

自動巻線機によるコイル製造工程の不良発生メカニズム調査

岡田 真* 富田 洋文* 青木 邦知*

1. はじめに

有限会社旭電機製作所は、発電所などで使用される電気部品や電気基板を製造している。製品の一つであるコイルは、自動巻線機を用いて銅線を芯に巻き付けながら製造する。図1に示す自動巻線機の機構上、コイルとスライダと呼ばれる部品が接触することがあり、コイル不良の原因になると考えられている。普段は、作業者がスライダとコイルが接触しないように調節しているが、接触が原因とみられるコイルの不良が不定期に発生するので、当センターにご相談をいただいた。

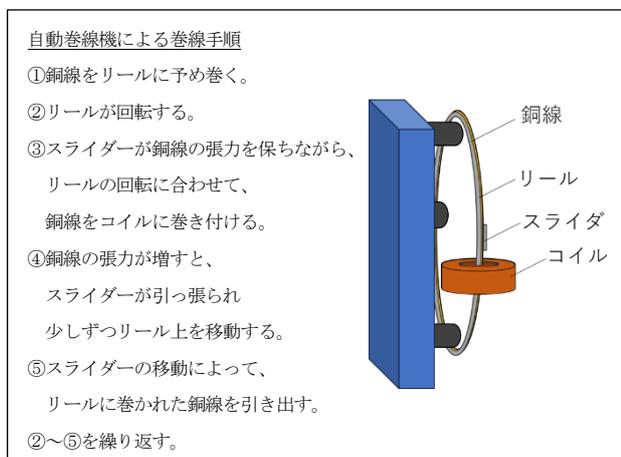


図1 自動巻線機の機構と巻線手順

2. 目的と課題

本研究では、自動巻線機の振動情報に着目し、自動巻線機に加速度センサーを取り付けて得られる振動データから、接触の度合いを検出する手法に取り組む。これにより、接触度合いとコイルの不良との関連性を調査し、コイルの不良の発生メカニズムの把握を目指す。将来的には接触検出を企業現場に実装し、接触が起きやすい条件やタイミングを見える化し、接触原因への対策につなげる構想がある。

本研究の技術的課題は、加速度センサーから得られる振動データから、接触強さや接触時間などの接触度合いに関する情報を抽出するアルゴリズム構築である。データ収集ロガーと加速度センサーを用いて、現場での振動取得実験と取得したデータの解析を行い、接触度合いを取得するためのデータ解析アルゴリズムを検討した。

3. 研究内容

3.1 センサーの設置位置の検討

スライダとコイルに巻かれた銅線が接触する際の微小な振動を検出するには、振動を感度よく測定する必要がある。このため、事前にセンサー位置の検討を

実施した。当初は作業の支障にならないよう、作業者の手元から遠い位置（図2ポイント①）に、センサー（PCB社製356A03）を設置した。しかし、接触した際の信号を解析したところ、接触信号が確認できなかった。このため、作業者の手元付近の作業に支障がない位置（図2ポイント②）にセンサーを設置し、得られたデータを解析したところ接触信号を確認できた。（図3）

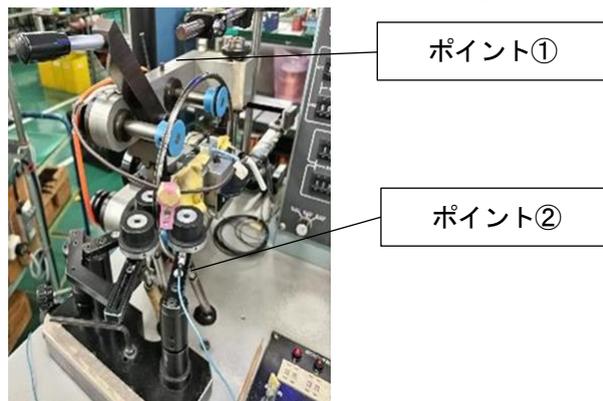


図2 加速度センサーの設置位置

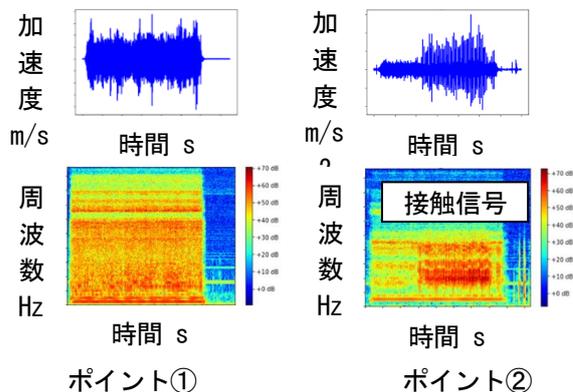


図3 設置位置ごとの振動データの比較

上：時系列データ、下：時間周波数解析データ

3.2 コイル接触部の観察

コイルの接触部を顕微鏡（Leica社製DMS-1000）で観察した。接触強さごとの観察結果を図4に示す。接触強さが「弱」の結果は、銅線被覆に擦れた痕を確認した。接触強さが「中」の結果は、擦れた痕のほか、被覆剥がれを確認した。接触強さ「強」の結果は、被覆剥がれのほかに、打痕のような痕を確認した。このように、接触強さが強くなるほど、被覆の擦れ痕から剥がれに影響が大きくなることが確認できた。

3.3 振動データの解析

収集したデータの解析用プログラムはpythonを用いて構築しており、主にLibrosa¹⁾と呼ばれる音声信号に関する解析手法が多く含まれるライブラリを、活用した。解析を行うにあたり、信号の前処理としてバ

