

【課題番号】	5-1710
【研究課題名】	風力発電施設等の騒音に含まれる純音性成分による不快感の評価手法の研究
【研究代表者】	坂本 慎一
【所属】	東京大学・生産技術研究所
【研究実施期間】	2017年度—2019年度
【研究経費】	92,984 (千円)

研究開発目的

風力発電施設や家庭用ヒートポンプ給湯器等の設備機器から発生する騒音や、遮光ルーバー・換気開口に設置される外装材から生じる風切音等の純音性の成分を含む騒音に対して、①人間の感覚(うるささ感, 不快感)と良い対応を示す物理量を求め、それら物理量から構成される②騒音不快感の評価指標を構築する。

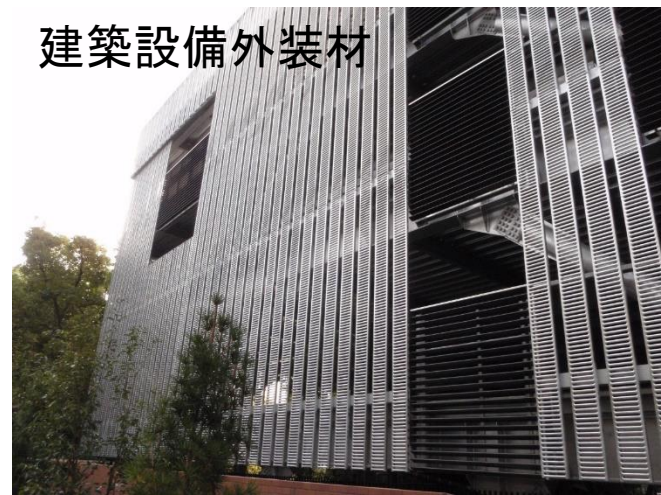
風力発電施設



ヒートポンプ給湯器



建築設備外装材



研究体制

【SG1】 純音性成分を含む騒音の心理評価に関する研究

東京大学・坂本慎一

【SG2】 純音性成分を含む騒音源の計測および予測技術に関する研究

大成建設(株)・浜田由記子
大成建設(株)・富高 隆

【SG3】 国内外規格および諸外国の動向との整合性検討

大成建設(株)・増田 潔

SG間の連携

純音性成分を含む騒音の心理評価に関する研究
東京大学 坂本慎一

SG1:心理評価

- 純音性成分を含む騒音の心理評価に関する研究
- 評価手法・目標値の開発

音源データの提供

フィードバック
情報提供

純音性成分を含む騒音源の計測および予測技術に関する研究
大成建設 浜田由記子, 富高 隆

SG2:計測, 予測技術

- 純音性成分を含む騒音の収集
発生源毎の特徴整理, 分析
- 騒音源の計測
- 純音性成分の伝搬予測

分析データ提供
情報提供

純音性成分を含む騒音の測定・評価に関する国内・国際規格に関する研究
大成建設 増田 潔

SG3:情報収集

- 純音性騒音の国内・国際規格の調査
- 評価手法に関する研究動向, 海外資料の収集
- 評価手法の整合性検討

(研究提案時に示したスライド: 本研究の具体的課題)

諸外国の基準(純音性成分, 振幅変調音に着目して)

国	振幅変調音	純音性成分
デンマーク	—	5 dBのペナルティ
イギリス	—	1.54～5 dBのペナルティ
フランス	—	—
ドイツ	—	3～6 dBのペナルティ
オランダ	—	—
ニュージーランド	1～6 dBのペナルティ	1～6 dBのペナルティ
カナダ(オンタリオ州)	—	5 dBのペナルティ
日本	—	—

SG3. 国内外規格および諸外国の動向との整合性検討

	Tonal Audibility系	Tone Prominence系	Perceived Noise Level系
対象周波数	20 / 50 / 90 Hz ～（規格による）	100 Hz ～ 10,000 Hz (89.1 Hz～11,220 Hz)	50～10,000 Hz（1/3オクターブバンドの中心周波数）
周波数重み付け	A特性	重み付けなし（Z特性）	
周波数分析	FFTによる狭帯域分析	FFTによる狭帯域分析	1/3オクターブバンド分析
周波数分解能	1.0 Hz ～ 4.0 Hz（規格による）	対象離散周波数音の幅が、その周波数を中心とする臨界帯域幅の15 %以下となるように設定する	
周波数帯域	臨界帯域（critical band）	臨界帯域（critical band）	1/3オクターブバンド
FFT時間窓	ハニング窓	ハニング窓	
備考	主に、風車騒音を含む一般環境騒音に含まれる純音性成分を含む騒音の特徴量分析方法を規定している。ISO 1996-2:2007（Joint Nordic Method ver.2:1999を基にした規格である）、DIN 45681:2005、ISO/PAS 20065:2017、IEC 61400-11:2012（JIS C 1400-11:2017）等が規定されている。いずれも基本的考え方とは共通であるが、分析手法の詳細	に、情報技術装置から放射される空気伝搬騒音の測定方法を規定している。基本的には聞こえる離散周波数音（純音性成分）を分析対象とする。ECMA-74:2015、ANSI S1.13-2005、ISO 7779:2010（JIS X 7779:2012）が規定されており、いずれの規格も内容についてはほぼ同一である。	主に、航空機騒音の評価に用いられる。ISO 3891:1978で規定されている。隣り合う1/3オクターブごとの音圧レベルの変化幅から純音補正値を算出し、主観的な音のうるさを考慮して求められた騒音レベルに加算して求める。補正量は0 dBから6.7 dBまでの範囲である。

<本研究により得られた主な成果（科学的・技術的意義）>

Tonal Audibility系の評価量が、計算手法が最も明確であり、すでに風力発電施設に関する規格にも採用されているため、本研究における評価量として最もふさわしい。

