

電流情報量診断システムによる回転機械状態監視・診断の 展開状況と異常検出の有効性検証

1. はじめに

新しい回転機械の状態診断技術として、当社はモータ固定子に流れる電流信号を計測・多重解析することにより、回転機械の状態を診断する電流情報量診断システム「T-MCMA®」を展開している¹⁾。

また、当システムとクラウドを融合させて、お客様の利便性を高めたクラウド型電流情報量診断サービス「TM-CLOUD®」を2019年から提供開始している²⁾。三菱ケミカル(株)様の化学プラントにおいて、当システムを用いた監視診断が回転機械の状態診断技術として有用であると一定の評価を頂いており、3年間の共同検証の結果および診断事例を紹介する。

2. 三菱ケミカル(株)様との「T-MCMA®」共同検証概要

2019年度、2020年度に、三菱ケミカル(株)様の化学プラントをフィールドとし、「TM-CLOUD®」を介した「T-MCMA®」による回転機械への状態リモート監視診断技術の適用検証を行った³⁾。

2021年度もこの検証を継続し、3年間で約9つの事業所、225機の回転機械を対象に検証を実施した(図1)。また、2021年度の検証は、主に流体異常(キャビテーション)や粉体付着などの異常検出に「T-MCMA®」が有効であるかを明確にすることを目的とした。

3. 適用検証方法

検証対象とした回転機械の電流を約8か月間計測し、「T-MCMA®」を用いて簡易診断を行った。

簡易診断は解析結果を8種類のパラメータで表し(表1)、当社が推奨する初期判定基準を用いて回転機械の状態を自動判定するものである。

本来、診断解析を行う際には、回転機械の仕様、構造、プロセス、過去の故障履歴や整備記録などの情報を「T-MCMA®」の解析結果と合わせて検討することで診断精度が向上する。今回の検証では電動機の電圧、出力、定格電流値、極数などの基本情報、回転機械の仕様、構造などの情報を「T-MCMA®」の解析設定に反映させ診断解析を行った。

実際の回転機械の状態確認は、①分解点検、②振動診断、③五感点検(日常点検)のいずれかによって行われた。

振動診断、五感点検で確認された機械状態は必ずしも確かとは言えない。また、「T-MCMA®」による診断結果の中には、振動診断では確認ができない異常モードも含まれており、確認精度が充分とは言えない。しかし、ここでは、これらの方法によって確認された回転機械の状態を正とし、「T-MCMA®」による診断結果との一致、不一致を確認した。

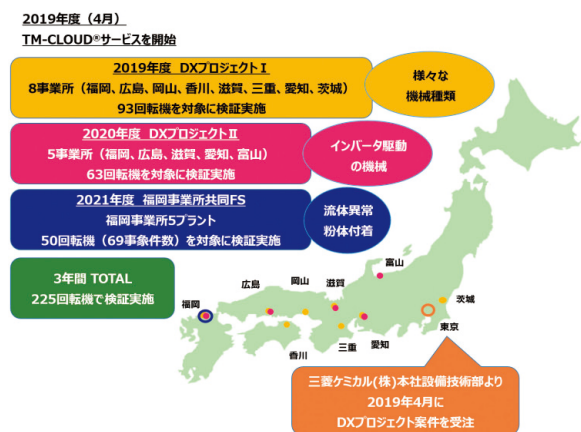


図1 共同検証対象事業所と機器数

表1 簡易診断パラメーター一覧

簡易 パラメータ名	パラメータの説明
KI	回転機械系全般を監視
Irms	回転機械負荷・状態変動を監視
Iub	三相電流のアンバランスを監視
Lpole	モータ回転子劣化状況を監視
Lshaft	モータ接続軸系芯ずれ、曲がり、接触などの異常を監視
IHD	電源品質・インバータ状態を監視
THD	電源品質・インバータ状態を監視
Lx	負荷側の状態を監視。診断対象機種により任意の周波数を設定

4. 検証結果

2021年度の検証対象機器69機に対する、実際の回転機械の状態確認結果と「T-MCMA®」による診断結果との正誤比較結果を紹介する。

4.1 全状態確認方法による正誤比較

分解点検、振動診断、五感点検を合わせた全状態確認方法による正解率は41%（図2）、そのうち実際に異常があったもののみにおける正解率は74%（図3）となった。2019年度、2020年度と同等で正解率が70から85%であることがわかった。一般的に振動診断による正解率が60から65%といわれており、「T-MCMA®」の高い正解率が検証された。

4.2 分解点検確認による正誤比較

分解点検確認による正解率は83%（図4）、そのうち実際に異常があったものにおける正解率は84%（図5）となった。こちらの結果は2019年度、2020年度共に80%を超えており、非常に高い正解率となった。正解（異

