

論文の内容の要旨

論文題目 不具合に関する設計知識の運用法の構築
－知識構造に基づく本質知の獲得と活用－

氏名 田村 泰彦

近年、多種多様化した製品機能や高信頼性の作り込み、新製品開発期間の短縮などの相反する要求の実現のため、製品設計の重要性がますます高まっている。その一方で、製品やプロセスの設計不具合が、市場や量産工程、また製品開発時の試作・量産準備段階において後を絶たない。これらの不具合は、全生産品の回収や改修などに伴う費用の増大、また製品開発期間の延長や開発費用の増大など深刻な問題を引き起こしている。

設計不具合に特筆すべき特徴は、当該設計技術分野において既知で簡単な自然科学メカニズムに基づいており、また同じ発生メカニズムの不具合が多くの部品、ユニットに横断的に発生していることである。このような特徴をもつ不具合は、組織が設計の失敗経験および設計に関わる一般的自然科学メカニズムをもとに不具合に関する設計知識を再利用可能な形式で獲得・保有し、設計に対する要求から導出した設計案に対して、その妥当性の検討・評価（例えば、FMEA、デザインレビュー、検図、設計時のセルフチェックなど）に効果的に活用し、設計対象に起こり得る不具合の因果連鎖を予測できていれば未然に防げたはずのものばかりである。しかし不具合に関する設計知識は、設計不具合事例、故障解析シート、信頼性試験報告書など様々な文書の中に存在しているにも関わらず、実際の設計に広く活用できていないのが現状である。本研究では、不具合に関する知識が設計に広く活用できていない具体的な問題点を明確にし、組織が経験する設計不具合から将来の設計に十分に再利用できるようにその本質を知識化し、設計に活用することを実現する不具合に関する設計知

