

科学研究費助成事業（科学研究費補助金）研究成果報告書

平成 25 年 6 月 10 日現在

機関番号：33919

研究種目：基盤研究（C）

研究期間：2010～2012

課題番号：22560591

研究課題名（和文） 風力発電システムから発生する騒音の伝搬性状に及ぼす気象の影響

研究課題名（英文） Effect of meteorological conditions on noise propagation from wind power generation facilities

研究代表者

岡田 恭明（OKADA YASUAKI）

名城大学・理工学部・准教授

研究者番号：20367741

研究成果の概要（和文）：風車 1 基が設置されている場所において、騒音の長時間同時測定を実施し、主に水平および鉛直方向の音響放射特性に着目した研究を行った。その結果、ナセル側方での音圧レベルは、前方および後方に比べて 5dB 程度低く、風向きによって放射音のレベルが異なること、またロータ中心部から端部までのレベルは地上のそれと同程度であり、風車から 200m まで離れた点までの音の減衰の様子は、円形面音源を想定して計算した値とほぼ一致することなどを明らかにした。

研究成果の概要（英文）：In this study, the field measurements of noise from a single wind turbine were made in several terms, in order to examine the radiation characteristics of noise generated from the wind turbine. As a result of this study, it has been found that the A-weighted sound pressure levels in the upwind and downwind directions of the wind turbine are almost the same and are 5 dB larger than those in the crosswind direction. There are not any significant differences in the vertical distribution of noise emitted from the wind turbine. The noise level distributions at distances up to 200 m are similar to the calculated values assuming the wind turbine to be a circular plane source.

交付決定額

（金額単位：円）

	直接経費	間接経費	合計
2010年度	2,600,000	780,000	3,380,000
2011年度	500,000	150,000	650,000
2012年度	500,000	150,000	650,000
年度			
年度			
総計	3,600,000	1,080,000	4,680,000

研究分野：建築環境工学，社会音響学

科研費の分科・細目：建築学・建築環境・設備

キーワード：風力発電，音響測定，音響分析，放射特性，伝搬特性，

風向・風速，発電出力，ロータ回転速度

1. 研究開始当初の背景

我が国においても、風力発電施設は、再生可能エネルギー利用推進の観点から年々増加傾向にあるが、それに伴う周辺環境への影響も一部で懸念されている。そのような社会的背景もあり、平成 25 年度より環境影響評

価法の対象事業に追加されるに至った。風車から発生する低周波音成分を含む騒音は、ブレードの回転やそれが支柱を通過する時に発生する空力音、ナセル内部の発電機や増速機などの設備機器音が主とされており、これまでも様々な施設を対象にその実態調査が

行われている。しかしながら、時々刻々と変化する風の影響を受けて回転駆動する風車音の変動特性や、水平あるいは鉛直方向の音響放射特性、さらには風車音の伝搬特性など解明すべき点が多く残されているのが現状である。すなわち、自然エネルギーの利用を普及させるためにも、風車から発生する音などの程度周辺地域に伝わり、どのような手法で予測評価すれば良いのかを検討する必要があると考える。

2. 研究の目的

風車音の予測あるいは評価を考える上で、まず必要となる最も基本的な条件として、風車の音響放射特性および風とその特性変化の把握が挙げられる。そこで本研究では、ある1基の大型の風車を対象に、その周辺の多点で騒音の同時測定を3ヶ月にわたって実施し、ナセル上部で観測されている1秒ごとの風速や発電出力などのデータを用いて、水平および鉛直方向への音響放射特性に関する検討を行った。さらに、風車音の距離減衰特性に着目した実験も加えて行い、その時の気象条件(風向・風速)との対応について考察した。

以上の点から、風車からの音響放射特性とその伝搬性状が、気象の影響(風車の稼働状態も含む)によってどの程度変化し、またその特性の変化を明らかにすることを目的にした。

