



AWEA/CanWEA 騒音専門委員会と 風力発電タービンの騒音規制

AWEA/CanWEA
Expert Sound Panel
and
Wind Turbine Sound Regulations

Mark Bastasch, PE

September 2011



CH2MHILL

何故、騒音委員会を立ち上げるか？

Why Establish a Sound Panel?

- 風力エネルギーに反対する人達が主張し、次第に増加している健康影響に関する懸念に応えるため
Respond to health concerns increasingly raised by wind energy opponents
 - 超低周波音および低周波騒音 Infrasonic and Low Frequency Sound
 - 振動音響疾患 Vibroacoustic Disease
 - 風力発電タービン症候群 Wind Turbine Syndrome
- いかなる政府機関も独立法人も適切なタイミングでこの問題を再調査できなかった
No governmental or independent agency was able to review this in a timely manner
- 業界と許認可当局が起こり得る問題を理解し、恐れに対処する必要があった
Industry and permitting authorities needed to understand potential issues and address fears

国際的・学際的専門家集団による騒音顧問委員会

International Multidisciplinary Sound Advisory Panel

- **David Colby**
 - Chatham-Kent Medical Officer of Health (Acting)
 - Associate Professor, Schulich School of Medicine & Dentistry, University of Western Ontario
- **Robert Dobie, MD**
 - Clinical Professor, University of Texas, San Antonio
 - Clinical Professor, University of California, Davis
- **Geoff Leventhall**
 - Consultant in Noise Vibration and Acoustics, UK
- **Dave Lipscomb**
 - Forensic Audiologist. President, Correct Service
- **Robert J. McCunney, MD**
 - Research Scientist, MIT Dept of Biological Engineering
 - Staff Physician, Mass General Hospital Pulmonary Division
- **Mike Seilo**
 - Professor of Audiology, Western Washington University
- **Bo Søndergaard**
 - Senior Consultant, Danish Electronics Light and Acoustics (DELTA)
- Technical Consultant:
 - **Mark Bastasch**
 - Acoustical Engineer, CH2M HILL
- AWEA/CanWEA Project Manager:
 - **Jen Banks**
 - AWEA Offshore Wind and Siting Specialist

風力発電タービン騒音の悪影響

Adverse Effects of Sound

- 騒音性難聴Noise Induced Hearing Loss > 80-85 dBA
- 作業妨害Task Interference > 70 dBA
- 会話妨害Speech Interference
 - 80A以上で叫ぶことが時々必要Above 80 dBA shouting often required
 - 50-55dBA以上で声が大きくなり始めるAbove 50 to 55 dBA, voices begin to raise
- 睡眠妨害-手引きは変化し、かつ交通機関の騒音に基づくものであることが多いSleep Disturbance – guidance varies and is often based on transportation sources
- アノイアンスAnnoyance

超低周波音と低周波騒音

Infrasound and Low Frequency Sound

- 風力発電タービンからの超低周波音は感知できず、自然起因の音源からの騒音のレベルを超えない
Infrasound from wind turbines is not perceptible and does not exceed levels produced by natural sources.
- 風力発電タービンからの低周波騒音は40Hz以下の周波数では背景騒音と区別できない
Low frequency sounds from wind turbines are not distinguishable from background sounds for frequencies less than 40 Hz.
 - 特定の条件下で検知可能なレベルの低周波騒音が発生し得る
Perceptible levels of low frequency sound may be produced under certain conditions
- 風車のブレードが空気を押し出して生じるシューツという音は通例500-1kHzの帯域であり、超低周波音でも低周波騒音でもない
The audible swooshing sound is typically in the 500-1,000 Hz range; it is neither infrasound nor low frequency sound.

