



微細穿孔板（MPP）のいろいろな用例（特集 新しい遮音・吸音材料と活用技術）--（通気性のある板・膜の活用）

阪上，公博

(Citation)

音響技術, 48(4):1-7

(Issue Date)

2019-12

(Resource Type)

journal article

(Version)

Version of Record

(URL)

<https://hdl.handle.net/20.500.14094/90006666>



1. 通気性のある板・膜の活用

1.1 微細穿孔板(MPP)のいろいろな用例

Some examples of usage of microperforated panel absorbers

阪上 公博 (Kimihiro Sakagami)

神戸大学大学院工学研究科
(Grad. Sch. of Engrg., Kobe Univ.)

1. MPPとは

MPP(Micro-perforated panel)については、今となつては建築音響、音響材料関係の研究開発に関わる方々には説明の必要はないのではないと思われるほどに広く認知されている。研究者によって考え方は様々であるが、一般的には厚さ1 mm以下、孔径と厚さの比が1以下、開孔率は1 %以下の微細な孔をもつ有孔板であり、背後空間と共鳴器を構成する。その新規性は、一般の有孔板と異なり微細な孔を開けることで吸音に最適なインピーダンスを実現した点にあると言えるかもしれない。

しかしながら、日本においては若干の製品が市場に出ているものの、実際の建物において幅広く使われるには至っていないようである。

MPPが発明されたのがいつ頃か正確には分からないが、発明者として知られるD-Y.MaaがMPPに関する最初の論文を発表したのは1975年のはじめで、中国語で書かれたものであった¹⁾。同年に英語版²⁾が発表され、これがMPPについてその吸音特性予測理論まで含めた論文の最も初期の原典として広く読まれている。

その後、ヨーロッパを中心に、非多孔質吸音材へのニーズが高まり、有孔板や板振動型、膜材料とともに次世代吸音材料として注目されるようになり、1990年代ごろから多数の追従研究が行われ2000年ごろから多くの論文が発表された³⁾。

それに伴って徐々に天井仕上材などとして製品化されるようになったが(例えば文献4)、5)など)、当初は金属製が多く、また樹脂製であっても加工技術の点からコストが高かったが、近年は比較にならない低コストで作る技術により欧米では「新しい」吸音材ではあるものの日本に比べて普及しつつあり、多くの商品が出回っている⁶⁾。初期のコストの高いMPPは第1世

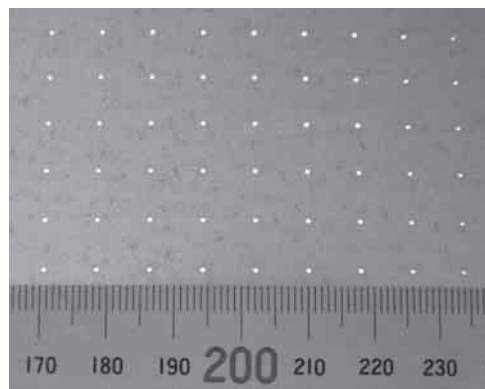


図1 MPPの一例(金属製、厚さ0.5 mm 孔径0.5 mm)

代MPP、近年の低コストのものは第2世代MPPと呼ばれることもある⁷⁾。例として、「第1世代」の金属製MPPの写真を図1に挙げておく。

本稿では、MPPの利用法を中心に、なるべく分かりやすくご紹介することで、今後のMPPの利用について多少なりともアイデアをご提供出来ればと考えている。なお、MPPの研究事例は現在までに夥しい数の論文等が発表されており、網羅的に紹介するのは極めて困難と思われるため、主として筆者の関連したものの、およびその周辺の事例を中心に述べさせていただくことをご承知いただきたい。MPPに関する網羅的なレビュー記事は末尾にいくつか海外のものを挙げておいた。併せて参照いただければ幸いである。

