

# 電流情報量診断技術ならびにその IoT・クラウドへの 取組みに関する紹介

Introduction of Diagnosis Technique using current information and  
its IoT・Cloud efforts

(株)高田工業所	劉 信芳	Liu Xinfang	Not a Member
(株)高田工業所	馮 芳	Feng Fang	Not a Member
(株)高田工業所	中村孝博	Nakamura Takahiro	Not a Member
(株)高田工業所	酒田 英	Sakata Hideru	Not a Member

Abstract (Times New Roman 10pt) should be about 150 words.

We have developed a new diagnostic technology for rotary mechanical systems by multiplex analysis of current signals of three-phase induction motors. Since the current signal is measured from the electric panel of the electric room, the state monitoring diagnosis of the rotary mechanical system such as the dangerous area can be done easily, safely and accurately. We also built a remote and on-line monitoring and diagnostic system with current signals using IoT and cloud. This diagnostic technology and its IoT・cloud system will be introduced.

**Keywords:** induction motors, current information, rotary mechanical systems, monitoring, diagnosis, IoT, cloud

## 1. はじめに

電力、鉄鋼、化学などさまざまな業界に運転されている回転機械について、設備の経年劣化や設備に精通した熟練者の不足などの問題を抱えており、とりわけ生産プロセス上に重要な回転機械の突発停止による事故と損失を避けたいため、安価で確実な監視・診断技術への期待が大きい。また、監視・診断技術は回転機械設置現場の制約により人が接近困難な場所への対応、ならびに低速・可変速回転機械への適用と電動機の電氣的異常・インバータの状態監視診断への適用が求められている。さらに、世界的に第四次産業革命の波が押し寄せ、IoT・クラウドを用いた遠隔監視診断システムへの要望が高まっている。しかし、従来の監視診断システムは上記のニーズに応えることが困難であり、実用的な監視診断システムの確立が急務となっている。

この顧客の需要に応えるため、当社は誘導電動機駆動電流信号を用いた回転機械系（電動機と負荷装置）の状態診断技術に対して基礎研究から商品開発までを行ってきた。統計解析と情報理論を用い、電流信号に含まれて

いる回転機械系の状態情報を抽出し活用することにより、電流信号による回転機械系簡易診断・劣化傾向管理技術を確立した。さらに精密診断方法とした4種類の解析手法を体系化し、実用性の高い回転機械系の状態監視診断技術商品「電流情報量診断システム T-MCMA (TAKADA Motor Current Multiplex Analysis)」の開発に成功した。

電流情報量診断方法は従来の振動診断方法のように、回転機械の機械的な異常を検出できるだけでなく、モータ、インバータ、電源など電氣的異常も検出できる。また、電気室の電気盤の中にクランプ式電流センサーを設置するだけで、回転機械状態のオンラインとオフライン監視診断が可能である。さらに、IoT・クラウドにも対応しやすい特長がある。

本診断システム商品は「日本初、世界で類のない技術であり、日本のエンジニアリング産業の監視・診断技術向上に大きく貢献している」と評価され、日本エンジニアリング協会平成29年度エンジニアリング功労者賞（中小規模プロジェクト枠）を受賞した。

## 2. 電流情報量診断技術

### 2.1 簡易診断と劣化傾向管理

計測した生の電流信号に対して、時間領域の解析と周波数領域の解析を行う。時間領域の解析結果として、3

連絡先: 劉 信芳、〒806-8567 北九州市八幡西区築地町1-1、(株)高田工業所 技術本部、  
E-mail: ryuu@takada.co.jp

つのパラメータ  $KI$ 、 $I_{rms}$ 、 $I_{ub}$  を求める。また、周波数領域の解析結果として、5つのパラメータ  $L_{pole}$ 、 $L_{shaft}$ 、 $IHD$ 、 $THD$ 、 $L_x$  を求める。計8つのパラメータを用い、回転機械の簡易診断を行う。

$KI$  は基準電流波形と点検電流波形の距離を示すカルバック・ライブラー情報量であり、回転機械系劣化全般を監視するパラメータである。 $I_{rms}$  は電流の実効値であり、回転機械系の負荷・運転状態変動を監視するパラメータである。 $I_{ub}$  は三相電流のバランスであり、電源品質・インバータの状態を監視するパラメータである。 $L_{pole}$  は極通過周波数側帯波電流成分と電源周波数成分のレベル差であり、電動機回転子バーの劣化状況を監視するパラメータである。 $L_{shaft}$  は回転周波数側帯波電流成分と電源周波数成分のレベル差であり、電動機接続軸系の芯ずれ、曲り、接触、不釣り合いなどの異常荷重を監視するパラメータである。 $IHD$  は最大高調波電流成分と電源周波数電流成分の比率であり、電源品質・インバータの状態を監視するパラメータである。 $THD$  は全高調波電流成分と電源周波数電流成分の比率であり、電源品質・インバータの状態を監視するパラメータである。 $L_x$  はポンプ・ブロワのブレード通過周波数、または、歯車の噛み合い周波数、ベルトの回転周波数の側帯波電流成分と電源周波数電流成分のレベル差であり、それぞれポンプ・ブロワのインペラ、歯車の噛み合いとベルトの状態を診断するパラメータである。

