

放電加工機の異常検知(2022 年度のまとめ)

1. はじめに

放電加工機を、定期的なメンテナンス・部品の交換を行い、最適な状態に保とうとしますが、それでも、故障が発生してメーカーの修理対応を依頼することになります。

修理費用の発生も気になりますが、交換部品の発注・メーカーの修理対応人員の確保等により、放電加工機が稼働できない期間が生じる事は、利用者にとって回避したい事項のひとつです。

そこで、日々の放電加工機の状態を把握して異常の検知ができないかと、考えました。この報告書は、2022 年度の放電加工機の異常検知に取り組んだ内容の報告です。

～参考文献～

「入門 機械学習による異常検知—R による実践ガイド—」 井出剛 著 コロナ社

2. 2022 年度のメーカー修理対応はどのようなだったか？

	日時	項目	交換部品 及び メンテナンス・調整
①	4月14日	リミットSW動作不良	SW交換
②	6月28日	液晶不点灯	CPU 基板
③	9月16日	自動結線不調	MID 電極位置変更
④	10月21日	自動結線不調	ガイドCメンテナンス
⑤	11月25日	自動結線不調	ローラー、モーター、ベアリングの交換

項目別に検討すると、

①、② は 電気部品の不良に起因しています。

特に、基板の不良については、ハードとソフトの通信不良という項目で、今までも年1回程度発生していて、真因が特定できない項目です。また、頻度も限定されていて、再起動すると復帰するという特徴があります。(そのうち復帰もしなくなります)

③、④、⑤ は、自動結線ができないという不具合です。

放電加工機は、ワイヤが局所的に高温になると断線します。断線の原因は、加工条件が適

当でない事が多いです。研究所内の装置ということもあり、異種材料の接合等の多種多様の材料の加工を行います。最適な加工条件の適用が難しいところがあります。

断線しても放電加工機により自動結線できれば、加工プロセスの中で処理され加工は完了しますが、自動結線が不調であると、手動で結線することになり結構な手間となります。

自動結線不調の原因は大きく二つあります。

- ・放電加工機のワイヤの上部と下部のガイド部にズレが生じて、ワイヤを通せない。

加工の移動動作中で、上下左右の限界域に移動した時、また急に移動をストップした時に、ガイド部が衝撃を受け、ズレが発生する事があります。

- ・ワイヤの駆動系の不具合が発生して円滑にワイヤの供給ができない。

駆動系の構成部品は、送りローラ、パイプ、モータ 等ですが、摩耗による表面状態の劣化、変形、回転の不安定により、ワイヤ供給に不具合が発生します。

以上の①から⑤の不具合を、異常検知して早めの対応ができないかというのが、この報告書のテーマです。

3. 放電加工機の異常検知への取組

3.1 何をデータ採取するか？

現在（2022年）販売の放電加工機は、デジタル化が進んでいて、データ収集（詳細は不明です）、温度管理システム、自動結線不調時の診断機能を搭載しているようです。

弊部の放電加工機は、約10年前に購入されたもので、上記の機能はありません。

あるのは、自己診断して3段階のレベルに分け、それに応じたメッセージを表示する機能です。内容は以下です。

- ・エラーメッセージ：続行不可能な障害が発生したときに表示し、動作を中断する。
- ・ハルトメッセージ：再開可能な障害が発生したときに表示し、一時停止する。
- ・コメントメッセージ：続行可能な障害で発生し、注意を促す。

また、メッセージの記録は、USBによりCSVデータとして取り出すことが可能です。

レベルに対応してデータ処理できるように、3段階のレベルについて障害のレベルが大きいと、点数は大きくなるように点数を設けるようにしました。

これらは、メッセージが発生した時の時間毎のデータで、点過程データと呼ばれるもので、時系列データではありません。故に、一日分の平均値を取って時系列データとして扱うこととしました。

放電加工機から出力される測定値、例として、電圧、電流、モータ回転数、加工速度等を採取できれば、違う取組みになりそうですが、放電加工機から外部出力する仕掛けが必要で、これは、メーカーの協力が必要で、今回は出来ていません。

