

**ONO SOKKI**

感性に響く、音づくり。

Sound quality  
**improvement** 音質改善

音の感性評価コンサルティング

# Sound quality improvement 音質改善

## 騒音低減から音質改善へ

これまで工業製品の騒音対策は音を小さくすることに重点がおかれていました。その結果、最近では製品から発生する騒音はかなり低減されています。

しかし、レベルは小さいが気になる音を対策したいという要求もあります。そこではこれまでの「騒音低減(=音の量的な改善)」だけではなく、「音質改善(=音の質的な改善)」が必要になります。

## 機能価値から感性価値へ

日本の工業製品は、高性能、高品質、低価格で世界をリードしてきましたが、今後はそれだけでは勝ち続けることは難しい状況にあります。

これらに続く第四の価値として「感性価値」が必要と言われています。感性価値とは、ユーザーの「触った感じ」、「聴いた感じ」など、五感で感じる感覚がその製品の魅力につながる新しい価値です。

## 熟練者による官能評価からモデル式による指標化へ

これまで様々な製品の音に関する主観評価(最終的な聴き心地評価)は、その道のプロフェッショナルであるスタッフが、豊富な経験に基づいて一つ一つ判断していくという方法が主流でした。

今後は、このような人の感覚に頼った定性的な評価から、誰もが行える定量的な評価が望まれています。

数値で定量的に判断できる指標を作成することで、経験者でなくとも評価が可能になり、評価時間の短縮や評価品質の向上につながることが期待できます。

## 音質改善・感性価値 指標化コンサルティングの流れ

### STEP 1 現状把握

- 評価対象音の測定・収録
- 音響物理量解析による評価対象音の把握  
オクターブ解析やFFT解析で基本的な音響特性を把握します。

### STEP 2 主観量評価

- 主観評価実験(聴感実験)  
評価手法、評価語、音の再生方法などを検討して実験を行います。



### STEP 3 主観量と物理量の結びつけ

- 詳細な音響物理量解析による評価対象音の把握  
周波数解析のみではなく、時間波形の変化にも着目して解析を行います。
- 主観量評価と物理量評価の関係性の構築  
主観量評価に含まれている感覚も考慮して、物理量との相関を確認します。



### STEP 4 評価対象音対策

- 対策方針の検討と対策部位の特定  
可視化ツールなども用いて音響・振動の対策を行います。
- 対策効果の検証(主観量評価と物理量評価を実施)  
想定した対策効果が得られるか主観量と物理量の両面から確認します。



### STEP 5 指標化

- 評価基準の数値化  
主観量評価を数値に置き換え、定量的な評価が行えるようにします。



# 事例紹介 ~乗用車集中ドアロック施錠音の主観評価~

## STEP 1 現状把握

主観評価(聴感実験)用音源はバイノーラルヘッドを用いて収録し、物理解析用の音源は計測用マイクロホンを用いて行います。2種類の収録を行うのは、主観評価実験をヘッドホン受聴にて実施するためとラウドネスを中心とする物理評価値は無指向性の計測用マイクロホンで収録した音を前提とした解析手法になっているためです。

この段階での物理解析は、各音源の全体的な傾向の違いを把握するために行います。収録した音源を聞きながら、物理解析結果を眺めることで音の特徴を掴みやすくなります。



## STEP 2 主観量評価

SD法(※P5参照)による主観評価実験を行います。各音源について「かたい↔やわらかい」、「高級な↔安っぽい」など10の形容詞対を5段階で評価します。外乱の影響を受けないように実験は半無響室内で行い、直感的な印象を評価するために音源の再生回数は1回としています。

20名の実験参加者から得た結果をそれぞれの形容詞対についてまとめた後、より少ない次元で捉えるために因子分析を行います。

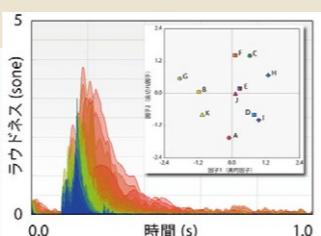
この事例では、「力強い」「かたい」など一般的に迫力因子や金属性因子の評価に用いられる形容詞対の因子負荷量が大きい「歯切れ因子」と、「高級な」「上品な」などの因子負荷量が大きい「高級感因子」を抽出しています。



