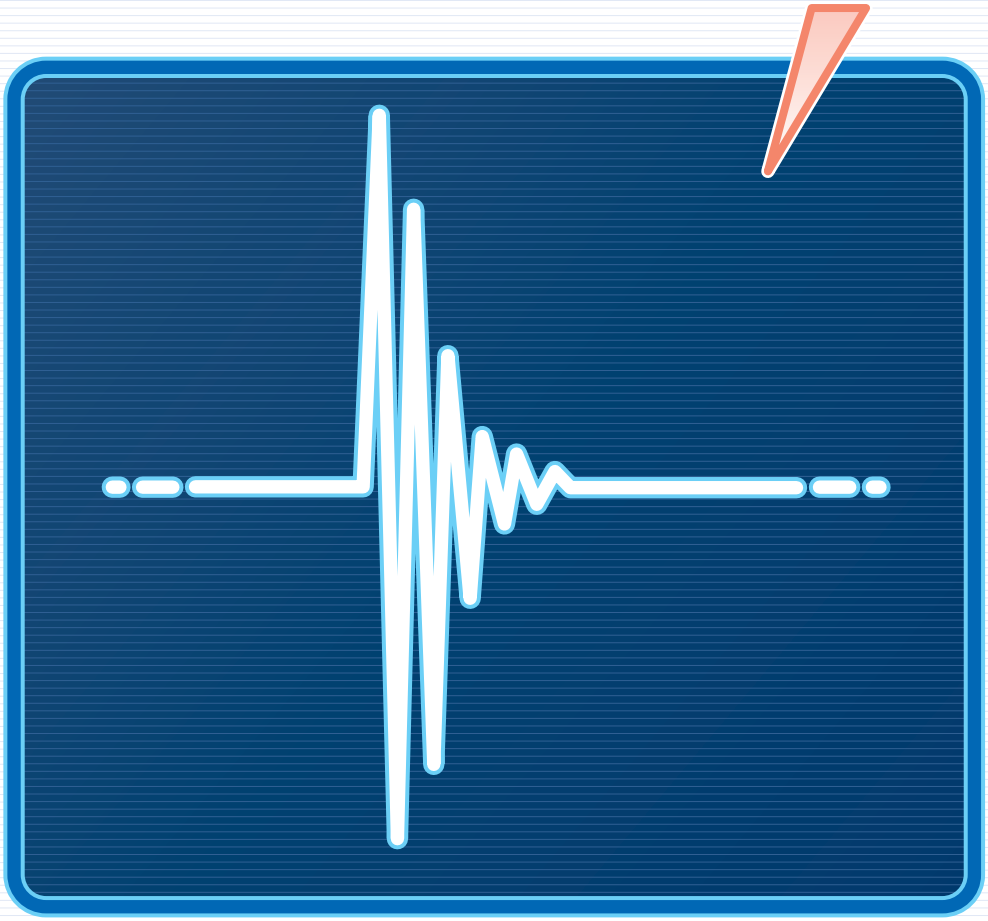
販売終了機種
（参考用）

ONOSOKKI

音響・振動
コンサルティング
事例集



株式会社 小野測器
http://www.onosokki.co.jp/

Contents

振動特性測定

[車両] ホワイトボディの実験モード解析 2
[車両] エンジン始動時の実稼働解析 3
[車両部品] ブレーキパッドの実験モード解析 4
[機械] スピーカ筐体の実稼働解析 4
[機械] トルク試験機の振動トラッキング解析 5
[材料] 中央加振法による制振材料の損失係数測定 6
[材料] 換算周波数ノモグラムによる制振材料の評価 7
[材料] 打撃加振による円柱の振動減衰特性測定 7
[建築物] 定盤の振動測定 8
[建築物] 橋の実稼働解析 8

振動対策（CAE 解析）

[機械] 実験と CAE によるクランク角度センサ回転止めジグの強度解析 9

振動低減

[車両部品] 統計的エネルギー解析手法（SEA）を用いたインバータ装置の振動低減 10

音響特性測定

[車両] RC-S ベンチを利用した EV の車室内騒音評価 11
[車両部品] ４端子法による自動車用マフラーの音響透過損失測定 12
[機械] 半無響室における事務機器の音響パワーレベル測定 13
[機械] 音響インテンシティ法による空調機器の音響パワーレベル測定 14
[機械] 無響室環境・高感度マイクロホンを用いたハードディスクの微小音測定 14
[機械] 超音波素子の指向特性測定 15
[機械] 音質評価パラメータによる機械騒音の評価 15
[材料] 残響室法による遮音材の音響透過損失測定 16
[材料] 伝達関数法による吸音材の垂直入射吸音率測定 17
[材料] 音響インテンシティ法による部材の空気音遮断性能測定 18
[材料] 残響室における吸音材の吸音率測定 18
[建築物] 集合住宅の遮音性能測定 19
[環境] 敷地境界上の騒音レベル測定 19

騒音可視化

[車両] ハッチバックドアの音源探査 20
[車両] ビームフォーミング法による自動車通過騒音の可視化 21
[車両] マイクロホンアレイを利用した車両床下の音圧マップ 21
[車両] 音響インテンシティを用いた車室内音場の可視化 22
[車両部品] 近接場音響ホログラフィ法によるタイヤ騒音の部位特定 22
[機械] プリンタの初期動作における音源探査 23

騒音低減

[車両部品] 変動音解析による車両ビビリ音評価 24
[機械] 冷蔵庫コンプレッサ音の騒音解析 25
[機械] 統計的エネルギー解析手法（SEA）を用いた食器洗浄機の騒音低減 26

音質改善

[車両部品] 集中ドアロック施錠音の主観評価 27
[車両部品] 主観評価に基づいた集中ドアロック施錠音の改良 28
[機械] プランジャーポンプの音質改善 29

環境騒音予測

[環境] SoundPLAN® を用いた工場騒音の予測 30
[環境] SoundPLAN® を用いた道路交通騒音の予測 31
[環境] 建設機械の騒音伝搬における実測と予測の比較 31

測定環境構築

[測定環境] ライン検査用無響箱の製作 32
[測定環境] 音響試験室（製品検査用無響室）の施工 33
[測定環境] 半無響室・残響室のレンタル 34

ホワイトボディの実験モード解析

測定項目：FFT 解析，モード解析

概要

実験モード解析は構造の固有周波数，形状，減衰を得るだけでなく，CAE の精度向上の為に検証用のデータとしても多く利用されます。その為の実験は下記の点に留意した信頼性のあるものが要求されます。

・再現性（繰り返し性）の確保
・測定条件（供試体の支持方法，加振点，応答点 等）の決定
・使用する機器の把握（様々な測定環境による影響の確認）

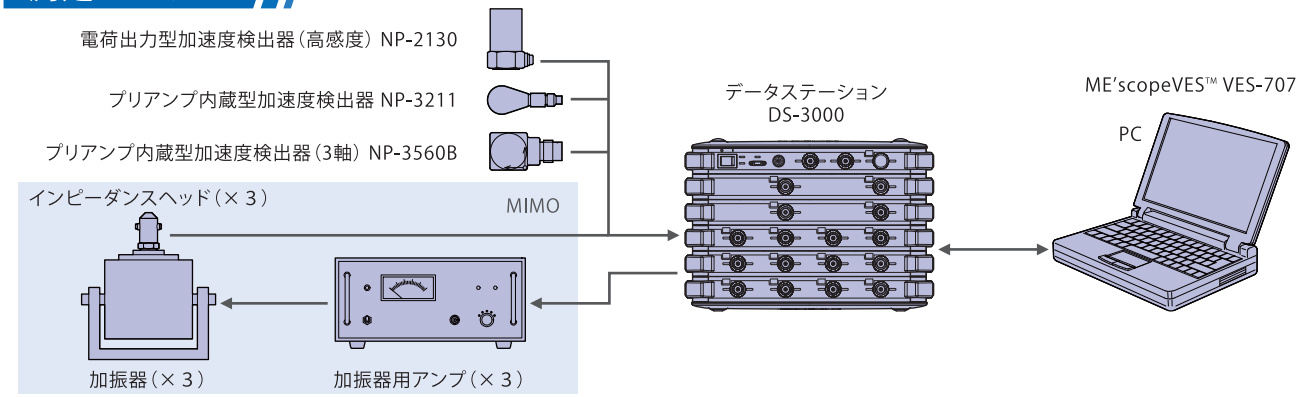
本例では，ホワイトボディの実験モード解析を紹介します。

実験は多点参照多自由度法（MIMO）で行い，得られたモーダルパラメータを CAE モデルのアップデートに利用します。また，同時に多点加振を行うことで測定時間を短縮することが可能です。



＜ ホワイトボディの多点加振実験 ＞

測定システム



解析結果

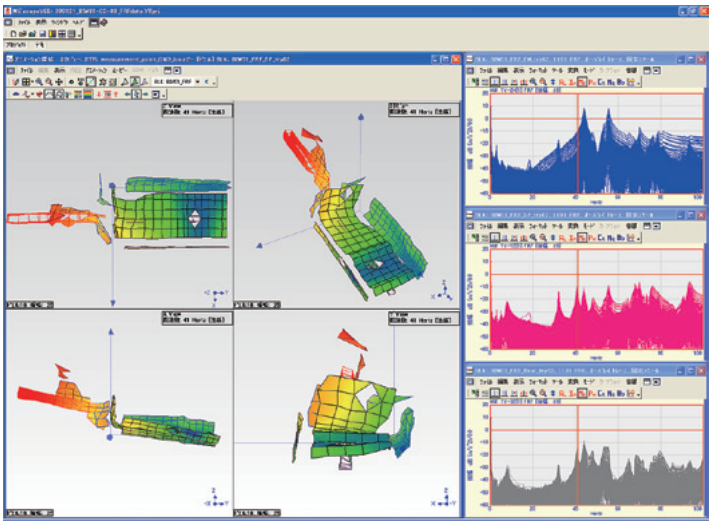
実験モード解析
・測定した形状の定義
・測定データの自由度設定
⇒測定データによるアニメーション

⇩

モーダルパラメータの抽出
（カーブフィットによりシェープデータを作成）

⇧

数値解析への適用
・数値解析とのコリレーション
・CAE モデルアップデート
・構造変更や外力合成のシミュレーション 等

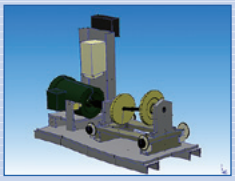


＜ 車体フロント部から運転席のフロアまでのある固有値でのアニメーション例 ＞

モード解析は一般的に周波数が高くなるほどモード形状が複雑になるため，要求される周波数によって測定点数は多くなります。また，大型の供試体であったり，実際の稼動時に想定される力の入力点が複数の場合，加振点を複数設けることがあります。この実験では高次モードまでの解析，複数の加振点設置など多様な計測条件を充たすために，多点同時加振を行い測定時間を短縮させました。またそれぞれの実験条件を統一させることに注意を払い，精度の良いデータを得ることができました。ここで得られた結果は今後車両の設計変更，振動・音響特性などシミュレーションをより精度良く行なうための検証データとして利用されていきます。

応用例

・産業用多関節ロボット
・大型旋盤
・大型コンプレッサ



エンジン始動時の実稼働解析

測定項目：FFT 解析，実稼働解析

概要

実稼働解析は機械や構造物が実際に稼動している状態での振動状態を把握するのが目的です。

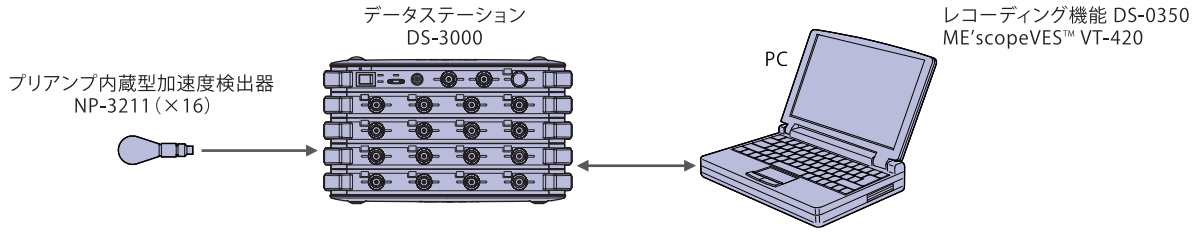
実際の振幅量を使用して解析を行うので，振動の大きな部位の特定や振動形状の把握，振動低減対策の検討に大変有効です。定常状態での解析とともに，過渡的な振動の時間領域での解析を行うことも可能です。

本例では，時間領域での解析事例として，エンジン始動時のエンジンルーム内各部位（車体，エンジン，ラジエータ，バッテリ）合計 16 点の振動を同時に計測した事例を紹介します。

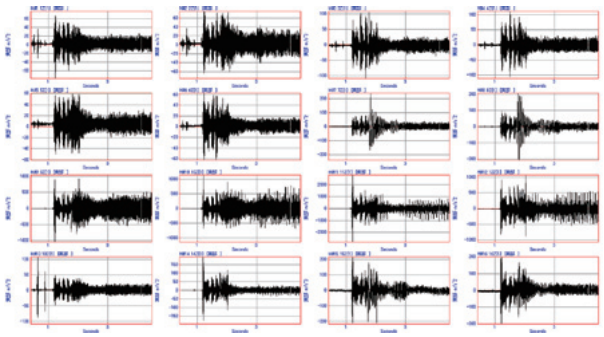


＜ エンジンルーム ＞

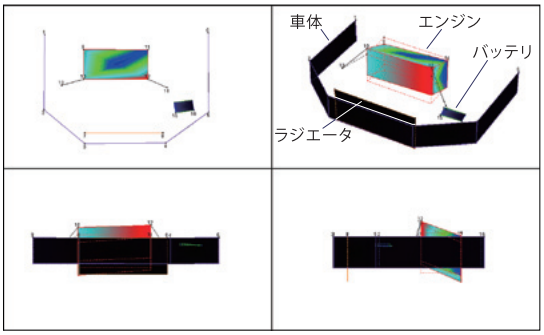
測定システム



解析結果

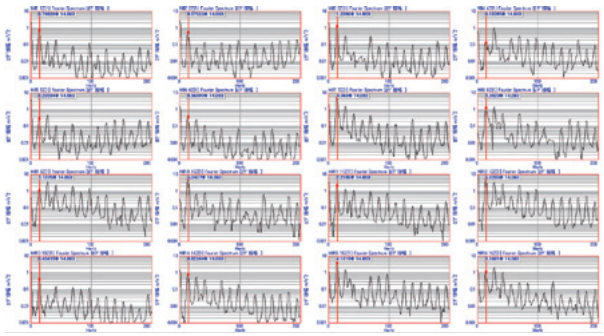


＜ 16 点の時系列データ ＞

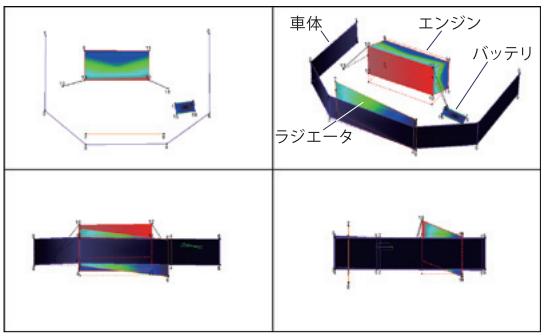


＜ 時系列によるアニメーション ＞

時間波形で振動状態を可視化した結果です。エンジンの振動は大きいですが，その他の部分への振動は，マウントを介して低減されているのがよくわかります。このように，実稼動解析を行い可視化することによって，振動状態を明確に捉えることが可能になります。



＜ 16 点のフーリエスペクトル ＞



＜ 約 14 Hz における振動状態 ＞

エンジン始動から 2 秒間の時間波形をフーリエ変換した周波数軸データを用いて，最も低いピーク周波数の振動を可視化した結果です。特定の周波数に着目すると，ラジエータに伝わる周波数が存在し振動している様子がわかります。

応用例

- 圧縮ポンプ起動時の支持系，筐体の過渡振動
- 波状路走行時，縁石乗り上げ時の自動車ボディの変形
- 工作機械の製品加工時の振動



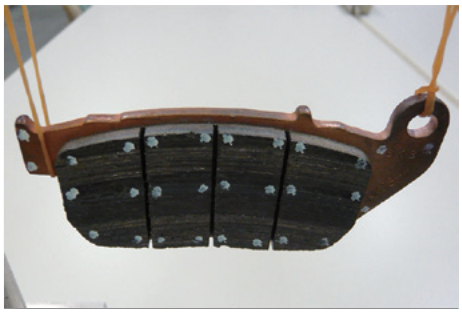
ブレーキパッドの実験モード解析

測定項目：FFT 解析，モード解析

概要

ディスクブレーキ鳴きの中でもスキール音は 1 kHz ～ 10 kHz 以上の帯域に存在します。この音は，ロータとパッドの摩擦を振動源として，騒音を発生しています。スキール音は，ロータ及びパッドの高次の固有周波数によると考えられます。

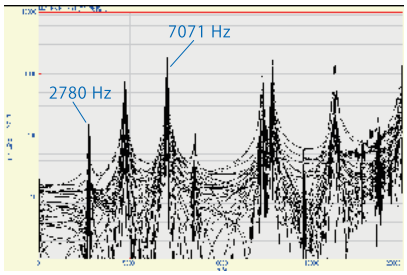
本例では，ブレーキパッドに着目して固有周波数と固有モードについて計測した事例を紹介します。なお，減衰を目的として取り付けられているシム板は取り外しています。



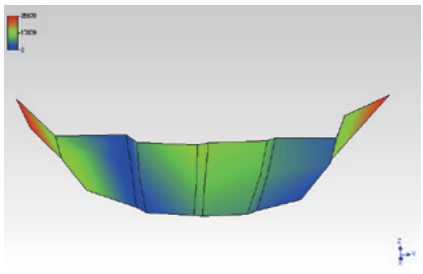
＜ 固定条件（自由支持）＞

測定結果

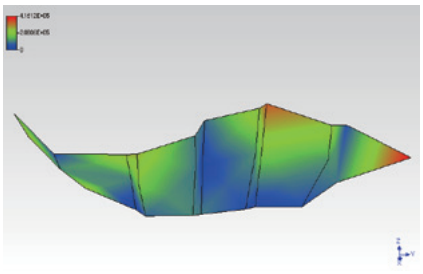
支持方法はゴムを使用した自由端支持とし，20 kHz までの周波数帯域で測定しています。モード解析結果より，スキール音の帯域内で特徴的な 2780 Hz と 7071 Hz の曲げモード形状を示します。それぞれ 1 次の曲げモード，2 次の曲げモードです。ロータ，キャリパなどの固有周波数とこれらを組み合わせた条件で固有周波数を検討することにより，ブレーキ鳴きを低減する手がかりが得られます。



＜ 伝達関数 ＞



＜ 固有モード（2780 Hz　1次曲げ）＞



＜ 固有モード（7071 Hz　2次曲げ）＞

スピーカ筐体の実稼働解析

測定項目：FFT 解析，実稼働解析

概要

測定対象の振動現象を把握するための手法として，実稼動解析があります。実稼動解析は多点同時計測を基本とした時間領域の解析法と，基準センサと計測センサを用いた周波数領域の解析法の 2 種類があります。

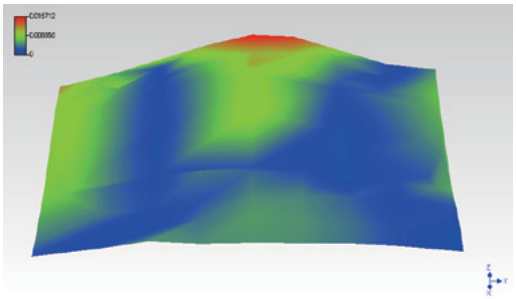
モード解析と似ていますが，測定対象を通常の運転状態や，定常信号で稼動する必要があります。

本例では，周波数領域の解析として，スピーカが起振源となり，筐体が加振されている状態を実稼働解析によって可視化した事例を紹介します。スピーカは筐体に取り付けられていますが，この振動絶縁の構造が不適切であると，特定周波数（一般的には構造体の共振周波数に一致する場合が多い）になると，筐体が強制振動の状態となり，音色に影響を与えます。

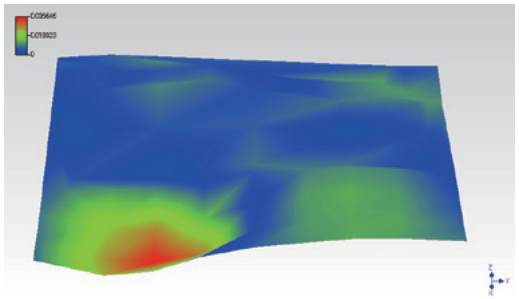
測定結果

各測定点の振動の振幅値と基準位置との位相情報から振動状態を表現します。低次の振動形状は，パネル全体の曲げやねじれを示しますが，それ以上では，部品が取り付けられていない軽い部位などが局所的に変形することを示します。

特定の周波数が音色に影響を与える場合には，振動形状を参考にした構造変更の検討を行います。



＜ 筐体のパネル振動形状（1 次曲げ）＞



＜ 筐体のパネル振動形状（局所的な変形）＞

トルク試験機の振動トラッキング解析

測定項目：トラッキング解析，FFT 解析，モード解析

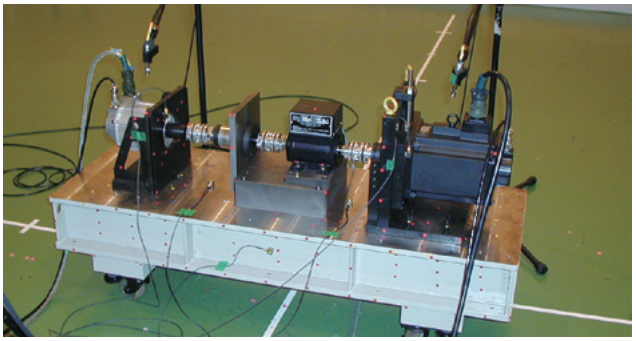
概要

エンジンやコンプレッサ等の回転機にとっては，その回転機を構成する各コンポーネント（回転軸，ギヤ，ブラケット等の部品）の持つ固有振動数と回転周波数との共振が最も重要な問題になります。このようなことを調べる方法として，次のようなステップが良く利用されます。