3.2 異常検知をどのように調べるか？

今回は、線形正規分布の状態空間モデルにより異常検知を検討します。

状態の推定方法はカルマンフィルタで、パラメータ推定方法は最尤法を用います。

データは、放電加工機から採取した1年分のメッセージデータで、点過程データと時系列データの2種類で取り組みます。

また、変化検知が得意とされる特異スペクトル変換法で、時系列データを用いて異常検知を行い比較します。

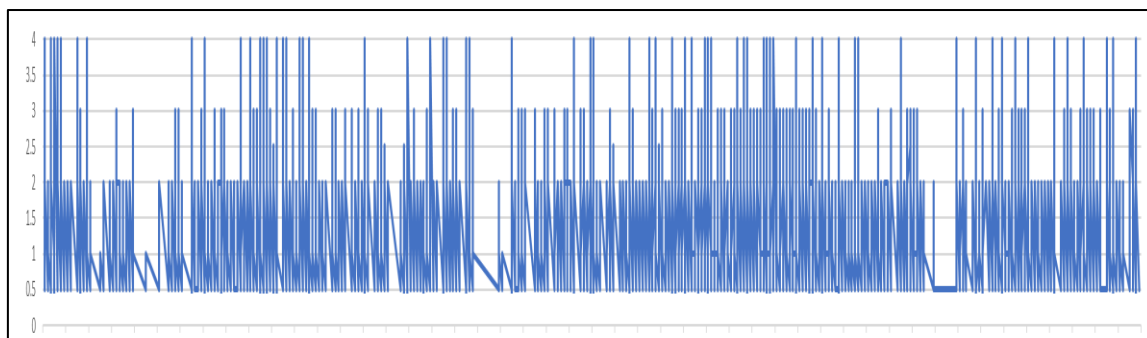
4. 結果の紹介

4.1 異常度のグラフ比較

・ グラフ 1 レベル毎に点数化したメッセージの点過程グラフ（元データです）

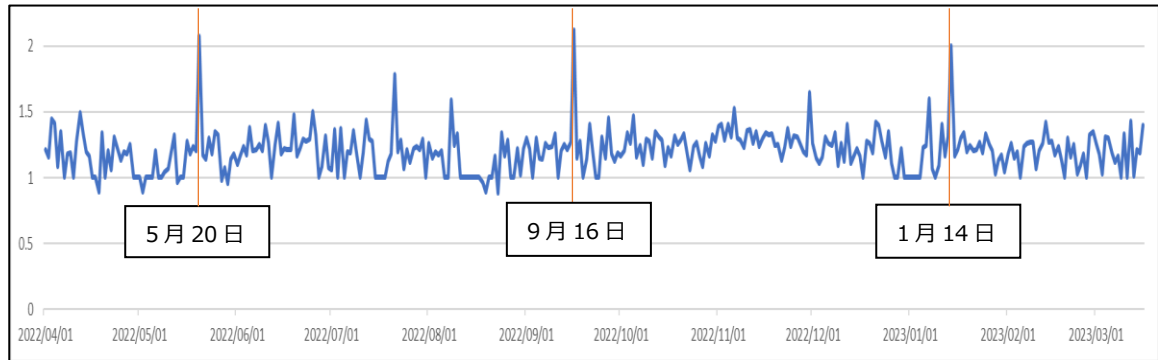
メッセージは全部で 33000 個あります。点数は 0.5~4 です。

グラフ化したのが下図ですが、異常度は分かりません。



・ グラフ 2 レベル毎に点数化し 1 日毎に平均したメッセージの時系列グラフ

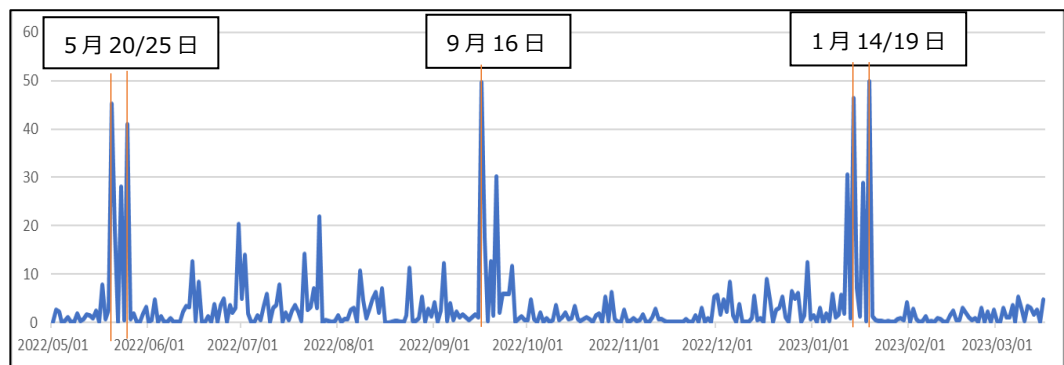
グラフ 1 を 1 日毎の平均で変換したもので、点数が大になる時点が明確になります。



・ グラフ 3 状態空間モデルで計算した異常度のグラフ

4 月分のデータを教師データとしたので、5 月 1 日から 3 月 16 日までの計算です。