<本研究により得られた成果の活用：環境政策への貢献>

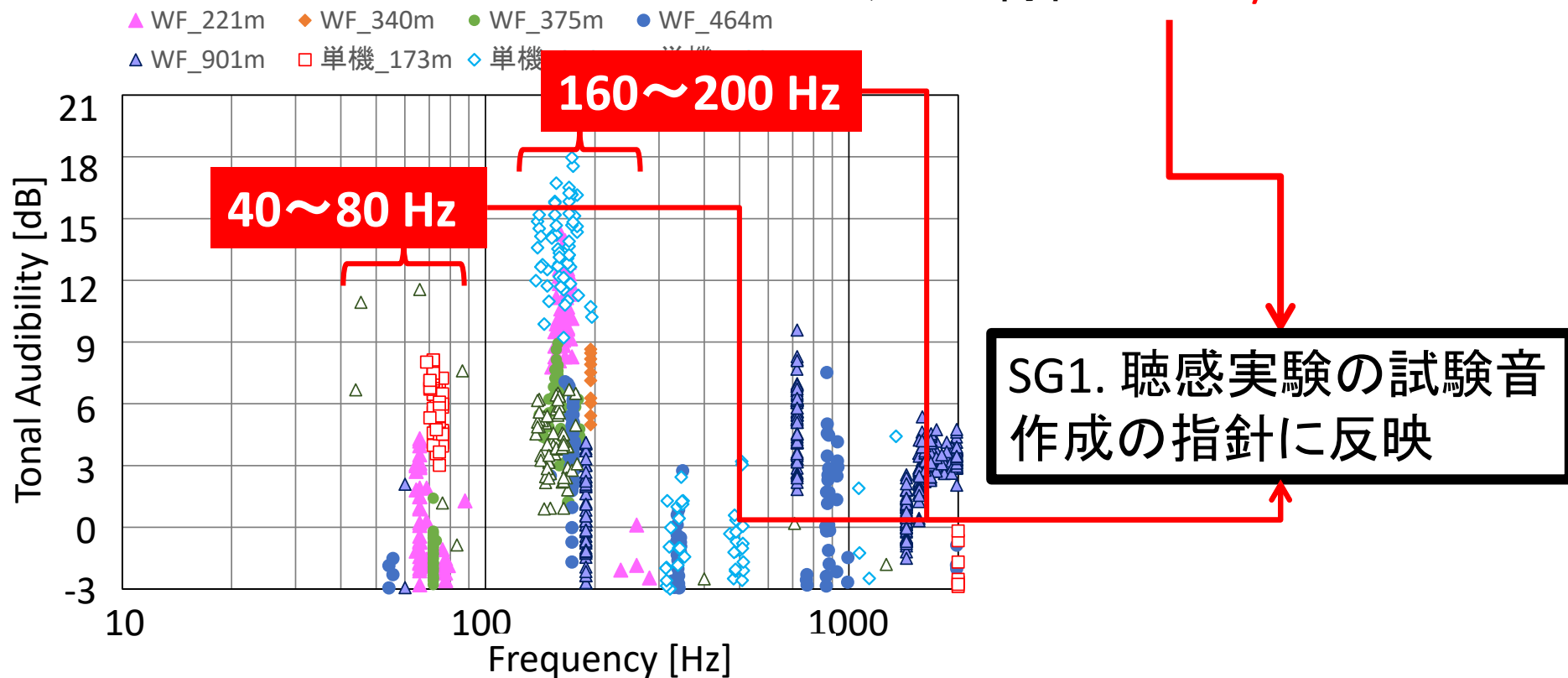
提案手法を行政が活用する際に、国際的な整合性を示すことができる。また、諸外国の手法や国際的な規格やガイドラインについてもまとめてあるため、我が国の手法と諸外国との比較を簡単に示すことができる。

純音性成分を含む騒音の実態

SG2. 純音性成分を含む騒音源の計測および予測技術に関する研究

[1] 風車騒音

既往の研究, および再分析結果より
風車騒音のベースノイズの
スペクトル特性は -4dB/Oct.



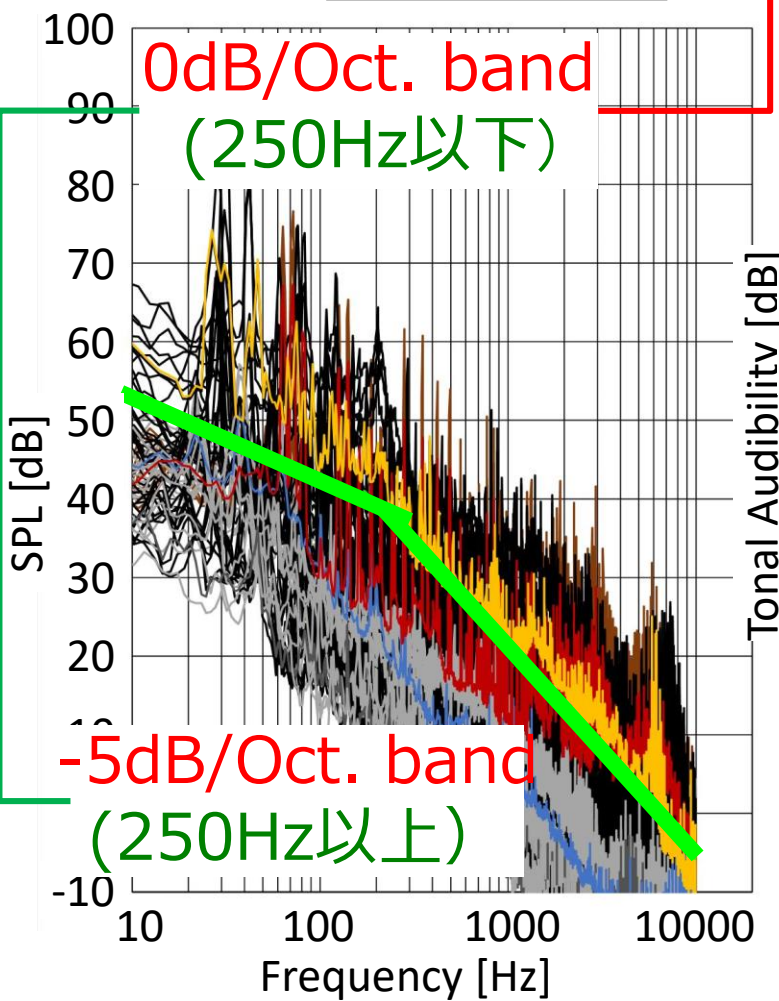
風車騒音に含まれる純音性成分の周波数と強度(再分析結果)

