音響インピーダンス測定(3)
-さらに局所・複雑形状・狭空間へ-

2026 年 10 月 21 日

6 音響インピーダンス測定

6.6.不均質材料の測定
単一の 4 分の 1 波長共鳴器
表面上の移動（x 軸）
共鳴器内部での移動（z 軸）
クント管による参照
4 分の 3 波長試料
クント管との比較
6.7. スリット付きパネル吸音材の測定
6.8. 声道インピーダンスの測定
6.9. 鏡像音源法
鏡像音源法：試料サイズの影響
鏡像音源法：環境の影響
6.10. 参考文献

6.6. 不均質材料の測定

本段落は[28]の要約である．一部の材料では，その音響特性が位置によって異なる場合がある．不均質材料の特性は，表面インピーダンス法を用いて測定される．ここでは，各位置における反射係数を求める局所インピーダンス測定の初期結果を提示する．これらの局所測定値は表面全体で平均化され，より広い表面の平均特性を測定する PU クント管法（PU Kundt's tube method）による結果と比較される．

低周波数域では音場が球状となるため，PU 表面インピーダンス法を用いた補正が必要となる．ただし，本研究で対象とする周波数は比較的高い領域にあるため，これらの補正は適用していない．

1/4 波長共振器

インピーダンスの局所的な変動を調べるために，単一の四分の一波長共鳴器を備えた剛体板が選定された（図 6.52）．115×115mm の平坦な鋼板に，長さ 62mm，直径 5.5mm の管が取り付けられている．この管は，四分の一波長が管の長さと一致する周波数（およびその高調波）において，主に局所的な吸音を行う．共鳴器の表面および内部を走査するために，小型の「PU マッチ」プローブが使用される．

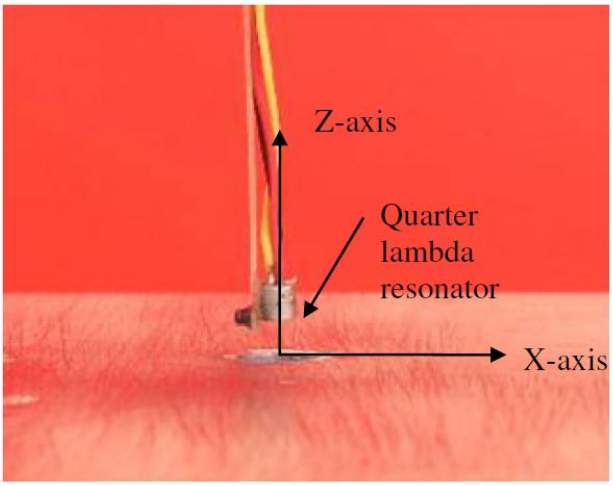


図 6.52：4 分の 1 波長サンプルに対し，Z 軸方向に感度を持つ PU 型インピーダンスプローブ．

表面上の移動（x 軸）

プローブは板の 3mm 上方に配置され，管の真上（x=0mm）から板に沿って移動させられる．その結果を図 6.53 および図 6.54 に示す．ここで示されるオートスペクトルは絶対値ではなく，自由音場校正によって正規化されたデシベル単位の偏差である．0dB という値は，自由音場状態であることを表す．なお，板の上方におけるインピーダンスは主に粒子速度によって決まり，音圧はほぼ一定に保たれることに留意すること

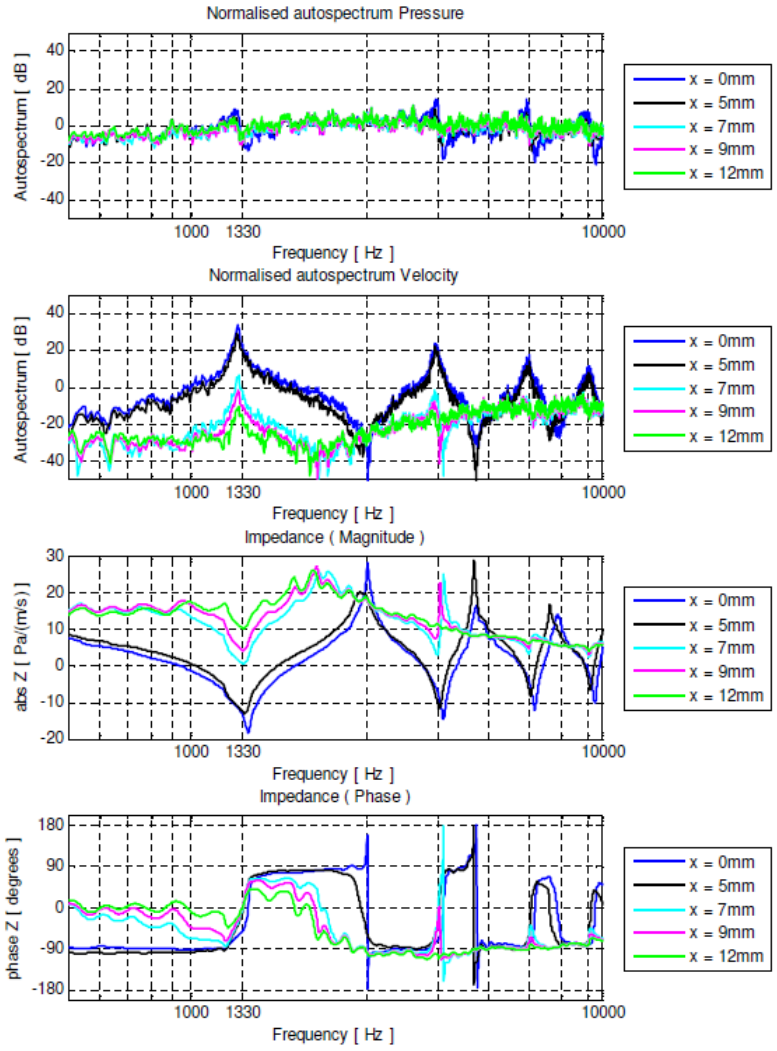


図 6.53：表面から 3mm の複数の位置における自己スペクトルおよびインピーダンス．

図 6.54 では，1330Hz において興味深い現象が観察される．共振器付近（x=7mm）では吸収率が 100%に達する一方で，共振器の直上（x=0mm）ではほぼ 100%の反射が生じている．この周波数では虚部がゼロであるため，実部のみを考慮すれば十分である．管の上方における反射は，大きさは 1 だが位相が反転しているため，値は-1 となる．管内部ではほぼすべてのエネルギーが反射されることを踏まえれば，これは理にかなった結果である．反射率や吸収率を算出する際には絶対値が用いられるため，こうした位相に関する情報は失われてしまう．

