

トライボロジー起因故障のパソロジカル解析 Pathological Analysis of Tribologically Induced Failures

TAS 研究所（正）*鈴木 厚

Atsushi Suzuki*

*TAS Lab

1. はじめに

工業製品の故障の原因に潤滑要因，設計要因，材料要因があり，トライボロジーの知見，経験，解析によって解決されるケースが数多くある．しかし，それらの解決事例は機密性が高く，ほとんど一般に共有されることなく各企業の倉庫の中にあるのが現状と考える．もちろん，各企業はそれらをデータベース化して企業内での閲覧は可能になっているとよく耳にするが，それらをどのように活用すればよいかについては結局ある程度経験が必要で，若手ではすぐに対応できない．しかし，トライボロジーを担当する技術者は不足しており，十分な故障解析ができない，かつなかなか技術向上ができない．

不具合への対応にかかる時間は 50～90% を占めていると推定されるが，その多くは機密保持のため公開されず，同種の問題がそれぞれの企業内で検討されているというコストパフォーマンスの低い現状がある．そこで各企業の機密に触れないことを前提にトライボパソロジーという概念を導入して，既発表ベースの事例および企業から提供された部品を使った一般性のある“療法：パソロジー”の確立に導く場について提案する．

2. 現状分析

不具合が発生すると自身を含む社内の過去トラブルと比較し，合致するかもしれない不具合が近いのか検討する．該当する事例がないまたは過去トラブル事例に確証が持てない場合は不具合事例集¹⁾や，参考書²⁾などで確認する．しかし最も当事者が知りたい不具合の発生原因は何か，次にどう進めばよいか，については不具合事例集や参考書に記載がないので個々に当たらねばならず，しばしば暗礁に乗り上げる．ベテラン技術者も困難な事象にたびたび遭遇し，四苦八苦してしまう．しかし，特に経験の浅い技術者にとっては出口の見えない暗闇に放り込まれた感覚を覚えるのではないのか．そのような現状を打破しようと過去にトラブルシューティング事例解析共有を提唱された⁴⁾こともあったが，機密保持の壁があり広がることはなかった．その他単発的に故障事例を扱った発表もいくつかあったが，個別の解析事例紹介，もしくは診断ツールの提唱に留まっていた．

他方，海外の活動に目を向けると，今年 STLE では「トライボロジーにおける ML：機械学習と AI：人工知能」と称するオンラインセミナーが開催されている．AI に原因は何かを推定してもらうことは既に可能であり，将来的に精度が向上することを見越して取り組まれていると推察する．AI の結果を参考にすることは必要であるが，不具合現象に対する技術者の知見・経験があつてこそ，その現象に対する五感を利かせた解析ができたり，最適プロセスが選定できると現時点では考える．

3. 不具合解析例

例えば，試験終了したギヤ歯面が右図のようであったとする．歯面に注目すると剥離した箇所がいくつかあることがわかる．経験者がいる場合はピッチングが発生と推定するであろう．参考にした書³⁾によると加工目に沿ってピッチングが発生しており，局所応力が緩和されれば発生しなくなるので対策不要と結論付けられている．

しかし経験が浅い技術者は，歯面に異常なしとするかもしれない．現物が確認できず，画像データだけだったりすると加工目の粗さの程度がわからない．対策は必要なしとしているが，そもそも加工条件は良かったのか，ピッチングの発生により異音等の不具合発生はなかったのか，相手の歯面状態は影響していないのか，潤滑は十分にされていたのか，もう少しミクロに見てみると違った現象の可能性はないのか，材料に異常はなかったのか，などの確認項目が浮かんでくる．従って，もし参考書の画像だけを頼りにしたら，真の原因がわからないまま結論付けてしまう危険性がある．

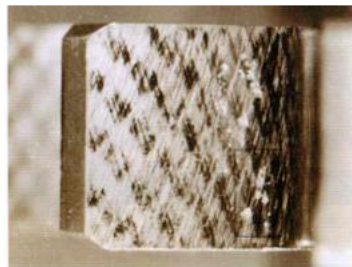


Fig. 1 Tooth Surface

4. 五感の重要性

パソロジカルな解析に重要な五感について述べる．医者の初診において重要な診断方法の一つが触診である．目で見て触って，聴診器を当てて患者を診る．CT や MRI が進歩する中でも欠かさず実施されている．それは対象が人間で複雑だからという意見も聞こえてきそうであるが，トライボロジーの現象も現に複雑であり，多面的な見方が必要

である。従って、所見の際に五感で診ることが重要になってくる。観察、手感、異音検知、異臭から不具合原因のヒントを得ることができる。また同時にその不具合が発生した現場を確認することも併せて重要である。