純音性成分を含む騒音の実態

SG2. 純音性成分を含む騒音源の計測および予測技術に関する研究

[2]設備騒音

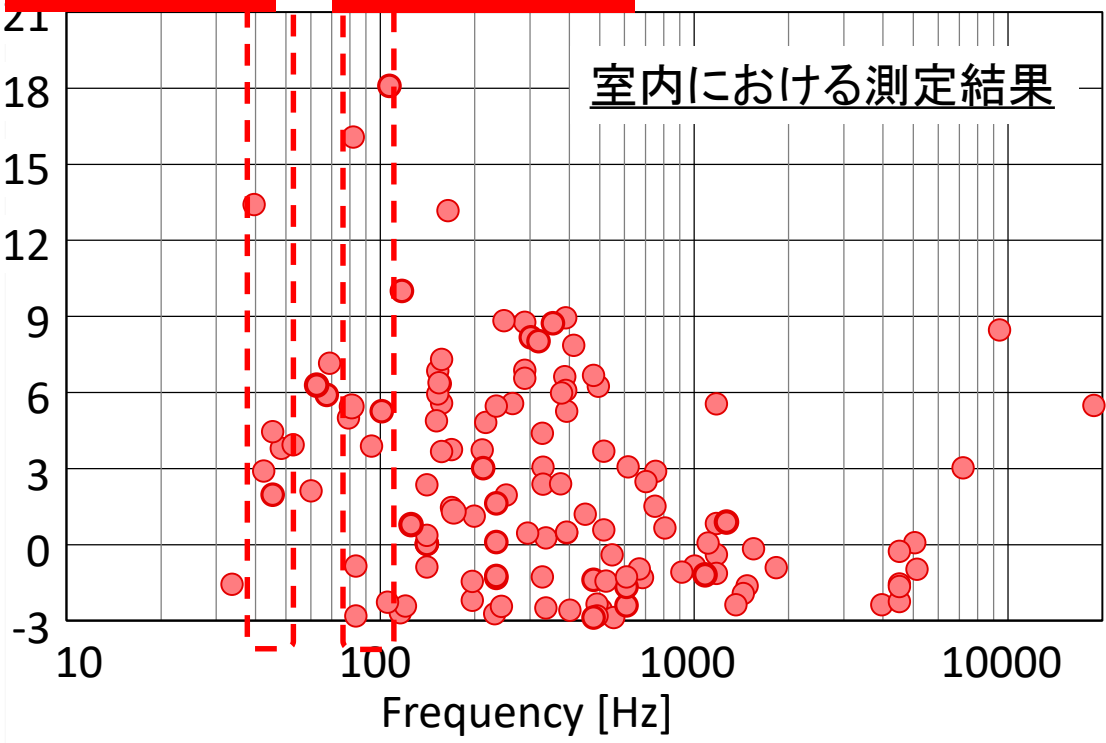
設備騒音のベースノイズは・・・



SG1. 聴感実験の試験音
作成の指針に反映

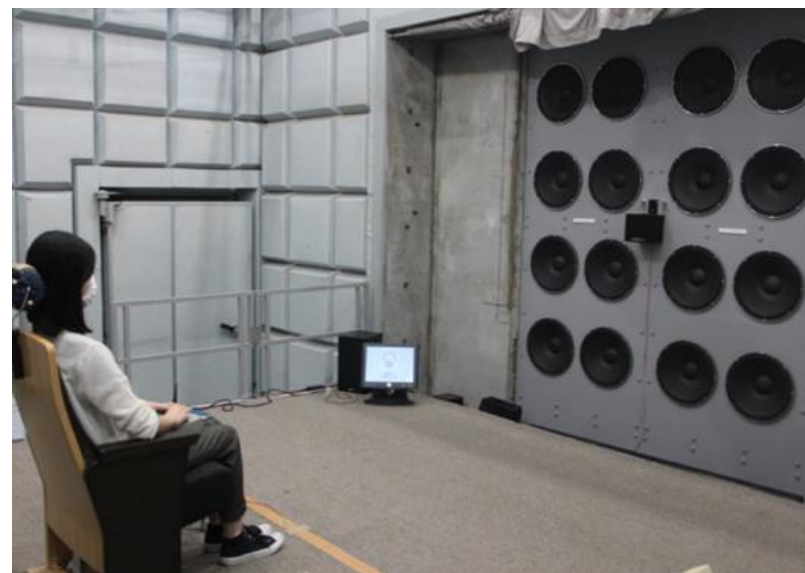
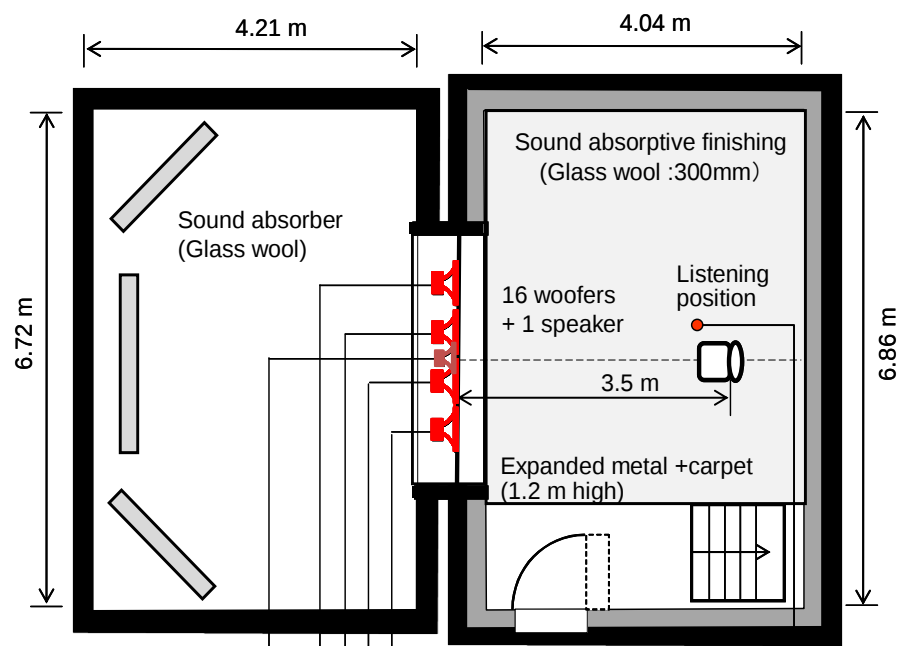
40-50 Hz

80-100 Hz



純音性成分の強度を分析

SG1. 純音性成分を含む騒音の心理評価に関する研究



東京大学生産技術研究所:音響実験設備

- [1]純音の**マスキング閾値**に関する実験 ← Tonal Audibilityの基礎
- [2]純音性成分を含む騒音の**大きさ感**に関する聴感評価実験
- [3]純音性成分を含む騒音の**わずらわしさ**に関する聴感評価実験



- [4]純音性成分を含む騒音の**ペナルティの提案**

[1] 純音のマスクング閾値に関する実験

ベースノイズの設定

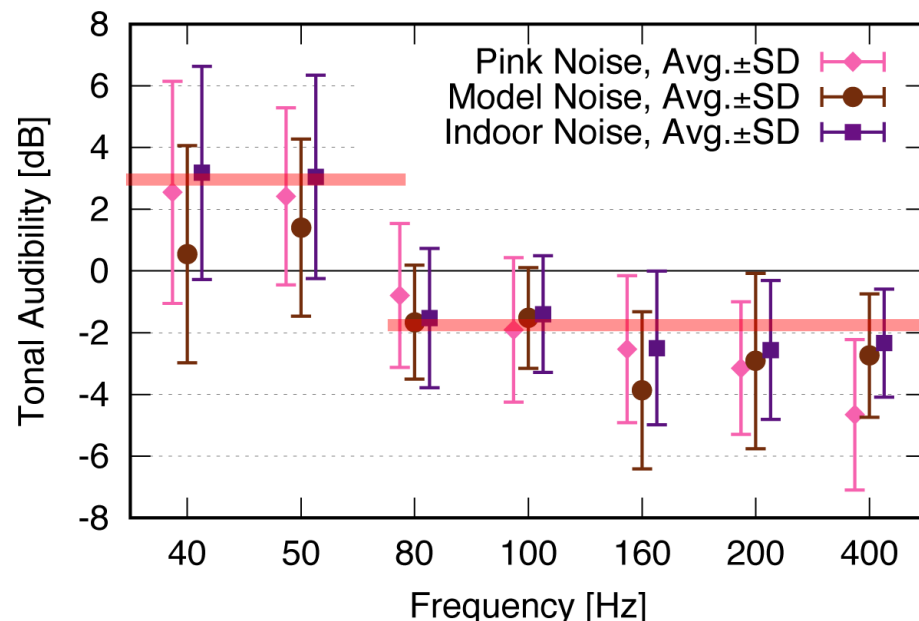
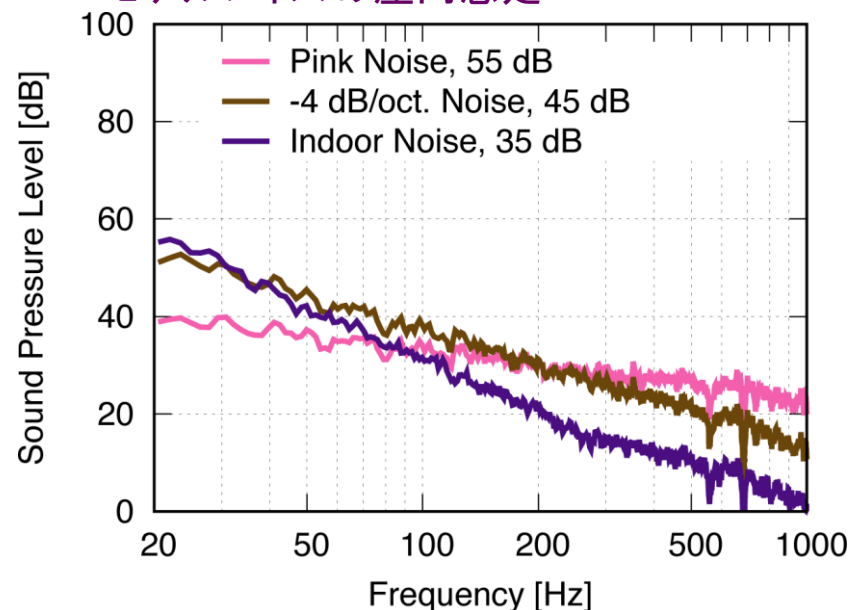
+

