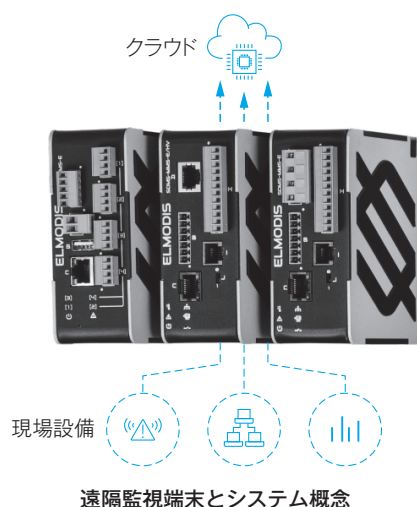


# 電気信号による回転機の遠隔監視・診断システム

庄司 豊 Yutaka Shoji  
井坂一貴 Kazutaka Isaka  
Antoni Lis

キーワード 遠隔監視, 見える化, 故障予兆, 予兆保全, 予知保全, 機械学習, データ解析, 電流兆候解析, FFT解析

## 概要



近年、労働人口の減少や熟練技術者の不足などを背景に、設備の保守業務における効率化が求められている。また、環境負荷低減の要求も高まっており、エネルギー有効活用の関連技術が注目されている。

そこで、当社は設備の解析診断とエネルギーマネジメント機能を組み合わせた回転機の遠隔監視システムを製品化した。

本システムの特徴は、回転機の三相電流・電圧の電気信号に加え、振動や各種プロセスデータを監視し、独自のアルゴリズムで健全度を数値化する。また、本システムは設備解析診断と同じデータを活用し、設計値と実測値を比較することで設備の運転効率を表現し、効率的な運転ポイントをアナウンスすることができる。

## 1 まえがき

Industry 4.0及びIoT (Internet of Things) の進化によって、データを使用し生産・産業活動を最適化する可能性がますます高まっている。特に故障予知の観点から機械の監視と診断に対する最近のアプローチは、各種センサからの信号の解析に基づいている。モータや発電機など回転機の故障予知・診断技術では振動計が最も一般的で、振動の加速度(速度)信号の実効値の上昇から故障の予兆を捉える技術や高速フーリエ変換、いわゆるFFT (Fast Fourier Transform) によって故障に由来する特徴的な周波数を指標にして異なるタイプの故障を識別できる。

しかし、このような振動ベースのアプローチには、センサの配置、他の振動源によるノイズ、解析に適した運転パターンの検出など、様々な問題点が

ある。これらの解決方法は電気信号に基づく監視及び診断である。

本稿では、当社工場内の水処理用セラミック平膜製造工程に使われている切断機に遠隔監視システムを適用した事例を紹介する。

## 2 背景と動機

セラミック平膜の切断刃が摩耗すると製造される製品の品質が低下する。具体的には、「切断面の欠け」・「切断幅の長短」の事象が顕著に発生する。

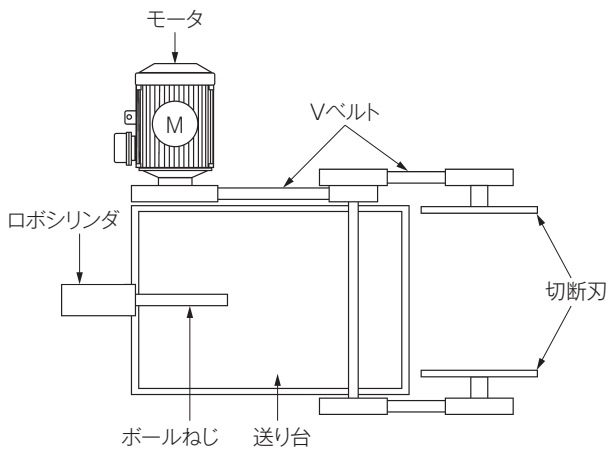
そこで、現場では切断機用モータを駆動するインバータの電流の実効値を監視し閾値管理を試みたが、この手法では故障及び製品品質低下の予兆を捉えることができず、最終的には手計算による統計的手法と現場の経験に基づく「勘」に頼って切断刃を交換していた。

