

# 知識の構造化によるトラブル未然防止

## —構造化知識の活用による問題点の早期抽出と対策実施—

株式会社構造化知識研究所

代表取締役 田村泰彦

### 1. デザインレビュー（DR）における不具合情報の役割

不具合に関する記録は多種多様な形式で存在する。例えば、市場クレーム情報、試作問題点管理表、工程異常連絡表、再発防止設計事例集など、実際に市場・工程・開発段階で発生した不具合事例がある。また、FMEA表、FT図、デザインレビュー議事録などの不具合リスクの検討結果を記録したリスク解析情報がある。更には、設計標準、設計ノウハウ集など不具合の記録よりも設計の方法に主眼が置かれている技術基準類にも、設計の背景・根拠として不具合に関する何らかの記述（実際にある製品で発生した不具合や一般的な不具合ノウハウなど）が含まれていることが多い。

ここでは、不具合事例、リスク解析情報、不具合の記述を含む技術基準類などを総じて、不具合情報と呼ぶことにする。

不具合情報は、設計の問題点を指摘するDRにどのように活用されるべきであろうか？

DRの会議の場で、不具合情報の内容がレビューによって指摘されることは、情報がDRに再利用されて一見良さそうに思われる。しかし、DRの本来の目的からすると、これは非効率なことである。信頼性、安全性、製造容易性などにおいて設計に再利用すべき不具合情報がきちんと整理されているならば、わざわざレビューに指摘されることなく、DR以前に設計で予め把握し、適切な処置を取った上でDRに臨むべきである。すなわち、設計にフィードバックすべき不具合情報は、DRに先立ち、基本設計や詳細設計時に予め設計アイテムや設計変更内容をもとに実施されるFMEA、FTA、再発防止

チェックリストなどに徹底的に反映されるように工夫されなければならない。またDR時には、不具合情報を活用した各種解析結果やチェックリストを準備資料としてレビューに事前提供し、設計者が設計の妥当性について予めどこまで考慮しているかをレビューに可視化することが重要である。

こうすることで、信頼性、安全性、製造容易性、コストなどの設計の質が前倒的に確保される。またDRのレビューも、不具合情報に存在する内容を繰り返し指摘する無駄を無くすることができる上、自部署の立場から、部内や個人の保有知識を元に有益な知識を設計者に提供することに注力できる。

### 2. 不具合情報が設計に再利用できない！？

#### (1) 不具合情報の問題点

「不具合情報は宝の山だ」「不具合情報を整理して次の設計に活用しよう」という指摘をよく耳にする。では実際の設計現場で不具合情報は再発防止チェックリストやFMEA、FTAに有効に再利用されているだろうか？

この質問に自信を持って「YES」と回答できる現場はほとんどないであろう。この理由は色々あるが、例えば以下のようなものが挙げられる。

- ・ 不具合情報の記載内容が不十分で、設計で使えるほどのものではない。
- ・ 設計に再利用できそうな不具合情報があちこちに存在していて、その総体を発掘、把握できていない。
- ・ 自部署内の不具合情報はそれなりに有効活用しているが、他部署への水平展開ができていない。
- ・ 一般化して類似設計に再利用できる不具合情報であ

るにも関わらず、特定アイテムの不具合情報として整理され、再利用されている。

- ・ 不具合情報データベースを整備したが、設計業務にどう活かせばよいか分からず、誰も使っていない。
- ・ 不具合情報データベースはあるが、その登録件数が膨大で、自分の業務に必要な知識をうまく収集できない。

