

## センサフュージョンを用いたワイヤロープ損傷同定手法の研究 Research of Wire Rope Damage Identification Techniques using Sensor Fusion

○大塚賢哉<sup>1</sup>, 前多純<sup>1</sup>, 田畑昭久<sup>2</sup>, 青木義男<sup>2</sup>  
\*Kenya Ohtsuka<sup>1</sup>, Jun Maeda<sup>1</sup>, Akihisa Tabata<sup>2</sup>, Yoshio Aoki<sup>2</sup>

Abstract: In Non-Destructive Testing of wire ropes, the Magnetic Flux Leakage Testing Method is employed using magnetic sensors for damage detection. However, while it is still possible to detect problems when there are various types of damage present, it is difficult to identify it. This research aims to solve that problem by developing a new method of damage inspection useful to Non-Destructive Testing of wire ropes. This method will use sensor fusion to combine the signals from different sensors for accurate damage identification. Thus, with this method of Non-Destructive Testing, and from the fact that different signal patterns correlated to different types of damage, we have shown the feasibility of using such a method for damage identification.

### 1. 緒言

現在のワイヤロープの損傷検知システムには、漏洩磁束探傷法を用いた磁気センサアレイシステムが使われており、ワイヤロープの素線破断、摩耗、錆の検出を行っている<sup>[1]</sup>。しかし、複数種の損傷が存在している場合や目視確認できない内部の腐食や錆、素線破断の検知や劣化度合の同定を行うことが困難である。そのため、複数種のセンサを配置し、異なる物理量の変動などから総合的に認知判断を行い、要点検、要是正的確な判断を可能とする検査システムの必要性が指摘されている。

本研究では磁気センサアレイと他 2 種類のセンサによるセンサフュージョン<sup>[2]</sup>を用いてワイヤロープの損傷検知システムの開発を行い、損傷検知実験において検出された値から損傷の種類や程度の判別をすることで、ワイヤロープの構造健全性評価と予防安全システムとしての可能性の検討を行う。

### 2. ワイヤロープ損傷検知システム

素線破断、錆、摩耗の 3 種類の損傷判別を可能にするワイヤロープ損傷検知システムとして、磁気センサアレイ、光学式センサアレイ、直動変位センサアレイからなるセンサフュージョンシステムを製作した。素線破断は磁気センサで検出を行い、錆は通常の表面よりも赤色に変化するため光学式センサの信号が有効と考えた。また、広範囲で直径が減少する摩耗の検出には接触型の直動機構を利用したセンサが有利と考えた。Fig.1 にワイヤロープに対する各センサアレイのセンサ配置について示す。今回、データのセンシングは 1mm 毎にロータリーエンコーダの信号を受け取り、計測信号を読み取っている。検査速度は 500mm/s を想定

したため、500[1/mm] 以上でのサンプリングが可能であるものを製作した。

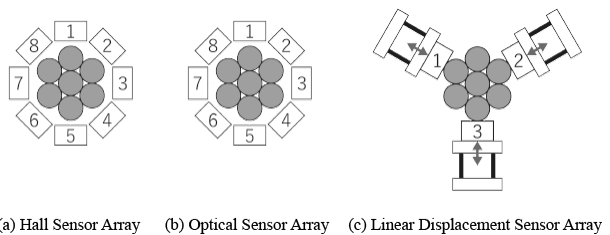


Figure 1. Sensor Arrangement of Sensor Array

### 3. 実験方法

損傷検知実験に用いたワイヤロープは日本工業規格 (JIS) <sup>[4]</sup> 品の 6×24, 直径 9mm のものを使用した。素線破断(外部, 内部), 摩耗, 錆の損傷をワイヤロープに再現し, 損傷検知システムを行った。再現した損傷例の一部を Fig.2 に示す。本実験における損傷は長さ 3700mm のワイヤロープを内部の素線破断は左端から 400mm ごとに繊維心側の素線を 2, 4, 6, 8 本破断させ, 内部素線破断とした。また, 右端から 400mm ごとに 2, 4, 6, 8 本破断させ, 外部素線破断とした。次にワイヤロープを 2000mm とり, 摩耗を 400mm ごとにロープ径に対して 8%, 6%, 4%, 2% の局部摩耗を与え, 損傷検知実験を行った。続いて, 長さ 1700mm のワイヤロープに 300mm ごとに外周に対して 45°, 90°, 180°, 360° の範囲を 100mm 幅にわたって腐食させ, 錆を生じさせ, 損傷検知実験を行った。また, 計測時のワイヤロープの振れによるノイズを避けるためにワイヤロープ損傷検知システムは台に固定し, ワイヤロープを水平方向に移動させて計測を行った。また, 磁気センサの感度を上げるため, Fig.3 に示すような支持台に強磁性体であるサマリウムコバルト磁石を固定し, 損傷検知システ

