

不具合解析・解決道場 1 不具合の発生からの一手を学ぶ

Defect Analysis & Resolution Dojo 1: Learning the First Steps After a Failure Occurs

TAS 研究所 (正) *鈴木 厚 電機大 (正) 松本 謙司

Atsushi Suzuki*, Kenji Matsumoto**

*TAS Lab, **Tokyo Denki University

1. はじめに

不具合の初動解析において、若手技術者とベテラン技術者がどのように手順を組み立て、証拠を収集し、原因を絞り込むのかを明らかにすることは、技術継承に直結する。本研究では、トライボロジー研究会主催「第1回 不具合解析・解決道場ワークショップ」の記録から、若手主体チームとベテランの初動の考え方のステップを比較し考察した。また、不具合解析の AI 活用の有用性についても考察する。

2. 解析内容と条件の提示

2.1 解析前提条件

まず2チーム(A,B)に分け、設定として参加者全員が自動車会社関係の社員もしくは出向者で不具合解析担当者の任にあるとする。そこで不具合が唐突に発生したとの一報があったとの状況下で、依頼元から担当者に不具合品が渡され、とにかく早く対策をしたいので短時間で原因を特定してほしい要求されたとした。

2.2 解析内容と制約条件

現物観察(図1)を基本に、解析ツールおよび解析時間に制限がある条件下でいかに原因を推定して次のアクションを提示できるかチーム内で検討する。

- ① 不具合実部品：破損ギヤ対、
- ② 解析ツール：実体顕微鏡、
- ③ 解析時間：30分、
- ④ 報告資料作成15分
- ⑤ その後報告→各チームプレゼンテーション



Fig1. Observation of Defective Products

3. 解析結果と経験者コメント

3.1 解析結果

Aチーム、Bチームそれぞれで不具合品を観察しチーム毎にまとめて報告、各チームで気づけなかった項目についての意見交換を実施した。各チームの気づいた点を図2に示す。それぞれ同じものもあれば違ったものもあることがわかった。また、次のアクションについて図3にまとめた。ここでも各チームに違いがみられた。

手順	チームA	チームB
①情報収集		・小径ギヤの方が歯数が少ない →ストレス(接触回数)は多いので、 最初に損傷しているのではないか？
②表面観察	歯面が割れている 疲労破壊 歯の中心に傷がある 破壊面に光沢のある面と荒れている面が見られる 損傷が激しい箇所と一部だけかけている箇所がある	・リングギヤの損傷が周期的 →小径ギヤの損傷部が当たった可能性あり =小径ギヤが先に損傷？ ・破断面の平坦(初期)/ざらざら(2次以降)
③CT		鑄巣
④組織観察	異物の混入が原因か 軸がはまっているところの精度が悪く傾いて強く当たっている	断面観察で組織を観察 狙い通りのものができているのか？
⑤成分分析	異物の混入が原因か	狙った材質になっているか？
⑥機械特性測定	材料強度がでているか(硬さ)	・深さに対する硬度のマッピング

Fig2. Insight from Defective Products

3.2 経験者コメント

経験者からの改善点は以下の通り。

- ① 解析開始時から不具合を絞り込まないようにする(重要)
- ② 歯面の両側を見ると答えに近づける
- ③ 図面が重要。読めるようにする
- ④ 五感もフルに活用する

総じて俯瞰して様々な選択肢の中からベストチョイスをすることができると良い。

手順	チームA	チームB
①情報収集	潤滑がしっかり行われているか →運転中の油圧異常がないか、オイルに異常がないか	・使われ方(PVT/潤滑状態) ・材質、表面処理、ショット ・図面：公差等 ・運転履歴、試験中データ
②表面観察	異物の混入が原因か →SEM観察、大きさや成分	・下記観点で拡大観察 ・しゅう動方向、破断方向 ・折れていない歯にキックとなる損傷はないか？ →そもそも損傷進行し過ぎなので 途中止めできないかも相談
③CT	—	鑄巣
④組織観察	破断面の観察	断面観察で組織を観察 狙い通りのものができているのか？
⑤成分分析	他の部品に同様の損傷が見られたときにその部品の調査から何かかわらないか	狙った材質になっているか？
⑥機械特性測定	材料強度がでているか(硬さ)、焼入れなどの表面処理が行われているか →硬さ測定、組織観察	・深さに対する硬度のマッピング

Fig3. Action

4. AI活用の可能性

4.1 AIと経験則との対比

最近急速に普及活用が進んでいるAIを活用すると今回の不具合解析の初動対応はどのようになるのか実施してみた。各種AIツールはあるが以下にChatGPT-5を使った経験則との比較を示す。

