

## 審査の結果の要旨

氏名 横川直毅

本論文は、「Life cycle design of packaging by integrating environmental and functional aspects (和訳：環境性と機能性を統合した容器包装のライフサイクル設計)」と題し、容器包装の設計が製品ライフサイクルに与える波及効果を把握した設計をおこなう「ライフサイクル設計」の意思決定支援フレームワークの構築を目的とした研究である。全7章より構成されている。

第1章は、緒言であり、本研究の背景及び目的を述べている。近年、関心が高まる持続可能な開発目標に資するために、製品設計が製品ライフサイクルに与える影響を、製品の設計段階で把握することが重要であることを述べ、容器包装の環境性や機能性の評価を実施した既往研究を紹介している。個別に研究対象となってきた環境性や機能性に加え、容器包装の多機能性と環境性を統合するための機構の必要性を説明している。これらの背景を受け、容器包装設計者がライフサイクル設計を実施するための意思決定フレームワークの構築を本論文の目的としている。

第2章では、本研究で用いた手法とケーススタディの説明を行うと共に、その意義を述べている。環境影響評価手法としてのライフサイクルアセスメント(LCA)とアクティビティモデリング手法として機能モデリング手法 IDEFO を解説している。さらに、ケーススタディの対象とした5製品、ハム・紙パック牛乳・カットキャベツ・ポテトサラダ・衣料用液体洗剤の各製品について、選定理由と共に、製品の現状やインベントリデータについて記述している。

第3章では、製品設計が製品ライフサイクルに与える影響としての設計効果の可視化を述べている。容器包装の設計効果を示すため、文献調査などから容器包装における製品ライフサイクルの構成要素を抽出し、製品機能・製品変数・プロセスの3要素群に分類している。各要素の特徴と構成要素間の因果関係に基づいて、抽出した構成要素間の関係を明らかにし、モデル化している。モデル化した構成要素間の関係を設計効果として設計者が把握することを可能にするために、Life Cycle Association Matrix (LCAM) と Function Network Diagram (FND) と呼ぶ2つのツールを作成し、その使用方法を記述している。ケーススタディによってツールの適用性を示している。

第4章では、第3章で明らかにした設計効果に基づき、消費者から生じる食品ロスに着目して、容器包装の機能向上と食品ロス削減における環境影響間のトレードオフの分析を記述している。新たな指標を定義することで、設計段階において機能向上時の食品ロス削減目標を明示している。また、消費者行動のシナリオ分析のために消費段階のパラメータとモデルを定義することで、シナリオごとの食品ロスを算出し、トレードオフを考慮した適切な設計案と消費者行動の組み合わせを特定可能にしている。異なる食品を対象としたケーススタディによって、食品ごとの特徴を考察している。

第5章では、第3章で明らかにした設計効果に基づき、消費者の知覚価値に着目して、容器包装の機能による価値と環境影響のトレードオフの分析を記述している。まず製品機能が消費者にとって認識しやすい耐久消費財を対象にして分析を行い、次に消費者にとって認識しにくい製品機能を持つ容器包装を対象として分析を行っている。いずれの場合でも、消費者調査を実施して収集したデータに対して、統計的仮説検定に基づいて、機能の向上と知覚価値の関係を定量的に明らかにしている。得られた関係から、設計案ごとの価値、並びに環境効率を示し、機能性と環境性のトレードオフを議論可能としている。

第6章では、第3章で構築したツールと第4章と第5章で述べた環境性と機能性に関わるトレードオフ分析手法を活用するために、意思決定支援フレームワークをアクティビティモデルにより示している。ライフサイクル設計のために必要な情報を得るため、本研究で開発されたツールや分析手法が、容器包装の設計段階で機構として使用されるアクティビティを記述している。加えて、ケーススタディの製品を基にフレームワークを用いた再設計を実施することによって、その適用可能性と有用性を検証している。

第7章は終章であり、本論文の結果を総括し、提案する意思決定支援フレームワークにより、ライフサイクル設計のために必要な情報を明示できたことを述べている。本論文で構築されたフレームワークによって、容器包装設計者による製品ライフサイクルにおける環境性と機能性を統合した設計が支援される。加えて、持続可能な開発への要求を受けて、ライフサイクル設計における今後の研究課題についても展望が示されている。

以上要するに本論文は、容器包装設計者がライフサイクル設計を実施するため、開発したツールやトレードオフ分析を包含する意思決定支援フレームワークを提案するとともに、ケーススタディによってその有用性を明確に記述している。これらの成果は、容器包装設計から持続可能な開発目標に寄与するために極めて有用なものであり、プロセスシステム工学、ライフサイクル工学、及び化学システム工学に大きく貢献するものと考えられる。

よって本論文は博士（工学）の学位請求論文として合格と認められる。