

設計プロセス品質向上のための設計内部における不確実性の定量化

Study of Uncertainty on Engineering Design for the Improvement of Engineering Process Quality

藤本 眞一郎 (東京大)

中沢 俊彦 (東京大)

増田 宏 (東京大)

Shinichiro FUJIMOTO, Tokyo University

Toshihiko NAKAZAWA, Tokyo University

Hiroshi MASUDA, Tokyo University

Manufacturing industry now confronts two antithetical stresses. One is shortening of the duration of product development, and the other is the growth of complexity by changing technology. In these situations, the management of product quality is a very important challenge. We have to focus on not only the output quality but also process quality. In this study, we use an RDC model, which decomposes an engineering process into three elements; Requirement, Definition and Confirmation. According to this decomposition, the engineering process can be converted from tacit knowledge to explicit knowledge, and we can bring out the uncertainty on engineering design for the improvement of engineering process quality.

Key Words: RDC model, the engineering process, process quality, Uncertainty,

1. はじめに

国際的競争力を高い水準で維持するために、製造業の各企業は競争激化に伴う開発期間短縮とテクノロジーの変化による複雑性増大という2つの相反する圧力に直面している。こうした環境下で企業は設計プロセスを計画していくのであるが、このように製品の複雑性が増大してしまうと、設計者が設計プロセス全体にわたって作業の相互関係を把握することが難しくなっている。そのため、製品品質を包括的に管理することが非常に困難である[1]。いずれにせよ、設計者は設計成果物に対する品質管理のみに注目しているだけでは製品品質を確保することはできず、設計成果物を生み出す設計プロセスそのものの品質向上に着目しなければならない。

本発表では、設計プロセスのモデル化手法である RDC モデル(要求、定義、確認モデル)により製品要求と設計定義の関係を明確化し、設計者の頭の中に暗黙知として存在する設計開発プロセスを記述する。その過程で設計プロセス内部の不確実性を定量化し、設計プロセス品質の可視化する方法について考える。

2. 設計プロセスに内在する不確実性

製品開発において設計段階が果たす役割は大きく、製品品質の70%が設計段階で決定されるとの指摘もある[2]。そのため、品質機能展開やDfX(Design for X)などの設計手法に基づく各種ツールやCAEシステムなどが開発されている。しかし、実際には製品開発における多くのインプットが設計者の頭の中に暗黙知として存在するため、これらの暗黙知をどのようにして可視化するのが、設計プロセスの品質を考える際に重要である。

一般に設計者は必ずしも検証されていない情報を元に設計することが多いため、それらの情報が設計プロセスに不確実性をもたらす。こうした不確実性を明示的に評価することは、設計プロセスにおける暗黙知を形式知に変換する役割を果たすと同時に、今までデザインレビューやチェックリストなどの個別管理では漏れだしていた設計成果物の潜在的な

不具合を事前に設計者に明示する役割を果たす。我々の目的は、設計プロセス内部に内在する不確実性を定量化することで、設計プロセスそのものの品質を改善するとともに、設計成果物の品質向上に貢献することである。

3. RDC モデルを用いた不確実性の定量化手法

3-1 RDC モデルの紹介

設計開発プロセスの分析、記述手法として RDC モデルが存在する[3]。RDC モデルでは、設計開発プロセスを要求(要求や設計条件の認識作業)、定義(製品の仕様や構造、形状に関する意思決定作業)、確認(製品定義が要求を満たしていることの検証作業)という3種類の設計要素に分類する。またそれぞれ3つに分類された設計要素は図1のようなネットワーク図の関係を持っている。RDC モデルは暗黙知として存在する設計プロセスを形式知に変換する方法論であり、またプロセスに内在する数々の設計要素を構造化し網羅的に洗い出すための手法であると考えられる。この点において、RDC モデルは設計プロセス内部に内在する不確実性を洗い出すために有効である。

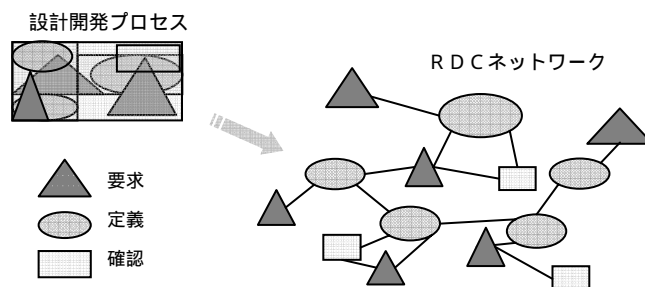


図1: RDCモデルの概念図

3-2 RDC を用いた不確実性の評価

さらに我々は、RDC モデルを用いて要求、定義、確認、の設計要素を洗い出したあと、各要素にどの程度の不確実性がある

のかを定量的に評価する試みを行っている。

- (1) 要求の不確実性 実際の設計プロセスでは様々なレベルの要求が混在している。例えば図2の要求は3段階あり下に行くほど不確実性が高い要求であることがわかる。このようにしてRDCモデルで洗い出された要求に対して、不確実性を評価することができる。
- (2) 定義の不確実性 要求と同様に、定義にも不確実性のレベルが存在する。図2においては椅子の足の数は明確な数値により決定されるため設計ロジックがあるが、表皮の材料は明確な設計ロジックがないため、不確実性が高いといえよう。このようにして定義の不確実性も評価することができる。
- (3) 確認による不確実性の低減 確認は要求や定義の不確実性を低減するための重要な役割を担っている。確認にも様々なレベルのものが存在し、不確実性の低減度合いを分類することができる。実物や実環境テストのような検証は明らかに欠陥を低減してくれるが、マーケティングテストのような検証では不確実性を完全に取り除くことができない。