振動音響疾患(VAD)

Vibroacoustic Disease (VAD)

- VADは、航空機の技術者や軍用機パイロットに顕著な心臓血管構造の複雑化につながると認められている

VAD is noted to result in thickening of cardiovascular structures as observed in airplane technicians and military pilots

- 10年以上の期間にわたり職業的に音の高い暴露レベル
Extremely high occupational exposure over a period of 10+ years
- 別の報告では100dBの低周波騒音に13週間にわたり連続暴露された後にVADの証拠が見られた Others found evidence of VAD after 13 weeks of continuous exposure to 100 dB of low frequency sound
- VADに至る騒音レベルは風力発電タービン騒音レベルより50-60dB高い
These sound levels are 50 to 60 dB louder than those from wind turbines.
 - 風力発電タービンが作る超低周波および低周波騒音はレベルが低く、それが害をなすレベルだという信頼できる科学的な証拠はまだ見つかっておらず、危険な性状の原因を超低周波騒音に帰する証拠は過去40年間にわたり見つかっていない。
“Wind turbines produce low levels of infrasound and low frequency sound, yet there is no credible scientific evidence that these levels are harmful...attribution of dangerous properties to low levels of infrasound continues unproven, as it has been for the past 40 years.” (expert panel)

風力タービン症候群(WTS)

Wind Turbine Syndrome (WTS)

- Pierpontは以下の被害を受けたという人達、10家族への電話インタビュー調査を行った
Dr. Nina Pierpont conducted telephone interviews with 10 families, who reported:
 - 睡眠影響 Sleep disturbance
 - 頭痛 Headache
 - 体内の震え振動または脈動
Internal quivering, vibration, or pulsation
 - 集中と記憶
Concentration and memory
 - イライラや怒り
Irritability and anger
 - 疲労と動機づけ
Fatigue and motivation
- 仮定Hypothesis:
 - 低レベルの超低周波音が空気伝搬して前庭に影響したり、体内器官に振動を引き起こす
(内臓振動前庭妨害?-VVVD)
Low levels of airborne infrasound affect the vestibular system or cause vibrations in internal organs (Visceral Vibratory Vestibular Disturbance – VVVD)

WTSとは?

WTS?

- 提案された病態生理学的細道(やり方?)は妥当と思えない
The proposed pathophysiological pathway is not plausible:
 - 身体の外から侵入する低レベルの音は体内にある音のレベルを超えるものではない
Low levels of sound from outside the body are not sufficient to exceed levels within the body
 - (平衡感覚を司る)前庭器官は風力タービンが放射する空気音でなく、頭の位置と動きに反応する
Vestibular organs respond to head position and movement, not airborne sounds emitted by wind turbines
- この特定のパターンの仮定に過ぎない障害に至らしめる固有の症状あるいは一連の症状というものは見つかっていない
“There are no unique symptoms or combinations of symptoms that would lead to a specific pattern of this hypothesized disorder” (expert panel).

アノイアンス

Annoyance

- WTS症状は低レベルの音に対して少数の感受性の高い人が示す騒音のアノイアンスの症状と似ている
WTS symptoms are similar to those of noise annoyance that are exhibited by a small proportion of sensitive persons to low level sounds.
- アノイアンスを引き起こす可能性というものは風力発電タービンに固有のものではなく、様々な音響的および非音響的要因に依存する
Potential for annoyance is not unique to wind turbines and depends on various acoustic and non-acoustic factors .

専門委員会の結論

Expert Panel Conclusions

皆が認めていること Unanimously endorsed:

- 風力発電タービンの音は聴力損失やそれ以外の健康に直接悪影響を及ぼすリスクを引き起こすことはない Sound from wind turbines does not pose a risk of hearing loss or any other direct adverse health effect.
- 風力発電タービンから発生し、ある程度聞こえる、低周波騒音と超低周波音は人の健康に影響を及ぼすリスクを引き起こすものではない
Subaudible, low frequency sound and infrasound from wind turbines do not present a risk to human health.
- 風力発電タービンから発生する音で不快に思う（アノイアンスを感じる）人はある程度いるだろうが、それは疾患ではない Some people may be annoyed by the sound from wind turbines, but this is not a disease.
- 風力発電タービンから生じる懸念の主な原因はその変動する性状にあり、特定の人達はこれを不快に思い（アノイアンスを感じ）、音のレベルの強さと対照的な性状に依存する
A major cause of concern from wind turbine sound is its fluctuating nature. Some may find this sound annoying – a reaction that depends primarily on characteristics as opposed to the intensity of the sound level.

