

修士学位論文要約（令和 4 年 3 月）

## DC~100kHz における逆磁歪効果型振動センサの感度に関する研究

高野 凌

指導教員：石山 和志

### A Study on sensitivity of inverse-magnetostrictive effect type vibration sensor at DC~100kHz

Ryo TAKANO

Supervisor: Kazushi ISHIYAMA

This paper reports the characteristics of an inverse-magnetostrictive effect type vibration sensor that be able to detect high frequency vibrations up to 100kHz. Our sensor has a sensitivity of  $0.036^{\circ}$  /ppm when static strain is applied to it. However, we estimate that our sensor can detect high frequency vibration without deterioration in sensitivity. Therefore, we conducted an experiment to evaluate the capability of the sensor for high-frequency vibration detection. As a result, it is revealed that the sensor has a sensitivity of  $0.063^{\circ}$  /ppm at, 20 kHz. Furthermore, we carried out the same experiment in 50 kHz, 100 kHz and it was confirmed that this sensor has high sensitivity even in 50kHz,100kHz. It can be said that this inverse-magnetostrictive effect type vibration sensor has high sensitivity in high frequency vibration.

#### 1. はじめに

kHz 帯で高感度な振動測定が可能になることによって期待される応用例として、軸受の健全性監視が挙げられる。一般に、軸受へ異常が発生すると数 kHz~数十 kHz 帯の振動が生じるとされており、現在様々な種類のセンサの応用が研究されている。さらに高感度なセンサを用いることで早期に対応が可能になることから設備の停止を最小限にすることができるため、高周波領域においても高感度に振動測定ができるセンサが求められている。

本研究室では、これまで逆磁歪効果を用いた歪センサの研究を行ってきた<sup>1)2)</sup>。このセンサは他方式のセンサと比較して高い感度が得られており、このセンサを振動センサへ応用した先行研究において 2kHz まで高感度が得られていることが示された。しかしながら、我々のセンサはさらに高い周波数領域においても高感度に振動検出ができると考えられており、軸受の健全性監視へ応用が可能ではないかと推測した。

そこで本研究では、このセンサの 2 kHz 以上における感度評価を目的とした。本稿では振動印加装置の構築、ならびに振動印加時のセンサの振動測定感度の評価を行った。

#### 2. 振動印加装置の構築

本実験では振動源として機械的共振周波数が 20k,50k,100kHz のボルト締めランジュバン型振動子を導入し、センサ基板をカンチレバー構造として自由端

側を振動子に接着させて強制振動させることで高周波振動をセンサへ印加することを試みた。図 1 にカンチレバー方式と振動子を用いた振動印加装置の模式図を示す。振動子が上下に伸縮することでセンサへ圧縮・引張歪を生じさせる構造とした。センサ基板と振動子・プリント基板はエポキシ樹脂にて接着を行い、それぞれの接着面は 3 mm の長さで接着した。

予備実験として、実際に共振周波数が 20k, 50k, 100kHz の振動子にて振動させた際にカンチレバーへ生じる歪量の見積もりを行った。その結果、それぞれ 21.8, 8.8, 4.1ppm の歪が印加されると推測された。

#### 3. 動的な歪感度測定に関する検討

センサの感度を求めるためには振動によって

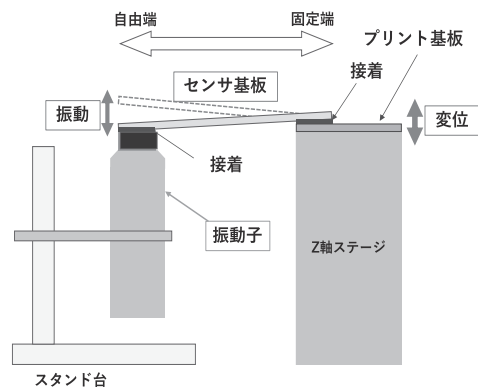


図 1 高周波振動印加試験装置の模式図

どれだけの位相変化が生じたかを把握する必要があった。本実験では振動させられたセンサからの出力を測定し、その出力から位相変化量を求めるという手法をとった。そのために、予備実験として、本研究で用いている位相変化検出回路の位相変化量—出力特性の測定を行った。その結果、検出回路の出力値から位相変化量への換算式を得た。