① 回転速度の上昇または下降変化によって注目する次数成分の振動，騒音がどのように変化するかを分析する「回転 - トラッキング解析」により，実稼動状態での現象把握を行います。

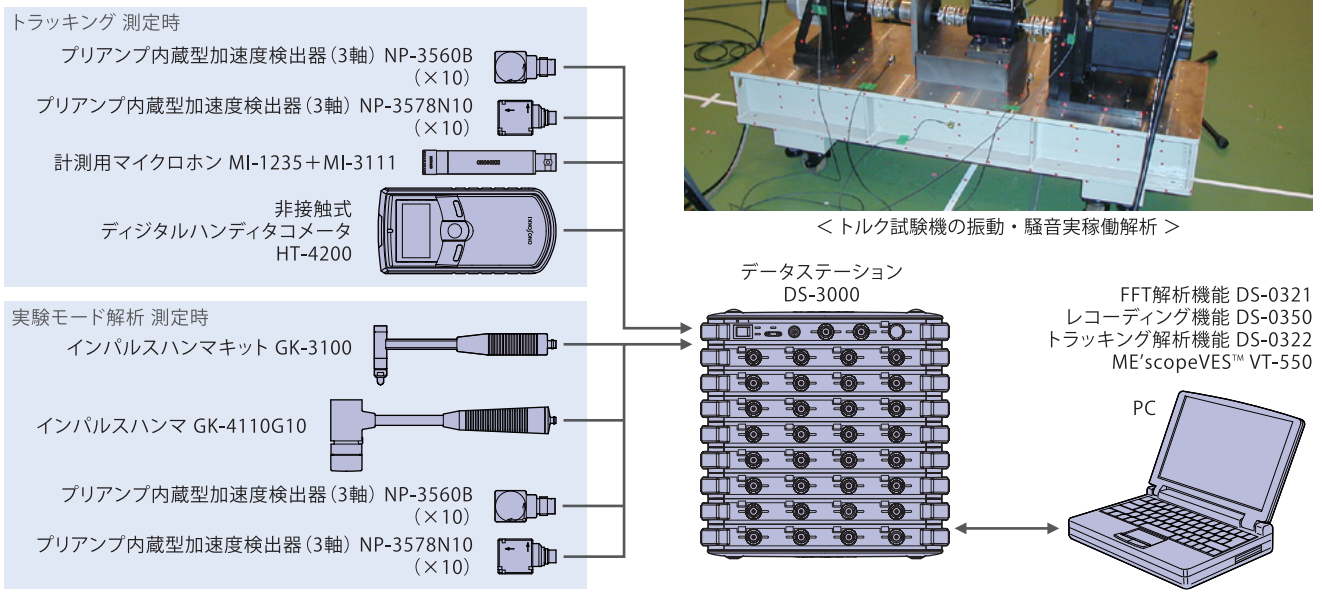
② 次に実験モード解析により，問題となる振動，騒音が構造の固有値と回転による強制振動のどちらに起因するか判断します。

本例では，トルク試験機の騒音問題をトラッキングによる実稼動解析と実験モード解析を行うことで問題を特定した事例を紹介します。

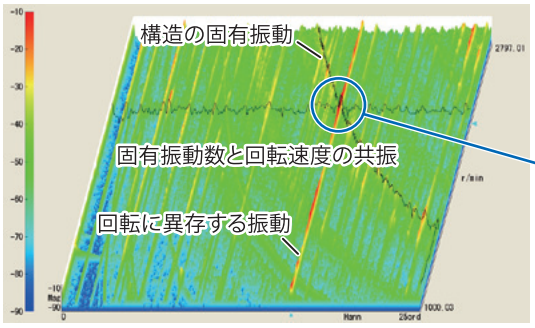


＜トルク試験機の振動・騒音実稼働解析＞

測定システム

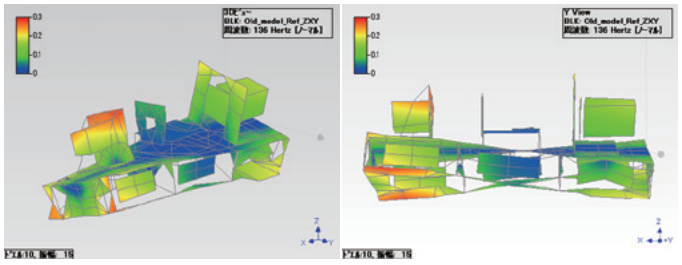


解析結果



＜トラッキング解析結果の三次元表示＞

共振時の振動形状をアニメーション表示
架台のねじれ振動が発生し，モータが大きく振れている

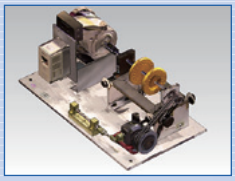


＜モード解析結果（固有振動時の形状）＞

トラッキングを行うことにより，破損や騒音の問題が回転に依存する振動（強制振動）と構造の固有振動に依存するものとを把握することができるようになります。さらに構造体に多数の測定点を設けることにより，トラッキング時の実稼動振動形状とモード解析による固有のモード形状を合わせて確認することが可能となり，問題の周波数だけでなく振動が大きい場所を特定することも容易にできるようになります。それぞれの振動形状は ME' scopeVES™ で解析してアニメーション化することができ，またデータを一括して管理することができます。

応用例

- 自動車エンジンの振動・騒音解析
- 大型発電機のモード円（方向ベクトル表示）解析
- ギアのねじり振動解析



中央加振法による制振材料の損失係数測定

関連規格：JIS G0602，JIS K6394，JIS K7391，ISO 2856，ASTM E756，DIN 53440

概要

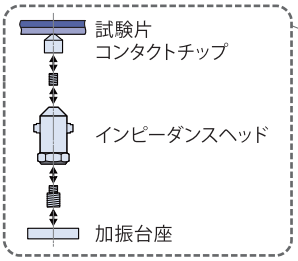
制振とは，固体表面の振動エネルギーを熱エネルギーに変換し，固体表面の振動を小さくする技術です。

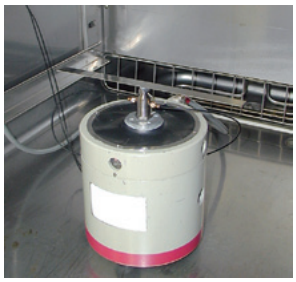
こうした制振材料の制振特性を評価する指標の１つに損失係数があります。測定方法にも数種類ありますが，中央加振法は短冊状の試験片の中央部を加振して得られた周波数応答関数のピークの幅（半値幅）より算出する手法です。

自動車や家電製品などでは，不要振動を低減するために幅広く使用されており，対象とする周波数，温度など目的にあった制振材料を選択する事で効果的な振動対策が行えます。また，固体表面の振動を小さくした結果，固体表面から放射される固体音を低減させることもできます。

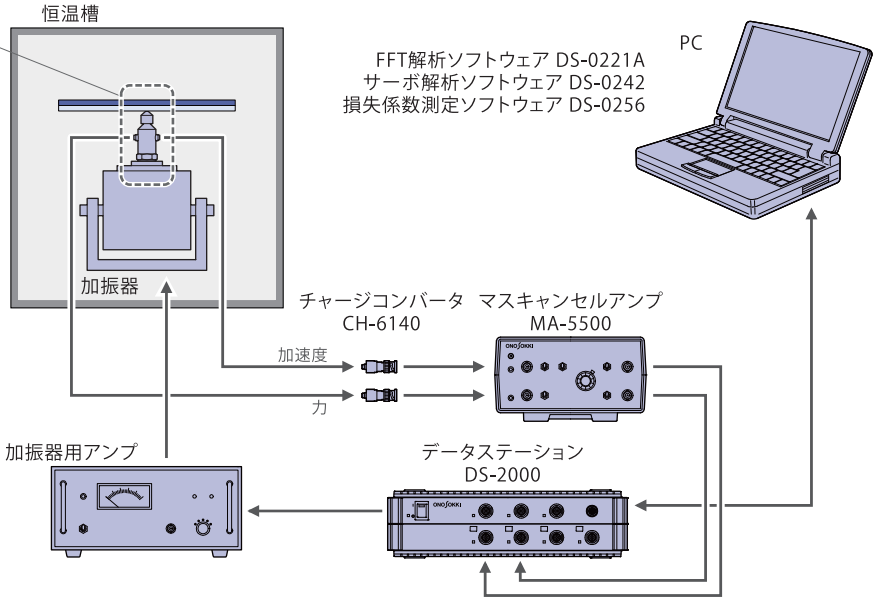
材料単体では試験片の形状が保てない場合や，損失が大きすぎる場合には，基材（鉄などの損失が小さい材料）に貼り付けて測定します。RKU（Ross，Kerwin，Unger）方程式により，材料単品の損失係数，ヤング率の計算が可能です。

測定システム

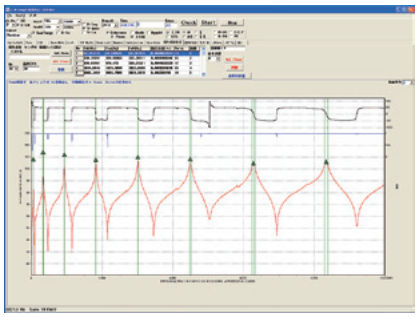




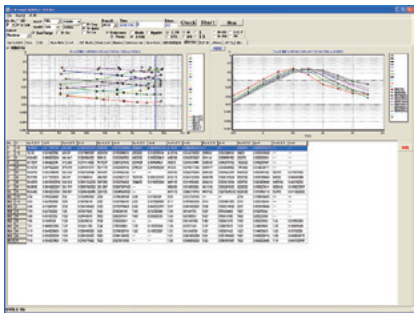
＜ 恒温槽内に設置した加振器 ＞



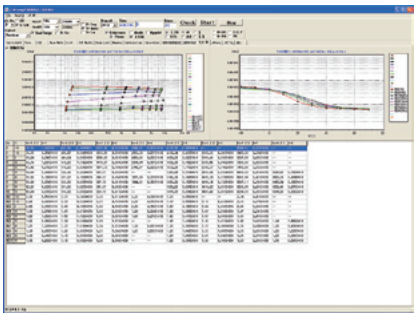
測定結果



＜ 周波数応答関数 ＞



＜ 損失係数 ＞



＜ ヤング率 ＞

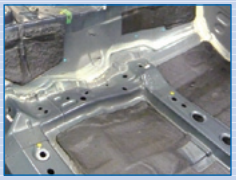
中央加振法の場合，共振周波数よりも反共振周波数で計測したほうが周波数応答関数（インピーダンス（力 / 速度））の計測精度（コヒーレンス）が上がるケースが多くあります。反共振周波数は，試験片の中央（コンタクトチップ取付部）がほとんど振動せず，加振力を効率良く伝達できる状態です。

また，制振材料は温度によって性能が変化するものが多く，恒温槽を用いて複数の温度条件で測定する事で，材料の温度依存性を把握できます。

このようにして得られた損失係数，ヤング率は，制振特性を評価する指標であることに加え，振動・音響のシミュレーションでの重要なパラメータとしても扱われています。

応用例

- 制振鋼板
- 制振性のある木材や樹脂材料
- その他各種制振材料



換算周波数ノモグラムによる制振材料の評価

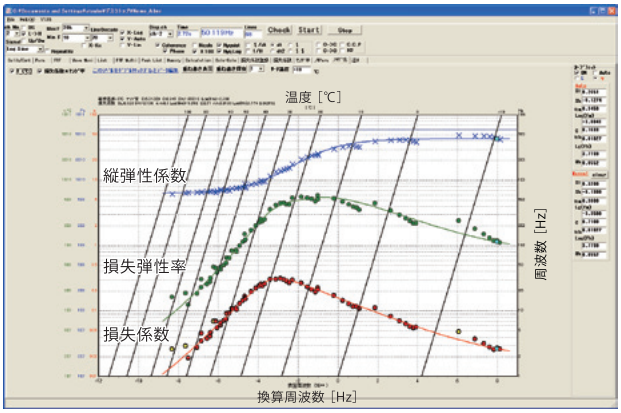
関連規格：JIS K7391，ISO 10112，DIN 53440

概要

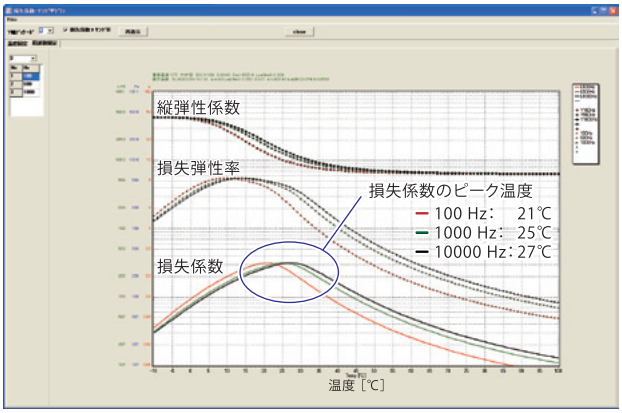
制振材料に用いられる粘弾性材料は，温度や周波数によって制振性能が変化します。
複数の温度条件での測定結果を元に，温度周波数換算則を用いた換算周波数ノモグラムを作成する事により，任意の温度，周波数での損失係数，縦弾性係数，損失弾性率を推定できます。ある特定の周波数での制振性能が温度によってどのように変化するかなどを知りたい場合に有効です。
本例では，換算周波数ノモグラムから求めた特定の周波数での温度変化を求めた事例を紹介します。

測定結果

この材料では，100 Hz では 21 ℃に損失係数のピークを持ち，1000 Hz では 25 ℃になるといったように周波数によって損失係数が最大になる温度が異なる事が確認できます。



＜ 換算周波数ノモグラム ＞



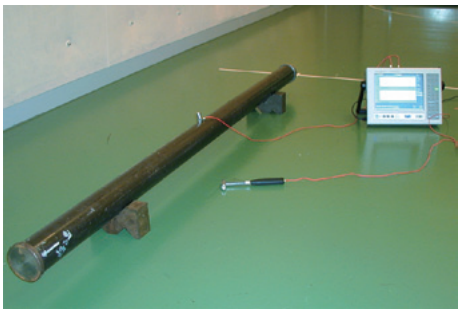
＜ 周波数固定での温度変化 ＞

打撃加振による円柱の振動減衰特性測定

関連規格：JIS G0602

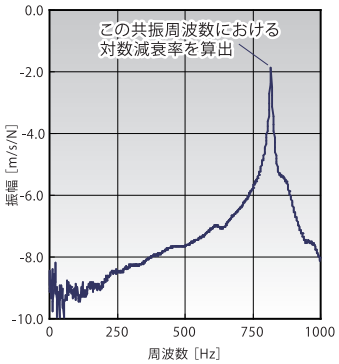
概要

木材や鋼管といった長くて重たい材料の振動減衰特性の測定は，一般的に小型の試験片を用いて行われている中央加振法や片持ちはり法での測定は困難です。こうしたサンプルの場合には，インパルスハンマ等の加振により励起された振動の減衰波形から振動減衰特性を求めます。減衰が小さい場合にもよく利用される手法で，減衰波形の傾きから振幅依存性の確認もできます。
本例では，特定の振動状態を励起させるため 2 点で支持した鋼管をインパルス加振して得られた減衰波形をヒルベルト変換し，対数減衰率を算出した事例を紹介します。

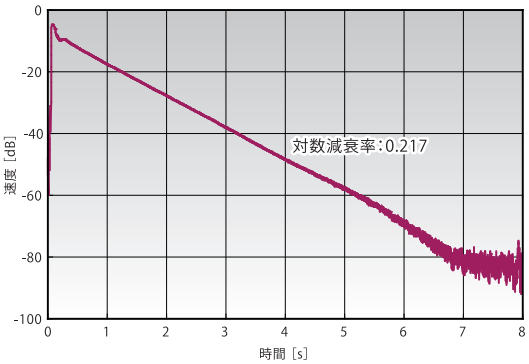

＜ 測定状況 ＞

測定結果

今回与えた加振力の範囲内において，減衰の傾きが直線であることから振幅依存性がないことがわかります。
対数減衰率の大きい材料，制振性能の高い材料を用いると，材料の表面から放射される固体音を低減することが期待できます。



＜ 周波数応答関数 ＞



＜ 減衰曲線 ＞

定盤の振動測定

測定項目：FFT 解析，モード解析

概要

定盤は精密試験機器，振動機器，エンジン台上試験機用として広く用いられています。

回転機械を有する定盤では，定盤自体の固有周波数と回転機械の回転周波数が一致した場合，定盤は大きく振動し，定盤に設置された回転機器の故障を招いたり，機器の精度に影響を与えます。

本例では，エンジン台上試験用定盤を対象とした，実験モード解析の事例を紹介します。

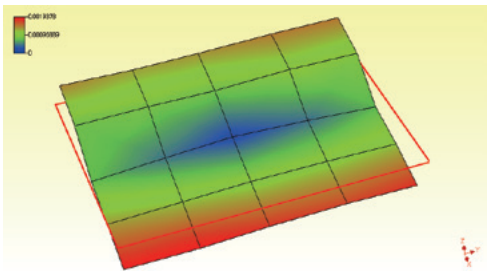


＜ 小野測器 テクニカルセンター ATLab試験室 ＞

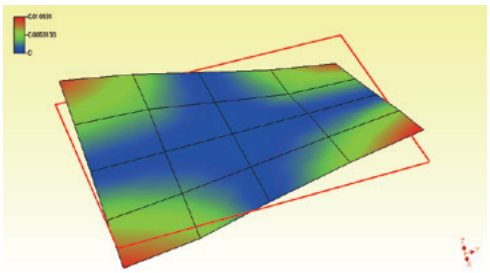
測定結果

定盤の形状が変化せずに振動する剛体モードや，特定の周波数で定盤がねじれの形に振動することがわかります。

一般的に回転機器の振動管理や異常診断は，振動の大・小を振動計のオーバーオール値で判断しますが，実験モード解析を行なう事で，どの周波数に大きな振動が含まれるのか把握できます。また，振動形状を把握することで，定盤へ設置する装置の配置検討に有効な情報を得ることができます。



＜ 減衰構造の固有周波数（剛体モード）＞



＜ 定盤のねじれ振動形状 ＞

橋の実稼働解析

測定項目：実稼働解析

概要

機械や構造物が実際に稼動している状態での振動を実稼動解析で把握することができます。大型の構造物では，低周波数における振動が問題になります。稼動状態や風を受けた場合に発生する振動の大きさと周波数，振動形状を基に振動低減対策を検討したり，建物等構造物の耐震対策の効果を確認するための解析としても大変有効です。

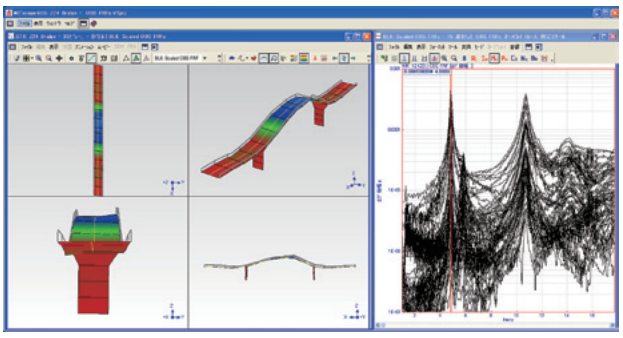
本例では，橋の実稼動を解析した事例を紹介します。



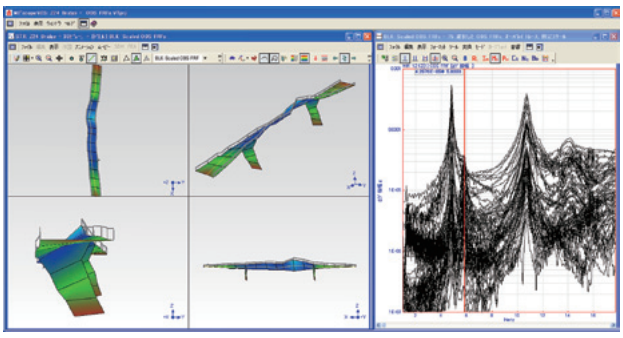
＜ 高架道路 ＞

測定結果

4.8 Hz では橋脚間の橋桁が曲がっており，5.8 Hz では橋全体が横断方向に揺れています。このようにわずか 1 Hz の間にまったく異なる振動形状が存在することが，周波数分析データを使用することによってわかります。



＜ 4.8 Hzにおける振動形状 ＞



＜ 5.8 Hzにおける振動形状 ＞

実験と CAE によるクランク角度センサ回転止めジグの強度解析

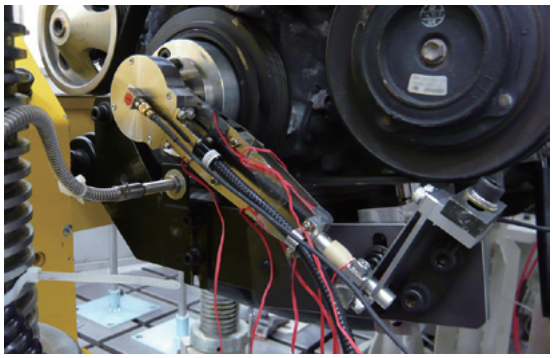
測定項目：モード解析，実稼働解析

概要

大きな振動が発生する場所に使用される部品は，強度や耐久性を十分に確保することが必要です。

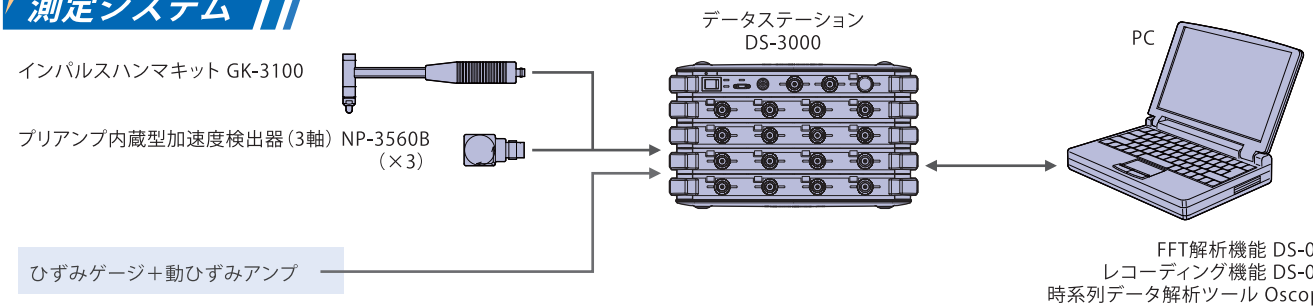
CAE を用いて精度が高い強度評価を行うためには，モデルの精度が重要です。振動解析はシミュレーションだけで行うこともできますが，実験結果を反映させ，より実物に近いモデルを作成することにより，解析結果の精度が向上します。その結果として，後工程における設計変更にかかる工数の低減を図ることができます。

