

2020年度 新産業創出研究会「研究成果報告書」

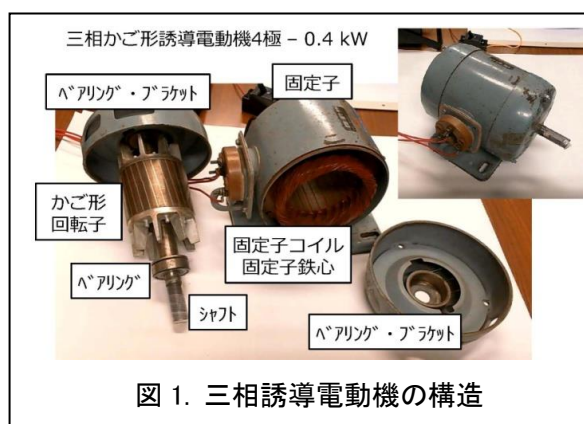
「電動機鉄心の健全性評価方法の検討と簡易型評価装置の開発」

[宇部工業高等専門学校 ・ 教授] [碓賀 厚]

1. はじめに

故障した電動機は通電による鉄損評価ができず、鉄心へのダメージを把握できない。よって、修理後に故障前と同等の特性を示すかどうか保証が困難である。そこで、本研究では故障した電動機鉄心を局所的に評価できる励磁センサを開発し、部分的に鉄損を測定して鉄心全体で相対比較を行うことにより鉄心の健全性を評価する。

電動機は日本国内の産業界で使用する電力量の 75%を占める重要かつ使用数量の多い電気設備である。それだけに故障時には工場等の操業停止や輸送機械の停止など広範囲な影響が発生する。図 1 は、小形三相誘導電動機の構造を示すものである。誘導電動機の発生損失には、固定子コイルと回転子で発生する銅損(1次銅損と2次銅損)、固定子鉄心で発生する鉄損、負荷時の磁束の歪みによる漂遊負荷損、ベアリング摩擦による機械損がある。この中で、鉄損の占める割合は全損失の30~40%であり、鉄心へのダメージによる鉄損の増加は無視できない。故障により損失が増大し生産設備への影響を未然に予防するための電動機店整備業務においては、劣化進行の原因の一つになり得る鉄心状態を簡易的に確認評価する手法が確立されていないのが実態である。



2. 概要

本研究では、次の二つを開発目標とした。

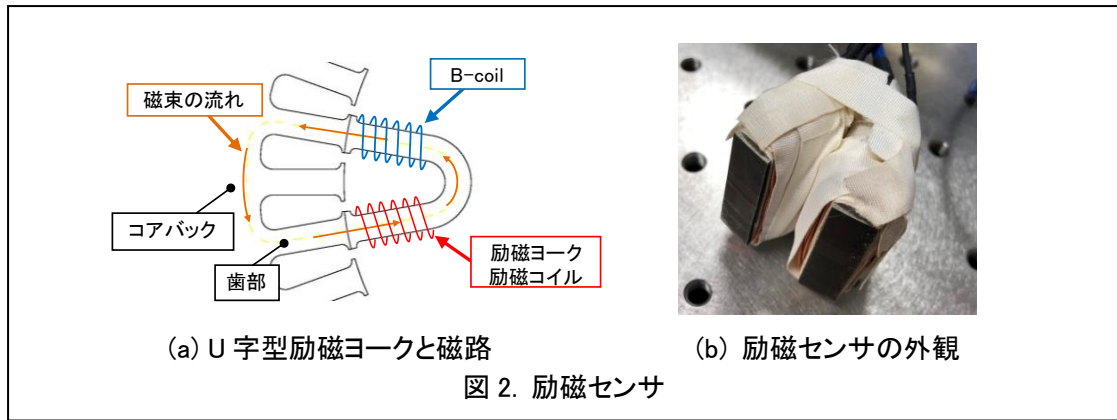
- i. 電動機コイル巻替時に鉄心の磁束分布均一性と損失を簡易に計測し、鉄心の継続使用に問題が無いか迅速に判定する手法を確立する。
- ii. 電動機整備時において(既存コイルを分解することなく)鉄心の均一性を確認し、局所的な劣化が無いかを推定する手法を確立する。