筆者も、企業の設計者・技術者と不具合未然防止の仕組みづくりの議論をするたびに、不具合情報の整理・活用法に苦労しているという話をよく耳にする。

### (2) 不具合情報に再利用性はあるか？

不具合情報を設計に活かすには、まず不具合情報そのものに設計に再利用可能な知識が含まれていなければならない。例えば、「電源基板上のFETが破損して基板焼損したので、基板を交換しました」という程度の市場クレーム情報をExcelで大量に整理しても、情報自体に設計への再利用性はほとんどない。通常、なぜFETが破損したのか？FET破損後、なぜ基板が延焼に至ったのか？といった解析がなされ、それぞれの事象に対する設計要因、製造要因、発生条件などが分析されていることであろう。その結果、今後の回路設計や電気品構造設計において知っておくべき不具合発生メカニズムやその対策・再発防止策が少しでも含まれていれば、その不具合情報は設計に役に立つと言える。一方、上記の事例が、FETの部品不良によることが判明し、今後の部品供給メーカーに対する購買品仕様の定義や品質監査に役立つ対策があれば、購買計画や品質監査計画の知識として役立つといえよう。

上記の例は、不具合情報としては少々お粗末過ぎる例である。しかし、概して不具合情報は、「この情報の教訓が、今後どのようなアイテムの、どのような設計・計画業務（製品設計、工程設計、購買計画、設備保全計画など）に再利用されるべきか？」という視点が欠けた情報であることが多い。それもそのはずである。まず、作成される不具合情報の多くは、次設計への再利用を主目的とした文書（設計開発業務へのインプット文書）ではなく、当該開発業務・不具合対応業務の結果として作成される解析記録・報告書（設計開発業務・故障分析業務からのアウトプット文書）であり、そのように関係者に理

解されているからである。将来への設計開発業務への展開活用を目論んだ記述は特に期待もされず、余計なことは出来る限り書かないように担当者が教育されている場合もある。

不具合情報を設計に再利用するためには、その不具合情報を設計で再利用できるように書くという明確な目的意識が必要である。すなわち、具体的な不具合アイテムにおける記録としてだけでなく、その情報内の不具合メカニズムや対策が、今後どのようなアイテムのどのような設計で再利用されるべきか？という視点をもって不具合情報内にその内容を記述しておく必要がある。

### (3) 役立つ不具合情報を設計で引き出せるか？

今後の設計に再利用すべき不具合情報を再発防止設計事例集などの形式でデータベース化する場合もある。このような事例集は、前節で述べた情報とは異なり、設計に再利用可能な知識を含んでいる場合が多い。

しかし、このデータベースも問題が尽きない。数10件レベルで、部署課内の勉強会で技術者の頭にノウハウを叩き込んでいるうちはよいが、登録件数が百件、千件…と増えてくると、到底覚えきれない。また不具合情報が一元管理されると、社内の他の設計部署や事業所から、自分たちに使えそうな不具合情報や全く使えない不具合情報が無差別にどんどん登録・蓄積されてくる。一方、このような情報データベースでは、ユーザの任意の検索キーで文書内を検索させる（要するに全文検索させる）場合が少なくない。このやり方はシステム導入が楽である。しかし、不具合情報の登録件数が増えると、無駄な検索結果が膨大になり、設計者が、検索結果として提供される不具合情報から自分の設計に必要な知識を探すだけで一苦労するため、結果的に事実上役に立たない情報データベースになってしまう。

また、データベース検索時に検索キーの準備をすべて設計者の恣意性に任せることは不適切である。データベースのキーワードの全貌を知らない検索者が、設計内容や設計変更点・変化点に基づき、自身に役立つ不具合情報にヒットする検索キーを的確に準備することは困難である。

そもそも設計者は、過去の市場クレーム情報やFMEA/FTA帳票などの文書を検索したいのではなく、自身

の設計アイテムや設計変更点に直接必要となる不具合知識とその対処方法を引き出したいのである。したがって、不具合情報は、設計者のニーズに応じて適切に検索し、知識を提供できるように情報の体系化と検索キーワードの整備を進めなければならない。

### 3. 不具合知識の構造化

#### (1) 知識の構造化の概要

不具合情報自体の設計への再利用性を高め、かつ設計者が自身に必要な知識をうまく引き出せるようにするには、何をしなければならないだろうか。それは、「不具合知識の構造化」であると筆者は考えている。