診断ソフトの簡易診断画面は Fig.1 に示す。8つのパラメータにより、回転機械系の簡易診断と傾向管理を行う。すべてのパラメータは設定した判定基準と比較し、注意領域に入ると黄色に着色し、危険領域に入ると赤色に着色すると共に、イベントへの警報を出力し、担当者に警報メールを送信することも可能である。

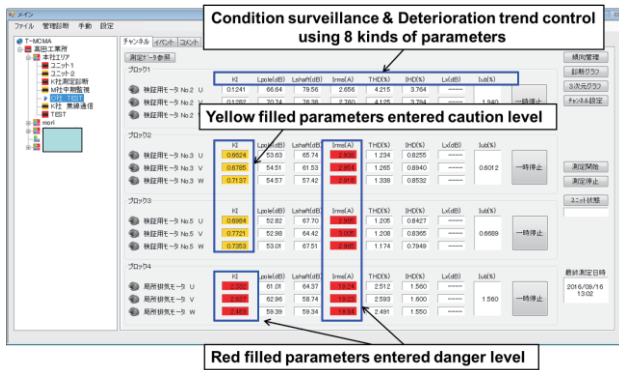


Fig.1 Condition surveillance screen of the analysis and diagnosis computer

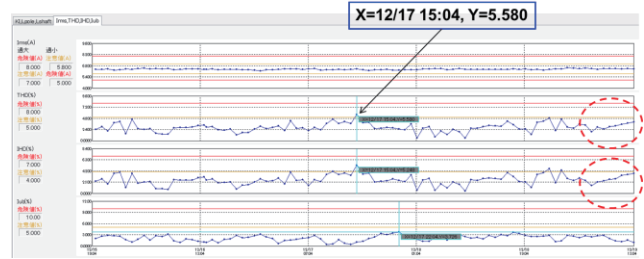


Fig.2 Deterioration Trend Control graph

8つのパラメータの算出結果はデータベースに保存される。最新の結果を含め、過去のデータをすべて参照できる傾向グラフ表示機能がある。4つのパラメータを1画面で表示する傾向管理グラフの一例を Fig.2 に示す。同図の横軸は時間を、縦軸はそれぞれのパラメータのレベルを示す。最新の計測結果が一番右側に表示する。図中の黄色線は判定基準の注意レベルであり、赤線は危険レベルである。図中のポイントをクリックすると、そのパラメータの計測日とレベルが表示される。傾向グラフからそれぞれのパラメータの過去と直近の変動状況を観察することにより、回転機械の状態をより正確に判定できる。

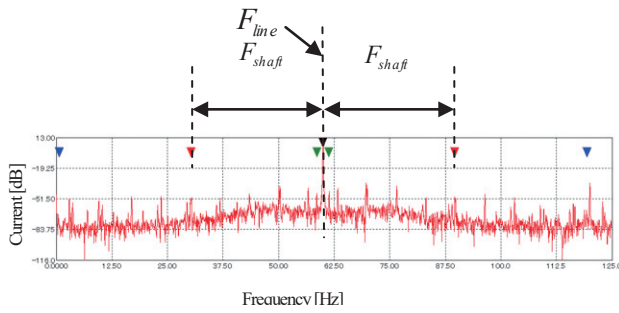
## 2.2 精密診断解析

精密診断技術としては、1)電流信号の側帯波解析、2)高周波領域電流の包絡線処理解析、3)電流高調波解析、4)過渡電流値のパターン解析など4種類の解析手法を用いる。これらの解析手法により、電源品質、電動機の電氣的異常と回転機械系の機械的異常を識別できる。

