

令和 5 年 4 月 25 日現在

機関番号：57403

研究種目：基盤研究(C)（一般）

研究期間：2018～2022

課題番号：18K11703

研究課題名（和文）住居内騒音暴露量軽減を目的とした換気性能を有する環境配慮型防音窓の開発

研究課題名（英文）Development of Environmentally Soundproof Windows with Ventilation Performance to Reduce Noise Exposure in Dwellings

研究代表者

西村 壮平（NISHIMURA, Sohei）

熊本高等専門学校・生産システム工学系M Iグループ・准教授

研究者番号：00442484

交付決定額（研究期間全体）：（直接経費） 3,400,000円

研究成果の概要（和文）：「環境配慮型防音窓の開発」にあたり、換気機能と防音機能を併せ持つ防音ユニットは本研究の最重要部である。本研究では、上記トレードオフの関係にある防音と換気の最適化を実現するため、防音ユニット内部に生じる平面波・高調波音圧成分の共振周波数の発生メカニズムに着目し、防音ユニットの形状に応じた音圧の関係式を確立した。得られた関係式より、減音効果が最大となるユニットの構造、および寸法・開口位置・面積等のパラメータの算出が可能となる。

研究成果の学術的意義や社会的意義

本研究は防音ユニット形状及び開口位置による減音効果に着目し、理論計算と実験検証を行っている。減音効果はユニット内部の共振周波数の発生に注目し、三次元波動方程式を基に解析モデルの境界条件に応じた音圧の関係式を得ている。共振周波数に焦点を当てることにより、筐体の共振による音圧レベル増のメカニズムを理論計算から解明することができるため、騒音の対処療法的対策ではなく根本的な原因対策が可能となる。この防音ユニットは本来の換気性能を損なわず騒音を低減できるという点に特徴があり、近年増加する騒音対策、および建物の高气密化や新型インフルエンザ感染対策に伴い重要性が指摘されている換気対策のため必要性は高い。

研究成果の概要（英文）：The soundproofing unit that has both ventilation and soundproofing functions is the most important part of this research for the "development of environmentally soundproofing windows. In order to optimize the above trade-off relationship between soundproofing and ventilation, this research focused on the generation mechanism of resonance frequencies of plane wave and higher order sound pressure components generated inside the soundproofing unit, and established an equation that relates sound pressure according to the shape of the soundproofing unit. From the obtained equation, it is possible to calculate the structure of the unit that maximizes the sound reduction effect, as well as parameters such as dimensions, aperture position, and area.

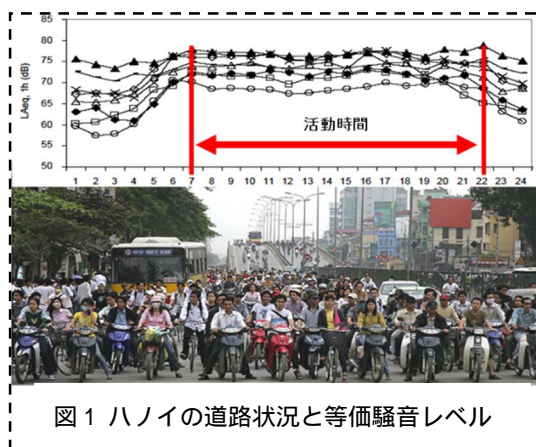
研究分野：音響工学

キーワード：防音 換気 波動方程式 共振周波数

様式 C - 19、F - 19 - 1、Z - 19 (共通)

1. 研究開始当初の背景

ベトナム社会主義国を含む東南アジアの発展途上国では熱帯地域に属しているものの、所得格差や電力事情の一因もあり各家庭のエアコン普及率が極めて低い。このため日中も窓を解放し、室内の空気を循環させ生活をしている。しかし、近年急激な人口増と経済成長に伴い自動車・バイクの保有台数が爆発的に増加している。さらに慢性的な交通渋滞により無秩序に発せられるクラクションの鳴動音も相重なり、騒音が深刻な社会問題となっている。図1はベトナムの首都ハノイの通勤時間帯の道路状況と、主要幹線道路の騒音レベルを24時間計測した結果である



(Applied Acoustics, 71, pp.107-114 (2010))。午前7時から午後10時まで間、平均75dBという非常に高い騒音レベルに曝されている様子が分かる。この劣悪な騒音が各家庭の住居内に伝搬し、エアコンの無い家庭では窓を解放せざるを得ないため、生活の質が著しく低下している。

本研究は「換気性能を有する環境配慮型防音窓の開発」をタイトルに掲げ、トレードオフの関係にある防音機能と換気機能の両立、および防音機能の更なる向上の可能性から着想に至った。