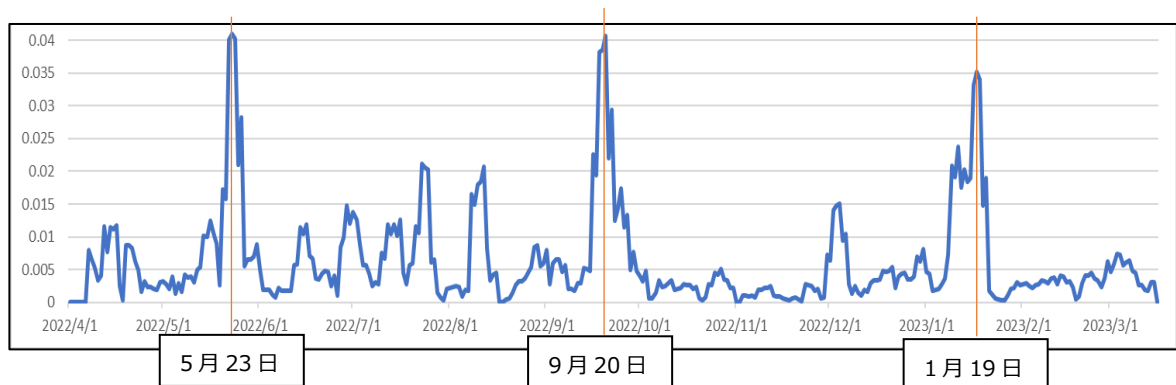
異常度のピーク値が明確になり、箇所も増えています。



・ グラフ 4 特異スペクトル変換法で計算した異常度のグラフ

4 月 1 日から 3 月 16 日までの計算です。

グラフ 3 と同じような時期にピークがあります。



グラフ2から4 から、異常度が上昇した時と放電加工機の状態を検証してみます。

5月20日 “テンション装置が異常です” メッセージが多発され、電源が落ちました。

放電加工機の再起動で復帰したようです。

5月23日 “(WCLP) AWT 動作エラーです” のメッセージがありました。

これは自動結線部のワイヤの熱溶断に関連するメッセージです。

5月25日 “(WCLP) AWT 動作エラーです” のメッセージがありました。

これは自動結線部のワイヤの熱溶断に関連するメッセージです。

9月16日 “(HCUT) AWT 動作エラーです” のメッセージが多発されてます。

この日は、メーカーの修理対応の日で、検証から出たメッセージです。

ここの異常度は、意図があるので、検証の対象にはなりません。

1月14日 “一時停止です” のメッセージがあり、自動結線の不調で、プログラムが

停止しました。

1月19日 “ショート状態です” “自動結線失敗” “モータの過負荷保護が働きました”

