

機関番号：32702  
研究種目：基盤研究（C）  
研究期間：2008～2011  
課題番号：21560251  
研究課題名（和文） エネルギーフロー解析による静穏構造設計手法の開発  
研究課題名（英文） Structural Design Method for Quiet Environment by Using Energy Flow Analysis  
研究代表者  
山崎 徹 (YAMAZAKI TORU)  
神奈川大学・工学部・教授  
研究者番号：70272416

## 研究成果の概要（和文）：

本研究では、機械構造物の固体音対策として、構造物内の振動エネルギーの流れを表す振動インテンシティを用いた低騒音構造設計の新しい指針を導いた。この指針は、振動伝達パワーの抑制と促進を行うというものである。新たに振動インテンシティのモード展開式を導出し、それに基づき、設計指針の獲得、設計手法の開発を行い、数値シミュレーション及び実験によって手法の有効性を検証した。

## 研究成果の概要（英文）：

We have developed a new structural design concept for reducing sounds radiation from a plate structure. On this concept, structural intensity technique is used. The concept is based on a modal expansion of structural intensity on a plate. Using modal form of intensity, a desired power flow (distribution of intensity) can be obtained. Structural intensity in modal form can be expressed by superposition of weight coefficients and “cross-modal functions”. The weight coefficients depend on an excitation point location. The cross-modal function is determined by products of two natural mode shapes with spatial derivatives and is expressed in a vector field. The cross-modal functions can be classified into two types of power flow: non energy transmission type and energy transmission type distributions. In the case of the cross-modal function having non energy transmission type distribution, the power through over the plate is zero because the integral of power flow is zero. Therefore, modal form of intensity suggests that enhancement of a non energy transmission type cross-modal function leads to less energy transmission.

## 交付決定額

(金額単位：円)

	直接経費	間接経費	合計
2009年度	1,200,000	360,000	1,560,000
2010年度	1,000,000	300,000	1,300,000
2011年度	1,300,000	390,000	1,690,000
年度			
年度			
総計	3,500,000	1,050,000	4,550,000

## 研究分野：工学

科研費の分科・細目：機械工学・機械力学・制御

キーワード：振動，固体音，エネルギー伝播，構造設計，モード解析，低騒音化，低振動化，振動騒音対策

## 1. 研究開始当初の背景

| (1) 振動および音響インテンシティに関し

ては、1980年代から20年くらい世界的に研究が取り組まれた。これまでに、音響インテンシティ測定に基づく機械の放射音響パワーの測定法や透過損失測定法などが国際規格となっている。一方、振動インテンシティに関する規格はない。振動は音に比べ高階の空間微分で記述され、板厚や材質などが多様であるため、その計測が困難であり、実用化がなされていないためである。

- (2) また、これまでの振動および音響インテンシティに関する研究は、その特性評価や計測法に関するものばかりであり(\*1)(\*2)、現状の分析技術としては不可欠な技術とはなっているものの、積極的にインテンシティを低振動・低騒音を実現するための構造設計に利用しようという試みは少なく、補強棒や穴などの付加による振動インテンシティの変化を数値解析している程度にとどまる。
- (3) 以上の背景の下、我々は1999年度から2001年度にかけて、振動インテンシティに着目し、局所的な剛性の変更、質量の付加などの構造変更により、振動インテンシティがどのように変化するか、振動インテンシティと音響インテンシティの関係について検討を重ねてきた。しかしながら、この段階で得られた成果は、結果論的なものであった。
- (4) そこで、2002年度から2005年度にかけて、振動インテンシティと構造の関係についての検討を行い、共振時の振動インテンシティを、個々のモード成分に分離できることを明らかにした。さらに、2006~2008年度には、振動変位のモード展開式と同様に、振動インテンシティのモード展開式を導出した。モード展開式は、構造物が決まれば決定される項と外力などに依存する重み係数の積の重ね合わせで表わされる。これより、変位に対して固有モードに着目するように、振動インテンシティに対してはクロスモード関数（固有モードで記述される）に着目すればよく、「構造→固有モード→クロスモード関数→振動インテンシティ」と振動インテンシティに着目した構造設計手法の足がかりを得た。
- (5) その後、クロスモード関数に関する考察、重み係数に着目した振動インテンシティ分布の設計にも取り組み、現在、投稿論文の準備をしている段階である。さらに、構造変更による所望のインテンシティ分布の実現を目指し、単純なはりの縦振動インテンシティでの検討、振動放射音に関する音響インテンシティの振動モード展開を行ってきた。