純音性成分

- ① **0 dB/オクターブバンド**
ピンクノイズ
- ② **-4 dB/オクターブバンド**
モデルノイズ と呼称
- ③ **-8 dB/Oct. (250Hzまで)**
モデルノイズの屋内想定

SG2. 分析・
測定結果より

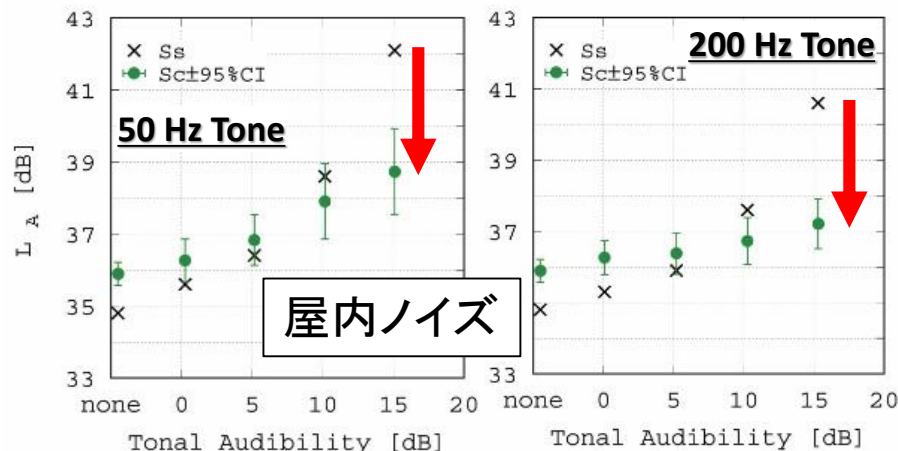
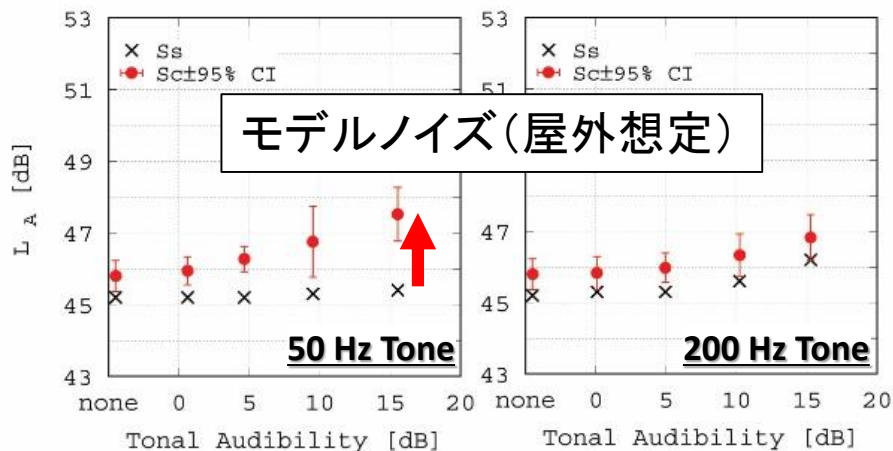
40 Hz, 50 Hz
80 Hz, 100 Hz
160 Hz, 200 Hz
400 Hz



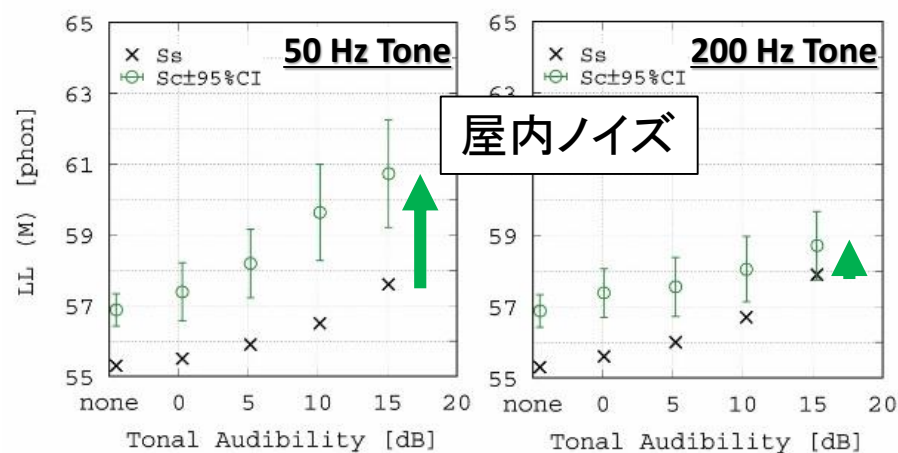
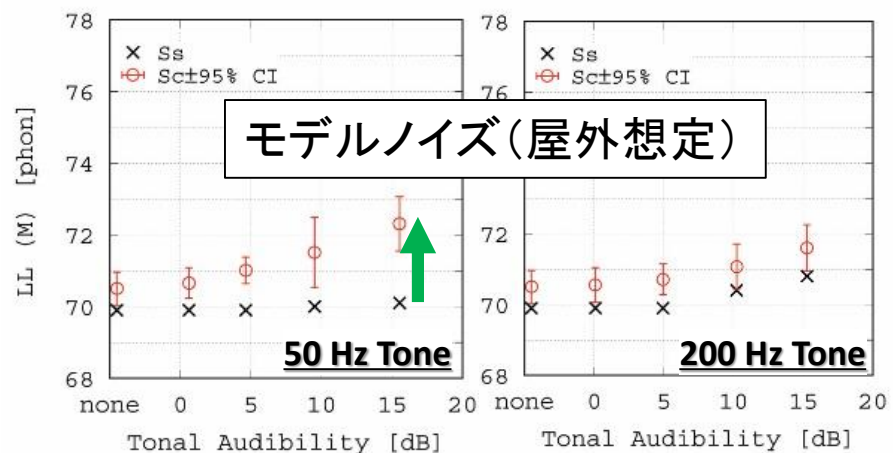
国際規格ISO PAS 20065やIEC 61400-11に規定され、純音性の強さの指標として国際的に用いられている**Tonal Audibility**は、背景騒音の周波数特性によらず、純音の可聴性を安定して評価できることを確認した。

[2]純音性成分を含む騒音の**大きさ感**に関する聴感評価実験

被験者調整法(被験者数:20歳代, 15名)



L_A (国際標準の一般的評価指標)で評価 → 逆転現象が起こることも。



Moore-Glasbergのラウドネスレベル(ISO 532-2) → より**精度よく**評価可能

[3]純音性成分を含む騒音のわずらわしさに関する聴感評価実験

評定尺度法(被験者数:40 + 20 + 20 名)