のメッセージがありました。

グラフ2はメッセージを時系列データに変換したものです。

グラフ3は、時系列データから状態空間モデルで計算した異常度です。

グラフ2のピークと同じ時期とその後のメッセージレベルが再度上昇した時期にも、異常度のピークを示しています。

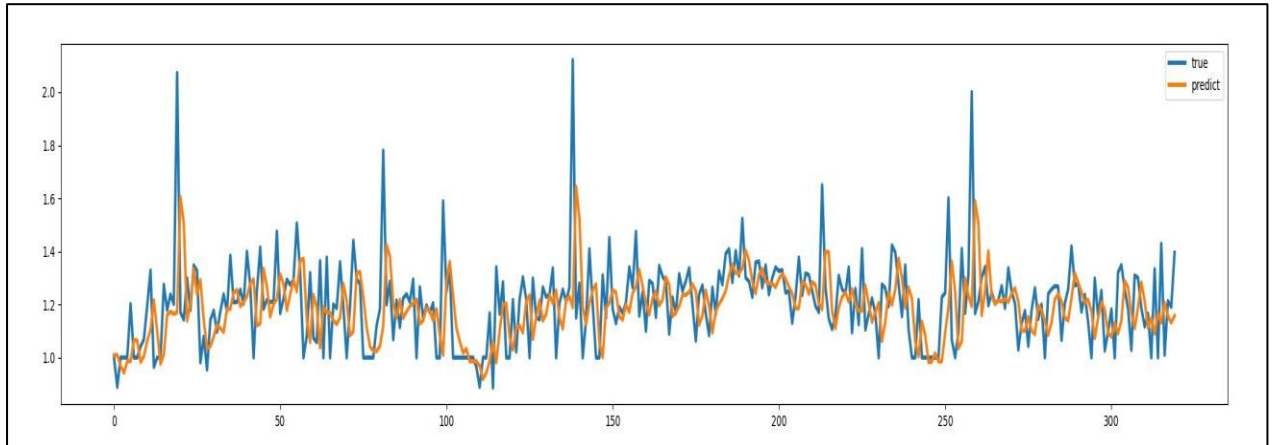
グラフ4は、時系列データから特異スペクトル変換法で計算した異常度です。

グラフ2のピーク時より、少し遅れて異常度のピークを示します。

いずれの方法でも、同じような時期に異常度を検出しており、放電加工機の状態を推測しているようです。

4.2 状態空間モデルによる予測値の検証

・ グラフ 5 状態空間モデルより計算した予測値と実測値（グラフ 2）の比較



青線は、実データでグラフ 2 と同じものです。

橙色は、状態空間モデルの観測の予測値で、状態変数を元に算出してます。

数式の説明になります。（参考文献を参照ください）

状態変数の確率分布は正規分布になり、以下で定義されます。

$$p(z^{(t)} | X_t) = N(z^{(t)} | \mu_t, V_t) \quad \mu_t \text{ は期待値と呼ばれる値です。}$$

さらに、ベイズ理論とカルマンフィルタにより、以下が導かれます。

$$\mu_t = A\mu_{t-1} + K_t (x^{(t)} - CA\mu_{t-1})$$

同じように、観測値についても、以下となります。

$$p(x^{(t)} | X_{t-1}) = N(x^{(t)} | CA\mu_{t-1}, R+CQ_{t-1}C^T)$$

$x^{(t)}$ の期待値は、 $CA\mu_{t-1}$ となり、橙色でプロットされているグラフです。

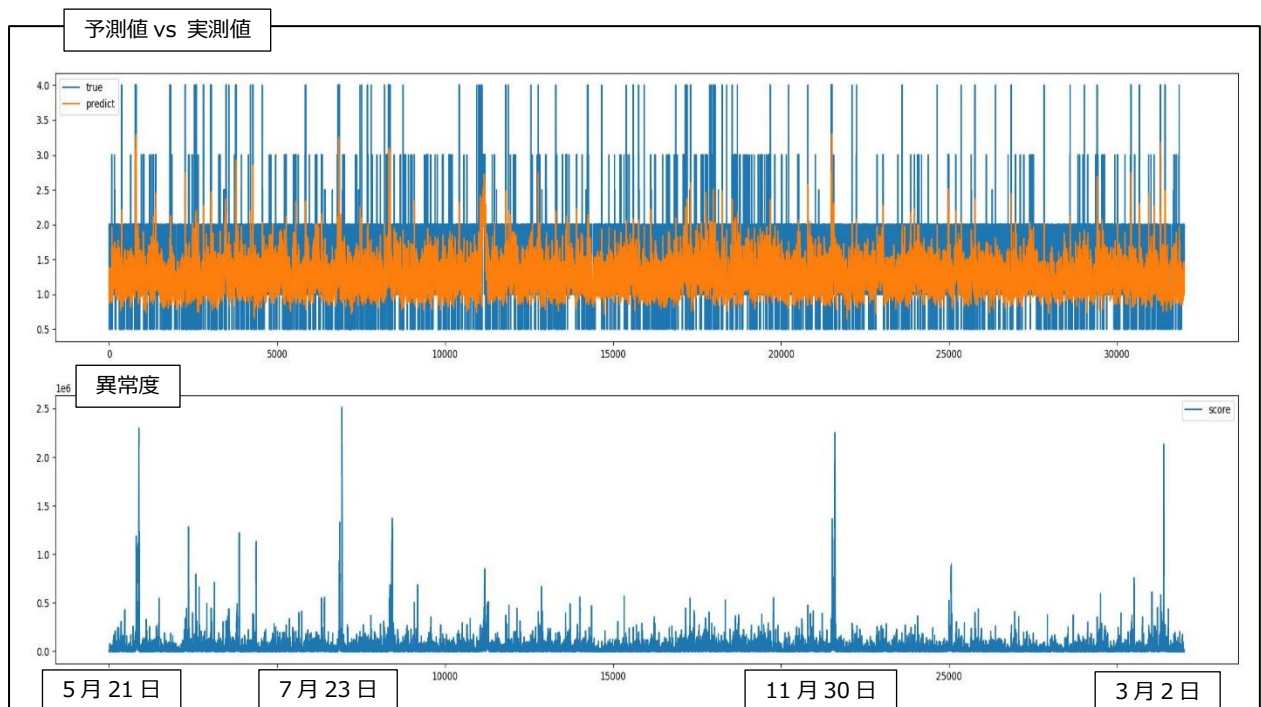
精度が良ければ、橙線と青線は重なるのですが、出来ませんでした。

特に、橙線の変化が、青線に遅れて発生してますが、数式からも、過去の値を引きずる

傾向にあるようで、そのためかと考えます。