ここでいう知識の構造化とは、情報から再利用可能な知識整理に必要な概念を適切に抽出・記述できるように、再利用性に関わる普遍的な複数の概念領域を定義し、その概念領域のつながりで文脈性のある知識の枠組みを構築すること、ならびにその枠組みに沿って具体的な知識を形成することである。

不具合情報から再利用性のある知識を整理する際、上記で述べた各概念領域（知識構造要素）とそのつながりは、再利用性のある知識を記述するための支援観点となる。また各概念領域に基づいて具体的に登録される概念は、概念構造を整理することによって、設計で知識を引き出す際に有効な検索キーになる。不具合情報からの知識の構造化と活用の流れを図1に示す。まず、設計開発

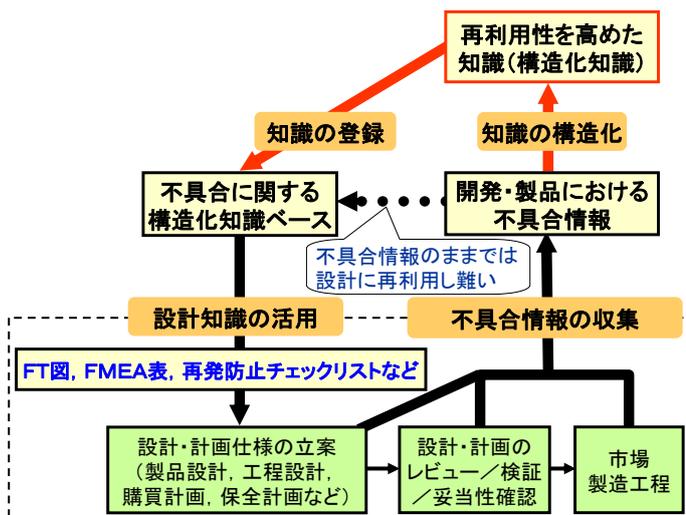


図1 構造化知識運用の概要

段階や市場などから収集される不具合情報をそのまま設計に活用する設計知識とするのではなく、設計に再利用可能な知識を構造化して、関連する不具合情報とともに不具合に関する知識DB（知識情報基盤）を構築する。そして、各設計業務の状況・ニーズに応じて工夫された検索ルールに則り、設計に必要な構造化知識を検索・抽出し、その関連情報とともに設計者に価値ある知識・情報を提供し、設計・計画立案業務の質向上を支援する。

「知識の構造化って難しいそうだし、工数もかかりそう」と、気持ちまで“構える”必要はない。構造自体は最初から完璧なものでなくてもいいのである。不具合情報の活用上の課題や目標に応じて、取り組める業務範囲から一歩ずつ進めていくアプローチが現実的であり、現場にも理解されやすい。不具合知識の構造化と活用方法を構築するには、以下の活動を実施する必要がある。

- ・設計に活用したい不具合・故障情報を収集する。
- ・情報の記載内容の実態や実力と情報活用上の課題を踏まえて、知識構造化する目的を明確にする。
- ・目的に応じて知識を活用させたい業務を具体化する。
- ・各業務における具体的な解析・検索ニーズを整理する。
- ・知識構造化の目的、解析・検索ニーズ、検索結果の業務への反映方法に応じた知識構造をデザインする。
- ・検索の高度性、データベースの規模に対応する知識検索システムを設計する。
- ・構造化知識ベースのコンテンツを蓄積する。
- ・主要な検索ニーズに応じた検索システムの使い方をマニュアル化し、設計者の知識検索を支援する。

#### (2) 不具合事例からの知識の構造化

市場クレーム情報や再発防止事例などの不具合事例には、過去の実際の失敗経験・教訓が含まれている。そのため、知識構造をデザインする上で重要なことは、今後の設計に教訓としてフィードバックすべき不具合発生メカニズムとその対処方法が、構造内に必ず埋め込まれるような枠組みにすることである。例えば、不具合事例から知識を構造化しようとして、「不具合が起きたアイテム」「不具合事象」「発生原因」「対策内容」といった構造要素を用意するだけでは、問題が発生したアイテムの不具合報告書の文書様式となら変わらない。まず、図2に示すように、各アイテム（部品A、ユニットZ）にお

