

論文の内容の要旨

論文題目

設計・生産における製品の不具合情報の 統合マネジメントに関する研究

氏名 古賀 毅

本論文では、挙動表現を用いた設計対象のモデル化・製造工程のモデル化を行うことにより、両者を統合化し、製品の設計・生産における不具合情報を統合的にマネジメントすることで、不具合の発生を上流から抑えることが可能な設計手法を提案した。さらに、提案した設計手法を、プロトタイプ・システムにより適用検証することで、その有効性を確認した。

製品開発における不具合の未然防止の研究の多くは、設計上流段階での不具合検討の重要性を指摘している。それは、不具合検討・未然防止が上流に位置すればするほど、費用的・効果的に有利な製品開発を行うことができるためである。しかしながら、上流から不具合検討を織り込み効率的に下流へと活かしていくこと、を実現している研究は、ほとんどない。不具合は製品機能と表裏一体であるが、上流になればなるほど、製品機能の表現が難しく、さらに製品機能の統一的表現は存在しないというパラドックスが存在しているためである。これを製品不具合表現の困難性と呼ぶ。

また上流から下流まで設計を統一モデルにより支援するためには、設計者の思考過程を表現可能なモデルが要求される。しかしながら、設計者が対象概念を具現化していく過程を表現可能なモデルは、存在していない。これを設計進行過程表現の困難性と呼ぶ。

さらに、設計と生産の統合モデルが求められている。それは、不具合事象は設計から生産までを横断する因果構造によって発生しており、どちらかだけの記述・検出・対策では限界があるからである。しかし、不具合という観点から設計と生産を統合することが可能なモデルは、提案されていない。製造工程における不具合事象は見えにくく、その因果構造を製品の不具合の表現とともに体系的に整理した研究は、行われていないからである。これを設計・生産統合モデルの必要性と呼ぶ。

本研究では、この3点の困難性を克服する統合モデルを提案した。まず設計進行過程表現の困難性に対し、設計者の対象認識が具現化していくプロセスに着目し、成長する設計対象の情報モデルを提案することで、解決を試みた。具体的には、設計の進行とは、対象の概念が具現化していくプロセスであるとし、対象の概念が具現化していく過程には、情報の複雑化が伴うことに着目し、成長する情報モデルにより設計進行過程を表現可能な手法を提案した。

また、製品不具合表現の困難性に対し、設計対象の状態に着目した製品挙動表現を導入することで、解決を試みた。製品機能を、製品挙動に対し主観的に与えた解釈であると定義すると、不具合とは、意図しない製品挙動のうち、望ましくない挙動を含むこと、もしくは意図した挙動が不足することである、と定義することができる。この定義に基づき、製品挙動を決定付ける製品情報を、設計者の意図する要求挙動を記述し比較・反映させながら、設計していくことが可能な手法を構築した。

さらに、成長するモデルにより設計進行を表現する手法により、この製品挙動を段階的に要求挙動と比較しながら設計していく手法を提案した。この手法により、製品挙動の段階的な作りこみを実現し、不具合の検討と低減を設計の上流から実施していくことが可能な設計手法が達成できる。さらに、この段階的な製品挙動の設計手法の有用性を、定量的に確認した。この手法により、設計の上流段階から、製品不具合を検出し、回避するための意思決定を下し、段階的に継承することで設計を進める手法を実現化した。このことにより、不具合の少ない製品の設計が達成できるものと考えられる。

また、製品挙動で着目した状態の概念を生産へと導入し、品質状態と製造途上状態を表現可能なモデルにより、可視化しにくい製造工程の不具合を体系的に記述することが可能なモデルを提案した。具体的には、製造工程を、作用主体である工程作業と、作用対象である製造対象に分離して考える手法を提案した。この概念の分離に基づき、製造工程の機能は設計で定められた属性を作り出すことであるとし、製造対象内部の品質の状態遷移モデルと、製造工程の状態遷移モデルを定義した。この両者を因果により結びつけることで、製造工程を時々刻々と変化しながら伝搬する製造対象の品質情報のモデル化を行った。