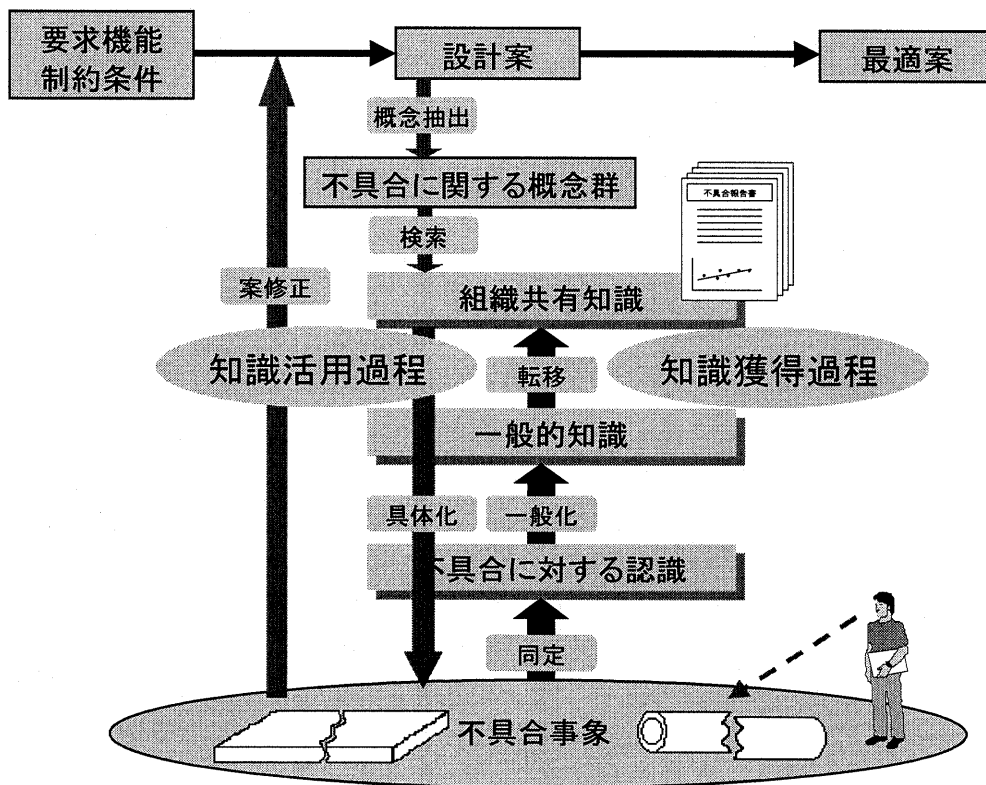


図1 知識運用過程のモデル

識の運用法を構築することを目的とする。

不具合に関する設計知識は図1に示すような知識運用モデルにしたがって獲得、活用されることによって、抽象化、具体化を繰り返す。

不具合が生じると不具合発生メカニズムの同定を通じて不具合対象に起きた不具合に対する認識を一時的な知識として獲得する。そしてその認識から、将来の設計対象に広く再利用できるように不具合発生メカニズムに必要な本質的な概念とそれらの関係を明確にし、不具合に対する認識を一般化、抽象化して、不具合に関する一般的知識を獲得する。一般的知識は様々な組織に転移され、既存の保有知識と整合性を保つように融合し、知識が増殖、精緻化される。(知識獲得過程)

設計者は導出した設計案に対し、それが具備し、製品ライフサイクルを通して与えられ得る不具合に関する一般的、抽象的な特性・属性群を抽出し、それらによって生じ得る不具合に関する知識を組織共有知識への検索を通じて抽出する。そして知識を設計対象に具体化し、果たして起こり得るかどうか定性的、定量的に判断し、結果として未然防止すべきものに対して設計案の修正を実施し、新たな設計案を形成する。この活動を繰り返し、最適案を導出する。(知識活用過程)

本研究では知識運用上の問題点を明らかにした。

1) 原因→結果の因果連鎖の一連の流れにおいて、論理の一部が抜け落ちた

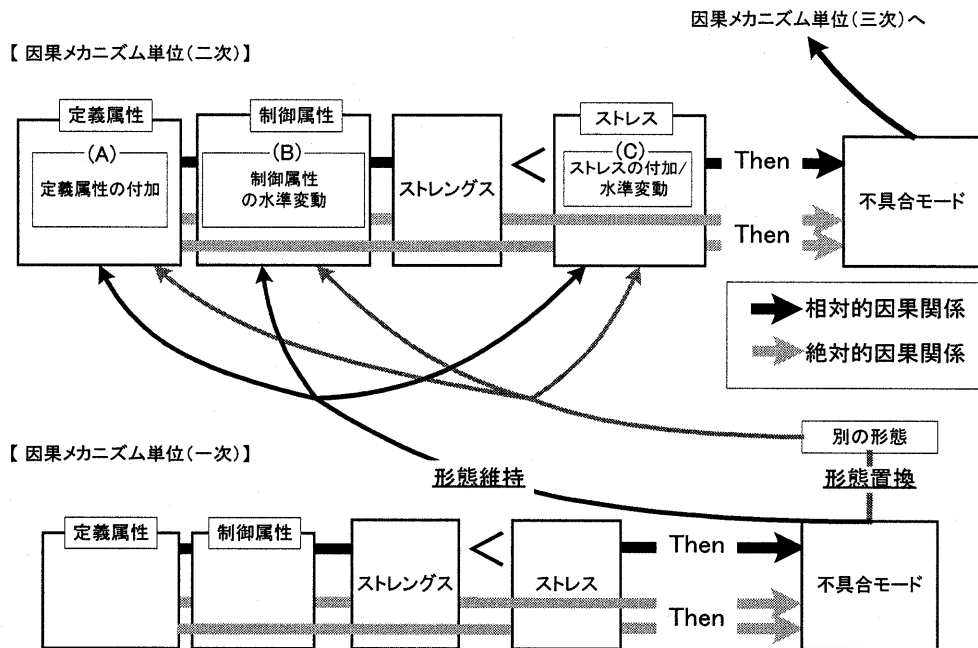


図2 因果連鎖の知識構造の全貌

- り、将来の予測的解析に必要な概念が不十分なために、因果連鎖の知識自体が不完全である。 →【一般化】
- 2) 因果連鎖の知識が不具合が発生した実体のモデルに限定されて知識化されており、不具合の本質的なメカニズムを抽象化、一般化して、広い対象領域に適用できる本質的属性群を抽出、体系化できていない。 →【一般化】
- 3) 獲得された一般的知識と既に整理・蓄積されている知識と関係が明確でないため、獲得した知識を転移し、体系的な組織共有知識を生成、最適化することができない。 →【転移】
- 4) 設計対象から、整理、蓄積されている一般的知識に辿り着けるように、不具合に関する概念を網羅的に抽出することができない。 →【概念抽出】
- 5) 検索を実施した結果、設計対象に対して必要かつ十分な知識を収集することができない。 →【検索】

