

商用電力網へ系統連系された小型水平軸風車の性能試験結果 及び風車の騒音測定について

Studies on performance of small horizontal axis wind turbine connected to the commercial network and noise measurement

清水幸丸*・岡村聖*・山村直紀**・野呂雄一**・宇都宮真輔***・玉城史朗****
SHIMIZU Yukimaru*, OKAMURA Kiyoshi*, YAMAMURA Naoki**, NORO Yuichi,
UTSUNOMIYA Shinsuke*** and TAMAKI Shiro****

*名古屋産業大学現代ビジネス学部 **三重大学大学院工学研究科 ***株式会社 コスモウィンズ ****琉球大学工学部

Abstract: This paper describes the experimental result for small horizontal axis wind turbine with maximum output 3kw. SHAWT is connected to the commercial network of electric power company (CHUBU Electric Power Co., Inc.). SHAWT has special mechanism to save the overspeed of roter, and also, the power conditioner has excellent performance to variable charge of electric power. Also, the noise for SHAWT is measured to save the noise problem. Good result is get from this experiment.

Keywords: Small horizontal axis wind turbine, power conditioner to SHAWT, noise measurement for SHAWT

1. まえがき

この研究開発論文では、地表から7m～8mしか離れていない質の悪い、変動の大きな風のエネルギーを手際よく制御して品質の優れた商用系統へ問題なく系統連系し、電力を吸収させていく安定した方法の開発を目指している。これを実行するためこれまでにスプリング力を利用した可変ピッチ制御方法を用いた機構を開発した。続いて、激しい変動風になめらかに対応しうる発電機を製作した。さらに高品質なパワーコンディショナが開発されたのでそれを使用して、待望の系統連系発電運転を実施した。

その結果、志しは半分達成されたが、発電機トラブルのため半分は達成されず課題を残す結果となった。

また、小型風車はパワーが小さいのであまり騒音の問題はないだろうと予測していたが、それがどの程度なのか解明すべく騒音測定を行った。ある程度の結果が得られた。以下、本論で述べることにする。

2. 実験装置および実験方法

図1には、小型水平軸風車の電力が商用系統連系線までの流れと測定された電流・電圧・風車回転数・風速等の計測データの流れを示す。

計測データは、発電機コントローラ内の端子からデータロガーに取り込まれ、パソコンへと送られる。パソコンより商用のインターネット回線を利用して名産大研究室へデータが送られ、そこでデータ処理される。津市木造町風車から名古屋市隣接の尾張旭市の名産大研究室までの距離は約100kmである。風車データは、常時測定されており、必要時に名産大側から取り出している。

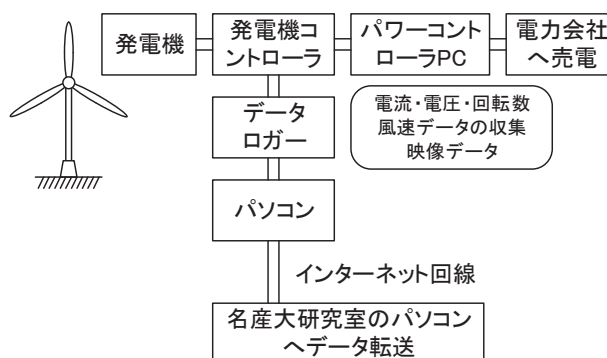


図1 小型水平軸風車の電力が商用系統連系線までの流れと測定された電流・電圧・風車回転数・風速等の計測データの流れ

水平軸風車の主な仕様：
ダブルピッチ制御付3枚翼

直径：3.54m

ハブ高さ：7.5m

3相交流多極（45極）発電機、永久磁石（ネオジウム）使用

発電コントローラ内でブリッジダイオードを使用して直流に変換する。

その後パワーコンディショナで単相200Vの交流に変換し、商用系統電力線へ系統連系する。

3. 実験結果と考察

3.1. 性能試験結果

図2には、2018年2月7日風車騒音測定時の電流・電圧・電力・発電機回転数・出力係数 C_p ・風車周速比 λ の値が示されている。全て1分間平均出力値と

して示されている。電流・電圧・電力等をみると出力値が出ている場合と出力値が零の場合が示されているが、これは騒音測定値の風車回転中と風車回転が強制的に停止され、暗騒音を計測した場合のデータを示したためである。