## 2. 研究の目的

- (1) 機械構造物における固体音について、振動および音響エネルギーの流れ（すなわちエネルギーフロー）を考慮した新たな構造設計手法を開発する。
- (2) 振動インテンシティのモード展開式を新しく導出する。
- (3) (2)のモード展開式を考察し、固体音低減コンセプトを導出する。
- (4) 数値計算および実験によって、導出したコンセプトの有効性を検証する。
- (5) 成果の実用化を目指し、企業ヒアリングを実施し、今後の研究方向の検討に用いる。

## 3. 研究の方法

- (1) 研究代表者（山崎徹）および、山崎が研究指導する学生（博士後期課程、博士前期課程、卒業研究）と共に、本研究を実施した。
- (2) 振動インテンシティのモード展開式および固体音低減コンセプトを、理論的に導出した。
- (3) モード展開式およびコンセプトの有効性を検証するために、理論式に基づく解析プログラムを開発し、実施した。
- (4) コンセプトの有効性については、実験によっても確認した。
- (5) 研究成果の企業ヒアリングには、ロボット関係のNPOに協力を仰ぎ、10の企業、団体にヒアリングを実施、調査報告書を作成した。

## 4. 研究成果

本研究において得られた成果は以下に要約される。

- (1) 振動インテンシティのモード展開式を新しく導出し、振動インテンシティを二つのモード成分（重み係数と「クロスモード関数」）の積の重ね合わせで表せることを示した（図1参照）。

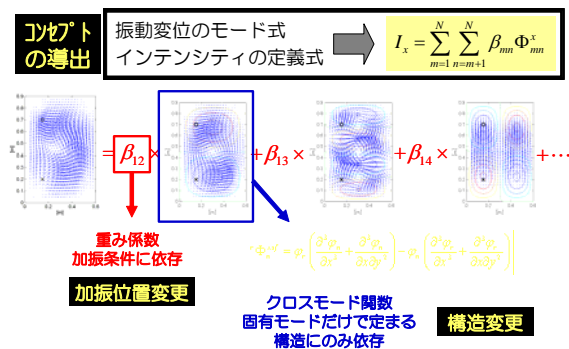
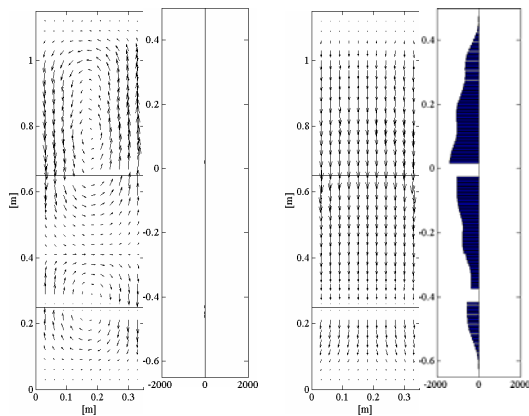


図1 振動インテンシティのモード展開

(2)一枚の矩形平板を対象に、振動インテンシティのモード展開を適用し、クロスモード関数をその分布形状により二つに分類した。一つは振動エネルギーを伝達しない分布形状をもつ非伝達型クロスモード関数(例えば渦型クロスモード関数)で、もう一つは振動エネルギーを伝達する分布形状をもつ伝達型クロスモード関数(例えば直線型クロスモード関数)である(図2参照)。



(a) 促進型 (b) 抑制型  
図2 クロスモード関数と伝達パワー成分の大別

(3)上記(2)を利用し、重み係数の変更により伝達型クロスモード関数の寄与度を抑制することで、振動エネルギーの伝播、すなわち伝達パワーを抑制する可能性を示した。重み係数を変更する手段として、加振位置を変更する方法を提案した。

(4)また上記(2)より、伝達パワー抑制による固体音低減コンセプトを提案した(図3参照)。

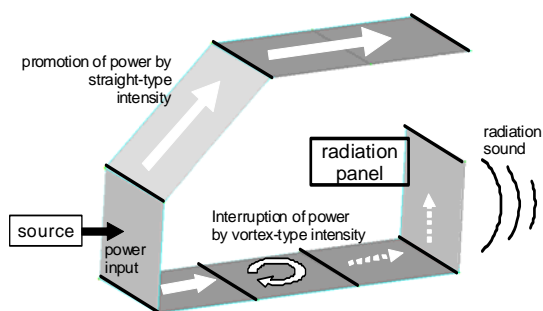


図3 伝達パワーの抑制による固体音低減コンセプト

(5)研究成果の実用化に関して、企業ヒアリングを実施し、「振動を逃がす」などのコンセプトとして更なる研究が期待されるとの見解を得ると共に、今後の研究の目標を明確にすることができた。