オンタリオ州健康局 – 2010年5月

Ontario Health Dept - May 2010

- 現在利用できる科学的知見で、風力発電タービン騒音と健康影響の間に直接的な因果関係を示すものはない
The scientific evidence available to date does not demonstrate a direct causal link between wind turbine noise and adverse health effects.
- 現用世代のupwind modelの低周波騒音および超低周波音のレベルは、健康影響を引き起こすとして知られている音のレベルより十分に低い
Low frequency sound and infrasound from current generation upwind model turbines are well below the pressure sound levels at which known health effects occur.
- 風力発電タービン計画の最初の段階から地域社会との折衝を行うことが大切であり、それで風力発電ファームの健康影響の懸念を軽減できるかもしれない
Community engagement at the outset of planning for wind turbines is important and may alleviate health concerns about wind farms.
- 公平と平等に関する懸念が風力発電ファームへの態度と健康影響についての申し立てに影響を及ぼす可能性がある。これらの要素は将来の開発に向け、もっと大きな関心を寄せるに値するものである
Concerns about fairness and equity may also influence attitudes towards wind farms and allegations about effects on health. These factors deserve greater attention in future developments.

風力タービンの音と許可

Wind Turbine Sound and Permitting

- 適切に対処しないと、音に対する懸念が設置許可にも運用にも影響し、問題を複雑にする

If not handled properly, concerns over sound may complicate both permitting and operations.

- 風車の音はいつ騒音となり、問題視されるか？

When does a sound become a noise and an issue?

- 何が問題になるか？

What are the issues?

- どんな種類の研究が必要か？

What types of studies are necessary?

- さらにどんな研究を追加すれば役に立つか？

What additional research would be helpful?

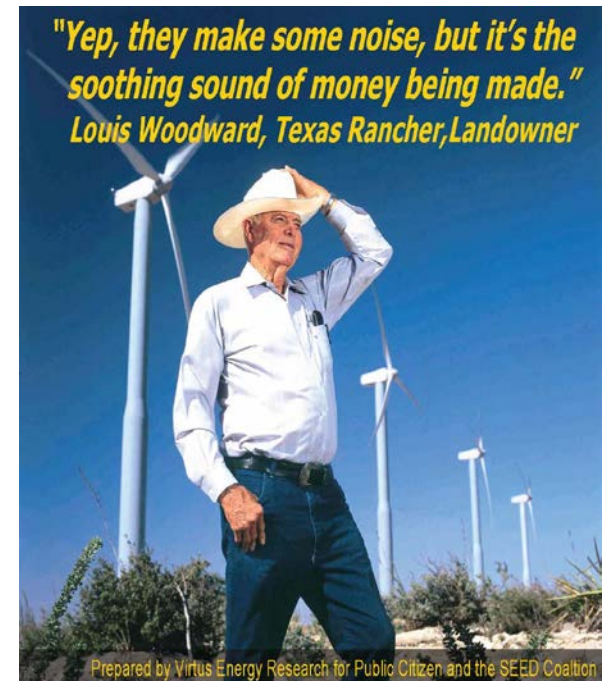
- どのように騒音の規制を行うか？

How is noise regulated?

お金が儲かり宥められる音か？

“Soothing Sound of Money Being Made?”

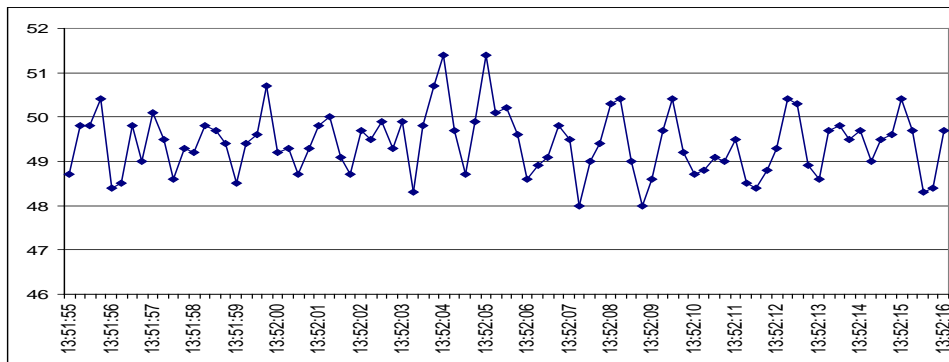
- 騒音は望ましくない音
Noise is “unwanted sound”
- 騒音の知覚は主観的
Perception of noise is subjective
- 計画を知っていると問題になりにくい
Not likely an issue for INFORMED “project participants”
- 常に不快に感じる人がいる
Some may always be annoyed
- 騒音レベルが上がればアノイアンスも増える
Annoyance increases as noise level increases
- アノイアンス ≠ 影響 Annoyance ≠ Impact
- 受諾 ≠ アノイアンスなし
Compliance ≠ No Annoyance