線形正規の状態空間モデルのシミュレーションでは無理があるのか、その他のパラメータの設定の見直しが必要なのか、今後、検討していきます。

・ グラフ 6 点過程データを使用した状態空間モデルより計算した予測値と異常度



点過程データを用いて、状態空間モデルの検証を行いました。

放電加工機から発生されるメッセージを発生順に、レベル別に点数付けたデータです。

33000点あり、発生するサイクルは一定時間ではなく、発生はランダムに発生します。

異常度が上昇した時と放電加工機の状態を検証してみます。

5月21日 グラフ3, 4と同じ結果でした。

7月23日 自動結線不良のメッセージが発生しています。

11月30日 “テンション装置が異常です” のメッセージが発生しています。

3月2日 “機械座標が確定していない” のメッセージが発生しています。

いずれも、駆動系、構造系に大きい影響のあるメッセージです。

時系列データは、メッセージの点数を1日毎に平均するので、1日の稼働時間が長く、メッセージ件数の多い場合は、平均により点数が平滑化されて、異常度が感知しにくいと考えます。(感知のレベルの話でどちらが優位かは別物でしょうが)

5. まとめ

放電加工機の故障は、以下の二つに大別できます。

- ・ハードとソフトの通信不良

基板の不良に起因するものが多く、基板を交換して修理完了となります。

基板の不良箇所の解析は、難度は高いですし、そこまで出来てないように思います。

いきなり使用できないという、パソコンの不良に近いものがあり、メッセージを用いた異常検知では、判別できないように思います

- ・駆動部、ガイド部の不良

2項で述べましたが、これらの不良は、自動結線不調に通じるので、“自動結線失敗”
“AWT 動作エラーです”等の関連するメッセージは多種あります。

駆動関連の動作に関するメッセージも、“フィードバック速度異常です”、“モーター過負荷保護が働きました”、“テンション0調が異常です”等が用意されてます。

メッセージを用いた異常検知は、有効であると思います。

状態空間モデルについては、更に検討が必要ですが、異常検知から、異常予測の領域に、
広げたいと思っています。