

風車騒音に含まれる振幅変調音及び純音性成分に関する検討

風車騒音に含まれている特徴的な成分でアノイアンスが高まる要因でもある **1) 振幅変調音**と **2) 純音性成分**について定量的に評価する方法及びその適用例として、平成 22-24 年度 環境省環境研究総合推進費（戦略指定研究領域）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」（以下、戦略指定研究という。）で行われた風力発電施設周辺地域における実測調査で得られた録音記録を分析した結果を整理した。

1. 振幅変調音

風車騒音の振幅変調音（Amplitude Modulation sound）の程度の定量的評価方法として、戦略指定研究で提案された振幅変調の深さ D_{AM} （Amplitude Modulation Depth）の原理に基づき、戦略指定研究の実測調査で得られた風車騒音の録音記録から振幅変調の分析結果を整理した。

戦略指定研究の結果から、振幅変調によるレベル変動が 2 dB 以上あると変動感を感じられ、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ている。

1.1 振幅変調音の定量的評価方法

(1) 振幅変調音が含まれている風車騒音の例

- Fast によるレベル記録 ($L_{A,F}(t)$) から、約 1 秒周期の変動が明瞭に見られるが、時間の経過に従って全体的なゆっくりとした変動 (trend) も見られる (図 1)。騒音の伝搬過程における風向・風速などの影響によるものと考えられる。
- Slow によるレベル記録 ($L_{A,S}(t)$) から、瞬時的な変動は見られず、ゆっくりとした変動のみが記録されている (図 1)。

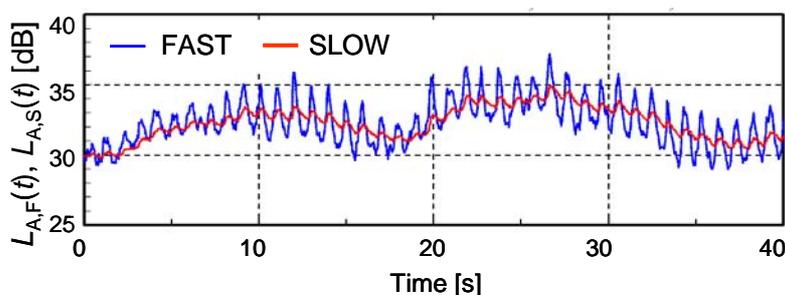


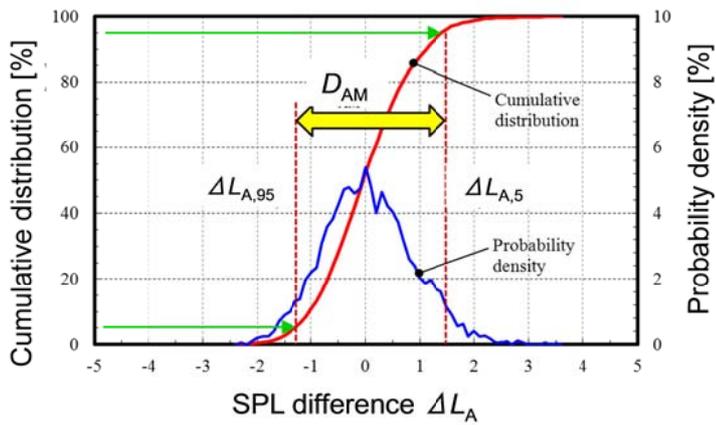
図 1 振幅変調が見られる風車騒音の Fast 特性と Slow 特性によるレベル記録の例
注. 1,950 kW 風車から 1,152 m 離れた点で観測。

(2) 振幅変調の指標 (D_{AM})

Fast 特性と Slow 特性によるレベル記録の差 (式 (1)) の変動について、図 2 に示す確率密度関数及び累積分布を求め、統計量として式 (2) で表される 90% レンジの幅を振幅変調の深さ D_{AM} (Amplitude Modulation Depth) と呼び、振幅変調の程度を示す指標としている。

図 2 の例では、 D_{AM} は 2.8 dB である。

$$\Delta L_A(t) = L_{A,F}(t) - L_{A,S}(t) \quad (1)$$



$$D_{AM} = \Delta L_{A,5} - \Delta L_{A,95} \quad (2)$$

$\Delta L_{A,5}$: $\Delta L_A(t)$ の 5% レベル
 $\Delta L_{A,95}$: $\Delta L_A(t)$ の 95% レベル

図 2 ΔL の 90%レンジの幅として定義した振幅変調の深さ (D_{AM})