## STEP 3 主観量と物理量の結びつけ

主観評価実験から得られた各形容詞対や因子分析の結果と相関が高い物理特性を見出します。先に行った物理解析とは違い、時間波形の立ち上がり立ち下がりやD値(Deutlichkeit)に代表されるある基準時間を設けた時のエネルギー前後比など時間波形の素性や時間率のラウドネス(N10ラウドネスなど)など細かい解析を行います。

『歯切れ因子』はラウドネスとの相関が高く、『高級感因子』はシャープネス(音の鋭さ)や時間波形の立ち上がりと相関の高いという結果を得ています。



## STEP 4 評価対象音対策

目標とする音質に近づけるため、相関の高い物理値から構造変更などの対策案を検討します。今回は「やわらかくて高級感の音」を目指して以下の対策を行います。

**目標** 『歯切れ因子』を下げた  
やわらかい音にする      **対策** ラウドネスを下げる

**目標** 『高級感因子』を上げた  
高級な音にする      **対策** 全体的なシャープネスを下げつつも音のピークとなる瞬間のシャープネスをはっきりとさせる



## STEP 5 指標化

通常、主観評価値と相関の高い物理値を複数個用いた重回帰分析により定式化(指標化)を行いますが、求めた物理値を全て使用して重回帰分析を行うと、感覚とは合わない物理値が選択されることもあります。そこで、評価グリッド法(※P5参照)を用いて得た実験協力者の評価と、関連性の高い物理値を選択して定式化を行います。これにより、集中ドアロック施錠音の2つの因子は下記のように定式化することができます。

$$\text{『歯切れ因子』} = 0.3N + 1.0S_{15} - 6.0$$

N: ラウドネス S<sub>15</sub>: シャープネスの上位15%値

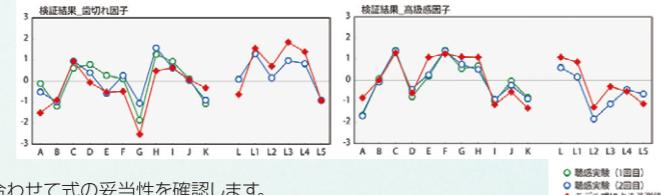
$$\text{『高級感因子』} = -2.5\Delta X(p-p) + 1.1N_{[400Hz]} - 2.4D_{160ms} - 0.7$$

$\Delta X(p-p)$ : 最大ピークから最後のピークまでの時間差

N<sub>[400Hz]</sub>: 400Hz帯域の非定常音ラウドネスの上位5%

D<sub>160ms</sub>: 初期音を160msと定義したD値

最後に式から求めた算出値と主観評価実験結果を照らし合わせて式の妥当性を確認します。



## 主観評価 Subjective Evaluation



音の高級感や重厚感など、音を聴いたときの印象は定性的な量ですが、そのままでは定量的に判断することはできません。主観評価は、定性的な印象・評価を量化し、客観的に判断できるように置き換える計測技術です。

代表的な流れとしては、ヘッドホン受聴による聴感実験により評価を点数付けした後に、多変量解析を用いて意味を解釈しやすい軸に置き換えたグラフに評価点を投影します。このグラフにより評価結果と相関の高い物理指標(音質評価指標など)が分かるようになります。

更に、相関の高い物理指標を用いて定式化を行うことで、これまで熟練者の耳に頼っていた難しい音色の評価を、誰でも精度良く行うことが可能になります。

## 主観評価実験手法

### SD法(Semantic Differential法)

音の評価以外にも色彩や味、絵画など、適用範囲の広い評価手法です。

「明るい↔暗い」「かたい↔やわらかい」など反対の意味を持つ形容詞対を用いて行い、複数の形容詞対をまとめて評価することができるため、短時間で多次元の印象を評価するのに適しています。

### 一対比較法

複数の音(刺激)を2つずつ対にして評価する手法です。

2つの音を聞き比べて評価できるため、微妙な違いを評価することも可能です。評価を5段階などの段階評価としたり、提示する順番によって評価が変わることをさけるため順番を逆にしたりすることもあります。

