

## 【電流情報量診断システム 活用実績②】 社会インフラ用回転設備の点検・監視・診断

### 1. はじめに

高度成長期に整備された社会インフラの老朽化が急速に進行する一方、地球温暖化によりゲリラ豪雨や台風などの自然災害が増加する傾向にある。災害発生時に緊急排水ポンプ、水門、堰、樋門などの社会インフラ用回転設備が稼働できなくなると、被害拡大に繋がり、国民の生命・財産が危険に晒される。このため、緊急時における社会インフラ用回転設備の不作動防止が喫緊の課題になっている。このような環境の中、社会インフラ用回転設備を維持管理するため、最新の点検・監視・診断と情報通信技術の導入および活用がますます重要になってくる。

### 2. 社会インフラ用回転設備の特徴と点検・監視・診断の問題点

社会インフラ用回転設備は全国各地に分散して存在し、そのほとんどは災害時にしか運転しない特徴がある。代表的なインフラ用回転設備の特徴は以下の通りである。

#### 2.1 河川利水・水害防止関係の回転設備

水門、堰、樋門と緊急排水ポンプなどの河川利水・水害防止関係の機械設備は河川・湖に整備し、全国各地に分散し、独立的に存在している。緊急排水ポンプが水中、地下に設置されることが多い。特に水門、堰、樋門のゲート部はゆっくりと上下運動するため、回転装置駆動部末端の回転数が1rpm前後で非常に遅く、振動診断の適用が難しい。

#### 2.2 高速道路関係の回転設備

高速道路関係の回転設備はトンネル用換気設備であるジェットファン・ブロウ、災害時およびサービスエリアに使用する給排水ポンプ、消防設備などがある。特にジェットファンはトンネル天井部壁面にアンカーボルト、吊金具とターンバックルで吊り下げて、高所に設置する。設置場所から管理事務所まで数km、数十km離れることが多い。ジェットファンの電氣的・機械的異常の監視・診断だけでなく、アンカーボルトと吊金具の緩みによる落下事故を防止することは最重要な課題である。

#### 2.3 上下水道処理関係の回転設備

上下水道処理用回転設備は各種ポンプ、ブロウ、攪拌装



図1 回転機械の遠隔監視・診断システム  
TM-CLOUD<sup>®</sup>とT-MCMA<sup>®</sup>

置、ベルトコンベヤーなどがある。大半は液中、または地下に設置する。特に下水処理の場合、液体の腐食性が強く、各種ゴミ・砂・泥が混入され、運転環境が非常に厳しい。突発停止防止のため、回転設備の点検・監視・診断の重要性が増している。このような機械設備の維持管理はIoTとDXを駆使し、点検・監視・診断の省力化、低コスト化と高い信頼性が求められる。

### 3. 電流情報量診断システムの特徴

#### 3.1 電流情報量診断システムT-MCMA<sup>®</sup>の商品構成<sup>(1)</sup>

T-MCMA<sup>®</sup>(TAKADA Motor Current Multiplex Analysis)はクラウド型(TM-CLOUD<sup>®</sup>:TAKADA Maintenance Cloud)、オンプレミス型、スタンドアロン型の三種類である。クラウド型の構成を図1に示す。

クラウド型T-MCMA<sup>®</sup>は電気室の配電盤からモータへ電力を供給する配線にクランプ式電流センサを取付け、電流計測ユニットにより固定子電流のアナログ信号をデジタルに変換して、無線通信アンテナを用い、TM-CLOUD<sup>®</sup>の顧客専用の仮想サーバに送信する。仮想サーバはインストールした解析アプリケーションにより電流信号の解析を実行し、回転装置の状態監視診断を行う。異常を検出した場合には、警報メールを顧客の担当者へ送信する。図中のVFC-1<sup>®</sup>はTM-CLOUD<sup>®</sup>と連動したインターフェースであり、業務用PCやタブレット端末から計測・解析結果である監視診断用パラメータの傾向管理グラフを簡単・安全にアクセスと閲覧でき、対象機器の状態をいつでもどこでも確認できる。