アノイアンスを増大させる騒音の性状

Characteristics That May Increase Annoyance

- 純音性の騒音 Tonal Noise
- 衝撃的またはひどく振幅変調された音
“Impulsive” or excessively amplitude modulated
 - 超低周波音、低周波騒音、そして振幅変調された音（ヒュッヒュッという音）
Confusion between Infrasound, Low Frequency, and Amplitude Modulated noise (swish, swish)
 - 平均レベルが同じ場合、定常音よりは時間的に変化する音の方がうるさい
“A time varying sound is more annoying than a steady sound of the same average level” – Dr. Geoff Leventhall
 - 振幅変調は英国ではまだ研究の対象である
Amplitude modulation is area of research in the U.K.



どのような時に騒音が問題になるか

When is Noise a Potential Issue?

- 住居や学校、病院、その他音に敏感な地域に近い時
Proximity to homes, schools, hospitals or other noise sensitive areas
- ウィンドシアが大きい（軸の高さで風が強く地上付近で弱い）とき
High wind shear (fast winds at hub height, calmer winds below)
- 匿われたような谷あいにある家がある時
Homes in sheltered valleys
- 失速防止タービン（古い技術）
Stall regulated turbines (older technology)
- 家屋の条件（防音の有無、窓の状況）
Condition of homes (insulation, windows)
- 風力発電計画全体への反対の気持ち
Opposition to overall project



どんな種類の研究が必要か?

What Types of Studies Are Required?

- 何時予測計算モデルが必要か When is modeling required?
 - 認可プロセスで音の評価は必要か
Does permitting process require noise be assessed?
 - 音の限度はあるか Are there noise limits?
 - 適合評価地点はどれ位近くに設けるか? How close are the compliance points?
 - 受音者?はどれ位近くに想定するか、タービンの数は?
How close are the receptors? How many turbines?
- どんな種類の予測モデルが必要か What type of modeling is required?
 - 大抵はISO9613-2に基づいて行っている Most are based on ISO9613-2
 - 頒布されている音響パワーレベルのデータに基づいている
Based on vendor sound power level data
 - cut-in(風車が稼働開始する風速の意か?)付近で、背景騒音レベルが低いとき、
Near cut-in, when background levels are typically low
 - 最大音響パワーレベル Maximum sound power level
- 何時、監視/モニターが必要か When is Monitoring Required?
 - 計画前、義務としての適合監視の時、苦情に対応する時
Pre-project, mandatory compliance monitoring or only in response to complaint?

騒音の相対的な重要性と騒音制御のけん引役

Relative Importance of Noise and Drivers for Noise Control

- 風力発電タービンの開発と設置では騒音が重要な要因であることが次第に認識されてきている
Noise is increasingly recognized as an important factor in the development and deployment of Wind Turbines
- (再生可能エネルギーの) 市場は次第に競争が激しなっている
Increasingly competitive marketplace
 - IEC 61400-11 によりメーカー間の比較ができる
IEC 61400-11 allows for comparison between manufacturers
- 規制限度への適合 Compliance with regulatory limits
 - タービン音のレベルが1dB増える毎に不適合距離が長くなる
Every dB increase in turbine sound results in greater setback distance
 - 音の大きなタービンほど計画範囲の大きさが小さくなる
Reduced project size for louder turbines

可能な騒音の研究

Potential Sound Research

■ 住居地域での風力発電ファームからの騒音の測定

Wind farm sound measurements at residences:

- 証明付きの装置の開発またはウィンドスクリーンの標準化

Development of “certified” equipment or standardization of windscreens

- 風力発電ファームに固有の測定手順を開発すること

Development of wind farm-specific measurement protocol

■ 人々や政策決定者に理解して貰うための有効な比較手法やデモツール（シミュレーションツール）を開発すること

Develop more effective comparisons or demonstration tools (simulations) to educate the public and decision makers?

