

日本産業機械工業会会長賞

「騒音対策用遮音ルーバー装置（しずかルーバー）」

清水建設株式会社

1. 装置の詳細説明

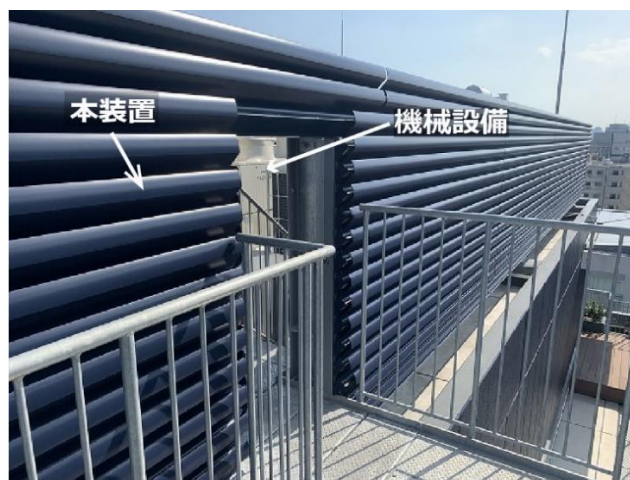
本装置「しずかルーバー」は、建物屋上や地上に設置される機械設備を囲い、機械の稼働上必要な通気性を確保した上で、周辺へ伝わる機械騒音を低減させる建築用ルーバー装置である。図表1に建物屋上の機械設備を囲う本装置の設置状況を示し、詳細を次に説明する。

(1) 装置の形状と騒音低減の原理

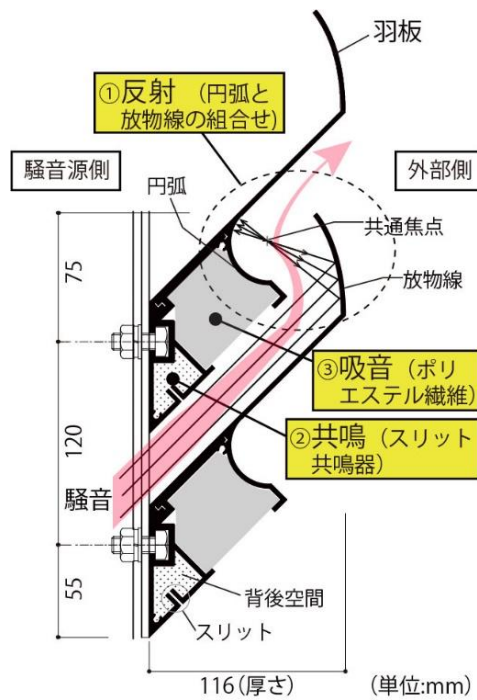
本装置の断面形状を図表2に、写真を図表3に示す。図表2により騒音低減のメカニズムを説明する。本装置は、基本的な音響現象である「反射」、「共鳴」、「吸音」の全てを実現する機能を羽板に組み込むことで、コンパクトなサイズ（装置の厚さ：図表2中116mm）の中で高音域から低音域までの広い周波数範囲に対する騒音低減効果を実現した。図の左側から入射した騒音は、以下に示すメカニズムで低減される。

1) 「反射」（高音域）

羽板の中間部に円弧状、先端部に放物線（パラボラ）状の断面を持たせ、その組合せで主に高音域の騒音を騒音源側へ戻す反射板として機能させる。円弧の中心点と放物線の焦点が、図表2中に示す共通焦点と呼ぶ一点で一致するように羽板が配置される。通気経路に入ってきた騒音は、放物線で反射した後、共通焦点を経由して円弧へ入射する。円弧に入射した騒音は、再び共通焦点へ向けて反射し、その後元の経路をたどり騒音源側に戻る仕組みとなっている。



図表1 建物屋上機械設備を囲う本装置の設置状況



図表2 本装置の断面形状と騒音低減の仕組み



図表3 しずかルーバー (右写真は塗装前のカットモデル)