ムの直前で磁化を行った後に損傷検知実験を行った。

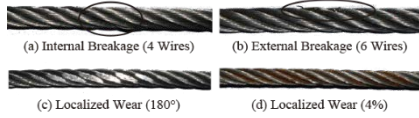


Figure 2. Damage of Wire Rope

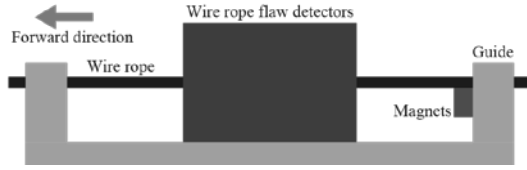


Figure 3. Wire Rope Flaw Detection Experiment

#### 4. 実験結果および考察

素線破断(外部, 内部)の損傷をワイヤロープに再現した損傷検知実験によって得られた計測信号に連続ウェーブレット変換 (CWT)の信号処理をかけた結果は Fig.4, 摩耗は Fig.5, 錆は Fig.6 に示す通りである. Fig.4, Fig.5, Fig.6 の磁気センサアレイのスカログラムに注目すると, 内部と外部の素線破断, 摩耗, 錆の損傷位置を正確に検知し, 程度の判別ができることがわかる. しかし, 損傷の種類判断は難しい. そこで, 他2種類のセンサに注目する. 内部と外部の素線破断の場合, Fig.4 の光学式センサと直動変位センサに注目すると, 2000mm 以降の外部素線破断を表す領域で広範囲に外形の変化が見て取れるため, 判別が可能であるといえる. 続いて摩耗の場合, Fig.5 の直動変位センサのスカログラムに注目する. 素線破断に比べ, 広域に値が出ているのがわかる. 直動変位センサの No.3 の値が強く出ているため, No.3 の位置に摩耗があることがわかる. また, No.1 と No.2 に変動がみられるのは, 逆位相の波形がでていたためであり, これらも併せて, 局部摩耗を判別できる可能性がある. 錆の場合, Fig.6 の光学式センサアレイのスカログラムに注目する. 錆を生じさせた範囲で正確に位置も検知できているのがわかる.

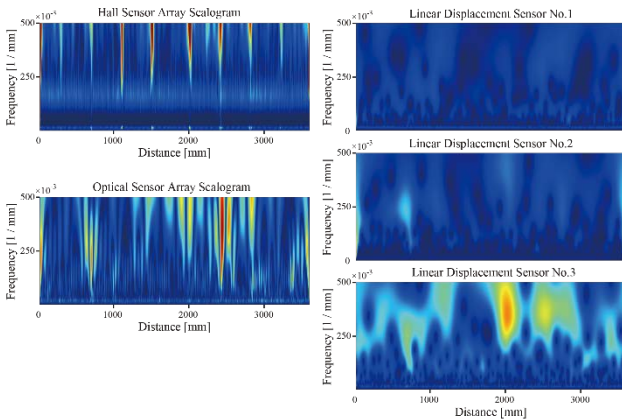


Figure 5. Wavelet Scalogram of Breakage

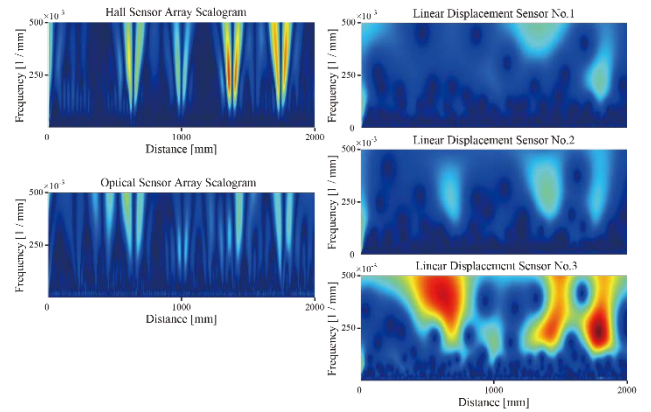


Figure 6. Wavelet Scalogram of Localized Wear

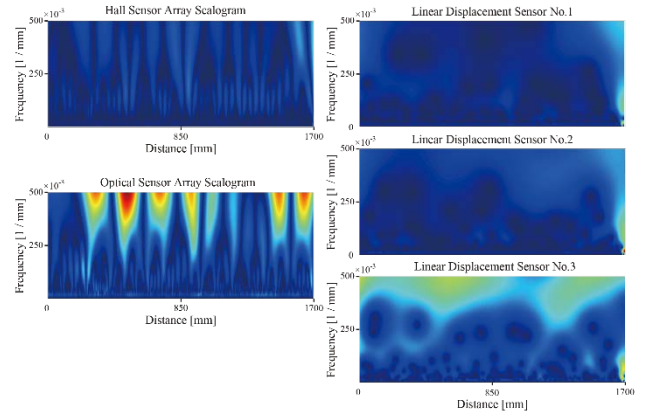


Figure 7. Wavelet Scalogram of Rust

#### 5. 結言

複合センサアレイを搭載したワイヤロープ損傷検知システムを製作し, センサフュージョンと信号処理技術を活用することによってワイヤロープの損傷検知能力が向上することを検証した. 特に損傷の程度, 位置, 種類の認知判断に対する可能性を示唆した. さらに, 信号パターンの特徴抽出処理等を行うことで, より具体的な損傷位置や複合損傷の分類, ならびに損傷進展度の予測にも応用できる可能性がある.

#### 6. 参考文献

- [1] 青木義男, 安富淳哉:「GMR センサアレイ型ワイヤロープ検査機: 複数センサー配置による損傷劣化の種類と位置の特定」, 検査技術, Vol.20, No.6, pp.1-5, 2015
- [2] 石川正俊:「センサフュージョンの課題」, 日本ロボット学会誌, Vol.8, No.6, pp.95-102, 1990
- [3] 吉元慎治, 小坂大吾, 橋本光男, 大西友治, 石田礼:「漏洩磁束探傷法によるワイヤロープ検査の数値解析による評価」, 非破壊検査, Vol.59, No.3, pp.131-137, 2010
- [4] 日本工業規格, JIS 3525, 2013