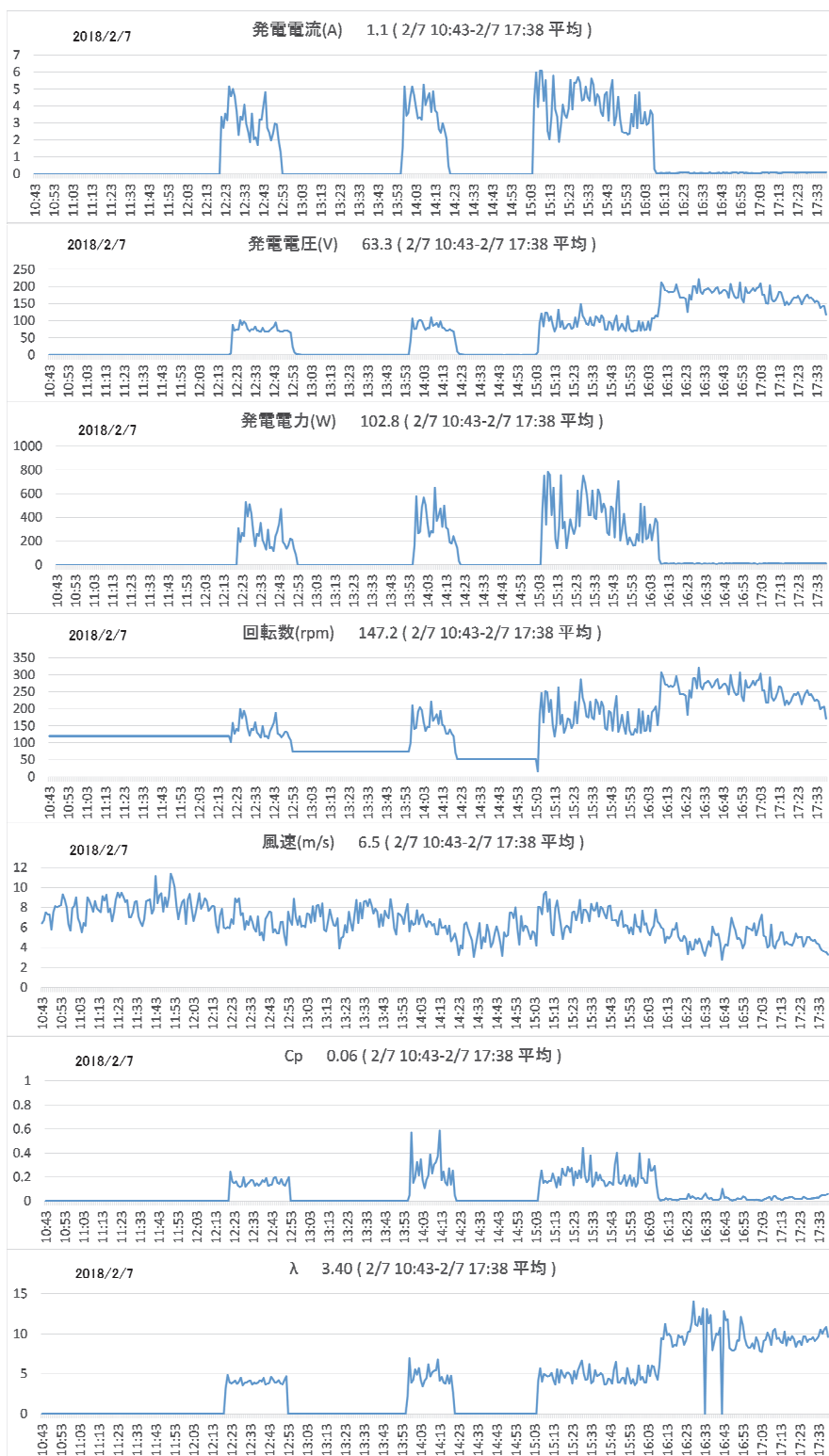


図2 電流・電圧・電力・回転数・風速・出力係数 C_p およびブレード翼端風速比の値を示す。本風速の騒音測定時の測定値を示す。

図3には、騒音測定時でなく通常の風車データ計測の値を示す。全てのデータが連続的に計測されている。2017年12月16日16:14から12月18日08:26までの値である。上から電流、電圧、電力、発電機回転数、風速、出力係数Cpおよび周速比λである。発電機回転数と風車回転数の関係は、増速比1.22倍

なので発電機回転数1.22の逆数0.82を乗じた値が風車回転数になる。2017年12月16日の20:18より風速が高まり、1m/s程度から20:18頃には2.5m/sから3.0m/sに達して風車は発電回転を開始する。12月17日21:43まで連続発電を行っている。一端風が弱まり、18日1:48頃再度風が強まり発電開始となる。