### 3 切断機への電気信号による遠隔監視システム適用

#### 3.1 切断機設備概要

第1図にセラミック平膜用カッタの概略を示す。対象の切断機は、二つのVベルトを用いて切断刃を駆動するモータと、ボールねじを利用して送り台上のセラミック平膜を移動させる機構で構成される。切断刃用モータは、インバータ駆動である。

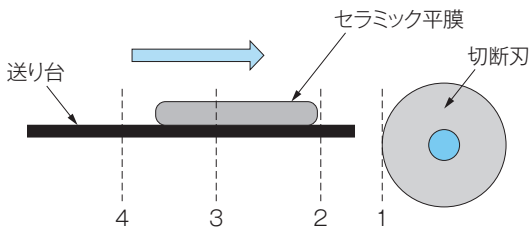
第2図に切断ワークにおける四つの状態を示す。セラミック平膜の切断プロセスは、四つの状態に分けることができる。セラミック平膜がワークテーブルに沿って移動する速度は、ボールねじを伸ばす距



第1図 セラミック平膜用カッタの概略

カッタ設備を上から見た様子を示す。左から材が流れてきて両端面をブレードでカットする。

.....



No.	状態
1	開始位置
2	高速切断
3	低速切断
4	開始位置戻り動作

第2図 切断ワークにおける四つの状態

切断刃の回転速度は一定で、材を送る速度を調整していることが特徴である。

離によって調整されている。切断刃の回転速度は全切断状態を通して一定である。

#### 3.2 電気信号による遠隔監視システム概要

当社の遠隔監視システムは、「電気信号」・「振動信号」・「各種プロセス信号」を全て取り込み、データの相関解析も含め総合的な解析ができる特長がある。

今回の現場では、他の工程から受ける振動によるノイズが大きいと判断し、電気信号のみによる診断を実施した。電気計測ユニットを設置し、切断刃を駆動するモータの三相電流及び三相電圧データを監視する構成とした。電流は専用のログスキーコイルセンサを使用し、高周波領域を解析できる。電圧は出力端子で測定する。インバータ出力の電気信号を診断することも本システムの特徴である。

第3図に電気信号解析ユニットと電流・電圧センサ接続を示す。

第4図に電気計測ユニットを用いたシステム概要を示す。電気計測ユニットは、 $\mu s$  (100万分の1秒) オーダの高速サンプリング周期で電流・電圧信号を記録できる。このデータを一定期間、機械学習用データとして収集し、本対象切断機専用の故障予知アルゴリズムを構築した。一度現場の電気計測ユニットに構築した故障予知アルゴリズムをインストールすれば、全て現場で一次解析を行い、結果のみをクラウドに上げるシステムとなりデータ通信量を大幅に削減できる。

