

氏名	だ い ご いち ろう 醍 醐 市 朗
学位(専攻分野)	博 士 (エネルギー科学)
学位記番号	エネ博第 113 号
学位授与の日付	平成 17 年 3 月 23 日
学位授与の要件	学位規則第 4 条第 1 項該当
研究科・専攻	エネルギー科学研究科エネルギー社会・環境科学専攻
学位論文題目	ライフサイクルシンキングに基づいた統合環境システム分析手法に関する研究

(主査)
論文調査委員 教授 石原慶一 教授 手塚哲央 助教授 東野 達

論 文 内 容 の 要 旨

本論文は、環境システム分析として従来のライフサイクルアセスメントを統合した手法の開発とその応用について論じた結果をまとめたもので、6章からなっている。

第1章において、持続可能な発展を実現するための技術革新や社会システムの転換に対する評価をするために、ISO-LCAは不十分であることを示している。LCAと他の手法を統合した評価手法を整理し、LCAの発展の方向性を示すとともに、それに基づき従来のISO-LCAだけでは評価できなかったいくつかの技術や社会システムについて、既存評価手法やシステム分析手法とLCAを統合することにより評価を試みることを本論文の目的であることを述べている。

第2章において、LCAの発展の方向性は3つあり、それらは、評価軸の多様化、システム境界の拡張、機能単位が柔軟性を持つことであると示している。さらに、既存の研究を、それぞれ3つの方向性における、統合された評価手法やシステム分析手法の事例として整理した。従来の事例研究は、必要条件として導き出された手法であるため、散逸的でほとんど体系化されておらず、また、いくつかのLCAの発展を整理した研究もあるが、十分とは言えない。それに対し、本研究では、環境負荷分析の基本概念から演繹的に手法の発展の方向性を検討し、既存のLCAと他の手法を統合した評価手法を体系立てて考察している。

次に、第3章から第5章において、今まで開発された評価手法では評価できなかった5つの事例を評価対象とし、LCIと他の手法との統合による評価を試みている。第3章では、評価軸の多様化の事例として、使用済み家電製品および自動車シュレッダーダスト由来の難燃性廃プラスチックを高温ガス化溶融炉によりリサイクル処理するシステムを対象とした評価をおこなっている。評価対象システムにおいて、事業性が技術導入の阻害要因であることから、環境評価とともにキャッシュフロー分析による事業性評価を統合した評価手法を構築した。それにより、新技術の環境性は優位であることがわかったが、廃棄物の引取価格と売電価格により事業性は大きく変わることがわかり、事業性が保てるそれぞれの価格を示している。

第4章では、機能単位が柔軟性を持つことにより、環境負荷最小化となる可能性の示せる2つの事例を評価している。第4章第1節では、未利用排熱の高性能蓄熱材料による熱搬送・利用システムを評価対象とした環境負荷分析をおこなった。当該システムは、熱需要と未利用熱の供給のバランスにより環境負荷量が変化すると考えられるため、熱需要量と熱供給量を説明変数とした環境負荷量を表すモデルを構築した。需給バランスも考慮に入れたモデルとLCIを統合することにより、競合技術も考慮に入れ、日本全体のごみ焼却排熱の利用による環境負荷削減最大量を導出している。さらに、環境負荷の観点からの蓄熱材料性能の開発目標値の指針も示している。第4章第2節においては、運輸部門における各種輸送機関を評価対象とした環境負荷分析をおこなった。輸送機関において、旅行速度も評価対象の機能であり、それによりエネルギー消費効率に変化するため、旅行速度とエネルギー消費効率の関係をモデル化した。また、新しい指標として「仮想摩擦係数」を提案し、社会的要因による仮想摩擦と物理的要因による仮想摩擦を区別して示すことができた。モデル化された関係式により、現在の各種輸送機関のエネルギー損失が、室内の快適性のために消費されているエネルギーによるところが大きいこと