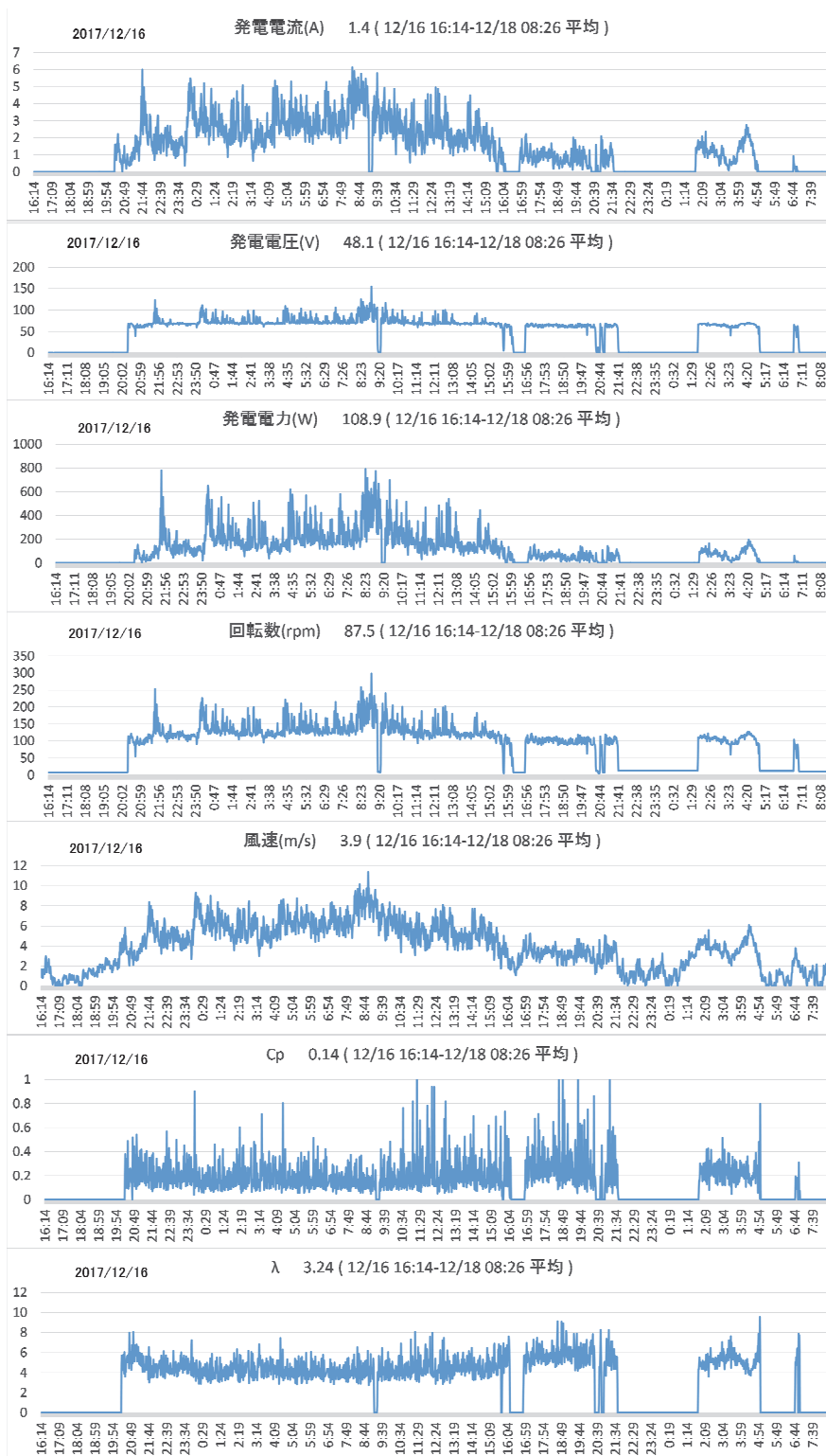


図3 風車通常運転時の各種データ連続計測時の値(1分間平均値)2017年12月16日から12月18日までの3日間

図4には、2017年10月2日から2018年3月17日までの風車の発電電力を風速に対して打点した結果である。風速は1分間の平均値である。従って、1分間の間にはかなりの風速変動があり、それに対応して出力の変動も生じる。このような現象を基に出力をみると最高約1.8kW、8.5m/s、風速14.7m/sに対して1.45kW程度が打点されている。この高出力の値はそんなに多くない。また、比較的連続性の高い出力値をピックアップして1分間平均値を求め、1分間平均風速に対応させてビンメソッドを用いて整理した結果である。ビンメソッドによる各ワクの中の平均値を求めると▲印のような値になる。