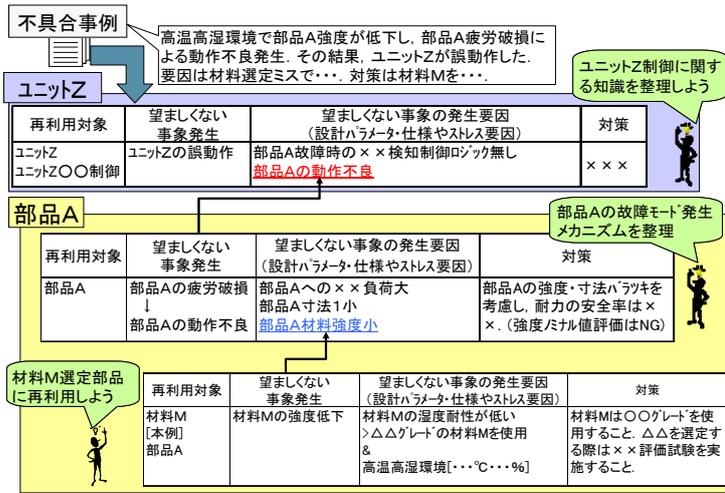


図2 不具合事例からの知識抽出

いてライフサイクルの過程で発生し、設計で対策を打つべき望ましくない状態変化(不具合モード)を捉え、各々の不具合モード発生メカニズムに対する知識の再利用性を検討すべきである。またその際、具体的な不具合発生アイテムで知識を整理するのではなく、その不具合発生メカニズムが他アイテム設計に水平展開できる場合にその一般的対象属性で対象を記述できるように、知識を再利用させたい設計対象(再利用対象)で知識を整理させるようにすべきである。そうすれば、例えば、図2に示すように、一連の因果連鎖のなかの具体的に部品Aで起きた不具合モードであっても、その不具合モード発生メカニズムについては、材料Mの一般的知識として整理する思考を持つことができる。本例に限らず、例えば不具

合発生対象が、仮に“ドレン配管”、“外装ケース”などであっても、不具合発生メカニズムの内容によっては、「再利用対象」は、上記のアイテムに限定されず、“配管ロウ付け部”、“樹脂めつき品”といった他設計アイテムにもありうる一般的対象属性で整理されるべきであろう。機構・構造設計では、特に一般化が意識されて記述される対象属性としては、様々なアイテムに共通する機能、機構、部位、一般工法、材料、一般機械要素などが多い。もちろん、特定のアイテムで再利用すべきものや、一般化できそうにない知識については、具体的なアセンブリ、部品、回路、製造工程などに限定して表現されるべきである。(図2に示すように、部品Aで再利用すればよい知識の再利用対象は、「部品A」とすべきである。)

また、表1に、不具合事例から知識を構造化する際にExcelを利用した構造化知識の記入フォーマットと具体例を示す。この表1は、不具合発生メカニズムの知識を整理する部分においては、設計不具合の構造化知識モデルであるSSM<sup>[1][2][3]</sup>を利用し、さらに知識検索のために必要な知識構造要素を拡充したものである。なお、実際には表1に示す内容の他、事例情報をもとに、さらに重要故障区分(機能不全、火災、不安全など)や知識管轄部署、担当者名などの様々なフィールドも知識構造に付加されているが、紙面上の都合で割愛させていただく。

(3) FMEAシートからの知識の構造化

過去のFMEAシートなどを知識資産として設計に再利用する場合は、FMEAシートの列をうまく知識構造

表1 構造化知識の例(一部抜粋)