2. MPPの原理と基本的性質

MPPの基礎的な原理等については、これまでも本誌に掲載したものも含めいくつかの解説記事があるので⁸⁻⁹⁾、ここでは最小限の基礎事項のみをあげておく。

前述の通りMPPは、有孔板の一種であるから、背後に空気層および剛壁を有し、孔と背後の空気層によってヘルムホルツ型の共鳴機構を生ずる。一般的な用法を図2に示す。

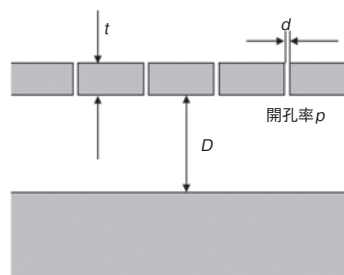


図2 一般的なMPP吸音体の構造

1.1 微細穿孔板(MPP)のいろいろな用例

MPP自体の正規化音響インピーダンスは、最も広く用いられているMaaの理論¹⁰⁾によれば次式で表される。

$$z = \frac{32\eta t}{p\rho_0 c_0 d^2} \left(\sqrt{1 + \frac{k^2}{32}} + \frac{\sqrt{2}}{8} k \frac{d}{t} \right) - i \frac{\omega t}{p c_0} \left(1 + \frac{1}{\sqrt{9 + \frac{k^2}{2}}} + 0.85 \frac{d}{t} \right)$$

ここで $k = d \sqrt{\frac{\omega \rho_0}{4\eta}}$ (1)

これと背後の空気層(背後壁は剛壁)のインピーダンスから、吸音体の斜入射吸音率は、次式となる。

$$\alpha_\theta = \frac{4r \cos \theta}{(1 + r \cos \theta)^2 + [\omega m \cos \theta - \cot(\omega D \cos \theta / c_0)]^2}$$
 (2)

なお、ここで d は孔の直径、 t は板の厚さ、 p は開孔率、 ρ_0 は空気の密度、 c_0 は空気中の音速、 η は空気の粘性定数($=17.9 \mu\text{Pa s}$)、 ω は角周波数($=2\pi f$)、 r 、 x はインピーダンス z の各々実数部と虚数部である。

なお、MPPのインピーダンスについては、各種条件で数値的に求める研究や、ダクトなどを想定した流れのある場合の取り扱いや、孔の形状が単純な円孔でない場合の解析などが見られる¹¹⁻¹³⁾。

このMPPを2枚用いて、より幅広い周波数帯域に対応するよう提案されたものについては、Maa自身によるもの¹⁴⁻¹⁵⁾が当初から広く知られている。

吸音特性の典型的な例として、図3にMaaの理論に基づいて解析した吸音特性の理論解析値を実測値と比較して示しておく。選択性の吸音特性である点で共鳴型ではあるが、他の一般的な共鳴型吸音特性に比べて吸音帯域が広い点で特徴的である。また、MPPのひとつの特徴として、理論値と実測値の一致が比較的良好という点も、設計上のメリットの一つといえる。

なお、初期のMPP研究では、この帯域をいかに広げることが最大の課題であり、孔のあけ方など様々な試みが行われてきたが、近年はより精密なインピーダンスおよび吸音率の予測のための理論および数値解析手法の研究がひとつのトレンドとなりつつある¹⁶⁾。

3. 内装材としての使用法と課題

MPPの基本的な用法は、内装材として背後空気層を介して壁などに設置するものである。その際、一般

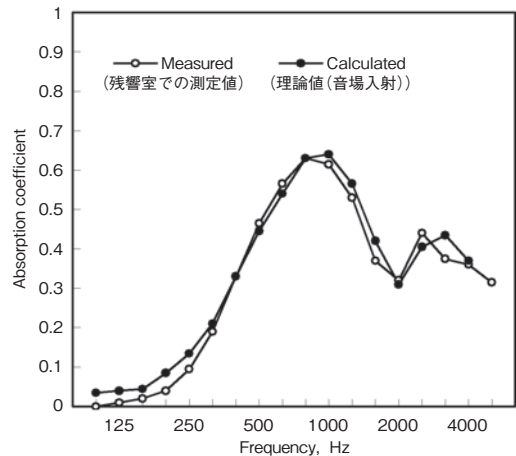


図3 残響室法吸音率の理論値と測定値の一例⁸⁾

的には建築躯体や窓面、天井面に下地や取り付け具を設けてMPPを設置することとなる。透明な材料を使用できるMPPの場合、開放的な空間デザインが可能となるため、内装材として透明MPPを使用した事例があるが、一般に薄い素材を用いるMPPでは強度不足の問題もあるため、天井などの使用例が多かった。特に、フィルム状のものなど、強度的な制約がある。

一方、強度を上げるために10 mm程度の厚い材料を用いて作成した事例もあるが¹⁷⁾、穴あけが困難でコストが大きく実用には供し難い。また、孔を有するMPPを内装材として固定すると、我が国の場合は内装制限に抵触する可能性が高い。したがって、壁面の内装以外の用途を検討した事例も多い¹⁸⁾。

3.1 背後構造の影響：下地等の影響

まず、内装材として使用する場合は、下地を要する。下地の材質にもよるが、これが完全な剛体であることは考えにくい。その弾性を考慮した場合にどの程度の影響があるか検討した事例がある¹⁹⁾。MPP自体が音波入射によってピストンのように振動すると考えると、MPPは孔と背後空気層により構成される共鳴器に加えて、MPP自体の質量と背後空気層のバネにより構成される単一共振系が並列に付加されている形になり、2つの共振の相互的な作用が生じることになる。両者の共振周波数が接近すると、後者の共振周波数で吸音率が低下する鋭いディップが表れるが、両者の周波数が離れている場合は、特に影響は現れないことが知られている。なお、下地の影響を無視した場合は、MPP自体の質量と背後空気バネによる振動が併存することとなり、MPPがピストン的な振動をするものと

仮定すれば、音波入射振動による影響はMPPによる共鳴吸音ピークの値に若干現れる程度である²⁰⁾。板振動吸音が同時に起こることは、条件によってはあり得るが、通常の建築的条件では少ないと考えられる²¹⁾。

3.2 ハニカムを背後に使用した事例

内装材に限らず、薄物の板材を補強する場合に背後にハニカムを用いる例は多い。これまではその構造的な効果だけを考慮した事例が多いが、ハニカムが挿入されることで、MPPの場合は背後の空気層が分割されるため、空気層内の音波の伝搬が制御され、音響的な効果も生じる(図4)。

これについては、文献22)に理論と実験結果を詳しく示したほか、文献23)にも詳述されている。2重壁に対してその効果を検討した事例もある²⁴⁾一方、近年は数値解析により、単に音波の伝搬が制御されるだけでなく、ハニカムが毛細管と同様に伝搬する音波に対して、粘性抵抗、熱的抵抗による減衰を加えることが明らかになっている^{25~27)}。

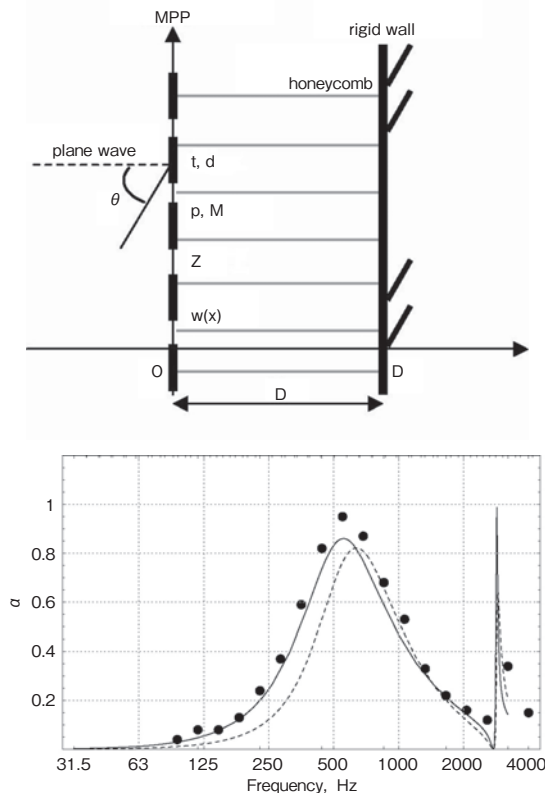


図4 背後にハニカムを挿入したMPP吸音体(上)とその残響室法吸音率下:●は実測値、実線は理論値、点線はハニカムがない場合の理論値²²⁾。孔径0.5 mm、開孔率0.785 %、ハニカム厚さ50 mm。

3.3 背後構造・形態の工夫

背後構造の工夫としては、ハニカムの利用についてすでに述べた。これの発展形としては、ハニカムのセルの深さを数種類組み合わせたアレイ構造としたものがある。図5に一例を示す²⁷⁾。この文献²⁷⁾は通気性膜構造への応用事例であるが、MPPでも同様の効果が期待できる。すなわち、深さの異なるセルにより異なる共鳴周波数をカバーすることで、広帯域化が実現できるが、インピーダンスの不連続面を生じることなどによって、過剰吸音を生じたり、アレイ自体による減衰もあるため、これらの点についてさらに検討が行われている。

アレイ構造の原型としては、背後層の深さを変えて並列配置することで、広帯域化を試みたものが比較的早くから見られており^{28~29)}、近年は実用へ向けた海外での検討事例がある。

このほかにも背後層に多孔質を併用する検討事例³⁰⁾があるほか、MPPに付加的な構造を加えるなどの事例もあり、背後構造の効果についての研究は多数行われている³¹⁾。

4. 空間吸音体としての検討事例

MPPは透明な素材を用いて作成できることから、早くからMPPを透光性や視線確保あるいは開放感を要する用途、デザインに用いられることは、MPPの大きな長所として認識されてきた。

初期の事例としては、厚いアクリル板に薄いフィルムから作成した透明MPPを設置したパーティションが見られた⁵⁾。ここでは空間吸音体として透明フィルムなどを使用したMPPの利用も想定した検討事例を紹介しておく。

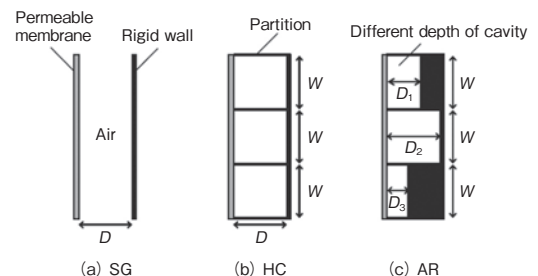


図5 背後構造の各種事例

(a)は空気層のみ、(b)はハニカム構造、(c)はアレイ構造(場所によって深さが異なる)。上記事例は通気性膜吸音体の場合であるが、MPPも同様である

1.1 微細穿孔板(MPP)のいろいろな用例

4.1 2重MPP空間吸音体(DLMPP)

ここで紹介するDLMPPは、2枚のMPPを空気層をはさんで2重構造とし、パーティションや吸音パネルとして利用することを提案したものである(図6)^{32~34)}。透明素材を用いたが、材料は問わない。吸音特性としては、一方のMPPに対して対向する他方のMPPが背後壁の役割をする単一共振系となり、ピークを一つ生じる。それに加えて、低音域でも低めではあるがなだらかな吸音性を示す。これは、通気性膜に見られるものと原理的に同じで、音響抵抗を有する通気性材料に特有の吸音である。全体に吸音率はそれほど高くはないが、広い帯域である程度の吸音効果が得られる点で、一種の広帯域化の方策といえる。なお、中空層にハニカムを入れることで、吸音性能が向上することが理論および実験の両方で確認されている³⁵⁾。