3. 研究の方法

騒音測定は、定格出力1,500kWのアップウィンド型の風車1基(ロータ中心高さ:65m, ロータ半径:35m)を対象に、2010年11月、12月と翌年の3月に計8日間実施した。地上の測定点の高さは1.2mで、図1に示すように、風車から50m離れた円周上30°間隔に計6点配置した(○, 1点の距離は40mである)。また3月には距離80m, 100m, 200mの3点(●)にも騒音計を設置し距離減衰に着目した測定を行った。

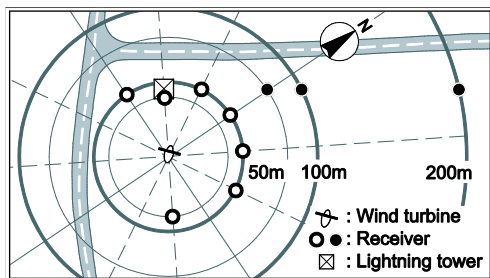


図1 測定位置関係

さらに、鉛直方向のレベル分布を把握するために、風車から約50m離れた位置にある避雷塔(高さ105m)の高さ2.5m, 30m, 45m, 65mの4点に測定点を設定した。すべての騒音計

には直径20cmのウレタン製全天候型ウィンドスクリーンを取付けた。周波数重み特性はA, 時間重み特性はFASTである。

風車音の分析は、収録した実音をモニタしながら1/3オクターブバンド音圧レベル L_p を200ms間隔で求め、10秒間の時間平均音圧レベル $L_{peq,10s}$ を算出した。測定中に風車を約30分間強制停止させ、その時の L_{p95} から残留騒音の確認も行っている。

また、ナセル上部で1秒間隔に観測されている風速[m/s], ナセル方位(風向)[°], 発電出力[kW]およびロータ回転速度[rpm]のデータを入手し、音響データと同期して10秒間の平均値をそれぞれ算出した。

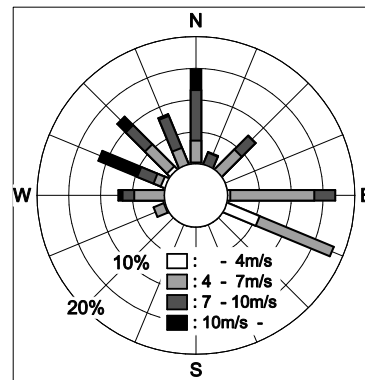


図2 風向・風速出現頻度(10s間の平均値)

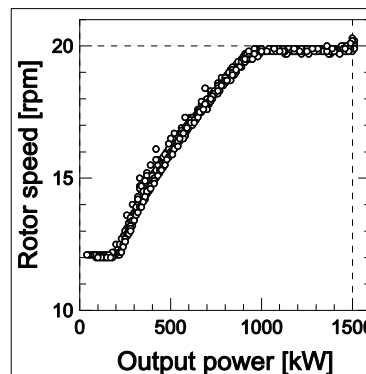
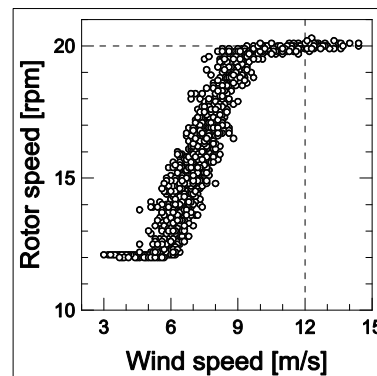


図3 風速とロータ回転速度および発電出力とそれとの対応(10s間の平均値)

4. 研究成果

(1) 期間中の気象および風車の稼働状態

測定期間中のナセル高さでの風速と風向別の出現頻度（10s 間の平均値）を図 2 に示す。風向きは西から東南東の範囲が大部分で、取得した音響データの多くは風上側（風車前方）であった。図 3 は、測定時の風車の稼働状態（風速、ロータ回転速度および発電出力）を整理したものである。測定は、カットイン風速の 3m/s から定格風速の 12m/s 以上まで様々な条件下で実施できたことがわかる。また今回対象とした風車は、ロータ回転速度がナセル高さでの風速が約 9m/s 以上になると 20rpm の定格速度に達し、その時の発電出力は約 900kW から定格出力の 1,500kW まで及ぶものであった。