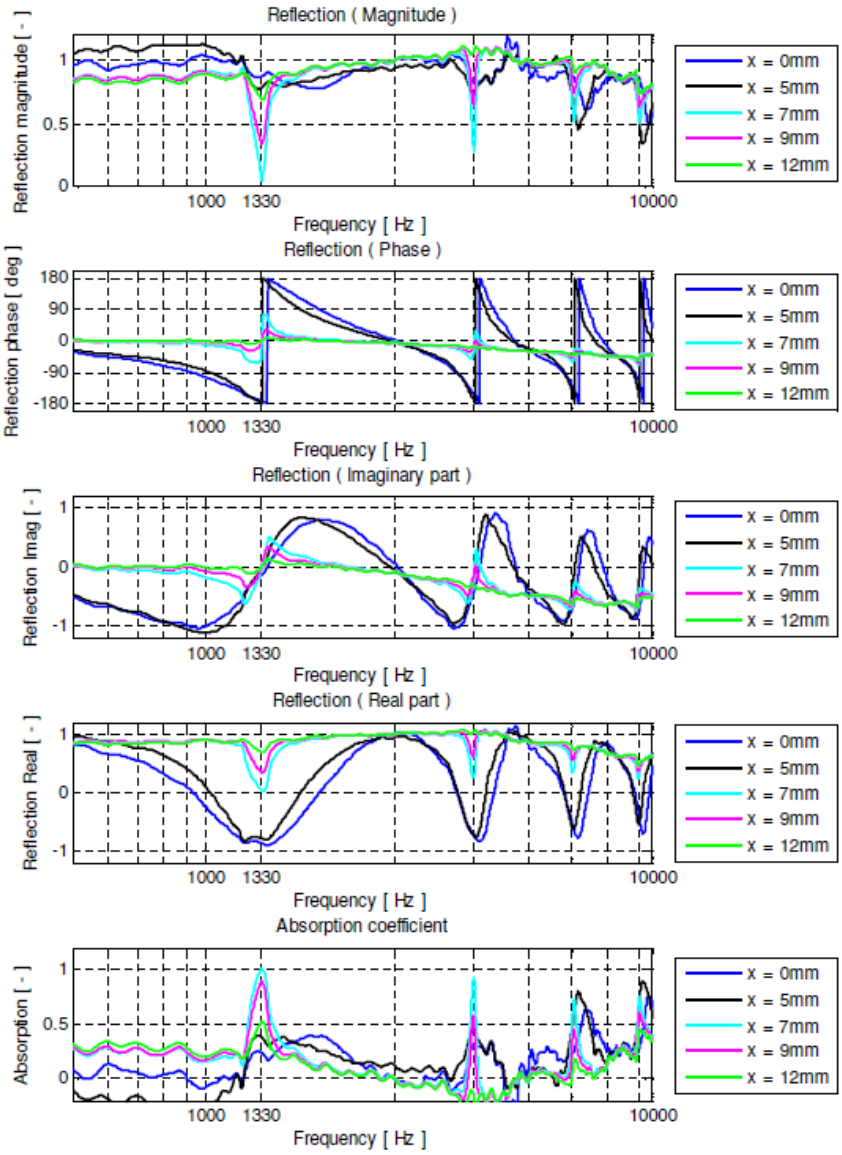


図 6.54：表面から 3mm の複数の位置における反射と吸収.

1330 Hz において，反射の「実部」が-1 になり得るのは，管の真上のみである．より広い範囲を対象とした場合，-1 とは異なる，より平均化された値が測定されることになる．つまり，この手法の空間分解能はミリメートル単位である必要がある．

共振器内の動き（z 軸）

次に，プローブをチューブ内部（z＝-14 mm）からプレート表面（z＝0 mm），さらにはプレート上方（z＝6 mm）へと z 方向に移動させる（下記参照）.

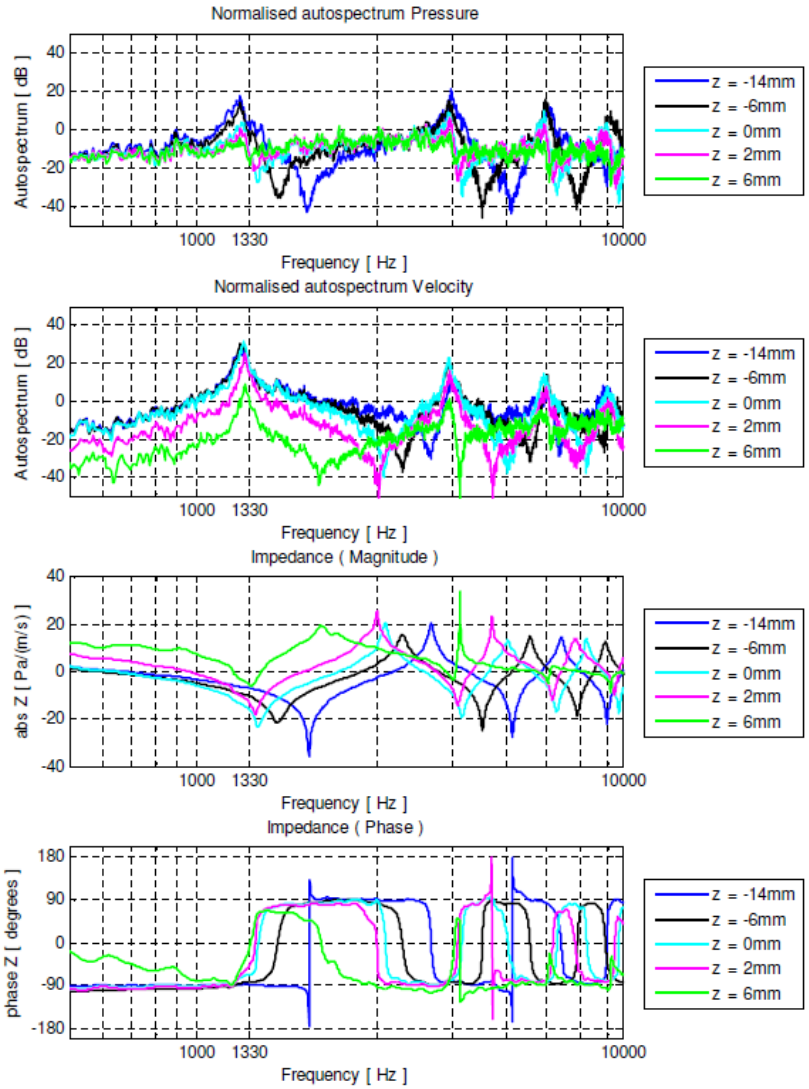


図 6.55：z 軸方向（管内および管外）の自己スペクトルとインピーダンス.

