

製品設計プロセスに内在する製品リスクの明示化

Visualizing product risks in a design engineering process

中沢 俊彦 (東京大)

○小川 健太 (東京大)

清水 剛 (ストーンリッジ)

増田 宏 (東京大)

Toshihiko NAKAZAWA,
The University of Tokyo

Kenta OGAWA,
The University of Tokyo

Takeshi SHIMIZU,
Stoneridge

Hiroshi MASUDA,
The University of Tokyo

Products involve some risks when they are delivered to the markets. If such product risks can be identified before product deliveries, companies may have chances to minimize the impacts by preparing for contingencies such as product failures. Currently, methodologies such as Failure Mode Effect Analysis and Probability Risk Assessment are used to control and reduce risks during product development. However, because of the methodologies require a lot of human hours to apply, practitioners assess product risks in predetermined elements of a product, but entire product elements. This paper proposes a novel methodology to identify product risks by a comprehensive assessment of product elements.

Key Words: RDC model, design engineering process, design information, product risk, uncertainty.

1. はじめに

今日の多くに設計品質管理手法のほとんどは、個々の設計パラメータの確からしさを評価することを目的としているが、市場での故障やトラブルの原因となる設計品質問題は、それらの評価の対象から漏れた領域より発生することが多い。そこで本研究では、設計全体に渡って網羅的に設計の確からしさを評価する方法について検討を行った。

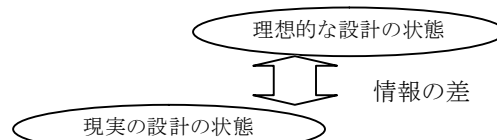


Fig.1 Probability of design information

2. 設計の確からしさ

R. V. Hartley は、判別可能な N 個の状態を持つ情報は $\log_2 N$ の情報量を持つとした⁽¹⁾。C. E. Shannon は、確率 P で起こる状態について、その状態が生じることを知った時に獲得する情報量の大きさを $-\log_2 P$ で定義した⁽²⁾。また、中沢は、製品が本来持っている性質を求める性能範囲にコントロールする時の“たいへんさ”をレクサット (満足度の逆数: reciprocal of satisfaction) という量によって定量化した⁽³⁾。これらの研究は、ある事象の状態はその状態が持つ情報に注目し定量化が可能であることを示唆している。

本研究では、まず設計情報が設計対象である人工物についての全ての要求を 100% 満足している「理想的な設計の状態」を仮定する。実際の設計においては、設計対象に対する要求がはっきりしない、要求を十分満足する設計解が得られないなどといった理由により、理想的な設計の状態とは異なった状態である「現実の設計の状態」をもって設計作業が完了することが高い可能性をもって発生する。従って、理想的な設計の状態とはあくまで仮想的な状態である。

設計活動は人工物を製造するための設計情報を創造することに他ならないので、図 1 に示すように、この理想と現実の状態の差とは、それらの状態が持つ設計情報の確からしさの差と考えることができる。本稿では、この情報の確からしさを Failure Mode and Effect Analysis や Fault Tree Analysis, Event Tre などの今日広く用いられている諸手法と同様に直感的に定量化することによって、設計プロセス内に内在し、設計作業によって製品に転写されるリスクの相対的な大小を可視化する方法について述べる。

3. RDC モデルによる製品リスクの定量化

設計情報を創造する源は設計プロセスを構成する多数の設計作業であるので、本研究では設計プロセス上の個々の作業の状態を精査することによって設計情報の理想と現実の確からしさの差を求めることにする。そのために、RDC モデル⁽⁴⁾を発展させた体系的 RDC モデルによって設計プロセスをプロセスの構成作業要素に分解する。そして、それら作業一つ一つの確からしさを評価し、作業間の関連性を考慮して、設計情報の理想と現実の差を設計対象要素ごとに算定する。

3-1 体系的 RDC モデルによる設計プロセスのモデル化

体系的 RDC モデルは設計プロセスを体系的な枠組みに嵌めて分析するモデル化手法であり、図 2 に示すように、設計プロセスを外部要求の認識、概念定義、内部要求の認識、詳細定義作業とそれらに対する確認作業に分解する。分解された各作業は設計作業の流れに沿った依存関係を有している。

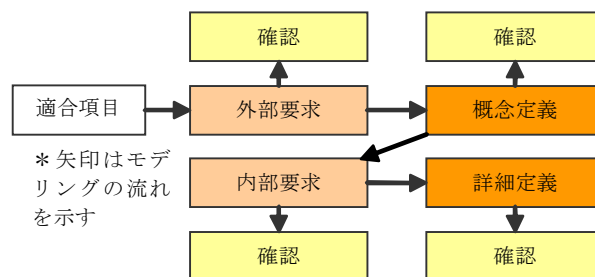


Fig.2 Framework of a systematic RDC model

3-2 分解された設計作業の確からしさの評価

体系的 RDC モデルによって分解された設計作業は、表 1 に示す作業種別の特徴に応じて設定された主観的な指標によって確からしさを評価することとする。一例として、概念定義と詳細定義の確からしさの指標のひとつである「定義の根拠」の評価項目と想定した確からしさの度合いを表 2 に例示する。