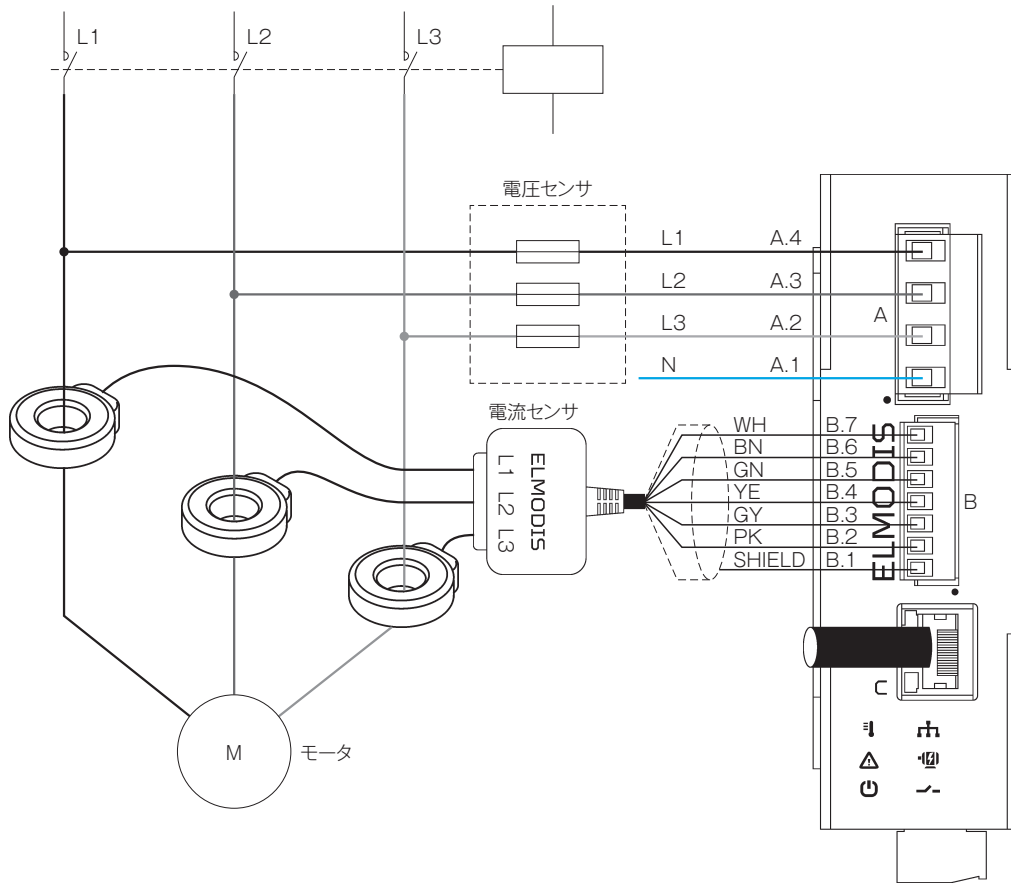
#### 3.3 故障予兆へのアプローチ方法

セラミック平膜を1枚切断する工程の電力実効値を分析し、それぞれの領域に適用するアルゴリズムを検討した。第5図に切断工程の電力実効値を示す。第2図で示した四つの状態が電力実効値に表現されていることが読み取れる。