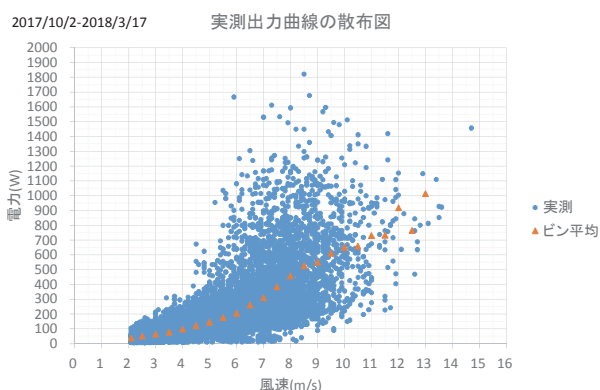


図4 2017年10月2日から2018年3月17日までの各々1分間平均風速に対応する発電電力値

図5には、図4に示した値に対応した出力係数 C_p を求めた結果である。1分間平均風速2.5m/minに対して $C_p \approx 0.28$ 、10m/minに対して $C_p \approx 0.13$ 、 $C_p \approx 0.13$ から0.28は、他の小型風車に対する値¹⁾の平均値 $C_p \approx 0.091$ (9.1%) から中央値7.6%、想定値16.7%と比較すると妥当と判断される。