(2) 風車の稼働に伴う騒音レベル変化

図 4 は、風車前方の 30° の範囲内で測定した $L_{Aeq,10s}$ をナセル高さでの風速を用いて整理した例である。騒音レベル $L_{Aeq,10s}$ は、これまでの知見と同様、風速と共に上昇する傾向がみられるものの、風速が 5~8m/s の範囲ではレベルは 5dB 以上も大きくばらついている。この理由としては、風速計がブレード後方の風下側に設置されていることによる測定上の不確かさや風速自体が時々刻々と大きく変化することなどによると考えられる。

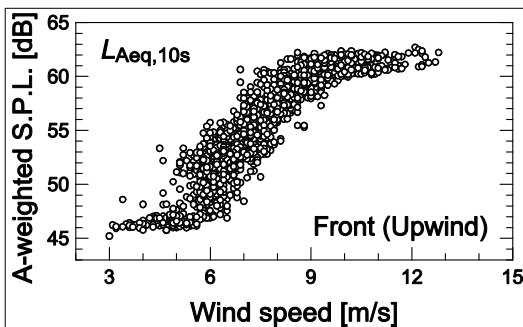


図 4 風速に対する騒音レベル $L_{Aeq,10s}$ の変化（風車前方に対して±30°内の測定データ）

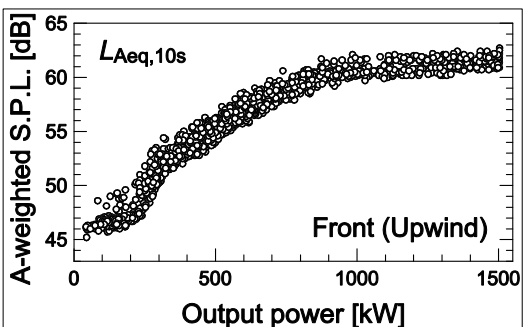


図 5 発電出力に対する騒音レベル $L_{Aeq,10s}$ の変化（風車前方に対して±30°内の測定データ）

一方、図 5 は、同様の $L_{Aeq,10s}$ を発電出力で整理した結果であるが、両者の対応は風速より

も良好であることがまずわかる。この風車の場合、ロータ回転速度がほぼ一定となる 900kW 以上（図 3）になると、 $L_{Aeq,10s}$ の変化は僅かであること、またナセル側方での $L_{Aeq,10s}$ は前方および後方のそれよりも低くなる傾向があることなども認められた。

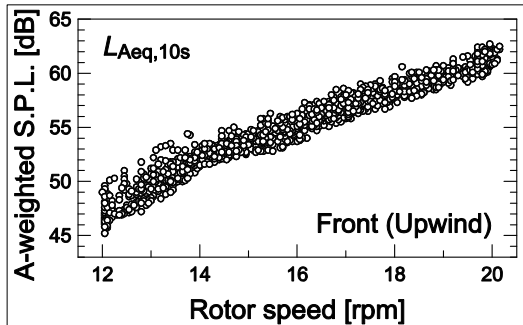


図 6 ロータ回転速度に対する騒音レベル $L_{Aeq,10s}$ の変化（風車前方に対して±30°内の測定データ）

さらにロータ回転速度に対する $L_{Aeq,10s}$ の変化を図 6 に示す。 $L_{Aeq,10s}$ はロータ回転速度と共にほぼ直線的に上昇する様子が伺える。

以上のように、風車の音響データは、通常、地上高さ 10m やナセル高さでの平均風速を用いて整理されることが多いが、その音響特性は発電出力やロータ回転速度からも十分説明できることが示唆された。