## 5. 主な発表論文等

(研究代表者、研究分担者及び連携研究者には下線)

[雑誌論文] (計8件)

- ① (査読有) 沼田臨, 村上雄太, 山崎徹, 振動エネルギー流れを考慮した低騒音構造設計に向けた新たな指針の提案, 日本機械学会論文集C編, 78巻788号, 2012, pp. 1072-1084
- ② (査読有) 沼田臨, 山崎徹, 平板の曲げ振動インテンシティのモード展開, 日本機械学会論文集C編, 77巻780号, 2012, pp. 2971-2981
- ③ (査読有) 山崎徹, Maksyutov STANISLAV, 過渡SEAによる一様平板構造物の衝撃応答解析の実験検証法, 日本機械学会論文集C編, 77巻776号, 2011, pp. 1201-1212
- ④ (査読有) 黒田勝彦, 山崎徹, 鞍谷文保, 任意の接続角度を有するはりの面外振動のSEAモデルに及ぼす面内振動の影響, 日本機械学会論文集C編, 76巻766号, 2010, pp. 1462-1469
- ⑤ (査読有) 山崎徹, 振動インテンシティを用いた構造設計の基礎的検討, 自動車技術, 63号, 2009, pp. 91-97
- ⑥ (査読有) T. Yamazaki, Verification of Representation of Analytical SEA Parameters for Structure-Borne Sound in Terms of Modal Density by Using FEM, Journal of Environment and Engineering, No. 42, 2009, pp. 431-442
- ⑦ (査読有) T. Yamazaki, The method of application of SEA in structural design process for reducing structure-borne noise in machinery -Part 1: General procedure-, Journal of mechanics, No. 28, 2009, pp. 69-75
- ⑧ (査読有) K. Kuroda, T. Yamazaki, The method of application of SEA in structural design process for reducing structure-borne noise in machinery -Part 2: Structural optimization of subsystems-, Journal of mechanics, No. 28, 2009, pp. 76-82

[学会発表] (計27件)

- 1) 高橋憲史, 猪野朋敦, 山崎徹, Bergeron法を用いたはりの縦振動インテンシティの過渡応答解析, 日本音響学会, 2012/3/13, 横浜(神奈川大学)
- 2) 須田祥平, 山崎徹, はりつき平板のエネルギーフロー解析, 日本機械学会, 2012/3/9, 習志野(日本大学)
- 3) 柴田一朗, 松本秀一, 山崎徹, 振動エネ