### 評価グリッド法

人が何を知覚して、その結果どのような評価をしているのかという認知構造を明らかにする手法です。

複数の音(刺激)をどのように判断の元に順位付けしたかを引き出すことで、関係性のある物理特性を抽出することが可能な場合があります。

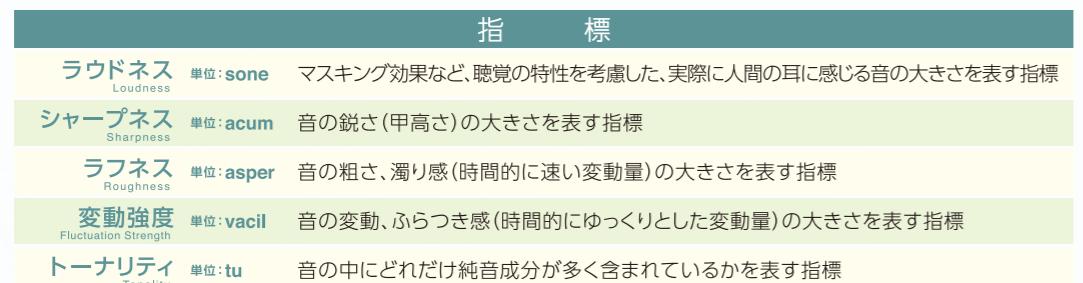


# 音質評価 Sound Quality



FFT解析やオクターブ解析など一般的に用いられている音響解析では、人間の聴感的な印象(聴いた感じ)を定量化できないことがあります。音質の差異を聴き比べることができる2つの音をFFT解析しても結果に違いが見られないことがあります。

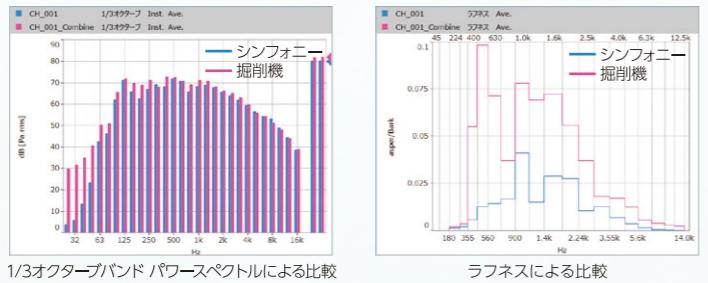
一方、音質評価解析は聴感特性を計算に折り込んだ「人間の聴いた感覚」を定量的に評価できる指標で、「音の大きさ」、「音の甲高さ」、あるいは「音の濁り感」など、比較的どのような音に対しても共通な感覚として認識する感覚量を定量化できます。ただし、「高級感」や「重厚感」など、対象とする音によって評価が変わるような複雑な感覚は評価することができないため、主観評価実験を行って定量化していきます。



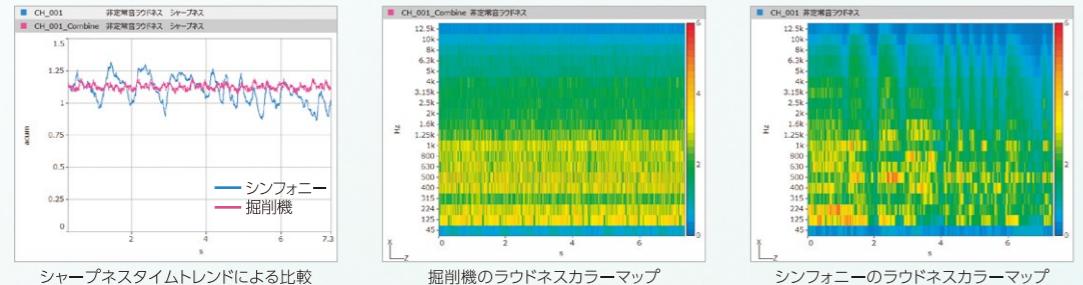
## 解析事例 掘削機とシンフォニーの比較 O-Solution OS-0525 音質評価機能による解析結果例

掘削機が作業時に放射している音とシンフォニー(ベートーベン、交響曲第5番第4楽章より)を比較します。一般的に音の評価に用いられている1/3オクターブ分析である時間帯のパワースペクトル平均値を求める、全く異なる音であるにもかかわらず、ほぼ同様のスペクトルになります。