本例では，大きな振動を受ける場所で使用される弊社製クランク角度センサの回転止めジグについて，実験データを援用して，実稼動時相当の応力発生状態をシミュレーションした事例を紹介します。



＜ 試験用エンジンに取付けたクランク角度センサ＞

測定システム



FFT解析機能 DS-0321
レコーディング機能 DS-0350
時系列データ解析ツール Oscope 2
実験モード解析ソフトウェア ME'scopeVES™
FEM振動解析ソフトウェア，プリ / ポストソフトウェア

解析の流れ

実験計測

- 単品部品 / アッセンブリ状態の実験計測
  - ・モード解析
- 実稼動状態の実験計測
  - ・実稼動振動解析
- 応力の実験計測
  - ・解析結果の傾向を確認

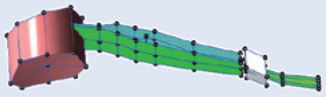
CAE（FEM 解析）

FEM モデル単品 / アッセンブリ状態のチューニング
- ・メッシュサイズ
- ・物性値
- ・結合条件（最適な結合要素，剛性検討）
- ・固有値の対応を確認

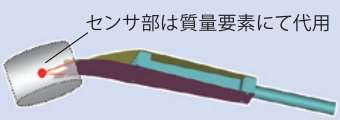
⇒

高精度 FEM モデルによる応力解析
- ・実際の動的荷重を入力
- ・実際の変位量を入力した強制変位解析
- ・応力解析結果の評価

解析結果

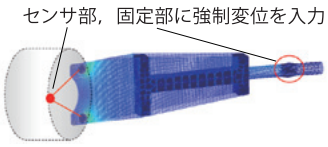


＜ モード解析結果 ＞
（1次モード，152.5 Hz）



＜ FEM解析結果 ＞
（1次モード，162.8 Hz）

＜ 実験モード解析と FEM 解析による固有値の比較 ＞



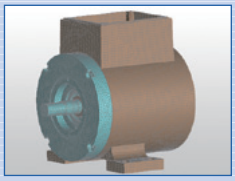
＜ FEM解析による実稼働時相当の応力分布 ＞
（回転1次，83 Hz）

実験結果を反映させた精度の高い FEM モデルを作成することにより，強度や振動，騒音など，様々な分野の解析に応用することができます。

本例では，実稼動相当の振動が発生している状態での FEM 応力解析を行い，その FEM 解析結果を検証するために行った実稼動状態での応力測定結果と良好な対応を得ています。このように，実験計測と CAE を相互に活用すると，精度の高いモデル作成，および予測計算の評価を行うことができます。

応用例

- ・レーザドップラ振動計のセンサヘッドジグ
- ・ロータリエンコーダの回転軸剛性検討
- ・医療用機器の騒音対策



統計的エネルギー解析手法（SEA）を用いたインバータ装置の振動低減

測定項目：FFT 解析，実稼働解析

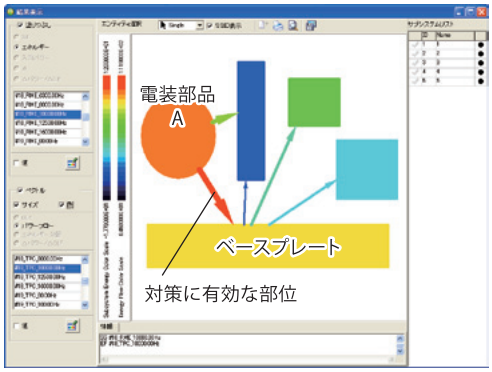
概要

統計的エネルギー解析手法（SEA）は，高周波領域に有効な解析手法です。測定データの解析により，損失率，各部位が持つエネルギーと外部から受ける入力パワーの推定値，部位間で生じるエネルギーの流れ（エネルギーフロー）を周波数帯域ごとに評価できます。

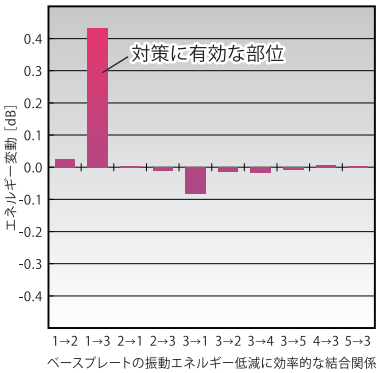
本例では，10 kHz 周辺の周波数帯域に特有の振動を持つインバータ装置を SEA で解析した事例を紹介します。損失率の変更に伴って変化するエネルギーの予測計算を行い，対策に有効な部位の指針を示します。

測定結果

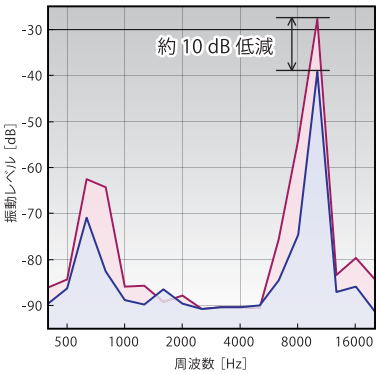
エネルギーフローより，起振源となる電装部品 A からベースプレートへエネルギーが流れていることを確認できます。また，損失率変更の予測計算から得られた，電装部品 A からベースプレートへの伝搬経路の対策が有効という指針に基づいて対策した結果，ベースプレートの振動が 10 dB 低減しているのが分かります。



＜ 対策前の10 kHz帯域におけるエネルギーフロー図 ＞



＜ 10 kHz帯域の損失率変更の予測結果 ＞



＜ ベースプレートの振動レベル低減量 ＞

RC-S ベンチを利用した EV の車室内騒音評価

測定項目：トラッキング解析，FFT 解析

概要

HEV や EV は，これまでのガソリン車に比べて車室内の騒音はとても小さくなっている一方で，モータやインバータから放射される狭帯域の高周波音が問題になっています。しかし，実際の走行時には，ロードノイズや風切音などの影響で，これらの高周波音を精度良く測定することは困難な場合があります。

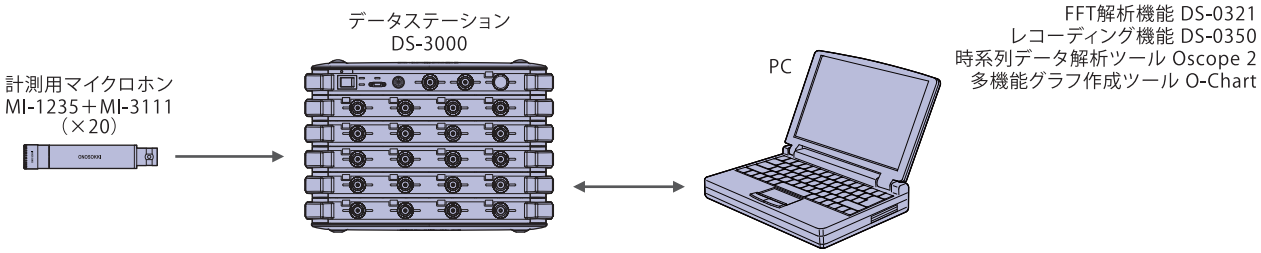
そこで，ロードノイズや風切音の影響を受けずに測定できる RC-S ベンチ（Real Car Simulation Bench：タイヤ型軸受機構を有するベンチ）を利用することで，EV から発生する特徴的な小さい音を確認することができます。

本例では，車室内に透過するモータ音やインバータ音の傾向を車速を基準にしたトラッキング解析により把握し，特に音圧レベルの大きい帯域の音圧分布を測定した事例を紹介します。



＜ RC-S ベンチでの測定風景＞

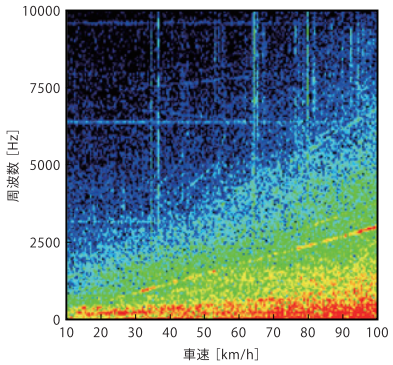
測定システム



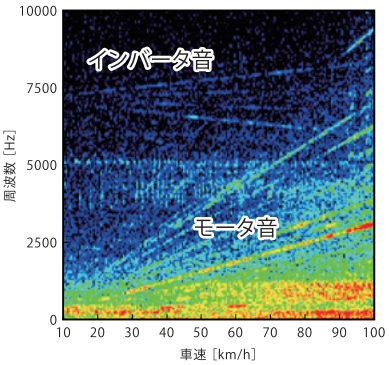
解析結果

車速を基準信号に用いた運転席耳位置での音圧レベルのトラッキング解析結果を実路走行と RC-S ベンチで比較します。RC-S ベンチで測定した結果では，車速に比例して周波数が高くなるモータ音や，車速に応じて変化しない 7 kHz 付近を中心に上下周波数に広がるインバータ音の特徴を確認できます。

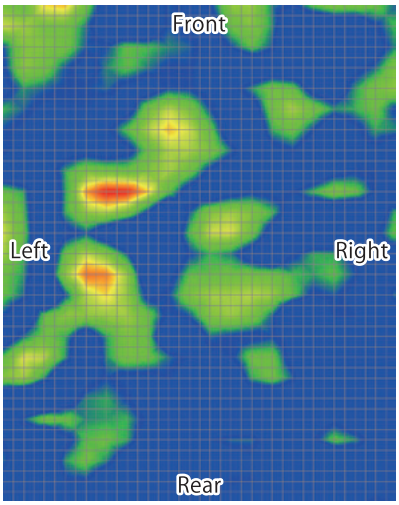
さらに 90 ～ 100 km/h で，3150 Hz 帯域に特徴的なモータ音のピークがあることが分かります。この帯域の音響特性をより理解するためにマイクロホンアレイを設置し，定常走行している状態で音圧レベルを測定すると，着目する帯域の音圧分布を把握することができます。右の音圧マップは 100 km/h で定常走行し，助手席の耳位置水平面を測定した結果の一例です。



＜ 実路走行でのトラッキング解析結果 ＞



＜ RC-S ベンチでのトラッキング解析結果 ＞



＜ 助手席の音圧マップ ＞

HEV や EV に搭載されるモータやインバータなどは，狭帯域の高周波音を発生するため，車室内でモードが生じ，局所的に大きく聴こえる場所が存在することが音圧マップから分かります。

そのため，車室内の騒音を把握する際，各座席の耳位置のみで評価するのではなく，音圧マップなど空間的な特性を把握できる測定が重要になってきます。

応用例

- HEV，EV のモータ，インバータの振動解析
- HEV，EV の音源探査
- 車両の動力性能と音響，振動性能の同時測定



4端子法による自動車用マフラーの音響透過損失測定

測定項目：FFT 解析

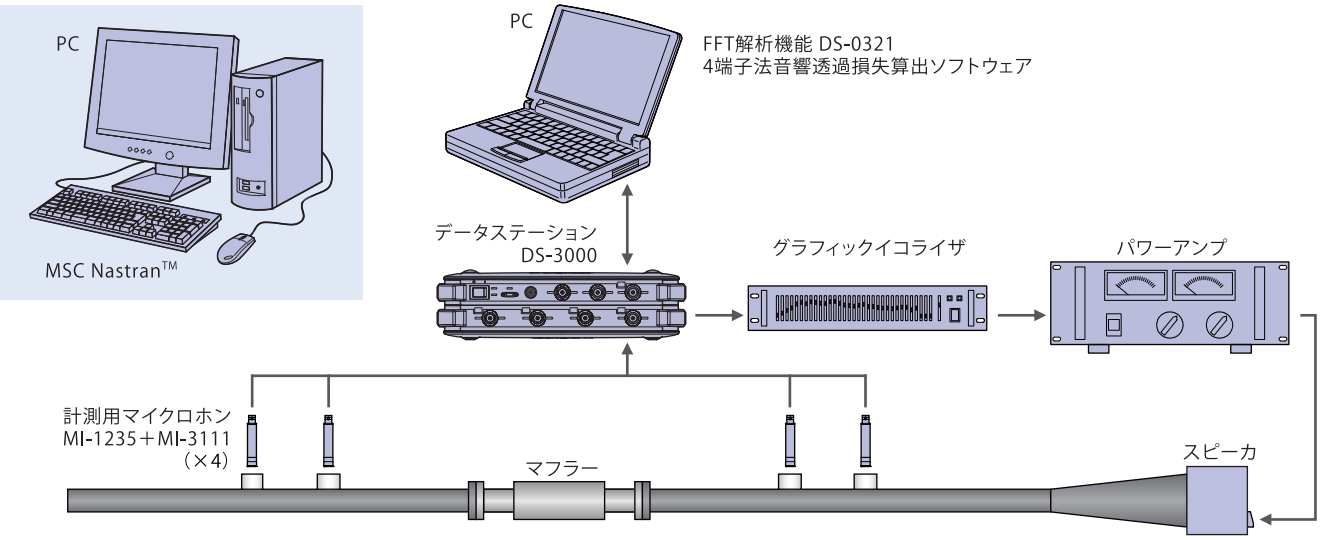
概要

一般的に排気音には音圧レベルによる法的な規制があり，放射騒音を低減するためにサイレンサの構造は様々な工夫が施されています。

マフラーの開発工程では，エンジンに組み付けたサイレンサの実稼動時の音（音圧の周波数特性等）を，マフラーの消音性能評価に利用しています。すなわち，試作後の実験によって初めて消音性能の評価が可能となります。他方，車両の設計開発期間短縮を推進するために，設計初期段階での CAE による消音特性の事前評価が行われています。

本例では，マフラーの音響 CAE によって得られる音響透過損失と，4 端子法（4 マイクロホン法）での音響透過損失特性との比較を行った事例を紹介します。この方法によって，マフラーの初期設計段階において構造変更等を効率良く検討できるようになります。

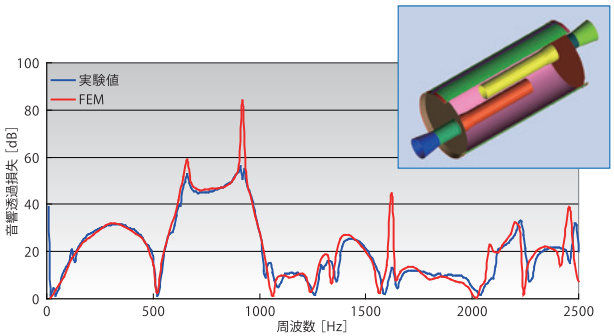
測定システム



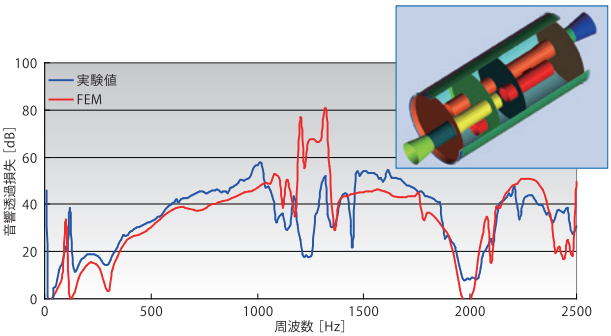
解析結果

市販マフラー A，B ともに周波数 1 kHz 以下の音響透過損失については，CAE と測定結果との間で良好な相関があることが分かります。

市販マフラー B の周波数 1 kHz ～ 1.5 kHz の帯域では，CAE と実験との相関が良くありませんが，これはマフラー径方向の音響モードに寄与する何らかの製品上の特性が，音響透過損失の不安定要因になっているものと推測されます。（市販マフラー B は市販マフラー A とは異なりマフラー内部が隔壁によって三つのチャンバに分断された複雑な音響空間を構成して います。そのために，周波数 1 kHz ～ 1.5 kHz の間にマフラー径方向の音響モードが多数あります。）



＜ 市販マフラーAの音響透過損失 ＞



＜ 市販マフラーBの音響透過損失 ＞

本例は入力側と出力側の管径が同じ構造のマフラーでの測定結果ですが，入力側と出力側の管径が異なっている場合でも測定可能です。

応用例

- 自動車用エアクリーナ
- レゾネータ
- 遮音性能を持たせた多孔質材



半無響室における事務機器の音響パワーレベル測定

関連規格：JIS Z8732，JIS Z8733，JIS X7779，ISO 3744，ISO 3745，Blue Angel

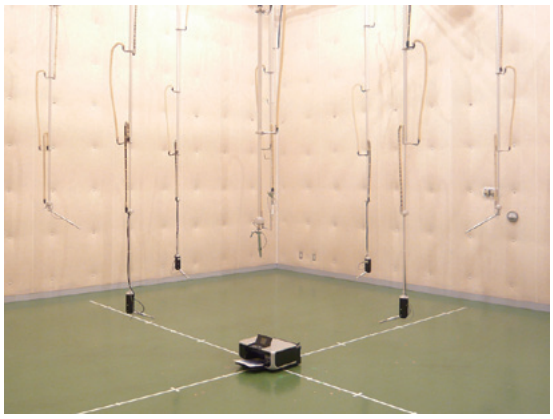
概要

機械等から放射される音の大きさは，機械との距離や設置環境によって異なってしまうため，定量的な評価が困難な場合があります。そこで，放射音の定量的な評価量として音響パワーレベルが用いられます。

音響パワーレベルは機械が放射する総エネルギー値を示しており，距離や環境の影響を受けずに評価できるので，様々な機械の個別規格に適応され，製品の評価に用いられています。測定は JIS Z8732 や JIS Z8733 に示される様に，半自由空間にマイクロホンを 9 点ないし 10 点設置します。

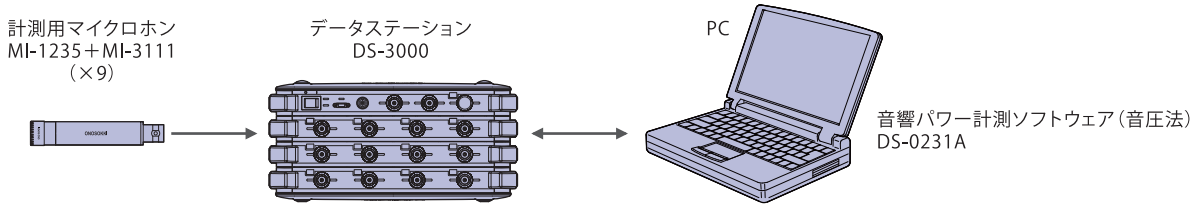
マイクロホントラバース装置等の測定環境が整っていると，比較的短時間で音響パワーレベルを測定できるとともに，設置精度が測定者の技量を問わないため測定誤差の低減にも繋がります。

本例では，2 種類のプリンタについて 9 本のマイクロホンで測定した平均音圧レベルから音響パワーレベルを算出した事例を紹介します。

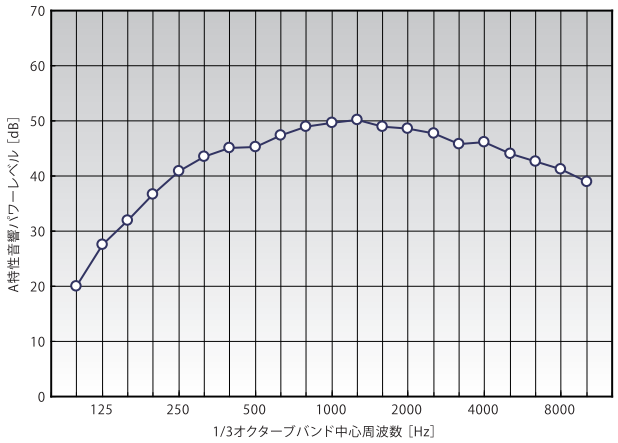


＜ マイクロホントラバース装置を使用した音響パワーレベル測定 ＞

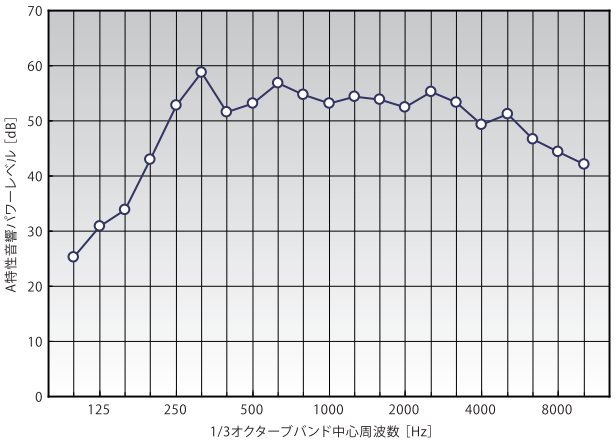
測定システム



測定結果



＜ 市販プリンタAのA特性音響パワーレベル ＞



＜ 市販プリンタBのA特性音響パワーレベル ＞

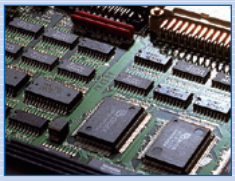
グラフはプリンタ A，B それぞれの音響パワーレベルを示します。プリンタ B の方が音響パワーレベルが大きい事がわかります。また，レベルだけではなく周波数特性を比較するとプリンタ B には幾つかのピークが確認できます。この様にピークがあるという事はその周波数の音を発生する要因があるということです。