AI入力：「破損したギヤが持ち込まれた。自分は損傷を解析して対策提案する担当者。まず何から始める？」

破損したギヤが持ち込まれた場合のChatGPT回答 vs 経験則対比を以下に述べる。

- AIの提案は「証拠保全→情報収集→非破壊検査→破面解析→設計・製造・潤滑の是正策」という工程ごとのチェックリストで、ISO 6336やAGMA 925など規格・計算書を引用しながら網羅的に漏れを潰す点が特色。論理的で再現性が高い一方、現物を前にした初動での微妙な手掛かりや現場特有の勘所には乏しい。
- 経験則は、受け取り直後に五感を総動員して観察し、手触り・匂い・油の色や破片の配置から異常の兆しを直感的につかむ。図面を即座に読み取り装置内の力の流れを想像し、潤滑状態や運転履歴の聞き取りを重視して仮説を絞り込む。状況に応じて観察・測定の優先順位を柔軟に変えられるのが強み。

要するに、AIは「体系と網羅性」、経験則は「感覚的洞察と現場適応」。両者を併用することで、解析の確度とスピードを最大化できる。

またAIの体系と網羅性においては図4のようなツリー作成も可能になるメリットもある。

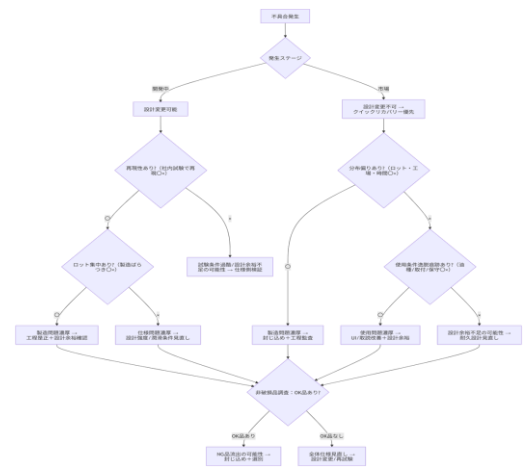


Fig4. Analysis Tree

4.2 AIを用いた不具合解析研究事例からの考察

直近の欧米のAIを用いた不具合解析研究、実装では機械学習や、限られたクローズドなデータを用いてAI判別する手法が多く実施されているが、ベテランのノウハウをAIに組み込む研究はオントロジーモデル設計 1)や専門家の知見を学習サイクルに組み込む 2)などがある。国内では、機密データを出さずにモデルを更新するフェデレーテッド学習 3)の検討や、AIを活用した次世代保全技術 SmartMaint-Xを用いた実装検証 4)などがある。しかし多くは特定機械の故障解析ルーティーンにAI判定を補助的に使って解決する手法であり、特に企業における多種多様のトライボロジーに関する不具合解析・解決に対しては現状のAI活用を踏まえて更なるアプローチが必要ではないかと考察する。

5. まとめと展望

不具合解析においては初動が非常に重要である。初動を間違えると原因究明までの時間が非常に長くなり、結局たどり着けないことにもなる。また、その初動の対応により真因を間違って結論付けると不具合が再発し、対策期間と費用がかかる。この初動をいかに差配するか経験者とそうでない技術者では今回の解析結果でも示されている。一方企業においてトライボロジー専門部署を設置するの企業収益へのインパクトが低いとみなされ、担当者の減少とともに経験者の減少により未経験者に対するOJTが不十分になって不具合対応能力の低下を招いている。このような状況下の打開策としては今後開催予定の不具合解析・解決道場などでの担当者の研鑽が必要と考える。また当研究会ではAI活用方法をさらに進め、経験則とAIを融合したシステムを開発し提供していく予定である。

6. おわりに

本報告により不具合解析・解決の一般化に一つの道筋をつけることができたと思う。今後は関係する企業・大学・研究機関との更なるコラボも検討する。次回道場は潤滑油について取り上げ、前回参加者含め広く募集する。

今回の不具合解析・解決道場開催に当たり部品を提供いただいた関係各位に感謝申し上げます。また今回の道場において本田技術研究所 吉田潤平氏にご協力いただき厚く御礼申し上げます。

文献

- 1) T. Bauer et al., "Knowledge-Graph Assisted Fault Diagnosis for Machine Tools", CIRP Annals, 2023
- 2) S. Boddhu et al., "Human-in-the-Loop Active Learning for Turbine Fault Classification", IEEE T-I&M 2022
- 3) 杉山・松崎ほか, 「知識グラフを用いた設備異常診断」, 産総研研究報告, 2023
- 4) NEDO 成果報告書「次世代保全技術開発」, 2023