

審査の結果の要旨

氏 名 島 田 明 佳

構造物は、人間の肉体だけでは実現不可能な環境や能力を獲得することを目的として、強度や形状の異なる材料を組み合わせて作られたものである。このことは構造物には大きな負荷が加わることを意味する。疲労や微小な損傷により強度が低下した構造物に大きな負荷が加わった場合、致命的な損傷や破壊に至る可能性がある。構造ヘルスマニタリングは、こうした強度の低下や微小な損傷を検出し、構造物の健全性を定量的に評価しようとするもので、人工衛星、航空機などセンタ的分野のみならず、ビルや橋梁などの社会基盤へとその適用範囲は拡大している。

こうした状況のなか、1999 年にはアメリカズカップ級のヨットの損傷検出システムが開発された。このシステムは、分布型光ファイバひずみセンサ Brillouin optical time domain reflectometer (BOTDR)を用いて測定した船体の静的なひずみ分布の情報を元に、ヨットの建造時からレース終了時までの構造ヘルスマニタリングを実現したもので、実構造物を対象にした先駆的実施例となった。しかし実際にヨットの構造ヘルスマニタリングを行う過程で、「常時振動する構造物のヘルスマニタリングの実現」、「センサの適用が困難な構造物のヘルスマニタリング」、「空間分解能の制約」という 3 つの課題が明らかになった。

本論文は、これら 3 つの課題に対して、生体の聴覚系における情報処理および神経細胞の情報伝達メカニズムに着目した構造ヘルスマニタリング手法を提案し、具体的な実施例に対してその有効性を検証したものである。

「常時振動する構造物のヘルスマニタリングの実現」に対しては、振動条件が変化する構造物のひずみの周波数応答から求めた共振ピークゲインを比較することにより、

構造物に生じた損傷の位置を推定する手法を提案している。これは、生体が耳で聞いた音を時間周波数分析した情報を元に、使用状況や周囲の環境が異なる振動条件でも構造物の異常を検出できることに着目したものである。本研究では、ある加振点で励振される構造物に局所型ひずみセンサである FBG センサを設置し、ひずみ信号を計測する。このひずみ信号の周波数分析を行って複数の共振ピークのゲインを求め、任意の FBG センサのゲインで規格化して、これを基準データとする。次に加振点を変えて同様に得られる規格化されたゲインを比較データとして求める。そして基準データと比較データの相関を求めることにより、加振点の位置が変化しても、損傷の位置を推定できることを示した。本手法により、常に振動の状態が変化する場合でも、少数の局所型ひずみセンサを用いた構造物の健全性の常時監視が可能になり、航空機や橋梁などへの適用が期待される。

「センサの適用が困難な構造物のヘルスマonitoring」に対しては、光ファイバセンサなどの従来のセンサによる損傷検出が困難な水資源海上輸送用ウォーターバッグの構造が、神経細胞と類似していることに着目し、神経細胞の電気的特性を計測する手法を用いた構造ヘルスマonitoring手法を提案している。ウォーターバッグの内部に電流を通電し、健全時と損傷時におけるウォーターバッグの内部と外部の電位差すなわち膜電位を求め、膜電位の相違から損傷の有無を検出できることを示し、実験により検証した。さらに有限要素法を用いたシミュレーションから、本手法を用いた損傷位置の特定が可能であることを明らかにした。

「空間分解能の制約」に対しては、神経細胞間のシナプスと呼ばれる部位の情報伝達の研究で知られる量子仮説を元に、BOTDR を用いた空間分解能以下のひずみを検出する手法を検討している。BOTDR は、光ファイバの片端から入射したパルス光によって生じる後方ブリュアン散乱光の中心周波数が、光ファイバに生じたひずみによって変化することを利用してひずみ分布を求める。このとき BOTDR で計測される後

方ブリュアン散乱光のスペクトルは、入射したパルス光の幅で規定される空間分解能の範囲内にある光ファイバの各位置から生じた後方ブリュアン散乱光の総和として表される。本研究では入射パルス光に対する応答を光ファイバの長さ方向に対して等分し、各区分におけるスペクトルの中心周波数とゲインを量子仮説に基づき推定することにより、空間分解能以下のひずみを検出し、その大きさと空間分解能に占める割合を推定する手法を提案している。本手法を用いて分解能 1m の BOTDR により計測したブリュアンゲインスペクトルを解析することにより、空間分解能の 1/10 に相当する 0.1m のひずみが分離できることを示した。これは構造物の初期の損傷や応力の集中によって生じる空間分解能以下の局所的なひずみの検出が、BOTDR を用いて可能になることを意味するものである。

本研究では、生体の聴覚系における情報処理および神経細胞の情報伝達メカニズムに注目し、従来手法とは異なる構造ヘルスマニタリング手法を提案している。これらの成果は、新たな構造ヘルスマニタリング手法の抱える課題のいくつかを克服する手段を提供したものであり、構造ヘルスマニタリングの新たな可能性を切り開いたものと考えられる。

よって、本論文は博士(工学)の学位論文として合格と認められる。