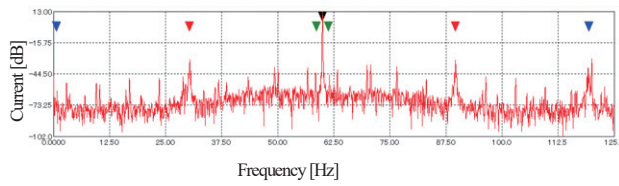
### 2.2.1 電流信号の側帯波解析

電動機の電流信号をFFT(Fast Fourier Transform)解析すると、電流スペクトルには Fig3 のように電源周波数  $f_{line}$  (西日本 60Hz) の両側に極通過周波数  $f_{pole}$  (Pole passing frequency)の側帯波が現れる。この側帯波のレベルにより回転子バーの異常があるかどうかの診断方法は一般的に知られているが、電源周波数の両側に軸回転周波数  $f_{shaft}$  の側帯波のレベルによりと負荷側軸系のカップリングミスアライメントの状態を診断できることは当社の発明特許である。

電流スペクトルに電源周波数部のレベルを  $I_{line}$  とし、軸回転周波数部のレベルを  $I_{shaft}$  とすると、電源周波数部と回転周波数部の相対レベル  $L_{shaft}$  は以下の式



(a) Shaft rotating frequency sideband in normal state



(b) Shaft rotating sideband in offset misalignment of 0.2mm

**Fig.3 Abnormal identification of rotating machine shaft system by current spectrum**

$$L_{shaft} = 20 \log \frac{I_{line}}{I_{shaft}} \quad (dB) \quad (1)$$

により求める。実験および現場検証の結果により  $L_{shaft}$  は 48 dB 以下になると、カップリングのミスアライメント、またはロータのアンバランスの可能性が大きい。42 dB 以下になると、ミスアライメントまたはアンバランスの状態が悪く、早急に整備しないとならない。さらに、この解析により、ミスアライメント状態とアンバランス状態との識別もできる。

Fig.3(a)はカップリング正常状態の軸回転周波数側帯波を示す。この場合の  $L_{shaft}$  は 62.19 dB である。Fig.3(b)はカップリングミスアライメント状態（軸水平方向 0.2mm ずれ）の軸回転周波数側帯波を示す。この場合の  $L_{shaft}$  は 44.32 dB である。

## 2.2.2 高周波電流解析

電動機の電流信号に対して、以下の手順で包絡線処理と FFT を行う。1)ハイパスフィルタ(HPF)をかける。2)高周波時系列波形を絶対値処理とローパスフィルタリング(LPF)する。3)包絡線処理後の時系列波形を FFT 変換すると、高周波電流信号のスペクトルを得る。高周波電流信号のスペクトルのパターン認識により回転機械の状態を識別できる。

## 2.2.3 高調波解析と過渡電流解析

電源周波数(50/60Hz)の電流波形を基本波(1次)といい、

電源周波数の整数倍の電流波形を高調波(2次～ $n$ 次、 $n$ :正の整数)という。高調波解析手法とは高調波のレベルとその発生次数を調べることである。電流時系列波形は正弦波に近づく、高調波のレベルが 0 に近い。逆に、電流時系列波形は正弦波からひずみが生じると、高調波のレベルが高くなる。

実測電流波形のひずみ度合いを評価するため、電流波形の単調波電流ひずみ率と全調波電流ひずみ率を定義する。まず、単調波電流ひずみ率<sup>6)</sup>は次式

$$I_h = \frac{I_n}{I_1} \quad (n = 2, 3, \dots, 50) \quad (2)$$

で定義する。また、全調波電流ひずみ率は次式

$$I_{a_{th}} = \frac{\sqrt{\sum_{n=2}^{50} I_n^2}}{I_1} \quad (n = 2, 3, \dots, 50) \quad (3)$$

で定義する。ここで、 $I_h$ : 単調波電流ひずみ率、 $I_{a_{th}}$ : 全調波ひずみ率、 $I_n$ :  $n$ 次高調波電流成分、 $I_1$ : 1次電流成分である。

電流成分の高調波解析手法は、電源品質の診断に適用されている。また、電動機の電氣的異常とインバータの診断にも使える。現在、電流波形のひずみ率に関する統一的な判定基準は設定されていないが、実績経験に基づき、 $I_h > 5\%$  または、 $I_{a_{th}} > 7\%$  となると、電源品質がよくないと診断している。

起動電流パターン解析、遮断電流パターン解析、操業プロセス電流パターン解析などといった過渡電流解析手法を本診断システムに組み込み、監視・診断機能の充実を図っている。

## 3. クラウド診断サービスシステム

### 3.1 IoT時代の監視診断技術のあるべき姿

IoT・クラウドに対応する監視診断技術の姿として、(1)取付け・取外し簡便かつ無線送信できるセンシング技術、(2)クラウドと有線・無線で接続できる便利なインタフェース、(3)組み込み簡単なデバイス、(4)クラウドコンピューティングに関連するソフト(アルゴリズム、アプリケーション)、(5)セキュリティ対策などが挙げられる。