音の粗さを表すラフネスで比較すると2つの音には明確な違いがあり、掘削機の音はより粗い音であることが分かります。



また、楽音に代表されるような時間変化を伴う音はタイムトレンドやカラーマップで比較することも有效です。音の甲高さを表すシャープネスのタイムトレンドをみても、掘削機の音はレベルが一定なのにに対してシンフォニーは変化に富んだ音であることが分かります。さらにラウドネスのカラーマップでも掘削機がほぼ同じ周波数特性で持続しているのに対して、シンフォニーは周波数特性も変化していることが分かります。



# 変動音解析 Fluctuation Sound Analysis

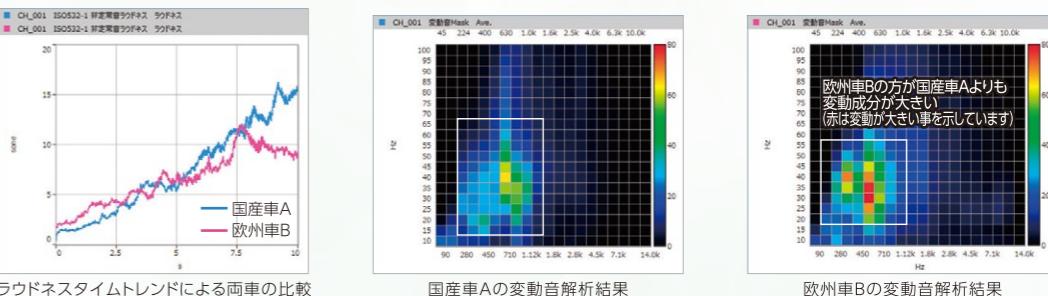


時間的に短い周期で繰り返し発生する音やレベルが変動する音(カチカチ、ギーなど)は、音の大きさが小さくても耳障りに感じて主観評価に影響をおよぼすことがあります。

変動音解析は人間の聴感特性を考慮したラウドネスをベースにした様々な時間変動成分の大きさを定量化できる指標です。音の粗さを表すラフネスや変動感を表す変動強度とは異なり、音の高さ(周波数)と変動周期(変動周波数)に分解した細かい変動成分を確認できるため、主観的な印象と変動周波数の関係を調べたい場合などに有効な解析手法です。

## 解析事例 エンジン音の力強さの評価 O-Solution OS-0526 変動音解析機能による解析結果例

国産車Aと欧州車Bについて加速時のエンジン音を比較した結果です。国産車Aは回転数の上昇と共に直線的にうるさくなり、欧州車Bは低回転時においては国産車よりも音は大きいが高回転数では安定している力強いと評価を受けています。音の大きさはラウドネス解析によって示すことができますが「力強さ」を説明することができませんでした。そこで、変動音解析をすると、欧州車Bの方が時間変動成分が大きいことが分かります。これにより、ある範囲での変動感の大きな音が「力強さ」に繋がっていると推測できます。



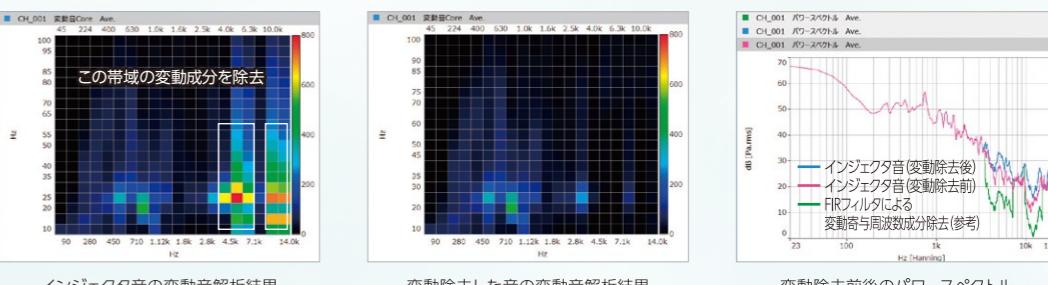
## 変動音シミュレーター Fluctuation Sound Simulator

変動音解析により明確になった変動する音について、時間変動成分の特徴量を除去したり、強調したときの音を作成して試聴することができます。

一般的な周波数フィルタを用いて特定の周波数成分を除去すると、変動だけではなくレベルそのものを下げる処理になりますが、変動音シミュレーターでは、特定の変動成分のみの振幅変調をフラットにする処理を行いますので、処理後のレベルは大きく変わりません。そのため、変動成分の変化に対する音質の変化を評価するのに有効な処理手法です。