★状況を想定して,「わずらわしさ」を評価してもらう

日中くつろいでいるときに,試験音がずっとなり続けている

背景騒音 35 dB

夜,就寝しようとしているときに,

背景騒音 25 dB, 35 dB

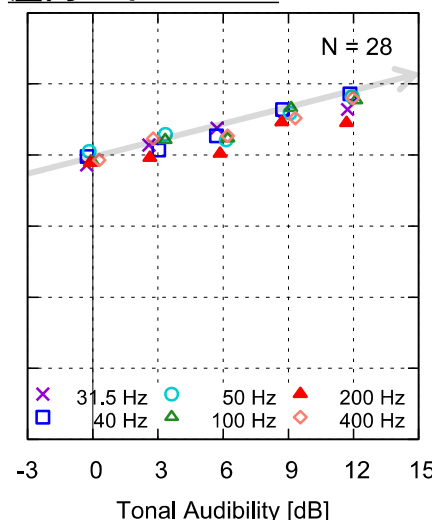
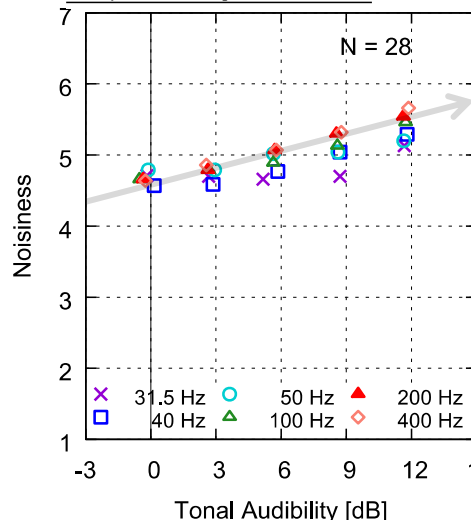
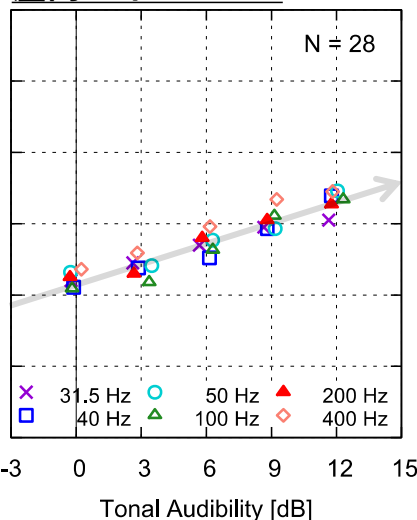
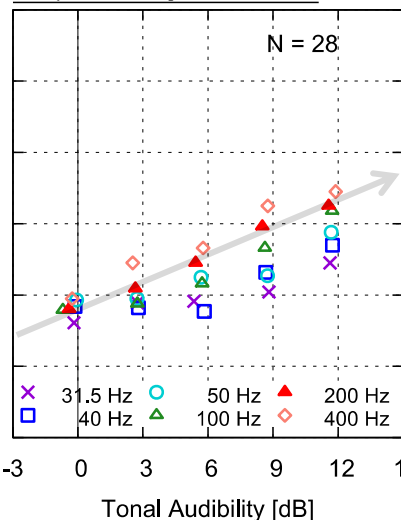
わずらわしい
わずらわしくない

モデルノイズ30 dB

屋内ノイズ30 dB

モデルノイズ35 dB

屋内ノイズ35 dB



★純音の強度が増すほど主観的な音のわずらわしさが大きい。

★背景騒音のレベルが低いと,純音性成分によるわずらわしさが増加

★従って, 静穏な環境ほど, 純音性成分に起因する不快感が生じやすい。

[4]純音性成分を含む騒音の ペナルティの提案

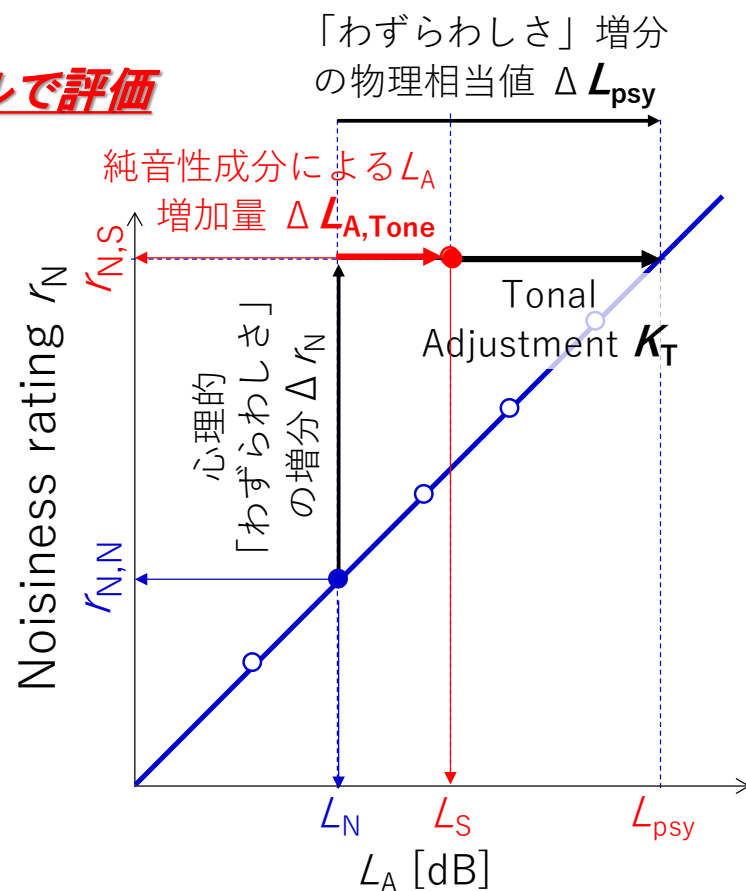
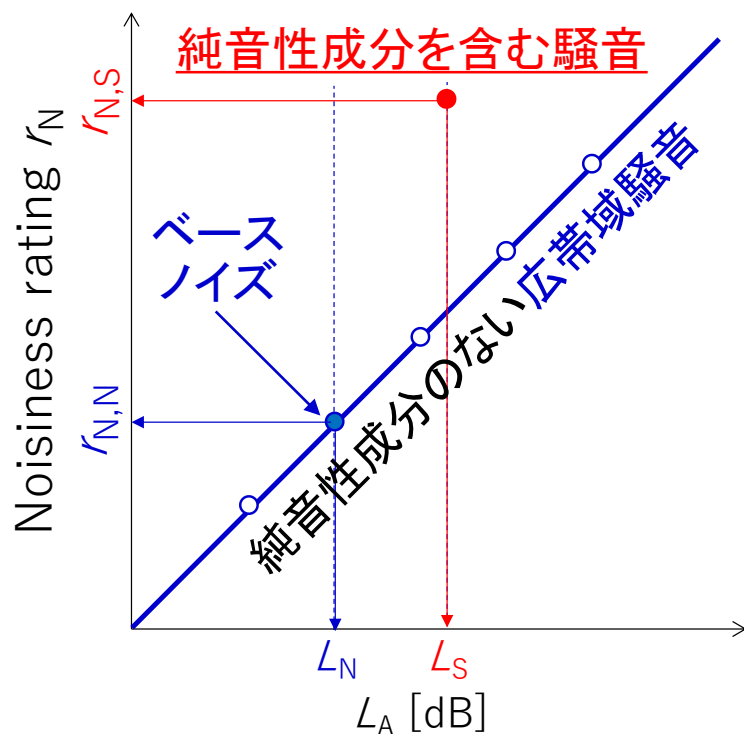
わずらわしさの実験結果に基づき,

純音性成分の強度によるペナルティ(Tonal adjustment)を算出・提案

純音性成分が強くなることによる, うるささの増加が,
何デシベルに相当するか?

