46	58	65
M06	460	44	55	61
M07	430	38	51	59

備考：
W30はW36と同じ風力発電施設
距離は最近接風車までの距離。
M00は参考としての基準点。

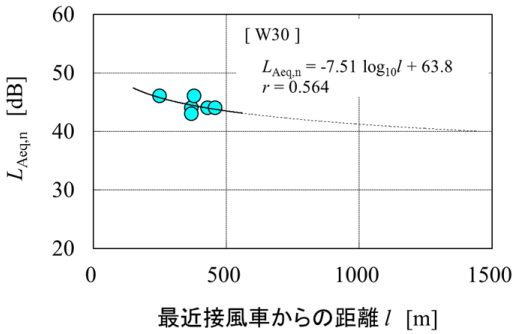


図30-2 等価騒音レベル L_{Aeq} の距離分布

備考：
M00は最近接風車に近いので除外。
M07は風車が見えにくいので除外。

風力発電施設：W31 分析時間帯：2013年2月6日22:00～2月7日06:00（8時間）

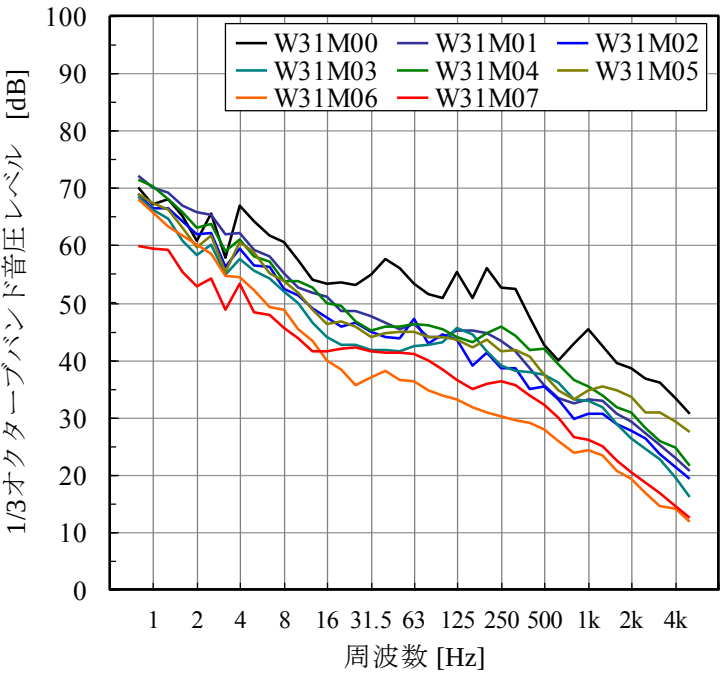


図31-1 各測定点における1/3オクターブバンド音圧レベル

表31 W31周辺における等価音圧レベル

測定点	距離 [m]	等価音圧レベル [dB]		
		L_{Aeq}	L_{Ceq}	L_{Geq}
M00	63	52	62	65
M01	200	41	54	60
M02	260	39	52	57
M03	300	40	51	54
M04	250	45	55	60
M05	310	40	51	57
M06	460	31	43	49
M07	570	36	48	54

備考：
M00は参考としての基準点。
M06、M07は、海の波音などの暗騒音の影響が大きく、欠測扱い。

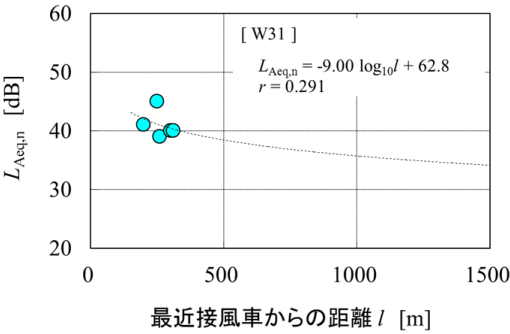


図31-2 等価騒音レベル $L_{Aeq,n}$ の距離分布

備考：
M00は最近接風車に近いので除外。
M06、M07は海の波音などの暗騒音の影響が大きく除外。

風力発電施設：W32 分析時間帯：2012年9月6日 21:00～9月7日 02:00（5時間）

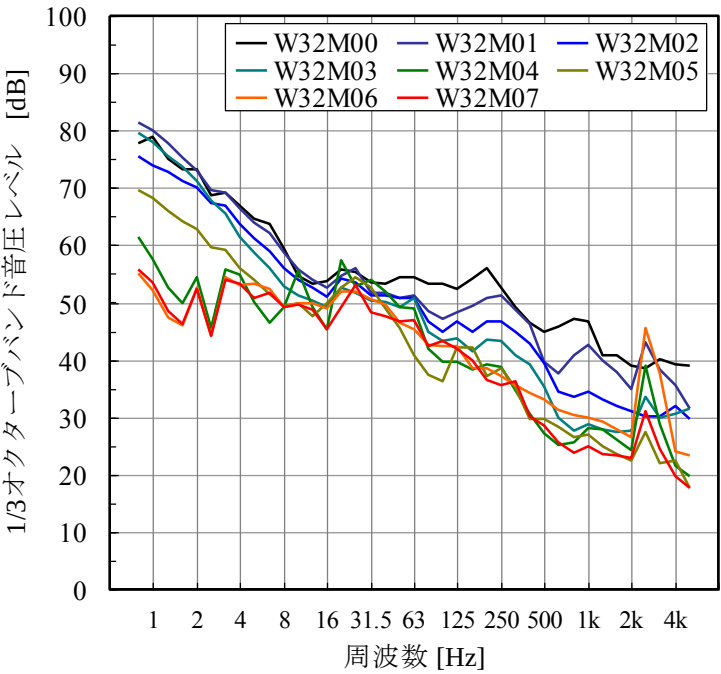


図32-1 各測定点における1/3オクターブバンド音圧レベル

表32 W32周辺における等価音圧レベル

測定点	距離 [m]	等価音圧レベル [dB]		
		L_{Aeq}	L_{Ceq}	L_{Geq}
M00	10	54	64	68
M01	100	51	61	67
M02	200	46	59	67
M03	300	42	57	65
M04	550	38	58	68
M05	608	38	56	66
M06	652	40	56	64
M07	707	37	55	64

備考：
M00は参考としての基準点。
セミ・虫の音を削除するためにhigh-cut処理（1.6kHz帯域以上）。
M01, M02, M03は距離減衰を調べるために設置した参考測定点（近くには民家はない）。
M04, M05は、暗騒音の影響が大きいため欠測扱い。