オンプレミス型のT-MCMA<sup>®</sup>は顧客のLANとサーバを用

い、スタンドアロン型は電流計測ユニットとPCとUSB、またはLANケーブルと直接接続し、回転装置の電流信号計測・解析・監視診断を行う。

### 3.2 電流情報量診断システムT-MCMA<sup>®</sup>の解析・監視・診断方法<sup>(1)</sup>

モータ固定子の実測電流信号の時系列波形とそのスペクトルを図2に示す。図2(a)は時系列波形に実測波形と同じ電源周波数(60Hz)の正弦波シミュレーション波形を重ね書きで表している。右側は電流波形振幅の確率密度分布である。時系列波形の解析結果から3種類の監視診断用パラメータを算出する。図2(b)は電流信号のFFTを実施した後に、 $20\log$ を取った対数スペクトルである。対数スペクトルから5種類、最大8個の監視診断用パラメータを算出する。パラメータの定義とその役割を表1に示す。

断続運転、またはバッチ運転の回転装置に対して、過渡電流診断機能を提供する。この機能は特に超低速回転装置に対して有効である。図3に過渡電流診断のイメージと診断用パラメータを示す。電流計測ユニットの外部トリガ入力端子にモータオン・オフの無電圧接点信号線を接続し、モータの起動・停止に合わせ、運転電流の計測を自動的に行い、過渡電流診断・解析を実施する。

### 3.3 電流情報量診断システムT-MCMA<sup>®</sup>の特徴<sup>(1) (2)</sup>

電流情報量診断システムは以下の特徴がある。

- (1) 電気室の分電盤に電流センサを取付け、電流信号を計測するため、回転機械の設置現場の環境に左右されない。
- (2) 回転装置の機械系・流体系の異常だけでなく、電源・インバータ・モータ固定子巻き線劣化などの電気系異常を同時に検出できる。

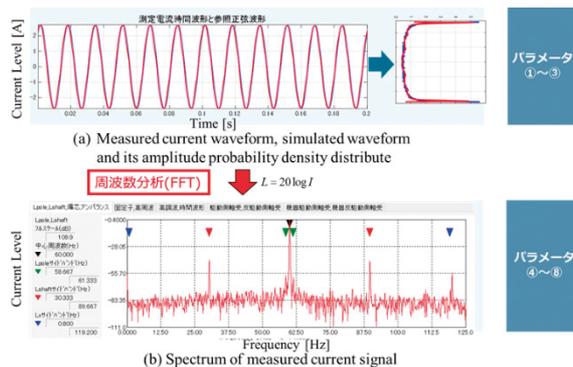


図2 電流信号の解析

- (3) 一般回転装置だけでなく、超低速回転装置、末端往復動回転装置をすべて監視・診断できる。
- (4) 無線通信・有線通信・クラウド・PCと組み合わせ、オンライン・オフライン・遠隔監視診断機能を現場状況により、自由に選択できる。
- (5) 社会インフラ用回転設備の維持管理・点検・診断にIoT/DX化を容易に実現する。

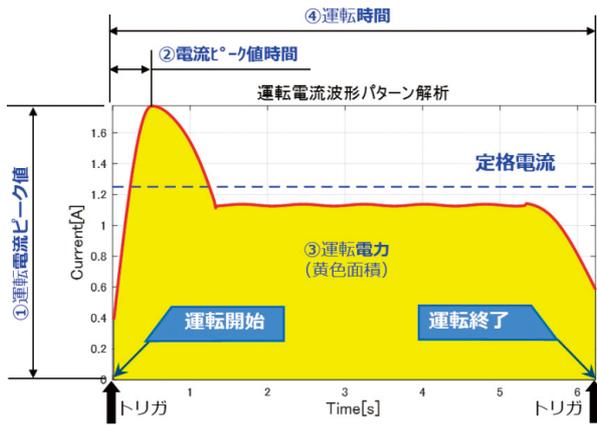
## 4. 計測・解析・検証・診断適用実績

### 4.1 計測・解析作業

社会インフラ用回転設備の定期点検・診断のため、図4に示すスタンドアロン型電流情報量診断システムがよく使われる。電気(機械)室の配電盤にクランプ式電流センサをモータへの電力ケーブルに取付け、電流のアナログ信号を計測し、計測ユニットでデジタル信号に変換して、LAN/USBケーブルを通じて、PCに転送する。PCの診断解析ア

表1 診断パラメータ定義とその役割

確率密度分布解析 と 時間領域解析			
1	KI	電流波形振幅の確率密度分布より算出する情報量	回転機械系状態を総合的に監視する。ポンプ・ブロウの流体系異常検出にも有効
2	Irms	電流実効値	回転機械系の負荷変動などの状態を監視する
3	Iub	三相電流のバランス	電源品質・モータ巻き線劣化・欠相・インバータ状態を監視する
FFT解析			
4	Lpole	極通過周波数側帯波電流成分と電源周波数電流成分比率	モータ回転子劣化垂状況を監視するパラメータ
5	Lshaft	回転周波数側帯波電流成分比率と電源周波数電流成分比率	モータ接続軸芯すれ・曲がり・接触などの異常荷重を監視する
6	IHD	最大高調波電流成分と電源周波数電流成分比率	電源品質・モータ巻き線劣化・インバータ状態を監視する
7	THD	全高調波電流成分と電源周波数電流成分比率	電源品質・モータ巻き線劣化・インバータ状態を監視する
8	Lx	回転機の特徴周波数側帯波電流成分と電源周波数電流成分比率	負荷側の特定部位の異常状態を監視する。Lx1~Lx4設定可能



運転電流診断パラメータ	
①電流ピーク値 (A)	運転開始から終了までの最大値
②電流ピーク値時間 (sec)	運転開始からピーク値までの時間
③運転電力 (W)	運転開始から終了までの電力 (黄色波形部面積)
④運転時間 (sec)	運転開始から終了までの時間
⑤標準偏差 (A)	測定グラフの初期値グラフに対する標準偏差

図3 過渡電流診断のイメージと診断用パラメータ

アプリケーションによりその場でデータの解析を行い、診断結果を確認できる。

#### 4.2 検証・診断適用実績概要

河口堰の開閉装置の1例を挙げて、T-MCMA<sup>®</sup>の適用について紹介する。ある堰ゲート開閉装置の駆動系を図5に示す。表1に示す回転装置の負荷側診断用パラメータLxはLx1からLx4まで設定できる。Lxの定義とその診断内容を表2に示す。駆動系はモータ、多段減速機、ドラムにより構成する。モータ回転数は1,189rpmで、末端のドラムの回転数は表2より、0.76rpmである。このような超低速な回転装置、さらにゲートの上下運動の機械設備に対して、有効な点検・診断方法はなかった。当社はT-MCMA<sup>®</sup>の常用診断・解析手法と過渡電流診断・解析手法を併用し、モータから最後のゲートまでの状態評価診断ができた。診断実績を本誌別報で報告する。

これまで、社会インフラ用回転設備において、顧客がT-MCMA<sup>®</sup>を導入した実績と当社が顧客から依頼された検証・診断・解析実績を表3に示す。これらの実績により、T-MCMA<sup>®</sup>を用いた点検・監視・診断の有効性を検証できた。今後、多数の診断・解析実績の蓄積に伴って、点検・監視・診断用8種類のパラメータの適正化を行い、評価方法の精度向上と評価作業の標準化を図る。