1.2 振幅変調音の実態

【戦略指定研究の測定結果の分析で得られた振幅変調音に関する知見】

- D_{AM} の分析の結果、約 3/4 の測定点で振幅変調によるレベル変動が 2 dB 以上 (図 3) あり、振幅変調音が知覚されていることになる。

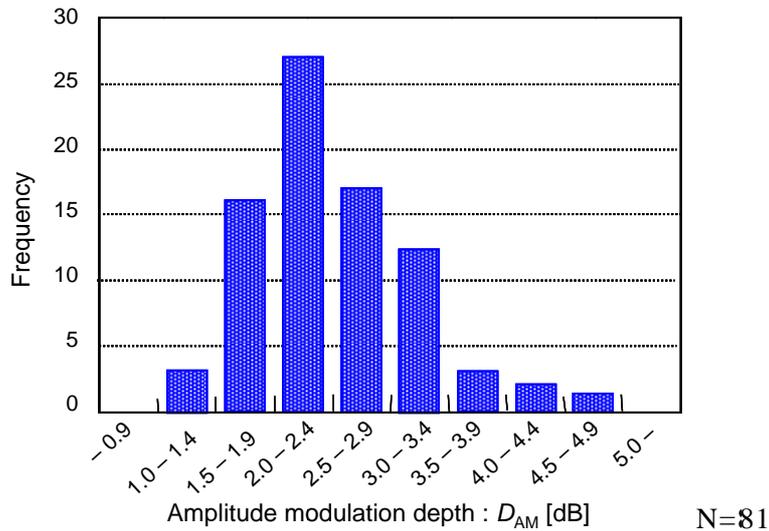


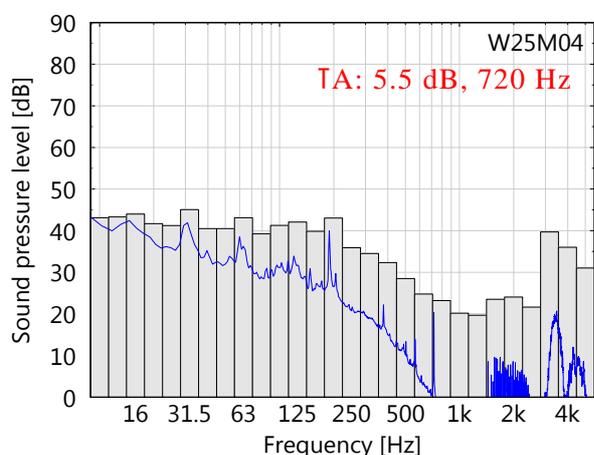
図 3 18 の風力発電施設周辺の 81 の測定点における D_{AM} の分析結果
 注. 分析時間は 3 分とし、その間の D_{AM} を求めた。

2. 純音性成分 — 風力発電周辺における風車騒音の純音性成分の分析例

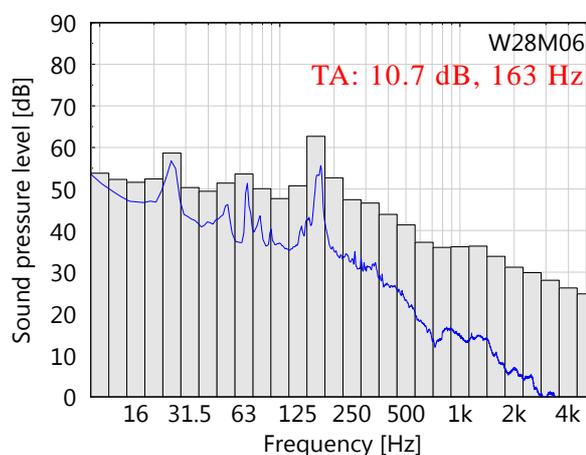
戦略指定研究で得られた全国 34 箇所の風力発電施設周辺における風車騒音の録音記録のうち、暗騒音の影響などによって実際に風車騒音が測定できた 29 箇所について、IEC 61400-11:2012 (Wind turbine noise – Part 11 : Acoustic noise measurement technique)に示す手順に基づいて算出した Tonal Audibility (「純音性可聴度」。以下、TA と表記する。)や風車騒音に含まれる純音性成分の分析結果を整理した。

【戦略指定研究の測定結果の分析で得られた風車騒音の純音性成分に関する知見】

- ・160 Hz 付近の周波数で卓越した純音性成分が見られた事例が多く、他には 70 Hz や 700 Hz 付近の純音性成分も検出されている (図 4, 図 5)。
- ・10 分間の平均値, 周波数分解能 1.5Hz, Hanning 窓により TA を算出した結果、-3 dB 以上で純音性成分が検出されたのは、風車近傍の全測定点 29 点 (図 6 (a)), 暴露側の測定点の 164 点中の 129 点 (図 6 (b)) である。