そこで、以下では風車の稼働状態を表す一つのパラメータである発電出力を用いて種々の検討を行うこととした。

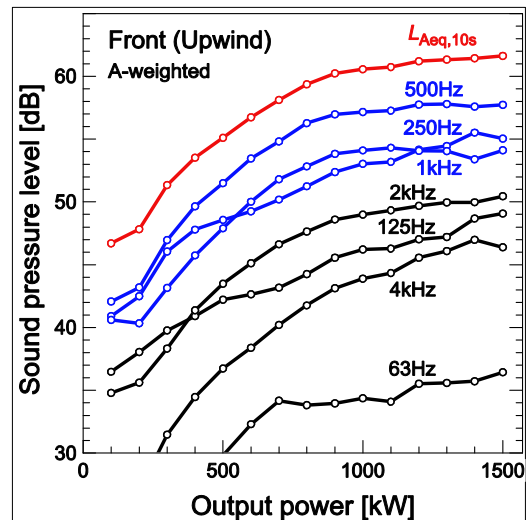


図 7 発電出力に対する 1 オクターブバンド音圧レベル $L_{peq,10s}$ の変化 ($L_{Aeq,10s}$, 63~4kHz)

(3) 発電出力に対する音圧レベル変化

各周波数の音圧レベルが発電出力と共にどの様に上昇していくのかをみるために、定格出力 1,500kW まで 100kW 間隔の 1 オクターブバンド音圧レベル $L_{peq,10s}$ の算術平均値を

求めた。図7はその結果で、風車前方の例である。すべての周波数の音圧レベルは発電出力と共に上昇するが、この風車の場合には、その傾向は500Hzで顕著であった。またA特性で評価した場合には、発電出力が低い時（風速4,5m/s）でも250~1kHzの中音成分が支配的であることなどもわかる。

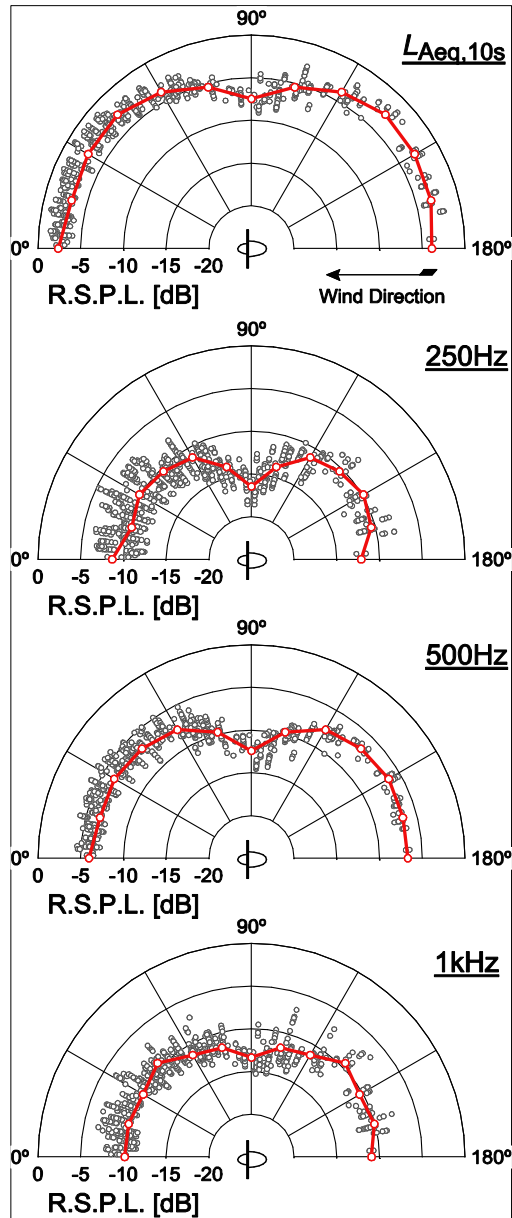


図8 水平方向への相対音圧レベル $L_{Aeq,10s}$, $L_{peq,10s}$ 分布および 15° 間隔の算術平均レベル

(4) 水平方向の音響放射特性

風車から発生する騒音の水平方向の放射特性をみるために、レベルがほぼ一定となる発電出力が900kW以上の測定結果から15°間隔に±7.5°範囲内にある音圧レベルの算術平均値を求めた。図8はその結果である。風車後方側でのデータ数が前方側のそれに比

