

# 製造・修理工程の効率化を目的とした不具合情報分析と製造・修理計画の 支援技術に関する研究（第3報）

曾賀野健一\*、小西翔太†、鳥井勝彦†

A study on the defect information analysis and the support tools for the purpose of improving the efficiency of manufacturing and repair processes (III)

SOGANO Kenichi\*, KONISHI Shota† and TORII Katsuhiko†

市場にて製品に不具合が発生すると、製造現場では原因究明と修理対応を行うと共に関連情報を記録する。しかし、長年の業務を経て、原因究明と修理対応の記録情報が膨大化し活用しきれなくなると、原因の究明に手間取り、既存製品の改良や新規製品に反映されず再び同じ対応が繰り返され、修理期間の増大やコストの増加など業務効率が低下する可能性がある。記録情報が膨大化し活用しきれなくなる問題を解決するため、本年度は不具合の事象に応じて不具合の発生に影響する可能性の高い要因を捉える手法を提案し、原因究明と修理対応業務の効率化を図るしくみを構築した。SSM（ストレス・ストレングスモデル）を用いた知識の分節化（詳細化）により、不具合の事象とそれに関連する要因を関係付けるデータリストの整備と分析を行い、この結果に基づき知識を活用した不具合情報管理ツールの開発に取り組んだ。

## 1 はじめに

市場にて製品に不具合が発生すると、製造現場では不具合の問い合わせを受け付け、原因究明と修理対応を行うと共に関連情報を記録する。長年の業務を経て、原因究明と修理対応の記録情報（以降、「不具合履歴情報」と記す）が膨大になると、情報が埋没し不具合履歴情報を活用しきれなくなる。これにより原因の究明に手間取り、既存製品の改良や新規製品に反映されず、再び同じ対応が繰り返される。例えば、電動車いすの製造現場では、ユーザーからリクライニングが停止するなどの不具合の問い合わせを受け付けた際に、問題のある部位や不具合の発生要因などを特定するために原因の究明を行っていた。しかし、長年に亘る業務を経て、不具合履歴情報が膨大になると、重要な情報が埋没し情報を活用しきれない状態となった。その結果、原因究明と修理対応に要する期間の増大やコストの増加等、業務効率の低下が課題となっている。そこで、不具合履歴情報を活用するため、本年度は、不具合の事象に応じて不具合の発生に影響する可能性の高い要因を捉える手法を提案し、原因究明と修理対応業務の効率化を図るしくみを構築した。具体的には、不具合の事象とそれに関連する要因を関係付ける情報を調査し、データリストを整備した。このリストを用いてデータの分布傾向を分析し、分析結果を基に原因究明と修理対応業務の効率化を図る不具合情報管理ツールの開発に取り組んだので報告する。

## 2 知識の分節モデル（知識の詳細化）

不具合履歴情報を活用し、業務の効率化を図るためには、不具合の事象に応じて不具合の発生に影響する要因を捉え、業務に活用可能な情報の整備が求められる。

本研究では、不具合の予測・未然防止を目的に考案されたSSM（ストレス・ストレングスモデル）を用いた。SSMは不具合の発生するメカニズムを知識の分節化と呼ばれるモデル（以降、知識の分節モデルと記す）で把握する手法である。

知識の分節モデルは、不具合の発生する原因と結果に関する情報を知識の分節という単位で分類し、分類した知識の分節を定義属性、不具合モード、ストレス要因、ストレングス要因、制御属性要因という5つの観点を用いて表す。ここで、定義属性は、不具合の発生対象である。この定義属性に発生する望ましくない現象や状態を不具合モードとして定義する。ストレス要因は、使用環境などにおいて異常な状態や入力を表し、ストレングス要因は、設計計画などにおいて耐性の低さや狙いの不十分さを表す。制御属性要因はストレングス要因に作用する具体的な設計計画パラメータなどの問題として定義する<sup>1)2)</sup>。例えば、電動車いすの不具合を例に示すと、定義属性は「リクライニングシート」とする。このリクライニングシートに発生する望ましくない現象として、「リクライニング中にリクライニングが停止する」という不具合モードがある。使用環境などにおける異常な状態や入力として、「バックシートフレームの変形」や「繰り返しリクライニングによる負荷」というストレス要因が存在する。

\* 情報技術部

† 株式会社今仙技術研究所

本稿では、製造現場との検討をふまえて知識の分節モデル（図1）を作成し、この知識の分節モデルに基づいてデータリストを整備した。具体的には、不具合モードを不具合の発生した「時期（タイミング）」と「事象」に詳細化し、ストレス要因を「問題のある部位」、「不具合の状態」、「発生要因」、「課題の対象」に詳細化することにより、不具合の事象に応じて不具合の発生に影響する可能性の高い要因を捉えることにした。