例えばモータの様な回転体はその回転に起因した周波数の音を発生しますので，モータ回転数と周波数が一致した場合にはモータが要因である可能性が考えられます。

この様に音響パワーレベルは ISO，JIS 等の規格への対応だけでなく，製品の騒音対策の定量的な目標値として設定したり，製品を組み合わせた場合の音響パワーレベルの増加を計算で予測できます。

応用例

- パソコン，パソコン関連装置
- コピー機，印刷機
- 情報技術装置



音響インテンシティ法による空調機器の音響パワーレベル測定

関連規格：JIS Z8736，ISO 9614

概要

音響パワーレベルは，音源全体が放射する音響的な総エネルギーを表す値であり，音源の性状を表す基本量です。音響インテンシティ法は，その音響パワーレベルを測定する手法の 1 つです。

この手法を用いると，工場などの移動できない設置機器の音響パワーレベルを現場で測定することができます。また，測定を行いたい機器の周辺に別の音源がある場合でも測定が可能です。

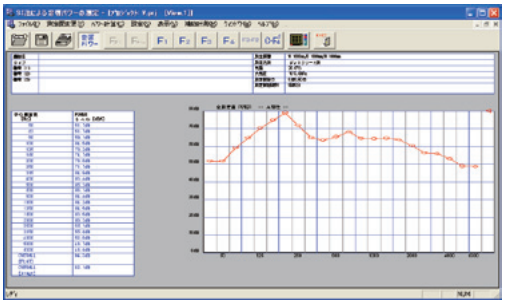
本例では，空調室に設置された空調機器の音響パワーレベルを測定した事例を紹介します。



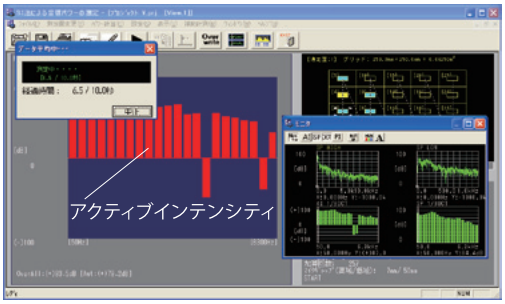
＜ 測定風景 ＞

測定結果

測定画面のアクティブインテンシティは，単位時間当たりに流れる音のエネルギーを表しています。この値がプラスであるため，センサの正面にある本装置側から発せられた音を捉えている事が分かります。本装置では 200 Hz に顕著な騒音が認められます。



＜ 空調機器の音響パワーレベル ＞



＜ 測定画面 ＞

音響特性測定

無響室環境・高感度マイクロホンを用いたハードディスクの微小音測定

測定項目：FFT 解析

概要

装置や部品の静音化技術の進歩により，微小音の測定ニーズが高まっています。静音化されている製品としては，携帯電話のカメラ，デジタルカメラ，ビデオカメラや，駆動系にモータを使用したハードディスク，DVD ドライブ等があります。

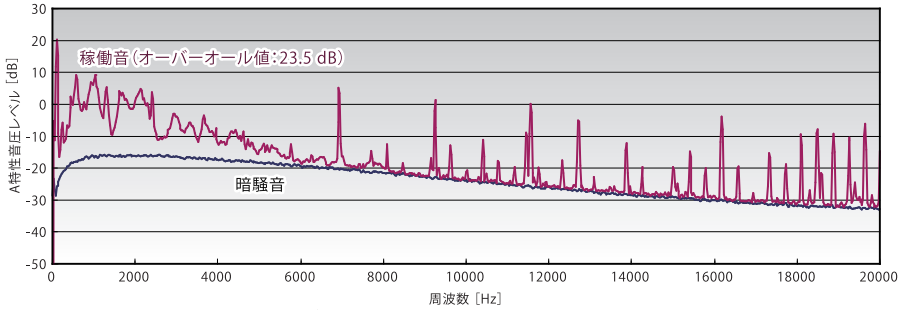
そこで，微小音測定を可能にするため，高感度マイクロホンを用いた計測システムと，NC-0 以下の性能を有する無響室を用意しています。

本例では，静音化された外付けハードディスクを無響室に設置し，ハードディスク待機状態の稼動音を測定した事例を紹介します。

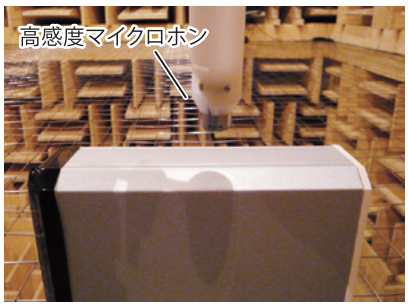
測定結果

高感度マイクロホンをハードディスク近傍に設置した測定で，モータ回転に起因すると考えられる 0 dB 以下のスペクトルが 9 kHz 以上の帯域で確認できます。

放射音の周波数や放射位置を解析する場合，測定対象に多点の測定点を設けることもあります。また，時刻暦データを測定することにより，時間・周波数解析も可能です。



＜ ハードディスク放射音測定結果と暗騒音の比較 ＞



＜ 測定風景 ＞

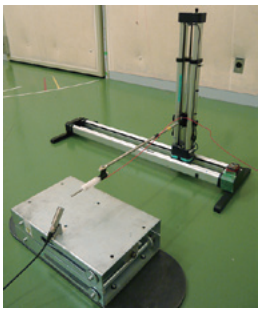
超音波素子の指向特性測定

測定項目：FFT 解析

概要

超音波センサは測距メータや防犯システム，物体検知等広い分野で利用されています。その中で空中放射型のセンサ周波数は数 10 kHz から数 100 kHz の帯域で人間の可聴できる周波数よりはるかに高く，指向性が強いという特長があります。高周波領域（100 kHz）まで計測が可能なマイクロホンを用いることで，超音波を発する製品の音圧測定が可能です。

本例では，半無響室床上に素子を設置した場合の指向特性を測定した事例を紹介します。

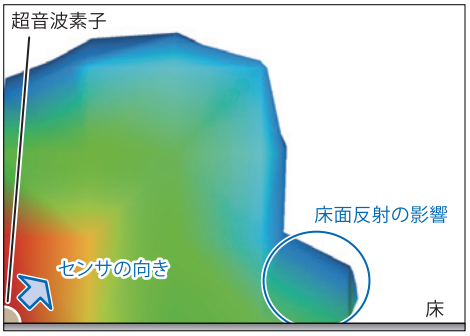


＜トラバース装置＞

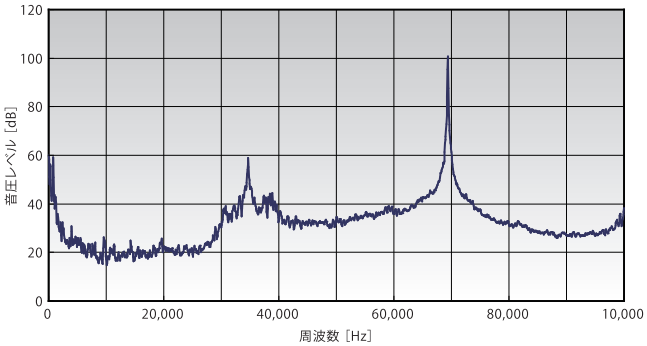
測定結果

半無響室で測定を行った結果，床面で超音波が反射している様子が見られます。この結果から超音波素子を同様の環境に設置した場合の音圧分布を想定することができます。

トラバース装置を利用することで，自動でマイクロホンを移動することが可能になり細かい空間分解能を設けることが可能になります。



＜超音波素子の指向特性（断面）＞



＜超音波素子の音圧特性＞

音質評価パラメータによる機械騒音の評価

測定項目：音圧レベル，ラウドネス，シャープネス，ラフネス

概要

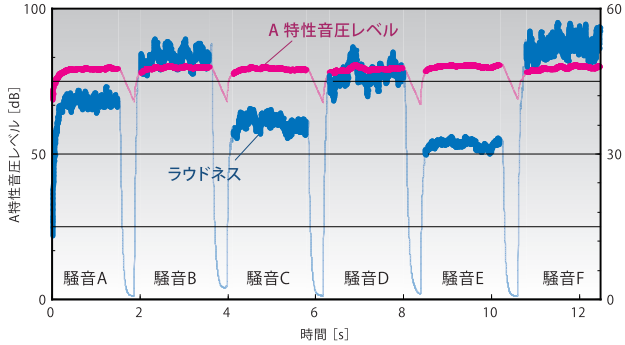
一般的に騒音測定に用いられている音圧レベルや音響パワーレベルは，物理量としての音の大きさを評価したもので，どのような音色であったかという感覚的な情報は含まれていません。そこで，主観的な感覚を定量的に評価することを目的とした心理音響学に基づいた測定を行う事で，感覚的な情報を数量的に評価できます。

本例では，A 特性音圧レベルが同じで異なる機械騒音を音質評価パラメータにて解析した事例を紹介します。

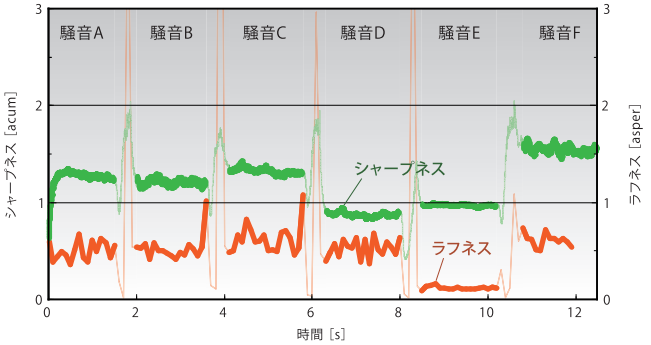
測定結果

A 特性音圧レベルはいずれの音も同じレベルであるにも係らず，ラウドネス（音の大きさに関する感覚量）ではそれぞれのレベルが異なっています。また，シャープネス（低音と高音のバランスを表す量）やラフネス（音の大きさが早く変調している時に感じる感覚量）も異なっています。

このように耳障りな音や気になる音の特長を数量化するだけでなく，自動車の方向指示器のように，適切な音量で運転手に意識させるような音を作り出す場合にも音質評価が役立ちます。



＜A特性音圧レベルとラウドネスのタイムトレンド＞



＜シャープネスとラフネスのタイムトレンド＞

残響室法による遮音材の音響透過損失測定

関連規格：JIS A1416，JIS A1419-1，ISO 140-1，ISO 140-3，ISO 717-1

概要

部材の音響透過損失の測定手法として 2 室の残響室を用いる手法があります。この測定方法では，残響室間の開口部に測定サンプルを設置して，2 室間の音圧レベル差と受音側残響室の吸音特性を補正する残響時間を測定して，音響透過損失を算出します。

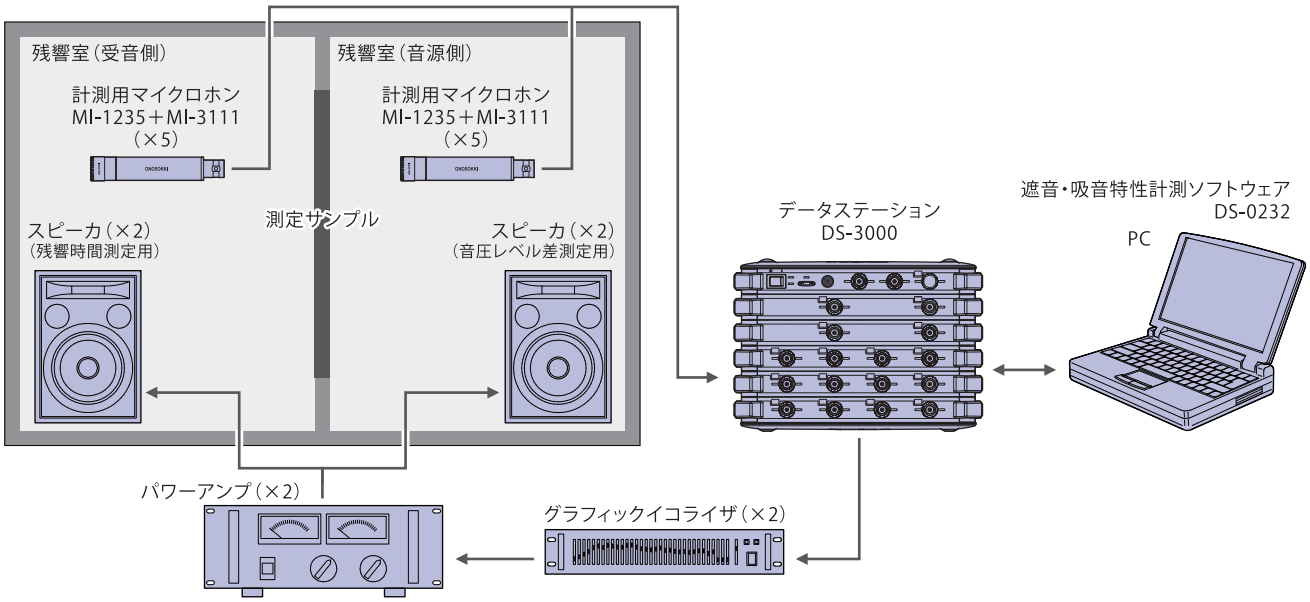
部材の遮音性能は，音の入射角度によって変化します。残響室を利用することにより，測定サンプルに対してあらゆる方向から音が入射することになり，実際の使用状況に近い測定になります。

本例では，単層材料 2 種類（ガラス，アルミ板）と複層構造の中空パネルを測定した事例を示します。



＜ サンプル取付状況 ＞

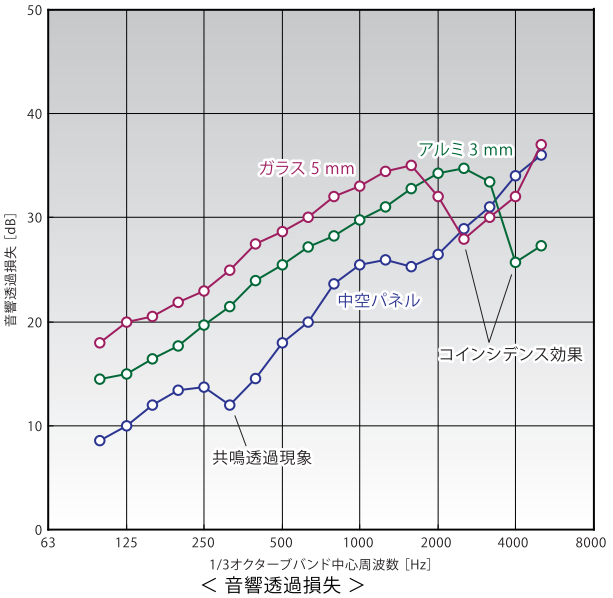
測定システム



測定結果

単層材料では，高音域における遮音欠損として代表的な現象であるコインシデンス効果により透過損失の落ち込みが現れています。この現象は垂直入射では確認できない現象です。さらに，複層構造の中空パネルでは低音域において，共鳴透過現象による透過損失の落ち込みが現れています。このように，材料や構造による透過損失を把握することにより，効果的な騒音対策が行えます。

JIS A1416 では，試料の寸法を 10～12m^2 と規定しています。しかし，自動車を始めとする工業製品では，規格に適合する大きなサンプルを作成するのは困難な場合が多くあります。そこで，当社では比較的小さな開口（約 1700 mm×800 mm）を用意しています。



＜ 音響透過損失 ＞

応用例

- 車両で用いられる遮音パネル
- 建築部材
- 防音壁



伝達関数法による吸音材の垂直入射吸音率測定

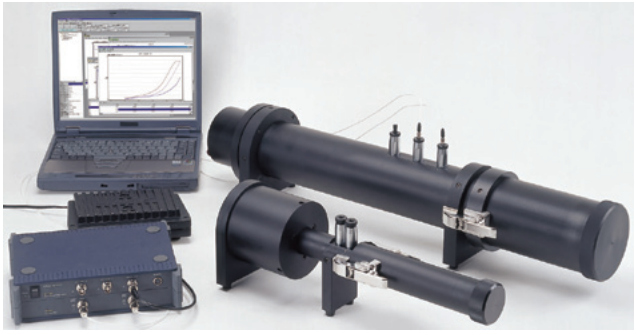
関連規格：JIS A1405-2，ISO 10534-2

概要

材料の音響特性である吸音率を測定する手法の一つに，伝達関数法（2 マイクロホン法）垂直入射吸音率があります。

管端からもう一方の管端に取り付けた試料に対して垂直に音波を入射させ，管内 2 点のマイクロホン間の伝達関数から垂直入射吸音率，垂直入射音圧反射率，表面の垂直入射比音響インピーダンス比を算出します。また，異なる背後空気層での測定を行うことで，材料内部の音響性能である特定インピーダンスや伝搬定数の算出も可能です。

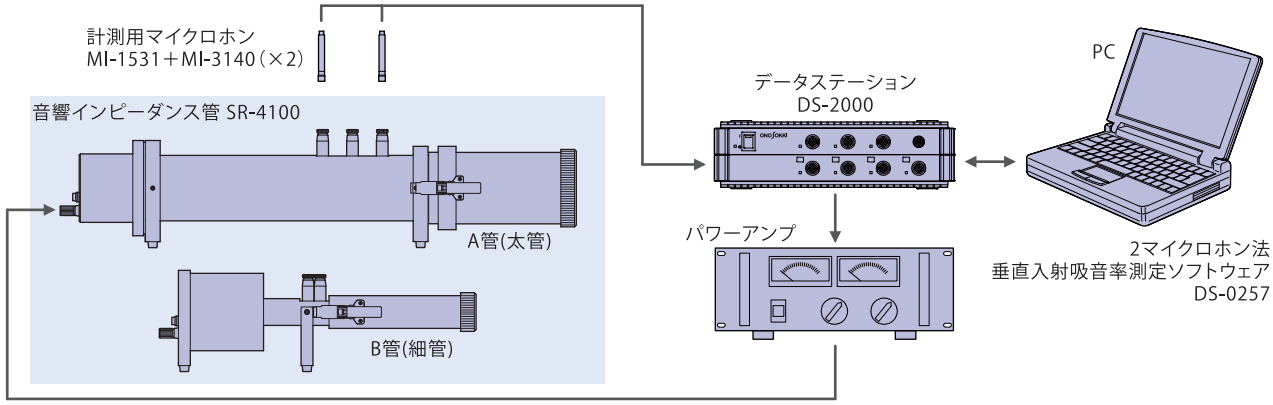
試料に対して音波がランダムに入射する残響室法吸音率に比べて，サンプルが非常に小さく測定時間も短いので，試作段階での音響特性の確認には特に有効です。



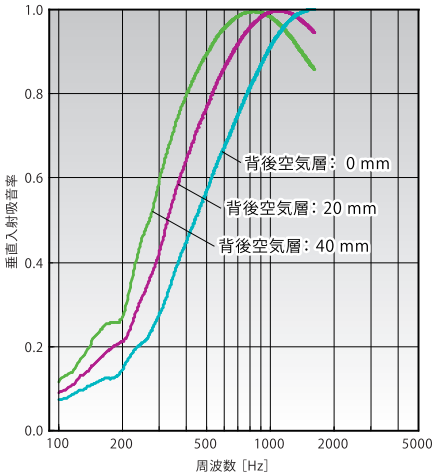
＜ 伝達関数法（２マイクロホン法）垂直入射吸音率測定システム ＞

本例では，同一試料で背後空気層を変えた垂直入射吸音率と，その計測データを元に伝搬定数を算出した事例を紹介します。

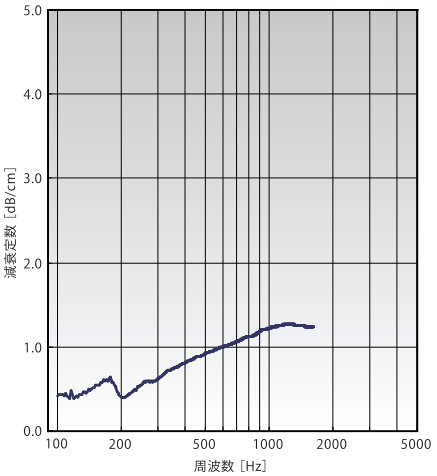
測定システム



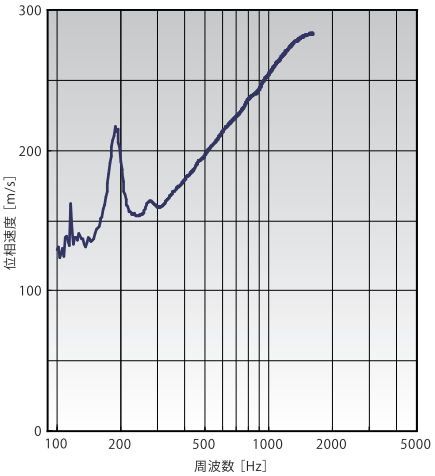
測定結果



＜ 垂直入射吸音率 ＞



＜ 伝搬定数 実数部（減衰定数）＞



＜ 伝搬定数 虚数部（位相速度）＞

垂直入射吸音率は材料の音響性能を表す指標の１つとして広く用いられています。それ以外に伝搬定数を算出することにより，吸音材内部での減衰（減衰定数）や音速の変化（位相速度）が明確になります。これにより厚さに依存しない材料の評価が行えます。