べて少ないものの、騒音レベル $L_{Aeq,10s}$ は、前方と後方では同程度であり、側方ではそれらに対して5dB程度低下することがわかる。またこの傾向は、主要な成分である周波数250~1kHzでも認められた。さらに、図9に示すように、発電出力に伴う各周波数の音圧レベルの上昇の程度は、全方向にわたってほぼ同様であることも確認できた。

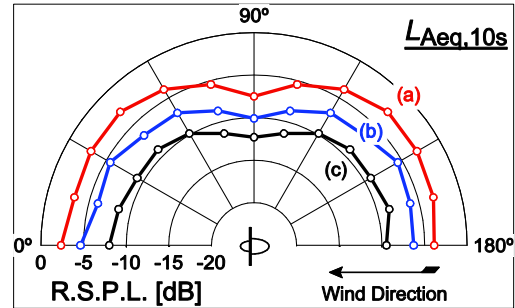


図9 発電出力ごとの水平方向への相対音圧レベル $L_{Aeq,10s}$ 分布の比較((a) 900-1,500kW, (b) 600-900kW, (c) 400-600kW)

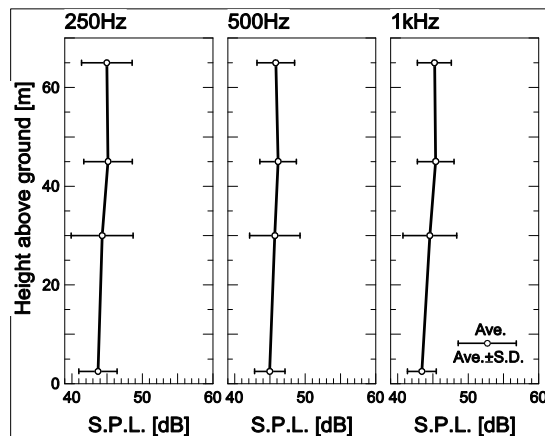
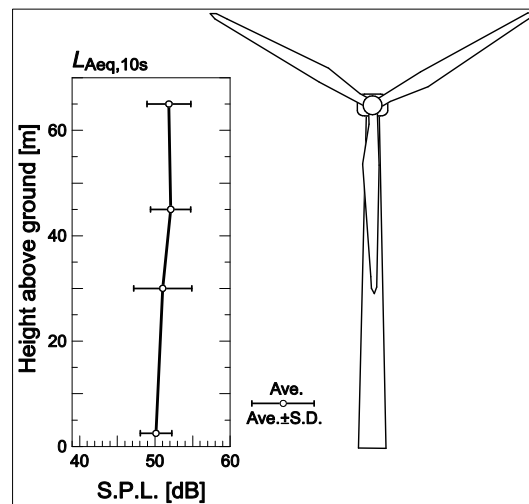


図10 ロータ中心部から地上付近までの騒音レベル $L_{Aeq,10s}$ および1オクターブバンドレベル $L_{peq,10s}$ の鉛直分布(平均値, 標準偏差)

(5) 鉛直方向の音響放射特性

避雷塔に設置した測定点（各点から風車までの水平距離 40~45m）についても地上のそれらと同時測定を行ったが、ロータ半径が 35m であることから、風雑音の影響を避けるため、鉛直方向のレベル分布については、測定面が風車と正対している場合（受音点：ナセル後方 180±30°、Downwind）のデータのみを用いて検討を行った。図 10 は、測定できた発電出力が 50~600kW の時（風速：3~8m/s）の騒音レベル $L_{Aeq,10s}$ と風車音の主要な成分である 250, 500, 1kHz の 1 オクターブバンドレベルの平均値と標準偏差をそれぞれ求めた結果である。