上記目標を達成するために、電動機製造工程の現場で使用可能な簡易型の局所磁気特性測定装置を開発する。産業用電動機の大半を占める誘導電動機について、従来の鉄損評価方法は JIS 等で規定されているように、完成した電動機に通電し無負荷運転時の損失(無負荷損)を測定、機械損を分離して求められている。新規製作の電動機では問題ないが、故障した電動機の場合には通電できないため上記の方法は使えない。そのため、故障した電動機の鉄心がどの程度のダメージを受けているかを把握できず、修理再生後の電動機が故障前と同等の特性を示すかどうか保証できない。そこで、本研究では故障した電動機鉄心を局所的に励磁できる励磁センサを開発し、部分的に鉄損を評価して鉄心全体で相対比較を行うことにより鉄心の健全性を評価する。評価において、鉄心全体がダメージを受けている場合にはこの方法は適用が困難である。そのため、評価検証用モデル鉄心を製作し実際の鉄心ダメージを想定した部分を作り、当該手法を用いて鉄損を測定して健全な部分の鉄損特性と比較し健全性評価のための指標を得る。

(1) 励磁センサと評価用モデル鉄心

本研究において、励磁コイルと B-coil を備えた励磁センサを考案した。図 2 に考案した励磁センサを示す。図 2.(a)に示すように、ヨークを U 字型にして磁路長を短くし固定子の歯部とコアバック、U 字型励

磁ヨークの磁路で磁気特性を測定する。図 2.(b)に製作した励磁センサの外観を示す。この励磁センサによれば、医療器具の聴診器のように固定子歯部の任意の部分で測定が可能になり、故障部と健全部の磁気特性を容易に比較評価できるようになる。

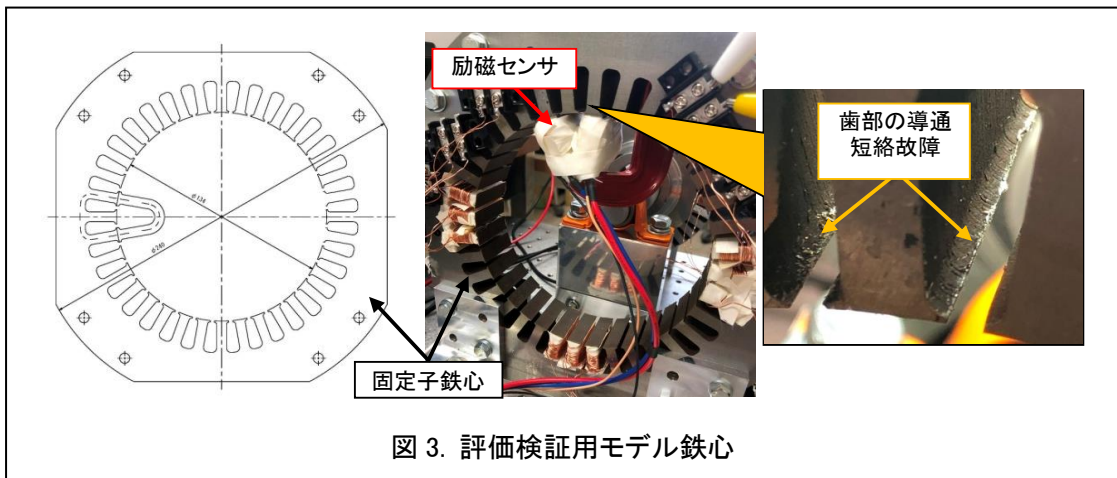


励磁センサの有用性を確認するため、図 3 に示す評価用モデル鉄心を設計製作した。評価用固定子鉄心の寸法諸元を表 1 に示す。固定子鉄心の寸法は、4 極 3.7kW の三相かご形誘導電動機のサイズと同等である。

