

電流情報量診断システム 活用実績

高速道路トンネル内におけるジェットファンの点検・診断

1. はじめに

戦後から高度成長期にかけて急速に整備が進められてきた道路や港湾、橋梁などについて、今後老朽化が進むことが予想されており、それに対して効率的かつ効果的に対応するために、インフラの保全活動が各分野で推進されている。そのひとつである高速道路分野においても、国土交通省を中心に管理手法の整備が進められている。当社の電流情報量診断システム（以下、T-MCMA[®]）は、回転機械の監視診断技術として、振動診断などでは適用が難しい水中ポンプや低速回転機への適用が期待されており、これまでさまざまな分野での活用が進められている。高速道路分野においては、図1に示すトンネル内のジェットファンをはじめとして、既存の振動診断手法では対応が困難であり、監視範囲が限定されてしまう設備が多くある。本稿ではジェットファンに対して、T-MCMA[®]を適用した事例を紹介する。

2. 高速道路設備の特徴と点検・監視・診断の問題点

高速道路分野の回転機械設備はトンネル用換気設備であるジェットファン・排送風機、災害時およびサービスエリアで使用されている給排水ポンプ、消防設備で使用されている消火ポンプなどがある。特にジェットファンはトンネル天井部壁面のアンカーボルトから吊金具とターンバックルを用いて、吊り下げて設置されるため、車両が通行する頭上に設置されていることになる。ジェットファンの点検を実施するための梯子などは設置されておらず、点検時には高所作業車が必要になる。しかし、高所作業車はジェットファン下に停車させた状態でしか使用できないため、交通規制により車両通行を制限する必要がある。近年、遠隔監視技術のひとつとして、無線振動計が普及しているが、ジェットファンに取り付ける際には、振動計の落下による車両への影響を防ぐための措置が必要となる。そのため既存の点検方法にはマンパワーやコスト、通行車両への配慮といった多くの負担が伴う。



図1 ジェットファン

3. 電流情報量診断システムの概要とジェットファンへの適用

T-MCMA[®]は電動機と負荷設備で構成した回転機械系における三相誘導電動機の固定子電流を計測し、多重解析することで、回転機械の状態を診断可能にしたシステムである。T-MCMA[®]の概要を図2に示す。当システムは大きく分けて、電流センサ、電流信号計測ユニット（以下、TMDU）、診断管理ソフトウェア（以下、TMDS-120）から構成される。電流センサは電気室や現地の配電盤内モータ動力ケーブルに取り付けられ、その信号をTMDUでA/D変換して記録する。その後TMDS-120に転送することで、簡易診断や精密診断などの解析結果を確認することができる。実際に現地の配電盤内モータ動力ケーブルへ電流センサを取り付けた様子を図3に示し、TMDUおよびTMDS-120がインストールされているPCの設置の様子を図4に示す。図3,4のようにT-MCMA[®]は配電盤付近ですべての設置が完了するため、トンネル内のジェットファンに接近することなくデータを計測でき、さらに電気室で監視・診断が可能となる。簡易診断では、表1に示す独自に定めた8種類の診断用のパラメータを監視することにより、回転機械の状態監視を行うことが可能であり、振動計では発見が難しいモータの異常や電氣的異常についても監視が可能である。また、精密診断では図5のようなFFT解析（高速フーリエ変換解析を指し、電流時系列波形を周波数領域に変換する手法）などを用いて、簡易診断結果からは判断ができない内容の詳細を考察することが可能であり、振動計では

発見が難しいモータの異常や電氣的異常についても監視が可能である。前述した解析手法はインターバル計測と呼ばれ、主に周波数解析などを適用することにより、比較的定常運転されている回転機械に適用される手法である。ジェットファンはトンネル内の排気量や排気方法によって、正転する時と逆転する時があるため、通常のインターバル計測ではなく、外部トリガインターバル計測を採用する。この計測手法は配電盤内の無電圧接点からモータ起動・遮断の制御指令をデジタル信号として計測ユニットに

取り込み、その信号をトリガとして、運転中のみインターバル計測を実施する。図6のように正転時と逆転時に作動する各々のリレー回路無電圧接点から信号を取り込み、図3のように動力線の各相に電流センサを2個ずつ取り付ける。これにより、運転停止時の計測データを削減でき、正転時と逆転時の計測データを分けることができる。