5. 新たな不具合解析：「トライボパソロジー」の提案

不具合解析の代表的なフローを図2に示す。これまでは最初のフローの「不具合発生背景と事象の把握」において、それに参考となる過去トラブル事例や参考文献などを集めることからスタートする（図中⑦）。しかし、次のフローに進むための判断材料がそろえられているわけではない。すなわち、その現象そのものの把握が3.で述べたように経験者とそうでない場合では異なってしまう。また、得られるべき情報の精査も不確実である。また例えば機械系の会社と化学系の会社間でも差がある。4.で述べた五感に関しても考え方がまちまちである。現状ではその範疇で次のステップに進むことになる。

2番目のフローにおいては、どのような分析や実験を実施するかであるが、その手法については多くの情報を入手することができる（図中④）。しかしどれをどの手順で選択するか、外注するか否かなどについては過去踏襲であり、最適化されているかは不明である。

そして分析や解析の結果が出てきて3番目のフローに入る。解析結果を整理したり、どの因子が有効化どうか判定する。この際統計手法等のさまざまな手法が選択可能であるが、例えば実験計画法を選択する場合、往々にしてその実験計画法に合わせてデータを後付けで再取得する無駄が生じることがある。できるだけ無駄の無いように最初から分析や実験と後に続く解析手法とセットで考える必要がある。

最後のフローは最も重要であり、対策の有効性やそれにかかるコスト、納期に関わってくる。重要案件であれば会社の信用問題にもつながってくる。ここでは責任者に対する説明資料作成が重要である。発生した不具合の原因解析要約および再発防止の他、単純な費用対効果や、取り巻く環境などの説明も必要である。そこで留意しなければならない点はわかりやすさであり、かつ専門性でもある。ここまでできてようやく終了になる。

以上をまとめると、不具合事例や分析手法などの情報は入手することができても、次のステップにどう進めていくかについては決め手に欠けている。従って最終的解決策の策定及び実施において、自信をもって結論を導き出せたとはなかなか言えないのではないかと推察する。

そこで、「トライボパソロジー」の目的は、図2における①②③のステップを研鑽し、高めていく“療法：パソロジー”を確立することにある。道筋が違えば答えは違うが、そのなかでもよりベターな方向をどうすれば得られるかを追求する。企業の機密保持内容には触れることはなく、ベテランのトライボ技術者の問題解決技術力を共有することにより、不具合解決力を高めた総合解析を実践する。図3に最初のフローについての考え方を示す。これまでの知識や情報に加えて、五感とベテラン技術者と共有した考え方（+α）により推定要因を抽出する。

ただし、現時点で完成形と考えておらず、今後の議論を通じてより良いものにしていく予定である。

6. まとめ

企業の機密に触れないことを前提にトライボパソロジーという概念を導入して、既発表ベースの事例および企業から提供された部品を使った一般性のある“療法：パソロジー”の確立に導く場について提案した。企業の機密保持内容には触れることはなく、ベテランのトライボ技術者の問題解決技術力を共有することにより、不具合解決力を高めた総合解析を醸成する予定である。

7. おわりに

トライボパソロジーについて研究・研鑽するトライボパソロジー研究会（Research Group on Tribo-Pathology）を2025年7月より会員提案研究会としてスタートした。今後研究会や研修会を開催し、その中の議論を通じてより良い考え方を形成する予定であり、会員および上記研鑽を望む技術者を募集する。

文献

- 1) 日本トライボロジー学会：トライボロジー故障例とその対策，養賢堂、(2003)。
- 2) 日本トライボロジー学会：トライボロジーハンドブック，養賢堂、(2001)。
- 3) 日本トライボロジー学会：トライボロジー故障例とその対策，養賢堂、(2003) 62。
- 4) 田中・杉村ら：トライボトラブルシューティング事例解析共有のすすめ，トライボロジー会議 2012 東京 261

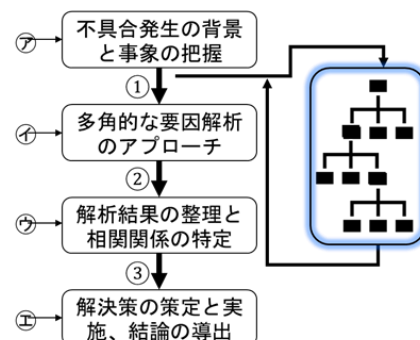


Fig. 2 New Defect Analysis Flow

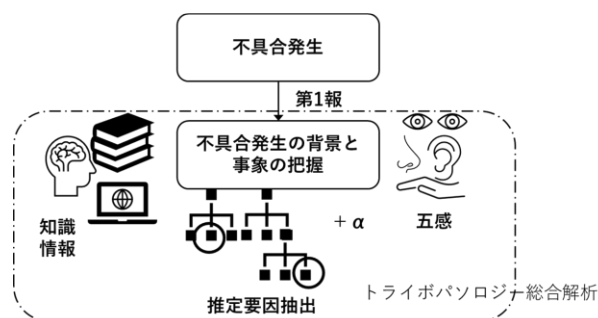


Fig. 3 Tribo-pathology Comprehensive Analysis