

審査の結果の要旨

氏名 山田 宏之

近年、我が国では、循環型社会形成推進基本法および個別製品に対するリサイクル法の施行により、使用済み素材のリサイクルが促進されている。素材や製品の環境負荷を評価する技法として、ライフサイクルアセスメント(Life Cycle Assessment)が用いられてきている。しかしながら循環型社会においては、素材のライフサイクルは複数の製品を横断するものとなり、マテリアルフローが複雑になるため、既存の評価手法に限界が生じている。また、素材のリサイクルには、スクラップの需給ギャップやトランプエレメントの存在などの制約要因があり、循環型社会の構築を促進するには、それらの制約要因を考慮した上での素材リサイクルの最適化が必要になる。本論文は、循環型社会において素材の環境負荷を適切に評価する手法と素材リサイクルの最適化モデルの構築を行うことを目的としたものであり、以下の五章からなる。

第一章は序論であり、近年の循環型社会の形成に伴う、既存の LCA 手法での評価の限界を指摘している。その上で、マテリアルフローが複雑になる状況での素材の環境負荷評価の必要性、素材のリサイクル制約要因を考慮した上でのリサイクル最適化を検討する必要性など、課題を整理し、本研究の目的を明確にしている。

第二章では、素材がそのライフサイクル(資源の採掘から廃棄まで)の間に機能する(使用される)量を「ライフサイクル機能量」と定義し、マルコフ連鎖モデルを適用した素材のライフサイクル機能量の解析モデルを開発している。そして、事例研究として、紙製品の原料である木材パルプにマルコフ連鎖モデルを適用し、木材パルプのライフサイクル機能量解析を行い、2003年における木材パルプの日本国内における平均使用回数は、3.01回となることを示している。また、各製品における原料の木材パルプの使用回数別構成割合を解析し、ダンボール原紙では、使用5回目以上のパルプが60%を超えるのに対し、晒系印刷用紙等では5%に満たないこと、衛生用紙では、再生パルプの使用量が減少する傾向にあることを示している。本章において示したライフサイクル機能量を用いることで、循環型社会における素材の環境負荷誘発量の算出を行うことができ、それは後章(第五章)にて説明される。

第三章では、素材のマテリアルフローを動的に拡張する方法、特に外的要因による製品の寿命分布の変化を考慮した使用済み素材の排出量解析モデルの構築を検討している。将来の各年における使用済み素材の排出量は、使用済み製品の排出量と当該製品における素材の使用比率により求めることができる。従って、将来のマテリアルフローを予測するためには、使用済み製品の排出量を予測する必要がある。本論文では、使用済み製品の排出量を推測するにあたり、ある期間に製品代替を進める施策により寿命分布が変化することを想定し、「施策により影響を受けない寿命分布」と「施策の影響を受ける複数の寿命分布」

からなる混合分布で寿命分布を表現するモデルを構築している。その事例研究として、地上アナログ放送停波による使用済みテレビの排出量の解析を行っている。地上アナログ放送停波が行われず、過去の平均使用年数に基づき廃棄が進む場合 2011 年 7 月末時点でのアナログチューナテレビ社会存在量は 47.6 百万台となる。これらのアナログチューナテレビが、地上アナログ放送停波の影響により通常とは異なる寿命分布によって廃棄されるものと考えられ、停波時前後の 7 ヶ月間に残りのアナログチューナテレビが一斉に廃棄される場合、最大で一月に 10 百万台以上の廃棄が発生する可能性を示している。

第四章では、トランプエレメントを複数考慮した素材リサイクルの最適化モデルの構築を行っている。素材のリサイクル促進の制約として、リサイクル過程を経ても除去されない元素（トランプエレメント）の存在に焦点をあて、複数のトランプエレメントを考慮した素材リサイクルの最適化モデルを開発している。その事例研究として、アルミニウムのリサイクルを検討し、Si, Fe, Cu, Mn の 4 元素をトランプエレメントとしたマルチコンタミ制約条件でのリサイクルフロー最適化を行っている。廃自動車や建築廃材からのアルミニウム回収量の増加等を想定したシナリオ解析を行い、廃自動車鋳物の回収量を増大させる場合、2003 年度の新地金使用量は、約 68%まで削減可能であることを示している。さらに、廃建材のみで代替した場合は、新地金使用量を 35%まで削減可能であることを示している。廃自動車鋳物で代替した場合は、廃自動車鋳物における銅の感度が高く、廃建材で代替する場合は、廃建材における Mn の感度が高いことを示している。

第五章は、本論文の総括であり、前章（第二章）で示した素材のライフサイクル機能量を用い、バージン材とリサイクル材に係る環境負荷を配分する、循環型社会における素材の環境負荷誘発量の算出方法を提案している。

本研究は、循環型社会構築における素材の環境負荷適正評価手法の開発と素材リサイクルの最適化モデルの構築を行うものである。今後の我が国の循環型社会促進と環境負荷低減に向けた施策に有益なる知見をもたらし、マテリアル環境システム工学の発展に大いに資するものである。

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。