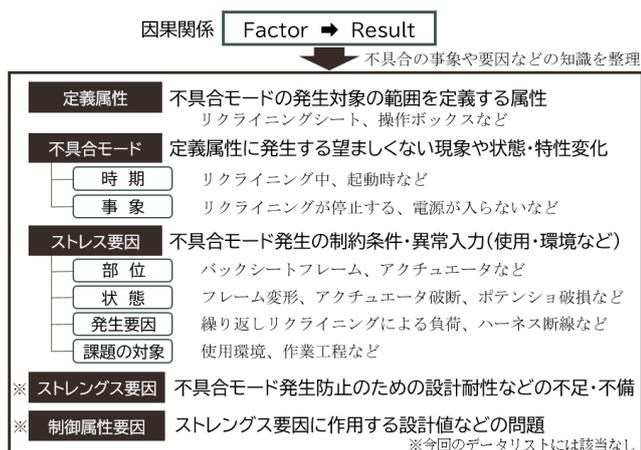


図1 知識の分節モデル（知識の詳細化）

製造現場から提供された不具合履歴情報の件数は、全ての不具合に関して約1,000件存在した。本稿では、定義属性と不具合モードから、2種類の不具合を対象を絞り、不具合の事象とそれに関連する要因を関係付ける情報を探索することにした。1種類目は、定義属性が「リクライニングシート」、不具合モード（時期）が「リクライニング中」、不具合モード（事象）が「リクライニングが停止する」である。2種類目は、定義属性が「操作ボックス」、不具合モード（時期）が「起動時」、不具合モード（事象）が「電源が入らない」である。この2種類の不具合履歴情報に対し、図1の知識の分節モデルに基づきデータリストを整備した。データリストの件数は28件である。

### 3 データの分布傾向

前章で整備したデータリストを用いて、2種類の不具合に対し、不具合の発生に影響する可能性の高い要因を捉えるため、まず不具合別にストレス要因（問題のある部位、不具合の状態、発生要因、課題の対象）の頻度を集計した。集計の結果、頻度の多いストレス要因については、不具合の発生に影響する可能性を検討できる。しかしながら、頻度の少ないストレス要因については、不具合の発生に影響する可能性が低いとは必ずしもいえない。例えば、不具合モード（時期）が「リクライニング中」、不具合モード（事象）が「リクライニングが停止する」について、ストレス要因（部位）の頻度を集計し

た結果にアクチュエータという部位が存在するが、この頻度は多いとはいえなかった。しかし、製造現場では、この不具合が発生した際に対応している作業対象としてアクチュエータが含まれている。すなわち、不具合別にストレス要因の頻度を集計する方法では、不具合の発生に影響する要因を捉えきれないといえる。そこで、不具合の事象に応じて不具合の発生に影響する可能性の高い要因を捉えるには、データ相互の分布傾向を統計的に分析する必要があると考え、調査分析に用いられる因子分析を行った。分析では、観測変数である各ストレス要因に対し、共通に影響を与えている新しい変数（以降、“共通因子F1”などと記す）を探索した。分析の構造に関しては過去の研究報告書を参照されたい<sup>2)</sup>。

分析では、統計解析ソフト JUSE-Stat Works/V4.0 を用いた。共通因子の探索方法は主因子法を用い、累積寄与率が60%以上となる共通因子を求めた。因子負荷量は因子軸の回転（Varimax Method）を考慮し、各共通因子に対し因子負荷量の絶対値が概ね0.5以上の観測変数を重要度の高い因子として観察した。

表1にリクライニング中にリクライニングが停止する不具合モードを対象とした分析結果（ストレス要因の因子負荷量）を示す。高い寄与率を示した順に、累積寄与率が60%以上を示した共通因子F1とF2に注目し、共通因子F1とF2が影響を与える重要度の高い因子として、因子負荷量の絶対値が概ね0.5以上の観測変数を、詳細化した知識別に示した。F1ではBSF（バックシートフレーム）やリンク周りの部品などの部位が高い因子負荷量を示し、リクライニングの繰り返し負荷が基因となりフレームの変形／破断に至ったと考えられる。F2にはアクチュエータなどの部位に問題があり、特注／加工などが基因となり破断に至った傾向がみられる。リクライニング中にリクライニングが停止する不具合が発生した場合に、共通因子別に詳細化した各知識のデータ分布を観察することにより、使用中に発生した不具合か、ある