知識ID	定義属性(知識の再利用対象)	不具合モード(望ましくない事象)	不具合モードの発生要因			推奨事項(再発防止策)	事例区分	設計区分	製品区分	不具合事例ID	不具合事例タイトル	関連文書ID	関連文書タイトル
			ストレス(使用条件・内乱等)	ストレンクス(総合的な耐性不足、狙い不備)	制御属性(設計指示内容)								
101	インサート成型品 [具体例] ××搬送ブーリ	インサート成型品のブーリ破壊	成形品の残留応力大 環境温度が高い	ブーリ強度小	成形品樹脂厚さ小 金属インサート径大 成形樹脂材料グレード	以下の条件を満たすこと。 樹脂厚/金属インサート径 > ×× 樹脂厚 > ○○	再発防止事例	機構設計	○ ○ 機器	再発防止事例102	モールド成型ブーリ割れ	DS102	インサート成型品設計基準
201	電解コンデンサ	コンデンサ容量抜け	電解コンデンサ温度大 >電解コンデンサへのリップル電流入力大	電解コンデンサ耐熱劣化性小	電解コンデンサ保証寿命時間小 >電解コンデンサグレード	「DS011」電解コン設計基準を参照。	FMEA	回路設計	△ △ 装置	FMEA-E010	××制御ユニットFMEA	DS011	電解コン設計基準
301	ゼロクロス検知処理 [具体例] ヒータ××制御	ノイズをゼロクロス信号と誤検知する	正常なゼロクロスの直後に異常なゼロクロスが発生 ノイズが××で発生	ゼロクロス点検知精度が低い	正弦波のゼロクロス検知後、一定時間ゼロクロス信号をマスクせず	「DS201」トライアック制御設計基準を参照。	試験報告書	制御設計	△ △ 装置	再発防止事例201	ヒータ制御不良	DS201	トライアック制御設計基準

要素に展開することが必要である。シート全体を再利用するのではなく、シート内で取り上げる1つ1つの故障モードメカニズムとその評価解析・対策内容を知識として整理することを意識したい。ただしFMEA解析結果は断片要約的な故障メカニズムになる傾向があるので、その知識を解析アイテム以外に一般化して整理するどうかは知識整理者の知見を要する。また解析アイテムや故障モード、故障要因、評価基準など再利用性のある知識構造要素と、記録としての実施日や担当者の欄は将来の再利用性にかなり差がある。したがって、FMEAシートを構造化データベースとして余すところ無くすべて登録しておくことは分かりやすいが、検索結果を設計者に表示しFMEAシートに反映させるときに必要となる知識構造要素の表示・非表示の工夫が必要である。

#### (4) FT図からの知識の構造化

主要な機器・部品の重要な不具合事象に対して、FT図の知識資産が整理されている場合、それを知識構造化すれば、FT図全体の使い回しではなく、そのFTの中の知識を部分的にも再利用することができる。機器のFT図トップ事象から要因系を展開している場合、機器の構成部位・構成部品の事象へと展開が進み、FT図のある部分は、部品の故障モード発生メカニズムとして切り出して再利用できる知識になっている場合もある。FT図を機器構成要素やその対象属性別の不具合発生メカニズムで知識モジュール化すれば、図3に示すように、別機器の部品設計のチェックリストやFMEA時に、知識モジュールを再利用することができる可能性がある。また、知識構造化すれば、機器トップ事象からのFTAだけでなく、機器構成要素を中心としたFTAも知識モジュールを基点にして柔軟に実施することができる。

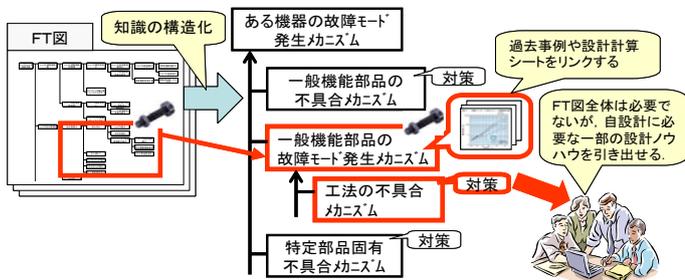


図3 FT図からの知識の構造化

#### 4. 不具合再発防止・未然防止のための構造化知識の活用

不具合情報から知識を構造化する際には、図4に示すように、構造化知識に不具合情報や設計ノウハウ（設計基準や評価基準など）などの様々な関連技術文書とリンクをもたせ、構造化知識ベースを軸に技術文書が容易に参照できるような仕掛けをつくとよい。これによって知識活用時に必要であれば様々な追加調査を進めることが可能になる。

また設計時には、各知識構造要素に検索を実施することによって、設計時の検索ニーズに沿った知識を提供できる。その結果、事例検索では情報に埋もれて抽出されないような知識分節を引っ張り出すことも可能になる。これらの検索結果は、関連技術文書のリンク情報とともにFMEA表やチェックリストに展開し、DRの前に実施される品質問題の早期摘出と未然防止設計を支援することができる。

#### (例) 再発防止設計チェックリスト作成

表1のように再発防止事例などの不具合事例から構造化知識ベース化し、今後の設計アイテムへの広い再発防止設計の徹底を図る場合、DRに先立ち、設計者に再発防止チェックリストとして知識を提供することが有効である。表計算ソフトの場合、各構造要素のフィルタリング機能を使って、チェックリスト出力するなどの検索の工夫が考えられる。しかし、データ数が多くなると、設

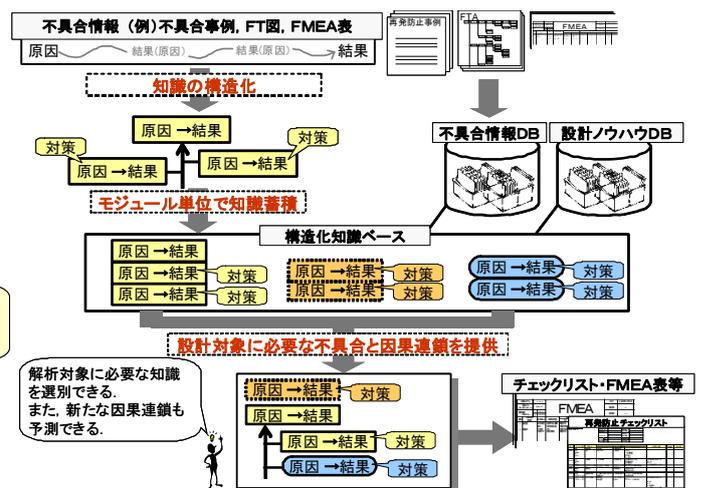


図4 構造化知識ベースの整備から活用までの流れ

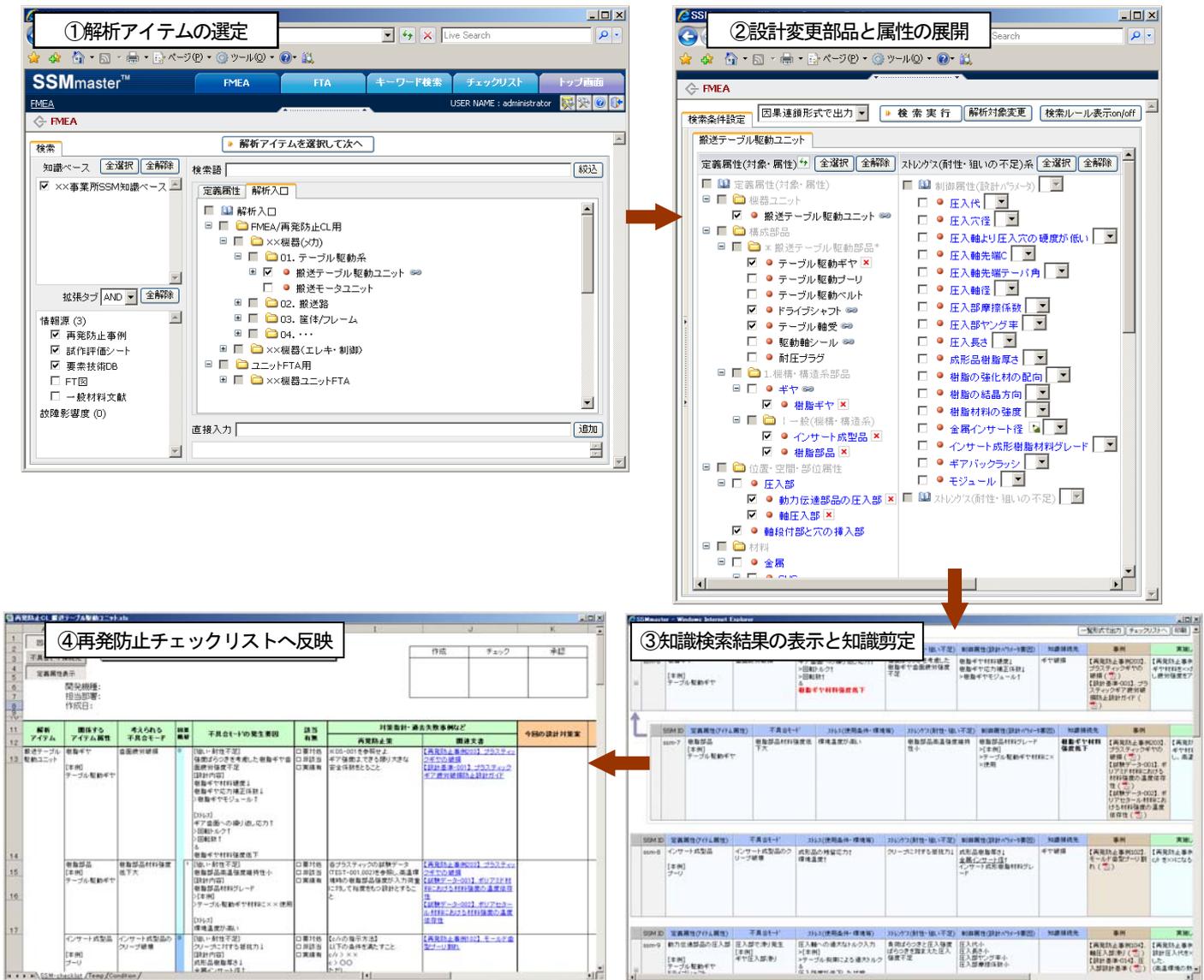


図5 SSMmaster を用いた構造化知識ベースからの再発防止設計チェックリストの作成

計者にとって必要な知識を提供するためには、当該設計に必要な検索キーワードを構造化知識ベース側から積極的に提示し、設計者と対話する設計者支援機能（検索支援辞書機能）が必要である。図5に検索支援辞書機能を具備した不具合予測解析支援システム<sup>[3]</sup>（株式会社構造化知識研究所のSSMmaster）を使った検索の流れを紹介する。

このシステムでは、まず特徴抽出支援辞書を利用して、設計者があらかじめ解析の入口となるユーザインタフェース及び設計ニーズに応じた解析入口選択のルールを設定する。今回は、“①解析アイテムの選定”画面に示す

ような入口（一部抜粋）を用意し、再発防止チェックリストでは、ユニットやアセンブリなどのカテゴリから設計者に関係するアイテムを選択してもらう設定としている（本例では、メカ設計用の入口から“搬送テーブル駆動ユニット”を設計アイテムとして選択した。）。また、今回は、再発防止チェックリストを作成したいので、再発防止事例や試作評価シートといった再発防止用の不具合事例の知識ベースにターゲットを絞って解析を進めている。