応用例

- 多孔質材
- 高機能舗装
- その他各種吸音材料



音響インテンシティ法による部材の空気音遮断性能測定

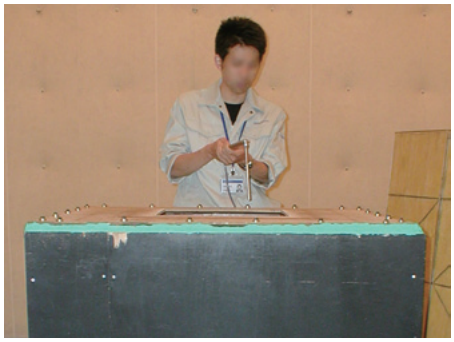
関連規格：JIS A1441-1，ISO 15186-1

概要

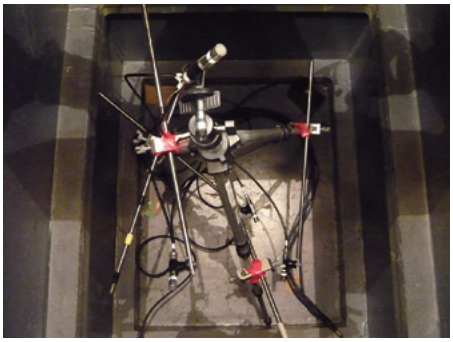
空気音遮断性能測定方法にはいくつかありますが，その１つとして音響インテンシティ法による測定方法があります。
この測定方法は残響性の部屋（箱）の一面に取り付けた測定対象物から透過してくる空気音を音響インテンシティにより測定して，空気音遮断性能を求める方法です。
本例では，制振材を塗布した部材を測定した事例を紹介します。残響室に比べて小型の残響箱（測定サンプルのサイズ 400×400 mm）を用いて測定しています。そのため，大型のサンプルを製作するのが困難な試作品などへの適用も可能です。

測定結果

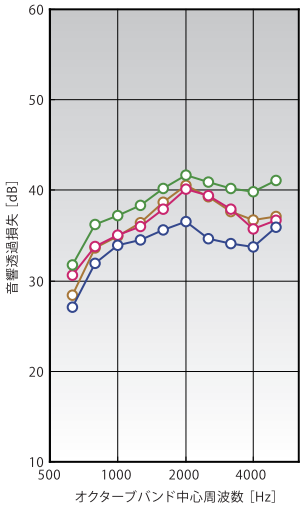
サンプルの違いによる音響透過損失の違いを確認できました。
JIS A1416 の残響室ー残響室法と比べ，残響時間の計測を行わないため，計測時間が短くて済むというメリットもあります。



＜ 測定風景 ＞



＜ 残響箱内マイクロホン設置例 ＞



＜ 音響透過損失測定結果 ＞

残響室における吸音材の吸音率測定

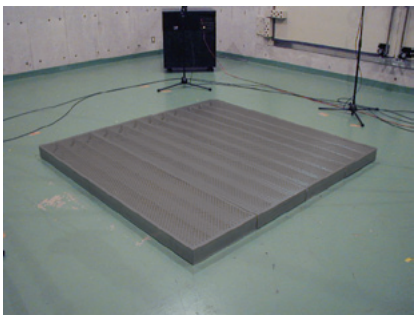
関連規格：JIS A1409，ISO 354

概要

拡散音場である残響室を用いた吸音率測定は，試料に対してランダム方向から音波が入射するため，実環境に近い条件での測定です。この手法では，試料を設置した時としていない時の残響時間の差から，吸音率を計算します。
音響インピーダンス管では測定が困難な板振動型や共鳴器型の吸音機構をもつ製品の測定も行えます。
本例では，穿孔板の吸音率を残響室で測定した事例を紹介します。



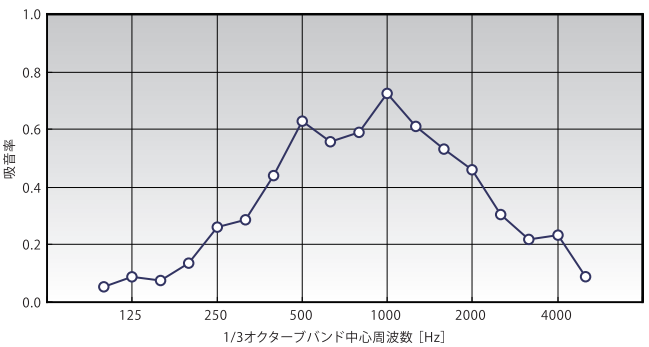
＜ 残響室 ＞



＜ 穿孔板 ＞

測定結果

こうして明確になった測定結果を元に，各周波数において適切な吸音性能をもつ材料を用いることで，室の用途に対して室内の残響を最適にしたり，反射音を抑制して空間の騒音を低減させることが可能です。
なお，音楽ホールで使用される客席用椅子，オフィスの遮音に使用される衝立，カーテン等の個別吸音体については，ほぼ同様の測定から等価吸音面積を求めます。



＜ 吸音率測定結果 ＞

集合住宅の遮音性能測定

関連規格：JIS A1417，JIS A4706，ISO 140-4，日本住宅性能表示基準

概要

住宅内において，隣室のテレビの音や会話が壁を抜けて聞こえてくる，あるいは窓や扉を抜けて交通騒音が聞こえてくるといったように，普段の生活は様々な騒音に囲まれています。

静かな空間を確保する為には，設計段階で遮音性能の目標値を決定し，適切な材料を用いた施工が必要となります。

完成後の建物の遮音性能を評価するため，必要に応じて遮音性能を測定し，JIS または日本建築学会で推奨される等級を算出します。

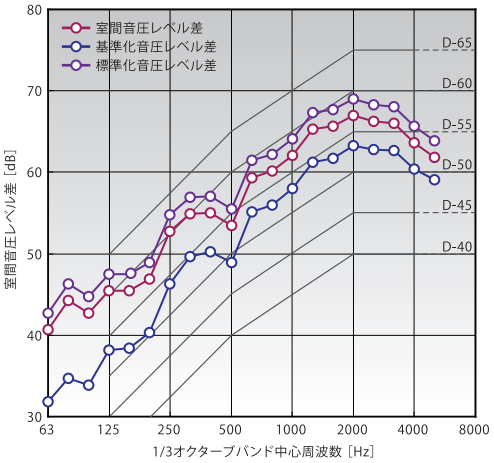
本例では，集合住宅の 2 室間の音圧レベル差を測定した事例を紹介します。

測定結果

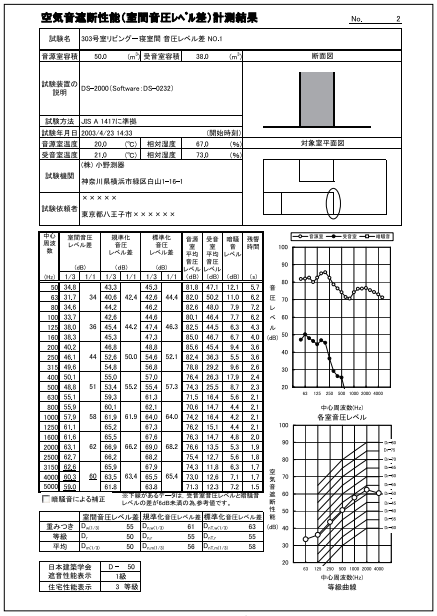
室間における遮音性能を室間音圧レベル差と呼び，その性能が高いほど，隣室への音の漏れは小さくなります。

また，受音室の残響時間を計測すると，部屋の吸音性能を考慮した基準化音圧レベル差と標準化音圧レベル差を算出できます。

現場での測定精度を高めるために，受音室の音圧レベルを暗騒音レベルより 10 dB 以上大きくすることも重要です。



＜ 遮音性能測定結果 ＞


空気音遮断性能（室間音圧レベル差）計測結果

＜ 測定結果レポート例 ＞

敷地境界上の騒音レベル測定

関連規格：騒音規制法，騒音に係る環境基準

概要

事業所内の生産設備から発生する騒音・振動レベルを近隣の民家との敷地境界線上で把握しておく必要があります。

例えば，敷地境界線上に騒音計，振動レベル計ならびに信号波形を記録できるレコーダを複数箇所に設置し 24 時間連続記録（あるいはさらに数日間）などを行います。

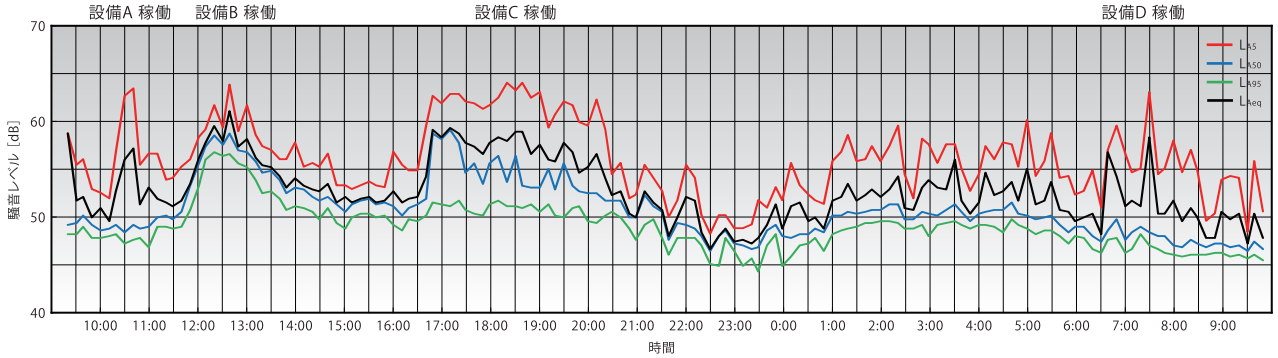
本例では，敷地境界線上で生産設備の騒音を 24 時間測定した事例を紹介します。



＜ 工場生産設備 ＞

測定結果

稼働する設備により，等価騒音レベル（L_{Aeq}）および時間率騒音レベル（L_{A95}, L_{A50}, L_{A5}）が変化していることが確認できます。



＜ 測定値の時刻歴（トレンド） ＞

ハッチバックドアの音源測定

測定項目：ビームフォーミング

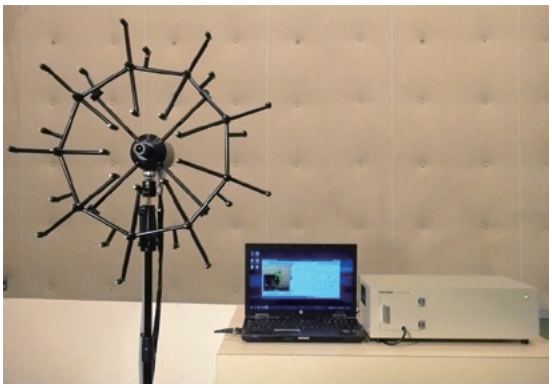
概要

ビームフォーミング法は，音源からマイクロホンに到達する音圧情報（位相差）から音圧分布を算出する手法です。

36 個のマイクロホンを独自の位置に配置したマイクロホンアレイから得た音圧情報を高速処理することにより，画像との重ね合わせを 1 秒間に 25 回行います。

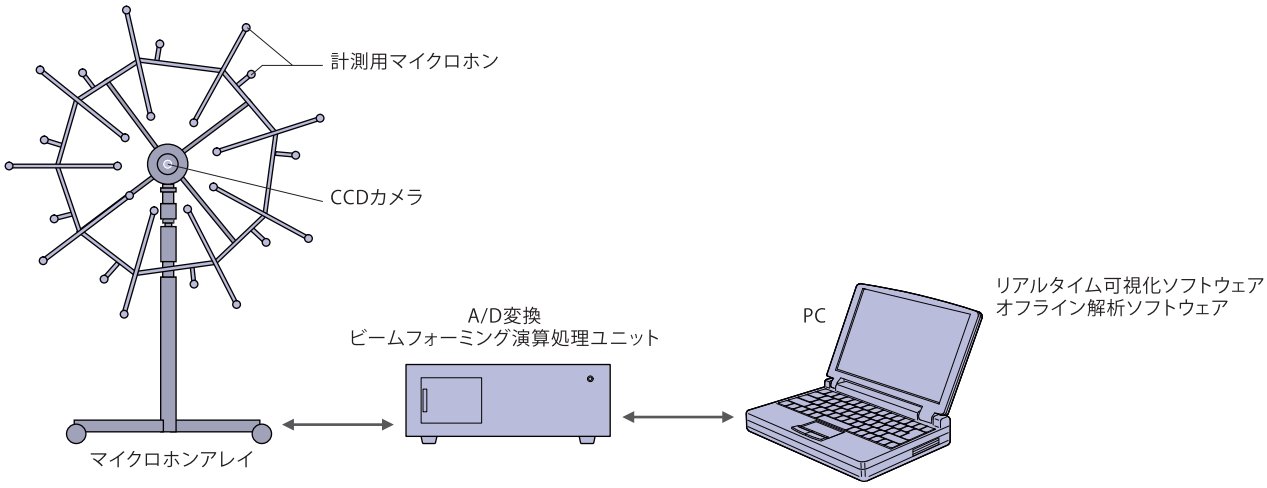
これにより，音源の位置を直感的に捉えるだけではなく，音源位置が移動するようなケースの音源探査にも利用できます。

本例では，自動車のハッチバックを閉じた時に発生する音を測定した事例を紹介します。



＜ 音源可視化システム ＞

測定システム



解析結果



＜ ドアが閉まる直前 ＞　＜ トアが閉じた瞬間 ＞　＜ ドアが閉じて 40ms 後の放射音 ＞

ハッチバックのドアを閉じる際に，発生する衝撃音の時々刻々と音源位置が変化する様子を観察することができています。音圧レベル分布（カラーコンター図）は音の大きさを示し，赤くなるほど音圧レベルが高いことを示しています。（＋）印は瞬時の最大音圧レベルの位置を示しています。車のドアが閉じると同時に，扉中央のラッチが衝突し，衝撃音が発生します。（中央図）。その後，最大の音は扉からではなく衝撃振動が車体後部に伝搬して，バンパー中央を中心とした衝撃音（最大）が発生します（右図）。

衝撃音は短時間で発生する現象のため，音源位置の特定が困難な現象ですが，本システムはリアルタイムで音源を可視化できるため，再現性を含めた音源位置の評価が可能です。また，オフライン解析ソフトウェアを用いることにより，可視化する周波数の変更や動画のコマ送りによる音源位置の変化を評価することも可能です。

応用例

- 複合機の音源探査
- 高架橋などの構造物の異音探査
- 車両の風切音探査



ビームフォーミング法による自動車通過騒音の可視化

測定項目：FFT 解析，ビームフォーミング

交通安全環境研究所様　ご提供データ

概要

音源探査をおこなう場合，常に測定対象に接近できるわけではありません。離れた場所から音源探査を行う場合では，ビームフォーミング法を用いたマイクロホンアレイシステムにより音源を波長の大きさ程度に分離することが可能です。

計測用マイクロホンは無指向性ですが，平面状に多数配置して測定したデータを処理すると指向性マイクロホンとして扱えます。

本例では，マイクロホンアレイを道路上方に設置して，自動車が通過する音像を捉えた事例を紹介します。

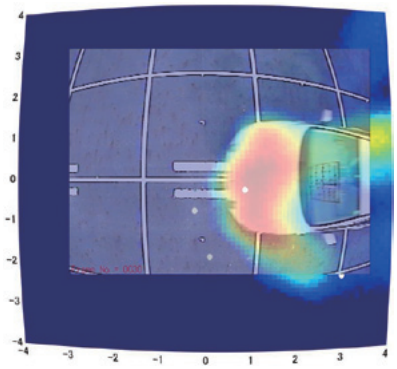
測定結果

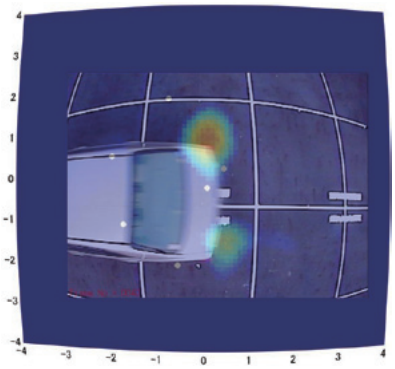
通過する自動車のエンジン音や排気音を特定することができます。

車体上面の音源として，進入時にはエンジン音がボンネットから放射されていることがわかります。車両通過後には，排気マフラーの音が音源として表示されているのが分かります。



＜ 車両通過騒音の可視化実験 測定風景 ＞


＜ エンジン音 ＞


＜ 排気音 ＞

マイクロホンアレイを利用した車両床下の音圧マップ

騒音可視化

測定項目：FFT 解析，オクターブ解析

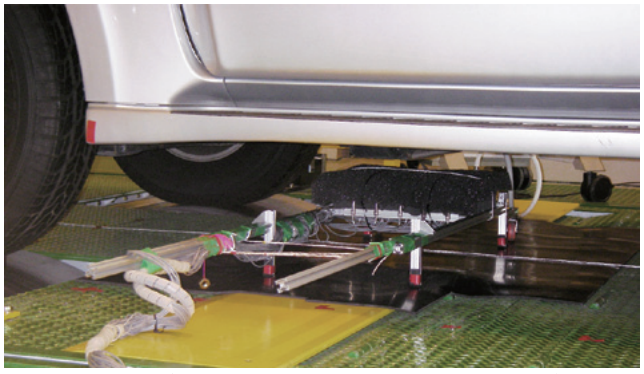
概要

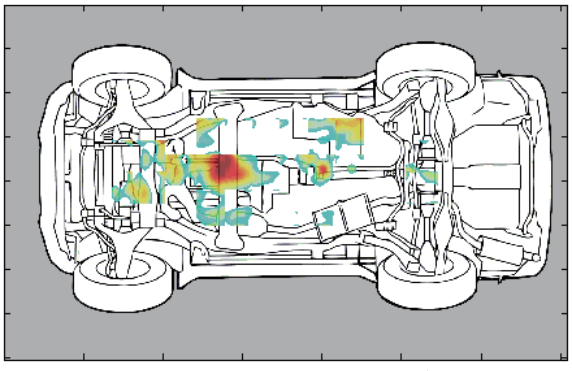
複数本のマイクロホンをアレイ状に並べて同時収録を行うと，音圧分布をカラーマップで表現でき，音源探査に役立ちます。マイクロホンアレイを用いて同時収録を行うと，非定常な音に対しても時間軸上で音圧マップのアニメーションを行うことが可能になります。定常的な音であれば，マイクロホン数本でも音圧マップを描くことは可能です

本例では，シャシーダイナモ上に設置した車両床下の部品から放射された音の音源を特定した事例を紹介します。ダイナモのモーター音，冷却ファンなど暗騒音レベルが大きい環境であっても，計測点での音圧レベルが暗騒音以上であれば可視化することが可能です。

測定結果

解析する周波数によってミッション，エンジン等の音源位置を特定することができます。さらに，時間軸上でアニメーションを行うことで過渡音の音源推移を確認することができます。


＜ シャシーダイナモ上でのマイクロホンアレイセッティング ＞


＜ 床下からみた駆動音の音圧マップ ＞

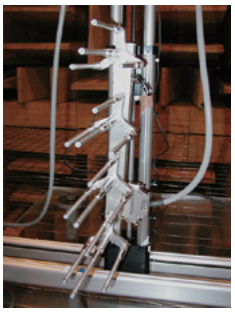
音響インテンシティを用いた車室内音場の可視化

測定項目：FFT 解析，音響インテンシティ

概要

音響インテンシティは音源から放射された単位時間あたりの音響エネルギーが単位面積を通過する量のことです。三次元のベクトルを測定することにより，音源位置の推定や測定面を通過していく音の方向などを測定することができます。

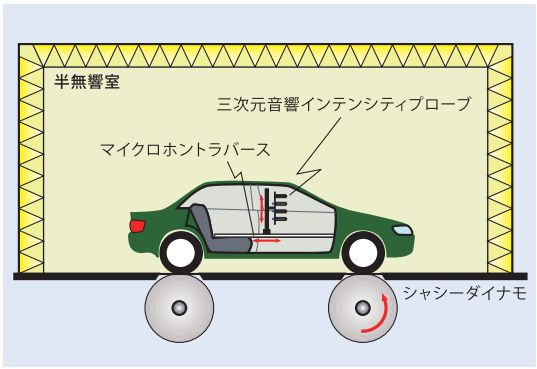
本例では，シャシーダイナモ上で車両を実走行状態で運転し，三次元音響インテンシティプローブを取り付けたマイクロホントラバースを用いて，車室内の音響特性を把握した事例を紹介します。



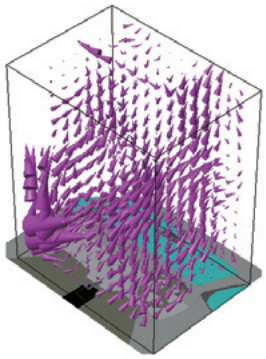
＜ マルチプローブ ＞

測定結果

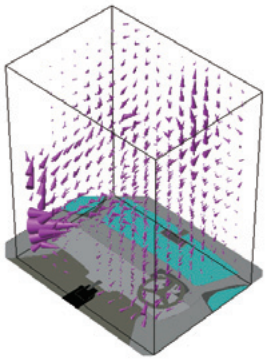
音響インテンシティによるマップから音が大きい箇所を特定することができます。また，その箇所に対策を施すことによって車室内の音の大きさだけでなく音の流れも変化することがわかります。