これらには、当然ながら発生源から各測定点までの距離による減衰の違いや地表面などからの反射の影響の程度の違いも含まれていると考えられるが、ロータ中心部（高さ 65m）からロータ端部（高さ 30m）までの音圧レベルと地上付近の点でのそれとの差は 2dB 程度であり、大差がないことがわかった。

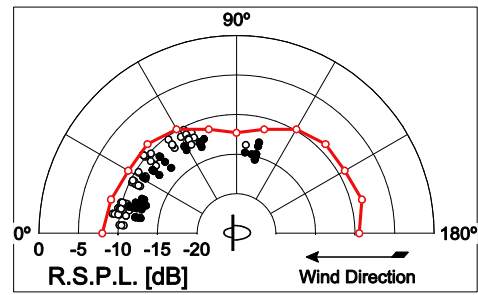
(6) 風車騒音の距離減衰特性

風車から 80m, 100m 離れた点（図 1 の●）で実施した 3 月の測定結果を用いて 3 つに区分した発電出力（400-600kW, 600-900kW, 900-1,500kW）ごとに整理したデータを、風車周辺 50m 点でのレベル分布 $L_{Aeq,10s}$ と比較した。その結果を図 11 に示す。80m 点および IEC 規格の基準距離である 100m 点においても、風車周辺の 50m 点（-）と同様、ナセルの側方でレベルが低下している様子が伺える。

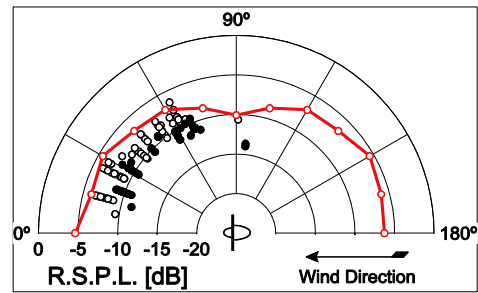
そこで、風車騒音の距離減衰については、水平方向に対する音響放射特性の影響を軽減するため、受音点がナセル前方 0±30° 範囲内にある場合（Upwind）のデータを用いて、風車から 50m, 80m, 100m および 200m まで離れた点での音圧レベルの算術平均値をそれぞれ求めた。図 12 はその結果で、高さ 65m のロータ中心からのスラントディスタンスで整理したものである。図中の実線（-）は、ロータ半径 35m の風車を円形面音源と想定して、各分割区間中心の点音源群からの幾何学的拡散による減衰のみを考慮した計算値である。それを 80m 点の平均音圧レベル（スラントディスタンス：103.1m）に一致するようにした。

これより、風車からある程度離れると騒音レベル $L_{Aeq,10s}$ の距離減衰は、点音源からのそれともほぼ一致している様子がわかる。なお、今回の測定からは音の伝搬に及ぼす気象の影響を確認することができなかった。この理由としては、風車のようなある程度の大きさを有する音源に対して、そこから測定点までの距離との相対的な位置関係から、風の影響を受け難い条件下での測定であったことが

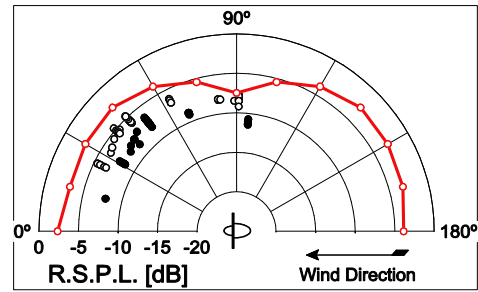
一つの要因だったと挙げられる。この点については、今後の検討課題の一つと考えている。



(a) 400 - 600 kW



(b) 600 - 900 kW



(c) 900 - 1,500 kW

図 11 風車周辺 50m と 80m, 100m 点でのレベル $L_{Aeq,10s}$ 分布の比較 (○:80m, ●:100m, -:50m での算術平均値)