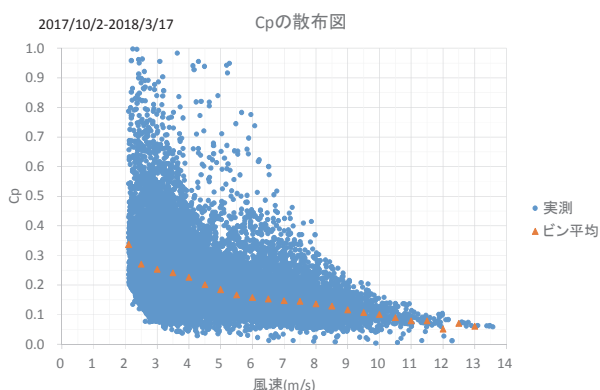


図5 図4に示した値に対応した出力係数 C_p

3.2. 風車発電実験のまとめ

今回の発電実験は、系統連系について中部電力より許可をもらい、2017年5月より2018年3月中旬まで行われた。その間種々のトラブルが発生した。

5月～6月のシーズンは、風は弱く海よりの風であり、50W～200W程度の発電出力で、積算電力量もわ

ずかである。8月～9月頃になると多少風は強くなり、300W程度、時によっては700W～800Wの発電を生じる。この頃パワーコンディショナよりG.F.I信号が出るようになり、GFIの地絡信号によりパワコンは停止状態になり風車が空転する状態が時々生じた。その都度、手動によりGFI信号をリセットし、元に戻して、発電を続行した。この対策として、安川電機の指導により接続線にフェライト・コアを設置して、高調波カットを試みた。この成果はあり、比較的堅調に発電運転が続行された。9月11日で積算電力12.9kWh、12月20日47.2kWh発電量は少なすぎる。12月下旬より強風の北西及び北西が主力になる。残念ながら、強風になるとGFIが頻発し、発電続行は出来なくなり、12月29日55.9kWh、1月16日60.4kWh、1月30日に61.9kWh、3月7日で63.9kWhと発電が伸びなくなる。目標が1000kWhであったので、失望の限りである。4月に入り、5か年点検をかねて、発電機を取り外し、点検を行った。発電機絶縁不良が見つかった。以上が1000kWhを目標とした発電実験の結末である。

4. 風車騒音の測定

4.1. 概要

風車騒音測定が行われた。JIS C 1400-11に基づいて測定された。「この規格は、風車の大きさ又は形式を限定しない。この規格で記述されている手順は、風車からの音響、放射に関して十分な説明書ができるよう考慮されている。もし、より狭い範囲の測定が必要とされる場合には、この規格の関連する部分に従って測定が行われればよい。」以上のように、記述されている。

風車は、津市木造町の水田の中の畑に設置されている。畑を取り巻く遠景は写真1～6に示されている。風車の高さ、測定のマイクロフォンとの関係等は図6に示されている。地上からの角度は約22°である。風車位置とマイクロフォン位置は、北西方向に並んでいる。風車の周辺には、3m高さの柿、オリーブの木、ミカンの木、ソーラーパネル及び測定小屋が建っている。