予測モデルと分類モデルの両方に使用される特徴の抽出は、高速切断領域と低速切断領域双方の時間領域と周波数領域から別々に選択した。

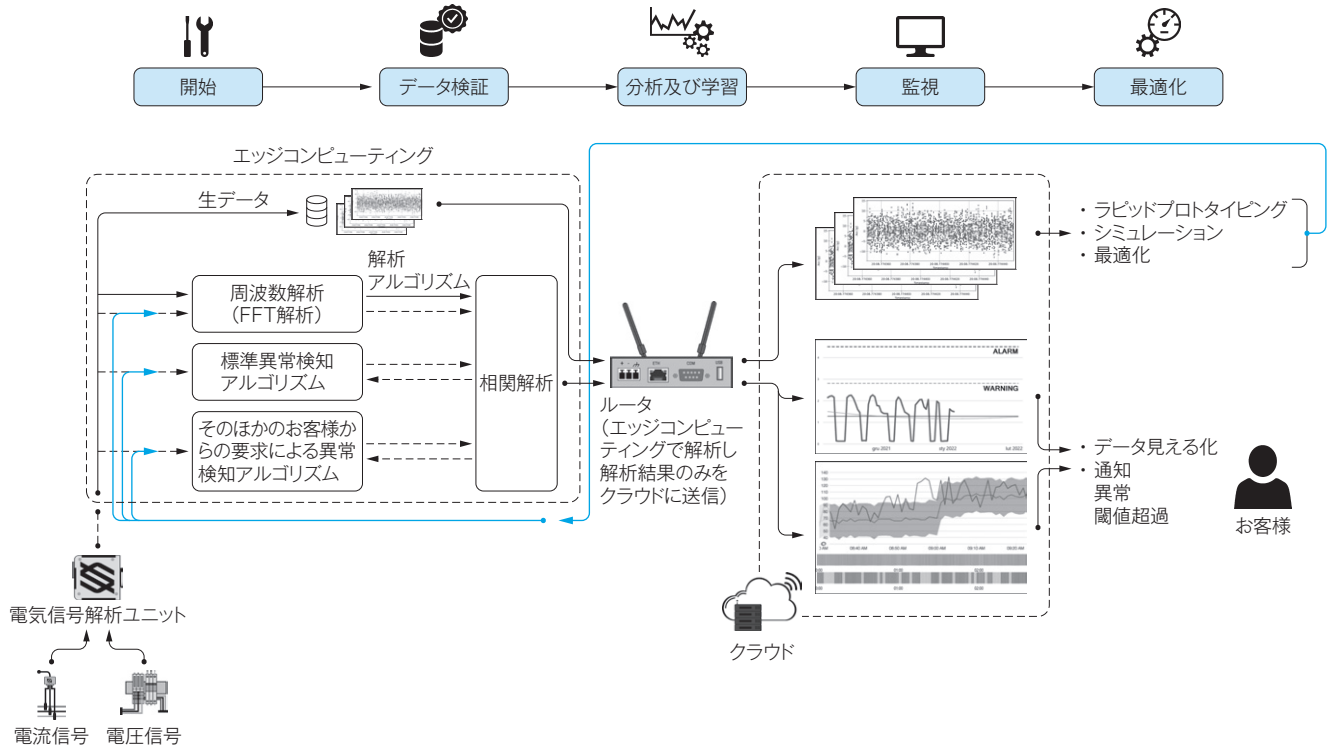
##### 3.3.1 切断刃摩耗予測モデル

切断刃摩耗の予測モデルの特徴選択は、切断した



第 3 図 電気信号解析ユニットと電流・電圧センサ接続

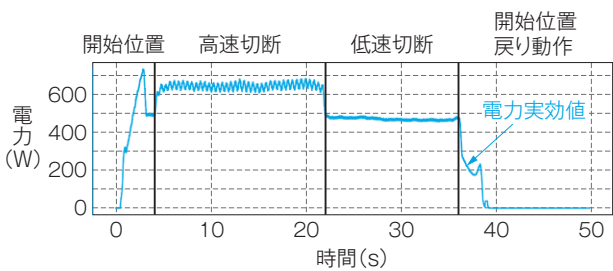
電気信号解析ユニットのセンサ接続を示す。



第 4 図 電気信号解析ユニットを用いたシステム概要

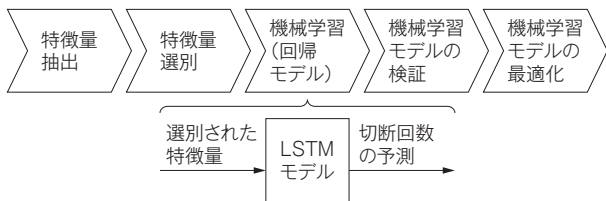
電気信号から解析結果を得るまでの処理フローを示す。

セラミック平膜の数と相関性の高い特徴及びノイズが最も少ない特徴を排除することで実行された。**第6図**に切断刃摩耗予測モデルを示す。切断刃交換までの時間及び交換までに切断できるセラミック平膜の数を予測するためのモデルである。予測には、連続データから時間的依存性を学習する能力を持つLSTM (Long Short-Term Memory) を選択した。ノイズに対する耐性と非正常信号を処理する能力によって、外乱ノイズが多い切断機の条件に特に適している。それに加えてLSTMはデータの流



**第5図** 切断工程の電力実効値

1枚のセラミック平膜を切断した際の電力実効値のグラフを示す。



**第6図** 切断刃摩耗予測モデル

切断刃の摩耗に関する予測モデルのフローを示す。

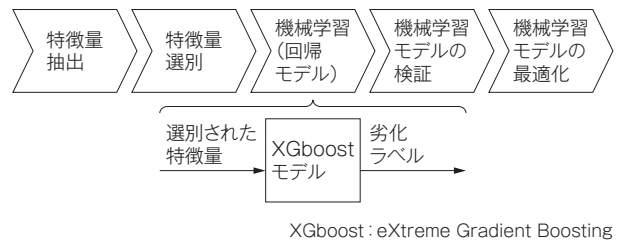
れを調整し、短期的に発生するノイズなどの不要な特徴を排除し、予測にとって重要な特徴を長期間保存できるように設計されている。

**第7図**に切断機遠隔監視システム画面を示す。今回のモデルを当社システムで可視化した実際の画面である。青いプロットは、実際にセラミック平膜を切断した回数を示し、黒いプロットは、切断刃の残存切断能力枚数（切断刃がセラミック平膜を正常に切断できる枚数）の予測値を示している。この指標によって切断刃の摩耗を予測し、切断刃の交換時期の判断材料とすることができた。