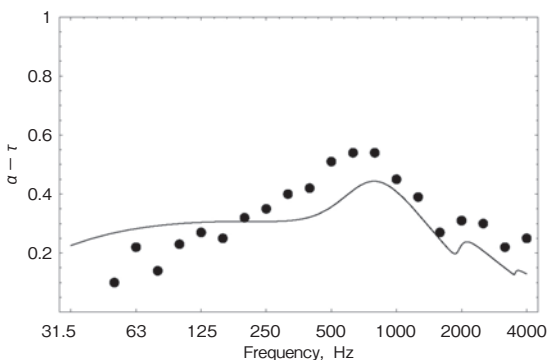


図6 DLMPPの写真(上)と残響室法吸音率の一例

●：実測値，実線：理論予測値。ただし理論値は、残響室法吸音率と等価な値として、透過率の差として求めている³²⁾。孔径0.5 mm，開孔率0.785 %，空気層厚さ50 mm。

4.2 立体型MPP空間吸音体(円筒型：CMSA，角柱型：RMSA)

これは、図7に示すように、MPPを円筒型³⁶⁾や角柱型³⁷⁾に成形して、空間吸音体として室内に床置き、天井から吊り下げなどの方法により設置することで、吸音効果を得ようとするものであり、前述のDLMPPの延長線上にあるものといえる。DLMPPでは平板状であるため設置の形態に多少の制約があるが、特に軽量化すれば設置の自由度も高くなり、また照明器具などへの応用も考えられる。

この場合はMPPと内部の空間による共鳴機構のため1つの共鳴吸音ピークを生じ、通気抵抗による低音域での若干の吸音を示す点で、原理的にはDLMPPとほぼ同じであり、吸音特性も大まかには類似している。

5. 実装の事例

5.1 海外の事例

海外では、それぞれの国により建築関係の規制などが異なるため、さまざまな事例が見られる。商品化も盛んに行われており、多数の事例があり、日本とはかなり事情が異なる。ここに紹介した事例は、いずれもインテリアに配慮したもので、透明な素材を用いて建築デザインとの調和を図った好例といえる⁶⁾。

このほかにも、文献6)には多数のデザイン的に優れたMPPの使用例が紹介されており、材料や背後構造などもさまざまに工夫されたものが多数みられる。

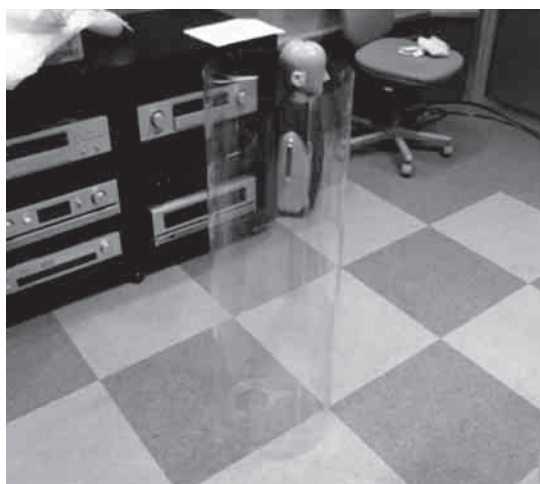


図7 円筒型MPP空間吸音体CMSA試作品の一例³⁶⁾



図8 海外での透明MPPを利用した実例
左はレストランの天井，右はパーティションとして使用⁶⁾。

こうした建築意匠に特別の配慮をしたデザインは、コスト等の問題もあるため、簡単には実現できないことであろうと思われるが、古くからMPPの最大の利点の1つと言われてきた意匠性を生かした用例として注目したい。また、今後のMPPの用法として、広く検討され実用化されることが、MPPの普及にも直接的に大きな影響をもたらすものと思われるため、参考として透明MPPを駆使した事例を紹介しておく(図8)。