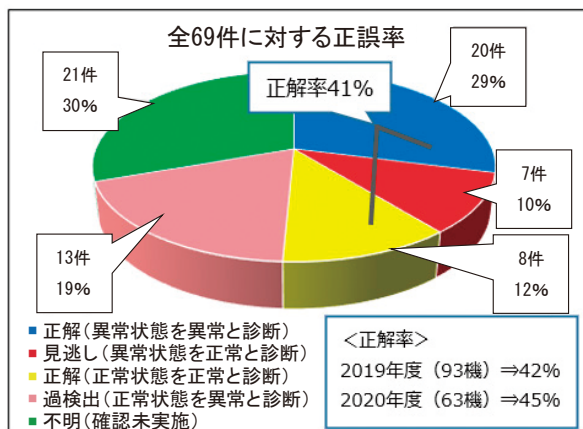


図2 全状態確認方法による正誤比較

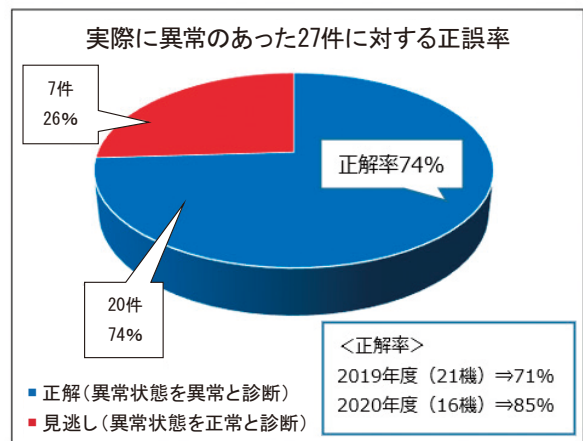


図3 全状態確認方法による異常機器に対する正誤比較

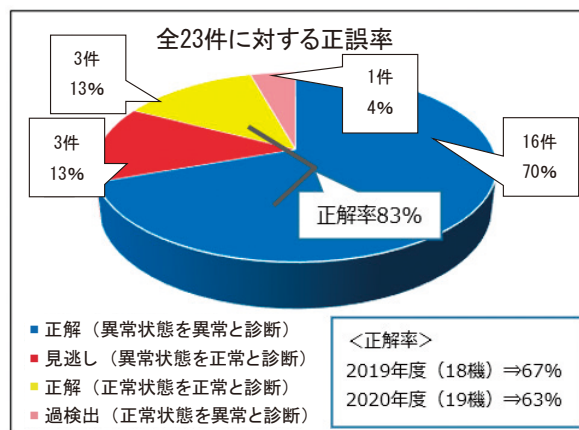


図4 分解点検確認による正誤比較

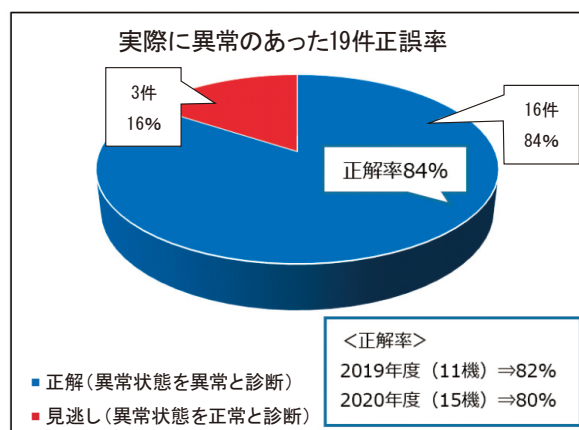


図5 分解点検確認による異常機器に対する正誤比較

常状態を異常と診断)した異常モードと機械種類を表2に見逃し (異常状態を正常と診断) した異常モードと機械種類を表3に示す。

「ベルト・プリー異常」に関する検出精度が良好な結果となった。「ベルト・プリー異常」に関する全状態確認方法による検出結果を図6に示す。ベルト駆動では常にモータ軸がベルトによるトルクを受けて運転しているが、ベルトやプリーに異常が発生した際は、そのトルクがベルトの固有振動数に従い法則的に変化する。電流情報量診断ではモータ軸にかかるトルクの影響に対する感度が良いため、「ベルト・プリー異常」の検出精度が良好となった。

「キャビテーション」については3件の検出となった。「キャビテーション」の検出を期待する機械に対する検出結果を図7に示す。1時間に一回程度の電流計測であるため、瞬間的、または、短時間で発生するキャビテーションについては検出ができないが、機械側へ与えるダメージとしては大きくないと考えられる。検出確率を上げるには計測頻度を上げる必要があ