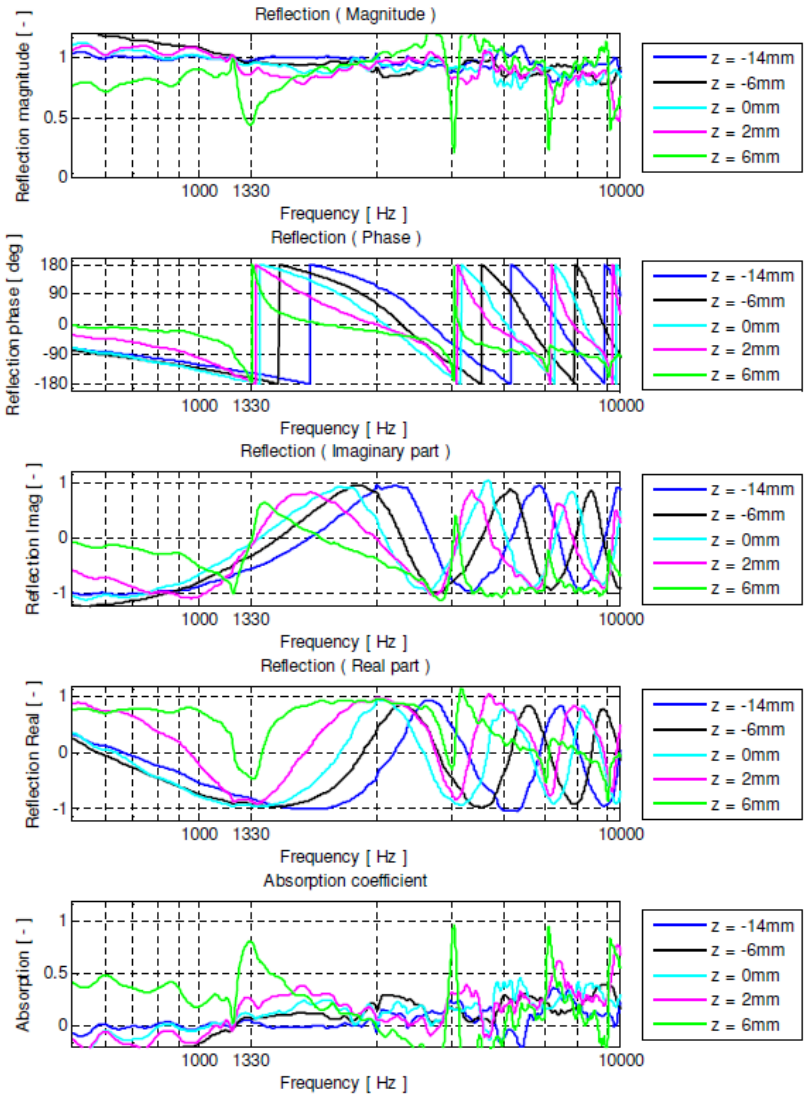


図 6.56：z 軸方向（管への入射および管からの出射）における反射と吸収.

管外の圧力はあまり変化しないのに対し，管内では大きな圧力変動が生じる．このことは，圧力測定のみに基づいて管外のインピーダンスを推定すること（例：田村法）が困難である理由を説明しているかもしれない．一方，管内で十分なダイナミックレンジが確保できれば，推定は可能である（クント管法）.

クントの管（参考）

比較のため，同一の試料を PU プローブ（クント管法 [1], [4], [5]，図 6.57 参照）を用いて測定した．このクント管は 46×46 mm の正方形断面を有しており，3500 Hz の遮断周波数（カットオフ周波数）未満では，音波は一次元方向にのみ伝搬する．共鳴器付きの板をクント管の端に直接取り付けることができるため，試料の再配置に伴う音響特性の変化といったリスクを回避でき

る．

壁面共鳴器の吸音特性は，管の直径と管同士の間隔との比率に依存する [8]．測定の結果，比較的大きな板に配置された単一の管は，特定の周波数（1320 Hz）においてほぼすべての音を吸収することが示された．この周波数は，局所自由音場測定によって管の近傍で測定された周波数（1330 Hz）とほぼ一致している．

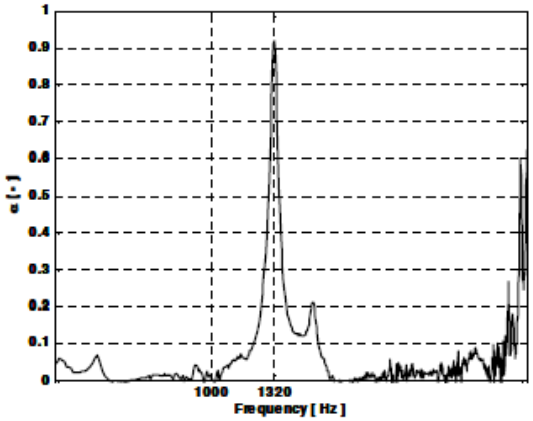


図 6.57：クント管における 1/4 波長共鳴器の吸音．

4 分の 3 波長サンプル

図 6.58 に示すように，同一試料の全面について，表面から 3mm の距離で 5×5mm のグリッド（計 81 点）を用いて測定を行う．この際，各チューブは，それぞれの固有共鳴周波数において試料に音を吸収させている．

試料の各領域が観測されるため，これらの測定結果を組み合わせることで，試料全体の挙動が示されるはずだ．その結果は，クント管による測定結果と比較することが可能である．

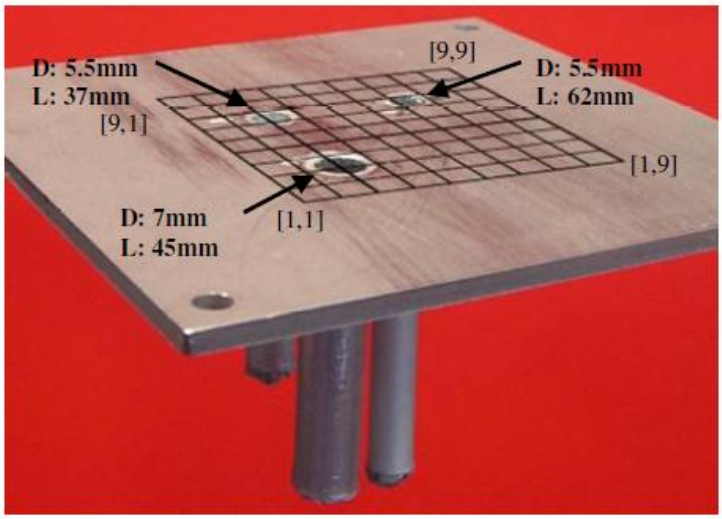


図 6.58：4 分の 3 波長共振器を備えたサンプルの測定グリッド．

以下の図では，各管の第 1 共振周波数（それぞれ 1330 Hz，1841 Hz，2218 Hz）における結果がプロットされている．ここでは，当該の管において反射係数の実部が-1 となることが示されている．その位置では，反射の絶対値および吸音率はゼロとなる．

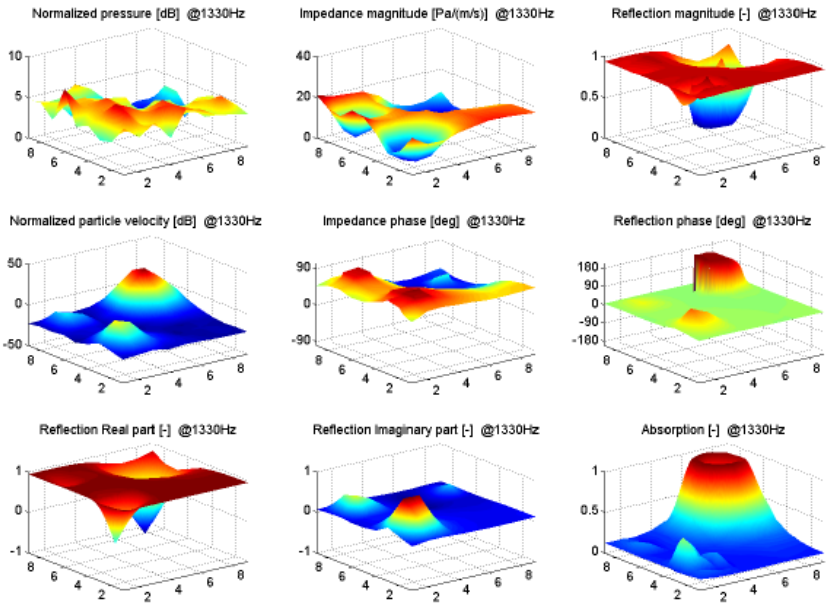


図 6.59：1330 Hz における 3 本の管．上側の管が最も支配的である（l = 62 mm），位置 [7,7]

