

氏 名	はしもと ゆいと 橋 本 唯 人
学位(専攻分野)	博 士 (工 学)
学 位 記 番 号	博 甲 第 4 5 9 号
学位授与の日付	平成 19 年 3 月 26 日
学位授与の要件	学位規則第 3 条第 3 項該当
研 究 科 ・ 専 攻	工芸科学研究科 情報・生産科学専攻
学 位 論 文 題 目	ウェーブレット変換を用いたヘルスマonitoring技術に関する研究 (主査)
審 査 委 員	教授 曾根 彰 教授 中岡 明 教授 塩山忠義 助教授 増田 新

論文内容の要旨

本研究では、ウェーブレット変換を用いた構造ヘルスマonitoring手法を提案した。解析波形，またはその導関数に含まれる不連続点の検出に優れているウェーブレット変換に着目し，絶対加速度応答のウェーブレット変換値のみから損傷や劣化，さらには大変形などによって復元力のヒステリシスループが非線形性を示す時刻の検出や位置同定を行なう技術の検討を行なった。さらに，近年，発展してきているワイヤレスセンサネットワークシステムや MEMS 技術に注目して，ウェーブレット変換による構造ヘルスマonitoring手法を可能とするワイヤレスセンサネットワークシステムの構築を目指した。

第 1 章では，本研究の背景と目的を述べ，これまで行なわれてきたセンシング技術と構造ヘルスマonitoring手法である損傷検出技術の一例を示す。さらに，ウェーブレット変換が持ついくつかの特徴について述べ，それらの特徴を活かしたウェーブレット変換を用いた構造ヘルスマonitoring手法の既存の研究例を示した。

第 2 章で，解析波形に現れる不連続点をウェーブレット変換によって検出する検出原理を示し，その例として，構造物が損傷した際に起こる剛性の急激な低下を想定した 1 自由度構造物モデルと多自由度構造物モデルを用いた損傷検出例を示した。これにより 1 自由度構造物モデルでは，絶対加速度応答データのウェーブレット変換値に発生するスパイク状の波形を時々刻々と観測することによって損傷検出できること，多自由度構造物モデルにおいては，剛性の不連続な変化に起因する不連続性は損傷箇所にもっと近い位置で絶対加速度応答データのウェーブレット変換値の最も大きく，外側の層にいくにつれて小さくなっていくという結果を示し，これにより，損傷が起こった層間の位置同定ができることを示した。また，ウェーブレット変換によって解析波形の不連続点を検出する場合，ウェーブレットの中心周波数を 1 つ決める必要がある。そこで，このウェーブレットの中心周波数を設定するためには，構造物の主モードが含まれる周波数の範囲とサンプリング周波数の選定が重要であることを示した。

第 3 章では，第 2 章で述べたウェーブレット変換が持つ特徴である解析波形に現れる不連続点の検出原理を用いて，履歴復元力特性を有する構造物の非線形挙動への変化を検出する技術について検討した。構造物が塑性変形をする際など，復元力の勾配，つまり相対変位応答と復元力か

らなるヒステリシスループにおける接線剛性の不連続な変化を絶対加速度応答データのウェーブレット変換値のみから検出できることをシミュレーションにより示し、多自由度構造物において、ヒステリシスループが非線形性を示す層の位置とその相対変位応答が極値をとる時刻を検出する手法を提案し、構造物の層間のヒステリシスループが非線形性を示すように鉛入り積層ゴム(LRB)が柱部分に挿入された構造物モデルを用いた実験により実構造物に対しての検討を行なった。この実験により各周期で、相対変位が極値をとる時刻の検出が行なえ、ヒステリシスループが非線形性を示す層間の位置同定ができることを確認した。また、絶対加速度応答データのウェーブレット変換値に現れるスパイク状の波形を検出するための閾値についても検討するために、相対加速度応答とウェーブレット変換値に現れるスパイク状の波形の振幅の絶対値との関係を示し、この関係から非定常な入力波形にも対応した時変の閾値を定めた。さらに、この検出時刻を用いて、ヒステリシスループが非線形性を示す層間の消散エネルギーを絶対加速度応答データのみから評価する簡易評価手法を示した。