測定装置と風車の関係は、写真1から写真6までに示されている。

写真1は、風車と周辺の畑および水田、さらに夏季、オリーブ、ミカンおよび小屋さらに測定用マイクロフォン（フードカバー付）が示されている。

写真2は、風車とフード付マイクロフォン（北西方向ライン）の写真を示す。

写真3は、風車とフード付マイクロフォン（北西方向）とほぼ90°の方向、すなわち風向きとほぼ直角方向にフード付マイクロフォン(21m離れている)の写真を示す。

写真4は、フード付マイクロフォンのマイクロフォン位置とそのフードカバーを示す。

写真5は、フードカバーなし、すなわち、マイクロフォンを風に直接露出した状態で測定している写

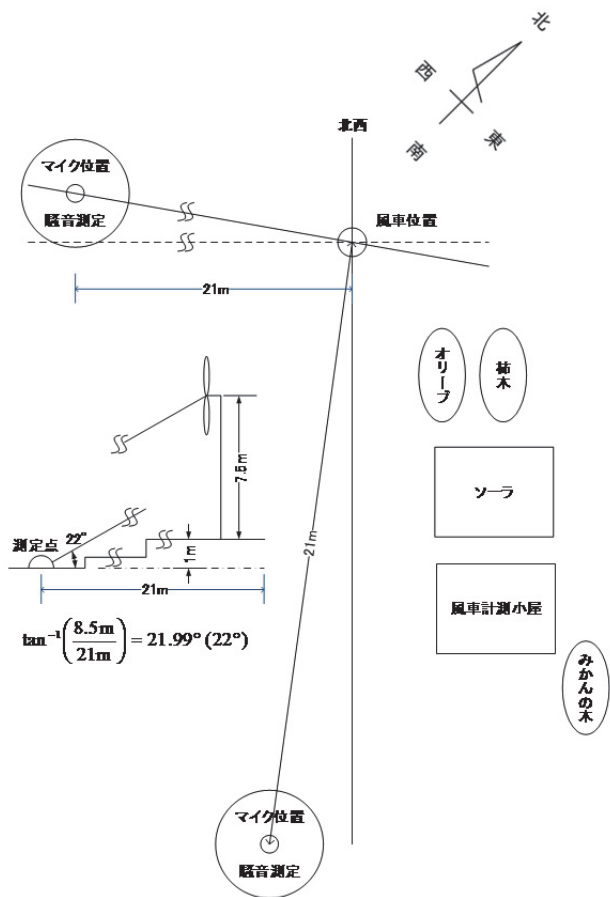


図 6 風車の地形上の位置



写真 1 実験装置全景



写真 2 風車とフード付マイクロフォン（北西方向ライン）



写真 3 風車とフード付マイクロフォン（風向きとほぼ直角方向）



写真 4 フード付マイクロフォンのマイクロフォン位置とそのフードカバー

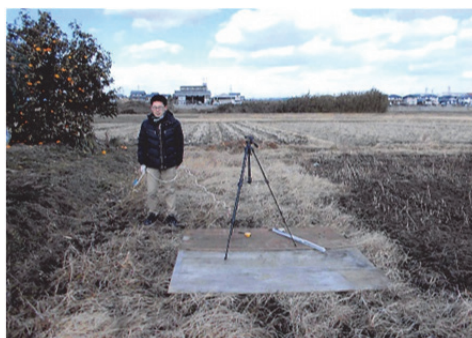


写真 5 フードカバーなしの測定（マイクロフォンを風に直接露出した状態）



写真 6 写真 5 のほぼ直角方向のマイクロフォン

真を示す。約 1m の三脚にマイクロフォン 2 個が設置されている。底面はコンパネ (1800×900) 2 枚がひかれている。

写真 6 は、写真 5 のほぼ直角方向のマイクロフォン設置写真である。

以上 JIS C 1400-11 に示された全天候型ウインドスクリーン (フードカバー付ウインドスクリーン) をマイクロフォン 2 個にかぶせて行った騒音測定実験の一端を、写真を使って説明した。実験日当日の気象条件は、地表高さ 1.5m で気温 2.5℃、風速 7m/s～13m/s (8m 高さ) である。

4.2. 風車騒音の分析結果

測定日時: 2018 年 2 月 7 日

測定方法: 風車からの距離 20m の 2 地点で地表面に設置した風力発電用全天候ウインドスクリーン (アコー製, NA-0380A) 内にセットした計測用マイクロホン (小野測器, MI-1235) で、風車停止時と風車運転時の音を 20 分間ずつ収録した。収録はマイクロフォンの出力信号を計測用アンプで増幅した後、オーディオインターフェイスを介し、PC にデジタル録音 (PCM, 44.1kHz, 16-BIT, モノラル) する方式とした。

分析方法: 録音された音信号から解析ソフトウェア (小野測器, Oscope) を用いて約 0.37 秒間隔で 1/3 オクターブバンドレベルを算出した。算出されたレベルに風防による補正值 (-3dB) と A 特性の補正值を加えて A 特性 1/3 オクターブバンドレベルに変換した後、JIS C 1400-11:2017 (風力発電システム - 第 11 部: 騒音測定方法) を参考に 10 秒間隔のエネルギー平均値として A 特性 1/3 オクターブバンドレベルを算出した。