可能な騒音の研究－ 1

Potential Sound Research

- 最適といえない流れの条件での音のレベルの短期的増大の可能性に関する懸念の処理

Address concerns regarding potential short-term increases in sound level for less-than-optimum flow conditions

- 汚れたブレード、氷、過大な乱れ、後流の影響

Dirty blades, ice, excessive turbulence or wake effects

- 振幅変調(AM): 音のレベルが上下するヒュッヒュッと鳴る音
Amplitude Modulation (AM): Swishing sound characterized by rise and fall in sound level

- 大きなAMがある事例の報告は少ない

Limited instances of substantial AM have been documented.

- AMは関心事であり、英国でさらに評価されようとしている

AM is a concern and is being further evaluated in the U.K.

- まあまあのレベルのAMとはどんなものか

What is a reasonable level of AM?

- どのように定量評価すべきか、予測または緩和するには何ができるか?

How should it be quantified and what can be done to predict or mitigate?

可能な騒音の研究－2

Potential Sound Research

- 信頼でき、科学的で厳密にピアレビューを受けたか、あるいは行政の出版物を発行すること
Increase number of credible, scientifically and rigorously peer reviewed or government publications
- 健康とアノイアンスの懸念を処理すること
Address the health and annoyance concern
 - 代表的な限度値(40 to 50 dBA)を考えること
Consider typical limits (40 to 50 dBA)
 - 風力発電ファームおよびその他の騒音減から受ける睡眠障害とアノイアンスについて検討すること
Consider sleep disturbance and annoyance from wind farms, as well as other sources of noise
 - より適切な音のレベルと暴露-反応関係の構築に重点を置いたスウェーデンとオランダの研究調査(Windfarm PERCEPTION) を拡張すること
Expand on Swedish/Dutch studies (WindfarmPERCEPTION) with emphasis on improved determination of acoustic levels and improved dose/response relationship

風力発電ファームの騒音に関する計画

Wind Farm Sound Planning

- 非音響的要因が音響要因と同様に重要である
Non-acoustic factors may be as important as acoustic factors
 - 透明性と音源に対する態度
Visibility and attitude toward source
 - 地域とのよい関係および対象とする範囲
Good public relations and outreach imperative
 - 音源である風車についての必要性和重要性の理解
Understanding need and importance of the source
 - 稼働施設への現地見学?が有用
Field trips to operating facilities are helpful
 - 静粛は適切な目標ではないし、それを求める訳でもない
Silence is not a reasonable goal **nor should it be implied**
 - 地域社会や土地所有者が風力発電ファームのメリットを理解することが重要
Ensure local community and landowners understand benefits

地域社会が許容するレベルは?

Community Acceptance

- 静穏な田園地域では風力発電タービンはかなり遠方でも聞こえる
In quiet rural areas, wind turbines can and will be heard for a considerable distance.
 - 聞こえるか否かは大きな影響の有無を判断する基礎とされて来なかった
Audibility has not been the basis for determining significant impact
- 居住の快適さとバランスする音のレベルはどれ位とするのが妥当か?
What level of noise is reasonable to balance “residential amenity”?