また、本センサは高感度が得られる歪領域が狭いという局所性を持っている。そこで、図1のようにカンチレバーの固定端側を変位させてセンサへ与えるバイアス歪を調節するために Z 軸ステージを組み合わせることで、センサへ任意のバイアス歪をかけながら振動を与える実験装置を構築し測定を行った。

#### 4. 高周波振動特性の評価

実際にセンサへバイアス歪を変化させながら 20 kHz の振動を印加した時の出力を図2に示す。最大出力は-44 dB と得られた。この出力を位相変化量に換算すると 1.32° となり、これを印加した歪量 21.84 ppm で割ることにより、20 kHz で振動させたセンサの歪感度は 0.063° /ppm と得られた。これは、センサの静的な歪感度である 0.036° /ppm と比較すると二倍程度大きいものであった。これは、測定装置の誤差とセンサへ印加されると計算された歪量に誤差があるためと思われる。

同様に 50k, 100kHz においても測定を行った。しかし、高周波数になるにつれて振動子の振幅が小さくなりセンサへ印加される歪量が小さくなるため振動検出が出来なかった。そこでセンサヘインダクタとキャパシタを追加した並列共振回路作成して組み合わせることでセンサ感度を向上させて測定を行った。その時の静的な歪感度は 0.376° /ppm であった。

実際にセンサを 50k, 100kHz で振動させた結果、最大出力はそれぞれ -9dB, -29dB と得られた。その

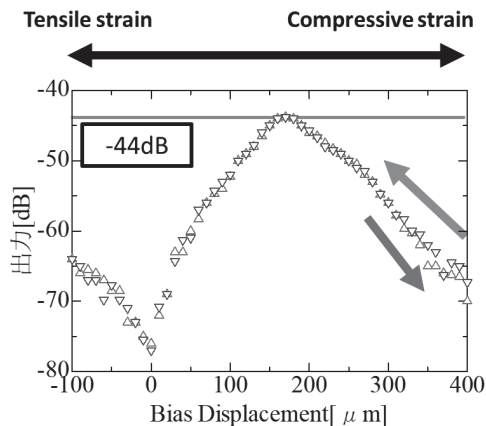


図2 20kHzにおける振動試験の結果

結果からそれぞれ感度を導出したところ、2.23° /ppm, 2.08° /ppm と得られた。これは先ほど求めた並列共振回路を組み合わせたセンサの静的な歪感度よりも約六倍も大きな値となった。

その原因を探るため、振動しているセンサ基板の変位を再測定したところ、図3に示すように計算値とは大きく異なる変位をしているのに加えて、変位に位相ズレがあることが分かった。このことから、センサへ印加される歪量が増えてしまい感度が大きくなるように見えてしまったと考えられる。

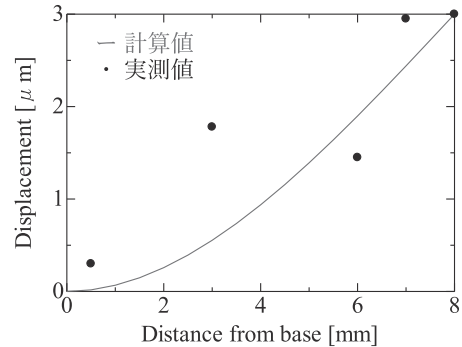


図3 50kHzで振動するカンチレバー変位の  
実測値と計算値の比較

以上の測定結果をまとめると、高周波振動試験において静的な歪感度と動的な歪感度に多少の差異はあるものの、本論文の目的である、逆磁歪効果型振動センサが高周波数においても高感度に振動測定が可能であることを示すことは達成できたと考えられる。

#### 5. まとめ

本研究では逆磁歪効果型振動センサが高周波領域においても高感度な振動測定が可能であることを示すために、高周波を印加可能な振動印加試験装置の構築と実験より得られたデータから振動検出感度の導出を行った。その結果、静的な歪に対して高い感度を有している本センサが、高周波領域においても特性が劣化することなく高い感度を有することを明らかにした。

#### 文献

- 1) K. H. Shin, M. Inoue, and K. I. Arai: J. Magn. Soc. Jpn., 23 (1999), 1425.
- 2) Y. Miwa, J. Shin, Y. Hayashi, S. Hashi, K. Ishiyama, IEEE Trans. Magn., 51 (2015), 200604.