

研究概要報告書

研究題目	音響放射パワーモードとスマートセンシングに関する研究	報告書作成者	田中信雄
研究従業者	田中信雄		
研究目的	<p>構造振動があるから音が出る。振動がなければ音は出ない。これは自明の理である。しかしながら、振動を抑制すると、音が小さくなる場合もあるし、逆に音が大きくなる場合もある。また、振動レベルが増大して初めて音が小さくなる場合もある。このように振動が音に変遷する場では不可思議な現象が多々あり、技術者泣かせと言われてきた分野である。</p> <p>申請者は、これまでに単純支持平板を対象に、振動場と音場を有機的にリンクする新因子、「音響放射パワーモード」を見出している。この音響放射パワーモードを抑制すれば、音は必ず小さくなる。今般申請する研究はその一般化を志向し、一般構造物を対象とする音響放射パワーモードの解明を図ると共に、そのセンシング法を明らかにすることを目的とする。これにより、従来の構造システム静粛化法とは異なり、音響放射パワーモードを基礎とする新しい静粛化設計法の確立に向けて路を拓く。</p>		

研究概要報告書

研究内容

構造物が振動すると音が放射され、構造振動が完全に抑制されれば放射音は発生しない。これは自明の理である。しかしながら、某かの振動制御法を適用して構造振動を抑制する過程では、振動レベル（例えば運動エネルギー）が抑制されているにも拘らず、放射音レベル（例えば放射音響パワー）は一向に下がらなかつたり、逆に振動レベルが増大して初めて放射音レベルが抑制される現象に遭遇することがある。このように、振動場から放射音場へ変遷する過程では複雑な現象が発現することから、振動放射音の生成メカニズムを無視した単なる振動制御法は、理に適った振動放射音制御法とはなり得ない。

著者らは、これまでに振動場から放射音場を有機的に結び付ける因子、「音響パワーモード」を見出し、当該因子を抑制することで放射音響パワーは必ず抑制されることを明らかにした。さらに、PVDF フィルムを基調とする分布定数系スマートセンサーを開発し、系統的な音響パワーモードセンシングの設計法を提示した。分布定数系センサーは無数のポイントセンサーより構成されると見なすことができるので、分布定数系センサー自体に積分機能が存在し、かつ分布定数系センサーをシェーピングすることで、積和演算機能を付与することができるなど、従来型のポイントセンサーには見られないスマートセンシングとしての機能を具えている。

分布定数系構造物を対象とする振動制御の難しさは、無数に存在する振動モードにある。そのため、ポイントセンサーを導入することに伴う帰結として観測スピルオーバーが惹起され、その結果フィードバック制御系の安定性を損なうことになる。これに対して、分布定数系センサーを導入することにより観測スピルオーバーが回避 (9) され、簡素化にして効果的な制御系の設計が可能となる。

このように、分布定数系センサーは将来型のセンサー（スマートセンサー）として、現在注目され始めているセンサーではあるが、その入手性や操作性の面においては、既に広く普及しているポイントセンサーとは比較にならないほど困難であるのも事実である。そこで著者らは、これまでに分布定数系センサーを

実際に使用してきた者の立場からこの問題を鑑み、分布定数系センシングの設計理念はそのままとし、その具現化に当たっては利便性の高いポイントセンサー群/ポイントアクチュエータ群を基調とする振動制御法を明らかにすると共に、当該手法をさらに発展させた新しい振動制御法、「クラスター制御法」を提案した。クラスター制御とは、分布定数系構造物の制御を困難なものとしている無数の振動モード群を、同じ属性を共有する有限個のクラスターに弁別し（クラスター・フィルタリング）、かつこれを簡素な制御法で効果的に抑制（クラスター・アクチュエーション）する手法である。