がわかった。また、エネルギー消費効率の観点から、現行の社会システムにおいて最も効率の良い旅行速度を導いている。

第5章においては、システム境界の拡張により評価できる事例を2つ検討した。第5章第1節において、日本で生産されるすべての鉄鋼材を評価対象とした環境負荷分析をおこなった。社会全体におけるリサイクルの阻害要因である不純物の濃縮の観点から、スクラップへの不純物の混入と鋼材需要における許容量との関係を解析し、リサイクルの利用可能性を評価できるモデルを構築し、将来におけるスクラップ発生予測量と需要シナリオから、社会全体における鉄鋼業から誘発される環境負荷量を導出する動的モデルを構築した。そのモデルにおいて、将来におけるスクラップ発生量予測のためにポピュレーションバランスモデルが用いられ、リサイクルの利用可能性を検討するためにピンチ解析が適用された。また、構築された動的モデルを用いることにより、不純物の濃縮を緩和する役割を有する易解体設計を自動車に導入することによる、鉄鋼材製造から誘発される環境負荷の間接的な削減効果を導出した。さらに、環境負荷削減の観点から、易解体設計を自動車に導入する際の技術目標値も導出した。第5章第2節において、鉄鋼材の循環利用を評価対象とした環境負荷分析をおこなった。資源利用の循環性を示す指標として、平均利用回数と平均社会滞留時間の2つの指標を提案した。これら指標を算出するための、マルコフ連鎖モデルを適用した手法を構築した。また、感度分析をすることにより鉄鋼材の循環利用性を高めるために有効な取組みを導出した。さらに、平均利用回数を用いることにより、開ループリサイクルにおける環境負荷量のアロケーションに成功している。

第6章は結論であり、3通りの発展のすべての方向性において、今までの評価手法では評価できなかった技術や社会システムについて、既存評価手法やシステム分析手法とLCIを統合することにより評価が可能となることを示している。また、本論文で示した方向性に沿った発展手法が、種々の場面で活用される可能性について言及している。

論文審査の結果の要旨

本論文はLCI分析を応用した環境システム分析について研究した成果をまとめたものであり、得られた主な成果は次のとおりである。

第一に、従来のLCAの限界を示し、実際に必要な分析ツールとして拡張するために三つの方向があることを示した。それらは評価軸の多様化、システム境界の拡張、機能単位が柔軟性であり、具体的にLCI分析と経済分析との融合、異なった機能に対するLCI分析、分析対象の範囲や時間を拡張したLCA分析などの方法を提示し、実際のシステムにおいて検証した。

第二に、経済分析の例として難燃性プラスチックのリサイクルについて、事業性評価を含めた総合評価を試みた。その結果、新技術の環境性は優位であることがわかったが、廃棄物の引取価格と売電価格により事業性は大きく変わることがわかり、事業性が保てるそれぞれの価格を示した。

第三に、ごみ焼却熱のオフライン輸送による活用と輸送機関のエネルギー消費に対し、ミクロレベルのLCI分析を応用し、マクロな最適化を試みた。前者において、日本全体のごみ焼却排熱の利用による環境負荷削減最大量を導出している。輸送機関の例では、現在の各種輸送機関のエネルギー損失が、室内の快適性のために消費されているエネルギーによるところが大きいことを示し、エネルギー消費効率の観点から、最も効率の良い旅行速度を導いている。

第四に、鉄鋼材料のリサイクル時における不純物の将来予測に基づく自動車易解体設計導入評価において、不純物の濃縮を緩和する役割を有する易解体設計を自動車に導入することによる、鉄鋼材製造から誘発される環境負荷の間接的な削減効果を導出した。さらに、鉄鋼材料のオープンリサイクルにおける資源循環性評価を試み、マルコフ連鎖モデルを適用した手法を構築した。また、感度分析をすることにより鉄鋼材の循環利用性を高めるために有効な取組みを導出した。さらに、平均利用回数を用いることにより、開ループリサイクルにおける環境負荷量のアロケーションに成功している。

いずれの環境評価においても、類似研究のない新しい手法を開発しそれを実際のシステムに適応し独創的な評価を行っている。そして、提案したLCI分析と他の分析手法との融合について、それぞれの具体的な問題へ適応し、実証することにより、今後の新しい環境システム分析の方向性を示した研究である。

よって、本論文は博士（エネルギー科学）の学位論文として価値あるものと認める。また、平成17年2月21日実施した論文内容とそれに関連した試問の結果合格と認めた。