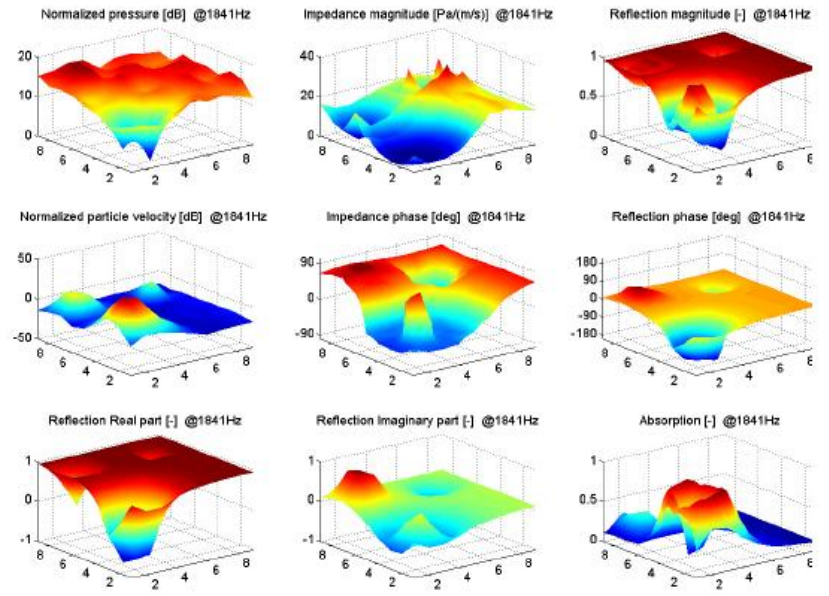


図 6.60：1841 Hz における 3 本の管．下側の管が最も支配的である（l = 45 mm，位置[3,3]）．

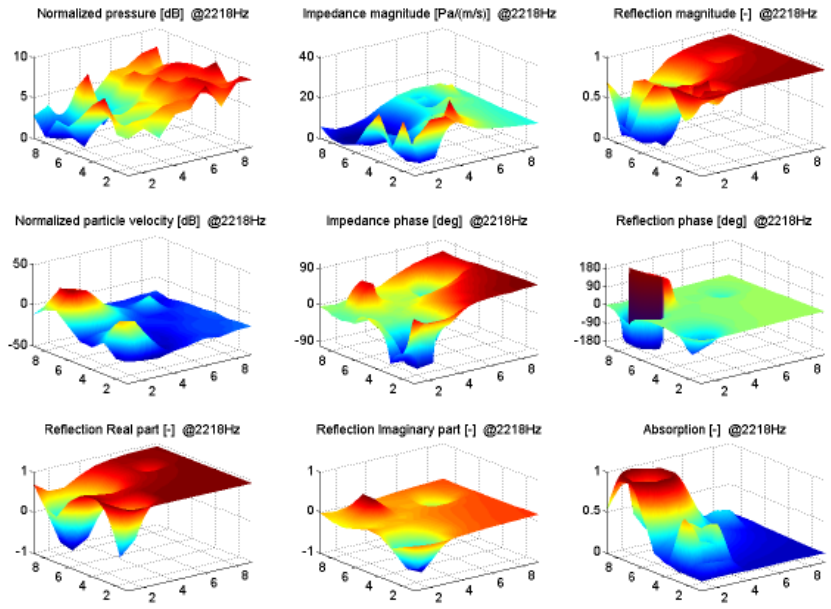


図 6.61：2218 Hz における 3 本の管．下の管が最も支配的である（l = 37 mm，位置[7, 3]）．

クントの管の比較

板近傍における平均音圧および粒子速度の値を用いて，被覆面の有効インピーダンスを算出することができる．

$$Z = \frac{\sum |p| e^{i\varphi_p}}{\sum |u| e^{i\varphi_u}} \tag{6.43}$$

この有効インピーダンスを用いれば，試料全体の反射および吸音特性を求めることが可能である．図 6.62 にクント管（Kundt's tube）を示すが，局所的な測定から得られた有効インピーダンスは，これらと整合する結果を示している．

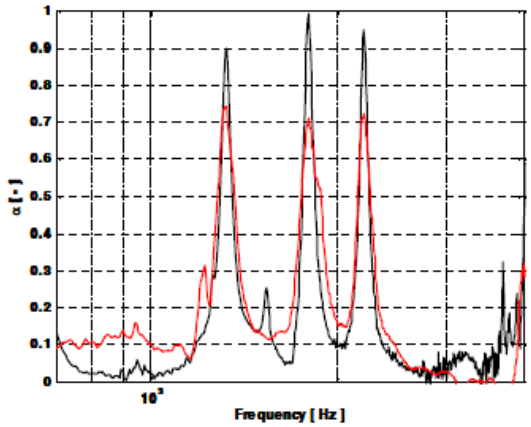


図 6.62：3 本の管からなる試料のクント管応答（黒線）および局所測定による有効インピーダンス（赤線）

試料の配置に起因する誤差を避けるため，プレートはクント管の端に直接設置される．しかし，クント管内では試料の領域が影響を受けるため，試料の特性が変化してしまう．壁面に設置された λ/4 共鳴器の吸音率は，管の直径と管周辺の領域との関係によって決まる．クント管の寸法に起因する試料領域の意図しない変化が，ピーク時における両手法間の差異の一因となっている可能性がある．

6.7. スリット付きパネル吸音体の測定

本研究では，スリットおよび穿孔（せんこう）加工が施されたパネル型吸音材を対象として調査を行う． この吸音材は「Topakustik-eco（トパクスティック・エコ）」と呼ばれ，イタリアの Fantoni（ファントーニ）グループによって製造されている．メーカーによると，本製品は壁や天井に適用可能である．Topakustik-eco には 4 種類の製品タイプがあり，それらは穿孔パネルの穴のサイズや間隔を変えることで作り分けられている．

Topakustik-eco は，穿孔パネルを用いたヘルムホルツ共鳴型吸音材と同様の挙動を示す．端的に言えば，この穿孔パネル吸音材は，内部の一部に多孔質材料が充填された密閉空洞と，その上面を覆う穿孔パネルとで構成されている．穴の中の空気は，空洞内の空気の体積が担う「ばね」に対して振動する「質量」としての役割を果たす．多孔質材料による音響的な損失と，反射圧力における位相変化の組み合わせが，音響吸収の要因となる．

Topakustik-eco はその構造上，より複雑な挙動を示す．この複雑さにより，吸音率曲線には複数の共鳴（ピーク）が生じる．メーカーによれば，Topakustik-eco の吸音特性は，採用する取り付け方法によって変化させることが可能である．本論文で使用した吸音材の構成を図 6.63 に示す．これは，多孔質材料の層の上に Topakustik-eco のシートを配置した構成となっている．この構造体全体は，硬質な表面に取り付けられた．測定は吸音材の表面の極めて近傍で行われ，吸音材表面上の多数の点において測定が実施された．したがって，パネルの吸音特性が空間的にどの