表2 分解点検確認で正解した異常モードと機械種類

異常モード	件数	機械種類
ベルト・プーリ異常	7件	固液分離機真空ポンプ、 攪拌機真空設備、ガス ブロワ、遠心分離機
すべり軸受異常	1件	塔底ポンプ
減速機異常	1件	ロータリーバルブ
モータ回転軸系異常	1件	ポンプ
回転機軸系異常	1件	真空ポンプ
絶縁劣化	1件	ポンプ
キャビテーション	3件	ポンプ
過負荷	1件	粉碎機

表3 分解点検確認で見逃した異常モードと機械種類

異常モード	件数	機械種類
転がり軸受異常	1件	固液分離機真空ポンプ
モータ軸系異常	1件	固液分離機
3段ロータ軸封部摩耗	1件	圧縮機

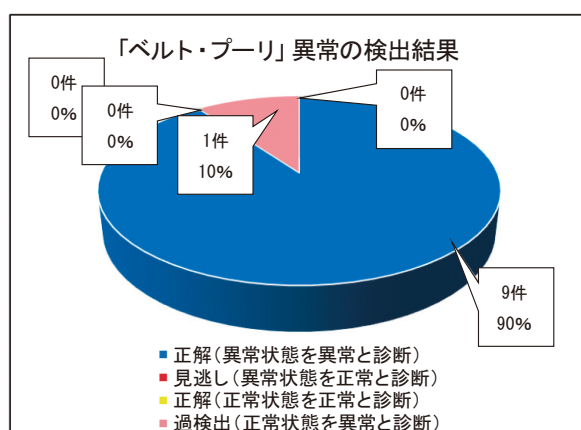


図6 全状態確認方法による正誤比較
(ベルト・プーリ異常)

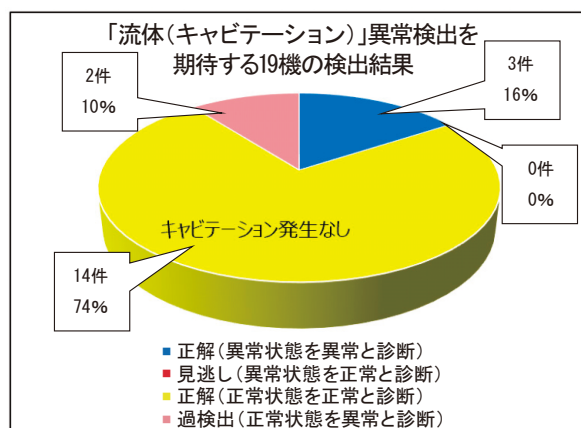


図7 全状態確認方法による正誤比較
(キャビテーション)

る。「粉体付着」については発生自体がなかったため、今後継続して検証していく。

図5に示すように、見逃し率が16%あり、機械状態監視診断システムを運用するにあたって、異常を見逃すことは問題となる。3件の見逃しについては、「T-MCMA®」での検出感度が低いとされている「転がり軸受異常」が含まれていたが異常の程度としては初期異常のものであった。診断結果の正解率を上げ、異常見逃し件数を減らすためには、「T-MCMA®」簡易診断パラメータしきい値の最適化が不可欠であり、ユーザー側からの機械情報入手、運転状態のヒアリングが重要となってくる。また、実機の状態を異常と判断するユーザーの基準や保全の考え方、「T-MCMA®」運用方法を合わせて検討する必要がある。

5. 診断事例

本適用検証の中で得られた診断事例を紹介する。

「T-MCMA®」では、機械の構造・特徴に応じて監視すべきポイントをパラメータ化し、傾向管理ができるようにしている。以下に示すKI, Lshaft, Lx2などはそのパラメータである。

5.1 ベルト・プーリ異常

ルーツブロワ（出力 7.5kW、インバータ駆動無し）において、ベルト・プーリの異常を検出した事例を紹介する。

傾向管理グラフ（図8）にてKI, Lx2（ベルト通過周波数の2倍成分）が悪化する傾向を確認し、ベルト・プーリ異常と診断した。

お客様によって目視点検されたが、ベルトのばたつきは見られなかった。設備を停止し点検したところ、モータ側のプーリが底付きしていることが確認された。プーリ取替え後、KIとLx2ともにレベルの改善が