結果の整理: 別途測定された 1 分間隔の風速データを線形補間して 10 秒間隔の風速データを算定した後、前述の 10 秒間隔の A 特性 1/3 オクターブバンドレベルと時刻合わせを行い、風速別にデータを整理した。おな、風速の階級は 0.2m/s 刻みとし、中心風速 5m/s から 9m/s の範囲で設定した。風速の各階級に含まれるデータ数が概ね 20 個以上でかつ、風車の停止時と運転時の測定データが揃っているものを選別したところ、測定地点 1 (風下) では風速 7.6m/s (7.5～7.7m/s)、測定地点 2 (側方) では風速 8.4m/s (8.3～8.5m/s) のデータのみとなった。それぞれの地点での A 特性 1/3 オクターブバンドレベルを図 7 と図 8 に示す。なお、図にはオーバーオール (A 特性音圧レベル LAeq) も併記した。

考察事項: 両図より風車騒音の主成分は 1kHz 以下の成分であり、特に 125Hz～1kHz 付近の音が大きいと推測される。また、測定地点 2 は風速が測定地点 1 よりも高いにも関わらず、オーバーオール (A 特性音圧レベル) が 51.1dB と地点 2 の 54.7dB よりも低くなっており、風下側の方が騒音が大きくなるよ

うである。

図 7 と図 8 の A 特性 1/3 オクターブバンドレベルのうち、暗騒音を越える成分のみを用いて、風車までの距離を 20m として見掛けの音響出力を算定すると、測定地点 1 のデータからは 88.4dB、測定地点 2 のデータからは 84.4dB となった。これらの数値の差異は騒音源の指向性に依るものと考えられる。風速が異なるが両者のエネルギー平均を取ると 86.8dB である。ちなみに、この値は小型自動車 (低速 (20km/h) 走行する場合) の音響出力にほぼ等しい値である。

追記: 1 月にウインドスクリーンを用いずに地上高 1.2m で三脚にマイクロフォンを固定して騒音測定を行ったが、風雑音の影響が大きく暗騒音と風車騒音の区別がほとんどできない状況であったため、解析を断念した。風車の発する騒音が小さいため、より近い位置で測定するか、風雑音の影響を低減させるため地面上にマイクを設置するなどの工夫が必要であると思われる。

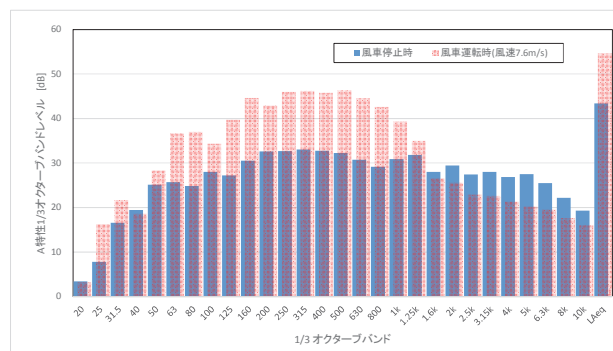


図 7 地点 1 での A 特性 1/3 オクターブバンドレベル

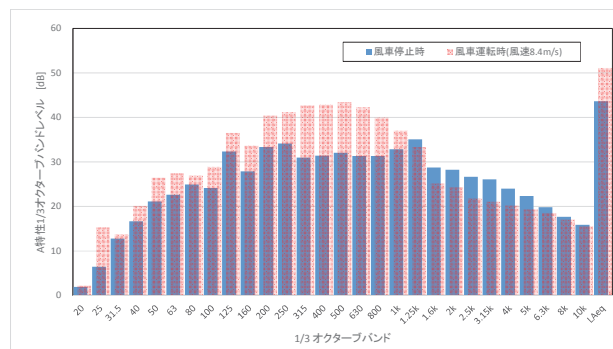


図 2 地点 2 での A 特性 1/3 オクターブバンドレベル

補 注

- 「風力発電・地熱発電・中小水力発電について (2018 年 1 月資源エネルギー庁)」
http://www.meti.go.jp/committee/chotatsu_kakaku/pdf/035_02_00.pdf
 (2018/3/19 アクセス)