2. 研究の目的

本研究では上述の防音窓の開発を目的としている。この防音窓は採光のための単層ガラス部と換気用の開口部から成るガラリ状であり、開口部には「防音ユニット」と称した騒音対策用の筐体により構成されている。防音ユニットにより屋内の外来交通騒音を低減する防音機能を備え、これにより従来東南アジアで多用されている木製観音開き窓使用時の居住環境と遜色ない換気を得ることが可能である。

防音ユニットは本研究の最重要部であり、換気機能と防音機能を有している。換気機能と防音機能はトレードオフの関係があり、防音ユニットの体積を大きくし、開口面積を大きく取ることにより換気機能は向上するが、高調波音圧成分によるユニットの内部共振が多発し、防音効果は低下してしまう。内部共振の発生とユニット体積には線形な関係があるため、トレードオフの問題を解消するためにはユニット内の音波伝搬を理論解析し、共振発生の関係式から対策を講じる必要がある。つまり、ユニット内部の共振周波数の発生メカニズムを解明するため、三次元波動方程式を基とした防音ユニットの形状に応じた音圧の関係式を得ることが不可欠である。

本研究の目標

- ・遮音性能：20dB～30dB
- ・換気性能：従来から使用されている木製ガラリ窓と同等の換気量

3. 研究の方法

上記の研究目的を達成するため、以下の方法で研究を実施した。

これまでの研究で明らかになった高調波共振の低減に加え、ユニット内の平面波音圧成分の伝搬にも注目し、両成分の低減により遮音性能の目標値を達成するためのユニット構造、および寸法・開口位置・面積等の最適パラメータを理論計算により求める。

換気性能については三次元熱流体解析による換気量計測シミュレーションを実施し、トレードオフの関係にある防音と換気の両者を両立させるためのユニット寸法および開口箇所最適化を行う。

、得られた防音ユニットの最適寸法を基に原寸大の試作窓を製作し、残響室 - 無響室法による音響測定を実施する。このとき得られた挿入損失および周波数特性より、さらに低減すべき周波数帯域を決定する。

4. 研究成果

研究の方法 に関する研究成果を以下に示す。

図2は防音ユニットに更なる換気機能を得るために、入出口の開口部をこれまでの対向位置のみでなく、直交位置に配置し、その減音効果を理論的に検討したものである。得られた理論式より平面波と高調波の音圧成分を低減するため、入出口の形状やその設置位置について検討を行い、最後に挿入損失により防音ユニットの性能を実験的に検証した。

結果の一例を示す。図3は入口と出口を対向位置に配置したユニットと直交位置に配置したユニットの挿入損失の比較を示しており、直交位置の方が高い減音効果が得られていることが分かる。図4は音源を $(x,y,z)=(a/2,b/2,0)$ に配置し、開口部をA点 $(x,y,z)=(a/2,b,d)$ に配置した時の理論値(a図)と、計測値(b図)の比較結果である。(b)図は挿入損失を表しており、「利得が高い=音圧が低い」といった関係がある。点線で示す通り、共振周波数の発生位置が理論値と計測値においてよく一致しているため、本理論計算の正当性が証明されていることが分かる。また、(b)図より、開口部をA点に配置するより、B点 $(x,y,z)=(a/2,b,d/2)$ に配置した時の方が共振数が減り、全帯域で音圧が小さくなっていることが判る。つまり、開口位置をB点に配置した方がより高い防音効果が得られることを表している。

換気性能については、防音ユニット内部の空気の流れについてCFD解析を実施している。また、CFD解析の有効性の検証のため、PIVシステムを用いた測定結果との比較検証を行った結果、CFD解析の有効性が示された。

全体を通して、当初の計画では予定していなかった単一ユニットベースの見直しを行ったため、最終目標である試作防音窓の製作までは至らなかった。しかし、トレードオフの関係にある防音機能と換気機能の両立、および遮音性能の目標値である20dB~30dBを達成するためには、単一ユニットベースの見直しは重要であり、結果として様々な形状モデルについて、音圧の関係式を確立することができた。

