

## 博士論文の要旨

専攻名 システム創成科学専攻

氏名(本籍) 葉山 裕 (福岡) 印

博士論文題名

FBG 光ファイバセンシングによる回転軸モニタリングに関する研究

構造健全性モニタリングは、長期間使用が要求される構造物の耐久性評価や安全性を確認するために用いられている。光ファイバセンサは、ファイバがセンサと伝送路をかね伝送損失が極めて小さく、長距離測定が可能であり、信頼性が高く分布計測が可能であるために高機能センシングとして使用例が多い。光ファイバセンサを構造健全性モニタリングに適用し、標準システム化された具体例として、先進軽量化複合材を多く使用した大型旅客機の機体ひずみ分布計測があげられる。

一方、洋上風力発電などエネルギー分野では、過酷な環境下で長期間稼動する構造物のメンテナンスに対し、遠隔地から運転状況を常時監視するモニタリングシステムのニーズが高く、光ファイバセンシングの主要な適用分野の一つである。また、常時過酷な運転荷重としてねじりをうける回転軸も多く含まれており、そのメンテナンスは重要である。しかし、曲率の大きな曲面への、光ファイバセンサの取付け使用例は少ない。測定精度に与える曲率の影響や、互いに精度補完しあう複数センサの組合せの有効性も、ひずみ計測精度面から確認しておく必要がある。

船舶分野においては、国際海運におけるエネルギー規制ならびに船舶の燃費改善面から、航行中の船舶の正確な馬力計測を行うことが重要となる。ファイバセンサを軸馬力測定へ適用するためには、回転軸の外周から空間光伝送によって測定データを取り出すことが必要である。

そのため、論文の著者らは、FBG (Fiber Bragg Grating)センシングと軸外周から光学的空間伝送を採用する計測手法を提案し、従来法に比べコスト削減とメンテナンス性向上の両立を目指している。FBG方式による高機能センシングとは、適正なセンサ構成で多種類の物理量を精度良く測定できる測定手法を指す。張線角度や取付け位置が異なり、相互に精度補完しあう、複数センサを組合せて対センサとするなども含む。また、軸外周からの光学的空間伝送とは、回転軸(外周)側と固定側間に個別に設置された光学的伝送装置において、軸回転毎生ずる光結合機会に、間欠的に測定データが空間光伝送されることを指す。

手法適用の具体例として船舶の軸馬力計測を取上げた。本研究の目的は、提案手法の実用化にむけ、具体例を通じて性能評価指標を含めその有効性を検証し、実験による性能レベルの確認と課題解決の方向性を示すことである。本論文は以下に示す6章で構成されている。

第1章では、序論であり本研究の背景と本論文で扱う問題の意義や研究の目的および論文の構成について述べた。

第2章では、回転軸モニタリングの基礎として、回転軸モニタリングシステムの構成、およびFBG方式光ファイバセンシングに関するその原理、FBGセンサの感度や固定方法について述べた。

第3章では、光ファイバセンシングを回転軸モニタリングへ適用する際、課題となる回転軸から測定データの取り出しに対し、回転軸外周に取付けた光学的空間伝送装置により行う計測手法の性能評価について述べた。回転無負荷試験では、有効測定できること、及び有効測定できる限界回転速度を示した。あわせて間欠的な空間光伝送性能の評価指標も性能予測に利用できることも示した。

第4章では、測定に使用するFBGセンシングに関し、円筒体表面で測定ねじりひずみ分布の精度評価について述べた。曲率の大きな曲面への、

## 博士論文の要旨

専攻名 システム創成科学専攻

氏名 葉山 裕

光ファイバセンサの取付け使用例は少なく、線センサである光ファイバセンサは、点センサである従来方式以上に曲率の影響をうけやすいと考えられる。特に、軸方向に角度をとって張線するねじりひずみ計測の場合には、測定精度に与える影響の確認が必要であると推定された。また、互いに精度補完しあう複数のセンサの組合せによるFBG対センサも、ひずみ計測精度の向上には有効と思えた。そこで、円筒体表面のねじりひずみ分布の測定にFBG方式の光ファイバセンサを使用する場合の精度について、前述の二つの要因に着目した。そのため、FBGセンサの精度に影響を与える諸要因の確認試験を行ったうえで、円筒体に取り付けたFBG光ファイバセンサの性能評価のために静止ねじり試験を行った。円筒表面に発生するねじりひずみ分布や温度の測定結果をもとに、FEM解析結果との比較を含め精度を評価した。その結果、ひずみ分布は、FBGセンサの張線角度・施工法・センサ種別を選択し、互いに精度補完する複数センサを組合せて対センサとすることなどで単独センサに比較して4~5%誤差を削減し、精度は平均96.4%で測定でき、あわせて温度、トルクなど計測可能なことを示した。また、曲率が光ファイバセンサの波長シフトに与える光学的影響は、曲げ径30mm以上の円筒体ならば無視できることもわかった。

第5章では、回転軸モニタリングシステムの具体例として軸馬力計測システム（回転軸表面のねじりひずみ分布測定）を想定し、FBG対センサとその測定データの軸外周からの間欠的な空間光伝送による系外取り出しからなる計測手法に関し、

回転試験装置にて回転ねじり負荷試験を行ったうえで総合的な性能評価について述べた。

実環境に近い回転試験装置での回転ねじり負荷試験であるので、FBG対センサの測定精度については、静止ねじり試験に対し回転負荷による影響をうけ、更に軸外周からの間欠的な空間光伝送については、回転無負荷試験に対しねじり負荷による影響をうける。試験結果から、回転負荷による影響をうけたFBG対センサの測定精度は、誤差が2~3%程度増加し平均94%であることを示した。次いで、ねじり負荷による影響をうけた伝送性能についても、その評価指標は性能予測に利用できることも示した。ただし、軸外周からの間欠的な空間光伝送性能に関しては、その有効測定限界が、回転無負荷試験の回転速度から、船舶用軸馬力計として適用を想定する近海航路船の主機軸回転速度域以下に低下した。推定される低下の主要因は、回転無負荷試験の場合、旋盤でフランジ軸継手が固定軸継手であったのに対し、回転ねじり負荷試験の場合、回転試験装置でフランジ軸継手がたわみ軸継手という差異から生ずる装置剛性の低下であると述べた。さらに、船舶の主機軸の支持構造は固定軸継手に近く剛性が高いことから、実船測定での性能低下は緩和され、現仕様の改良で、目標の近海航路船の軸馬力計測に対応可能と考える。現仕様の改良は、対センサの構成見直しや装置剛性の手直しを指す。更なる性能向上が必要な場合、FBGセンシングについては対センサ構成の目的に応じた最適化を行い、また伝送性能については本研究の成果である評価指標と評価目安を使用して必要な設計仕様を決めれば良い。したがって、残る課題は実際の使用環境と長期間使用を想定し、システムとして計測手法の適用仕様をつめることだと述べた。

第6章では結論を述べ、回転軸モニタリングに関する今後の展開について述べた。