2) 「共振」(中音域)

羽板の騒音源側には通気経路に面してスリット状の開口が設けられ、その背後の空間との組み合わせにより共振器として機能する。共振現象によって共振周波数に近い周波数の騒音は、通気経路のスリット部から先へ伝搬することができず、騒音源側に戻ることがこれまでの実験及びコンピュータシミュレーションにより明らかにされている。共振周波数は背後空間の大きさ、スリットの幅及び深さによって調整可能である。本装置では遮音性能の全体バランスから中音域を低減するように共振器の設計を行っている。

3) 「吸音」(低～高音域)

羽板の中間部には、吸音材が組み込まれ、低音域から高音域の幅広い周波数の騒音を低減する。吸音材は、耐候性に優れたポリエステル繊維材を使用し、雨水の侵入を防ぐ不織布によっ

て表面がカバーされている製品を採用した。ポリエステル繊維による吸音材は、グラスウールのようなガラス繊維の吸音材と異なり接着剤を使用しておらず、屋外での使用においても交換等のメンテナンスが長期間不要である。

(2) 取付施工方法

図表 4 に取付作業状況を示す。ストリンガーと呼ばれる取付用部材にボルト・ナットにより取付ける。取付は全て内側（設備設置側）から行えるので、外部足場や施工上の安全措置の必要が無い。また、軽量であるため製品の最長サイズである 4m 長さの羽板でも、2 名の人力で容易に施工可能である。

2. 開発経緯

(1) 開発の背景、目標と開発進捗

1) 開発の背景

オフィスビルや商業施設、工場等において、空調設備や生産のための機械設備は、建物屋上設備置場や地上設備置場に設置されることが多い。これらの機器が騒音規制法や自治体の条例において規制対象となっている場合、敷地境界における騒音規制値を遵守するための対策を行わなければならない。対策方法の一つとして、通気性を確保しつつ周辺へ伝わる騒音を低減する建築材「遮音ルーバー」装置の設置がある。

開発着手時から現在に至るまで、市場投入されている遮音ルーバー装置は、複雑な形状や二次加工の必要性から高コストとなっている製品が多く、建設工事収支の関係から採用が難しいことが多い。その場合には、成形セメント板や ALC 板などによる通気性の無い防音壁が設置されることになる。しかし、その防音壁が機械設備の稼働に必要な通気を確保するためとして、騒音対策上必要な高さにできなかつたり、機器を囲う四面に設置する必要があるのに通気のためとして一～二面は設置しなかつたりするような場合があった。また、意匠上、景観上の観点からも成型セメント板等の防音壁は好まれないことが多い。



図表 4 取付作業状況

このような状況を鑑みて、既存製品の問題を解決して騒音対策の必要性がある多くの建物へ遮音ルーバー装置が設置されることで、快適な都市環境・住環境の実現に寄与することを目指し、独自のアイデアの導入と製造方法等の工夫による低コストの遮音ルーバー装置の開発に着手することとした。

2) 開発の目標

定量目標として①～②、定性目標として③～⑤を設定し、開発を進めた。

- ①大手メーカー既存製品と同等以上の遮音性能（オクターブ 500Hz 帯域音響透過損失：5dB 以上、同 2kHz 帯域：11dB 以上）
- ②アルミ押し出し成型により一体成型し、二次加工を極力減らしてコスト（材工価格）を既存製品の 50%（大手メーカー品比）～75%（国外生産廉価品比）に抑える
- ③吸音機能だけに依存せずに騒音を低減する形状を考案する
- ④通気性確保のために高流量係数（低圧損）を目指す
- ⑤部材による風切り音を発生させない

3) 開発経緯

2015 年度	予備検討
2016 年度	形状考案（主にシミュレーションによる）、吸音材料選定、製造方法検討
2017 年度	試作品による性能検証（遮音、通気性、強度、風切り音、耐久性）、製造方法検討
2018 年度	製造方法検討、販売用ツール、販売網整備
2019 年度	第 1 号機納入