T-MCMA<sup>®</sup>は社会インフラ用回転設備と産業プラント用回転機械系の点検・監視・診断の有効性を確認できた

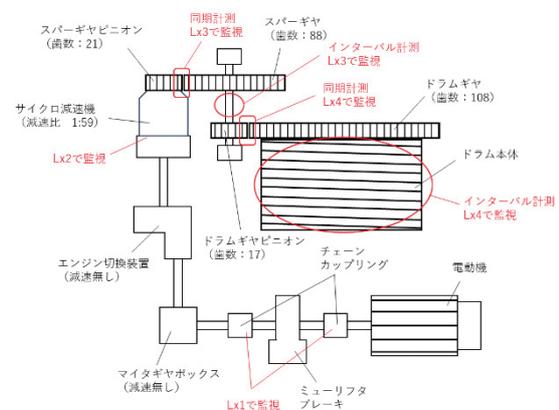


図5 河口堰開閉装置駆動システム概略

表2 ゲート開閉装置 開閉駆動システム Lx設定例

	Parameters	Diagnosis items	Setting Value (fr: Motor Rotation Frequency)
Common	Lx1	Misalignment	$f_r \times 2 = 2f_r$
	Lx2	Cyclo reducer diagnosis	$f_r \times (1/59 + 1) = 1.0169f_r$
Synchronous Measurement	Lx3	Spur gear diagnosis	$f_r \times (1/59) \times 21 = 0.3559f_r$
	Lx4	Drum gear diagnosis	$f_r \times (1/59) \times (21/88) \times 17 = 0.0688f_r$
Interval Measurement	Lx3	Spur gear diagnosis	$f_r \times (1/59) \times (21/88) = 0.0041f_r$
	Lx4	Drum gear diagnosis	$f_r \times \left(\frac{1}{59}\right) \times \left(\frac{21}{88}\right) \times \left(\frac{17}{108}\right) = 0.00064f_r$

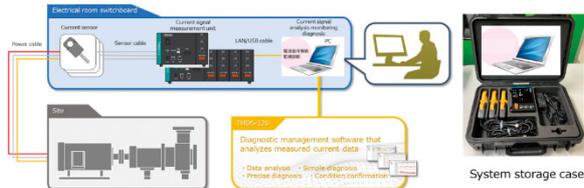


図4 スタンドアロン型の電流情報量診断システムと収納ケース

め、新技術として、国土交通省と経済産業省より高い評価をいただき、行政機関に技術登録された（図6）。

## 5. おわりに

社会インフラ用回転設備の点検・監視・診断技術の確立は緊急時における機械設備の不作動、または突発停止防止と自然災害による被害の軽減に重要な役割を果たすことがわかった。電流情報量診断システムは、その信号計測・解析・診断の特徴から社会インフラ用回転設備に適用できる理由を議論した。各種社会インフラ用回転設備の点検・監視・診断および実験検証の実績から、電流情報量診断システムを用いた診断・評価方法が有効であることを確認した。今後、点検・診断実績の蓄積により、判定基準の最適化と評価方法の標準化に努め、社会インフラ用回転設備の維持管理と点検・監視・診断技術のIoT/DX化の実現に取り組む所存である。

劉 信芳（診断ソリューション部）



図6 行政機関への技術登録

## 参考文献

- (1)劉 信芳, 馮 芳, “電流情報量診断の基礎理論と診断技術”, 高田技報, Vol. 33, No. 1 (2023), pp. 21-29.
- (2)井上 剛志, 兵頭 行志編著, 劉 信芳共著, “機械システムの状態監視と診断技術”, 日本機械学会編, コロナ社, (2021), pp. 222-245.
- (3)国立研究開発法人 土木研究所 寒地土木研究所 寒地機械技術チーム, “電流情報診断によるコラム形水中ポンプ状態監視ガイドライン”, (2019)
- (4)大串 理, “道路排水設備の診断に向けた技術検証”, 国土交通省関東地方整備局, 令和3年度スキルアップセミナー関東, (2021), pp. 1-4

表3 T-MCMA<sup>®</sup>による社会インフラ回転機械の点検・診断結果の概要

分野	対象機器	顧客数
高速道路	ジェットファンなど	3社
導入状況		
トンネルジェットファンの監視診断のため1社正式導入, 2社診断業務依頼		
上下水処理	ポンプ, コンベア, ファンなど	3社
導入状況		
1社スタンドアロン型導入 (自主運用), 2社診断業務依頼		
河川設備	水門, 堰, 樋門	3社
導入状況		
点検・診断業務依頼, 水門2箇所, 堰3箇所, 樋門2箇所		
備考		
点検・診断継続実施中		
緊急排水	コラムポンプ	1社
	T-MCMA <sup>®</sup> を用いた点検・診断技術開発	
	水中ポンプ	1社
	点検・診断業務依頼	
	ブレードポンプ	1社
実用検証: 圧力脈動, アンバランス, 機械的緩み, 羽根車欠損, 基礎ボルト緩みなどの異常をすべて検出できた。		