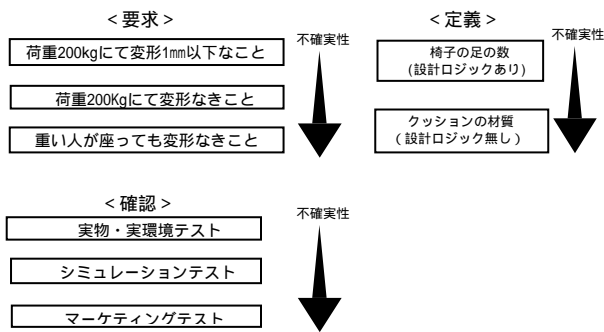


図2：座椅子設計における要求・定義・確認の例

3-3 不確実性可視化のフレームワーク

ここでは、評価した要求、定義、確認の不確実性（及びその低減値）を設計プロセスの中でどう表現するかについて示す。まず、上記の(1)要求の不確実性、(2)定義の不確実性、(3)確認による不確実性の低減、のそれぞれに関して、我々が独自に定めた指標を用いて各自の値を各自5段階評価で得点化する（得点化指標についてここではその詳細は省く）。

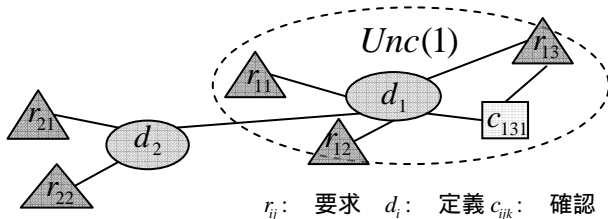


図3：RDCネットワークと不確実性の関係

その後、不確実性 $Unc(i)$ を、定義 d_i とその定義にリンクされている要求と確認を含めた単位（図3の点線部の内側の部分）ごとに定める。その際の不確実性値 $Unc(i)$ の算出方法は以下の3.1式のようにした。

$$Unc(i) = f(d_i) \times \sum_{j=1}^N \left[g(r_{ij}) \times \sum_{k=1}^M red(c_{ijk}) \right] \times \sum_{k=1}^M red(c_{ik}) \quad (3.1)$$

$f(d_i)$ は定義 d_i の不確実性の値を示し、 $g(r_{ij})$ は要求 r_{ij} の不確実性の値を示す。また $red(c_{ijk})$ は確認 c_{ijk} による不確実性低減割合を示し、ここには1より小さい値が入る。図3はRDCネットワークと不確実性の関係を示しているが、図中でいえば、点線で囲っている部分をひとまとめにして $Unc(1)$ という値を算出する。

このように1つの定義 d_i を基準として不確実性の値 $Unc(i)$ が定められるが、このことはつまり、製品のパラメータや形状など、設計のある意思決定作業に対して不確実性の値が算出されたことになる。

4. 複写機のスキャナー設計による事例検討

上記に記したRDCモデルを用いた不確実性の定量化フレームワークを簡単な事例にあてはめて検証をおこなった。スキャナーの設計プロセスに関してRDCモデルを用いて記述していくと、要求要素108、定義要素98、確認要素98の計302の設計要素に分解された。

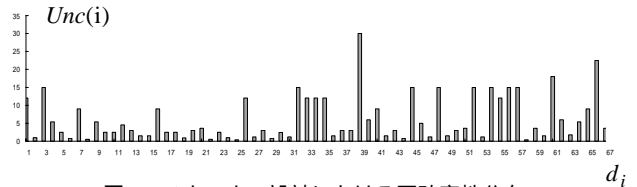


図4：スキャナー設計における不確実性分布

図4はスキャナー設計における不確実性の分布を示したものである。横軸に定義、縦軸に不確実性の値をとり、設計の意思決定要素ごとの不確実性の値をプロットしている。中でも不確実性が高かったのは、スリット形状、ミラークリップの金型、各部品のリサイクル性に関する仕様であり、スキャナー設計者が詳細仕様を把握していない下位部品のものがあげられた。一方で、不確実性が低かったのはヒューズやランプといった火災（安全性）に直結する仕様であり、これらは測定基準が明確化されており、かつ念入りの確認・テストが行われているため、不確実性が既に押し下げられていることがわかった。このように本モデルによって、設計のどの部分にどのくらいの不確実性があるかを可視化することができ、それによってアウトプットされた設計成果物の不確定さの度合いを網羅的に把握することができた。

5. 結論

RDCモデルを用いることによって、製品設計プロセスにおける設計要素を記述し、それらの不確実性を評価した。また設計プロセスのどの部分にどのくらいの不確実性があるかを可視化することで、設計成果物の不確実性の度合いを網羅的に把握することができた。

なお今後の課題としては、さらに時間軸とコストの概念を本モデルに取り入れることで、より本質的な意味での設計プロセスを管理するためのシステムを構築していく。

参考文献

1. Ulrich, K.T. and Eppinger, S.D.; "Product Design and Development"(1995), McGraw-Hill, Inc.
2. Ullman, D. G., "The Mechanical Design Process", (1992), McGraw-Hill
3. 中沢俊彦, "要求・確認・定義モデルによる製品開発プロセスの分析", 設計工学, 第38巻, 第12号 (2003)