(2) 共同開発

無し。なお、製造面の検討及び試作に関しては、株式会社成和（京都府宇治市）の協力を得て実施した。

(3) 技術導入

無し

3. 独創性

機械設備などの騒音低減を目的として設置されるルーバー装置は、「遮音ルーバー」あるいは「防音ルーバー」という名称で市場投入されている。その多くは、グラスウールを多用しており、音響現象の一つである「吸音」に大きく依存している。「吸音」に依存するという事は、高い遮音性能を実現するためには吸音材の使用量を増加させる必要があるため、装置のサイズが大きくなる。その結果、装置自体の価格が上がり、また設置作業のためのコスト増大、設置に必要な占有面積の増大と、派生的に問題が拡大していく。我々の開発では、「吸音」だけに依存せず、同じく音響現象である「反射」、「共鳴」と「吸音」を利用して製品を構成することを目指した。その結果、図表 2 に示すように、①「反射」円弧と放物線の組み合わせによって、

入射してきた騒音を入射してきた方向へ反射する機能、②「共鳴」スリットと背後の空間によって構成される共鳴器を配置し、共鳴周波数付近の騒音をその部分より先へ伝搬させない機能、③「吸音」長期的に高い耐候性を維持できるポリエステル吸音材による吸音の機能、を組み合わせることにより、コンパクトなサイズ（厚さ 116mm）で既存製品と同等以上の遮音性能を確保したところに独創性がある。加えて、既存製品に対して、圧倒的に高い通気性能と低コストを実現している。

4. 特許の有無

次のとおり、特許 4 件を取得済み、1 件（関連含む）を出願中。

特許番号：第 6936904 号 / 名称：遮音ルーバー

特許番号：第 6979760 号 / 名称：遮音ルーバー

特許番号：第 7042579 号 / 名称：遮音ルーバー

特許番号：第 7042629 号 / 名称：ダブルスキン構造

公開番号：特開 2021-051124 / 名称：遮音ルーバーの設定方法

また、次のとおり、意匠登録 1 件、商標登録 1 件を取得済み。

意匠登録番号：第 1602910 号 / 名称：建築用目隠しルーバー材

商標登録番号：第 6083513 号 / 商標：しずかルーバー

5. 性能

本装置の性能について項目毎に説明する。図表 5 に定量評価が可能な装置の厚さ、遮音性能（音響透過損失）、通気性能（有効開口率比）、材工コストについて、既存製品との比較を示す。

比較対象とした既存製品は、いずれもグラスウール等の吸音材 50～100mm 厚さを様々な形に整形し、その表面をパンチングメタルやフラットメッシュによって保護することでルーバー羽板を構成している。その羽板を各社で定めたピッチで配置して製品としており、どの製品も吸音にのみ依存して音を低減する考え方である。

図表 5 既存製品との性能比較

メーカー・製品	厚さ (mm)	遮音性能比較 (本装置を基準とする)		有効開口率比 (本装置を1.0とする)		材工コスト比 (本装置を1.0とする)	
本装置	116	◎	基準(0dB)	○	1.0	◎	1.0
A社	95	◎	-2~-3dB	△	0.43	×	1.6~1.9
		◎		△	0.37	×	
B社	230	△	同等	○	0.59	△	2.9
		△		○	0.37	×	
C社	150	○	+1~+2dB	◎	0.17	×	2.0~2.1
		○	同等	○	0.21	×	1.8~1.9
		○		○	0.24	×	1.6~1.7

※厚さ、材工コスト比は、当社製品比2倍以上×、1.5~2倍△、1~1.5倍○、同等程度◎とした

遮音性能比較は、同じく-3dB以下×、-3~-1dB△、同等程度○、+1~3dB◎とした

流量係数比は、同じく0.5倍以下×、0.5~0.75倍△、0.75~1倍○、同等以上◎とした

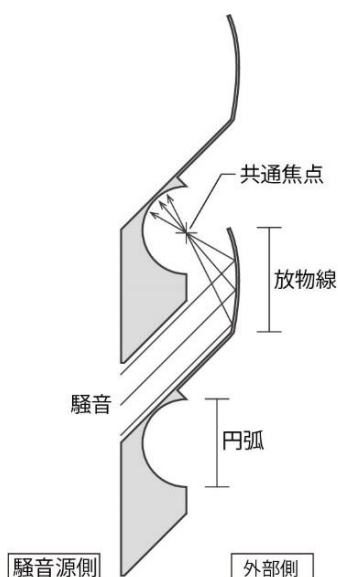
- ・A社製品は50mm厚程度の吸音材を断面形状として平行四辺形に構成し、表面をフラットメッシュ（金網）で保護している。製品1と2は羽板の傾斜が上向き、下向きの違いがある。
- ・B社製品は吸音材を断面形状としてラグビーボール（最厚部100mm程度）のような形状に構成して、表面をパンチングメタルで保護している。製品1～2の順に羽板の間隔が狭くなっている。なお、同社には230mmよりさらに厚さのある300mmの製品があるが、本装置の厚さの約3倍であり正当な比較とならないため対象とはしていない。
- ・C社製品は50mm厚程度の吸音材を断面形状としてV字形に構成して、表面をパンチングメタルで保護している。製品1～3の順に羽板の間隔が広がっている。

図表5の比較結果を纏めると次のとおりである。

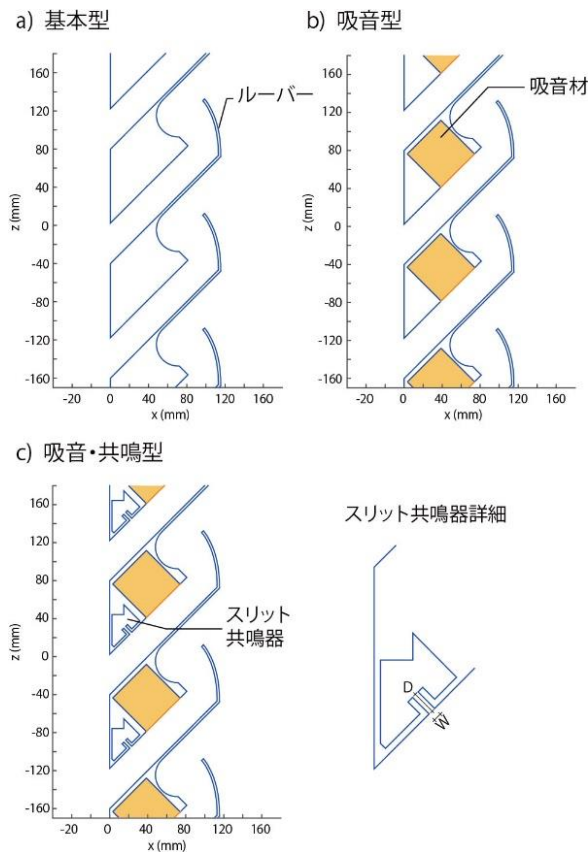
- ・本装置の遮音性能は既存製品同等以上である。なお、C社製品1は、本装置の遮音性能をやや上回るが、次に述べる通気性能（有効開口率比）が本装置の0.17倍と著しく低い。
- ・通気性能（有効開口率比）は、本装置を1.0とすると、既存製品はその0.17～0.59倍と低くなっている。
- ・材工コスト比は、本装置を1.0とすると、既存製品はその1.6～2.9倍と大幅に高くなっている（コストに関する詳細は「6. 経済性」に記載）。

（1）波動音響シミュレーションによる遮音性能の予測

開発の初期段階では、考案した複数の形状や条件に対して、波動音響シミュレーションによって遮音性能を予測し、試作形状の絞り込みを行った。これにより、開発期間の短縮と試作コストを削減することができた。図表6に初期段階での形状の原案を示し、図表7に波動音響シミュレーションを行った主要な形状を示す。シミュレーションの結果、図表7(c)の形状によって目標とした性能が確保できる見込みが得られたため、工業製品としての製造の実現性を考慮して試作品の形状を決定し、次に述べる遮音性能試験を実施した。



図表6 放物線と円弧を組み合わせた本装置の原案



図表 7 波動音響シミュレーションモデル

(2) 遮音性能試験（音響透過損失試験）

遮音性能の評価は、当社技術研究所内の残響室にて JIS A1416:2000「実験室における建築部材の空気音遮断性能の測定法」に準拠して音響透過損失試験を実施した。その結果、本装置の音響透過損失は既存製品同等以上（一部の低通気性能の製品を除く）であることを確認した。音響透過損失試験の方法と結果を以下に記載する。

1) 第1次試験

波動音響シミュレーションによって得られた知見から、まず図表 8 に示す A-0～A-4 の 5 種類の試験体に対して第 1 次の音響透過損失試験を実施した。第 1 次試験の目的は、波動音響シミュレーションで予測された遮音性能が実現できるかの見通しを得ることと、スリット共鳴器の仕様と騒音低減効果の定性的関係を明らかにすることであった。第 1 次試験の結果、目標とした音響透過損失値を確保できる目途が得られた。また、スリット共鳴器のスリット幅と深さ、及び背後空間の容積の組合せによる共鳴周波数の関係が、シミュレーションにより予測された値と概ね同様であることが確認された。

この結果を基に、現実的な工業製品として製造・加工可能なスリット幅・深さを検討した結果、スリット幅 1.4mm、深さ 5mm に決定した。また、各所の強度を再検討してアルミ肉厚の見直しを行い、最終製品を想定した試験体を製作し第 2 次試験を行った。

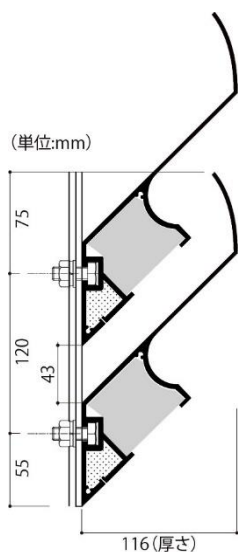
2) 第2次試験

第2次試験に供した試験体の断面図を図表9に示す。試験体条件は図表8に示した試験体A-5とA-6である。この試験では目標としている遮音性能が実現できることの最終確認と、スリット共鳴器の効果を確認することを目的とした。試験の状況を図表10に示す。

音響透過損失測定結果を図表11に示す。グラフに示すとおりA-6(オクターブ)の測定値が、設定した目標性能(✕)を満足することを確認した。また、スリット共鳴器によって、1kHz帯域から1.6kHz帯域で音響透過損失が最大3dB程度向上することを確認した。

図表8 試験体条件

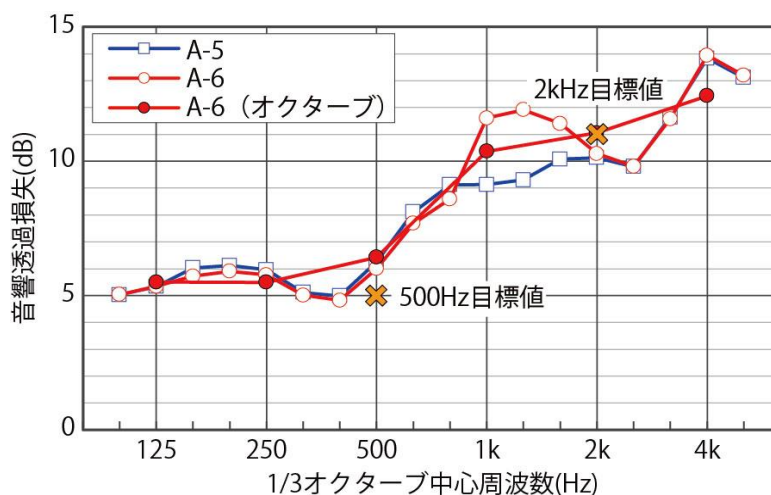
試験番号	スリット寸法実測値		吸音材
	幅(mm)	深さ(mm)	
A-0	スリット無し		無し(合板t9塞ぎ板)
A-1	スリット無し		
A-2	0.94	5	ポリエステル繊維 吸音材
A-3	3.63	5	
A-4	0.85	9	
A-5	スリット無し		ポリエステル繊維 吸音材
A-6	1.43	5	



図表9 第2次試験の試験体断面形状



図表10 音響透過損失試験の状況



図表 11 音響透過損失測定結果

(3) 通気性能

通気性能は、(一社)日本建築総合試験所に依頼し、開口部分の空気の流れ易さを表す流量係数(0~1の間の数値)を求めることで評価を行った。その結果、流量係数は0.50を超える数値を示し、既存製品を大幅に上回ることを確認した。試験方法と結果を以下に記載する。本項では併せて、当社技術研究所で実施した流れの可視化についても記載する。

1) 試験方法

通気性能試験は、試験体を圧力箱に設置し、圧力箱内外の圧力差と通気量を測定する方法で行い、最終的に空気の流れやすさを示す流量係数を求めることを目的とした。

2) 試験結果

図表 12 に試験の状況を示す。試験の結果得られた圧力差と流量の関係を図表 13 に示す。

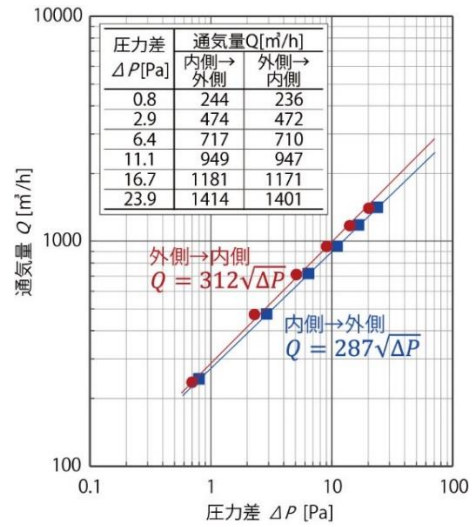
この結果より計算される流量係数は、騒音源側から外部側へ流れる方向の場合 0.51、逆方向が 0.55 となり、既存製品の数値を大きく上回っていることが確認できた。流量係数と通気経路の寸法より計算される有効開口率は、当社製品を 1 とすると、既存製品は 0.17~0.59 である。高い流量係数が実現できた要因としては、空気が流れる通気経路の形状の滑らかさや、表面にパンチングメタルのような空気の流れを乱す部材を使用していないことが考えられる。

3) 流れの可視化

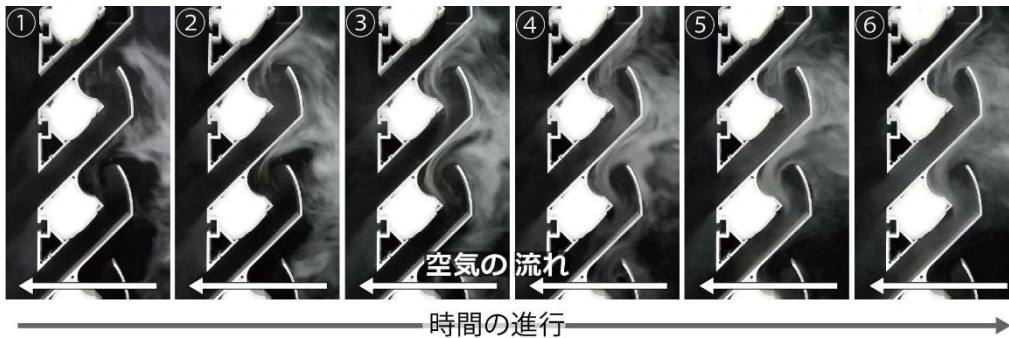
本装置を通過する空気の流れの可視化を当社技術研究所で実施した。その結果を図表 14 に示す。これらの図では、各図の右側から風が流れ込み、本装置を通過して左側へ流れ出す様子を示している。滑らかに空気が流れていることや、次に述べる風切り音発生原因となる端部での顕著な渦も発生していないことが観測される。なお、建物屋上等での本装置の設置状況では、外側(騒音源の逆側)からの風に、より強く曝されると考えられるため、本装置の右側から風が当たる状況で流れの可視化を行った。