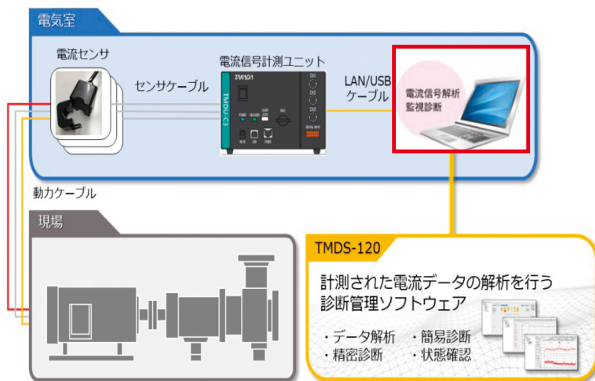


図2 T-MCMA®システム概要

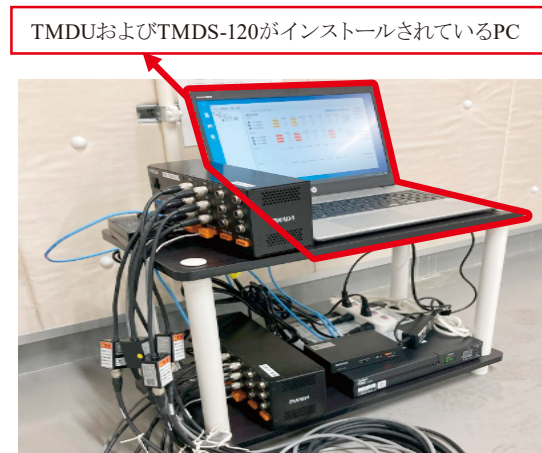


図4 T-MCMA®設置状況



図3 電流センサ設置状況

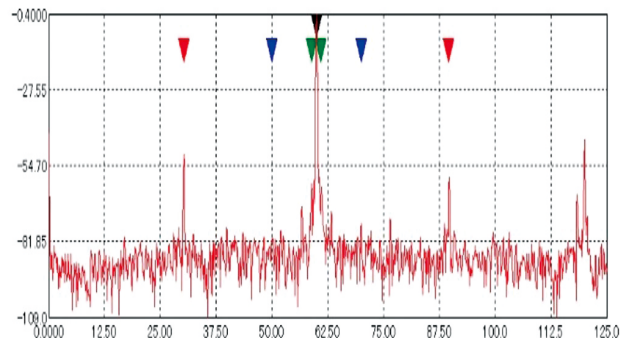


図5 T-MCMA®のFFT結果

表1 8種類の診断パラメータ

確率密度分布解析 と 時間領域解析			
1	KI	回転機械系状態全般を監視するパラメータ KI : Kullback-Leibler information	正常な電流時系列波形の確率密度分布と点検状態の電流時系列波形の確率密度分布を比較するもので、ゼロに近いほど良好な状態で数値が大きくなると異常と判断。
2	Irms	回転機械負荷・状態変動を監視するパラメータ	電流実効値
3	Iub	三相電流のバランスを監視するパラメータ	三相電流アンバランス
FFT解析 (周波数領域)			
4	Lpole	モータ回転子劣化状況を監視するパラメータ	極通過周波数側帯電流成分 と 電源周波数電流成分比率
5	Lshaft	モータ接続軸系 (芯ずれ、曲がり、接触等) を監視するパラメータ	回転周波数側帯電流成分比率 と 電源周波数電流成分比率
6	IHD	電源品質・インバータ状態を監視するパラメータ IHD : Individual Harmonic Distortion	最大高調波電流成分 と 電源周波数電流成分比率
7	THD	電源品質・インバータ状態を監視するパラメータ THD : Total Harmonic Distortion	全高調波電流成分 と 電源周波数電流成分比率
8	Lx	対象機器の特定部位や装置の状態を監視するパラメータ	回転機の特徴周波数側帯電流成分 と 電源周波数電流成分比率

4. ジェットファン診断事例

ある高速道路トンネル内にて、正常状態のジェットファン (JF-08) と振動が大きいジェットファン (JF-03) の2機に対して、T-MCMA[®]による電流情報量診断を実施した。このジェットファンの仕様と構造を図7に示す。この構造より、インターバル計測における診断パラメータLx設定を表2の通り設定した。さらに、モータ軸受パス周波数を表3に示す。なお、サンプリング間隔を8192Hz、サンプリングデータ長を65536point、運転時の計測頻度は1回/minに設定し、1週間計測を行った。