第4章では、ウェーブレット変換を信号処理アルゴリズムとして適用したワイヤレスセンサネットワークシステムを試作した。ここで、試作したワイヤレスセンサネットワークシステムは、センサユニットの数が膨大に増えることに伴って起こるホストコンピュータの信号処理タスク量の増加を緩和するために、信号処理をセンサユニット側で行なう分散信号処理機能を持ったシステムである。また、データを送信するセンサユニットのパワー消費の低減を期待して、構造物に損傷などの異常が起こった際に、信号処理結果から損傷を示す特徴量や情報のみを送信する機能も搭載した。今回システム開発の初期段階であったため、本論文では、1つのセンサユニットと1つホストコンピュータから成るシステムの試作を行なった。試作したワイヤレスセンサネットワークシステムを構成するユニットやデバイスについて述べ、各種機能やその処理方法などについて述べている。さらに、実験室レベルの構造物モデルを用いた基礎実験を行ない、センサネットワークシステム全体の動作とセンサユニットが持つ信号処理機能であるウェーブレット変換の処理結果の有効性を確認した。

第5章は、本論文の結論であり、各章で得られた結果をまとめ、本研究の結論を述べた。

論文審査の結果の要旨

申請者はウェーブレット変換が持つ解析波形、またはその導関数に含まれる不連続点の検出が可能であるという特徴に着目し、ウェーブレット変換を用いた構造ヘルスマニタリング手法の提案とこの技術を可能とするワイヤレスセンサネットワークシステムの開発に取り組んだ。ウェーブレット変換を用いたヘルスマニタリング手法に関する研究では、絶対加速度応答のみのデータから復元力のヒステリシスループの非線形性を検出する手法を提案した。この提案手法はこれまでヒステリシスループの評価方法で必要であった相対変位応答を用いることなくヒステリシスループを評価でき、計測が大掛かりにならないなどの利点を持つ。申請者は数値実験と実構造物を模擬した構造物モデルを用いた実験によって提案手法の有効性を示しており、この手法の工学的な価値は高いと考えられる。また、ウェーブレット変換を用いたヘルスマニタリング技術を可能とするワイヤレスセンサネットワークシステムの開発では、センサユニットの数が膨大に増え

ることに伴って起こるホストコンピュータの信号処理タスク量の増加を緩和するために、信号処理をセンサユニット側で行う分散信号処理機能を持ったシステムを試作した。さらに、データを送信するセンサユニットのパワー消費の低減を期待して、構造物に損傷などの異常が起こった際に、信号処理結果から損傷を示す特徴量や情報のみを送信する機能も搭載した。これらの機能により、開発したシステムは計測を行うためのシステムとしての有用性は高いと考えられる。本研究成果は、ヘルスマonitoring技術において新規な提案を与えたものであると共に、この技術の発展に大いに貢献できるものであると考えられる。

以上により、本論文は学位論文としての水準を満たしていると判断した。尚、本学位論文は、以下5編のレフリー制のある学術論文誌、国際会議等の論文集を基に構成されており、そのいずれも申請者が筆頭著者である。

- 1) **橋本唯人**, 増田新, 曾根彰, 射場大輔, ウェーブレット変換による多自由度構造物の損傷検出, 日本機械学会論文集(C編), 第72巻第723号 3517頁～3524頁, 2006.
- 2) **Yuito Hashimoto**, Arata Masuda and Akira Sone., Wavelet-based Damage Detection of Multi-degree-of-freedom Structures, Proceedings of the ASME Pressure Vessels & Piping Conference 2004, Vol.482-2, No.2943, pp.121-127, 2004.
- 3) **橋本唯人**, 増田新, 曾根彰, 射場大輔, 加速度応答のウェーブレット変換による履歴復元力特性を有する構造物の非弾性挙動への変化の検出, 日本機械学会論文集(C編) (掲載決定)
- 4) **Yuito Hashimoto**, Arata Masuda and Akira Sone, Estimate of Inelastic Excursions in Hysteretic Structures by Wavelet transform of Acceleration Responses, ASME 2006 Pressure Vessels & Piping Conference /11th International Conference on Pressure Vessel Technology, CD-ROM, No.93342, pp.1-7, 2006.
- 5) **Yuito Hashimoto**, Arata Masuda and Akira Sone, A Design of Sensor Units with Embedded Wavelet Transform Algorithm, SICE Annual Conference 2005, CD-ROM, No.MP1-3-1, pp.542-546, 2005.