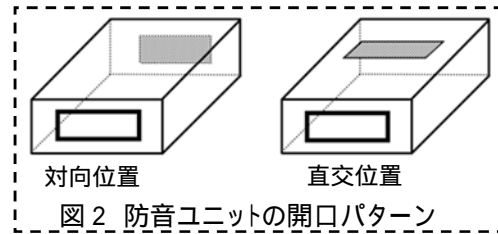


図2 防音ユニットの開口パターン

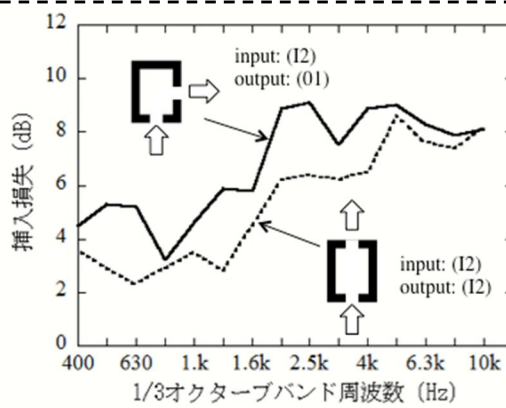


図3 対向位置と直交位置における挿入損失比較結果

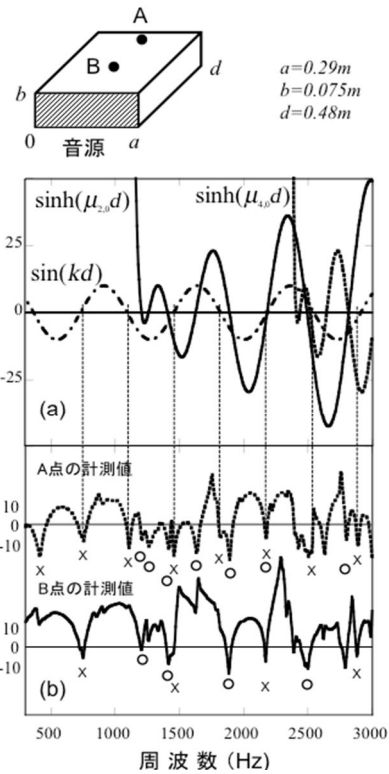


図4 理論計算と計測値

5. 主な発表論文等

〔雑誌論文〕 計4件（うち査読付論文 4件/うち国際共著 0件/うちオープンアクセス 2件）

1. 著者名 Yuya Nishimura, Sohei Nishimura	4. 巻 182
2. 論文標題 An acoustic performance of elliptical soundproof vent hole unit	5. 発行年 2021年
3. 雑誌名 Applied Acoustics	6. 最初と最後の頁 -
掲載論文のDOI（デジタルオブジェクト識別子） 10.1016/j.apacoust.2021.108205	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスではない、又はオープンアクセスが困難	国際共著 -
1. 著者名 Sohei Nishimura, Yuya Nishimura, Nguyen Thulan	4. 巻 168
2. 論文標題 Acoustic performance of an elliptical cavity on the application for soundproof ventilation units installed in dwelling walls	5. 発行年 2020年
3. 雑誌名 Applied Acoustics	6. 最初と最後の頁 1~8
掲載論文のDOI（デジタルオブジェクト識別子） 10.1016/j.apacoust.2020.107418	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスではない、又はオープンアクセスが困難	国際共著 -
1. 著者名 Sohei Nishimura, et al.	4. 巻 6
2. 論文標題 Sound Propagation in a Square Duct Having an Inlet and Outlet Located on the Crossed Right Angle Face	5. 発行年 2018年
3. 雑誌名 International Journal of Emerging Engineering Research and Technology	6. 最初と最後の頁 9-13
掲載論文のDOI（デジタルオブジェクト識別子） なし	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスとしている（また、その予定である）	国際共著 -
1. 著者名 Yuichi Tanaka, Sohei Nishimura, et al.	4. 巻 6
2. 論文標題 Analysis of Flow inside Soundproofing Ventilation Unit using CFD	5. 発行年 2018年
3. 雑誌名 International Journal of Emerging Engineering Research and Technology	6. 最初と最後の頁 1-8
掲載論文のDOI（デジタルオブジェクト識別子） なし	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスとしている（また、その予定である）	国際共著 -

〔学会発表〕 計3件（うち招待講演 0件 / うち国際学会 2件）

1. 発表者名 西村壮平
2. 発表標題 Study on Theoretical Calculation of Soundproofing Air Vents
3. 学会等名 The 49th International Congress and Exhibition on Noise Control Engineering (国際学会)
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 西村壮平
2. 発表標題 Acoustic performance of soundproof ventilation units installed in dwelling walls
3. 学会等名 23rd International Congress on Acoustics (国際学会)
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 濱崎琢斗, 西村壮平
2. 発表標題 防音換気ユニットの性能評価手段に関する検討
3. 学会等名 日本機械学会九州学生会第50回卒業研究発表講演会
4. 発表年 2019年

〔図書〕 計0件

〔産業財産権〕

〔その他〕

-

6. 研究組織	氏名 (ローマ字氏名) (研究者番号)	所属研究機関・部局・職 (機関番号)	備考
---------	---------------------------	-----------------------	----

7. 科研費を使用して開催した国際研究集会

〔国際研究集会〕 計0件

8 . 本研究に関連して実施した国際共同研究の実施状況

共同研究相手国	相手方研究機関
---------	---------