図表 12 通気性能試験の状況



図表 13 通気性能試験結果



図表 14 空気の流れの可視化

※空気の流れを①から⑥に時間を追って示している。

空気は各図中で右側から左に流れている。

(4) 風切り音防止性能

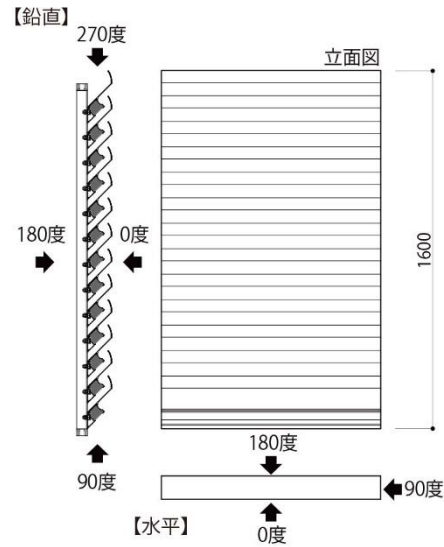
本装置によって風切り音を発生させないことは必達目標である。そのため、当社技術研究所内の風洞実験装置を用いて、あらゆる方向から最大風速 24m/s の一様流の強風を当てて風切り音の発生状況を調べた。その結果、実際に建物へ取り付けられた状況の中では、問題となる風切り音は発生しないことを確認した。実験方法と結果を以下に記載する。

1) 実験方法

風切り音の発生の有無を調べる実験は、当社技術研究所内の風洞実験装置を用いて行った。風洞測定部 (ターンテーブル) に試験体を固定して、乱れがほとんどない一様流 (試験風速の範囲内で試験体中央部において乱れ強さ 1%) の強風を当て、風切り音発生の有無を観測した。試験の状況を図表 15 に、試験における風向の定義を図表 16 に示す。風向は、試験体に対して水平方向 0~180 度、鉛直方向 0~360 度を 10 度ピッチで、風速は 6~24m/s を 2m/s ピッチで実験を行った。



図表 15 風切り音実験の状況



図表 16 試験体形状と風向角度の定義

2) 実験結果

実験の結果、水平方向の風では風切り音は発生しなかった。鉛直方向の風では 100～150 度方向、風速が 10m/s 以上の風で取り付け用のボルト溝から風切り音が発生した。しかし、この風向は、本装置の騒音源側でかつ床方向から一様流の強い風が当たることを意味しており、現実に生じることはほぼ無いと考えられる。したがって、実用上は問題が生じることは無いと判断される。

(5) 耐風強度性能 (安全性)

2018 年 9 月台風 21 号による関西地方や、2019 年 9 月台風 15 号による千葉県での風による被害は記憶に新しい。毎年台風に襲われる我が国の場合、屋外に設置する装置の風に対する強度性能は、安全性の面で極めて重要である。