＜ 測定セッティングのイメージ ＞



＜ 対策前の音響アクティブインテンシティ ＞



＜ 対策後の音響アクティブインテンシティ ＞

近接場音響ホログラフィ法によるタイヤ騒音の部位特定

測定項目：FFT 解析，近接場音響ホログラフィ

概要

近接場音響ホログラフィは，近接場の音の情報を取得することにより，放射面の近傍で打ち消しあう音（エバネッセント波と呼ばれる非放射性の波）の情報も計測可能であるため，空間的な分解能が高くなるという特長を持っています。

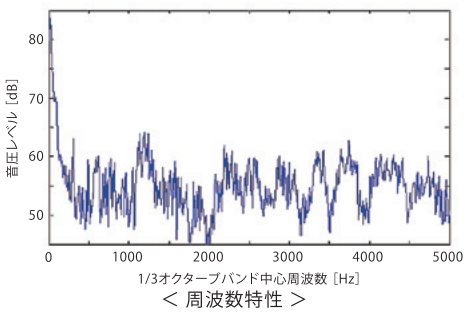
今まで人間の聴感に頼っていた音の評価を，発生音のエネルギーの流れとして三次元的に捉え，発生する音の大きさと流れを効果的に可視化することによって，定量的な計測・解析をすることが可能になります。

本例では，タイヤから発生する騒音の部位を特定した事例を紹介します。

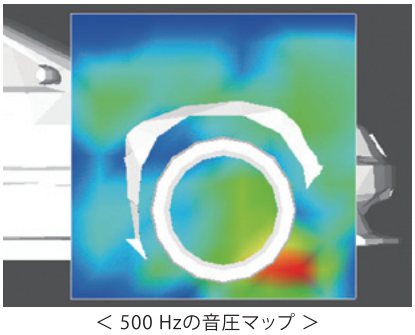
測定結果

乗用車の定常走行では，タイヤから発生する音が大きなウェイトを占めます。高性能排水性舗装が走行音の低減に大きく寄与している事は経験上よく知られていますが，そのメカニズムはまだよくわかっていませんでした。

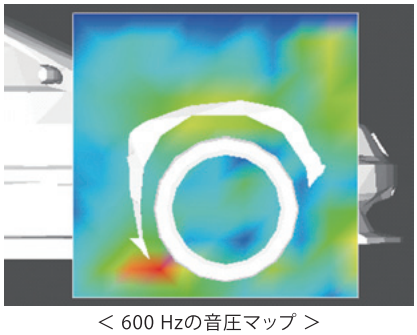
そこで，乗用車のタイヤから放射される音をシャシーダイナモ上で測定した結果，500 Hz と 600 Hz に特徴あるピークを確認できます。500 Hz の音はタイヤ前方の踏み込む際の音の周波数であること，また 600 Hz はタイヤで蹴り出す際の音の周波数であることが分かります。



＜ 周波数特性 ＞



＜ 500 Hzの音圧マップ ＞



＜ 600 Hzの音圧マップ ＞

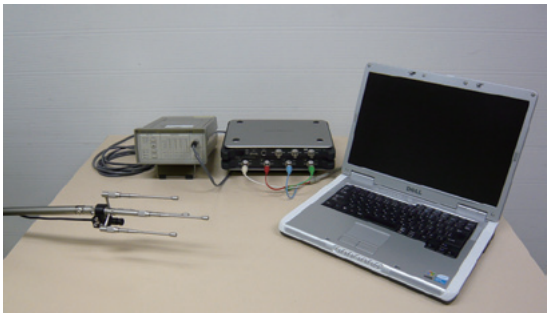
プリンタの初期動作における音源探査

測定項目：エンベロープインテンシティ

概要

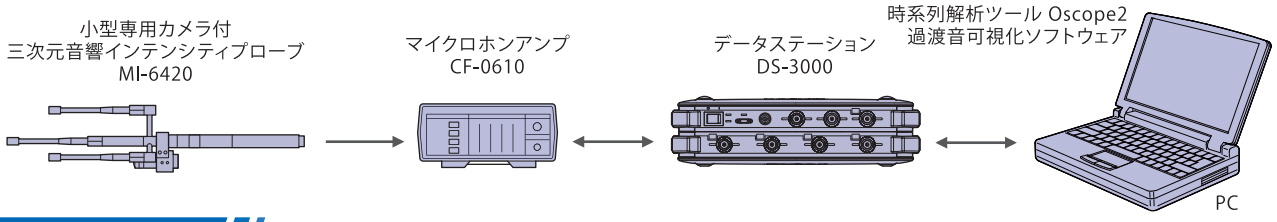
過渡音可視化システムは，三次元音響インテンシティプローブを用いて，エンベロープ処理を行うことにより非常に高い時間分解能（数十 μs）で音源探査が行えます。音源位置が刻々変化する，あるいは過渡的な異音発生源を探査する場合にとても有効です。さらに，カメラで撮影した画像と重ねて表示することにより，音の到来方向をわかり易く表現します。

本例では，プリンターの初期動作（給紙動作）において，機構部の連続的な動作で発生する音源位置を確認した事例を紹介します。



＜図 1．過渡音可視化システム＞

測定システム



解析の流れ

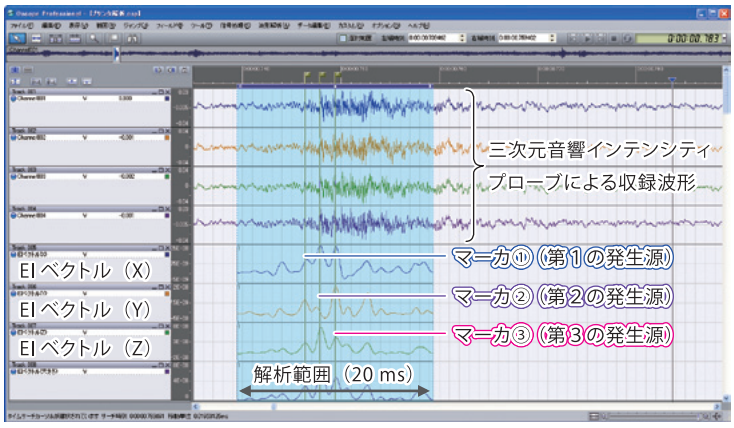
発生音を一旦収録した後，オフライン解析により可視化します。

① 発生音の特長（周波数帯域，動作時刻）に着目し解析区間を決定します。
（図 2 では 20 ms，2,000 Hz 1/3oct）

② 解析区間に対してエンベロープ処理（エンベロープインテンシティ（EI）ベクトル X，Y，Z）を実施します。

③ エンベロープ処理波形の振幅の大きい時刻に着目してマーカ（①～③）を設定します。

④ エンベロープ処理波形と画像とを重ね，時刻毎の音源位置を確認します。（図 3～図 4）

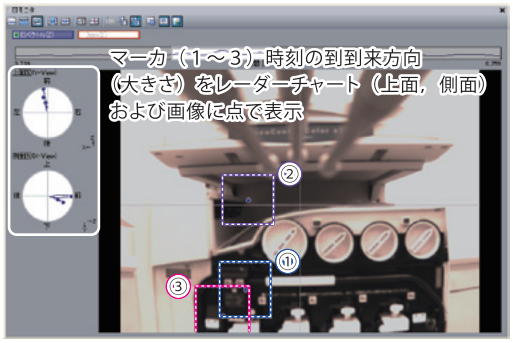


＜図 2．Oscope2による時間波形表示＞

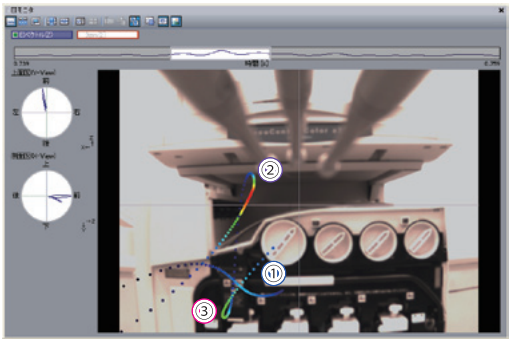
解析結果

図 3 は時刻マーカ（①～③）それぞれの時点における音源到来方向を点（四角の枠）で表示しています。

また，図 4 は時刻マーカ（①～③）を含む比較的狭い区間（4 ms）の到来方向の軌跡（位置・大きさをカラー表示）です。これにより，音の到来方向（到来に至る反射の様子）が刻々変化する様子を確認できます。



＜図 3．時刻マーカ①，②，③における到来方向＞



＜図 4．指定区間における到来方向（軌跡）＞

応用例

- エンジンの音源探査
- 車室内外の異音探査（内装材のきしみ音，ドア閉め音）
- 機械装置の過渡音（異音）の探査



変動音解析による車両ビビリ音評価

測定項目：変動音解析，FFT 解析

概要

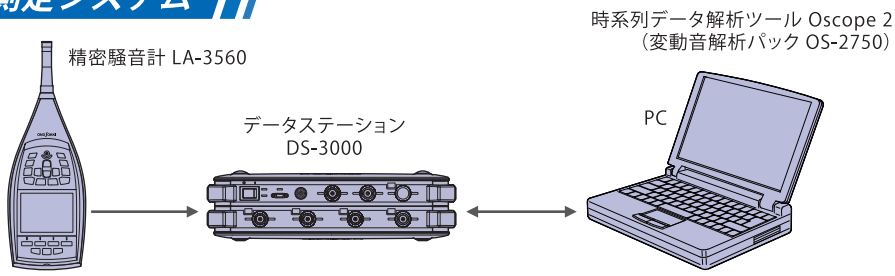
自動車業界において，ラウドネスをはじめとする音質評価指標は現在幅広く浸透し，様々な分野で人間の聴感上の印象を定量化する技術として用いられています。最近では時間変動成分に起因した音色評価，あるいは異音検出の話題が多くなっています。

これを検出する一般的な指標としてはラフネス，変動強度がありますが，いずれも特定の時間変動成分のみを抽出する指標となっています。しかし，工業製品から放射される機械変動音は様々な変動周期を含んでいる事もあり，その特徴量を抽出するのには不十分であることが少なくありませんでした。

そこで，ラウドネスをベースとした様々な時間変動成分を定量化できる指標（変動音解析）を用いる事で，音の音色（高低）のみならずその時間変動周期も定量化する事ができるようになります。

本例では，車載オーディオを一定以上の出力で再生した際に，主として低音域で再生される信号に共振して発生するビビリ音（車両に何らかの振動が加わった時に，車室内の特定箇所が共振し，パーツ同士が触れ合って発生するノイズ）について解析した事例を紹介します。

測定システム





＜ 図 1 . レインカバー部 ＞
（運転席ドアトリム内側）

解析結果

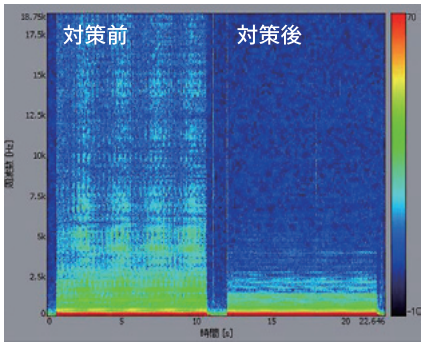
図 1 にビビリ音の発生部位を示します。

図 2 にレインカバー部から発生したビビリ音の対策前後の FFT 解析結果を示します。対策前後で高域成分のレベル差は確認できますが，ビビリ音そのものを特定し抽出することは困難です。

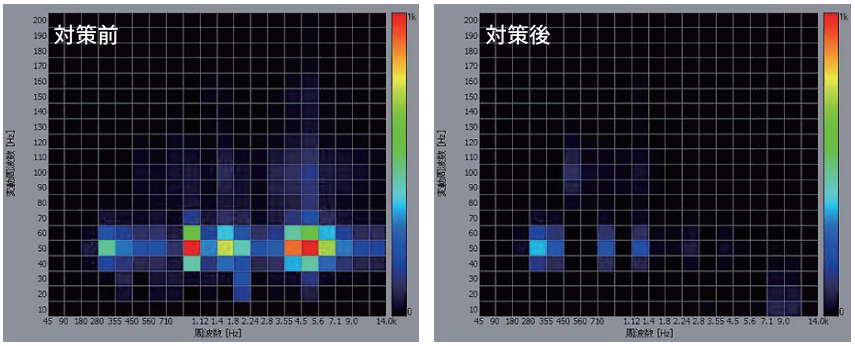
図 3 には同じ音源について，対策前後の変動音解析結果を示します。対策前は変動周波数（縦軸）が 50 Hz で，音の高さ（横軸）が 1 kHz，1.5 kHz，5 kHz 付近を交差する升目の変動量が大きくなっているのに対し，対策後は着目した升目の変動量が小さくなっていることがわかります。対策前後の変動量としては約 97 % 減と大幅に減少しています。

従来の FFT 解析と比較して，変動音解析は音の変動量にフォーカスすることでビビリ音の定量化が可能になります。対策前後の効果も数値表現できるため，設計の標準化にあたり非常に効果的であると考えられます。

この事例では，さらに検討を進め，今後ビビリ音評価 / 対策の判定閾値設定（設計標準化），およびビビリ音発生源の特定（設計効率化）を検討しています。設計標準化については，ある変動周波数 / 周波数に対し，どの程度の変動量を抑えれば良いかを定めること，設計効率化については，変動周波数 / 周波数のマッピングから発生箇所を特定すること，各々についての可能性について進めています。



＜ 図 2 . レインカバー部ビビリ音対策前後の比較 ＞
（FFT解析）



＜ 図 3 . レインカバー部ビビリ音対策前後の比較 ＞
（変動音解析）

応用例

- 自動車エンジンの音色評価
- トランスミッションの異音評価
- 複写機作動音に混入する異音検出



冷蔵庫コンプレッサ音の騒音解析

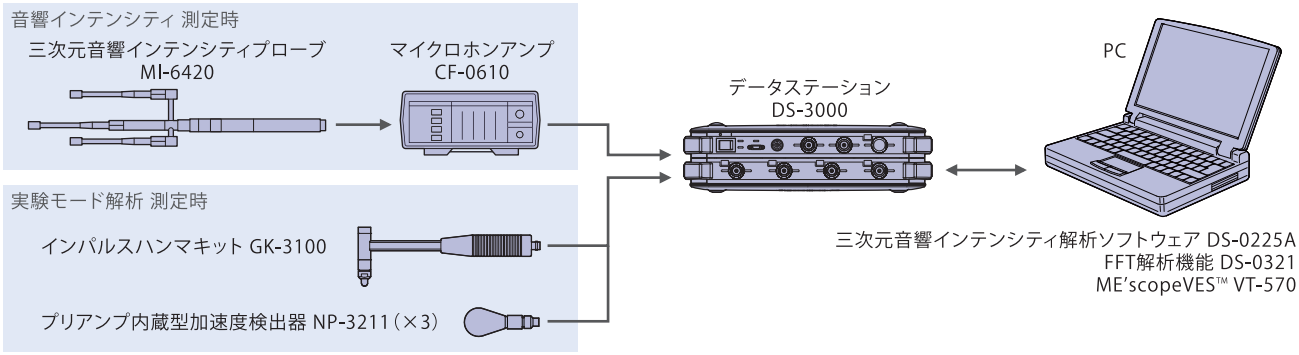
測定項目：音響インテンシティ解析，モード解析，実稼働解析

概要

音の流れを可視化できる音響インテンシティ法を用いると，音の発生源を特定することもできます。

本例では，冷蔵庫からの発生音を音響インテンシティ解析と有限要素解析により計測・解析した事例を紹介します。冷蔵庫から発生している 1 kHz 弱の異音を，音響インテンシティ解析により発生源を特定し，その発生源の性状から 有限要素解析を行った結果を元に発生音の低減対策まで行えます。

測定システム



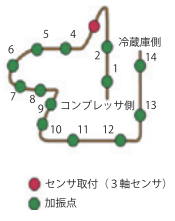
解析の流れ

① 冷蔵庫背面後方 1 m の音圧パワースペクトルと背面全体の音響インテンシティを測定し，対策を施すべき対象音の発生箇所と周波数を求めます。最も大きなエネルギーを発生させている部位は冷蔵庫下部のコンプレッサ部 であることが分かります。

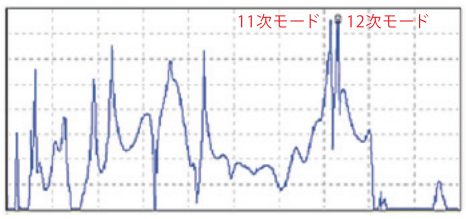
② この冷蔵庫のコンプレッサ部は，大きくコンプレッサ本体と吸入管並びに吐出管から構成されています。計測結果から，吸入管近傍の空間から音が発生しています。

③ ここで，吸入管のモード解析を行います。吸入管の伝達関数を測定します。問題となっている周波数領域 650 Hz ～ 750 Hz の帯域では 11 次，12 次の共振ピークを持っており，測定点 6 が上下方向に大きく振動していることが分かります。

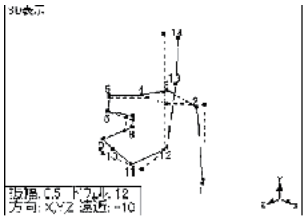
④ モード解析では吸入管の単体での共振の特徴を見出しましたが，実際に冷蔵庫に配管した状態での実稼動解析を行います。その結果，モード解析結果と同様，この実稼動解析結果から湾曲部で大きく振動していることが分かります。

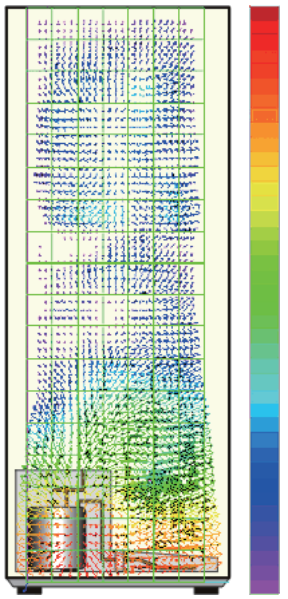


＜ ③吸入管の測定位置 ＞



＜ ③吸入管の伝達関数 ＞

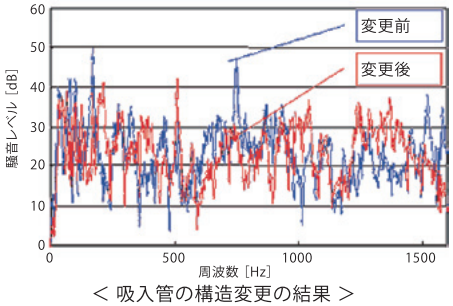

＜ ④吸入管の実稼働解析結果 ＞


＜ ①音響インテンシティマップ ＞
（冷蔵庫背面）

解析結果

騒音はその発生源である吸入管の湾曲部の共振を押さえることで対策出来ることがわかります。湾曲部の長さを短縮する構造変更を行い，構造変更の前後でのデータを比較して示します。音圧および振動加速度は構造変更前の 1/10 程度に改善されたことが分かります。





＜ 吸入管の構造変更の結果 ＞

応用例

- ディスクブレーキの鳴き音解析
- カメラ等のモータ駆動音の解析
- ドラム型洗濯機の振動・騒音解析



統計的エネルギー解析手法（SEA）を用いた食器洗浄機の騒音低減

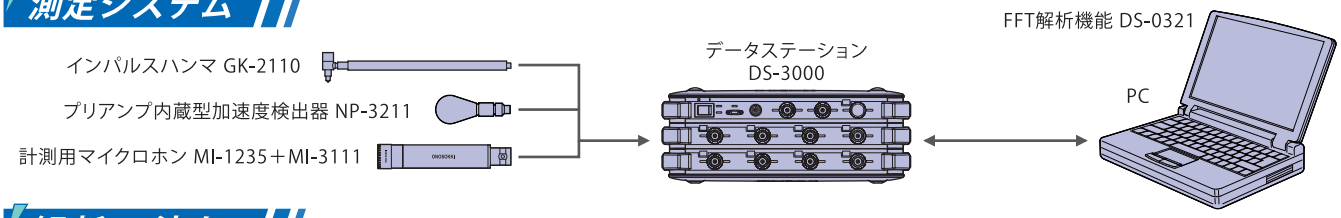
測定項目：FFT 解析，実稼働解析

概要

統計的エネルギー解析手法（SEA）は，モーダル解析においてモードの分離が困難な中・高周波数領域に有効な解析手法です。装置の部位ごとの振動・音のエネルギーの大きさや，装置全体のエネルギーの流れを周波数帯域毎に判断することができ，振動や騒音の低減に役立ちます。