## 解析事例 インジェクタ音(ピチピチ)の変動成分除去 O-Solution OS-0526 変動音解析機能による解析結果例

インジェクタの作動音を変動音解析した結果を示します。この結果から5kHzと10kHzそれぞれの帯域で25Hzの変動成分が大きいことが分かります。これらの変動成分を除去した音を作成し変動音解析した結果と、変動除去前後のパワースペクトルを比較します。変動成分が除去されていますが、周波数特性は大きく変化していないことが分かります。この違いを試聴して確認することもできます。



# 音響振動解析システム O-Solution



大容量の時系列データの比較・多種多様な解析が可能なソフトウェアです。FFT解析、FFTトラッキング解析、オクターブ解析などの周波数分析に加え、人の聴感を考慮した音質評価・変動音解析も可能です。気になる帯域を強調するフィルタ機能や変動音シミュレーターなどにより収録音の特徴やわずかな違いを聴いて確かめることができます。

## DS-5000

DS-5000ハードウェアとともに使用することで、計測から解析までをスムーズに行うことができ、計測作業の効率アップに貢献します。



## 音響・振動関連の受託測定・コンサルティング

音響・振動に関する改善、課題への取り組みに対し、受託測定やコンサルティングをお受けします。課題設定、現象把握、効果確認まで、お客様の状況に応じて、解決プロセスのどの時点からでもご支援可能です。



音響実験室のレンタル



受託測定



聴感実験

## 音響・振動基礎セミナー のご案内

弊社では、音響・振動関連製品を使いこなしていくことを目的として、音響・振動基礎セミナーを開催しております。  
5つのレベルからお客様の目的やレベルにあったセミナーを選択いただけます。



- 上級 FFTアナライザを用いて基本的な周波数解析ができる方
- 中級 音響・振動測定をしたことがある方
- 初級 周波数解析をしたことがある方
- 初心者 センサ、解析装置を所有し、これから測定を行う方
- 入門 周波数解析を始められる方
- 超初心者 基本的な専門用語や一般的な基礎知識を学びたい方
- 音響・振動測定に触れたことのない方
- 初めて音響・振動測定を始める方

### 対面

- 実機に触れ、理解を深めていただくことを目的としています。
- 座学と実習もしくは、実演の組み合わせになっています。



### Web

- 半日で集中して習得していただける座学メインの講習会です。
- 事前に収録したセミナー（疑似ライブ）を配信いたします。
- どこからでもお気軽にご参加いただけます。



詳細は、弊社ホームページ、お客様相談室、最寄の営業所までお問い合わせください。

※Microsoft® Windows®は米国Microsoft Corporationの米国およびその他の国における登録商標です。その他記載されている会社名、製品名は各社の商標または登録商標です。

### お客様へのお願い 当社製品(役務を含む)を輸出または国外へ持出す際の注意について

当社製品(役務を含む)を輸出または国外へ持出す場合は、外為法(外国為替及び外国貿易法)の規定により、リスト規制該当品であれば、経済産業大臣へ輸出許可申請の手続きを行ってください。また非該当品であれば、通関上何らかの書類が必要となります。尚、非該当品であってもキャッチオール規制に該当する場合は、経済産業大臣へ輸出許可申請が必要となります。お問い合わせは、当社の最寄りの営業所または当社輸出管理担当窓口(電話045-476-9707)までご連絡ください。

●記載事項は変更になる場合がありますので、ご注文の際はご確認ください。

注意 ●機器を正しく安全にお使いいただくために、ご使用前に必ず「取扱説明書」をよくお読みください。

### ●代理店・販売店

## 株式会社 小野測器

〒222-8507 神奈川県横浜市港北区新横浜3-9-3 TEL.(045)935-3888

### お客様相談室 フリーダイヤル 0120-388841

受付時間：9:00～12:00／13:00～18:00(土・日・祝日を除く)

北 関 東 (028)684-2400 浜 松 (053)462-5611 九 州 (092)432-2335  
埼 玉 (048)474-8311 中 部 (0565)41-3551 海 外 (045)476-9725  
首 都 圏 (045)935-3838 関 西 (06)6386-3141  
沼 津 (055)988-3738 広 島 (082)246-1777

ホームページアドレス | <https://www.onosokki.co.jp/>  
E-mailアドレス | [webinfo@onosokki.co.jp](mailto:webinfo@onosokki.co.jp)