Table.1 Index item of probability

RDC カテゴリー	確からしさ指標項目
外部要求	成熟度
	解釈の多様性
	出所の正当性
内部要求	信憑性
	定量性
概念定義・詳細定義	定義の根拠
	トレードオフにおける優先度
外部要求確認	網羅性
	測定可能性
内部要求確認	網羅性
	現実との相関性
概念定義・詳細定義確認	網羅性
	現実との相関性
	測定可能性

Table.2 Index of probability for definition

定義の根拠	確からしさ
十分な実績に基づいている	1
標準、証明された理論、実験データ、作図、計算等の裏付けによる	0.9
類似のケースから想定できる	0.7
経験・ノウハウに基づいている	0.6
技術者の勘である	0.5

要求及び定義の評価指標はそれらの要素が 100%確からしい場合に 1 となり、それよりも確からしさが低い場合にはその状態に応じて 0.7, 0.5 などの指標が割り当てられている。これとは逆に、確認の評価指標は確認作業が確認の対象となる要求又は定義要素の確からしさを高める度合いに応じて 1.5, 1.2 などと設定する。それぞれの数字は言葉の持つ意味に対して直感的に重み付けをした結果得られたものである。

以上のような評価指標に基づいて、体系的 RDC モデルによって分解された作業要素の確からしさを一つずつ評価する。さらに複数の指標によって得られた確からしさを次式によって合成することにより、各作業要素の設計情報の確からしさの相対的な大小を評価する。

$$P = \ln \frac{1}{\prod p_i} \quad (3.1)$$

ここで、 p_i は各作業要素をその作業要素の RDC の種別ごとに設定された指標によって評価した確からしさの度合いを示す。例えば、ある詳細定義の根拠として、十分な実績に基づいて決定されている場合は、その評価指標 p_i は表 1 に示すように 1 (100%) となる。詳細定義のもう一つの評価指標であるトレードオフにおける優先度の評価指標が 0.7 と判定されたとすると、その詳細定義の確からしさ度合いは $1 \times 0.7 = 0.7$ となり、理想的な状態との差は次式によって求める。

$$P = \ln \frac{1}{0.7} = 0.36 \quad (3.2)$$

よって、この詳細定義の状態と理想的な状態との確からしさの差は 0.36 と計算される。

3-3 RDC ネットワークを考慮した製品リスクの合成

ある定義の確からしさは図 3 に示すような一つの定義要素に関連する RDC ネットワークの全体を考慮して決定される。

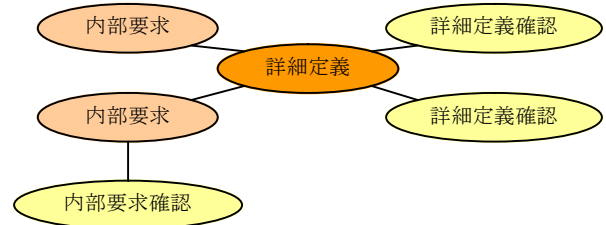


Fig.3 RDC network

例えば、3.2 式の詳細定義に確からしさ度合いが 1.5 と 1.2 の確認作業が関連しているとすると、この詳細定義の確からしさは、

$$P = \ln \frac{1}{0.7 \times 1.5 \times 1.2} = -0.23 \quad (3.3)$$

と負の値となり、理想的な状態に対して設計の確からしさが過多の状態であると計算される。

このようにある詳細定義要素の RDC ネットワーク (図 3) を考慮した時の理想的な状態との確からしさの差 P_{DD} は次式によって計算することができる。

$$P_{DD} = \ln \frac{1}{\prod p_{IRi} \times \prod p_{CIRi} \times \prod p_{DDi} \times \prod p_{CDDi}} \quad (3.4)$$

ここで、 p_{IRi} は全ての内部要求の確からしさの累積を示す。

同様に p_{CIRi} は内部要求確認の確からしさの累積を、 p_{DDi} は詳細定義の確からしさの累積を、 p_{CDDi} は詳細定義確認の確からしさの累積をそれぞれ示す。

このように、全ての概念定義と詳細定義が理想的な状態になるために必要な確からしさを計算することによって、定義ごとの製品リスクの大小を判別する。

4. 自動車用灯火器事例への適用

自動車用灯火器の設計プロセスにおける製品リスクの明示化を試みた。表 3 には分析された作業要素数を、表 4 にはそのサンプルを示す。また、図 4 に、詳細定義の確からしさを計算した結果の一部を示す。図 4 のバーグラフにおいて、左側に突出している場合は確からしさの過多を、右側に突出している場合は確からしさの不足を表している。