本例では，加振実験および実稼働実験により測定した食器洗浄機の放射音と振動のデータを SEA で解析した事例を紹介します。

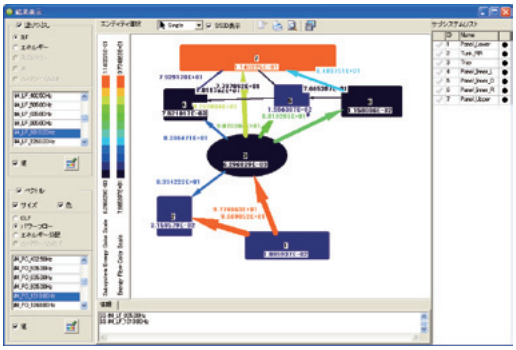
測定システム



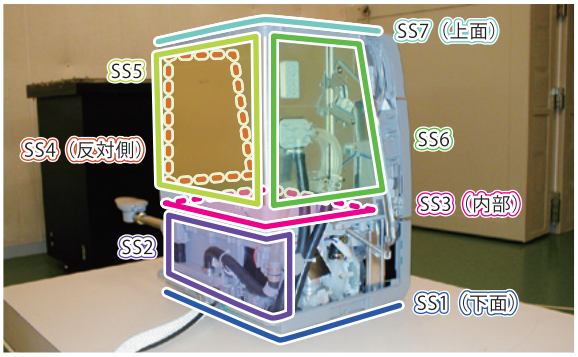
解析の流れ



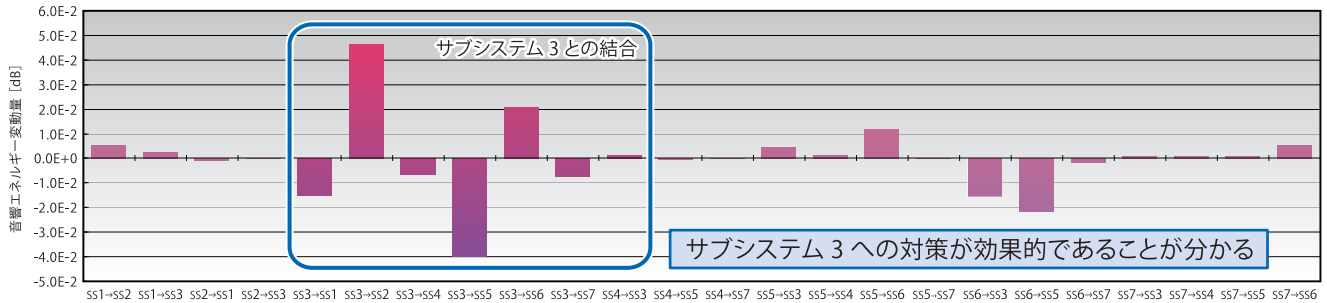
解析結果



＜ サブシステム間のエネルギーフロー図 ＞



＜ サブシステムの定義 ＞



＜ 結合損失率の 10% 増加に対する音圧の変動 ＞

食器洗浄機を 7 つのサブシステム（SS）として定義し，サブシステム内での損失（内部損失率）や，接続しているサブシステム間のエネルギーの流れやすさ（結合損失率）といった SEA パラメータを計算します。次に，実稼動（水流有り）時のサブシステムのエネルギーの大きさやエネルギーの流れを解析し，さらに，SEA パラメータの変更を検討することにより，サブシステム 3 への対策が騒音低減に効果があることがわかります。

応用例

- オフィス用レーザプリンタ
- 自動車用エンジン
- 自動車のボディ



集中ドアロック施錠音の主観評価

測定項目：ラウドネス，シャープネス

概要

自動車や家電など様々な業界において，低騒音化技術による静音化が一段落しつつあり，現在では音質の改善が行われるようになっています。例えば，自動車では車格に見合うような音作りや，掃除機では力強さ感を損なわないような音作りが行われています。

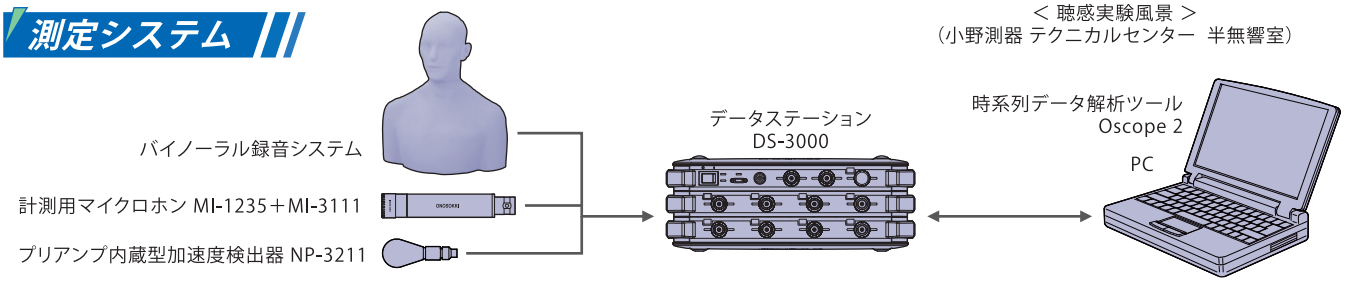
このような音作りを設計に反映していくには，主観的な評価だけでなく物理解析により得られた結果との関係性を求めることが重要になります。

本例では，単発的な過渡音である乗用車の集中ドアロック音を評価した事例を紹介します。



＜ 聴感実験風景 ＞
（小野測器 テクニカルセンター 半無響室）

測定システム



解析の流れ

① 対象となる複数車種の集中ドアロック音を収録します。
② SD 法による聴感実験を行い，主観量の評価を行います。
音源の提示回数を複数回にし，提示順をランダムにすると被験者毎でのバラツキも確認できます。
③ オクターブ解析，非定常音ラウドネス，シャープネスや時間軸波形のエネルギー前後比などの物理解析を行い，周波数と時間変化の両面から特徴を把握します。
④ ②と③の結果から，SD 法で用いた形容詞対毎に関連の深い物理量を見出し，物理量による特徴抽出を行います。

力強い	⇔	弱々しい
やかましい	⇔	静かな
忙しい	⇔	のんびりした
かたい	⇔	やわらかい
鋭い	⇔	鈍い
はっきりした	⇔	ぼんやりした
統一な	⇔	ばらばらな
重厚な	⇔	軽薄な
高級な	⇔	安っぽい
上品な	⇔	下品な

＜ 聴感実験に用いた形容詞対 ＞

解析結果

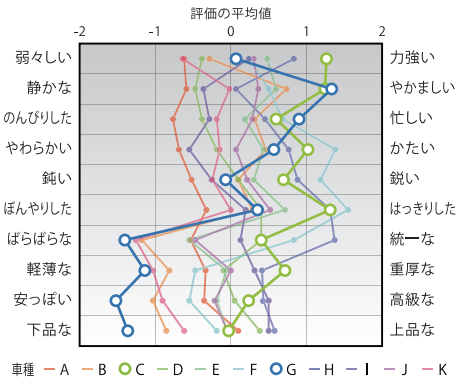
聴感実験の結果から，「やかましい」がほぼ同じ評価である C 車と G 車でも，音色を表現する「高級な」「上品な」などでは大きな違いがあるように，車種によって評価が異なっていることが捉えられています。

そして，物理解析結果との関係から，ラウドネスと相関の高い形容詞対と，シャープネスと相関の高い形容詞対があることが分かります。

シャープネスと相関の高い「高級な」についてみると，シャープネスの上位 20%値（S20）とは負の相関があることから，シャープネスが小さい方が高級な印象であることが分かります。また，
シャープネスのピーク（S0）と S20 との比では正の相関が高いことから，ピークとの差が大きい方が高級であることが分かります。このことから，ドアロック施錠音において，高級な印象を増すには全体的なシャープネスは小さくしつつもドアロックのタイミングにおいては，シャープネスがはっきりと感じられる方がよいことが想定できます。

	力強い	やかましい	忙しい	かたい	鋭い	はっきりした	統一な	重厚な	高級な	上品な
非定常音ラウドネス(N0)	0.726	0.815	0.902	0.892	0.763	0.813	0.308	0.199	-0.055	-0.231
非定常音ラウドネス(N20)	0.121	0.842	0.566	0.374	-0.043	0.000	-0.586	-0.393	-0.633	-0.804
非定常音ラウドネス比(N0/N20)	0.609	0.032	0.427	0.580	0.845	0.844	0.875	0.528	0.509	0.506
シャープネス(S20)	-0.409	0.341	0.158	0.182	-0.148	-0.195	-0.624	-0.774	-0.786	-0.753
シャープネス比(S0/S20)	0.709	-0.044	0.192	0.172	0.441	0.536	0.752	0.825	0.782	0.650

＜ 物理解析と主観評価の相関 ＞



＜ 聴感実験結果（SD法プロフィール）＞

応用例

- ドア閉め音 主観評価
- 掃除機の吸い込み音 主観評価
- ゴルフクラブの打音評価



主観評価に基づいた集中ドアロック施錠音の改良

測定項目：ラウドネス，シャープネス

概要

主観評価と物理解析により得られた結果の関係性を求めることによって，使用者の好みに合せた音作りの指針が得られ，製品としての付加価値を高めることができます。

本例では，「集中ドアロック施錠音の主観評価」の聴感実験結果を因子分析し，その結果からドアロックの機構に対策を行うことによって，ドアロック施錠音を改良した事例を紹介します。

解析の流れ

① SD 法による聴感実験結果について，因子分析を行います。
2 つの因子が抽出でき，第 1 因子は「高級な」など音色を表現しているため「美的因子」とします。第 2 因子は音の大きさを表しているだけでなく，音の立上りや立下りの影響もあると考えられるため「衝撃因子」とします。
美的因子が大きいほど統一感がある高級な音で，衝撃因子が大きいほど立上りが鋭く衝撃性がある音と考えられます。

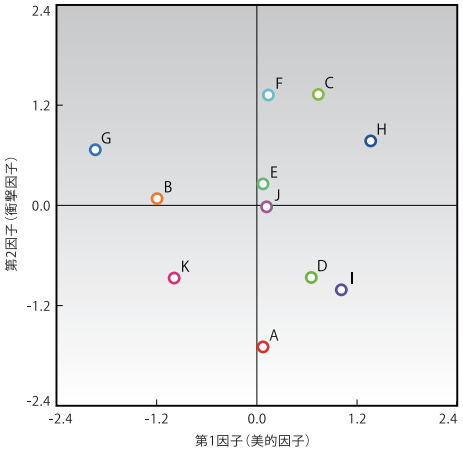
② 抽出した因子と相関の高い物理値を見つけ出します。
聴感実験と物理値解析の結果から，美的因子はシャープネスと，衝撃因子はラウドネスとの相関があることが分かります。
（事例「集中ドアロック施錠音の主観評価」参照）

③ 音を変化させるための対策を行います。
今回は「衝撃因子」を下げ「美的因子」を上げるための対策を行い，衝撃性を下げつつ，より高級感のある音作りを目指します。
全体的にはラウドネスとシャープネスを小さくし，ピークにおけるシャープネスだけははっきりとさせ，ピーク（ロックするタイミング）に至る音の立上りも急峻にするようにします。
具体的には以下の対策を行います。
・電源ラインの変更： 各ドアロックアクチュエータへの電源線の長さと太さを統一し，ロックのタイミングを合わせます。
・機構部の振動低減： ロックシャフトとアクチュエータに制振材を貼り付けて振動を低減します。また，ロック動作時に稼動範囲を制限するプラスチック部分にゴム材を貼り付け，打撃力と高周波数帯域を低減します。

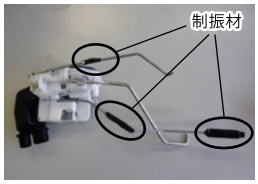
④ 対策前後の音を物理解析し，想定した音作りが行えているか確認するとともに，聴感実験を行い主観的な評価も変化しているかを確認します。

形容詞対	第1因子（美的因子）	第2因子（衝撃因子）	共通性
高級な ー 安っぽい	0.978	-0.062	0.961
上品な ー 下品な	0.970	-0.218	0.989
重厚な ー 軽薄な	0.909	0.176	0.857
統一な ー ばらばらな	0.863	0.357	0.873
かたい ー やわらかい	-0.003	0.973	0.948
忙しい ー のんびりした	-0.262	0.938	0.948
鋭い ー 鈍い	0.375	0.861	0.883
はっきりした ー ぼんやりした	0.424	0.885	0.964
やかましい ー 静かな	-0.460	0.804	0.858
力強い ー 弱々しい	0.493	0.754	0.812
寄与率	43.1%	47.8%	
累積寄与率	43.1%	90.9%	

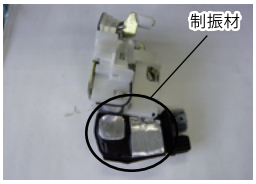
＜ ①因子分析結果 ＞



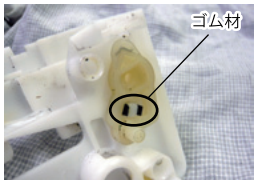
＜ ①因子分析結果 散布図 ＞



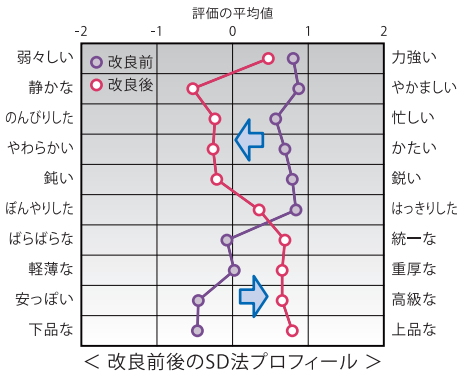
＜ ③ロックシャフトの制振 ＞



＜ ③アクチュエータの制振 ＞



＜ ③打撃部のゴム ＞



＜ 改良前後のSD法プロフィール ＞

解析結果

改良後は「力強い」を始めとする形容詞対の評価は低くなっていて，「衝撃因子」が小さくなっていることが分かります。一方，「高級な」などで表される「美的因子」は大きくなっています。

このように主観評価と関係性の高い物理値を明確にし，その物理値を増減する対策を行うことが，主観的な音作りにも役立ちます。

応用例

・ドア閉め音 音質改善
・掃除機の吸い込み音 音質改善
・ゴルフクラブの打音 音質改善



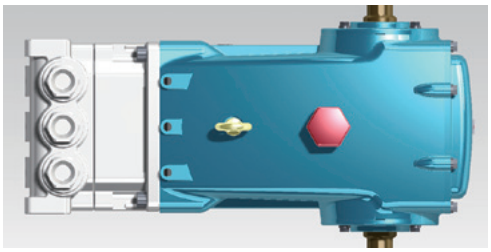
プランジャーポンプの音質改善

測定項目：ラウドネス，実稼働解析，モード解析

概要

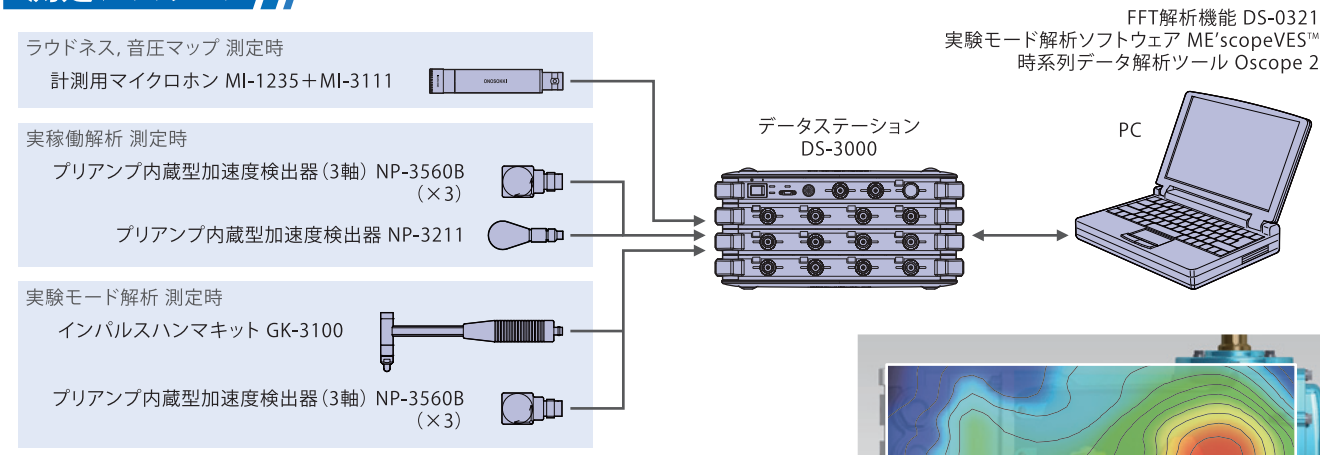
騒音の対策を行う際，音質評価指標の１つであるラウドネスを用いると，耳障りな周波数帯域の特定や，対策前後の効果を定量的に把握しやすくなります。そして，対象とする帯域の音源，振動源，および構造体としての固有の振動特性を明確にすることで，効率の良い騒音対策の設計変更が行えます。

本例では，プランジャーポンプから放射される騒音の音質を改善した事例を紹介します。



＜ プランジャーポンプの上面図 ＞

測定システム



解析の流れ

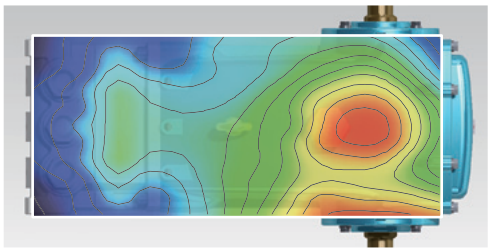
騒音の把握
音圧分布を測定し，音源となる部位と周波数帯域を特定します。

振動源の把握
実稼動時の振動測定を行い，振動源となる部位を特定します。対象となる周波数の振動形状から，振動源と音源が一致していると判断できます。

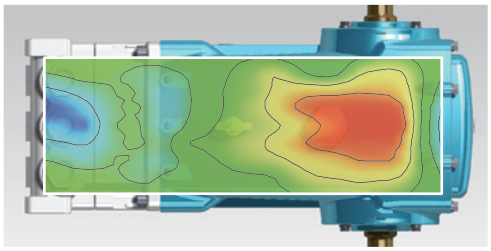
モード解析
モード解析から得られる固有モードと実稼動解析により得られる特徴的な周波数の相関から，共振が発生しているか把握します。

振動源の対策
設計変更を行い，試作品を製作します。

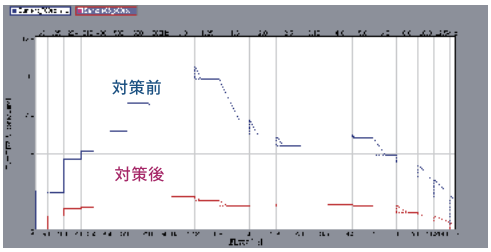
騒音測定
対策前後のラウドネスを比較し，音質改善の効果を確認します。



＜ プランジャーポンプ上面の音圧分布 ＞



＜ プランジャーポンプ上面の振動分布 ＞



＜ 対策前後のラウドネス比較 ＞

解析結果

騒音発生の主な原因は，振動源で起こる固有振動との共振にあることが分かります。これにより，装置全体の対策ではなく，共振を抑える局所的な設計変更で騒音を低減できます。

その結果，対策前後でラウドネスは約 1/4 になり，聴感的には音の大きさが 1/4 になっている事を示しています。また，周波数特性も平坦になっていることから音質の改善も行えていることがわかります。

応用例

- 自動車用シートのスライド音
- コンパクトカメラのズーム音
- 小型コンプレッサ音



SoundPLAN® を用いた工場騒音の予測

関連規格：騒音規制法，騒音に係る環境基準

概要

大規模な建設・土木開発が行われる際，周囲の自然・生活環境に及ぼす影響を建設計画の段階で評価する「環境アセスメント（環境影響評価）」を，自治体は事業者へ義務付けています。「騒音」は重要な評価項目であり，環境基準値，または騒音規正法の規制値をクリアすることが建設条件の一つとなります。

当社では環境騒音予測ソフトウェア SoundPLAN® を用いた環境騒音の予測を行います。道路建設のような土木事業，建設工事，工場の騒音対策検討など幅広く対応可能です。

本例では，工場から放射される騒音の予測を計算の流れに沿って紹介します。

計算の流れ

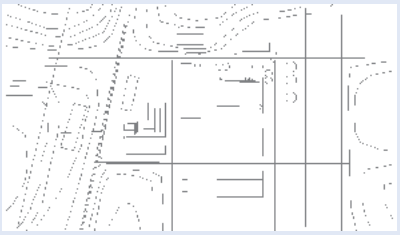
① 配置図のインポート（DXF ファイル），または配置図面の画像ファイルの取込

② 周波数特性の入力
- 騒音源パワーレベル，稼動スケジュール
- 防音壁等の吸音率
- 建屋透過損失，吸音率

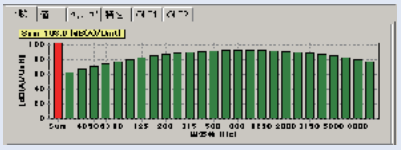
③ 予測対象モデル作成
- 地形，障害物等
- 騒音源の位置や形状

④ 計算
- 敷地境界等の受音点
- 水平面，垂直断面の音圧レベル分布

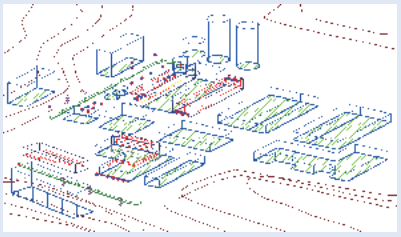
⑤ 結果表示
- 評価
- 目標値との比較による評価，各騒音源の寄与度の分析



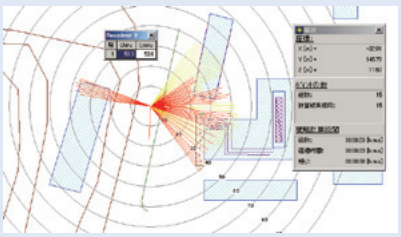
＜ 配置図のインポート ＞



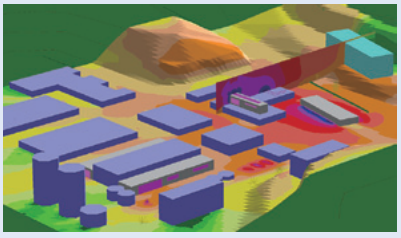
＜ 周波数特性の入力 ＞



＜ 予測対象モデル作成 ＞



＜ 計算 ＞

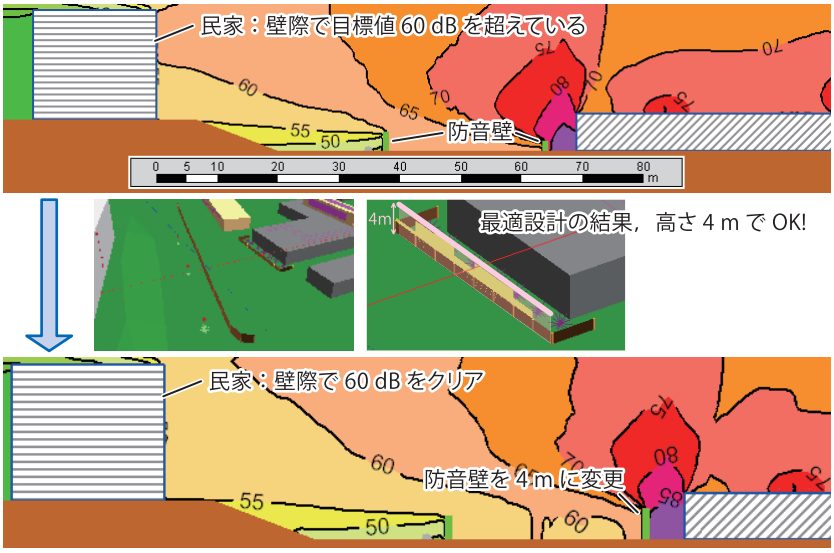


＜ 結果表示 ＞

計算結果

計算結果（上図）から，西側の民家（集合住宅）の壁面で目標値 60 dB を超過する可能性があることがわかります。そこで，点音源を囲う防音壁の適切な高さを検討するために，防音壁の最適設計を試みたところ，目標値を下回るためには防音壁の高さを 4 m にすればよいことがわかります。