図9 残響過多の会議室に背後ハニカム付きMPP吸音体を取り付けて対策した事例

MPPはパネル状として治具で留めてある。幅は50 cm、厚さは1 cmと5 cmの2種類^{38)~39)}。詳細は文献を参照されたい。

5.2 日本での一例

最後に、日本国内での事例を1つあげる。製品として市販されているものの施工例はいくつかWebなどでメーカーからの紹介記事があるが、ここでは省略する。ここで挙げる事例は、筆者らが残響過多の会議室の音響改修のために、出来るだけ少ない面積で着実な効果を上げるために、理論計算とFEMシミュレーションによる詳細な検討により、現場に最適な吸音体を設計製作して、最小限の処理で効果を上げた例である(図9)。ここでは、内装制限に関する問題を避けるため、吸音体を着脱可能な家具・什器類として制作して、壁面上部と天井に治具を用いて設置している^{38)~39)}。

6. おわりに

本稿では、MPPを利用するにあたって、まず一般的な用法である内装材として利用する場合の問題や、その場合の吸音性能を向上するための工夫として、これまで検討してきた方法について概略を紹介した。加えて、内装材としてではなく、家具・什器類として内装制限を避けて使用することを考えた、空間吸音体の研究事例についても紹介した。応用としては、実装の事例を若干紹介した。

内装材として使用する場合の用法は、比較的一般

1.1 微細穿孔板(MPP)のいろいろな用例

な用法であり、背後構造の工夫により性能の向上が期待される。しかし、こうした工夫についてはあまりに数が多いため、ここでは紹介できなかった多数の研究事例がある。また、空間吸音体は「通常の利用法」とは異なり、内装に関する厳しい制約を避けて簡単に使える方法を模索する中で提案してきたものであるが、これについてもその後いくつかの検討事例が発表されている。

これらの各々については、紙面の都合等の事情で、筆者の関連したものを中心に基本的なアイデアを示すものを紹介したが、その後の新しい研究については枚挙にいとまもなく、すべてを網羅的に紹介するのは困難である。現在の研究状況についても含めてより詳細な情報が必要な読者には、まずは一般的なMPP研究のレビューとしてぜひ参照いただきたいものとして文献6)、7)、および40)を挙げておいた。いずれも容易に入手できるもの、およびWebで読めるものである。ご参照いただければ、本稿で省略した海外における最新の知見やモデリングについての情報が得られる。また、紹介した事例の偏りを補完する意味でも有意義と思われるので、ぜひ一読をお勧めしたい。

[参考文献]