Table.3 The number of the design work elements of the car light device

適合項目数 22	
外部要求確認 6	概念定義確認 9
外部要求 86	概念定義 41
内部要求 54	詳細定義 85
内部要求確認 6	詳細定義確認 40

Table.4 The example of the design elements of the car light device

適合項目	顧客品質基準
外部要求確認	なし
外部要求	基準間の公差 0.5mm 以内
	基準とレンズ表面の公差 0.7mm 以内
	レンズに気泡やフィンガープリントなど異常なきこと
概念定義確認	ハードコート品質顧客承認
概念定義	ロボットによるレンズとハウジングの固定
	ハウジングはPP射出成形品とする
	レンズはPC射出成形品とする
	ハードコート処理はクリーンルームにて行う
内部要求確認	限度見本サンプルによる顧客との合意
内部要求	成型時のハウジング公差 0.3mm 以内
	成型時のレンズ公差 0.3mm 以内
	レンズ表面の 0.3mm 以上の気泡, 埃付着 1000mm ² に 3 個以下
	完成品検査
詳細定義確認	ハウジング材質 PP タルク入りとする
	ハウジング成形機サイズの決定
	レンズPCグレードの選定
	金型メーカーの選定
	クリーンルームの管理基準の決定
	工程内検査基準の決定

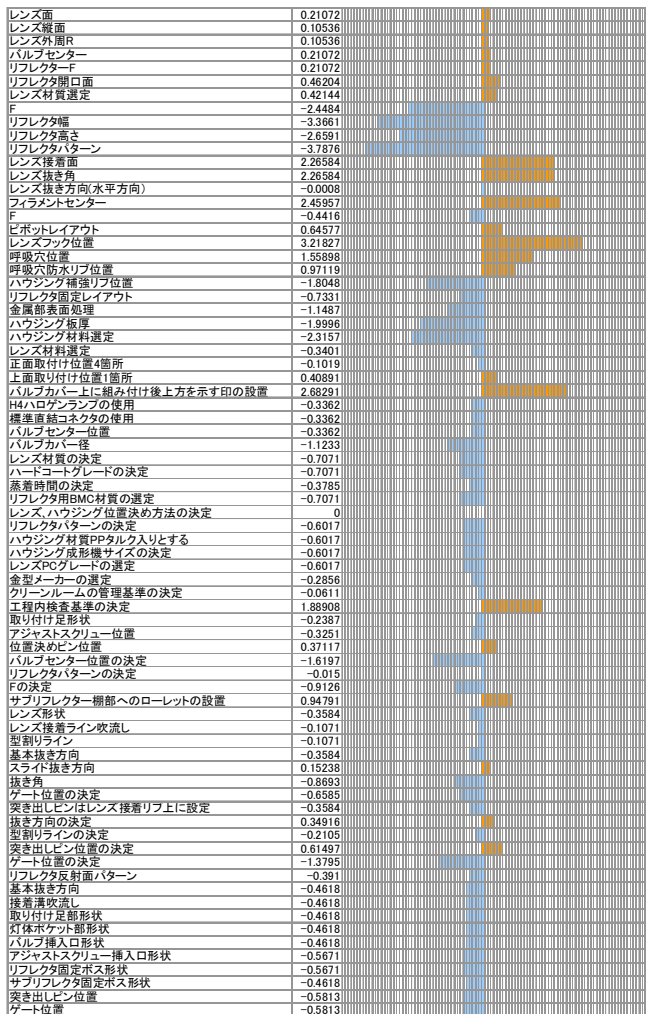


Fig.4 Distribution of probability

表3には、今回、体系的RDCモデルによって分析した設計用素数を示しているが、これは従来のRDCモデルによって分析を試みた際の抽出量と比べて、要求数で2.1倍、定義数で2.3倍の抽出量となっており、体系的な流れに沿って設計プロセスの解析を行うことにより、設計要素がより多く抽出可能であることを証明している。

図4において、設計情報の理想的な状態との差が相対的に大きいと算定された詳細定義要素には、車両レイアウトに関わる要素(ムリな設計を強いられているためと推定される)、標準的な対処方法が確立していない防水に関わる定義要素、サービス要件や製造要件など設計段階で曖昧な要件への適合性が要求されている定義要素などが目立つものとして挙げられる。

逆に機能要件や顧客試験要件など管理の厳しい要件に対しての適合が求められている定義要素は確からしさが過多であるとの計算結果となった。これは設計プロセス内での作業管理が慎重かつ幾重にも為されているためであると考えられる。

5. 結論

本稿では、現実の状態と理想的な状態との設計の確からしさの差を主観的な判定基準を元に測定することによって、設計プロセス内での製品リスクの相対的な大小が判定可能であることを示した。この方法は、従来困難であった設計全体に渡った設計完成度の定量的な計測を可能にし、設計に起因する製品リスクの流出(特に、市場での故障やトラブル)の未然防止に役立つことが期待できる。さらに、設計情報の不足や過多を明示的に示すことによって、設計プロセスの効率化や適正なりソース配分の促進が可能になると思われる。

今後は、さらなるモデリング精度の向上、特に明確なモデル記述のためのガイドの作成と、計算値の絶対的な評価を可能とする、より信頼性の高い確からしさ判定指標の構築を、手法の簡便性や実用性を損なうことなく進めてゆかなければならないと考える。

参考文献

- Hartley, R.V., "Transmission of Information" (1928), Bell System technical Journal
- Shannon, C.E., "A Mathematical Theory of Communication", (1948), Bell System technical Journal
- 中沢弘, "製品開発のための中沢メソッド", 工業調査会 (2006)
- 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)