*IT・マテリアルグループ

ンドパスフィルタ ($f_c=500\text{Hz}$, $2,000\text{Hz}$) を施した。結果を図5に示す。

接触信号の特徴として、インパルス波形のように、短い時間に、広い周波数帯域の信号が観測されることが分かる。接触痕を確認したコイルサンプルの振動データを解析したところ、顕著な接触信号を確認できた。接触強さが「弱」の振動データを確認すると、特徴的な2つのピークが確認できる。図4で確認された2つの接触痕と数が合うため、接触時の振動が検出できていると考えられる。接触強さが「中」では、「弱」のものより被覆剥がれの程度が大きいが、振動の振幅は「弱」のものより小さかった。これは、接触の強さが大きいことで被覆を剥がす量が増え、接触のエネルギーを消費したことや、接触の度合いが変わったことで、生じる周波数の成分が変わりフィルターなどで減衰したことなどが考えられる。接触強さが「強」では、銅線に凹みができるほどの接触であったため、振動データ上も顕著に大きな振幅を確認した。

4. まとめと今後の課題

本研究では、コイルにスライダを接触させた際の振動データの取得実験を行い、振動データを収集した。

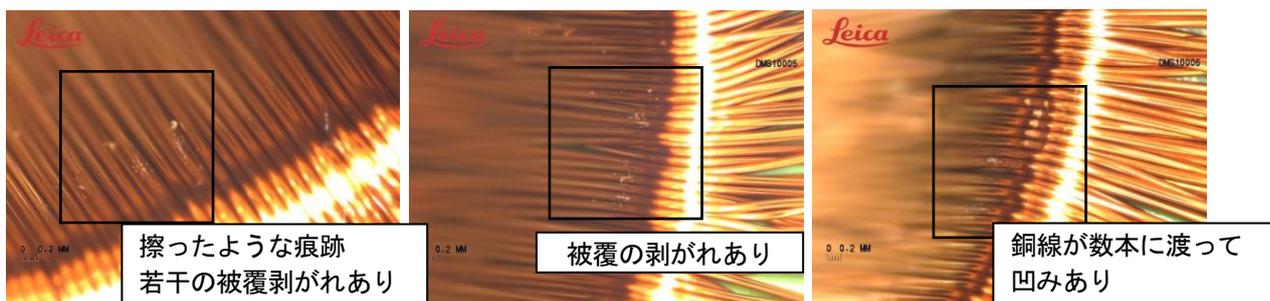
得られた振動データと接触部の観察結果から、接触痕が確認されたサンプルの振動データでは、接触信号が顕著に見られた。スライダの銅線への接触が銅線の被覆剥がれに影響していると考えられる。また、加速度センサーで検出した振動の解析結果により、被覆の剥がれが生じるような強さの接触を確認した。さらに、接触度合いの検出アルゴリズムを構築し、スライダとコイルの接触度合いを、以下の解析フローにより検出できた。

- ①バンドパスフィルタを施したデータを、時間周波数解析によりカラーマップ化
- ②任意の周波数帯域において、短い時間に広い周波数帯の周波数成分を網羅的に含む信号を検出
- ③検出した信号の信号強度が閾値以上になる持続時間と最大信号強度を算出

今後、検討した接触度合いの抽出アルゴリズムを企業現場に実装し、接触度合いとコイル不良の関連性をさらに調査する。

5. 参考文献等

- 1) Librosa documentation,
<https://librosa.org/doc/latest/index.html>



接触強さ (弱) (中) (強)

図4 接触部の観察結果

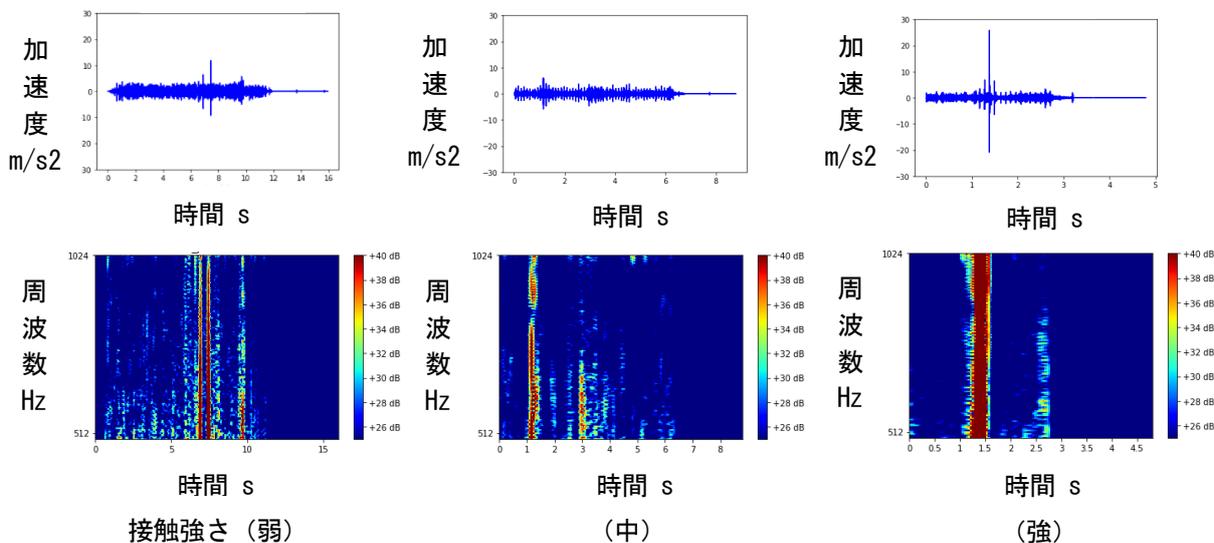


図5 振動データの解析結果