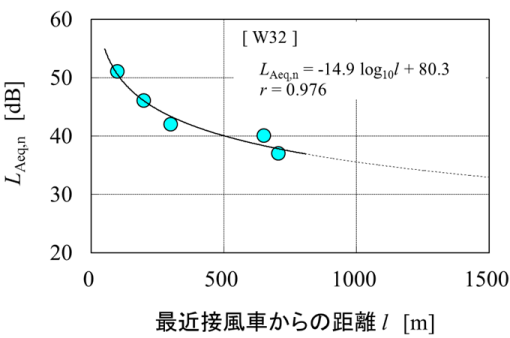


図32-2 等価騒音レベル L_{Aeq} の距離分布

備考：
M00は最近接風車に近いので除外。
M01～M03は近くに民家はないが風車音が聞こえるので採用。
M04, M05は暗騒音の影響が大きいため除外。

風力発電施設：W33 分析時間帯：2012年9月17日19:00～9月18日03:00（8時間）

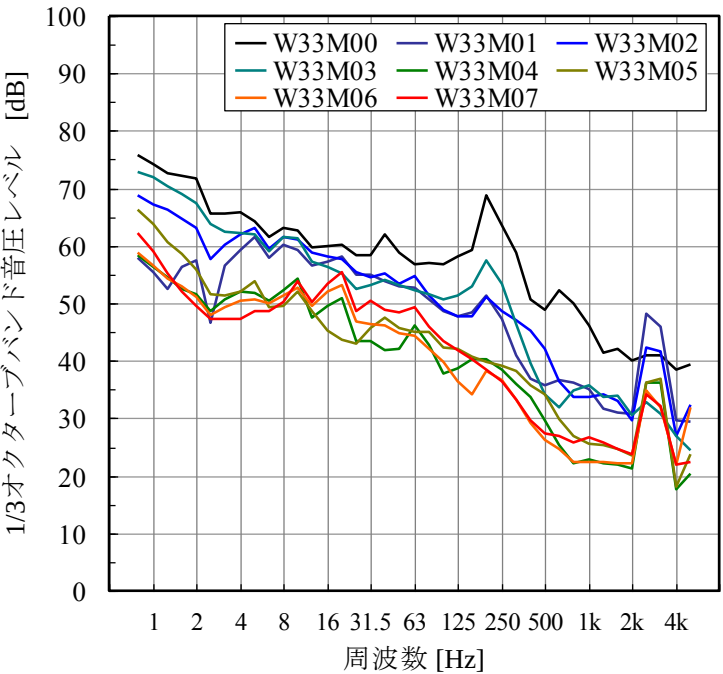


図33-1 各測定点における1/3オクターブバンド音圧レベル

表33 W33周辺における等価音圧レベル

測定点	距離 [m]	等価音圧レベル [dB]		
		L_{Aeq}	L_{Ceq}	L_{Geq}
M00	10	62	72	73
M01	98	46	62	70
M02	90	48	63	70
M03	111	51	64	68
M04	487	37	53	62
M05	363	40	54	58
M06	392	35	54	64
M07	654	37	57	66

備考：
M00は参考としての基準点。
セミ・虫の音を削除するためにhigh-cut処理（1.6kHz帯域以上）。
M01, M02, M03は風車騒音の指向性を調べるために設置した参考測定点（近くに民家はない）。
M04、M07は、暗騒音の影響が大きいため欠測扱い。

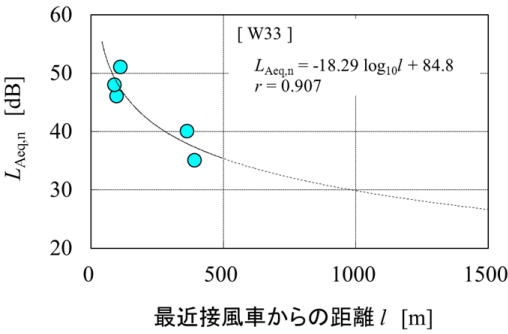


図33-2 等価騒音レベル L_{Aeq} の距離分布

備考：
M00は最近接風車に近いので除外。
M01～M03は近くに民家はないが風車音が聞こえるので採用。
M04、M07は暗騒音の影響が大きいため除外。

風力発電施設：W34 分析時間帯：2012年9月28日22:00～9月29日06:00（8時間）

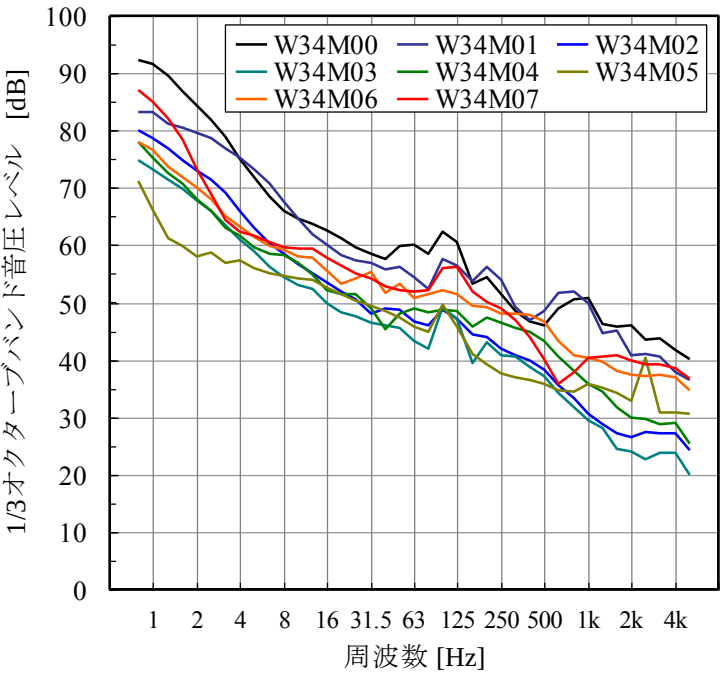


図34-1 各測定点における1/3オクターブバンド音圧レベル

表34 W34周辺における等価音圧レベル

測定点	距離 [m]	等価音圧レベル [dB]		
		L_{Aeq}	L_{Ceq}	L_{Geq}
M00	15	58	69	74
M01	20	58	67	73
M02	420	45	58	65
M03	454	43	56	62
M04	371	49	59	65
M05	270	48	57	64
M06	296	52	62	68
M07	454	52	64	70

備考：
距離は最近接風車までの距離。
M00, M01は参考としての基準点。
M04～M07は、風雑音の影響が大きいため欠測扱い。

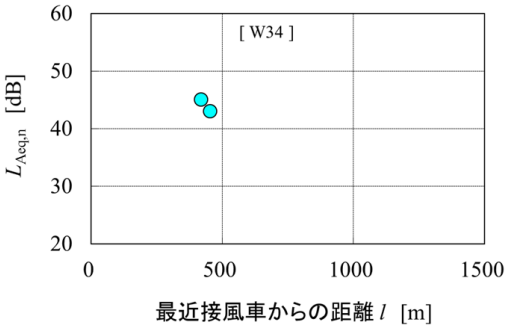


図34-2 等価騒音レベル L_{Aeq} の距離分布

備考：
M00, M01は最近接風車に近いので除外。
M04～M07は風雑音の影響が大きいため除外。

風力発電施設：W35 分析時間帯：2012年10月6日20:00～10月7日02:00（6時間）

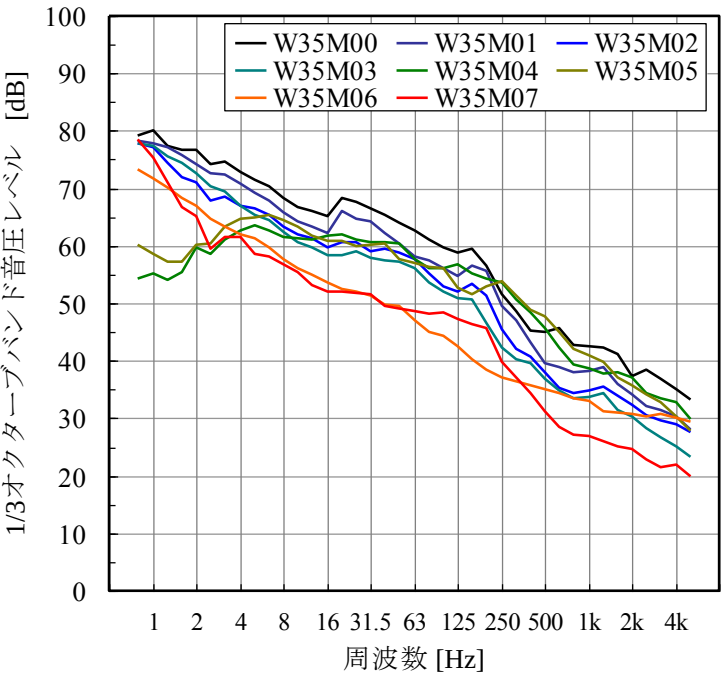


図35-1 各測定点における1/3オクターブバンド音圧レベル

表35 W35周辺における等価音圧レベル

測定点	距離 [m]	等価音圧レベル [dB]		
		L_{Aeq}	L_{Ceq}	L_{Geq}
M00	56	55	72	81
M01	102	52	69	78
M02	152	48	66	74
M03	202	46	64	72
M04	671	53	68	75
M05	773	54	67	74
M06	487	44	57	66
M07	500	42	58	65