不具合発生メカニズムの【同定】に関しては本研究では検討しない。本研究では1)～3)の問題点の克服を通じて知識獲得方法を、4)、5)の問題点の克服を通じて知識活用方法を提案し、不具合の知識運用法を構築する。

問題点1)～3)を克服するために、不具合に関する設計知識は、問題点それぞれに対応して網羅性、一般性、分節性という3要件を満たさなければならない。本論文では要件を満たすために、図2に示すような不具合の因果連鎖の知識構造を提案する。不具合は多くの原因→結果から構成される複雑な因果連鎖の結果として表れる。提案する知識構造は、設計技術的に考慮すべき望ましくない現象や状態の発生メカニズムをストレス-ストレングスモデルによる

分節で捉え、その分節ごとの論理的なつながりによって因果連鎖を体系的に獲得する。ストレス・ストレングスモデルでは、各分節において設計への再利用に必要な重要概念を網羅的に含むために以下の5つの基本概念により構成される。

不具合モード：一連の因果連鎖のなかで決定した解析対象において生じる機能喪失、低下に関わる一般、抽象的な現象、状態、特性

定義属性：不具合モードの発生メカニズムが適用できる一般的な対象領域を決定する属性、特性

ストレングス：不具合モード発生を防止するために定義属性を具備する対象に対して設計で意図的に作り込むべき機能性、不具合モードの耐性を示す総合的特性

制御属性：ストレングスの大きさの決定に関わる設計対象が具備する特性、属性

ストレス：定義属性を具備する対象に与えられる不具合モードを引き起こす特性群

また5つの基本概念間の関係性を正しく知識化するために、不具合モード発生メカニズムの型を提案する。

相対的因果メカニズム：

定義属性をもつ対象において、制御属性によって構成されるストレングスに対して、相対的により大きなストレスが与えられることによって、不具合モードが発生する。

絶対的因果メカニズム：

定義属性をもつ対象において、制御属性によって構成されるストレングスが喪失するか、特性として対象が具備していないことによって、絶対的に不具合モードが発生する。

絶対的因果メカニズムは、ストレングスが喪失していることによってストレスの存在がなくとも必然的に不具合モードが発生する場合と、ストレングスを具備していないことによって何らのストレスが与えられると必然的に生じる場合という2つの型がある。

不具合モード発生メカニズムのつながりにおいて、ある不具合モードは次の分節のなかにおいて、A) 定義属性の付加、B) 制御属性の水準変動、C) ストレスの付加／水準変動 のいずれかであると捉える。また不具合モードがA)、B)、C)となる論理的解釈を容易化するために以下の2つの捉え方がある。

形態維持：不具合モードの形態が次の不具合発生における原因を直接的に表しているため、その不具合モードの形態を変えることなく次の分節の構成要素に接続すること

表 1 整理知識の具体例

【例1】

定義属性	制御属性	ストレングス	ストレス	不具合モード
・樹脂 ・ポイド	・ポイド径	衝撃強度	・突発的衝撃荷重	衝撃破壊

定義属性	制御属性	ストレングス	ストレス	不具合モード
・射出成型 ・高流動性樹脂	・流動特性 (g/min)	耐ポイド性	・射出圧 ・射出温度	ポイド

【例2】

定義属性	制御属性	ストレングス	ストレス	不具合モード
・曲げ加工 ・金属 ・コーナ	・コーナR ・破壊靱性↓	疲労強度	・繰り返し曲げ応力	疲労破壊

定義属性	制御属性	ストレングス	ストレス	不具合モード
・鉄鋼	・Ni含有量 ・炭素含有量	耐塑性遷移性	・低温	靱性低下

【例3】

定義属性	制御属性	ストレングス	ストレス	不具合モード
・ケーブル被覆 & ・金属板	・被覆硬度 ・被覆厚さ	耐摩擦破れ性	・動力源からの振動 ・ケーブルと 金属板の強い接触	被覆摩擦破れ

