

振動制御を用いたアクティブ遮音硝子の開発

福田 良司^{*1)}

Improving Sound Transmission Loss of a Window Pane Using Active Vibration Control

Ryoji Fukuda^{*1)}

キーワード：アクティブ遮音，実稼動モード解析，振動制御，クラスター制御

Keywords：Active Transmission Loss, Operational Modal Analysis, Vibration Control, Cluster Control

1. はじめに

東京のような都市部においては，住宅と工場が隣り合わせになっている「住工混在地域」と呼ばれるエリアが存在し，騒音に関する問題が後を絶たない。騒音対策は，音源側と受動側の対策に大別され，また，能動的な手法と受動的な手法とに大別されよう。それぞれの手法には一長一短があるが，比較的低コストである遮音材や防音壁の設置といった，受動的な手法が選択される場合が多い。しかしながら受動的な手法は，高周波領域においては有効であるものの，低周波領域においては騒音低減効果が大幅に減少する。そこで本研究では新たな騒音低減手法として，振動制御を用いたアクティブ遮音硝子を提案する。

2. サッシの振動モード解析

構造物には必ず共振周波数が存在し，それとあわせて振動モードが存在する。振動制御を行う際に，振動モードの影響を考慮せずに制御系を構築すると，ノードラインの影響を受け，制御が講じられないモードが生じることがあ

る^{(1),(2)}。これを防ぐために，本研究では制御対象であるアルミサッシ窓（以下サッシ）の振動モードを確認することから始める。本研究ではサッシを音響加振し，実稼動モード解析（OMA：Operational Modal Analysis）によりモード形状を確認した。OMAは，構造物への入力信号を必要とせずにモード形状が得られる。このことから，本研究対象のように構造物が音によって加振される場合は，ハンマリングによる実験モード解析と比較して，有効な手法と言える。

本研究で用いるサッシは遮音効果検証のため，図1に示すようにコンクリート製エンクロージャの開口部（500 mm × 700 mm）に設置されており，ガラスの寸法は386 mm × 626 mm × 3 mmである。サッシ上に63点（7 × 9）の振動計測点を設定し，サッシを音響加振した際の各点の振動速度を，レーザ振動計により計測した。OMAにより得られたサッシのモード形状の一部を図2に示す。この結果から，サッシの各振動モードにおけるノードラインの位置と，モード形状の特性を確認した。

3. 振動制御によるアクティブ遮音

遮音を実現するために，センサとアクチュエータをサッシに設置して振動制御系を構築する。本研究では振動制御

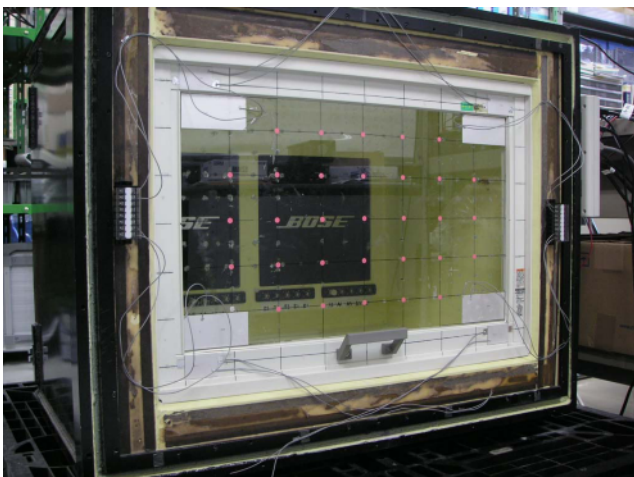


図1. コンクリート製エンクロージャとアクティブ遮音硝子

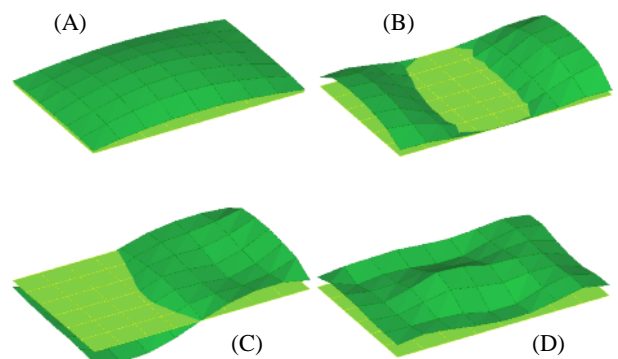


図2. アルミサッシの振動モード(実稼動モード解析結果)

(A):47Hz, (B):125Hz, (C):250Hz, (D):370Hz

*1) デザイングループ

による遮音の実現を目指すため、センサには加速度ピックアップを用いた。またアクチュエータには、サッシへの取り付け性を考慮し、圧電セラミックスを用いた。使用したセラミックスの寸法は 50 mm × 100 mm × 1 mm である。センサとアクチュエータのセットアップの様子を図 3 に示す。また、振動制御法にはクラスタ制御を採用し、filtered-X LMS