ように変化するかを調査できるほか，音響表面インピーダンス，反射率，および吸音率の空間平均値を算出することも可能である．

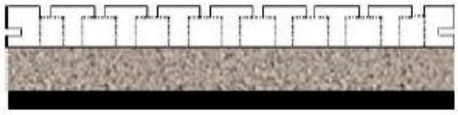


図 6.63：吸収器の模式図．

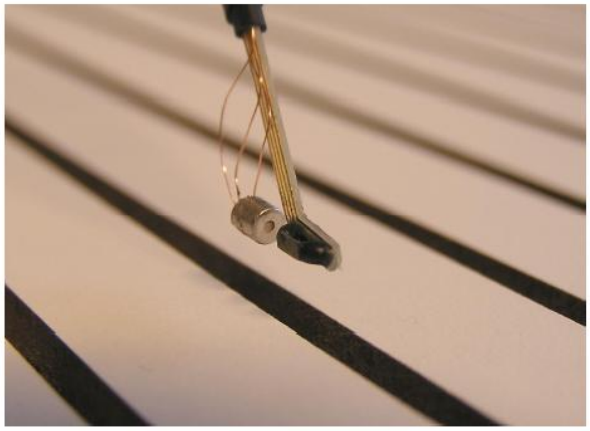


図 6.64：吸収体表面近傍の専用 PU 整合プローブ．

図 6.65 は，穿孔板吸音構造の典型的な挙動を示している．共振周波数（主ピーク：1400 Hz）付近で高い吸音率が認められるほか，その他の共振（ピーク）や反共振（谷）も見られる．図 6 から，こうした吸音特性は，反射圧力場における減衰および位相変化に起因することがわかる．

主共振（1400 Hz）付近では，反射係数の位相が 0 度に近いことから，反射圧力場には主に減衰が生じている．

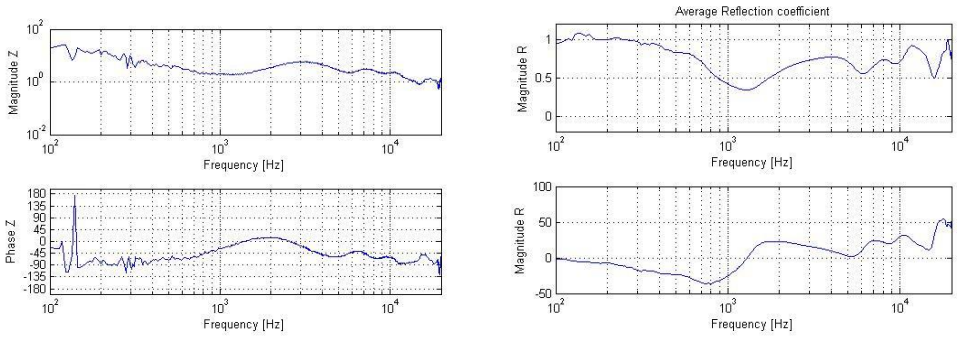


図 6.65：吸収体表面近傍に配置された専用 PU 整合プローブ．

もう一つの興味深い結果は，吸収係数が空間的にどのように変化するかという点である．吸収体の走査領域に沿った 10 地点における吸収係数を確認することができる．示されたすべての地

点において，吸収係数のプロファイルが類似していることは明らかである（これは測定された他のすべての地点でも同様だったが，ここではすべての結果を提示しているわけではない）．その一方で，吸収の値は，グリッド上の測定点によって増減する．

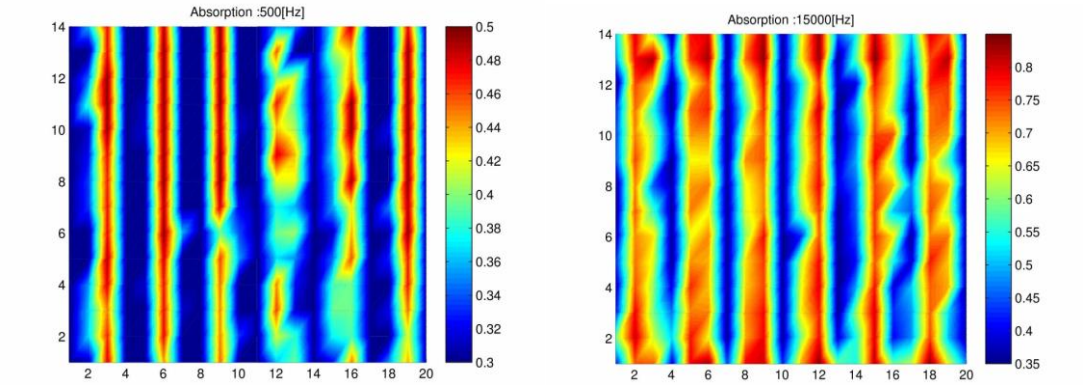


図 6.66：吸音率の空間的変化（左：500Hz，右：1500Hz）．

スロット（開口部）の上で測定を行うと吸音率は高くなり，一方，穿孔板の硬質反射部の上で測定を行うと吸音率は低くなると推測される．これを検証するため，吸音率のカラーマップを作成した（各周波数について 1 つずつ）．これにより，特定の周波数において，吸音材の領域全体で吸音がどのように変化するかを確認することができる．これらのカラーマップは局所的な吸音率を示すものであり，試料全体の吸音特性を表すものではない．

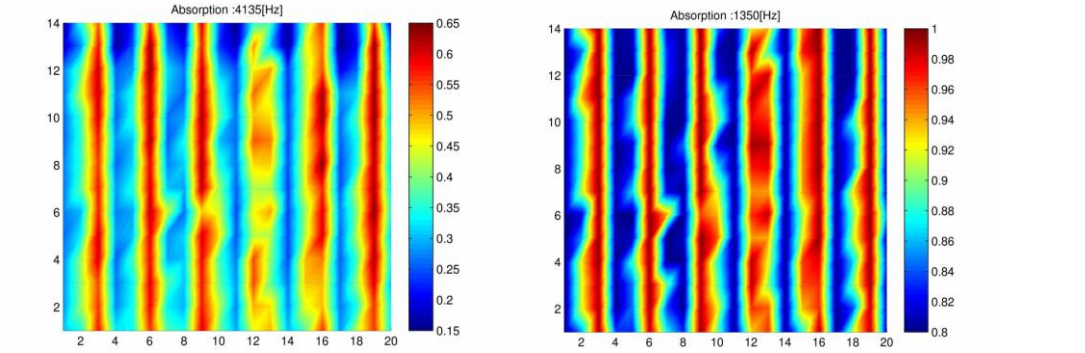


図 6.67：吸収係数の空間的変化（左：4135 Hz，右：1550 Hz）

スロット内のインピーダンス

スロット内の表面インピーダンスも調査した（図 6.68 参照）．

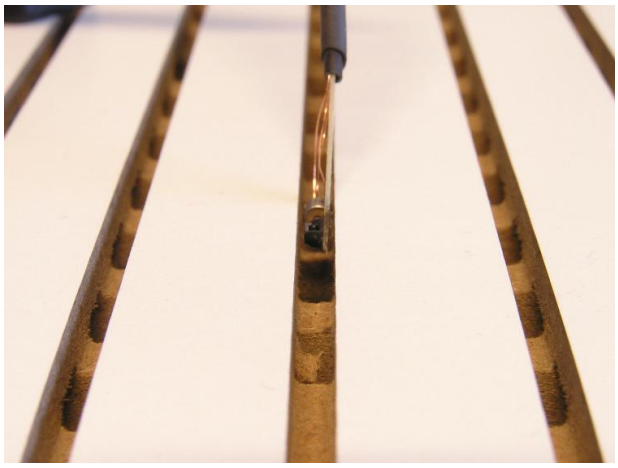


図 6.68：スロット内の測定.

穿孔からプローブまでの距離を 3 通りに変えて測定を行った．まず, 孔のすぐ近く（h=1mm）で測定し，続いてスロットの入り口付近で測定を行った．最後に，最初の測定と同じ距離で測定を行った．この最後の測定は，精度を確認するために以前の測定結果と比較する目的でのみ実施されたものである．この結果は図示していないが，以前の測定結果と整合していた．

これら 3 つの距離のそれぞれについて，10 点ずつ測定を行った．そのうち 5 点は孔の直上で，残りの 5 点はスロット内の反射面（ここでは「非孔部」と呼ぶ）の上で測定された．これにより，孔の直上でインピーダンスの大きさが変化するかどうかを確認できる．

図 6.69 に，4 つの測定点における結果を示す．孔の直上と反射面の上で測定されたインピーダンスには，大きな差がないことがわかる．これは，スロットの入り口で測定を行ったため，プローブから穿孔までの距離が比較的大きかったことによるものである．孔の直上（青と赤の線）ではインピーダンスの大きさが小さくなっていることが示されている．これは孔の近くで粒子速度の値が高くなったためであり，穿孔パネルの物理的挙動から予想された通りの結果である．

ただし，スロット内での測定結果から，パネル全体の吸音特性について結論を導き出すことはできない．パネルの吸音は，孔，スロット，およびパネルの反射面の相互作用によって生じるからである．したがって，スロット内での測定は，孔付近の粒子速度の変動を示すものであり，パネル全体の吸音特性を示すものではない．これらの測定は，孔そのもののインピーダンスに関する有益な知見を与えるものである．

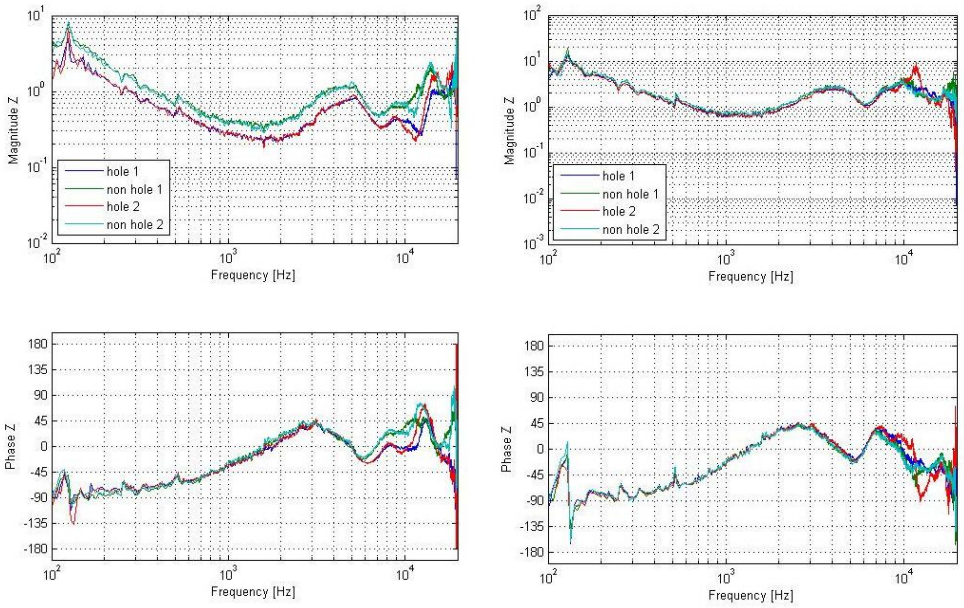


図 6.69：左：スロット内の音響インピーダンス，右：スロット入口の音響インピーダンス．

6.8. 声道のインピーダンス測定

インピーダンス測定の有用な応用例として，声道共鳴の特定が挙げられる．この手法では，声道への非侵襲的な音響的加振と，高速かつ堅牢な検出が行われる．本法は，音声や発話に障害を持つ患者にも適用可能である．口の開口部の前に配置した管の細い端からスイープ信号（またはホワイトノイズ）を放射し，同時にその信号を記録する．圧力センサと速度センサを用いることで，口元における声道インピーダンスを直接測定できる [25]．また，既知の粒子速度を発生させる特殊な音源を用いて，口のインピーダンスを特定することも可能である [24]．

この測定の鍵となるのは，声道（口や喉など）の音響インピーダンスの測定だ．声門は特定の周波数成分を持つ音しか生成しないため，これには外部の音源が必要となる．もし特定のノイズ源を用いた場合，声道インピーダンスは部分的にしか特定できない．広帯域にわたるインピーダンス特性を把握するためには，ホワイトノイズ源が使用される．

周波数に対するインピーダンス特性が判明すれば，最初の 2 つの共鳴周波数から，どの母音が発音されているかを推定できる（図 6.70 右を参照）．

この手法は，母音を適切に発音するために必要な生体フィードバック（自身の発音の感覚的・聴覚的情報）が得にくい聴覚障害を持つ人々の訓練にも役立っている．

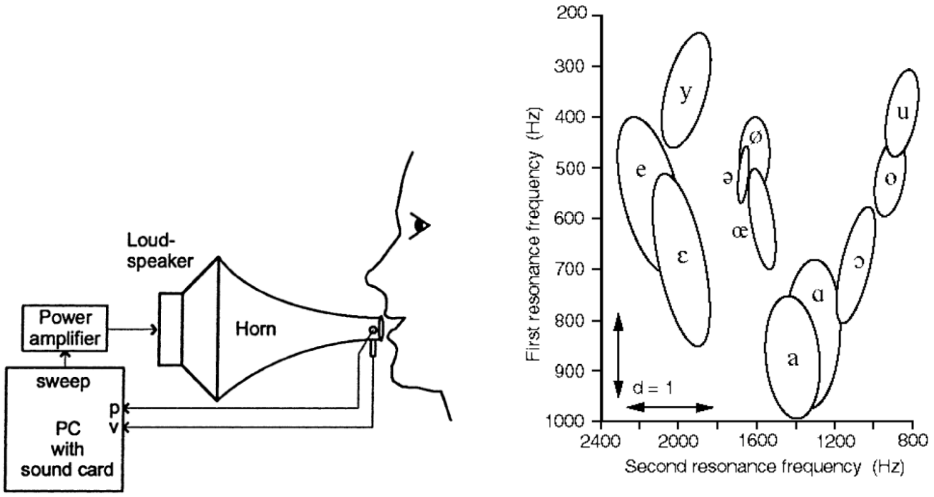


図 6.70: 左: インピーダンス測定のセットアップ ([25] より). 右: 声道 フランス語を母語とする 7 人の成人女性の共鳴 ([24] より).

6.9. 鏡像源法

表面インピーダンス法を用いて，限られた空間内で測定を行うことには困難が伴う．その困難の一つは，反射係数が 1 の場合，表面における粒子速度がゼロになるという点である．また，反射率の高い表面では，この手法は位相誤差の影響を受けやすいという側面もある[23]. そのため，反射率の高い表面や限られた空間での測定を対象とした，別の手法が開発されている．

この手法は現在まだ研究開発の段階にあり，その特性は完全には解明されていない．

音響反射面の近くに単極音源（モノポール音源）Q を配置し，鏡像音源 Q'を用いて音場をモデル化する．この点音源の近くに Microflown（粒子速度センサ）を配置する際，その感度方向が鏡像音源を向き，非感度方向が単極音源を向くようにする．これにより，センサは鏡像音源のみを「捉える」ことになる．

鏡像音源が生成する音場は，単極音源による音場に反射係数を乗じたものと等しくなる．

この手法では鏡像音源による粒子速度のみを測定するため，反射率の高い材料に対して最も有効に機能する．表面の吸音率が高い場合，粒子速度マイクロホンは何も測定できない．その意味で，本手法は表面インピーダンス法を補完する手法と言える．

単極音源による粒子速度場は次式で表される（第 2 章および第 9 章も参照）

$$u(r,t)=\frac{Q'}{4\pi}\frac{ikr+1}{r^2}e^{i(\omega t-kr)}=R_s\frac{Q}{4\pi}\frac{ikr+1}{r^2}e^{i(\omega t-kr)} \tag{6.44}$$

測定される粒子速度は，球面反射係数 Rs，距離 r，および音源強度に依存する．

基準測定として，完全反射面からある距離 r1 の位置で粒子速度を測定する．

音響サンプル近傍（r2）での測定と基準測定から得られる比は，次式で表される

$$\frac{u(r_2)}{u(r_1)\big|_{R=1}} = \frac{R_s \dfrac{Q}{4\pi}\dfrac{ikr_2+1}{r_2^2}e^{ikr_2}}{\dfrac{Q}{4\pi}\dfrac{ikr_1+1}{r_1^2}e^{ikr_1}} = R_s \frac{r_1^2}{r_2^2}\frac{ikr_2+1}{ikr_1+1}e^{ik(r_2-r_1)} \tag{6.45}$$

ここで未知数は測定距離 r1 および r2 のみである．わかるように，測定距離を一定（r1=r2）に保てば，2 つの速度測定値の比は反射係数を直接的に表す尺度となる．

剛体表面の近傍で測定を行う場合，測定距離は明確に定義される．一方，軟らかい制振材を測定する際には，測定距離を特定するのが困難な場合がある．

測定手順は以下の 3 つのステップから構成される：

ステップ 1：無響室での基準測定

測定系を無響室に設置し，粒子速度が最小となるように調整する．この状態では，Microflown（マイクロフローン）はスピーカーの出力をほとんど検出できない．もちろん，散乱や機械的なクロストークが常に存在するため，Microflown の出力が完全にゼロになることはない．

ステップ 2：校正測定

測定系を完全反射板の近くに配置すると，測定される粒子速度は次式で表される．

$$u_{R=1} = \frac{Q}{4\pi}\frac{ikr_1+1}{r_1^2}e^{ikr_1} \tag{6.46}$$

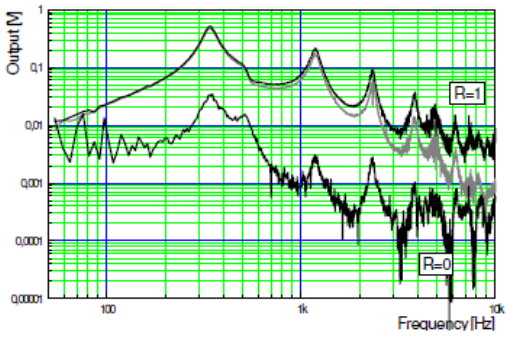


図 6.71：3 つのステップにおける速度出力．上段（黒，R=1）の線：完全反射板に近い出力，中段（灰色）の線：音響材料に近い出力，下段（黒，R=0）の線：無響条件での出力

ステップ 3：音響サンプルの測定

この測定系を吸音板の近く（かつ r1=r2 となる位置）に配置した場合，測定される粒子速度は次式で表される．

$$u_R = R\frac{Q}{4\pi}\frac{ikr_2+1}{r_2^2}e^{ikr_2} \tag{6.47}$$

3 つの測定結果を図 6.71 に示す.

無響条件での基準応答（ステップ 1）と，完全反射板上での応答（校正測定）との比は,「クオリティ（quality)」と呼ばれる．この比は，本手法における最大動的測定範囲を示す．比の値が高いことは，点音源に対する粒子速度センサのゼロ点調整が適切に行われていることを意味する．クオリティを図 6.72 に示す.

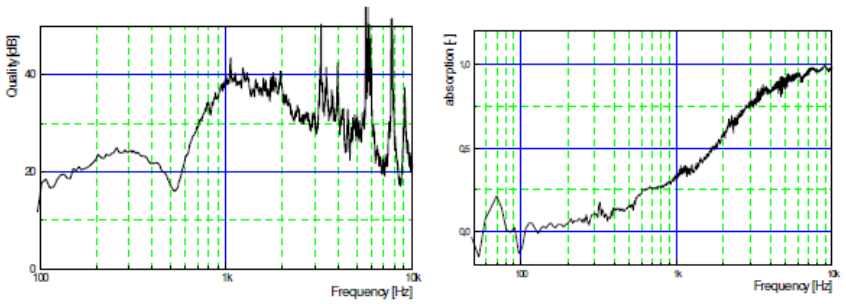


図 6.72：ミラーソース法におけるゼロ調整の精度.

図 6.73： ミラーソース法により得られた試料の吸収係数.

本測定法における反射係数は，音響材料に対する測定値と校正用測定値（完全反射板に対する測定値）との比から求められす．なお，図 6.71 におけるこの比の表示は dB 単位となっている．得られた吸音特性曲線を図 6.73 に示す.

予備的な研究開発段階において，最初の 2 種類の試料（自動車用制振材およびメラミンフォーム）については，定在波管を用いた測定結果と完全に一致することが確認された．一方，他の多くの材料では一致が見られなかった．その理由については，現在も調査中である.

鏡像法，試料サイズの影響

必要な測定範囲を把握するため，厚さ 4cm の Flamex（連続気泡メラミンフォーム）のサンプルを測定し，サイズを小さくして再度測定するという手順を行った．この作業は，サンプルのサイズが実用的な測定に適さない大きさ（サンプルの寸法が材料の厚さよりも小さくなる状態）になるまで繰り返された.

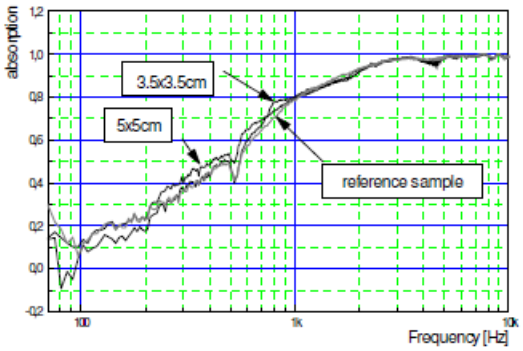


図 6.74：サンプルサイズの影響：ミラー光源法では，極めて小さなサンプルサイズが必要とされる．

図 6.74 に見られるように，ミラーソース法では極めて小さなサンプルサイズが求められる．3.5×3.5cm のサンプルの測定状況を下の図（図 6.75）に示す．

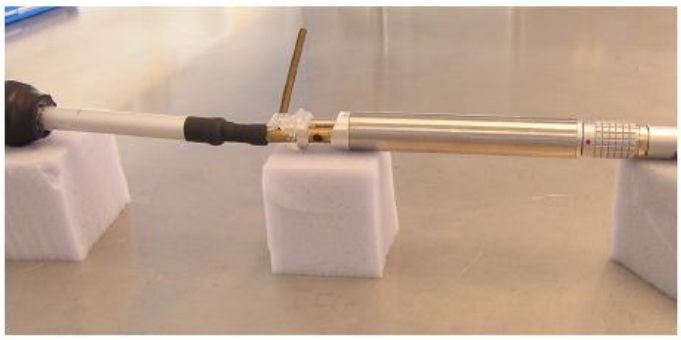


図 6.75：ミラー光源法を用いて，極めて小さな試料を測定している様子．左側には点光源用の駆動部が見える．光源は，PU プローブの先端に見える小さな穴である．

鏡像音源法と環境の影響

制振材の音響特性は，従来，実験室で測定されてきた．実際の使用環境における性能を検証するため，測定対象の近くに大型（50×50cm）の反射板を設置した．その結果について，本項で論じる．

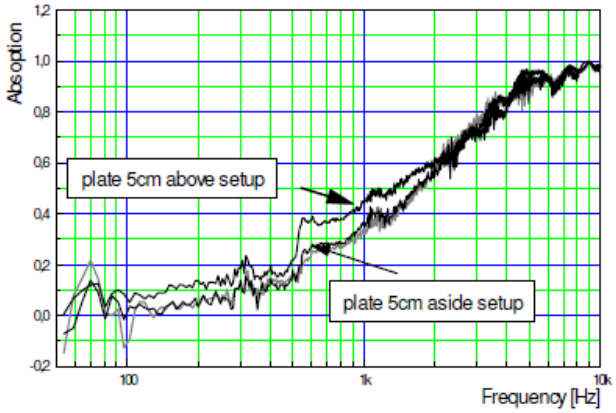


図 6.76：鏡像法における音響的擾乱板の影響.

環境の影響を調べるため，高反射率の板を装置の水平方向上方に 5cm，および垂直方向側方に 5cm の位置に配置し，環境に対する感度を測定した．その結果を図 6.76 に示す．図からわかるように，装置の垂直方向側方 5cm に高反射率の板を配置しても測定には影響がない．一方，装置の上方 5cm に配置した場合は，測定にわずかな影響が見られる．

6.10. 参考文献

[1] Thesis Frits van der Eerden, PhD thesis, University of Twente, Enschede, The Netherlands, November 2000, ISBN: 90-36515211.

[2] Schurer H., Annema P., de Bree H-E., Slump C.H., Herman O., Comparison of two methods for measurements of horn input impedance, J. Audio Eng. Society, 44, 649 (1996).

[3] Eerden, F.J.M., de Bree, H-E., Tijdeman, H. Experiments with a new acoustic particle velocity sensor in an impedance tube, Sensors and Actuators A, 69, 126-133 (1998).

[4] H-E. de Bree, F.J.M. van der Eerden, J.W. van Honschoten, A novel technique for measuring the reflection coefficient of sound absorbing materials, ISMA25, International Conference on Noise and Vibration, September 13-15, 2000 - Leuven, Belgium.

[5] R. Lanoye et al, Experience with different free field techniques to evaluate the surface impedance, ICA 2004.

[6] R. Lanoye et al, a practical device to determine the reflection coefficient of acoustic materials in-situ based on a Microflown and microphone sensor, ISMA, 2004.

[7] R. Lanoye et al, Measuring the free field acoustic impedance and absorption coefficient of sound absorbing materials with a combined particle velocity-pressure sensor, JASA 2006.

[8] M. A. Nobile and S. I. Hayek, Acoustic propagation over an impedance plane, JASA 78, 1325–1336, 1985.

[9] www.rieter.com (ALPHA_CAB[1].pdf)

[10] Rudnick, I., The propagation of an acoustic wave along a boundary, Journal of the Acoustical Society of America, 19, (1947), pp.348-356.

[11] F.J. Fahy, ”A simple method for measuring loudspeaker cabinet impedance,” J. Audio Eng. Soc., Vol. 41, No. 3, pp. 154–156, (1993 March).

[12] Bree, H-E. de, Leussink, P.J., Korthorst, M.T., Jansen, H.V., Lammerink, T., Elwenspoek, M. The Microflown: a novel device measuring acoustical flows, Sensors and Actuators A, 54, 552-557 (1996).

[13] Tijdeman, H. On the propagation of sound waves in cylindrical tubes, J. of Sound and Vibration, 39(1), 1-33 (1975).

[14] Beltman, W.M. Viscothermal wave propagation including acoustoelastic

interaction, part I: theory, J. of Sound and Vibration 227(3), 555-586 (1999).
[15] Bies, D.A., Hansen, C.H. Engineering Noise Control, theory and practice, E&FN SPON, London (1996).
[16] Fahy, F.J. Sound intensity, E&FN SPON, London (1995)
[17] Chung, J.Y., Blaser, D.A. (1980a). Transfer function method of measuring in-duct acoustic properties. I. Theory, Journal of the Acoustical Society of America, 68(3), 907-913.
[18] Chung, J.Y., Blaser, D.A. (1980b). Transfer function method of measuring in-duct acoustic properties. II. Experiment, Journal of the Acoustical Society of America, 68(3), 914-921.
[19] Chung, J.Y., Blaser, D.A. Transfer function method of measuring induct acoustic properties. I. Theory, J. of the Acoust. Society of America, 68(3), 907-913 (1980).
[20] Hans-Elias de Bree, Reinhilde Lanoye, Simon de Cock, Jos van Heck, Broad band method to determine the normal and oblique reflection coefficient of acoustic materials, SAE 2005
[21] De Bree, HE et al, An ultra miniature measurement tool to measure the reflection coefficient of acoustic damping materials in situ, SAE 2007.
[22] Stefan Weyna, the shapes of sound, acoustic wave flow visualisations in a real medium, 2006, ISBN 83-60140-58-8.
[23] Yang Liu and Finn Jacobsen, Measurement of absorption with a p-u sound intensity probe in an impedance tube, ASA, 2005
[24] A. Dowd, J. Smith and J. Wolfe, Learning to pronounce vowel sounds in a foreign language using acoustic measurements of the vocal tract as feedback in real time, Language and Speech, 41, 1-20 (1998).
[25] M. Kob, C. Neuschaefer-Rube, method for measurement of the vocal tract impedance at the mouth, Medical Engineering & Physics 24 (2002) 467–471
[26] M. Tamura, “Spatial Fourier-transform method for measuring reflection coefficients at oblique incidence. I. Theory and numerical examples,” J. Acoust. Soc. Am. 88, 2259–2264 1990.
[27] M. Tamura, “Spatial Fourier-transform method for measuring reflection coefficients at oblique incidence. II. Experimental results,” J. Acoust. Soc. Am. 97, 2255–2262 1995.

[28] E.H.G. Tijs et al, Non destructive and in situ acoustic testing of inhomogeneous materials, ERF33, Kazan, Russia, 2007.
[29] J.D. Alvarez, F. Jacobsen, In-situ measurements of the complex acoustic impedance of porous materials, INTER-NOISE 2007
[30] T.E. Vigran et al., Prediction and measurements of the influence of boundary conditions in a standing wave tube, Acta Acustica, 83, 419-423 (1997).
[31] HE de Bree, M. Nosko, E. Tijs, A handheld device to measure the acoustic absorption in situ, NVH GRAZ, 2008.
[32] M. Nosko, E. Tijs, HE de Bree, On the robustness of the PU surface impedance measurement technique, DAGA 2008.
[33] David B. Nutter et al., Measurement of sound power and absorption in reverberation chambers using energy density, JASA 2007
[34] Emiel Tijs, Hans-Elias de Bree, Piergiorgio Ferrante, Antonio Scofano, PU surface impedance measurements on curved liner materials in the presence of a grazing flow, CEAS, Bilbao, 2008
[35] Acoustic absorption measurements of moving structures and under influence of flow, Emiel Tijs and Hans-Elias de Bree, ISMA, 2008

お問い合わせ先：
株式会社東陽テクニカ 先進ダイナミクス・ソリューション部
TEL：03-3245-1058　E-mail：web-car@toyo.co.jp

読者アンケートへのご協力よろしくお願いいたします。
https://forms.cloud.microsoft/r/fHpRCULbqv