- 1) D-Y. Maa, 中国科学, 1975年1月
- 2) D-Y. Maa. Theory and design of microperforated panel sound-absorbing constructions. Scientia Sinica, Vol.18, No.1, 55-71 (1975)
- 3) 例えば, H. V. Fuchs, X. Zha X and H. D. Drotleff, "Creating low-noise environments in communication rooms," Applied Acoustics, 62, 1375-1396 (2001)
- 4) GEMA Armstrong : <https://www.armstrongceilings.com/commercial/en-gb/commercial-ceilings-walls/custom-metal-ceilings.html> (2019年8月23日参照)
- 5) RPG Acoustics: Clearorber Foil page, <https://www.rpgacoustic.com/clearorber-foil/> (2019年8月23日参照)
- 6) T. Adams: Sound Materials: A Compendium of Sound Absorbing Materials for Architecture and Design; FramePub.: New York, NY, USA, 2017
- 7) D. Herrin: A Guide to the Application of Microperforated Panel Absorbers, Sound and Vib., Vol.51, No.12, 12-18 (2017)
- 8) 阪上公博, 藤本一壽: 音声情報伝達性能向上のためのデバイス: 次世代の吸音材料—MPPとポリエステル不織布, 騒音制御, Vol.33, No.4, 307-316(2009)
- 9) 阪上公博: 共鳴器型吸音機構, 音響技術, No.177, 17-22(2017)
- 10) D-Y. Maa: "Microperforated-Panel Wideband Absorbers," Noise Control Eng. J., 29, 77-84 (1987)
- 11) Y. Guo, S. Allam, and M. Abom: Micro-perforated plates for vehicle applications, Proc. Internoise 2008, (2008)
- 12) J. S. Bolton and N. Kim: Use of CFD to calculate the dynamic resistive end correction for microperforated materials, Acoust. Aust., Vol.38, 134-139 (2011)
- 13) T. Okuzono, T. Nitta and K. Sakagami: Note on microperforated panel model using equivalent-fluid-based absorption elements, Acoust. Sci. & Tech., Vol. 40, No. 1, 221-224 (2019)
- 14) D-Y. Maa, "Potential of microperforated panel absorber," J.Acoust. Soc.Am.,104, 2861-2866 (1998)
- 15) D-Y. Maa, "Practical single MPP absorber," Int. J. of Acoust. and Vib., 12, 3-6 (2007)
- 16) J. Carbajo, J. Ramis, L. Godinho, P. A. Mendes and J. Alba: A finite element model for perforated panel absorbers including viscothermal effects, Appl. Acoust., Vol. 90, 1-8 (2015)
- 17) Sakagami, K., Morimoto, M., Yairi, M., and Minemura, A. A pilot study on improving the absorptivity of a thick microperforated panel absorber, Applied Acoustics, 69, 179-182 (2008)
- 18) J. Kang and M. W. Brocklesby, "Feasibility of applying micro-perforated absorbers in acoustic window systems," Applied Acoustics, Vol. 66, 669-689 (2005)
- 19) K. Sakagami, M. Morimoto and M. Yairi, "Application of microperforated panel absorbers to room interior surfaces," Int. J. Acoust. Vib., 13, 120-124 (2008)
- 20) Sakagami, K., Morimoto, M., Yairi, M., A note on the effect of vibration of a microperforated panel on its sound absorption characteristics, Acoustical Science and Technology, 26, 204-207 (2005)
- 21) M. Toyoda, R. L. Mu and D. Takahashi: Relationship between Helmholtz-resonance absorption and panel-type absorption in finite flexible microperforated-panel absorbers, Appl. Acoust., Vol.17, No.4, 315-320 (2010)
- 22) K. Sakagami, I. Yamashita, M. Yairi and M. Morimoto, "Sound absorption of a honeycomb-backed microperforated sound absorber: Revised theory and experimental validation," Noise Control Eng. J., 58, 157-162 (2010)
- 23) M. Toyoda and D. Takahashi, "Sound transmission through a microperforated-panel structure with subdivided air cavities," J. Acoust. Soc. Am., 124, 3594-3603 (2008)
- 24) 矢入幹記, 豊田恵美, 杉江聡, 峯村敦雄: 乾式間仕切壁の中空層の構造が遮音性能におよぼす影響, 建築音響研究会資料AA2006-19 (2006)
- 25) 奥園健, 阪上公博: 通気性膜吸音体アレイの垂直入射吸音特性に関する検討—背後構造による吸音の考慮, 音響学会講演論文集 (2019.03)
- 26) 村田遥, 奥園健, 阪上公博: ハニカムコアを充填した軽量二重壁の遮音特性に関する基礎的研究, 建築学会近畿支部研究報告集(環境系) 59号, No.4084(2019)
- 27) K. Uenishi, T. Okuizono and K. Sakagami: Finite element analysis of absorption characteristics of permeable membrane absorber array, Acoust. Sci. & Tech., Vol.38, No.6, 322-325 (2017)
- 28) K. Sakagami, Y. Nagayama, M. Morimoto and M. Yairi: Pilot study on wideband sound absorber obtained by combination of two different microperforated panel (MPP) absorbers, Acoust. Sci. & Tech., Vol.30, No.2, 154-156 (2009)
- 29) M. Yairi, K. Sakagami, K. Takebayashi and M. Morimoto: Excess sound absorption at normal incidence by two microperforated panel absorbers with different impedance, Acoust. Sci. & Tech., Vol.32, No.5, 194-200 (2011)
- 30) K. Sakagami, S. Kobataka, K. Kano, M. Morimoto and M. Yairi: Sound absorption characteristics of a single microperforated panel absorber backed by a porous absorbent layer, Acoust. Aust., Vol.39, No.3, 95-100 (2011)
- 31) S. Nakanishi: A pilot study of sound absorption by a perforated panel with bending tube extension built in the panel, Proc. Internoise 2015 (2015)
- 32) K. Sakagami, M. Morimoto and W. Koike, "A numerical study of double-leaf microperforated panel absorbers," Applied Acoustics,