- ルギー伝搬に基づく固体音低減－エンジン振動に起因するバルクヘッド固体音対策－，自動車技術会，2011/10/12，札幌（札幌コンベンションセンター）
- 4) 山崎徹，石橋俊一，沼田臨，柴田一朗，松本秀一，振動エネルギー伝搬に基づく固体音低減－複数の伝搬経路のある場合－，自動車技術会，2011/10/12，札幌（札幌コンベンションセンター）
  - 5) 石橋俊一，沼田臨，村上雄太，山崎徹，振動エネルギー流れの変更による固体音低減，日本機械学会，2011/9/9，高知（高知工科大学）
  - 6) 藤森大輔，高橋憲史，沼田臨，山崎徹，松村雄一，過渡振動インテンシティに関する基礎的検討，日本機械学会，2011/9/9，高知（高知工科大学）
  - 7) 山崎徹，振動エネルギーの伝搬に着目した振動騒音低減手法，HyperWorks テクノロジーカンファレンス（招待講演），2011/6/10，品川（東京コンファレンスセンター）
  - 8) 沼田臨，村上雄太，山崎徹，伝達パワーの抑制と促進による固体音低減コンセプト，自動車技術会，2011/5/20，横浜（パシフィコ横浜）
  - 9) 高橋憲史，藤森大輔，山崎徹，過渡振動インテンシティに関する基礎的検討，日本機械学会関東学生会第 50 回学生員卒業研究発表講演会，2011/3/18，横浜（慶応義塾大学）
  - 10) 石橋俊一，山崎徹，振動伝達パワーの抑制による放射音低減，日本機械学会関東学生会第 50 回学生員卒業研究発表講演会，2011/3/18，横浜（慶応義塾大学）
  - 11) 山崎徹，沼田臨，村上雄太，伝達パワーに着目した固体音低減コンセプト，日本音響学会 2011 年春季研究発表会，2011/3/10，東京（早稲田大学）
  - 12) 村上雄太，山崎徹，振動インテンシティを用いた固体音低減に関する検討，日本機械学会 Dynamics and Design Conference2010，2010/9/16，京都（同志社大学）
  - 13) 沼田臨，山崎徹，固有モードを考慮した平板振動インテンシティの分布形状予測，日本機械学会 Dynamics and Design Conference2010，2010/9/16，京都（同志社大学）
  - 14) 上原勇輝，山崎徹，はり振動インテンシティの感度解，日本機械学会 Dynamics and Design Conference2010，2010/9/15，京都（同志社大学）
  - 15) 小島真路，藤谷明倫，沼田臨，山崎徹，実験モード解析を用いた振動インテンシティ計測法の開発，日本機械学会 Dynamics and Design Conference2010，2010/9/15，京都（同志社大学）
  - 16) Y. MURAKAMI, N. NUMATA, T. YAMAZAKI, Passive control of structural intensity for reducing structure-borne sound on compound plate structure, 20th International Congress on Acoustics, 2010/8/24, Sydney (Sydney Convention Centre)
  - 17) N. Numata, T. Yamazaki, Determination of A Force Applying Position on plate for realizing Vortex-typed Structural Intensity, 15th International Congress on Sound and Vibration, 2010/7/20, Cairo (Egypt's capital City Intercontinental Cairo City Stars Hotel)
  - 18) 山崎徹，実験とCAEを併用した振動騒音低減プロセス，ACTRAN 音響解析フォーラム 2010（基調講演），2010/6/15，東京（東京コンファレンスセンター）
  - 19) 村上雄太，斎藤亮介，加藤慶祐，沼田臨，山崎徹，渦型振動インテンシティの生成と伝達パワーの抑制，第 20 回環境工学総合シンポジウム 2010，2010/6/27，横浜（パシフィコ横浜）
  - 20) 上原勇輝，山崎徹，振動インテンシティを考慮した構造設計，日本機械学会関東学生会学生員卒業研究発表講演会，2010/3/10，東京（明治大学）
  - 21) T. Yamazaki, Sound and Vibration on Plate in Vortex Structural Intensity, International Workshop on Environment & Engineering, 2009/11/25, 横浜（慶応義塾大学）
  - 22) 小島真路，山崎徹，モード展開に基づく振動インテンシティ計測法の開発，日本機械学会 2009 年度年次大会，2009/9/14，盛岡（岩手大学）
  - 23) 沼田臨，山崎徹，振動インテンシティのモード展開を用いたはり構造物設計の基礎的検討，日本機械学会 2009 年度年次大会，2009/9/14，盛岡（岩手大学）
  - 24) 沼田臨，山崎徹，平板の振動インテンシティ技術の複雑形状構造物への応用，日本機械学会 Dynamics and Design Conference 2009，2009/8/8，札幌（北海道大学）
  - 25) 村上雄太，山崎徹，音響放射パワーの振動モード展開，日本機械学会 Dynamics and Design Conference 2009，2009/8/6，札幌（北海道大学）
  - 26) N. Numata, T. Yamazaki, Modal Expansion of Structural Intensity for Flexural Vibration on Plates, Proceedings of the First Japan-Korea International Joint Symposium On Dynamics and Control, 2009/8/5, 札幌（北海道大学）
  - 27) 村上雄太，山崎徹，渦型振動インテンシ

ティに関する検討, 第 19 回環境工学総合シンポジウム 2009, 2009/7/11, 那覇  
(沖縄県男女共同参画センター)

〔図書〕(計 1 件)

大野進一, 山崎徹, 森北出版, 機械音響工学, 191 ページ, 2010

〔産業財産権〕

○出願状況 (計 0 件)

○取得状況 (計 0 件)

〔その他〕

ホームページ等

## 6. 研究組織

### (1) 研究代表者

山崎 徹 (YAMAZAKI TORU)

神奈川大学・工学部・教授

研究者番号: 7 0 2 7 2 4 1 6

### (2) 研究分担者

( )

研究者番号:

### (3) 連携研究者

( )

研究者番号: