

学 位 論 文 の 要 旨

専攻名	材料科学専攻	ふりがな 氏名	たかた そういちろう 高田 宗一朗	㊞
学位論文題目 Grover アルゴリズムの類推モデルを用いて設計された多自由度振動系に現れるエネルギー移動 (英訳 Vibration Energy Transfer in Multi-Degree-of-Freedom System Designed from Classical Analogue Model under Grover Algorithm)				
<p>高度経済成長期に大量に建設した構造物が耐用年数を迎え、老朽化に伴う経済損失が社会問題となりつつある。全ての構造物を取り壊し、新設することが困難であるため、今後は既設構造物に適切な保全を施し、長期運用していくことが予想される。保全においては、既設構造物の現状の特性を定量化するセンシングと性能改善方法が求められる。センシングにおいては、広範囲に検査をおこなうスクリーニング検査と詳細検査がある。スクリーニング検査では、広い範囲を検査する必要があるため、低コスト性が求められる。検査の低コスト化と効率化の観点から、周波数帯域の有効利用と検査距離の長延長化は、既設構造物の効率的な維持管理における共通の技術課題であると考えられる。他方、性能改善においては構造物の制振性能についても検討する必要がある。特に、セミアクティブ制振は、低エネルギーでかつ、現実的なコストで実現できる可能性があり、今後成長が期待される技術である。本研究では上記のテーマに対し、振動エネルギーの移動を利用した新しいセンシング方法と制振方法を提案する。</p> <p>センシング法では、対象とする主構造物に対して、新たに二つの副構造物を設置する。計測では、主構造物ではなく、副構造物の振動変位を計測する。主構造物を介して、二つの副構造物間で振動エネルギーの移動を生じさせる。主構造物が設計値と同様、適切な固有振動数を持つ場合には、副構造物間でエネルギー移動が周期的に繰り返されるが、腐食や塑性損傷などの変状により、主構造物の固有振動数が変化した場合には、副構造物でエネルギー移動の周期やエネルギー移動の量が変化する。これらの計測信号を検出することにより、主構造物の変状を検出する。副構造物間で振動エネルギーの移動が生じた場合、その応答には、うなりのような振幅変調を伴った波形が現れる。これにより、主構造物の変状からの計測信号を増幅し、微小な変化を検出することが可能になる。また、うなり波形は緩やかな振幅の変調を伴うことから、計測周波数帯域を下げることが期待される。対象とする固有振動数近傍で成り立つモード振動子モデルを考えれば、主構造物の対象モードを代表する大振動子に対し、並列に二つの副構造物である小振動子が設置された、本センシング法のエッセンシャルモデルを導くことができる。本モデルと同様のモデルが Patel によって提案されており、片方の小振動子に周期的な衝突を与えることにより、小振動子間で振動のエネルギー移動が生じることが報告されている。この現象と量子情報理論における Grover のアルゴリズムと対応することが指摘されていることから、本研究では、Patel の指摘する振動のエネルギー移動を利用したセンシング法設計に向けた基礎研究として、エッセンシャルモデルに対する理論的検討をおこなう。</p> <p>制振法では、主系構造物に対し、二つの副構造物として端部可動振動子とモード制御振動子を備える。端部可動振動子の質量を境界座標におくと、主系構造物とモード制御振動子からなる内部系モードが生じる。モード制御振動子を適切に設計することにより、内部系モード間にうなりの条件を与えることができる。擬モーダルモデルのように大振動子に対して並列に小振動子が結合した多自由度振動系においては、Grover が小振動子間でエネルギー移動が生じることを報告している。</p>				

続紙 有 ☒ 無 ☐

ふ り が な 氏 名	た か た そ う い ち ろ う 高 田 宗 一 朗	㊞
----------------	--------------------------------	---

本研究では Grover によるモード間の振動エネルギー移動の設計方法を拡張し、端部可動振動子の設計に用いることにより、内部系モード間のエネルギー移動を実現する。内部系モードに取り込まれた主系構造物のモードの振動エネルギーは、内部系モード間のエネルギー移動を介して、モード制御振動子に移動する。モード制御振動子に振動エネルギーが集まったタイミングで可変減衰器を作動させ、系の制振を実現する。本手法においては、端部可動振動子とモード制御振動子の設置が必要ではあるが、モード制御振動子のみを観測対象とすれば良く、可変減衰器の設置を主系構造物におく必要がないため、設置が容易で簡素なシステムを構成することができる。また、可変減衰器を作動させる制御則も非常にシンプルであり、高価な DSP を用いず構成することができ、低コスト化にも貢献できるものと考えられる。そこで、本研究では Grover のモデルを利用した多自由度連成振動系であり、内部系モード間のエネルギー移動を実現するばね定数や質量の設計条件について明らかにする。これにより、将来の内部系モードを用いた制振法の設計に向けた解析的基礎資料を得ることを目的とする。

本論文では以下の 7 つの章から構成される。

第 1 章では、本研究の背景、目的、構成を示した。

第 2 章では、振動エネルギーの移動現象に関する基礎事項、Grover アルゴリズムに関する基礎事項、Grover アルゴリズムの古典的類推問題に関する基礎事項を整理した。

第 3 章では、前述の多自由度衝突振動系について、波動アルゴリズムの定式化をおこなった。遷移行列より、内部共振条件の導出と衝突周期に関する条件を求めた。衝突振動に内在する概周期振動や分数調波振動の存在について、Bloch 球による解釈をおこなった。また球の幾何学的考察より周期を導出した。

第 4 章では、前述の遷移行列を用い、離散的状態ベクトルの漸化式表示を求め、衝突速度が 0 付近になる Graze 衝突について解析した。振動エネルギーの移動に伴う Graze 衝突の発生メカニズム、発生周期を示した。また一定衝突位置の発生条件や、振動エネルギーの移動の事例を数値計算により示した。

第 5 章では、前述の系に比例粘性減衰を導入し、減衰が振動エネルギーの移動に与える影響を明らかにした。比例粘性減衰が質量剛性のみに比例する場合と質量行列と剛性行列の和に比例する場合の双方を検討し、剛性行列を含めた場合に、振動エネルギーの移動周期が変調されること、また極限として周期的な振動エネルギーの移動が生じない、一方向の振動エネルギーの移動が発生することを明らかにした。

第 6 章では、Grover のモデルを用い、内部系モード間の振動エネルギーの移動現象について検討した。端部可動振動子を有する等質量二自由度系を対象に、擬基準座標変換法を適用した。擬モードモデルは、等質量二自由度系の振動モードを表す内部系モードの振動子が並列に端部可動振動子に接続する形となり、これが Grover の類推モデルと等しい事を指摘した。数値計算にて、内部系モ

ふ り が な 氏 名	た か た そ う い ち ろ う 高 田 宗 一 朗	㊞
----------------	--------------------------------	---

ード間で振動エネルギーの移動が発生することを示した。

第 7 章では，第 6 章で得た内部系モード間での振動エネルギーの移動を実現する設計方法を，より一般の多自由度系に拡張した．主系のモード振動子と連成させるモード制御振動子を新たに導入し，端部可動振動子の設計問題と合わせて，部分空間共鳴構造設計法を明確化した．事例として，等質量三自由度系を主系とした場合について検討した．数値計算により，内部系モード間の振動エネルギーの移動の発生を確認するとともに，主系モードのエネルギーがモード制御振動子に移動することを確認した．

第 8 章では，第 7 章までの内容を踏まえ，本研究を総括した．

以上のように，本研究では，三自由度衝突振動系を対象とした振動エネルギーの移動を生じさせる設計条件，および端部可動振動子を有する等質量多自由度系の内部系モード間の振動エネルギーの移動を生じさせる設計条件を求めることができた．これらの成果は，新たなセンシング法や制振法の設計における基礎資料として活用することが期待される．