備考：
W35はW28と同じ風力発電施設
距離は最近接風車までの距離。
M00は参考としての基準点。
M01, M02, M03は距離減衰を調べるために設置した参考測定点（近くには民家はない）。
M04, M05は、海の波音など暗騒音の影響が大きいため欠測扱い。

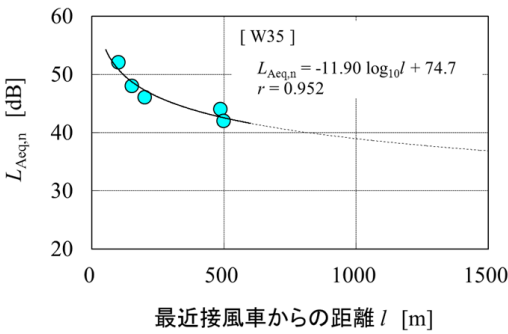


図35-2 等価騒音レベル L_{Aeq} の距離分布

備考：
M00は最近接風車に近いので除外。
M01, M02, M03は近くには民家はないが風車音が聞こえていたので採用。
M04, M05は海の波音などの暗騒音の影響が大きいため除外。

風力発電施設：W36 分析時間帯：2012年11月9日 22:00～11月10日 06:00（8時間）

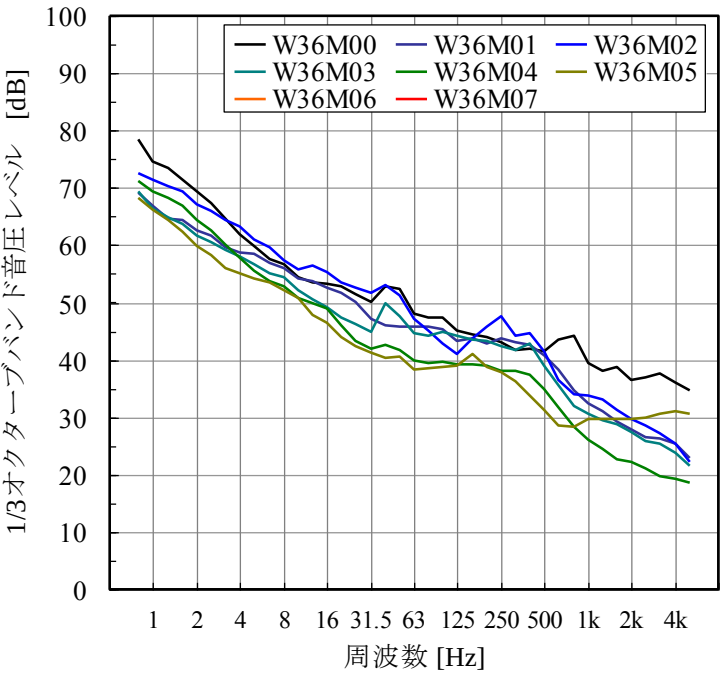


図36-1 各測定点における1/3オクターブバンド音圧レベル

表36 W36周辺における等価音圧レベル

測定点	距離 [m]	等価音圧レベル [dB]		
		L_{Aeq}	L_{Ceq}	L_{Geq}
M00	10	51	59	66
M01	305	46	57	64
M02	240	47	59	67
M03	236	45	56	61
M04	463	40	52	59
M05	517	42	51	58
M06				
M07				

備考：
W36はW30と同じ風力発電施設
距離は最近接風車までの距離。
M00は参考としての基準点。
M05は、1kHz帯域以上で竹の葉擦れ音の影響を受けている。

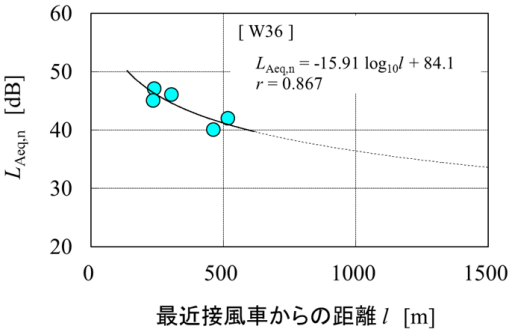


図36-2 等価騒音レベル L_{Aeq} の距離分布

備考：
M00は最近接風車に近いので除外。

対照地域：C01 分析時間帯：2011年8月24日22:00～8月25日06:00（8時間）

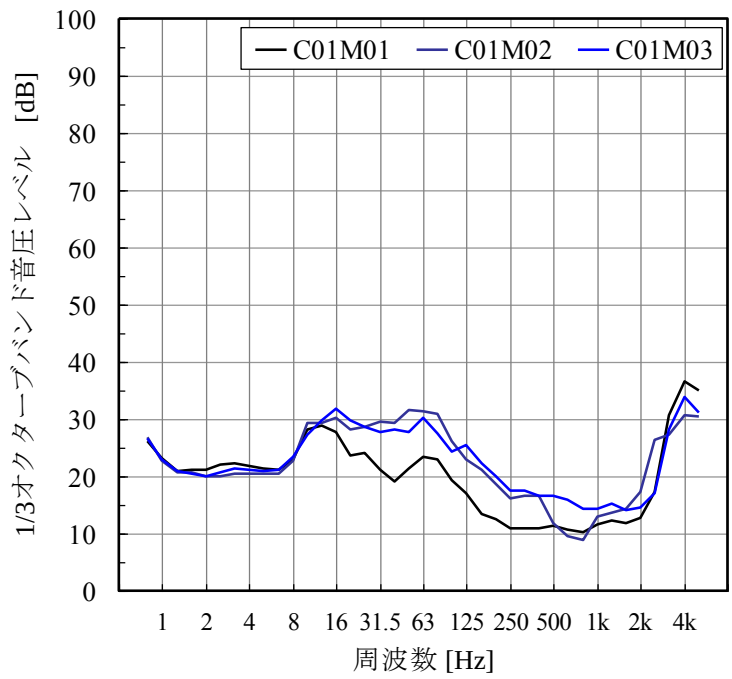


図37 各測定点における1/3オクターブバンド音圧レベル

表37

C01：95%時間率音圧レベル

測定点	時間率音圧レベル [dB]		
	$L_{A,95}$	$L_{C,95}$	$L_{G,95}$
M01	20	34	42
M02	23	42	46
M03	25	41	47

備考：

セミ・虫の音を削除するために high-cut処理（1.6kHz帯域以上）。

対照地域：C02 分析時間帯：2011年10月3日22:00～10月4日06:00（8時間）

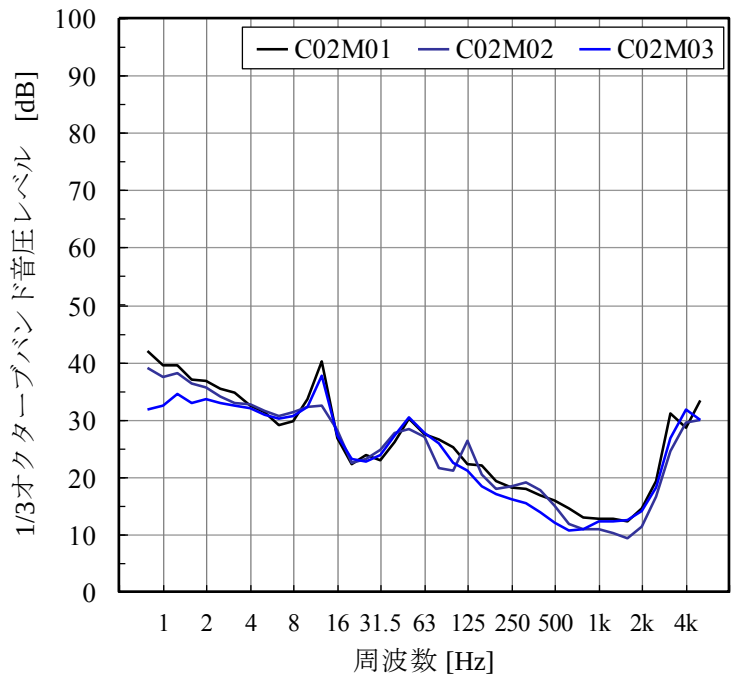


図38 各測定点における1/3オクターブバンド音圧レベル

表38

C02：95%時間率音圧レベル

測定点	時間率音圧レベル [dB]		
	$L_{A,95}$	$L_{C,95}$	$L_{G,95}$
M01	23	39	45
M02	23	38	44
M03	22	39	44

備考：

セミ・虫の音を削除するために high-cut処理（1.6kHz帯域以上）。

対照地域：C03 分析時間帯：2011年12月6日 22:00～12月7日 06:00（8時間）

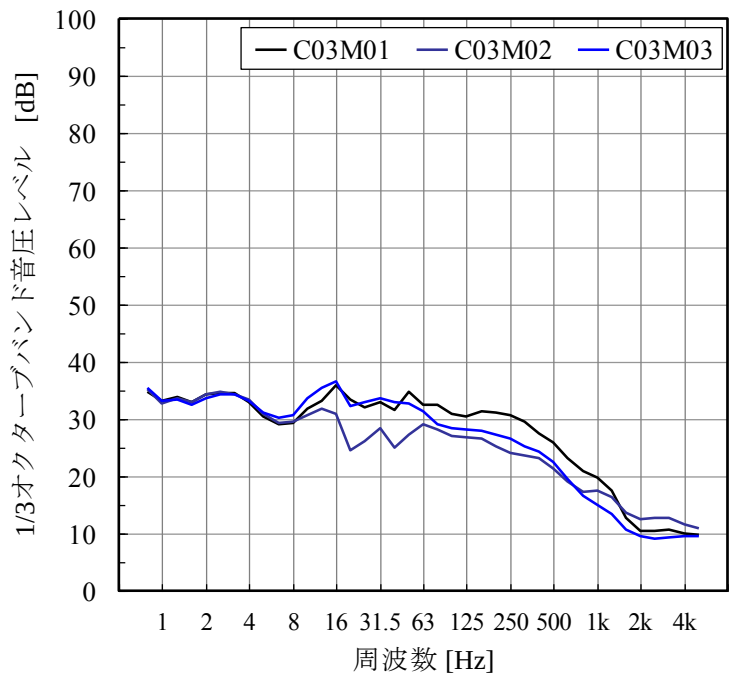


図39 各測定点における1/3オクターブバンド音圧レベル

図39

C03：95%時間率音圧レベル

測定点	時間率音圧レベル [dB]		
	$L_{A,95}$	$L_{C,95}$	$L_{G,95}$
M01	33	46	50
M02	30	41	45
M03	30	45	41