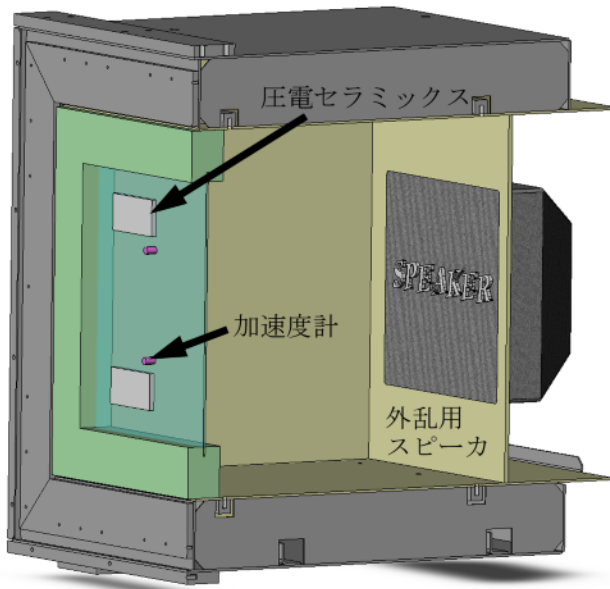


図 3. アクティブ遮音実験装置断面図

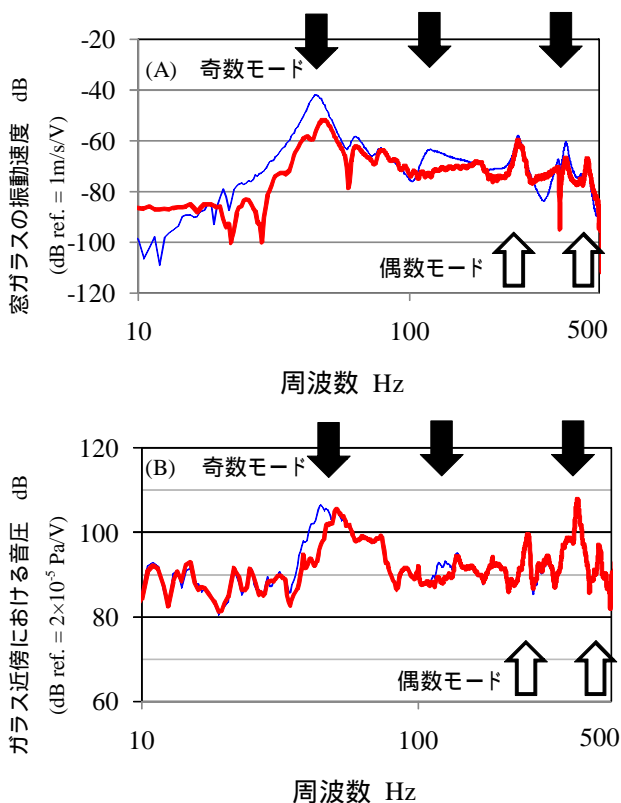


図 4. 振動制御によるアクティブ遮音効果
制御なし 制御あり
(A)サッシの振動速度, (B)音圧の空間平均

アルゴリズムによるフィードフォワード制御を講じた。クラスタ制御の詳細については関連文献⁽³⁾を参照されたい。本実験では奇数クラスタのみを制御対象とするので、500 Hz までに存在する 5 つの振動モードのうち、3 つのモード(図中の黒塗り矢印)が制御対象となり、残り 2 つのモード(図中の白抜き矢印)は制御対象外である。奇数クラスタを制御対象としたのは、奇数クラスタが音響放射効率の高いモード群であることを利用し、騒音低減に向けて効率の良い制御系を実現するためである。

上記の制御結果を図 4 に示す。まず図 4 (A) は、クラスタ制御前後のサッシの振動速度を示している。この結果をみると、制御対象とした 3 つのモードのみに制御力が作用し、制御対象外の 2 つのモードについては全く影響を与えていない。したがって、音響放射効率の高い奇数モードの振動のみが抑制されたことが分かる。次に、クラスタ制御前後の音圧を図 4 (B) に示す。サッシの振動と同様に、制御対象である奇数モードの音圧は低下しているが、非制御対象である偶数モードに起因する音圧については、制御前後で変化していないことが分かる。なお、370 Hz 付近に存在するモードによる音が抑制されなかったのは、エンクロージャ内部の音響モードの影響によるものと考えられる。

4. まとめ

以上、本研究では振動制御によるアクティブ遮音の実現を目指し、サッシのモード形状を確認した上で振動制御系を構築した。そして、実験によりアクティブ遮音効果が得ることを実証した。本研究での成果をまとめると、以下の通りである。

- (1) 実稼動モード解析を行い、サッシの振動モードを確認した。
- (2) 加速度ピックアップ、圧電セラミックスを用いた振動制御系を構築し、クラスタ制御によりサッシの振動を抑制した。
- (3) 振動制御(クラスタ制御)により、サッシから放射される音圧が低減できることを実験により実証した。

最後に、本研究は財団法人トステム建材産業振興財団平成 18 年度研究助成を受けて行われたことを記し、感謝の意を表す。

(平成 21 年 7 月 6 日受付, 平成 21 年 9 月 20 日)

文 献

- (1) 田中信雄, 福田良司:「スマートクラスターセンサーに関する研究」, 日本機械学会論文集 C 編, 第 67 巻, 第 653 号, pp.51-58(2001)
- (2) 福田良司, 田中信雄:「矩形平板における一般化スマートクラスターフィルタリングとスマートクラスター制御について」, 日本機械学会論文集 C 編, 第 68 巻, 第 667 号, pp.825-832(2002)
- (3) 福田良司, 貝塚勉, 田中信雄, 中野公彦:「ガラス窓の能動遮音制御:クラスタ制御の適用」, 日本機械学会 Dynamics and Design Conference 2009, 講演番号 364, 2009 年 8 月発表予定