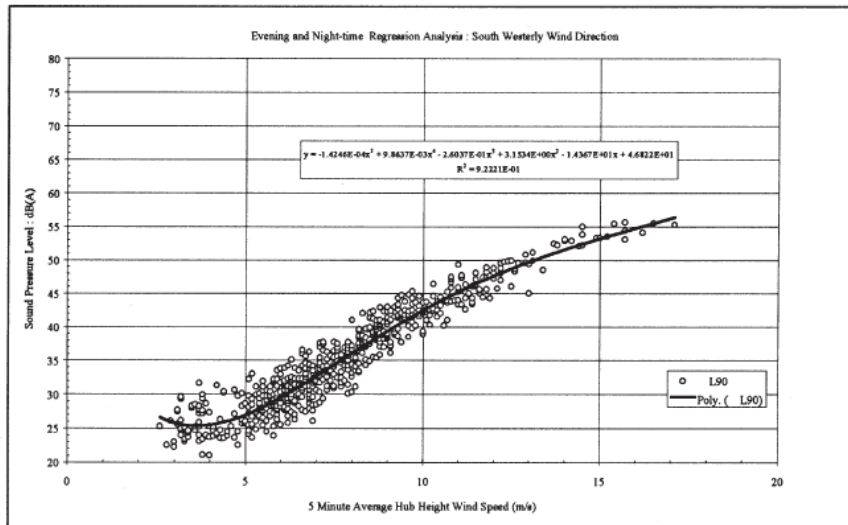
米国の州規制- 全騒音源

U.S. State Regulations – All Noise Sources

- 1990年代の各州の状況調査によれば According to a 1990s survey of states:
 - 風力発電タービンだけでなく全騒音源対象の規制があるのは13州
Only 13 had state regulations – for any sources, not just wind turbines
 - そのうち5州は制定してあるが施行していなかった
5 of those 13 had them “on the books” but did not enforce
 - 施行されてはいないが、州の認可プロセスにより適合が求められている
Even though it is “not enforced,” state permitting process may require compliance
- New YorkやCalifornia等の州は規制はないが指針やモデル条例がある
Some states do not have regulations, but have guidance or model ordinances (New York and California)
- 規制の表現は拙く、不明瞭である
Poorly worded and ambiguous regulations
- 基本的にはdBAの中央値と等価平均値に基づくものとなっている
Primarily rely on median (L_{50}) or equivalent (L_{eq}) average dBA
- 風力発電タービンへの懸念は多くの自治体に独自の騒音規制を行わせる状況にある
Concerns over Wind Turbines are causing many communities to evaluate their noise regulations.

相対値規制と絶対値規制

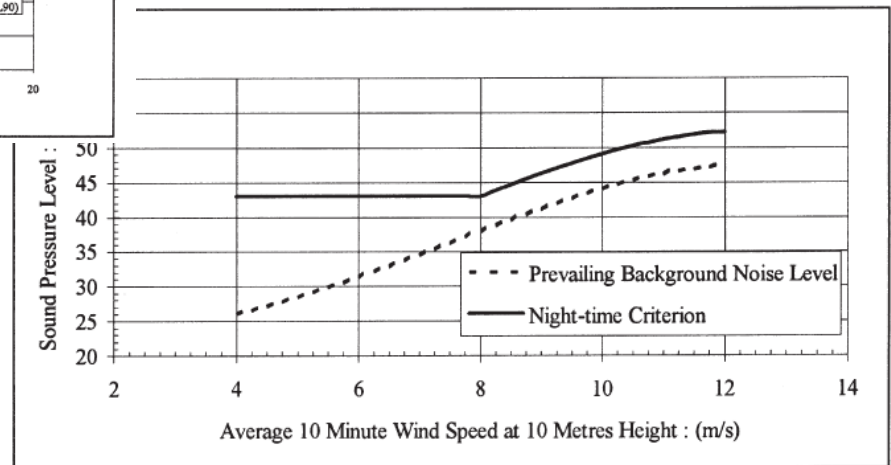
Relative and Absolute Criteria



何の増加を見るか
 Increase over what?
 対象音なしの既存のレベル
 Need to define existing level.
 (ばらつきはここに示す例以上に重要なものであるscatter has proved to be more significant than depicted here)

レベルの対値が45dB未満の時に15dB増大は許容できるか?許容できる最大値は幾らか? Is 15-dB increase OK, when result is less than 45 dBA? What is maximum level acceptable?

風は他の音源と違う扱いをすべきか? Is wind to be treated differently than other sources?