備考：
M01については、遠方の自動車走行音や風雑音の影響が大きいため欠測扱い。

対照地域：C04 分析時間帯：2011年10月18日 22:00～10月19日 06:00（8時間）

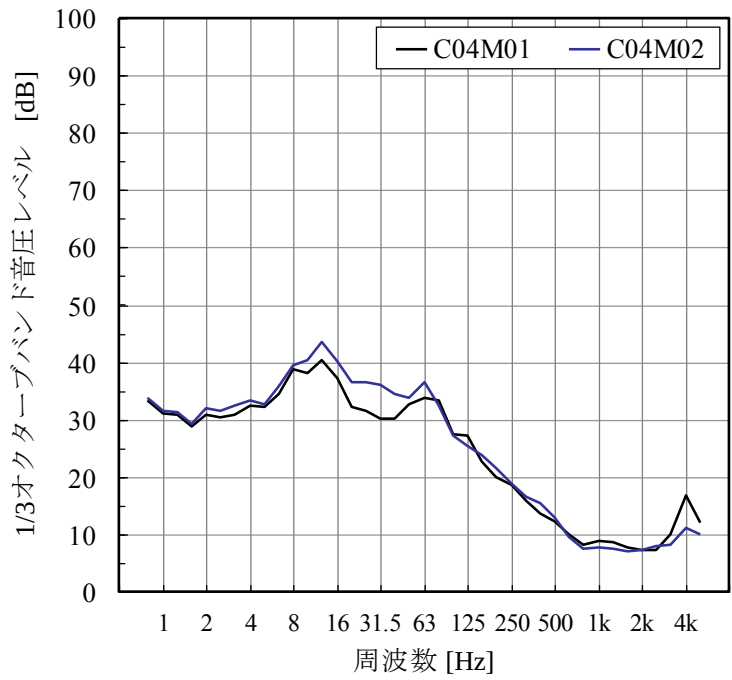


図40 各測定点における1/3オクターブバンド音圧レベル

表40

C04：95%時間率音圧レベル

測定点	時間率音圧レベル [dB]		
	$L_{A,95}$	$L_{C,95}$	$L_{G,95}$
M01	26	45	51
M02	25	48	55

対照地域：C05 分析時間帯：2012年1月16日22:00～1月17日06:00（8時間）

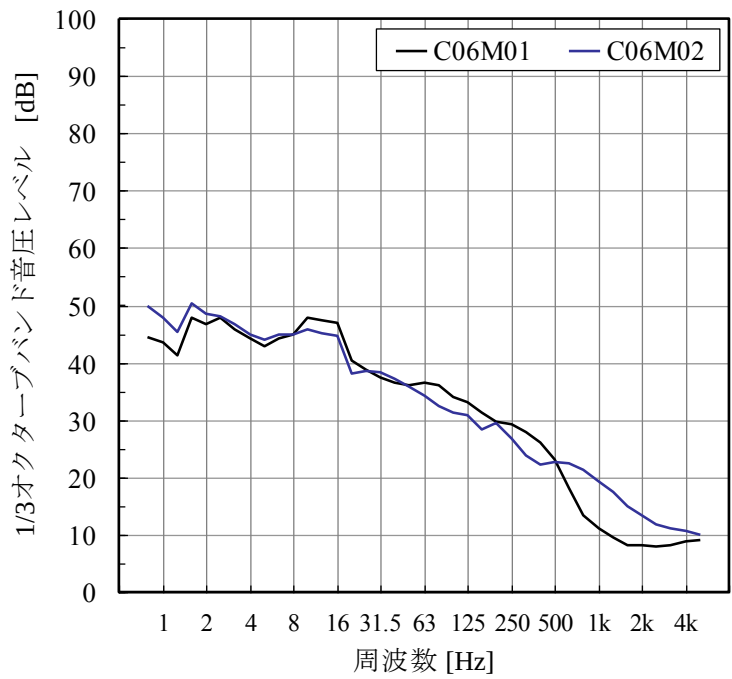


図41 各測定点における1/3オクターブバンド音圧レベル

表41

C05：95%時間率音圧レベル

測定点	時間率音圧レベル [dB]		
	$L_{A,95}$	$L_{C,95}$	$L_{G,95}$
M01	33	44	51
M02	32	46	53

対照地域：C06 分析時間帯：2012年1月24日22:00～1月25日06:00（8時間）

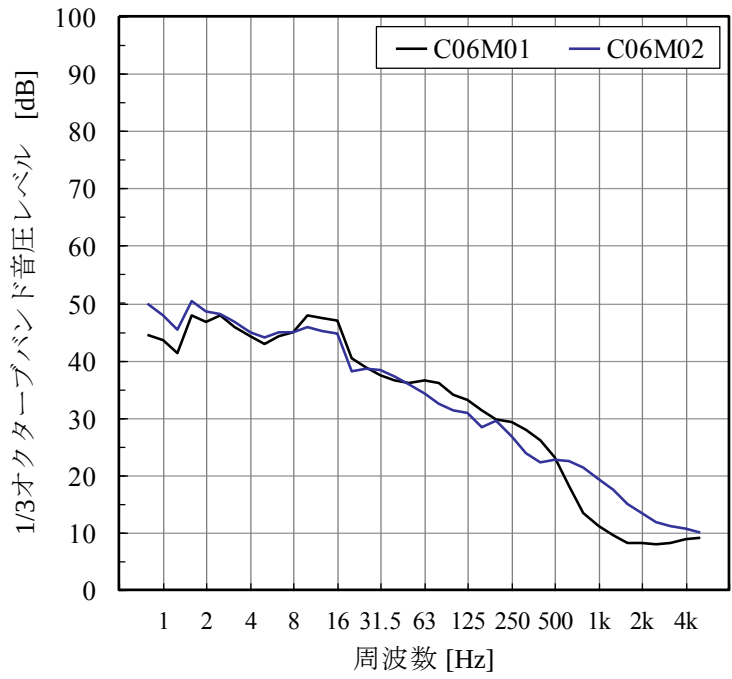


図42 各測定点における1/3オクターブバンド音圧レベル

表42

C06：95%時間率音圧レベル

測定点	時間率音圧レベル [dB]		
	$L_{A,95}$	$L_{C,95}$	$L_{G,95}$
M01	31	50	59
M02	31	49	58

備考：

風車（山上）から2.5km。

対照地域：C07 分析時間帯：2011年10月7日 22:00～10月8日 06:00（8時間）

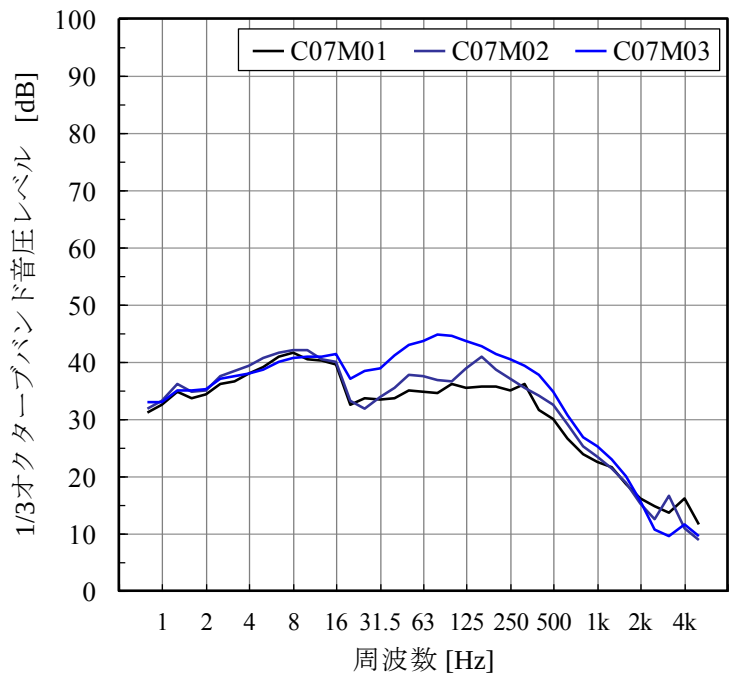


図43 各測定点における1/3オクターブバンド音圧レベル

表43

C07：95%時間率音圧レベル

測定点	時間率音圧レベル [dB]		
	$L_{A,95}$	$L_{C,95}$	$L_{G,95}$
M01	35	46	50
M02	35	47	49
M03	34	48	51

備考：
全測定点について、雨・風による
暗騒音の影響が大きい
ため欠測扱い。

対照地域：C08 分析時間帯：2011年10月16日 22:00～10月17日 06:00（8時間）

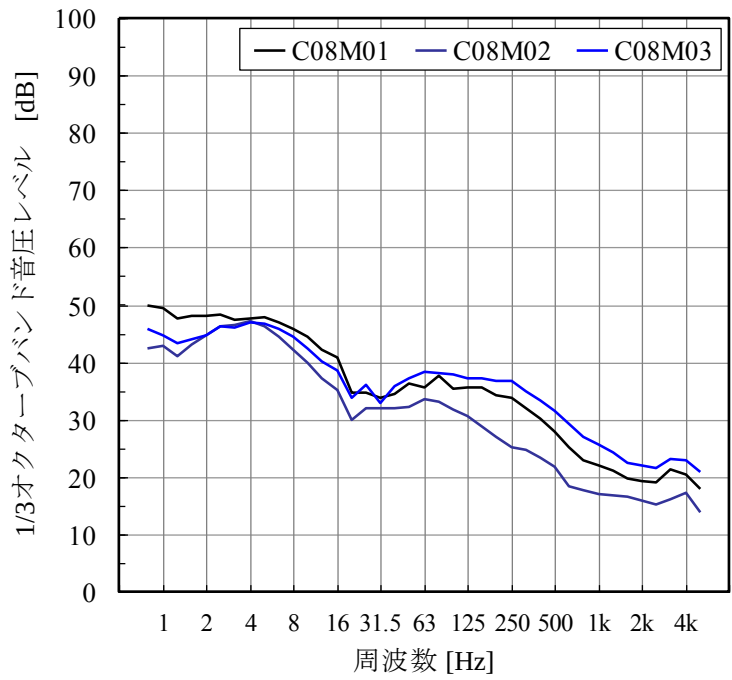


図44 各測定点における1/3オクターブバンド音圧レベル

表44

C08：95%時間率音圧レベル

測定点	時間率音圧レベル [dB]		
	$L_{A,95}$	$L_{C,95}$	$L_{G,95}$
M01	37	49	54
M02	31	45	51
M03	40	51	54

M01、M03については家屋設備機
器音の影響が大きい
ため欠測扱い。

対照地域：C09 分析時間帯：2011年11月3日 22:00～11月4日 06:00（8時間）

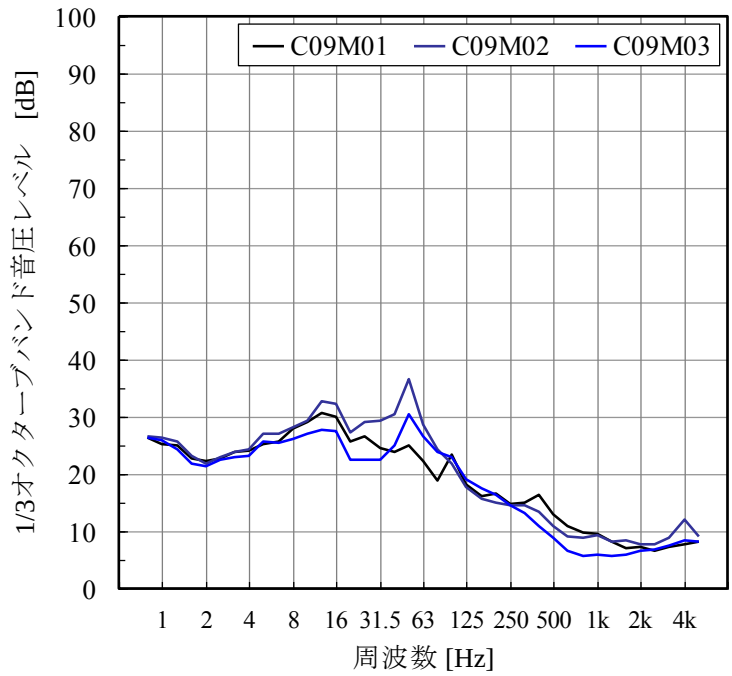


図45 各測定点における1/3オクターブバンド音圧レベル

表45

C09：95%時間率音圧レベル

測定点	時間率音圧レベル [dB]		
	$L_{A,95}$	$L_{C,95}$	$L_{G,95}$
M01	23	37	44
M02	24	42	46
M03	22	38	41

