

## 学位論文内容の要旨

Product Development is the study of the activities of product life cycle in a concurrent manner. In conceptual phase of product development, a set of key solutions are determined by using an appropriate decisionmaking approach. However, decisionmaking in this phase is a difficult task to perform due to incomplete information, lack of knowledge, and abundance of choice. This thesis describes logical approaches for making decisions in conceptual phase of product development. In particular, the emphasis is given on such issues as customer needs, sustainability, and creativity. Multi-valued logic and information content from the context of epistemic uncertainty have been used for the sake of computation.

The thesis is structured, as follows:

Chapter 2 describes the key mathematical entities used in this study such as fuzzy number, imprecise probability, information content, and discrete event simulation.

Chapter 3 describes customer needs assessment in conceptual phase of product development. In this study, a set of field data has been collected from Bangladesh by using Kano-model-based questionnaires on some features of small passenger vehicles. The opinions obtained exhibit a high variability, and controversy and simple relative-frequency-based approaches have been found less effective in assessing the product features, correctly. To solve this problem, a logical customer needs assessment approach has been developed. The approach has been found effective in classifying a product feature into the following categories: the feature "must," "should," and/or "could" be included in the product. The findings are useful for developing more customer-focused passenger vehicles.

Chapter 4 describes a decisionmaking approach for assessing the sustainability in conceptual phase of product development. One of the key sustainability issues of a product is whether or not the product is made of environmentally friendly materials.

To assess the environmental burden of a material in conceptual phase of product development, the information of greenhouse gas emissions ( $\text{CO}_2$ ,  $\text{NO}_x$ ,  $\text{SO}_x$ ) and resource consumptions (e.g., water usage) of primary material production is needed. This kind of information exhibits a high variability and incompleteness. To deal with this issue, an entity called range compliance is used that logically defines the degree of belongingness of a given numerical range to a linguistically defined class. Using range compliance, the environmental burdens of hard materials used to produce a grinding wheel (i.e., Alumina, Zirconia, Silicon Carbide, Boron Carbide/Nitride) have been identified. The findings help develop more environmentally friendly abrasive tools (products) used in precision engineering.

Chapter 5 describes a decisionmaking approach for assessing a *creative concept* in concept that is undecided with respect to the existing knowledge at the point of time when it (the concept) is conceived. In this study, a logical decisionmaking approach has been developed to assess the degree of creativeness of a set of concepts. In particular, it has been found that for conceiving a creative concept one should maximize the information content (in the epistemic sense) of conceptual phase of product development. The findings help manage the cognitive processes of conceptual phase of product development.

The last chapter, Chapter 6, provides the concluding remarks and discusses the scope of further research opportunities.

### 和文要旨

製品開発学とは、製品のライフサイクルをコンカレントな手法によって研究する学問である。製品開発の構想段階における一連の主要な問題に対する解答は、適切な意思決定法を使用することによって求められる。しかし、この段階においては不完全な情報、知識の欠如、多数の選択肢が存在するため、意志決定は非常に困難な作業となる。本論文では製品開発の構想段階における意思決定を行うための論理的な手法を論じている。特に、消費者ニーズ、

持続可能性、創造性に力点をおいて論じており、多値論理と知識の不確かさに関する情報量をコンピュータによって処理し解析している。

本論文は以下の内容で構成されている。

第 2 章では本研究で使用している主な数学的要素、特にファジィ数、不明確確率、情報量、離散型事象のシミュレーション法を説明している。

第 3 章では製品開発の構想段階における消費者ニーズのアセスメントについて論じている。すなわち、「Kano モデル」に基づいて作成した小型乗用車の特性に関する消費者ニーズアンケートをバングラディッシュ国民に対して行ったところ、得られた回答結果は変動が大きく、結論を引き出すには多くの議論すべき点が存在しており、相対度数的な手法の適用によって小型乗用車の特性に関する消費者ニーズを正確に評価することは効果的でないことがわかった。そこで、本論文では、この問題を解決するために論理的な手法を開発し、この手法は、製品の特性を次に示すカテゴリに分類するための手法として効果的であることを明らかにした。カテゴリ「1. 製品に必須の特性」、「2. 製品が有すべき特性」、「3. 製品が有していてもかまわない特性」。得られた知見は、消費者志向により一層の焦点を絞った乗用車の開発にとって有効である。

第 4 章では製品開発の構想段階での持続可能性を評価するための意思決定法について論じている。製品の持続可能性を論ずる際に重要なキーの一つとして、「環境に配慮した材料によって製品が作られているかどうか」という点が挙げられる。製品開発の構想段階における材料の環境負荷を評価するためには温室効果をもたらすガス(CO<sub>2</sub>, NO<sub>x</sub>, SO<sub>x</sub>)の排出量および主要材料を生産する際の資源消費量(例えば水の使用量)についての情報が必要となる。しかしながら、これらの情報は高い変動性と不完全性を有している。この問題を取り扱うためには、レンジコンプライアンス法と呼ばれる、与えられた数値範囲に対する帰属度を言語的に定義されたグラスとして論理的に定義する手法が用いられる。本論文では、このレンジコンプライアンス法を用いることによって研削砥石の製造に使用される高硬度物質(アルミナ、ジルコニア、炭化ケイ素、炭化/窒化ホウ素)の環境負荷を明らかにしている。得られた知見は、精密加工において使用される、より環境にやさしい砥粒工具(製品)を開発する際に有用である。