定義属性	制御属性	ストレングス	ストレス	不具合モード
・ケーブル被覆 ・配線	・ケーブル長さ ・他部品との 取り合い	配線引き回し性	・配線作業の仕方	被覆の他部材への接触

【例4】

定義属性	制御属性	ストレングス	ストレス	不具合モード
・摺動部材 & ・走行体	・摺動面の面粗度↑	摺動性	・摺動摩擦係力 L・接触力	スティックスリップ

定義属性	制御属性	ストレングス	ストレス	不具合モード	別形態
鉄鋼		防錆性	塩水	錆び	面粗度大

【例5】

定義属性	制御属性	ストレングス	ストレス	不具合モード
・Metering Blade & ・Roll	・M/B-Roll間接触力 ・M/B-Roll接触面積↓	M/Bの OIL供給安定性	→	OIL量増大

定義属性	制御属性	ストレングス	ストレス	不具合モード	別形態
・Metering Blade & ・Roll	・BladeエッジR ・Bladeの自由長 ・M/B-Roll間接触力	M/B接触面の トナー耐堆積性	・Roll表面の付着物 L・トナー・紙粉	M/BとRollの間に 付着物堆積	M/B-Roll間 接触面積低下

形態置換：不具合モードの形態を次の因果関係が論理的に理解可能になるように異なる視点から別の現象や状態に解釈し直し、次の因果メカニズム単位に接続すること

定義属性が適切に一般化され、広い設計対象に再利用できる概念を形成するために以下の12個の観点を用意する。

機能、動作原理、構造、位置／空間、形状、材質、加工方法、組立方法、形状、寸法、構成品目、付加的現象、複合概念

これらの観点を多角的、複合的に適用することによって設計に再利用可能な本質的、一般的属性を形成する。

5つの基本概念及びメカニズムの型と不具合モードの接続法によって、獲得される不具合モード発生メカニズムの知識の網羅性を実現する。また基本概念と定義属性の12個の観点によって知識の一般性を実現する。また分節表現および不具合モードの接続法によって知識の分節性を実現する。整理した知識の具体例を表1に示す。