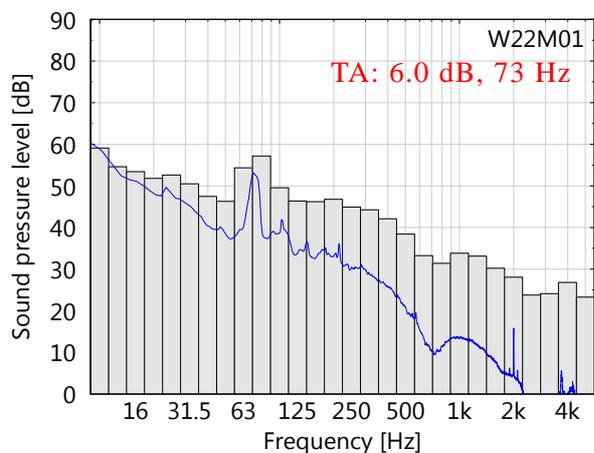
(a) Wind-farm: W25M04



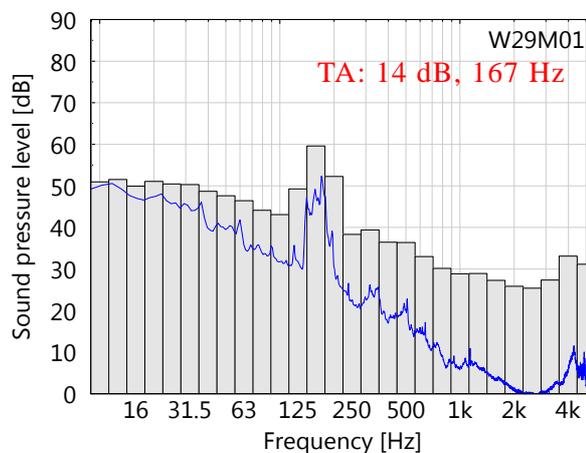
(b) Wind-farm: W28M06

図 4 純音性成分が含まれている風車騒音 (Wind-farm) の
1/3 オクターブバンドと FFT による周波数分析例

注. 10 分間の平均値, 周波数分解能 : 1.5Hz, Hanning 窓使用



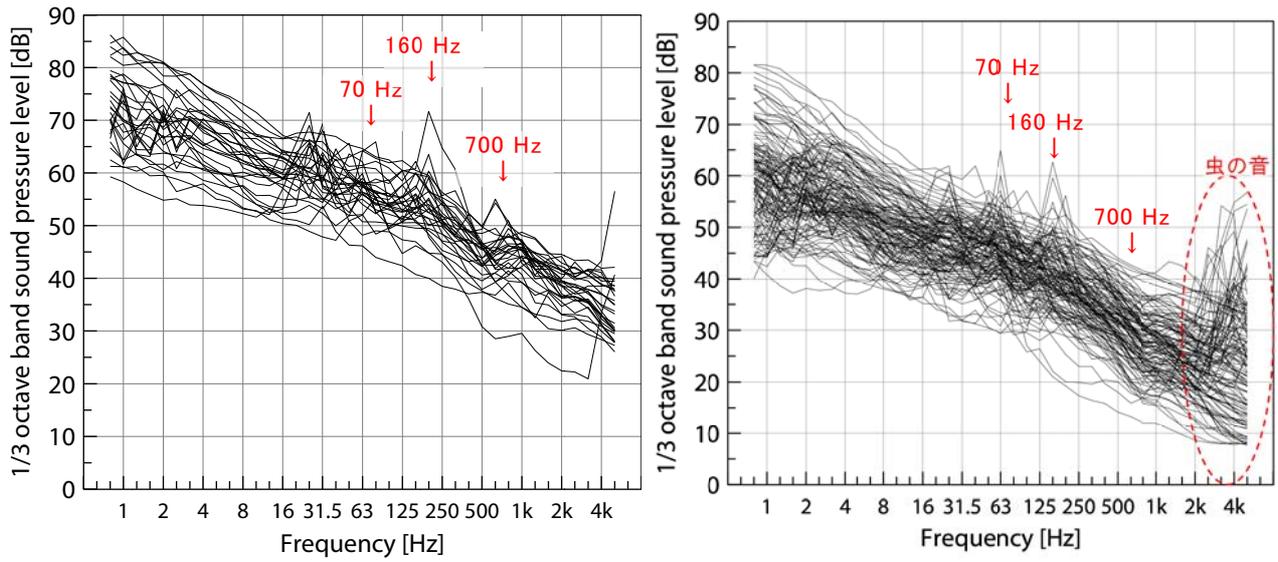
(a) 単機: W22M01



(b) 単機: W29M01

図 5 純音性成分が含まれている風車騒音 (単機) の
1/3 オクターブバンドと FFT による周波数分析例

注. 10 分間の平均値, 周波数分解能 : 1.5Hz, Hanning 窓使用



(a) 発生源側 (29/29 測定点)

(b) 暴露側 (129/164 測定点)

図6 Tonal Audibility が-3 dB 以上と判定された測定点における風車騒音の周波数特性
(1/3 オクターブバンド分析)

注. 分析対象は、最近接風車から約 100 m~1 km の範囲 (暴露側) の 164 点で収録された音圧記録について、各測定点において計 5 日間にわたって収録された音圧記録のうち、風力発電設備が定格稼働している 10 分間を選定した。