★Tonal Audibilityで評価

★A特性音圧レベルで評価



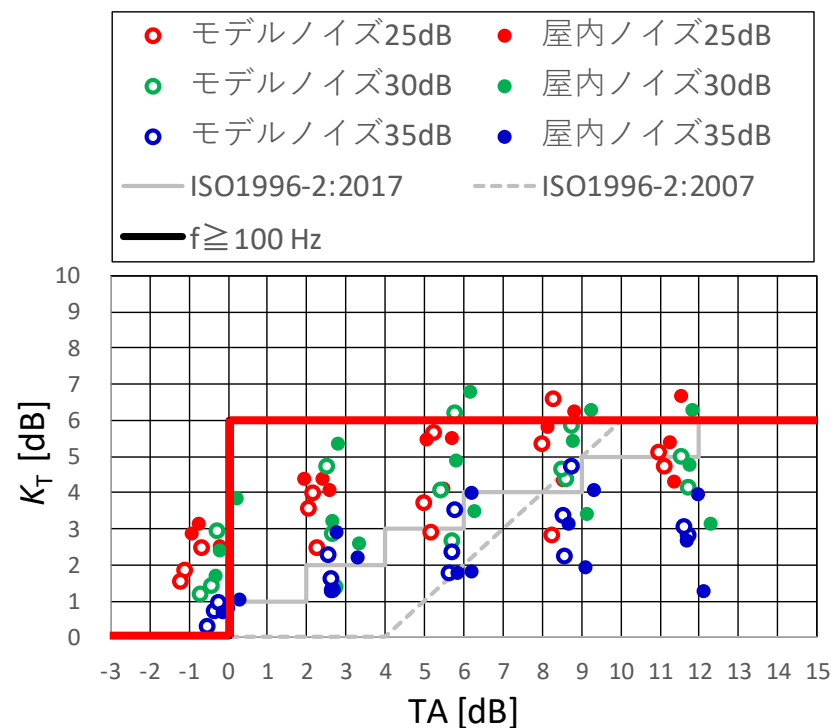
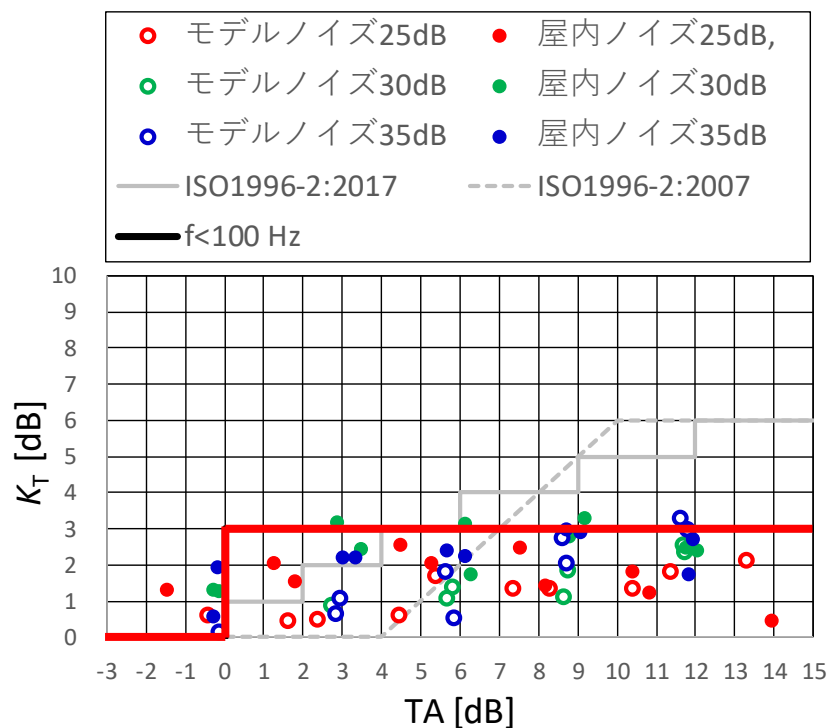
[4]純音性成分を含む騒音のペナルティの提案