表1 ストレス要因の因子負荷量

不具合モード：リクライニング中にリクライニングが停止する

ストレス要因（部位）		ストレス要因（発生要因）	
観測変数	共通因子	観測変数	共通因子
X	F1	X	F1
BSF/SF	0.829	繰り返しリクライニング動作による負荷	0.898
LP/LT	0.732		
FUP/FPP/FPL	0.627	X	F2
X	F2	特注/加工	0.527
FAH	0.518	設計変更	0.518
RA/TA	0.483		
ストレス要因（状態）		ストレス要因（課題の対象）	
観測変数	共通因子	観測変数	共通因子
X	F1	X	F1
フレーム変形/破断	0.908	使用環境	0.898
X	F2	X	F2
アクチュエータ破断	0.621	設計工程	0.662
ポテンショ破損	0.544		

BSF/SF：バックシートフレーム  
LP/LT：リンク周りの部品  
FUP/FPP/FPL：フット周りの部品

FAH：フロントアクチュエータホルダ  
RA：リクライニングアクチュエータ  
TA：フィルタアクチュエータ

いは特注／加工を行った機体かという情報を用いて問題のある部位や発生要因を分類することが可能である。

表2は、起動時に電源が入らない不具合モードを対象とした分析結果（ストレス要因の因子負荷量）である。累積寄与率が60%以上を示した共通因子F<sub>1</sub>に注目し、共通因子F<sub>1</sub>が影響を与える重要度の高い因子として、因子負荷量の絶対値が概ね0.5以上の観測変数を、詳細化した知識別に示した。共通因子の符号についてはデータの分布（位置）を示すものであり特段意味はない。操作ボックスの接続ハーネスの断線が基因となり、ハーネスの不良により起動時に電源が入らない事象に至った可能性が高い。この不具合は作業工程の課題が考えられる。不具合履歴情報を辿ると、ハーネスの配置作業に注意を要する情報が記されていた。このような情報は業務の効率化を図ることが可能であると共に、作業手順に見直すべき点はないか、作業改善の検討にも活用できると考えられる。因果関係に影響する情報を知識に如何に反映させるか吟味することにより、不具合の発生するメカニズムを一層把握することが可能となる。

表2 ストレス要因の因子負荷量  
不具合モード：起動時に電源が入らない

ストレス要因（部位）		ストレス要因（発生要因）	
観測変数 X	共通因子 F <sub>1</sub>	観測変数 X	共通因子 F <sub>1</sub>
操作ボックス 接続ハーネス	-0.764	ハーネス断線	-0.841
RY/MC基板	-0.597	基板への過電流	-0.533

ストレス要因（状態）		ストレス要因（課題の対象）	
観測変数 X	共通因子 F <sub>1</sub>	観測変数 X	共通因子 F <sub>1</sub>
ハーネス不良	-0.841	作業工程	-0.898
基板故障	-0.533		

RY/MC基板：システム基板の一種

この分析結果に関して製造現場の見解を確認したところ、現場で対応している作業対象がデータ（重要度の高い因子）に顕れており分析技術の有用性が認められるという見解を得た。知識の詳細化を行ったことにより、不具合の事象に応じて不具合の発生部位や要因に関する情報を捉えやすくなった。このような情報は、不具合の問い合わせを受け付けた時に、品質保証や技術の部門で共有すべき重要な情報であり、業務の効率化に直結すると考えられている。

#### 4 不具合情報管理ツールの開発

前述のとおり、不具合の履歴情報を整備し、活用する手法を提案した。この手法を用いて得られた重要な情報を活用するためには、知識の詳細化と前章の分析結果に基づいて、情報の入力・蓄積・検索などを可能とするしくみの構築が必要である。このしくみを構築するため、データベースと連携した不具合情報管理ツールの開発に

取り組んだ。開発の環境にはMZ Platform ver3.6<sup>3)</sup>を使用した。データベース管理システム（DBMS；DataBase Management System）にはMySQL ver8.0を使用した。

図2に、MZ PlatformとMySQLを用いて開発した不具合情報管理ツールの構成（一部）を示す。

ユーザーから不具合の問い合わせを受け付けた際に、営業部門において、まず車番や不具合の内容などの情報を入力する。ここで入力した情報はデータベースに登録蓄積され、次工程の原因究明と修理対応の業務において閲覧や引用に関連付けられる要の情報となることから、正確な情報入力が要求される。そこで情報の入力を支援する機能として選択方式やデータベースと連携し既知の情報を自動入力する処理などを実装した。