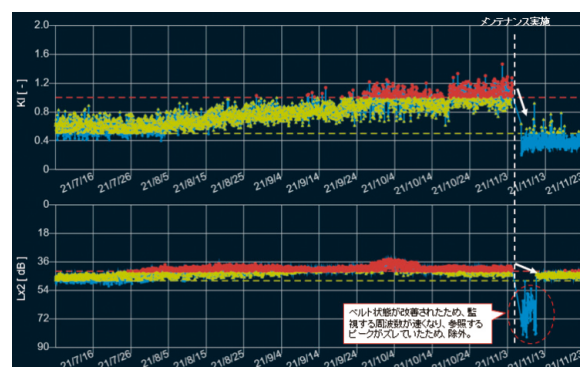


図8 KI, Lx2傾向管理グラフ

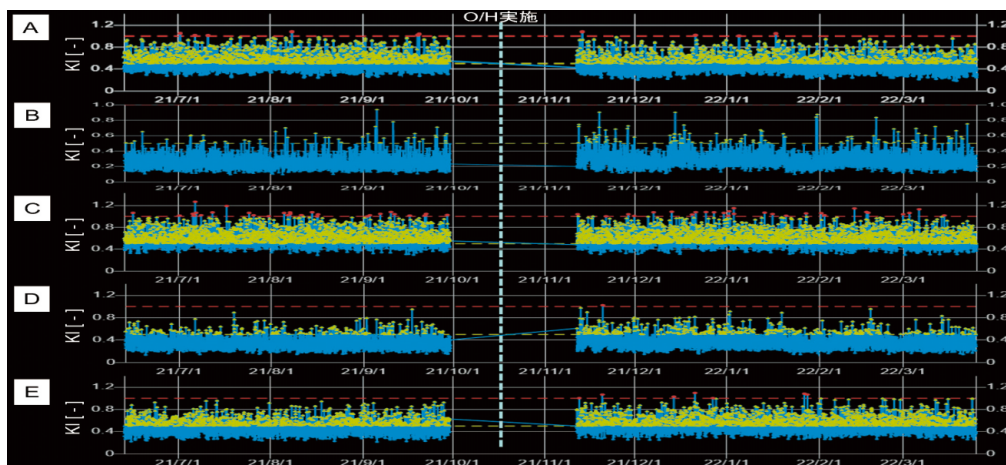


図9 A～E機のKI傾向管理グラフ

見られた。Lx2については注意レベルまでの改善であり、ベルトの調整不良が残っている可能性を示唆していたが、その後のメンテナンスで回転機側の交換、ベルトの張り直しによりLx2が大幅に改善された。

5.2 キャビテーション異常

縦型軸流ポンプ(出力 30kW, インバータ駆動無し)において、キャビテーションを検出した事例を紹介する。

同構造の五機のうち、A, C, E機の3機の傾向管理グラフ(図9)にてKIが計測開始当初から比較的悪く、キャビテーションが発生しており、オーバーホール後もその状態は継続していると推測した。

お客様によって分解点検が実施され、インペラにキャビテーションによるエロージョン、シャフトに摺動痕(図10)が確認された。オーバーホールによりインペラのアンバランスが修繕されたためLshaft(回転

周波数成分)の改善が確認された(図11)。

6. おわりに

2019～2021年度の化学プラントをフィールドとした「T-MCMA®」適用検証では、分解点検結果との正誤比較により、高い正解率が得られ、「キャビテーション」や「ベルト・プリー異常」などの有用な事例を収集することができた。今後、お客様に本格的に運用していただくためには、見逃しを削減していくための異常兆候検出方法の確立、電流情報量診断のスキルレベルに捉われない診断アウトプット機能などが必要であり、これが課題となる。また、電流情報量診断による検出可能な異常モードの拡大も必要と考える。

より分かりやすく、より使いやすい製品を目指して新表示ソフト「VFC-1®」ver.2.00の展開も進めており、「T-MCMA®」、「TM-CLOUD®」、「VFC-1®」を多くのお客様に使っていただけるよう、今後も診断技術の研究開発と診断システムの改良を進めていく。

篠原 正則(技術本部 診断サービス技術部)

須本 賢太郎(技術本部 診断サービス技術部)



図10 C機のインペラのエロージョンとシャフト摺動痕

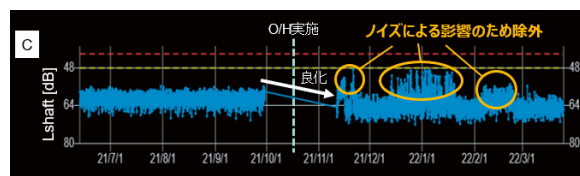


図11 C機のLshaft傾向管理グラフ

参考文献

- 1) 劉信芳, 馮芳: 回転機械系の電流情報量診断システム商品紹介, 高田技報, Vol.27, pp.46-48 (2017)
- 2) 劉信芳: クラウド型電流情報量診断システムの構築, 高田技報, Vol.29, pp.44-45 (2019)
- 3) 松本正和: クラウド型電流情報量診断サービス「TM-CLOUD®」の紹介, 高田技報, Vol.30, pp.29-31 (2020)
- 4) 篠原正則: 化学プラントにおける電流情報量診断システム(T-MCMA®)の診断事例, 高田技報, Vol.32, pp.32-35 (2021)