第 5 章では製品開発の構想段階における創造的コンセプトを評価するための意思決定法について論じている。創造的コンセプトは製品開発の際の主要な要素の一つであり、C-K 理論によれば、創造的コンセプトとは「コンセプトを検討する時点における既知の知識に関連づけてそのコンセプトを決定できないようなコンセプト」を意味する。本論文では、このような創造的コンセプトを評価するために、論理的な意思決定法を用いている。その結果、特筆すべき知見として、創造的コンセプトを維持するためには、製品開発の構想段階において知識の不確かさの観点から得られる情報量を最大化すべきであることを明らかにしている。この知見は、製品開発の構想段階における認知プロセスの管理を支援する際に有用である。

第 6 章では結論を述べるとともに、本研究成果の今後の展望について言及している。



## 論文審査結果の要旨

工業製品の開発はライフサイクルを含めたコシカレントな手法によって行うことが必要であり、製品開発の構想段階の時点で発生する一連の主要な問題は、適切な意思決定法を採用することによって解決することができる。しかしながら、製品開発の構想段階においては、不完全な情報、知識の欠如等に起因して多数の選択肢が存在するため、意思決定は非常に困難な作業となる。本論文では製品開発の構想段階における意思決定を行うための論理的な手法を論じている。具体的には、消費者ニーズ、持続可能性、創造性を取り上げ、それぞれについて、多値論理と知識の不確実性に関する情報量をコンピュータによって処理し解析する手法を提案している。

本論文は以下の内容で構成されている。

第2章では本論文で使用している数学的要素、特にファジィ数、不明確確率、情報量、離散型事象のシミュレーション手法を説明している。

第3章では製品開発の構想段階における消費者ニーズのアセスメントについて論じている。すなわち、「Kanoモデル」に基づいて作成した小型乗用車の特性に関する消費者ニーズアンケートをバングラディッシュ国民に対して行ったところ、得られた回答結果は変動が大きく、結論を引き出すには多くの議論すべき点が存在しており、相対度数的な手法の適用によって小型乗用車の特性に関する消費者ニーズを正確に評価することは効果的でないことがわかった。本章では、この問題を論理的に解決する手法を開発し、この手法が、製品の特性を3つのカテゴリ、すなわち、「製品に必須の特性」、「製品が有すべき特性」、「製品が有していてもかまわない特性」、に分類するための手法として効果的であることを明らかにしている。この手法によって、乗用車に対するバングラディッシュ国民のニーズを明確に把握することができた。

第4章では製品開発における持続可能性を評価するための意思決定法について論じている。製品の持続可能性を論ずる際に重要となる問題の一つとして、「環境に配慮した材料によって製品が作られているかどうか」という点が挙げられる。製品開発の構想段階における材料の環境負荷を評価するためには、温室効果をもたらすガス(CO<sub>2</sub>, NOX, SOX)の排出量および主要材料を生産する際の資源消費量(例えば水の使用量)についての情報が必要となる。しかしながら、これらの情報は変動性と不完全性を有している。このような問題を取り扱うためには、レンジコンプライアンス法、すなわち、与えられた数値範囲に対する帰属度を言語的に定義されたクラスとして論理的に定義する手法が有効と考えられる。本章では、レンジコンプライアンス法の適用例として、研削砥石の製造に使用される砥粒(Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>, ZrO<sub>2</sub>, SiC, BC/BN)の環境負荷を明らかにしている。

第5章では製品開発における創造的コンセプトを評価するための意思決定法について論じている。創造的コンセプトは製品開発の際の主要な要素の一つであり、C-K理論によれば、創造的コンセプトとは「コンセプトを検討する時点における既知の知識に関連づけてそのコンセプトを決定できないようなコンセプト」を意味する。本章では、このような創造的コンセプトを評価するための論理的な意思決定法を、化石燃料とMg燃料電池を例に挙げて検討している。その結果、創造的コンセプトを維持するためには、製品開発の構想段階において、知識の不確実性の観点から得られる情報量を最大化すべきであること、を明らかにしている。

第6章では結論を述べるとともに、本研究成果の今後の展望について言及している。

本論文の工学的意義は、製品開発の構想段階において獲得される変動性と不確実性を有する情報を、ファジー理論を基礎とする論理的な手法によって分析する手法を開発し、その有用性を消費者ニーズの把握、製品の持続可能性、創造的コンセプトの評価に適用することによって明らかにした点にある。

以上より、申請者が提出した学位論文の内容は、製品設計工学分野において新規性を有しているとともに、その成果の工学的寄与が認められるので合格と判定する。