次に品質保証や技術の部門において、原因究明と修理対応の工程に移行する。この工程では、営業部門で受け付けた問い合わせに該当する記録を基に原因究明と修理対応の計画を作成する。この計画に基づいて、不具合の原因究明と修理対応を行い、対応した結果を記録する。この業務を支援するため不具合の問い合わせに該当する記録をデータベースに照会し、閲覧・引用する機能や、原因究明と修理対応の工程で得られた情報をデータベースに追加・更新する機能などを実装した。このような機能には、2章の知識の詳細化と前章の分析結果で得られた情報を業務に活用するためのしくみが必要となる。例えば、不具合モード（不具合の発生時期、事象）に関する知識をデータベースに登録・蓄積し、この知識に関連付けられるストレス要因（問題のある部位、不具合の状態、発生要因など）に関する知識を取得・表示することが可能な機能である。この機能を実現するために必要となる知識の入力、データベースの構成、不具合モードに関する知識に応じたストレス要因（問題のある部位、不具合の状態、発生要因など）に関する知識を可視化する処理などを実装した。

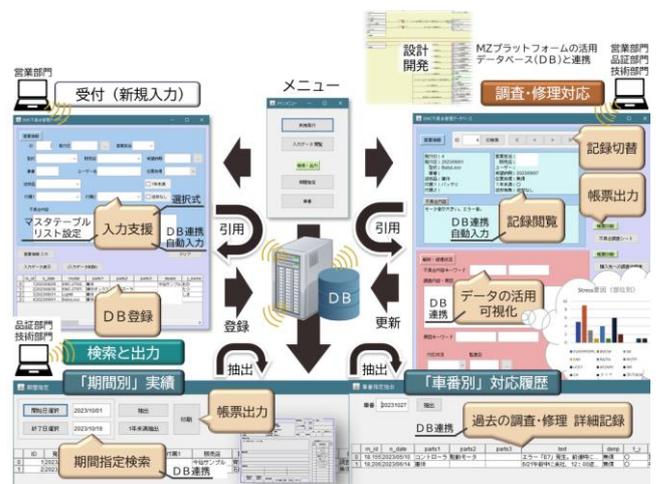


図2 MZ PlatformとMySQLを用いた  
不具合情報管理ツールの構成

また、業務の用途に応じて必要な情報を取得するための条件指定検索や帳票出力が可能な機能を実装した。例えば、車番や時期を指定しデータベースに照会することにより、原因究明と修理対応の履歴を取得・表示することが可能である。過去に如何なる原因究明と修理対応を辿ったのか、指定した車番や時期に適合する不具合の事象、問題のある部位、対応した詳細記録などを、時系列順に一覧形式で把握することができる。また、帳票の構成（要素やレイアウトなど）は、今回開発した不具合情報管理ツールの導入に伴い、製造現場の使用者に生じる抵抗感や混乱を軽減するため従来の構成を可能な限り再現した。データベースの情報を基に、帳票の諸要素を設定し印刷出力を可能とする機能を備えている。

## 5 まとめ

不具合の事象に応じて不具合の発生に影響する可能性の高い要因を捉え、業務に活用可能な情報の整備を行うため、SSMの考え方と製造現場との検討をふまえ、不具合の事象に応じて不具合の発生した時期、事象、問題のある部位、不具合の状態、発生要因などに関して詳細化した知識の分節モデルを表現しデータリストを整備した。このデータリストを用いて不具合の事象と要因に関するデータの分布傾向を把握するため因子分析を行った結果、「リクライニングが停止する」などの不具合の事象に対し、不具合の発生部位や要因に関する重要度の高い因子が導かれた。このような因子を共通因子別に各知識のデータ分布を観察することにより不具合の発生部位や要因を絞り込むことが可能である。この分析結果をふまえ、不具合の事象に応じて不具合の発生に影響する部位や要因などの知識を活用し、業務において情報の入力・蓄積・検索などの効率化を図るための手段が、データベースと連携した不具合情報管理ツールである。

今後は、引き続き企業と協力し、知識を活用した不具合の原因究明と修理対応の業務を支援するツールの完成度を高めていきたい。

### 【謝 辞】

本研究を遂行するにあたり、不具合履歴情報のご提供と知識の詳細化などの検討にご協力いただきました株式会社今仙技術研究所の皆様に厚く感謝いたします。

### 【参考文献】

- 1) 田村ら，“工程設計のための不具合に関する知識の運用”，日本品質管理学会 Vol.32(2), pp95-113, 2005
- 2) 曾賀野ら，岐阜県産業技術総合センター報告 No.4, pp95-96, 2023
- 3) 国立研究開発法人産業技術総合研究所，“MZプラットフォーム ユーザー会”，  
<https://ssl.monozukuri.org/mzplatform/>(参照 2024/2/1)