次に、“②設計変更部品と属性の展開”画面のように、

搬送テーブル駆動ユニットの構成部品がユーザに表示される。設計者は今回設計対象になっている部品群をリストからチェックし、さらにそれらの部品がもつ機能、部位、材料、工法などの属性をリストからチェックする（今回は、既存ユニットからの設計変更を想定し、変更部品であるテーブル駆動ギヤ、ドライブシャフトなどを選択し、さらにそれらが有する一般的対象属性は追加選択した。）。このように構造化知識ベースにある語句を利用してあらかじめ設計者に候補となるキーワードを提示することは、設計者による設計対象・設計変更点の深い理解と知識検索の精度・再現率の向上に大きく貢献する。次に、「②設計変更部品と属性の展開」画面のように、動力伝達ASSYの構成部品がユーザに表示される。設計者は今回設計対象になっている部品群をリストからチェックし、さらにそれらの部品が有する機能、部位、材料、工法などの属性をリストからチェックする。（今回は、既存ASSYの設計変更を想定し、変更部品であるラジアル軸受、ギヤなどを選択し、さらにそれらが有する一般的対象属性は追加選択した。）このように構造化知識ベースにある語句を利用して予め設計者に候補となるキーワードを提示することは、設計者による設計対象・設計変更点の深い理解と知識検索の精度・再現率の向上に大きく貢献する。また、今回は、再発防止チェックリストを作成したいので、再発防止事例や試作評価シートといった再発防止用の不具合事例の知識ベースにターゲットを絞って解析を進めている。

次に、設計者が辞書支援を受けて抽出した部品やその対象属性をもとに検索を実施する。検索結果を「③知識検索結果の表示と知識剪定」画面に示す。この画面では、構造化知識の特性を活かし、因果連鎖構造で表現させている。これらの知識のうち不要なものはこの時点で削除することができる。また関連する不具合事例や設計基準等の技術文書がリンクされている様子がわかる。

次に、知識検索結果を再発防止チェックリストに反映する。「④再発防止チェックリストへの反映」画面にその一部が紹介されている。知識の構造化と効果的な検索によって、当該設計部品の過去の不具合知識だけでなく、他部品であっても本質的に共通な設計属性で起こりうる不具合知識もチェックリストに反映することができ、徹

底的な再発防止設計を行うことができる。

上記では再発防止設計チェックリストを紹介したが、他に以下に示すような活動も可能である。

- ・不具合事例や過去のFMEA表・DR議事録からの構造化知識に基づく変更点/変化点FMEAの実施
- ・FT図の知識の構造化によるFT図知識と技術情報の体系化と、FTAならびにFMEAへの活用
- ・製造ラインの不具合情報やMP情報の知識構造化による保全計画立案や設備設計への活用
- ・購買部品不良の知識の構造化による供給者に対する品質改善指導支援 等々

## 5. 知識の構造化のメリット

知識の構造化は、それ自体工数がかかる上、知識ベースの登録・保守管理や知識運用基準の整備など何かと負担になる作業が発生する。しかし構造化知識運用によって設計者が従来では気付いていない問題点を早期に抽出でき、質の良いFMEAやチェックリストの作成工数を減らすことができる。結果的にDRの負担も減らせる。詳細は、構造化知識研究所HP<sup>③</sup>を参照いただきたい。

実際に自動車産業や家電業界など多くの業界で不具合の構造化知識運用を実践し、有効性検証によって効果（設計者の気付き力向上による設計手戻りの減少など）を実感しているメーカーも数多くある。また、そのようなメーカーの設計者・技術者は必ずといっていいほど知識の構造化による不具合情報整理能力やリスク解析思考能力の向上という設計教育的な効果に言及する。知識の構造化によって、ひとから知識が生まれ、知識からひとが成長する相乗効果が生まれる。知識の構造化は奥が深い。読者諸兄とともに知識の構造化活動を発展させることができれば幸いである。

### 【参考文献】

- [1] 「不具合に関する設計知識の運用に関する研究 ～不具合に至る因果連鎖の知識構造の構築」, 田村泰彦, 飯塚悦功, 「品質」, 32, [1], 122-135, 2002
- [2] 「知識マネジメントの工学的アプローチ」, 田村泰彦, 品質管理学会誌「品質」, 35, [1], 18-32, 2005
- [3] 株式会社構造化知識研究所HP <http://www.ssm.co.jp/>