純音性成分が強くなることによる、うるささの増加が、

★Tonal Audibilityで評価 何デシベルに相当するか？

★A特性音圧レベルで評価

純音性成分のTonal Audibilityが、0 dB以上の場合にペナルティ
純音性成分の周波数が、低周波数(100 Hz未満)とそれ以上で分ける

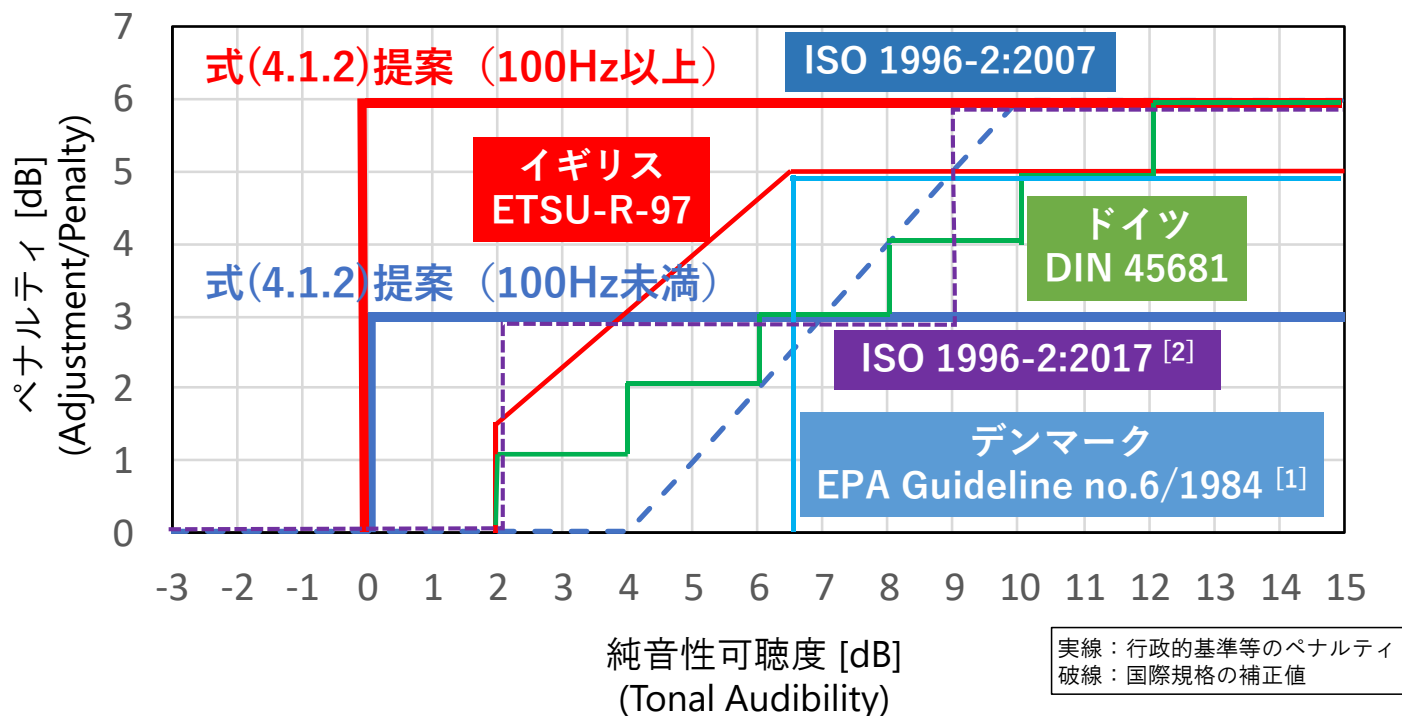


＜本研究により得られた成果の活用：環境政策への貢献＞

純音性成分によるペナルティを、具体的に提案した。

SG3. 国内外規格および諸外国の動向との整合性検討

SG1で提案するペナルティの国際整合性の検証



各国の行政的基準では、純音性可聴度がある数値を超えた場合に一定のペナルティを与える場合が多い。

純音性可聴度が0dB以上の時に一定のAdjustmentを発生させる本研究の提案はそれらと同様であり、かつシンプルで使いやすい。またその値も他の規格や基準と同程度であり、十分に整合性はとれているものと判断できる。

＜本研究により得られた成果の活用：環境政策への貢献＞

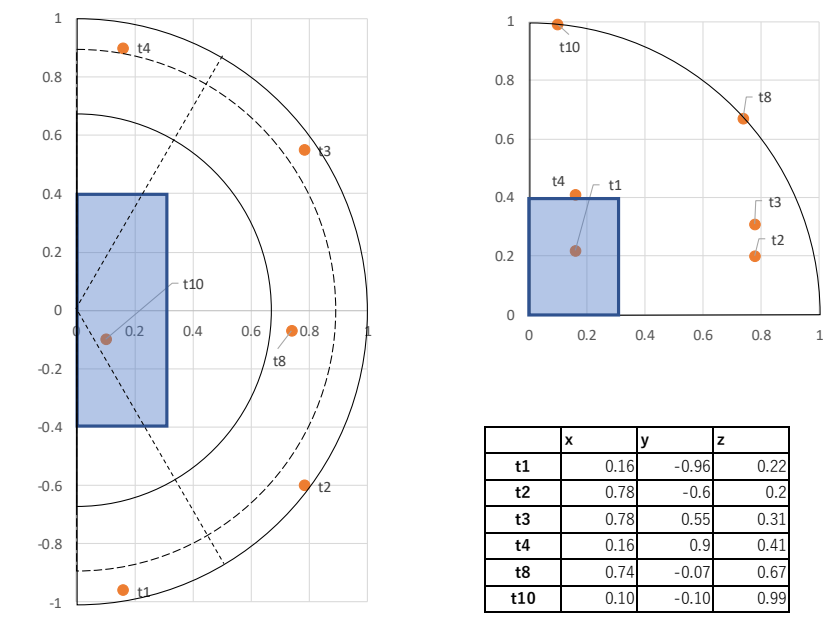
提案手法を行政が活用する際に、国際的な整合性を示すことができる。

SG2. 純音性成分を含む騒音源の計測および予測技術に関する研究

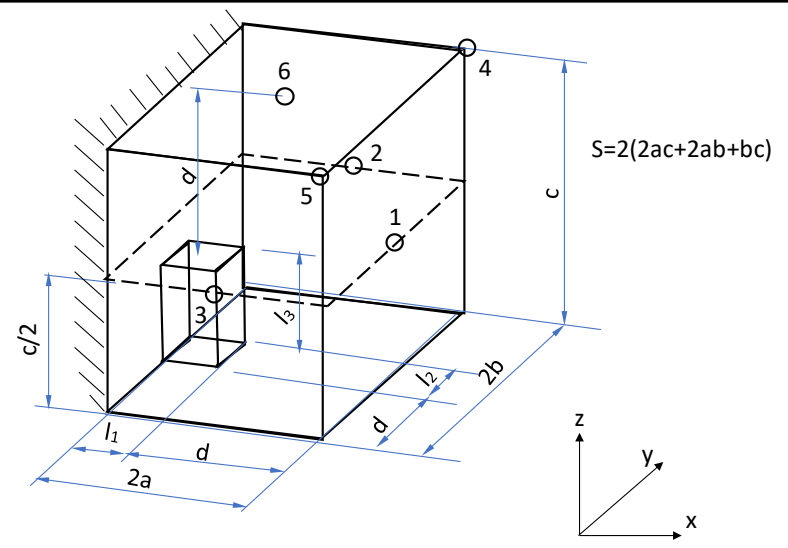
評価指標(TA)を, どう計測するか？

風車騒音: 既に規格化 (IEC 61400-11:2012, JIS C1400-11:2017)

設備騒音のパワーレベル: 定まっていない → **JIS Z8733-2000** (音響-音圧法による騒音源の音響パワーレベルの測定方法-反射面の準自由音場における実用測手方法)を参照することを提案。



◇測定点: 半球面に設定 JIS Z8733:2000 附属書B.2 (離散純音を放射する音源)
✓ 半径: r=1m



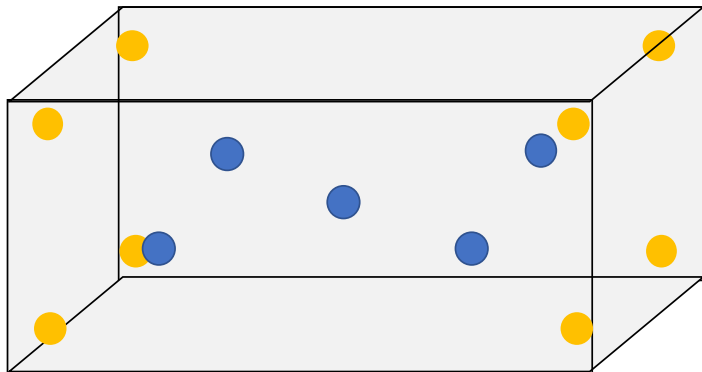
◇測定点: 平行六面体に設定 JIS Z8733:2000 附属書C
距離: d=0.25m以上 できれば1m

※設備の設置状況に応じて, 測定点を決定すること。

SG2. 純音性成分を含む騒音源の計測および予測技術に関する研究

評価指標(TA)を, どう計測するか？

室内騒音の測定方法, 音圧レベルの代表値の算出方法



◇測定点

✓室内代表5点 L_1

✓端部から0.3~0.4m L_2
4か所 (床・天井を2か所ずつ)

✓代表値 (係数は検討中)

$$L_{2,LF} = 10 \times \log_{10} \left(\frac{10^{L_1/10} \times 2 + 10^{L_2/10} \times 1}{3} \right)$$