本研究は、クラスター制御の観点より振動放射音響パワーの抑制を行うことを目的としている。まず、本研究は振動放射音の支配因子である「音響パワーモード」および「クラスター制御法」について総括した後、音響パワーマトリクスの構造を考察することにより、音響パワー空間が4種類のクラスター部分空間で構成され、かつこれらのクラスター部分空間が音響パワーマトリクスの不変部分空間であることを証明する。さらに音響パワーマトリクスの構造から、その直交変換マトリクスも相似な構造となり、それにより音響パワーが、各々のクラスターで放射される音響パワーの単純和として記述されることを明らかにする。このことは、振動場とその放射音場をリンクする「音響パワーモード」自体が、既にクラスタ化された構造になっていることを示唆するものであり、クラスター制御による振動放射音響パワーの抑制は理に適ったアプローチであることを示している。最後に、単純支持平板を対象として実験を行い、クラスターフィードバック制御の振動抑制効果を明らかにして後、当該法による音響パワー抑制効果を検証する。

研究概要報告書

<p>研究のポイント</p>	<p>(1) . 振動場と音場をリンクする因子、「一般音響放射パワーモード」の解明。 一般構造物を対象として、振動場から音場へ1対1に対応する因子「一般音響放射パワーモード」を解明し、その特性を明らかにする。一般構造物においては、これまで対象とした単純支持平板とは異なり当該モードの基礎となる振動解析解が存在しないため、有限要素法などの数値解析法を援用することで、音響放射パワーモード算出のための設計手順を確立し、広く実用に供されるように資料を整備する。</p> <p>(2) . 音響放射パワーモードセンサー（スマートセンサー）の開発。 音響放射パワーモードをセンシングするためのスマートセンサーを開発する。具体的には、PVDF フィルムを基調とするスマートセンサーの設計法を確立し、その有意性を立証する。スマートセンサーとは信号処理機能を包含するセンサーを指し、分布定数系センサーを使用することによりこれを実現できる。すなわち、無限個の集中センサーが集積したものとみなされる分布定数系センサーには、既に空間積分機能を有しており、さらにこれをシェーピングすることで積和演算処理機能を付加することができるからである。パワーモード算出のための演算処理はスマートセンサー内で実時間で実施され、センサー以降の信号処理を一切必要としないという特徴を有する。</p> <p>(3) . 一般構造物の静粛化機能の検証 任意の境界条件を有する平板構造物を対象として、スマートセンサーおよびスマートアクチュエータを基調とする適応制御系を構築し、音響放射パワー抑制効果を検証する。現在のところ、十分な制御パワーを有する分布定数系アクチュエータは存在しないので、分布定数系アクチュエーション機能を集中アクチュエータ群に持たせたスマートクラスター励起法を提案し、これにより必要な制御力を得る。</p>
<p>研究結果</p>	<ol style="list-style-type: none"> 音響パワーマトリクスは、その構造自体がすでにクラスターフィルタリングとしての特徴を有していることを明らかにすると共に、クラスター制御をベクトル空間の視点から論じた。すなわち、全音響パワーモード空間は、4つの部分空間（奇/奇音響パワーモード空間、奇/偶音響パワーモード空間、偶/奇音響パワーモード空間、偶/偶音響パワーモード空間）で構成され、かつこれらの部分空間は、音響パワーマトリクスの不変部分空間である。 ブロック化された音響パワーマトリクスと、その直交変換マトリクスは相似な構造をとる。 音響パワーは各クラスターより放射される音響パワーの単純和で表すことができる。 クラスター制御を講ずることは、振動場における振動モーダルクラスターを抑制すると同時に、音場における音響パワーモーダルクラスターを抑制することと同意義である。したがって、クラスター制御を講ずることで、音響パワーは必ず抑制される。 単純支持矩形平板を対象とする実験により、振動場でのクラスター制御は放射音場での音響パワークラスター制御と対応することを立証した。また、クラスター制御を講ずることで音響パワーは必ず抑制され、音響パワーの増大を招来することがないことを確認した。さらに全クラスターを抑制することで、10dBの音響パワーの抑制を得た。
<p>今後の課題</p>	<p>音響パワーモードの解明をさらに敷衍し、当該モードに基づく静粛化技術の体系化を図る。</p>