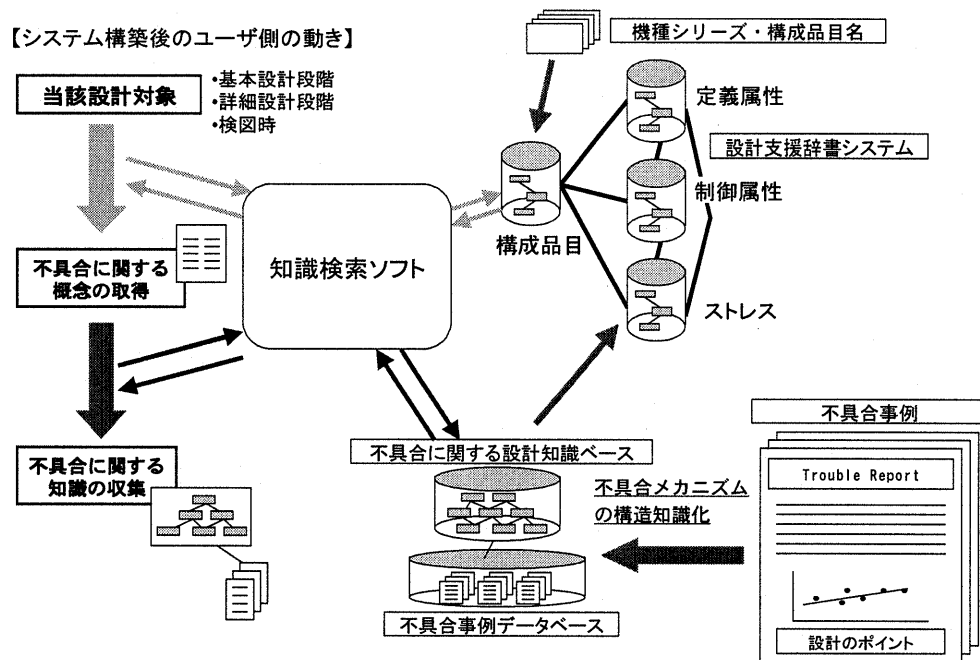


図3 不具合に関する設計知識の活用方法の概要

問題点4), 5)を克服するために本論文では知識活用システムを構築する。概要をあらかじめ図3に示す。システムにおいて構造化された知識をもとに設計支援辞書システムを構築する。辞書は基本概念ごとに構築する。基本概念ごとに収集された概念のIs-a, Has-partの関係を幾つかの観点のもとに構築し、さらに各辞書間の関係付けを概念の内包性や技術的知見のもとに実施する。また一般的に設計現場で利用されている実体モデルに関する概念(部品名, ユニット名などの製品構成品目)の辞書も同様に構築する。

設計の妥当性の検討・評価の際, 設計者が形成した設計案から, 設計対象が具備する不具合に関する本質的な概念を漏れなく抽出できるように, 構成品目及び図面への指示内容をもとに各辞書横断的に概念間を敷衍させる。また概念同士の排他的関係や設計対象に与えられない属性, 特性も同時に獲得し, 知識ベースへの検索の際に適切な検索の制約文を作り, 知識の取捨選択を実施する。検索は基本的に概念検索を用いる。結果として抽出した不具合に関する概念と構造化した知識との適合性を解釈して重要だと判断されるものが, 無駄な知識が削除されつつ優先的に提供される。

最後に本論文で提案する知識運用法の概要を図4に示す。設計過程や市場・工程で発生した不具合を把握, 記録し, 不具合情報を獲得する。それをもとに提案する知識構造に基づいて知識のエッセンス(構造化知識)を得る。さらにそれを関連組織に必要な分節を転移する。各組織は設計支援辞書システムを構築し, 設計に活用する。その結果新たな不具合の経験が得られるとさらに知識

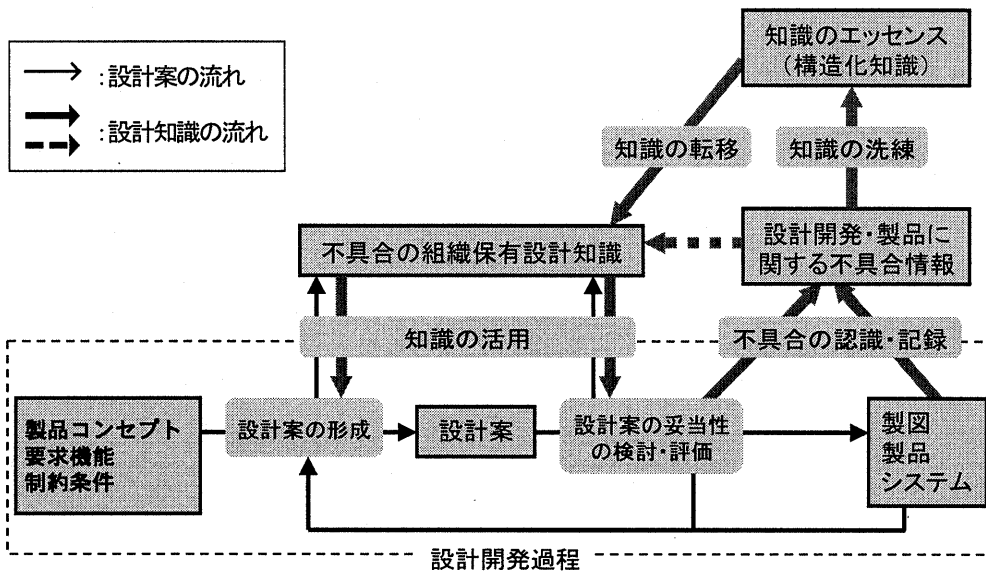


図4 不具合に関する知識運用の全体像

の獲得を実施する。この知識の循環的プロセスを通して、不具合に関する設計知識の質を高め、必要な量に集約させる。