

## 審査の結果の要旨

氏 名 Nguyen Thi Hong Thuy  
ゲエン ティ ホン テュイ

本論文は、「Structured framework supporting design of bio-based chemical process toward sustainability (和訳：持続性に向けたバイオマス原料による化学プロセス設計支援の構造化フレームワーク)」と題し、再生可能なバイオマス資源を原料とする持続性を考慮した化学プロセスの設計手法の構築を目的とした研究であり、全6章より構成されている。

第1章は緒言であり、本研究の背景および目的を述べている。化石資源である石油を原料とする化学産業において再生可能なバイオマス資源を原料とする製品が研究開発されている中で、持続性を考慮するためには、経済性だけではなく、環境性と社会性の3指標の統合的な評価が必要であることを述べている。また、特定のバイオマス資源から特定の製品合成法が提案されている中で、企業や社会の制約のもとで相互依存している資源、製品、プロセスを、同時に評価し、選択することの必要性を述べている。さらに、そのための手法論が欠如していることを述べている。これらの背景を受け、持続性を考慮した化学プロセス設計を支援する構造化されたフレームワークを構築することを本論文の目的として示している。

第2章では、バイオマス資源を原料とする化学プロセス設計を支援する構造化フレームワークをフローチャートとして提示している。構造化フレームワークは6段階の手順で構成されており、第1段階では、現在のプロセスにおける問題点、企業や社会の制約、製品に求められる機能などを規定し、第2段階では、製品とその合成ルートの代替案を生成し、第3段階では、第2段階で生成された合成ルートによる化学プロセスを設計し、第4から第6段階では、それぞれ、製品、資源、プロセスの評価を実施し、選択を行う。評価におけるシステム境界や評価指標の選定、具体的な評価手法についても議論している。

第3章では、2つのケーススタディによって、第2章で提案したフレームワークの適用可能性の検証を行っている。まず、化学プロセスの中で持続性への影響が大きい分離プロセスを対象として抽出溶剤とプロセスの選定を行い、提案したフレームワークによる支援が可能であり、3指標の統合的な評価によって適切なプロセスが選定できることを示している。次に、バイオエタノールを出発原料とする化学製品製造を例として、資源、製品、プロセスの選択について実際に代替案を生成し、プロセス案を設計し、プロセスシミュレータを用いた評価を行っている。プロセス内の化学物質やプロセス条件から安全性を評価していること、バイオエタノール製造のためのバイオマス資源による3指標の変化も評価

し、持続性に適した資源、製品、プロセスを示していることに特徴がある。

第4章では、第3章で行ったバイオエタノールを原料とするプロセスのケースについて、地域の制約を考慮したケーススタディの結果を示している。地域によって得られるバイオマス資源の種類や量、輸送システムに制約があり、ベトナムの条件を参考データとして用いながら、利用可能なバイオマス資源ごとに、プラントの規模や配置について経済性評価を行っている。サトウキビを原料とした場合では小規模プラントを分散させる方が望ましく、稲わらを原料とした場合では、原料を集約した大規模プラントが望ましいことを示し、地域の制約を考慮すると、稲わらを原料とすることが最適であることを明らかにしている。このケーススタディによって、提案したフレームワークによって地域の制約を考慮することが可能であることを示している。

第5章では、第2章で提案した構造化フレームワークによる支援を実践可能とするために、機能モデリング手法 IDEF0 によるアクティビティモデルを構築している。第3章および第4章でのケーススタディから、持続性を考慮した化学プロセス設計のアクティビティ構造を分析し、各アクティビティについて考慮すべき企業内制約、地域や法制などの外部制約、技術的制約、用いるべきツールや評価手法、出力すべき結果などを明示し、フレームワークによる化学プロセス設計の実践を可能としている。

第6章は終章であり、本論文で構築した構造化フレームワークが、持続性を考慮した化学プロセス設計の実践的な支援を可能とすると結論づけている。加えて、提案されたフレームワークに関わる今後の研究課題についても述べられている。

以上要するに本論文は、再生可能なバイオマス資源を原料とする化学製品製造における資源、製品、プロセスを決定するという設計問題について、経済性、環境性、社会性の3指標を統合的に評価しながら意思決定を可能とする構造化されたフレームワークを提案し、ケーススタディによってその有効性を示している。この成果は、化石資源である石油を原料とする化学産業を再生可能なバイオマス資源を原料とする持続的な産業に転換することを具現化するために極めて有用であり、プロセスシステム工学、ライフサイクル工学および化学システム工学に大きく貢献するものである。

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。