表 1 評価用モデル鉄心の寸法諸元

外径 [mm]	内径 [mm]	積厚 [mm]	歯部幅 [mm]	コアバック幅 [mm]	スロット数
φ 240	φ 134	40	6.27	平均 26	36

実際の電動機の固定子鉄心の故障部の状態は、電気的あるいは機械的な要因により回転中に回転子が固定子に接触して発生することが多く、金属を電気溶接した後に酷似している。このようなダメージを受けた場合、固定子鉄心の渦電流損が増加すると予測できる。固定子鉄心の故障部を測定評価するため、製作したモデル鉄心に電気溶接を施す方法が考えられるが、鉄心の歪みにより健全部の正確な測定ができないおそれがある。そこで、図3の右図に示すように、絶縁コーティングされた電磁鋼板を積層した固定子鉄心の歯部先端をはんだ付けして導通させ、電気抵抗を小さくして渦電流が発生しやすい状態にした。



(2) 評価測定装置

磁気特性測定装置は図 4 に示すように、評価用モデル鉄心と励磁センサ、また励磁コイルの電源には

容量120VA(出力電圧(CVモード):0~120Vp-p,0~30Ap-p,出力周波数:1Hz~100kHz)のバイポーラ電源、B-coilの出力波形を磁束密度B波形に変換するRC積分回路、電流波形を検出するシャント抵抗(磁界強度H波形は電流に比例する)、B-H波形を観測するデジタルオシロスコープで構成される。励磁センサの励磁コイルの巻回数は、電源容量及びコイルのインピーダンスと電流密度を考慮して決定する必要がある。ここでは、励磁コイルの電流密度を $\sigma=3.0[\text{A}/\text{mm}^2]$ として設計した。

評価測定は、励磁コイルの入力電流と周波数を変化させ、図4に示した固定子鉄心の故障部と健全部のB-H波形をオシロスコープで観測し比較した。



図4. 磁気特性測定装置

3. 研究成果および今後の課題

図5は、励磁電流 $i_0=0.6[\text{A}]$ 一定として周波数を $f=20/100/200/300[\text{Hz}]$ と変化させた時の固定子鉄心の健全部と故障部のB-H特性である。健全部と故障部共に周波数の増加に伴ってループは大きくなっている。この測定方法による鉄損には、ヒステリシス損と渦電流損が含まれており、特に渦電流損の影響が大きいと考えられる。健全部と故障部を比較すると、故障部の方がB-coilの出力電圧が低くエネルギー損失が大きいことがわかる。本報告では、磁気飽和現象が現れた $i_0=0.6[\text{A}]$ の測定結果を示した。