本装置の耐風強度性能の確認は、本装置が受け得る耐風圧を確認する単純梁等分布荷重試験 (試験 1) とボルト接合部の強度確認を行う単純梁集中荷重試験 (試験 2) を当社技術研究所にて実施した。その結果、支持スパン 4m の単純梁支持条件における許容耐風圧荷重は 4kN/m^2 、中間支持した支持スパン 2m の単純梁支持条件では 16.1kN/m^2 であり、国の告示¹⁾や学会マニュアル²⁾に基づく安全性の要求に対しても十分対応可能であることを確認した。高い耐風強度を実現したことで、強い風が吹く高層・超高層建物への適用が可能となっている。また、コストダウンのために目標とした二次加工を極力減らすことが部材点数の削減につながり、結果的に風圧等の繰返し外力によるビス等の緩みの発生と、それに伴う脱落や破損のリスクを低減している。

1) 建設省告示 1458 号, 屋根ふき材及び屋外に面する帳壁の風圧に対する構造耐力上の安全性を確かめるための構造計算の基準を定める件, 2000 年 5 月 31 日

2) 日本建築学会編, 実務者のための建築物外装材耐風設計マニュアル, 2013. 4

(6) 耐久性能

本装置で使用する材料は、アルミニウムとポリエステル繊維である。前者の耐候性は議論の余地はないと考えられる。後者は、メーカーにより JIS K7350-3:2008「プラスチック―実験室光源による暴露試験方法―第3部：紫外線蛍光ランプ」により 70℃±3℃で8時間照射、50℃±3℃、水分凝縮状態で4時間を繰り返し、総暴露時間2,000時間で外観・吸音性能に変化が無いことは確認されている。また、当社技術研究所内において2017年6月より本装置を設置して耐候試験を継続中である。試験体の設置状況を図表17に示す。試験体設置後5年(2022年6月現在)が経過しており、夏冬の温度変化、降雨、降雪、台風、ゲリラ豪雨等の気象現象に対して、今現在顕著な変化は見られず、また吸音材の雨水による湿潤も生じていないことを確認している。今後も引き続き観測を続ける。

6. 経済性

図表18に、既存製品との材工コスト比(開発実施時2017年における比較)を再掲する。「材工コスト」とは、材料費(本装置の値段)と施工費用の合計金額である。ここで示すコスト比の基となる各製品のコストは、一般商品の定価にあたる「設計単価」で算出している。比較対象とした既存製品は「5. 性能」で記載したとおりである。既存製品は本装置と比較して、少なくとも1.6倍、最大2.9倍のコスト(すなわち本装置は、既存製品の34~63%コスト削減)と大幅に高くなっており、本装置の優位性を示している。

コストの低減は、材工一体で計画した。まず製造工程では、アルミ押し製法により一体成型し、二次加工を極力削減したことで、既存製品に対して大きくコストダウンすることができた。また、設置は図表4で示すように、内側(設備設置側：騒音源側)からの作業のみで施工が可能な構造となっている。外側からの作業が不要ということは、足場や取付時の安全措置が不要となりコスト低減につながる、また、施工は支持部材と羽板をボルト・ナットで緊結するだけの容易な作業内容であり、専門工の必要は無くコスト低減に貢献している。

7. 将来性

本装置はコスト面で既存製品に対して圧倒的に有利であるため、今後の新築工事案件への適用、またこれまではコスト面、あるいは排熱不良等の理由により諦めざるを得なかったような案件についても、導入の可能性が高まると考えられる。また、全国的な販売チャンネルを有する建築材料メーカーへの製品供給契約も締結済みのため、今後多くの案件への導入が期待される。



図表 17 耐候試験 試験体設置状況

図表 18 既存製品との材工コスト比較

メーカー・製品		厚さ (mm)	材工コスト比 (*当社を1とする)
当社製品		116	1.0
A社	製品1	95	1.6~1.9
	製品2		
B社	製品1	230	2.9前後
	製品2		
C社	製品1	150	2.0~2.1
	製品2		1.8~1.9
	製品3		1.6~1.7

※材工コスト比は、数値が小さいほど優位である。