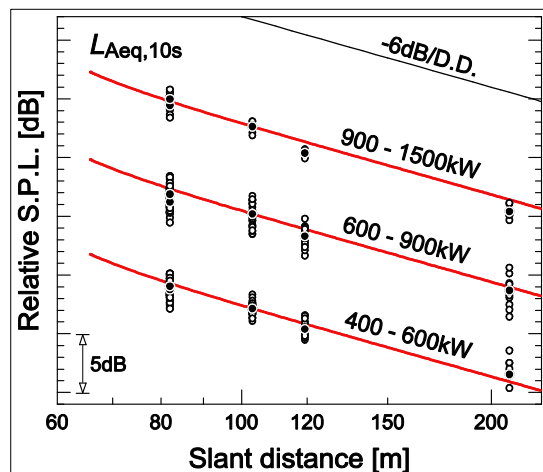


図 12 発電出力ごとの風車騒音の距離減衰 (水平距離:50, 80, 100, 200m, ●:算術平均値, -:円形面音源を想定した幾何拡散の計算値)

しかしながら、今回の伝搬実験により、ダイポールに相当するような指向性を有する点音源モデルの構築に可能性が見出せたことは、大きな研究成果の一つであると考えられる。

(6) 今後の展望

風力発電施設から発生する騒音の放射特性およびその距離減衰特性を把握するため、定格出力1,500kWのある風車1基を対象にして、その周辺の多点で騒音の長時間同時測定を長期にわたって実施して、水平および鉛直方向に対する音響放射特性などに着目した検討を行った。その結果、次のことが言える。

- ① 風車から発生する騒音は、通常、地上10mあるいはナセル高さでの風速を基に整理されているが、風車の稼働状態であるロータ回転速度や発電出力を用いることも有効な手段である。
- ② 騒音のレベル上昇には、定格風速あるいは定格出力ではなく、ロータ回転速度が最大となる風速で上限となる傾向が認められた。すなわち、風車音はブレードの回転に起因する空力音が支配的であると考えられる。
- ③ 水平方向に対する騒音は、ナセル前方と後方に比べて側方では5dB程度低くなる傾向がある。すなわち、ナセルの方位（風向）によって観測時の音圧レベルに差異が生じる場合が起こりえることに注意する必要がある。
- ④ 風車のロータ中心部からロータ端部までにおける音圧レベルは、地上のそれと大差がない。
- ⑤ 騒音の主要な成分は、発電出力の大小によらずほぼ同様である。
- ⑥ 風車からある程度離れた点の距離減衰は、指向性を有する点音源からのそれとも同様であることが確認できた。

以上、風車から発生する騒音の音響特性と風による特性変化をいくつか明らかにすることができ、具体的な予測法の構築に向けての課題が解決されたと考えている。また、風車から発生する音は、メーカーや型式によっても様々であり、その他の風車についても同様な傾向が認められるのかも含めて、今後の研究の発展に努める予定である。

5. 主な発表論文等

[学会発表] (計7件)

- ① Yasuaki Okada, Koichi Yoshihisa, Kazuki Higashi and Naoto Nishimura, “Experimental study on the radiation characteristics of noise generated from a single wind turbine”, Proceedings of the 42nd International Congress and Exposition on Noise Control Eng.,

CD-ROM, pp.1-8, 査読有, 2013年9月15日, Congress Innsbruck, Austria.

- ② 岡田恭明, 吉久光一, 東一樹, 西村直人, “風力発電施設からの音響放射特性に着目した実験的検討”, 日本音響学会 騒音・振動研究資料 N-2013-19, pp.1-6, 2013年5月17日, 名城大学.
- ③ 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長期測定—水平および鉛直方向の音響放射特性に着目した検討—”, 日本騒音制御工学会講演論文集, pp.73-76, 2013年4月23日, 国立オリンピック記念青少年総合センター.
- ④ 岡田恭明, 吉久光一, 東一樹, 磯修, “風力発電施設から発生する騒音の測定事例—水平および鉛直方向の測定結果—”, 日本音響学会講演論文集, pp.1093-1904, 2012年3月14日, 神奈川大学.

6. 研究組織

(1) 研究代表者

岡田 恭明 (OKADA YASUAKI)
名城大学・理工学部・准教授
研究者番号: 20367741