2機の外部トリガインターバル計測の結果において、違いが確認された診断パラメータについて図8に示す。Lshaftについて、振動が大きい方が7dB程度悪い。7dBの差は、電流信号レベルが2倍以上悪いということを示唆する。この原因としては、羽根異常 (欠け・ごみや煤の付着・羽根重量が均一でないなど) によるアンバランスや軸受異常が発生しているためと考えられる。また、ターンバックルのゆるみやモータベースのボルトのゆるみによって、信号レベルが悪化している可能性もある。Lx1も振動が大きい方が2dB程度悪い。両軸モータで羽根異常によるアンバランス、ターンバックルのゆるみやモータベースのボルトのゆるみが発生していることに起因していると推測する。

振動が大きい方のFFT結果を図9に示す。モータ駆動側軸受回転体パス周波数の4倍成分を確認すると、図9↓部に若干周波数ピークが確認された。▼下 (理論値) から1Hz程度低いところに出現しているが、これは軸受摩耗等の劣化が進行した状態ほど、運転時にすべりが生じ、そのパス周波数は理論値より小さくなる可能性があるため、回転体パス周波数の4倍成分であると十分に考えられる。よって、軽微な軸受劣化 (回転体スポット傷) が進行している可能性が高い。しかし、表3を確認すると、駆動側と反駆動側で軸受パス周波数にほとんど差異がなく、すべりの程度もわからないため、駆動側と反駆動側のどちらの軸受が劣化しているかまでは判断できない。次回のメンテナンスタイミングでは、整備の対象とすることを推奨した。その際は、バランス修正とモータベースまわりの確認、および軸受の交換を推奨する。

以上の結果より、ジェットファン2機の状態の違いをT-MCMA[®]によるインターバル計測により、可視化することができ、その状態について評価することができた。

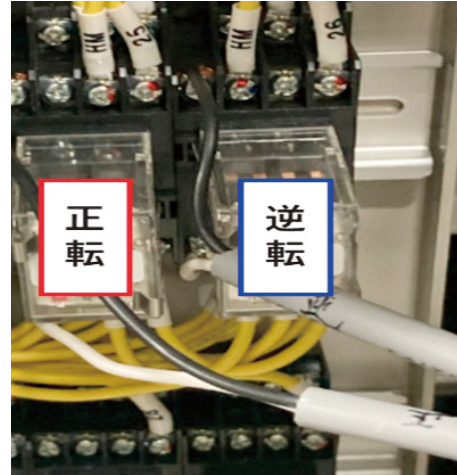
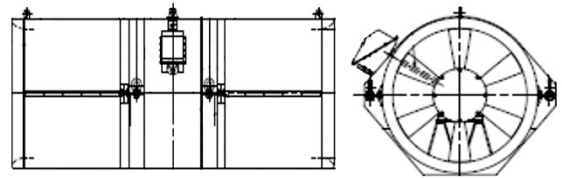


図6 無電圧接点受け取り状況



モータ出力：50kW / 定格電流：90A / 極数：6P
 定格回転数：980rpm / 全長：4250mm / 外径：Φ1450mm

図7 ジェットファンの仕様および構造

表2 Lx設定

パラメータ	監視する項目	設定値 (fr：モータ回転周波数) (fp：極通過周波数)
Lx1	軸プレーヤ軸のふれまわり	fr × 2 = 2fr
Lx2	回転子のふれまわり	fp × 2 = 2fp
Lx3	羽根接触	fr × 6 = 6fr