Example of night-time noise criterion



風力発電タービン騒音の規制の方法

Wind Turbine Sound Regulatory Approaches

- 規制値 Limit:
 - 騒音のレベルの最大値 Absolute maximum sound level
 - 騒音のレベルの相対的増減 Relative increase or change in sound level
 - 上記の両方 Combination of both approaches
- 米国オレゴン州 Oregon, USA
 - L_{50} で10 dBA の増加、または隣人の承諾なしでは36 dBA 以下(騒音地役権) 10 dBA L_{50} increase or 36 dBA unless neighbors agree to higher level (noise easement)
 - 許容レベルの最大値50dBA Maximum allowable level of 50 dBA

風力発電タービン騒音の規制の方法：ニュージーランド

Wind Turbine Sound Regulatory Approaches

- ニュージーランド基準 New Zealand (NZS 6808, 2010)
 - 騒音の敏感地域で、暗騒音レベル($L_{A90(10min)}$)が40dB以上となるか、既存の暗騒音レベルが5dB以上大きくなる
Greater of 40 dB $L_{A90(10min)}$ or the existing background ($L_{A90(10min)}$) by more than 5 dB at noise sensitive locations
 - 特に快適環境を保全すべき地域では夕方と夜間に付加的な規制を設けるが、35 dB $L_{A90(10min)}$ を下回らないこととされている
Additional restrictions for special “high amenity areas” during the evening and nighttime hours, but these limits should not be less than 35 dB $L_{A90(10min)}$.
 - 純音性の音や非常に強い振幅変調が掛かっている音など特徴的に聞こえる音の成分に対するペナルティ
Penalties for “Special Audible Characteristics”: tones and excessive amplitude modulation
 - 超低周波音や低周波音、地面を伝わる振動に対する特別な規制は正当化されていない
Restrictions addressing infrasound, low frequency noise or ground-borne vibrations are not justified.

風力発電タービン騒音の規制の方法：オランダ（１）

Wind Turbine Sound Regulatory Approaches

- **オランダ** The Netherlands
 - 再生可能エネルギーの重要性が認識された
Importance of Renewable Energy was acknowledged
 - 国の目標は非常に制限の強い限度を設けたため、満たせなかった
National goals could not be met with more restrictive limits
 - 健康に基く指針： WindfarmPERCEPTION 研究調査を含むオランダ、スウェーデンの研究調査の評価に基づいている
“Health Based Guidelines”: Based on evaluation of Dutch and Swedish studies including WindfarmPERCEPTION study.
 - 風力発電タービン音の年間平均値を計算して評価
Wind Turbines Sound Calculated Annual Average Levels:
 - L_{den} (47 dBA) (day-evening-night level, EU尺度European Union metric)
 - L_{night} (41 dBA) - 睡眠障害を抑えるための夜間レベル基準
 - nighttime level to limit sleep disturbance

風力発電タービン音の規制の方法：オランダ(2)

Wind Turbine Sound Regulatory Approaches

- オランダの場合(続き) The Netherlands (continued)
 - 風力発電タービンによる室内での高アノイアンスの可能性8%
8% potentially highly annoyed indoors from wind turbines
 - 航空機や鉄道、自動車等の音源でも同じような割合である
Similar % to other sources (planes, trains, automobiles)
 - 騒音レベル測定は必要ではない
No sound level measurements are required.
 - モデル計算はISO 9613-2と同様に行える
Modeling is similar to ISO 9613-2
 - 年間平均の計算は風向・風速の変化を考慮する
Annual average calculation considers variability in wind speed and wind direction
 - WHOの指針では L_{night} 41 dBA が提案されている
41 dBA L_{night} considered World Health Organization guidelines

風力タービン音の規制の方法：オランダ(3)

Wind Turbine Sound Regulatory Approaches

- オランダの場合(続き) The Netherlands (continued)
 - 規制は自国での研究に基づき開発された「暴露-反応関係」に基づいている
Regulation is based on dose-response relationship developed specifically from studies of wind turbines in the Netherlands
 - 特別な聴覚的性状(純音性、振幅変調、低周波音)の考慮はしない
No need to specifically address “special audible characteristics” (tonality, amplitude modulation, low frequency noise)
 - ウィンドファーム(風力発電地域) PERCEPTIONという調査や他の調査ですでにこれらの懸念の可能性を検討している
Windfarm PERCEPTION and other studies already considered these potential concerns

ご清聴有り難うございます
Thank you.

Mark Bastasch, P.E., INCE