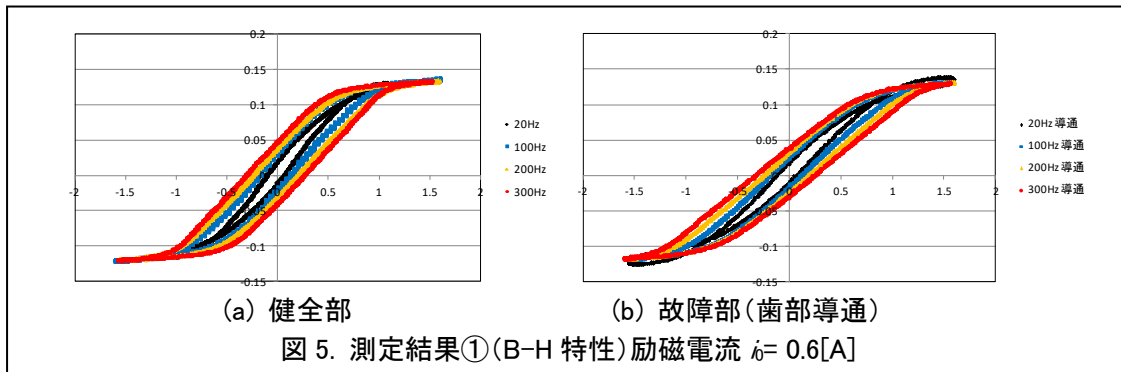
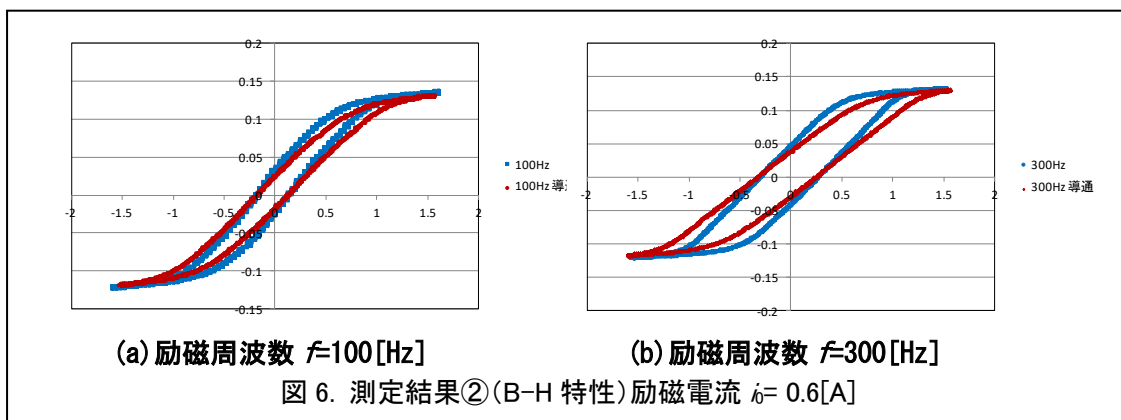


図6は、図5に示したB-H特性を励磁周波数 $f=100/300[\text{Hz}]$ において、固定子鉄心の健全部と故障部を比較したものである。励磁周波数が高くなるほどエネルギー損失は大きくなり、健全部と故障部の磁気特性の違いは顕著になることがわかる。この特性の違いは、渦電流が影響していることは明らかである。



今回の研究結果において、固定子鉄心の歯部に施した模擬的な故障部ではあるが、考案した励磁センサにより健全部との磁気特性の違いを確認できた。また、故障部の状況を把握するには 100[Hz]以上の高周波励磁が必要になることがわかった。このことから、励磁センサには高周波数でのインピーダンスの増加に配慮した励磁ヨークの材料選定とコイル設計が重要であり、商品化においては高周波電源の容量にも配慮する必要がある。

今後の課題は、実機鉄心による励磁センサの有用性の確認とあらゆる電動機鉄心の磁気特性測定を可能にする汎用性の高い励磁センサの設計開発である。また、商品化のために測定データの蓄積による励磁センサの信頼性評価である。

4. おわりに

本研究を進めるにあたり、本研究会参加企業より開発と商品化のための市場動向に関わる情報を提供いただいた。また、評価用モデル鉄心の模擬故障部作製のための実際の電動機の故障状況と要因分析に関わる情報提供と助言により励磁センサの有用性を確認できたことは、今後の商品化と事業展開が期待できると考える。

5. 本研究の今後の計画

評価用モデル鉄心を用いた励磁センサの評価検証として、擬似正弦波による励磁を行い高周波励磁での健全部と故障部の磁気特性の違いを評価する。また、故障して鉄心にダメージを受けた実機電動機について、本方式を用いて磁気特性を測定し励磁センサの有用性を評価する。同時に、故障した電動機鉄心の磁気特性測定データの収集を行う。

6. その他

(1) 出願特許(タイトル・出願番号・発明者・特許権者など)

なし

(2) 投稿論文(タイトル・学会名等)

なし

(3) 本研究会の参加企業・団体名

株式会社 野村工電社



この報告書は、競輪の補助により作成しました。

<https://jka-cycle.jp>