ISO16283-3に基づく風車騒音・給湯器騒の現場測定法の提案式

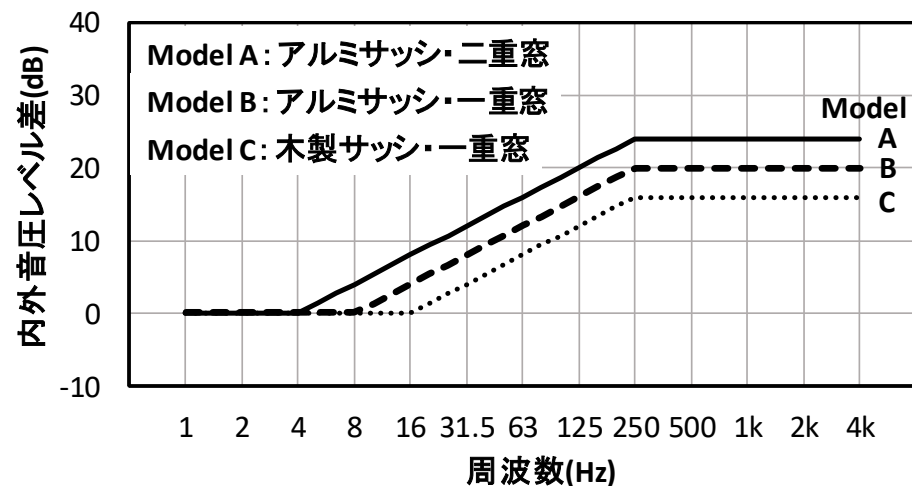
SG2. 純音性成分を含む騒音源の計測および予測技術に関する研究

評価指標(TA)を, どう推定するか？

室内騒音の予測方法

$$L_{in}(f) = L_{out}(f) - \Delta HF(f) - \Delta RF(f)$$

$\Delta HF(f)$



橘らが提案したハウスフィルタ

$\Delta RF(f)$

室(直方体を想定)の3軸寸法,
共鳴周波数(寸法から計算),
平均吸音率から計算する方法
を提案

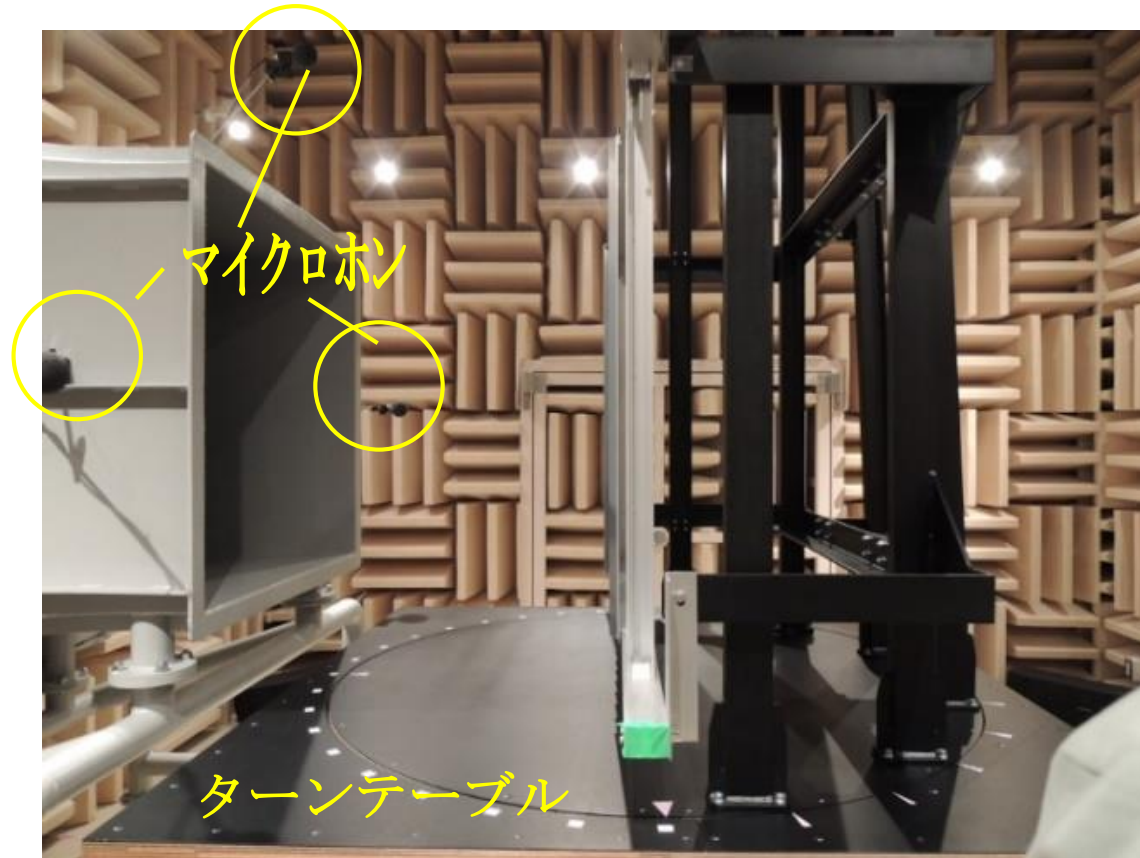
増田らが提案するルームフィルタ

SG2. 純音性成分を含む騒音源の計測および予測技術に関する研究

評価指標(TA)を、どう計測するか？

風騒音：低騒音型風洞とターンテーブルを用いた測定の手順を提案

(風速と風向角を適切に制御しながら測定する手順書を示した)



本研究で得られた成果

純音性成分を含む騒音の心理評価に関する研究
東京大学 坂本慎一

SG1:心理評価

- 「大きさ感」「わずらわしさ」に関する詳細な実験データ
- ペナルティの具体的提案

音源データの提供

フィードバック
情報提供

純音性成分を含む騒音源の計測および予測技術に関する研究
大成建設 浜田由記子, 富高 隆

SG2:計測, 予測技術

- 設備騒音, 風騒音における評価指標の測定方法を提案
- 設備騒音の屋外および屋内への伝搬を予測する方法を提案

純音性成分を含む騒音の測定・評価に関する国内・国際規格に関する研究
大成建設 増田 潔

SG3:情報収集

- 純音性騒音の国内・国際規格の整理
- 計測・予測の技術情報の整理
- 評価手法の整合性検討

分析データ提供
情報提供

5-1710 風力発電施設等の騒音に含まれる純音性成分による不快感の評価手法の研究

＜本研究により得られた成果の主な活用（環境政策への貢献）＞

- 我が国では、現在、風力発電施設から発せられる騒音、家庭用ヒートポンプ給湯器などの設備機器による騒音の純音性を考慮した評価基準が存在しない。本研究で得られた、騒音中に含まれた純音性成分が騒音の「わずらわしさ」に及ぼす影響に関する聴感評価実験結果は、純音性成分を考慮した評価基準を策定する上での基礎データとして活用されることが見込まれる。
- 本研究では、上記の純音性評価指標により整理した、騒音の「わずらわしさ」評価の実験データに基づき、現在国際的に用いられている騒音の評価指標であるA特性音圧レベル評価における調整値Tonal adjustmentを定量的に示した。このデータは、環境行政において今後純音性成分を含む騒音の評価方法を検討する際の基礎データとして活用されることが見込まれる。
- 近年、社会問題化している給湯器騒音等の測定時に本研究で提案した測定手法、評価尺度の算出方法、室内騒音の予測手法を適用することにより、各事案の測定結果を相互比較することが可能になる。
- 提案手法を行政が活用する際に、国際的な整合性を示すことができる。また、諸外国の手法や国際的な規格やガイドラインについてもまとめてあるため、我が国の手法と諸外国との比較を簡単に示すことができる。