表3 モータ軸受パス周波数

(a) 駆動側軸受

保持器パス周波数	6.297Hz
外輪パス周波数	50.760Hz
内輪パス周波数	81.240Hz
回転体パス周波数	67.647Hz

(b) 反駆動側軸受

保持器パス周波数	6.295Hz
外輪パス周波数	50.743Hz
内輪パス周波数	81.257Hz
回転体パス周波数	67.563Hz

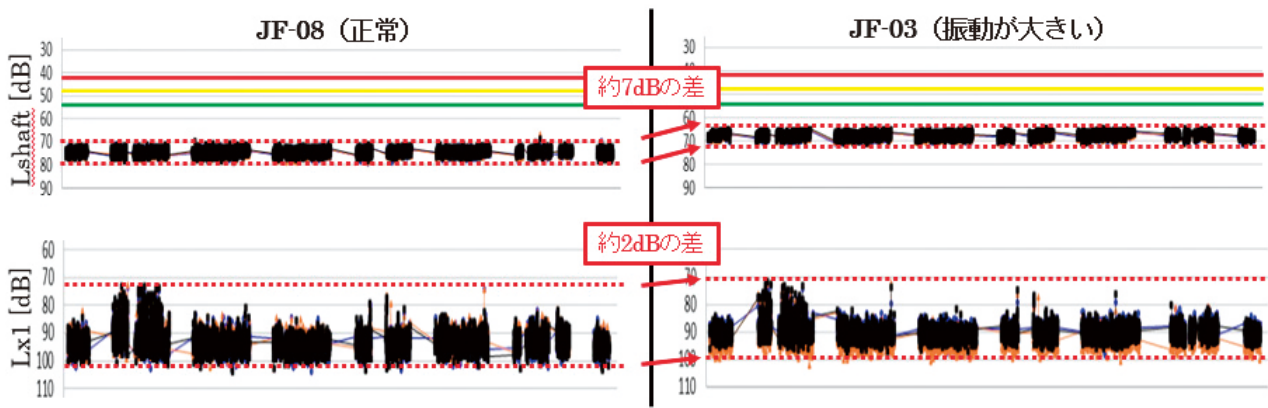


図8 診断パラメータ比較 (Lshaft, Lx1)

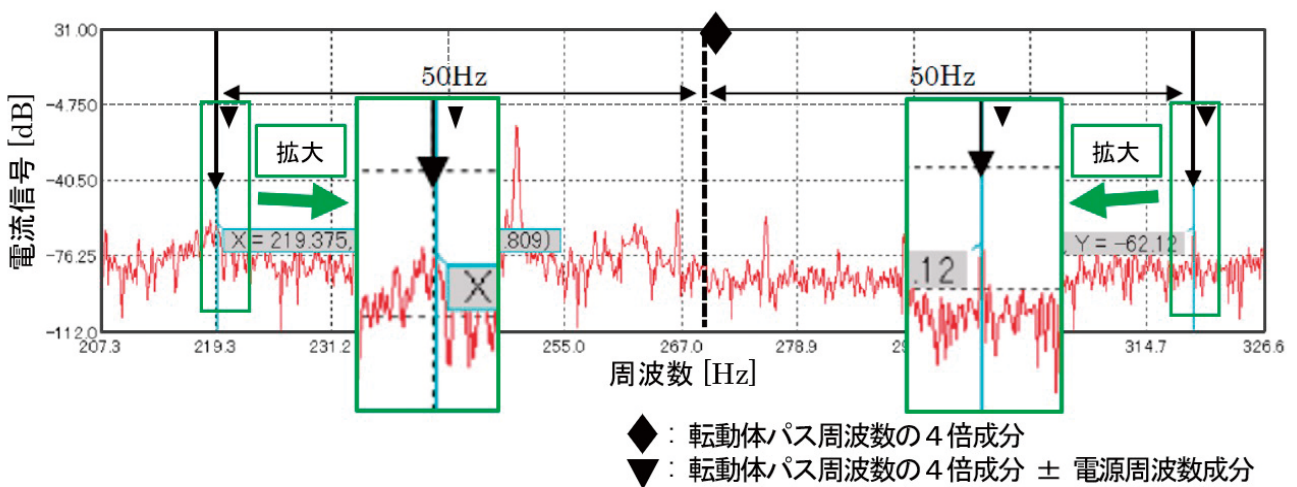


図9 FFT結果（転動体パス周波数の4倍成分）

5. おわりに

参考文献

当社の電流情報量診断システムの概要と、このシステムを高速道路トンネル内におけるジェットファンへ適用した事例を紹介した。診断結果より、羽根異常等によるアンバランスから、軸受劣化まで幅広く解析・診断できることが確認された。

以上のことから、短時間でジェットファンの状態を評価できる可能性が示され、今後の活用に大きな期待を持た。今後、更なる診断実績を蓄積し、診断・評価方法の標準化を狙う。

末崎 剛気（診断ソリューション部）

- 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, 33, pp.21-29(2023)
- 2) 劉信芳：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, 高田技報, 35, pp.15-18 (2025)