対照地域：C10 分析時間帯：2012年8月4日 22:00～8月5日 06:00（8時間）

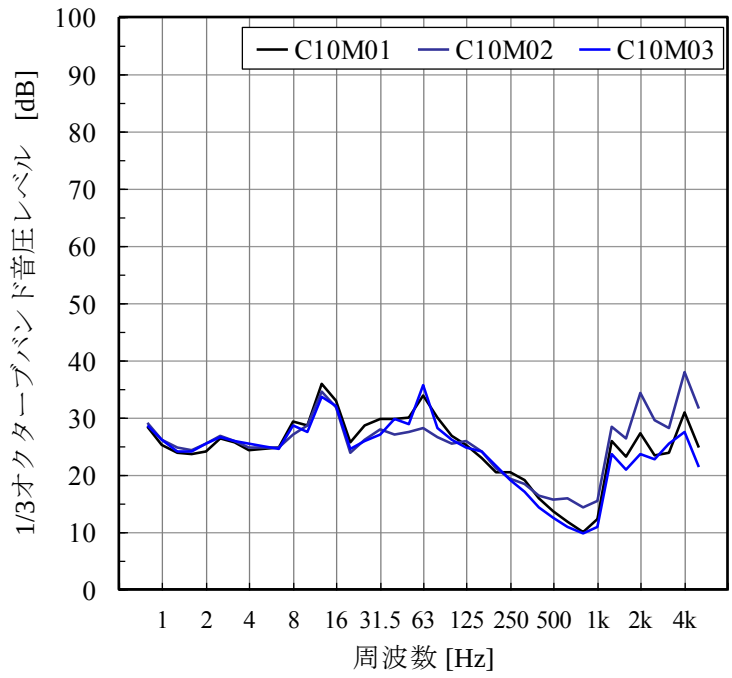


図46 各測定点における1/3オクターブバンド音圧レベル

表46

C10：95%時間率音圧レベル

測定点	時間率音圧レベル [dB]		
	$L_{A,95}$	$L_{C,95}$	$L_{G,95}$
M01	24	42	47
M02	25	40	45
M03	23	42	45

備考：
セミ・虫の音を削除するために
high-cut処理（1.6kHz帯域以上）。

対照地域：C11 分析時間帯：2012年8月19日22:00～8月20日06:00（8時間）

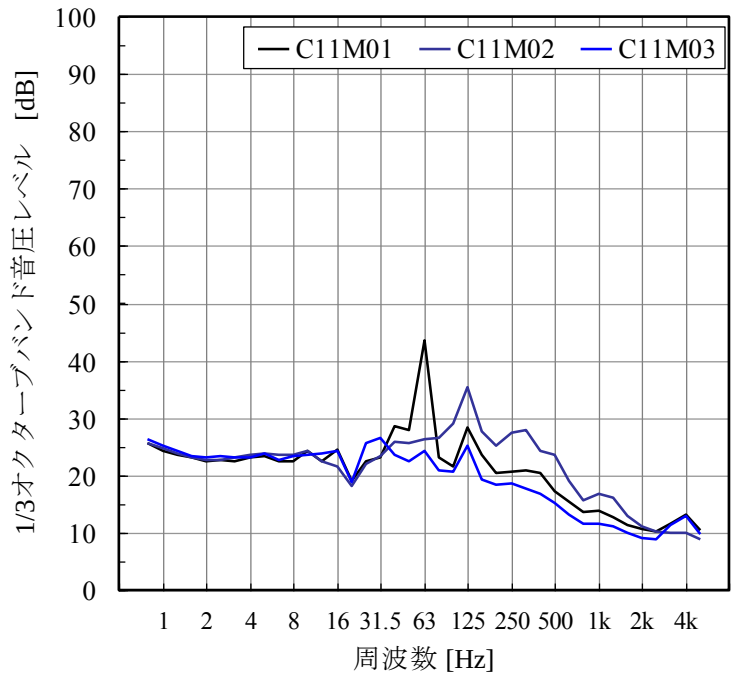


図47 各測定点における1/3オクターブバンド音圧レベル

表47

C11：95%時間率音圧レベル

測定点	時間率音圧レベル [dB]		
	$L_{A,95}$	$L_{C,95}$	$L_{G,95}$
M01	28	44	40
M02	31	42	39
M03	25	37	40

対照地域：C12 分析時間帯：2012年10月6日22:00～10月7日06:00（8時間）

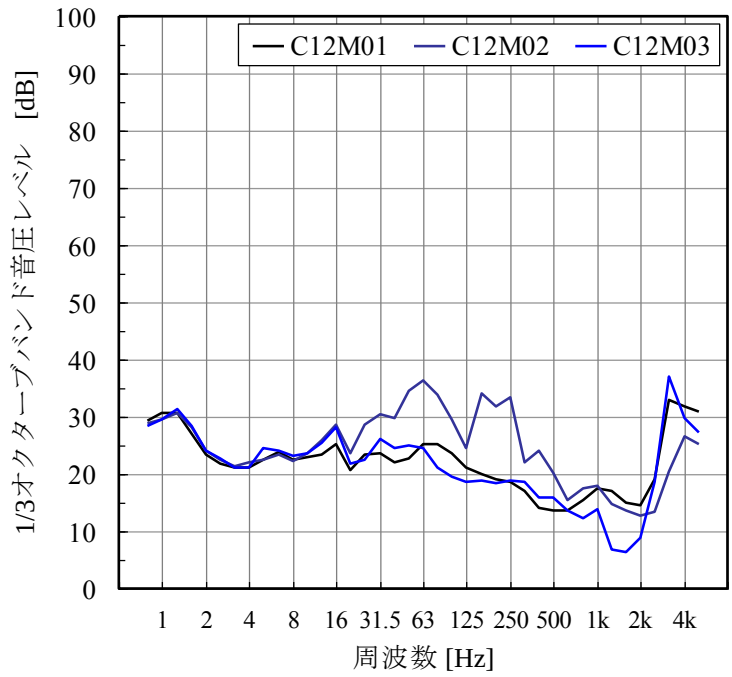


図48 各測定点における1/3オクターブバンド音圧レベル

表48

C12：95%時間率音圧レベル

測定点	時間率音圧レベル [dB]		
	$L_{A,95}$	$L_{C,95}$	$L_{G,95}$
M01	25	37	40
M02	31	45	45
M03	23	36	41