計算結果として示した垂直断面音圧レベル分布は，いずれも反射，および側方回折を考慮しています。



応用例

- 建設工事によって発生する騒音
- 大規模小売店舗から発生する騒音
- 道路交通騒音，在来鉄道騒音



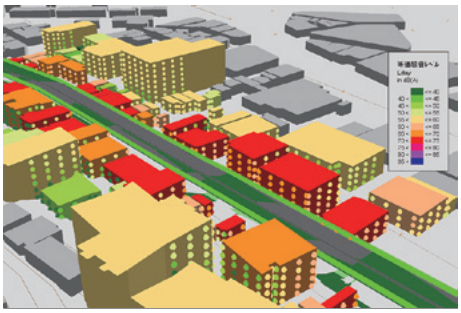
SoundPLAN® を用いた道路交通騒音の予測

関連規格：ASJ RTN-Model

概要

道路の新設にあたっては，「環境影響評価」において事前に周辺の騒音環境がどのように変化するかを予測し，騒音の影響が大きくなる場合にはその対策を行うことが義務付けられています。

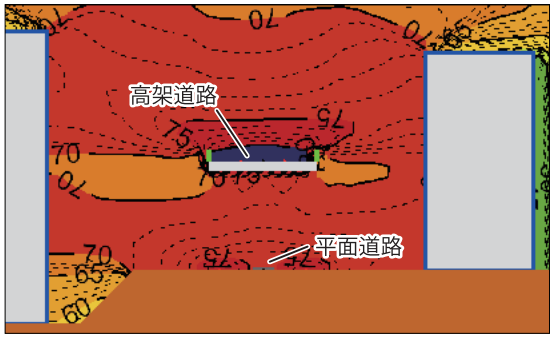
本例では，環境騒音予測ソフトウェア SoundPLAN® を用いて，道路沿道の防音対策を検討した事例を紹介します。



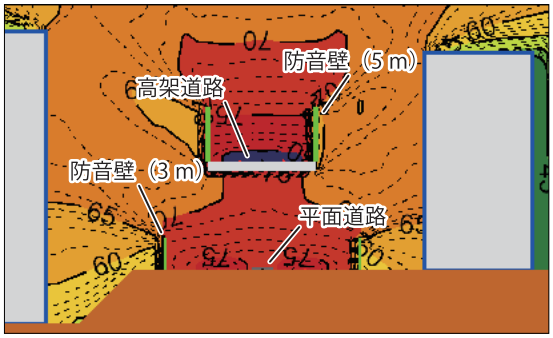
＜ 建物壁面におけるL_{Aeq}の表示例 ＞

測定結果

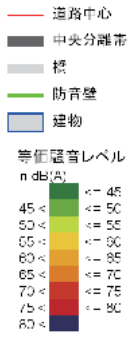
高架道路と平面道路が併設された幹線道路沿道の建物において，騒音の環境基準（昼の等価騒音レベル（L_{Aeq}）70 dB）を上回るので，高架道路に高さ 5 m，平面道路沿道にも高さ 3 m の吸音性防音壁を設置しました。その結果，建物壁面における L_{Aeq} が 70 dB を下回り，環境基準を下回ることができることがわかります。



＜ 対策前 ＞



＜ 対策後 ＞



建設機械の騒音伝搬における実測と予測との比較

関連規格：ASJ CN-Model

概要

建設作業による騒音の苦情数は，実際に報告される騒音の苦情数の約 1/3 を占めます。そこで建設作業の主たる騒音源となる建設機械における騒音を把握する事は，周辺より苦情を受けない円滑な作業に繋がります。

本例では，土木，建築工事で使用する建設機械の騒音伝搬を，実測と環境騒音予測ソフトウェア SoundPLAN® での予測とで比較した事例を紹介します。

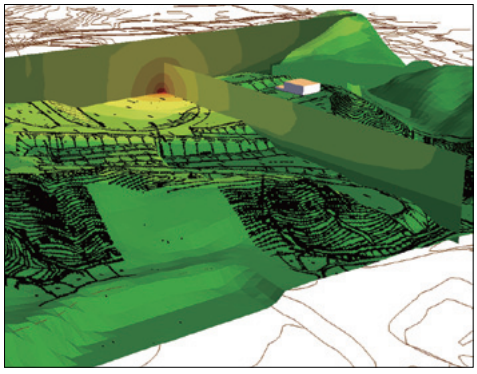
測定結果

概ね実測値と計算値との差は ±3 dB となっています。

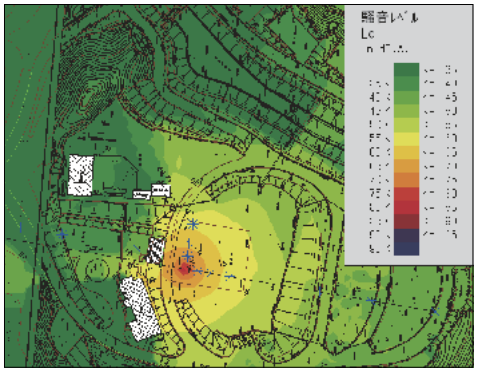
予測計算において音響パワーレベルの設定と，伝搬する際の障害物，吸音面，反射面のモデル化をなるべく精緻に行えばその精度は高まりますが，それに相反して計算時間が長時間となる欠点もあります。しかし，SoundPLAN® ではそれらをバランスよく設定する事により前記程度のレベル差での予測計算が可能となります。

比較点	計算結果	測定結果	差
10m点 A測線	69.1	67.8	1.3
10m点 B測線	69.3	69.7	-0.4
20m点 A測線	63.3	62.4	0.9
20m点 B測線	63.7	64.5	-0.8
35m点 A測線	58.6	58.6	0.0
35m点 B測線	59.4	60.5	-1.1
105m点 A測線	49.4	47.7	1.7
145m点 B測線	45.1	42.9	2.2
190m点 B測線	42.5	41.2	1.3
建物裏 40m点	43.2	45.6	-2.4
建物裏 92m点	36.8	37.2	-0.4

＜ 計算結果と測定結果の差 ＞



＜ 三次元表示 ＞



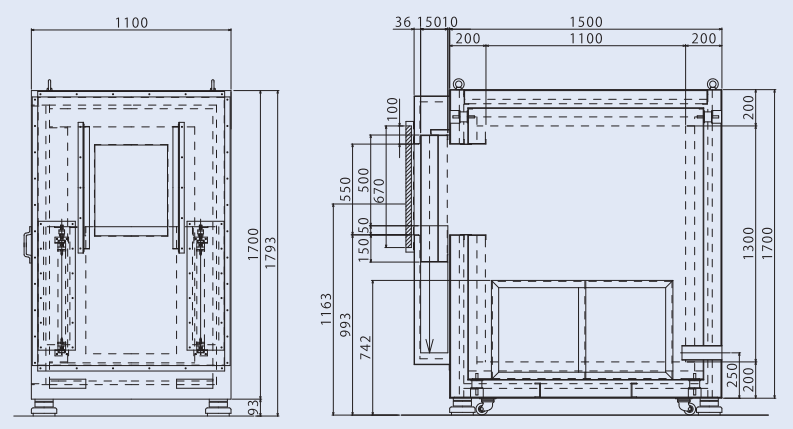
＜ 水平面 ＞

ライン検査用無響箱の製作

概要

製造ラインで音の検査を行う場合，外部騒音を遮断するために無響箱を設置する必要があります。
比較的うるさい製造ラインの騒音を防ぐための高い遮音性能，大型無響室の性能に近づけるための高性能な内部壁面の吸音特性が必要になります。一方，その要件を満たそうとすると箱が大型になり，製造ライン側として，できるだけ箱を小さくしたい，タクトを短くするために密閉度の低い自動扉を使用したい等の要件と相反するケースが多くあります。
本例では，設計仕様と製造ライン側の要求をすり合わせて製作した，電動部品の検査用自動扉付ライン検査用無響箱を紹介します。

無響箱構成



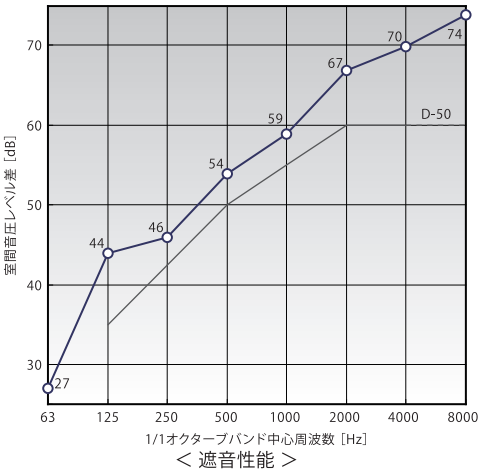
＜ ライン検査用無響箱寸法図 ＞



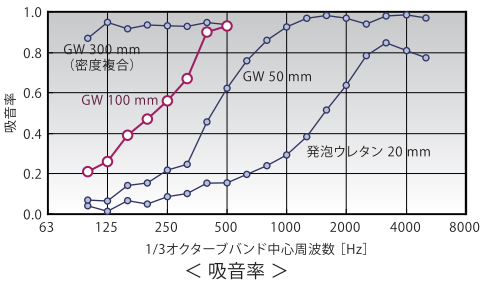
＜ ライン検査用無響箱（自動扉付）＞

音響性能

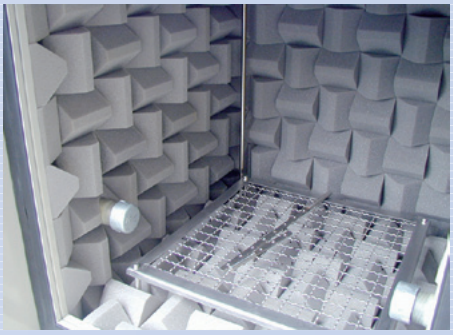
本無響箱は設置寸法制約から限定された薄い壁厚の中に二重箱構造を作りこむことにより，遮音等級 D-50 以上の室間音圧レベル差（遮音性能）を確保しています。
また，内壁の吸音材は測定対象の特性から，630 Hz 以上の周波数帯域で検査が可能になるように，100 mm 厚さのグラスウール（GW）を採用しています。



＜ 遮音性能 ＞



＜ 吸音率 ＞



＜ 製作事例：簡易無響箱内部（音圧測定用）＞



＜ 製作事例：小型残響箱（音響透過損失測定用）＞

納入実績

- 自動車，家電メーカ（無響箱）
- 部品メーカ（無響箱）
- 部材メーカ（残響箱）



音響試験室（製品検査用無響室）の施工

関連規格：JIS Z8732

概要

音響測定を行うには，その環境条件により結果が大きく左右されます。そのため，測定内容に合わせた最適な音響試験室を用意する事が必要です。しかし，音響試験室と一言で言っても様々な形態があります。それらは大きく下記の項目を考慮して設計されます。

・測定対象物が発生している音の大きさの把握
　→　試験室内の暗騒音の設定
・試験室を施工する場所の騒音の大きさの把握
　→　測定対象物の発生音との関係により試験室の遮音性能の設定
・測定対象物が発生している音の周波数の把握
　→　試験室内の吸音性能の設定

これらを明確にして設計を行わなければ，要求を満足できる試験室にはなりません。弊社はこれらを設計段階から対応し，竣工後，音響性能測定を行ってからお引渡しを行っております。

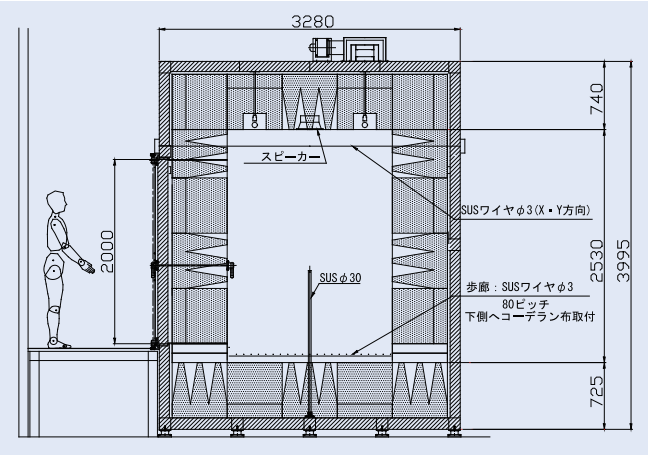
本例では，当社製品の性能検査（騒音計の製品検査･校正，騒音計の検定（指定製造時業者），騒音計の JCSS 校正（JCSS 認定事業者），マイクロホンの JCSS（JCSS 認定事業者））を行う無響室を紹介します。

試験室構成





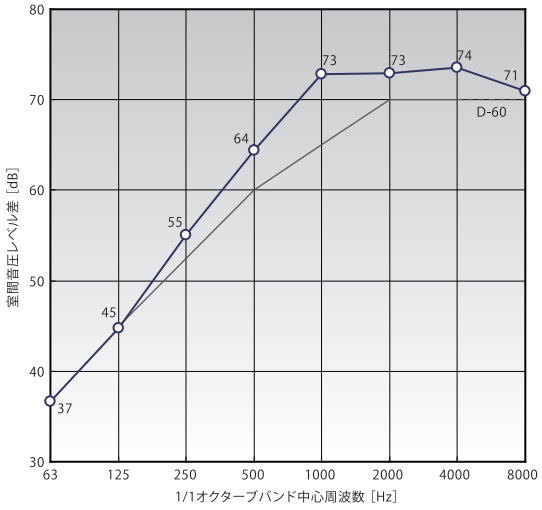
＜ 小野測器宇都宮 マイクロホン製品検査用無響室 ＞



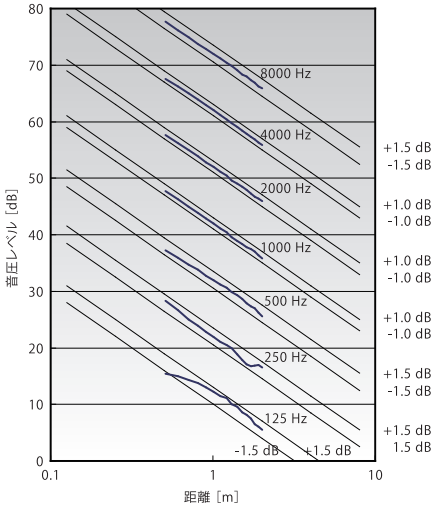
＜ 断面図 ＞

測定結果

室間音圧レベル差は遮音等級 D-60 となり，日本建築学会指針の「集合住宅・ホテルの特級」も上回る高いレベルです。
また，JIS Z8732 を満足できる逆二乗特性の範囲は，スピーカ面より 50 cm ～ 1.7 m（スピーカ中心軸上：1/3 オクターブバンド中心周波数 100 Hz ～ 12.5 kHz）と広い範囲を満たしています。



＜ 遮音性能 ＞



＜ 逆二乗則特性 ＞

納入実績

・自動車メーカ，自動車部品メーカ
・事務機器メーカ
・ハードディスクメーカ 他多数



半無響室・残響室のレンタル

関連規格：JIS Z8732

概要

音響測定には，目的に合った環境が必要になります。
当社では，半無響室，残響室のレンタルを行うともに，ご要望に応じて機材の貸出しと専門スタッフによる測定のサポートを行います。



＜ 無響室 ＞



＜ 半無響室 ＞



＜ 残響室 ＞

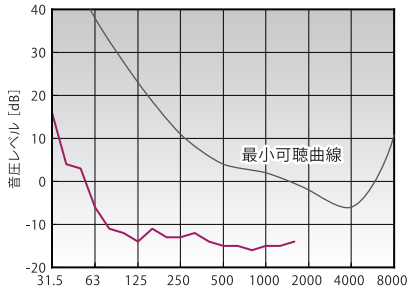
実験室構成

●無響室
有効寸法：7.0（W）×7.4（D）×5.4（H）m
NC-0 以下，吸音楔長は 1.7m の日本トップクラス性能です。
●半無響室
有効寸法：8.2（W）×7.9（D）×5.4（H）m
NC-20，マイクロホントラバース装置（9ch）も備えています。
●残響室
有効寸法：6.7（W）×8.4（D）×5.4（H）m （受音室）
残響時間 20 秒以上（125 Hz），低い周波数まで測定可能です。

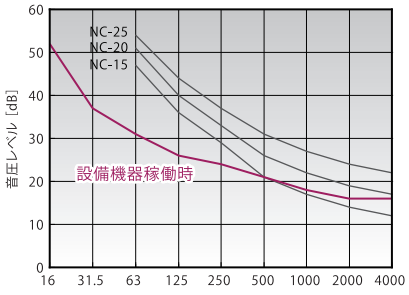


所在地：神奈川県横浜市緑区白山 1-16-1（株）小野測器　テクニカルセンター内

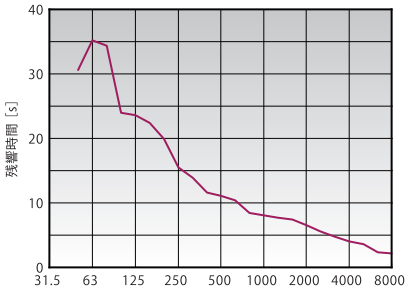
音響性能



＜ 無響室 室内騒音レベル ＞



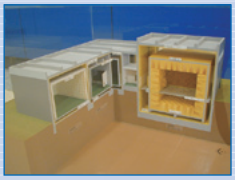
＜ 半無響室 室内騒音レベル ＞



＜ 残響室 残響時間（受音室）＞

使用例

無響室：　マイクロホンやスピーカの特性測定，10 dB 以下の放射音測定
半無響室：事務機器の音響パワーレベル測定，聴感評価試験
残響室：　室外機の音響パワーレベル測定，自動車や電機用部材等の音響透過損失測定



音響・振動のコンサルタント

音響・振動の計測・実験からその評価・対策まで，お客様固有の問題解決のための受託測定やコンサルティングを承ります。
詳しくは最寄の当社営業所までお問い合わせください。



小野測器主催 音響・振動技術セミナーのご案内

当社では，音響・振動関連製品を使いこなしていただくことを目的として，音響・振動技術セミナーを開催しております。
各技術に精通した専門講師陣により，セミナーを受講される皆様に，バックグラウンドとなる技術知識と，ノウハウ を効率よく学習していただけます。
詳しくは，当社ホームページ，お客様相談室，最寄の当社営業所へお問い合わせください。

Aコース　FFTアナライザの基礎と実習

「FFT アナライザを使ってみたいが難しそう」と思われている方，また「今まで FFT アナライザを操作してきたが今ひとつよくわからない，もう一歩踏み込みたい 」と思われている方を対象とした FFT 解析の基礎セミナーです。本セミナーでは，FFT 解析の基本原理と基礎知識の講習を通して，普段なかなか接することのない解析の背景をご理解いただき，さらに FFT アナライザの実機操作を通して，測定時のポイントなどを習得します。

Bコース　FFTアナライザによる振動解析の基礎

振動の基礎，振動解析，振動低減，防振技術を学びたい方，FFT アナライザを使用して振動計測・解析を行いたい方を対象とした振動解析の基礎セミナーです。FFT アナライザの重要な応用分野である振動解析を中心として，まず「振動とは」から始まり，振動の理論から振動センサについて，また重要な関数である伝達関数の意味や実際の測定方法について，講習と実機操作を通して，基本的な知識と測定技術を習得します。

Cコース　音響測定の基礎と実習

音響測定をこれから始めようとされている方，あるいは騒音・音響測定の基本技術を習得したいと思われている方を対象とした，音響測定の基礎セミナーです。音の性質から音響測定に関わる用語，概念の解説を行なった後，騒音計やマイクロホンなどの音響測定に使用される測定機器の解説と実習，および周波数分析手法の実習を通して，基本的な知識と測定技術を習得します。

カスタマーサポート

計測の基礎，FFT 解析ソフトウェアの簡易手順書などをホームページで公開しております。
詳しくは，当社ホームページ，お客様相談室，最寄の当社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。お問合せは、当社の最寄りの営業所または当社総務法務課（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	広島	(082)246-1777
埼玉	(048)474-8311	トヨタ	(0565)31-1779	九州	(092)432-2335
首都圏	(045)935-3838	中部	(052)769-6571	海外	(045)935-3918
沼津	(055)988-3738	関西	(06)6386-3141		

ホームページアドレス　http://www.onosokki.co.jp/
E-mailアドレス　webinfo@onosokki.co.jp

CAT.NO.1647-05 Printed in Japan 154 (ONO)1K '15.4月改訂