最終的に、設計・生産統合モデルの必要性に対し、この製造工程における状態を軸とした不具合の体系的記述モデルと、同じく状態の記述を軸とした製品挙動・製品不具合の表現モデルを統合化することで、設計から生産にまたがる因果構造により発生する不具合を、体系的に記述可能なモデルを提案した。

以上提案した2点のモデルを統合化すること、つまり製品挙動の設計手法により段階的に生成される製品情報に対して、設計から生産にまたがる因果構造を記述可能なモデルを統合化することによって、目的であった製品開発のスパイラルによる不具合の上流段階からの未然防止を実現する設計手法が提案できたと言える。

以上の設計から製造までを段階的に不具合の検討を行いながら情報を生成していく過程において、得られる情報構造を用いて、各構成情報を要素化・概念化・関連のモデル化を行い、再利用性を高めることで、この段階的な設計・製造工程設計手法の上で有用に機能する不具合データベースの構築手法を提案した。このデータベースを用いて、設計の各段階で、設計者に対してデータベースから情報供与を行うことを検討する。この結果、設計者が考え及ぶ範囲を広げ、過去において記述した知識を、未来の製品開発へと活かせるようになることが期待される。

対象がモデル化され、表現形式が定められると、その情報形式に基づくデータベースを構築することが出来る。記述対象となるモデルの提案から、知識の構造化を導き出す手法は、その利用の形態が明確に宣言されているために、再利用性が高い手法である。本研究で提案した、製品挙動と製造工程の設計活動の上で、有効に活用できる不具合情報であれば、それはデータではなく知識であるということが出来る。

そこで、製品および製造工程を段階的に設計していく上で、設計者が考え及ぶ範囲を広げることを目的とした知識情報の獲得支援を行うため、設計と製造のモデルに基づいて、不具合に関する記述された情報を知識化する手法を提案した。知識の構造化のためにオブジェクト指向の考え方を導入し、本研究で提案する設計生産統合モデルによる設計に親和性が高いデータベースの種類・機能を導出した。具体的には、汎化・特化の関係に従い概念の分類を行う概念化データベース、全体・部分の関係に従い部品化・要素化・再結合を可能とする単位要素データベース、If-Then に代表される推移関連を表す因果データベース、現象を表しデータに基づく事例データベースの4つのデータベースを、統合モデルに基づき提案した。

以上に提案した設計手法に基づき、設計・生産・不具合情報の統合システムのプロトタイプ・システムを実装し、適用検証を行った。簡単な設計例を対象に、段階的な不具合を考慮した製品挙動および製造工程の設計手法が、確かに設計者の支援に繋がることを定量的に示した。また、実際に稼働している製造工程に対して適用することにより、実対象に対しても提案した不具合情報の記述・獲得手法が有用に機能することを確認した。さらに、複雑な製品に対する実行例を通して、大規模問題に対する適用可能性を検証した。以上の適用検証の結果、本研究で提案する手法が、確かに設計から製造にわたる因果構造により発生している不具合を捕捉し、また上流で決定した製品および製造工程に関する重要な情報を正しく継承しながら、詳細段階の設計を行うことで、設計上流段階からの不具合の発生因子を減少させることが可能な製品開発スパイラルを実現することが示せた。

構築したプロトタイプ・システムでは、マスター・モデル、設計対象の構造表現モデル、設計対象の振る舞いを表現するモデルに関して、計算机上でモデル化する構造を提案している。さらに、設計者の思考を妨げないために導入した自由な視点移動が可能な情報の可視化手法を提案・実装し、設計における有用性を確認した。この上で、製造と設計をまたがる因果構造によって発生している不具合の分析を、設計と製造の統合シミュレーションによって検出できることを示した。

本研究の成果により、製品開発における試作製品レスや、設計ミス of 早い段階からのつづしこみにより、手戻りがなくなり、開発期間が短縮できるという効果が期待される。さらに、設計・生産の情報を関連部門が互いにレビューすることにより、設計・製造お互いに、領域外の情報を提供し合うことが実現化される、と考えられる。また、実機でも分からない製品の内部構造や挙動、あるいは製造工程における品質の遷移を見ることができ、新しい技術面でのブレイクスルーの機会を創出する機会を作ることが可能になる、という観点で、本研究の有用性を示すことが出来る。