備考：

セミ・虫の音を削除するために high-cut 処理（1.6kHz 帯域以上）。M02 は家屋の設備機器音の影響が大きいため欠測扱い。

対照地域：C13 分析時間帯：2012年9月25日22:00～9月26日06:00（8時間）

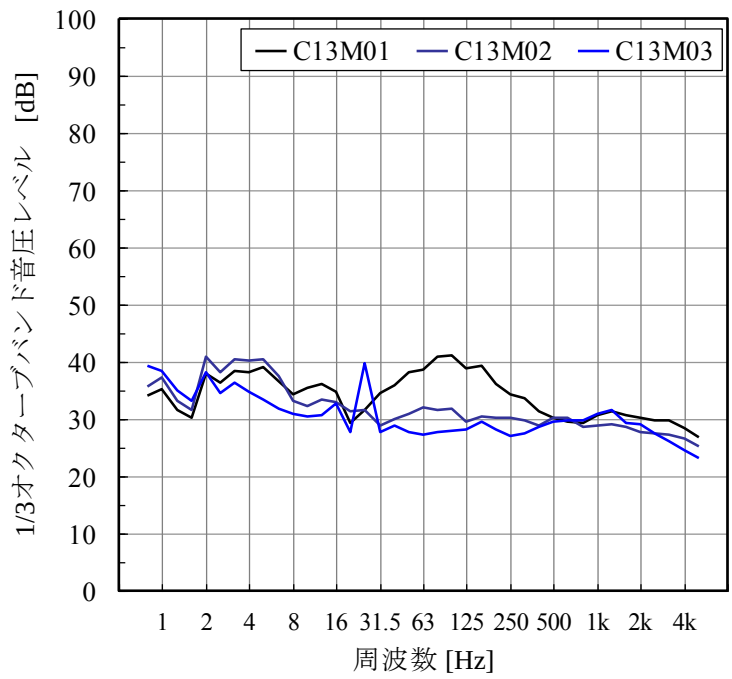


図49 各測定点における1/3オクターブバンド音圧レベル

表49

C13：95%時間率音圧レベル

測定点	時間率音圧レベル [dB]		
	$L_{A,95}$	$L_{C,95}$	$L_{G,95}$
M01	42	52	50
M02	40	46	48
M03	40	46	51

備考：
全測定点について風雑音が大きいため欠測扱い。

対照地域：C14 分析時間帯：2012年10月6日22:00～10月7日06:00（8時間）

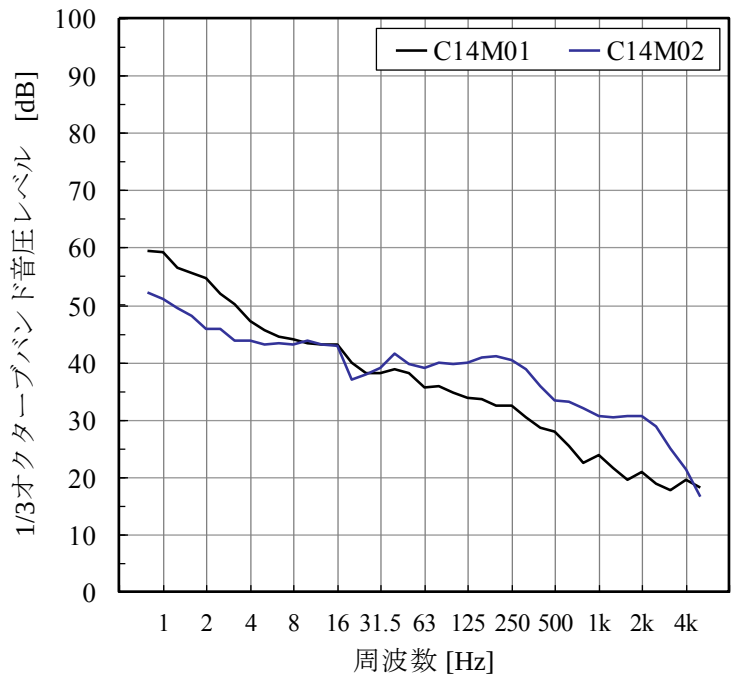


図50 各測定点における1/3オクターブバンド音圧レベル

表50

C14：95%時間率音圧レベル

測定点	時間率音圧レベル [dB]		
	$L_{A,95}$	$L_{C,95}$	$L_{G,95}$
M01	36	52	57
M02	43	54	57

備考：
M01は、海鳴りや風雑音の影響が大きいため欠測扱い。
M02については家屋の設備機器音の影響が大きいため欠測扱い。

対照地域：C15 分析時間帯：2012年10月20日22:00～10月21日06:00（8時間）

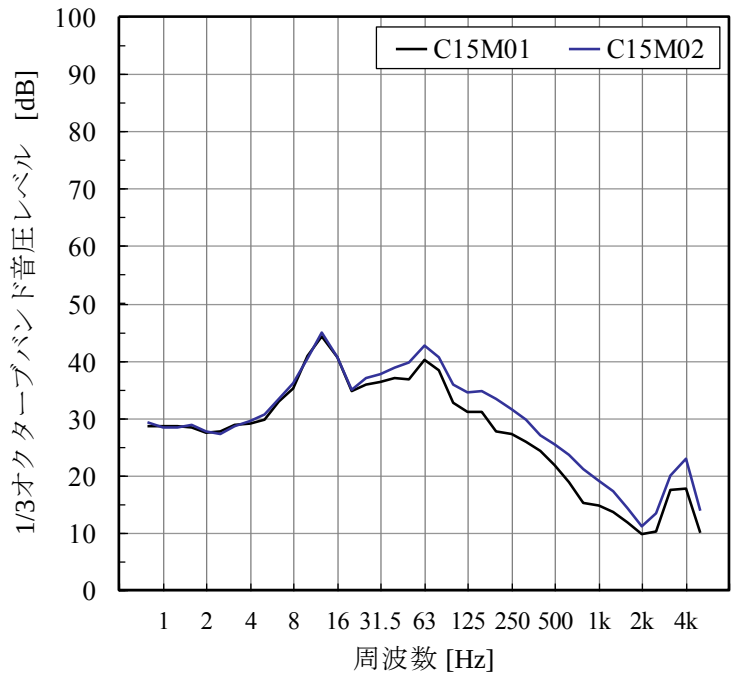


図51 各測定点における1/3オクターブバンド音圧レベル

表51

C15：95%時間率音圧レベル

測定点	時間率音圧レベル [dB]		
	$L_{A,95}$	$L_{C,95}$	$L_{G,95}$
M01	30	49	55
M02	34	52	56

備考：

セミ・虫の音を削除するために high-cut処理（1.6kHz帯域以上）。M02では遠方の自動車走行音や海鳴りなどの暗騒音の影響が大きいいため欠測扱い。

対照地域：C16 分析時間帯：2012年9月11日22:00～9月12日06:00（8時間）

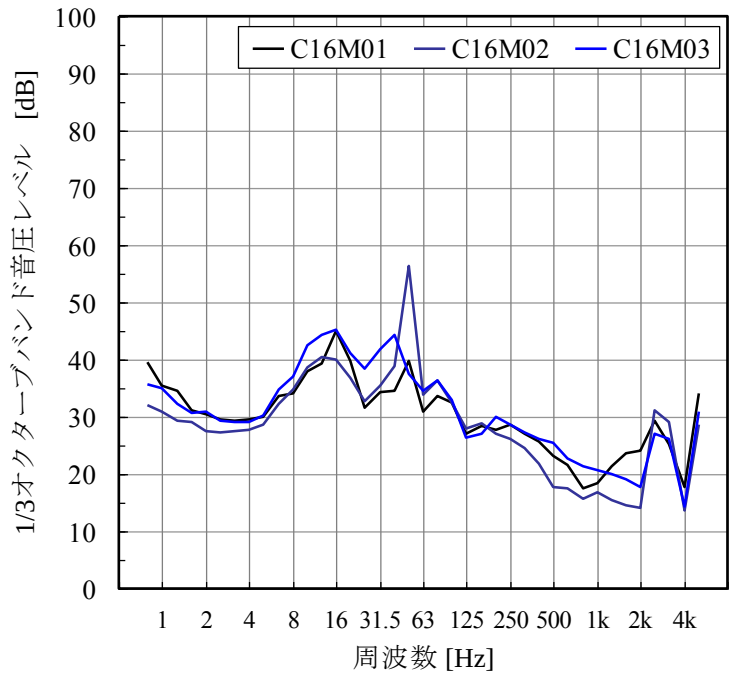


図52 各測定点における1/3オクターブバンド音圧レベル

表52

C16：95%時間率音圧レベル

測定点	時間率音圧レベル [dB]		
	$L_{A,95}$	$L_{C,95}$	$L_{G,95}$
M01	32	49	55
M02	31	56	56
M03	33	52	60