- 67, 609-619 (2006)
- 33) K. Sakagami, T. Nakamori, M. Morimoto and M. Yairi, "Double-leaf microperforated panel space absorbers: A revised theory and detailed analysis," *Applied Acoustics*, 70, 703-709 (2009)
- 34) K. Sakagami, M. Yairi and M. Morimoto, "Multiple-leaf sound absorbers with microperforated panels: an overview," *Acoustics Australia*, 38 (2), 64-69 (2010)
- 35) K. Sakagami, I. Yamashita, M. Yairi and M. Morimoto, "Effect of a honeycomb on the absorption characteristics of double-leaf microperforated panel (MPP) space absorbers," *Noise Control Eng. J.*, 59, 363-371 (2011)
- 36) K. Sakagami, T. Oshitani, M. Yairi, E. Toyoda and M. Morimoto, "An experimental study on a cylindrical microperforated panel space absorber", *Noise Control Engr. J.*, 60, 22-28 (2012)
- 37) K. Sakagami, M. Yairi, M. Toyoda and E. Toyoda: An experimental study on the sound absorption of three-dimensional MPP space sound absorbers: Rectangular MPP space sound absorber (RMSA), *Acoust. Aust.*, Vol.60, 22-28 (2013)
- 38) K. Hoshi, T. Hanyu, K. Sakagami, T. Okuzono, M. Yairi, S. Harada, S. Takahashi, Y. Ueda: Implementation experiment of a honeycomb backed MPP sound absorbing panel in a meeting room: *Proc. ICSV 25, Hiroshima* (2018)
- 39) 阪上公博, 矢入幹記, 奥園健, 羽入敏樹, 星和磨, 原田慎史, 高橋誠治, 上田泰孝: 背後ハニカム構造を有するMPP吸音体の実装実験, *音響技術*, No.178, 58-62 (2017)
- 40) D. Herrin, J. Liu, A. Seybert: Properties and applications of microperforated panels. *Sound Vib.* 2011, 45, 6-9

〈次号予告〉

音響技術 No.189 (vol.48 no4) 2020年3月発行予定

〈特集〉(仮題)音響のディテール

特集にあたって

【1. 音響のディテール】

- ・遮音構造のディテール
- ・防振遮音構造のディテール
- ・吸音仕上の基本的なディテール
- ・機械設備に関わる音響のディテール
- ・舞台音響設備のディテール

【2. ホールに使われる様々なディテール】

- ・大分県立芸術文化短期大学キャンパス再整備
- ・太田市民会館
- ・釜石市民ホール
- ・黒崎ひびしんホール
- ・杉並公会堂
- ・台中国家歌劇院
- ・高崎芸術劇場

- ・東京音楽大学 中目黒・代官山キャンパスホール
- ・東京文化会館
- ・トッパンホール
- ・フェニーチェ堺
- ・安来市総合文化ホール「アルテピア」大ホール
- ・ヤマハホール
- ・よみうり大手町ホール
- ・由利本荘市文化交流館カダーレ・もしくは大船渡市民会館

【3. JIS A 6301:2020吸音材料の紹介】

<会員の頁>