### 3.3.2 不具合分類モデル

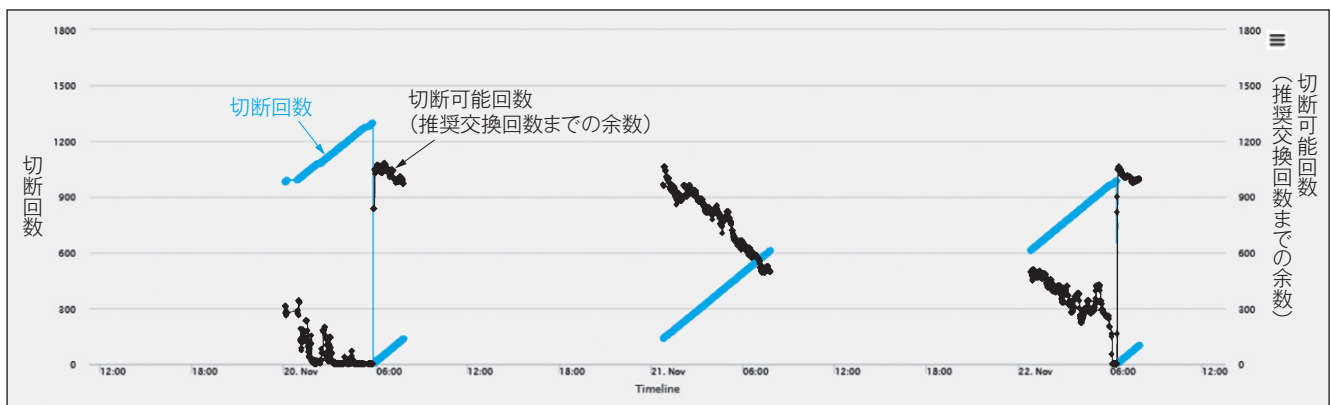
このアプリケーションで開発された第2のモデルは、実際に切断刃が摩耗すると発生する製品不具合の原因を検出することに焦点を当てた。作業現場で実際に判断した不具合原因の情報を学習材料として入力した。**第8図**に不具合分類モデルを示す。

学習期間の数か月は従来の交換基準で切断刃を交



**第8図** 不具合分類モデル

現場で認識した実際のの不具合事象を機械学習モデルとして入力し、構築した不具合分類モデルのフローを示す。



**第7図** 切断機遠隔監視システム画面

セラミック平膜の切断回数と切断刃寿命を枚数で示した遠隔監視システムの実際の画面を示す。

換し、作業員が判断した交換理由と本モデルが出力した交換理由を突き合せたところ、96.12%と高い正答率を得たことからモデルの妥当性を確認できた。

現場から提供された不具合原因の情報には、以下が含まれていた。

- (1) 製品には問題ないが切断枚数が多いため切断刃を交換
- (2) 未分類
- (3) インバータ電流が実効値閾値の上限に到達
- (4) 切断長さ不正確
- (5) 切断面の欠け

### 3.3.3 現場へのアナウンス

切断刃摩耗予測モデルによって切断刃の交換時期を事前に知ることができる。また、切断刃の寿命限界まで使いたい場合は、不具合分類モデルで出力される「切断長さの不正確」・「切断面の欠け」などの情報を参考に運用できる。これらの情報はWebで確認できるとともに交換推奨レポートとしてPDFで情報を提供できる。

## 4 むすび

当社が出資しているポーランドのELMODIS社の技術を活用し、切断機の切断刃の交換時期を適切に判定するシステムを開発した。故障予兆の分野では加速度振動計の適用が多く見られるが、高周波電

気信号を利用し、LSTMやXGBoostといった機械学習モデルを利用することで同等以上の結果を得られる可能性がある。そのため本技術は、切断機に限らず回転機を利用している全ての産業機械に適用できる可能性がある。

当社は、「診断」・「電力マネジメント」・「効率運転見える化」を同一システムで実現することで社会問題の解決に貢献する。

最後に、本取り組みにあたりご協力をいただいたELMODIS社の関係者の皆様に感謝の意を表する次第である。

・本論文に記載されている会社名・製品名などは、それぞれの会社の商標又は登録商標である。

### 《執筆者紹介》



**庄司 豊**  
Yutaka Shoji  
遠隔監視事業推進室  
遠隔監視システムのビジネス・サービス企画に従事



**井坂 一貴**  
Kazutaka Isaka  
遠隔監視事業推進室  
遠隔監視システムのエンジニアリング業務に従事



**Antoni Lis**  
Elmodis Sp. z o.o.