備考：

セミ・虫の音を削除するために high-cut処理（1.6kHz帯域以上）。

対照地域：C17 分析時間帯：2012年9月21日22:00～9月22日06:00（8時間）

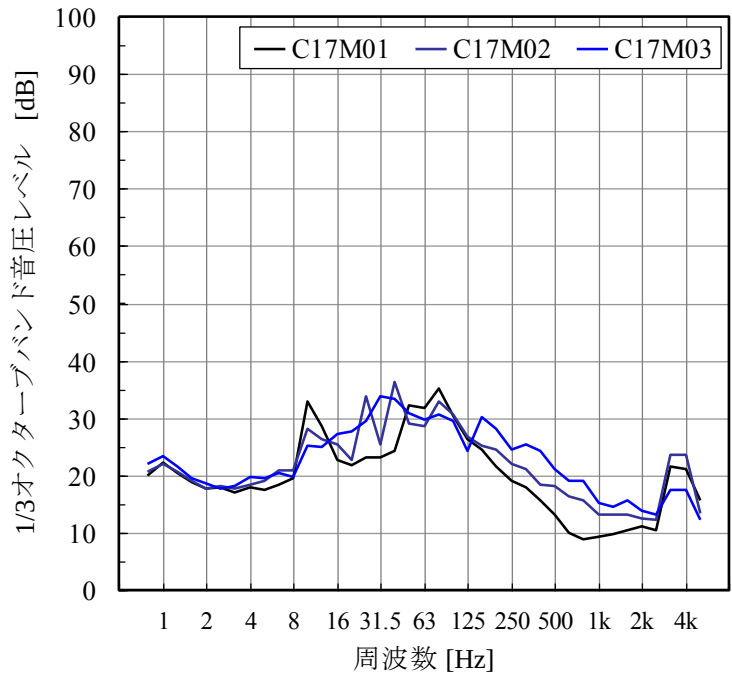


図53 各測定点における1/3オクターブバンド音圧レベル

表53

C17：95%時間率音圧レベル

測定点	時間率音圧レベル [dB]		
	$L_{A,95}$	$L_{C,95}$	$L_{G,95}$
M01	24	43	41
M02	26	43	46
M03	29	43	46

備考：
セミ・虫の音を削除するために
high-cut処理（1.6kHz帯域以上）。

対照地域：C18 分析時間帯：2012年11月11日22:00～11月12日06:00（8時間）

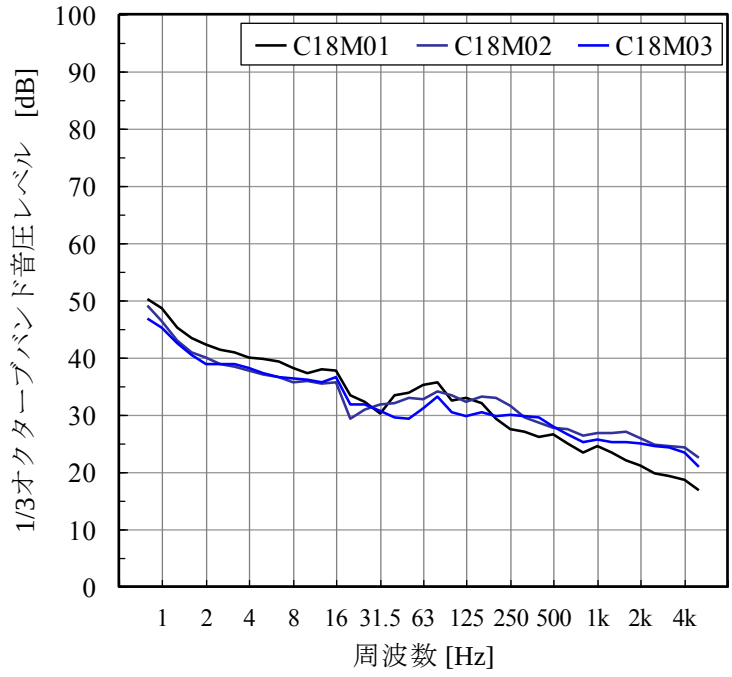


図54 各測定点における1/3オクターブバンド音圧レベル

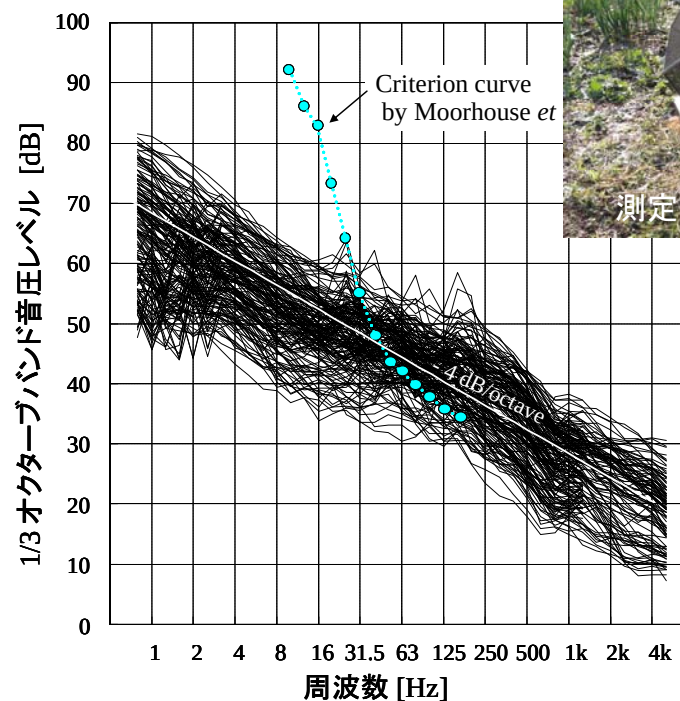
表54

C18：95%時間率音圧レベル

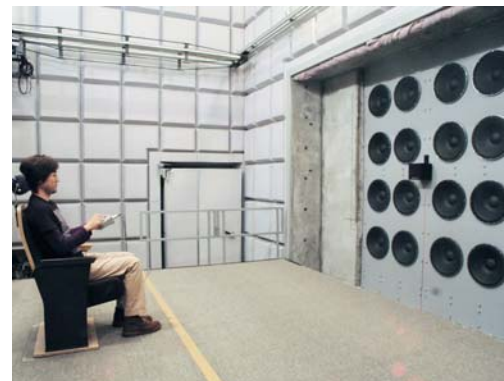
測定点	時間率音圧レベル [dB]		
	$L_{A,95}$	$L_{C,95}$	$L_{G,95}$
M01	35	47	51
M02	35	45	48
M03	37	45	50

備考：
雨・風による暗騒音の影響が大きいため欠測扱い。

S2-11 風力発電等による低周波音の人への影響評価に関する研究



風車騒音の実測結果（全国29施設周辺 164地点）



低周波音の聴感評価実験（東大生研）