回転機械の状態診断方法として、振動診断、潤滑油分析による診断、音響診断、AE診断、温度画像診断および電流情報量診断などの監視診断方法がある。現状、振動診断が広く実用化されているが、電流情報量診断と比較すると振動診断は回転機械本体の上に複数個の振動加速

度センサーを設置し、監視装置まで配線する必要があるため、IoTへの対応はコストがかかる。最近、無線送信の振動加速度センサーを開発しているが、設置方法が変わらないだけでなく、センサーに電源が必要になる。

### 3.2 クラウド診断サービスシステムの構築

電流情報量診断システムのセンシングは電気室の電気盤で行うため、電気盤の更新工事が無い限り、クランプ式電流センサーを電動機の電気盤に長期的に設置できる。電流計測ユニットは電流センサーと接続し、A/D変換を行い、デジタル化電流信号をVPN(Virtual Private Network)経由で有線により、または通信アダプタ経由で無線によりクラウドに送信する。クラウドコンピューティングにより電流信号の解析、回転機械状態の遠隔監視診断を行う。

電流情報量診断クラウドシステムの構成をFig.4に示す。Fig.4の中、複数台の診断ユニットをルータに繋ぎ、ルータはNTTフレツネクストと有線で接続する。または、複数台の診断ユニットを通信アダプタに繋ぎ、無線で接続する。クラウド上の仮想サーバーに電流信号解析、監視診断ソフトをインストールし、データベースを構築する。また、通信インターフェースを実装することによりクラウドとユニット間、クラウドと監視端末間の通信ができるようになり、IoT・クラウドを用いたグローバルな遠隔監視診断システムを比較的安価に構築できる。

常設端末は有線(LAN)で、携帯端末は無線でクラウドと接続し、リモートデスクトップにより診断・解析画面を閲覧し、診断・解析結果を確認することができる。また、異常を検出した場合に、クラウドは自動的に登録されたタブレット・モバイルなどの端末に警報を送信する。

## 4. おわりに

電流情報量診断システムは2010年3月に開発した後、2016年3月まで6年間を掛けて、石油化学、製鉄、電力、食品、公共施設など多分野にわたり、数十機種、数百台の回転機械の診断に実用され、多くの診断実績を蓄積してきた。同時に研究開発を重ね、診断システムの改善・改良も行われてきた。診断システムの信頼性と診断技術の有効性は十分検証されたため、商品は2016年4月から発売した。

また、従来の診断方法と比べ、IoT・クラウドに適用しやすい特長があるため、既にIoT・クラウドを用いた電流情報量診断システムを構築し、グローバルな回転機械遠隔オンライン監視診断が可能になっている。

### 参考文献

- [1] 劉信芳, 馮芳他1名, 電流信号多重解析による回転機械系の監視診断, 高田技報, Vol. 21, No. 1, (2011), pp. 20-25.
- [2] 豊田利夫, 電流微候解析 MCSA による電動機駆動回転機の状態診断, 高田技報, Vol. 20, No. 1, (2010), pp. 3-6.
- [3] 劉信芳, 馮芳他1名, 駆動電動機電流情報量多重解析による回転機械系の監視診断, 日本設備管理学会誌, Vol. 24, No. 4, (2013), pp. 36-41.
- [4] 劉信芳, 馮芳, IoT・クラウドへ対応する電流情報量診断システム(T-MCMA), 日本設備管理学会H29年度春季研究発表大会論文集, (2017), pp. 32-35.

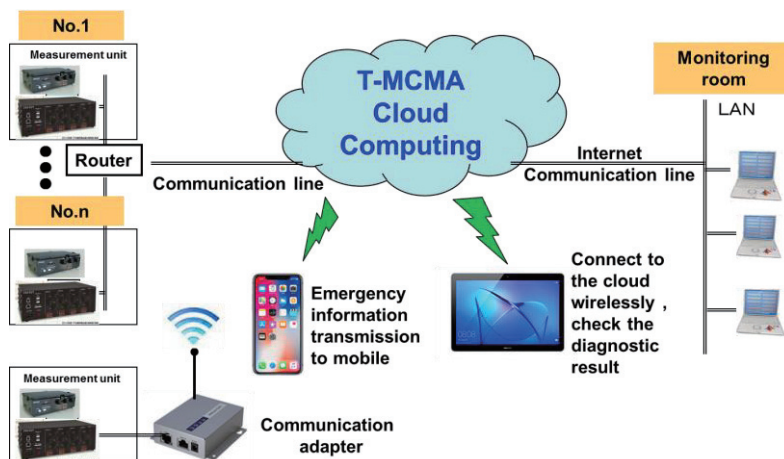


Fig.4 TAKADA Motor Current Multiplex Analysis by IoT・Cloud