

学位論文及び審査結果の要旨

横浜国立大学

氏名 兵法 彩
学位の種類 博士（環境学）
学位記番号 環境博甲第392号
学位授与年月日 平成28年6月30日
学位授与の根拠 学位規則（昭和28年4月1日文部省令第9号）第4条第1項及び
横浜国立大学学位規則第5条第1項
学府・専攻名 環境情報学府 環境イノベーションマネジメント専攻
学位論文題目 産業連関表を用いたバイオマス事業の実用的なライフサイクル評価
手法に関する研究

論文審査委員 主査 横浜国立大学 教授 本藤 祐樹
横浜国立大学 教授 志田 基与師
横浜国立大学 准教授 工藤 祐揮
横浜国立大学 准教授 鳴海 大典
横浜国立大学 准教授 遠藤 聡

論文及び審査結果の要旨

近年、低炭素社会の構築や新規産業創出・雇用拡大による地域活性化などの観点から、地域の再生可能資源であるバイオマスを用いた事業が注目されている。本論文では、地域における効果的なバイオマス事業の導入に向け、事業の立案から実施にいたるまでのプロセスを俯瞰し、事業の効果をライフサイクルの視点から評価する実用的な手法を提案している。本論文は、以下に示す全6章で構成される。

第1章の序論では、研究の背景と目的、本論文の構成が示されている。近年、固定価格買取制度など、再生可能エネルギーを利用した発電技術の普及に向けた政策がとられてきた。しかし、今後のさらなる導入拡大においては再生可能エネルギー技術の導入に伴う温室効果ガス（以下、GHG）削減効果や雇用創出効果などの環境・社会経済影響を的確に把握することがより重要となる。しかし、再生可能エネルギー事業によるGHG排出量や雇用量の算定における共通のコンセプトやルールに関する議論が不足している。このような背景を受け、本論文では、廃棄物系バイオマスを用いたエネルギー事業を題材として、事業の立案から実施にいたるまでのプロセスを俯瞰し、事業の効果をライフサイクルの視点から評価する実用的な手法を提案することを目的としている。本論文では、技術や製品の環境・社会経済影響を定量的に評価する手法であるライフサイクルアセスメント（以下、LCA）のコンセプトに基づき、限られた時間とデータしか使えないという現実を踏まえて、産業連関表を活用した実行可能な手法の提案を目指している。

第2章では、バイオマス事業のLCA実施における課題が述べられ、本研究で取り組む内容が具体的に提示されている。まず、現実の事業化プロセスを調査し、事業化プロセスの各段階において評価に活用できるデータの存在状況を明らかにしている。バイオマス事業の事業化プロセスは、事業化検討、合意形成、プラント設計、建設・運転の4段階に分けられる。各段階に沿って評価に活用できるデータ種を整理すると、プラント設計より前の段階では、国内外の先事例などを参考に作成する想定値、プラント設計後は導入事業の設計値、事業稼働後は実績値の3種類

に分類される。すなわち、プラント設計を境に事業化プロセスの前半では、粗いデータを活用した評価実施、事業化プロセスの後半では詳細なデータを活用した評価実施となる。しかし、事業化プロセスの前半に求められる、想定値のような粗いデータに基づく評価手法については十分に検討されていない。そこで第一に「粗いデータを用いた簡易な評価手法」の提案としている。事業化プロセスの後半では、設計値や実績値など比較的詳細なデータに基づいて、実態に即した評価が求められる。このような評価に対して、既往研究では、積み上げ法と産業連関法を組み合わせた実用的なハイブリッド法が提案したり、地域の産業連関表を用いて事業導入が地域にもたらす効果を評価したりしている。しかし、事業導入がどの地域にどの程度の効果をもたらすかという空間的な情報は得られない。それ故、第二に、上述したハイブリッド法をベースに「詳細データに基づく地域別効果を評価できる簡易な評価手法」の開発を目指している。また、ハイブリッド法は一般的な建築物や製品にも広く適用されてきたが、その長短に関して定量的な議論は十分になされていない。簡易化という長所と推計結果の精緻さが劣るといふ短所のバランスという観点から、ハイブリッド法に代表される簡易手法の有用性を検討する必要がある。その点を踏まえ、第三に「簡易手法の有用性に関する定量的な分析」を行い、簡易手法の妥当性について明らかにする。以上、これら三点に関して3章から5章で検討している。

第3章では、事業者が有しているデータが粗い初期段階において、簡易な評価実施を可能とする手法を提案し、バイオガス発電事業のGHG排出量および雇用量を評価している。ここでは、再生可能エネルギーによる発電事業の評価に用いられている拡張産業連関表に着目し、2種類のバイオガス発電事業を対象に、バイオガス発電事業部門拡張産業連関表（以下、拡張表）を作成している。対象とした2種類の事業は、家畜排せつ物を用いたバイオガス発電事業（以下、家畜バイオ）と厨芥類を用いたバイオガス発電事業（以下、厨芥バイオ）である。それぞれ、国内の実施状況を考慮して、モデルプラントを設定し、データを収集し拡張表を作成している。作成した拡張表を用いて、家畜バイオ技術と厨芥バイオ技術のライフサイクルにわたるGHG排出量と雇用創出量を推計し特徴を明らかにしている。家畜バイオのGHG排出要因は、副産物の扱い（消化液貯留）に伴うCH₄とN₂Oであったのに対し、厨芥バイオはメタン発酵処理の電力消費で誘発されるGHG排出量の影響が大きい。雇用量は、どちらの事業も施設運用や原料収集といった運用時の新規雇用の影響が大きく、次いでサービス業への波及効果が大きい。拡張表は、プラントの建設費と運用費だけからで簡易にGHG排出量と雇用量の推計が可能となっている。そのため、事業者は拡張表を用いることで、事業化プロセスの早い段階で、定量的情報に基づく議論および効果的な事業設計を行うことができる。

第4章では、地域に適した事業の導入検討を進める段階において、設計値などの詳細データに基づき事業導入に伴う影響がどこでどのように生じるのかを簡易に明らかにする評価手法を提案している。提案手法を北海道鹿追町におけるバイオガス発電事業の雇用分析に適用し、その事業実施に伴い雇用量の増減が生じる範囲を、①実際に事業が行われている場所（以下、事業スポット）、②北海道、③北海道以外の国内（46都府県）、④海外の4つの地域に区分して、どこでどのような雇用変化が生じるのかを明らかにしている。その結果、バイオガス発電事業の導入は事業スポット内外で雇用量の増加に寄与しており、内訳で見ると事業スポット内の直接的な増加よりも、事業スポット外で生じる間接的な増加の方が大きいことを見出している。そのため、事業スポットで生じる直接的な雇用だけでなく、外側の変化も考慮することが重要となる。また、得られた結果に基づいて、北海道外における設備の保守・修繕や燃料製造に伴い生まれる雇用を、事業スポットや道内にシフトさせる可能性について議論している。このように地域別にバイオマス事業の導入効果を明らかにすることで政策立案により有益な情報を提供できる。また、得られた結果を活用して、地域や社会に適した事業の設計・改善が進むことが期待される。

第5章は、実用的な評価手法の確立に向けて、ハイブリッド手法の有用性について、環境負荷を推計する手間と得られる推計値の精緻さのバランスという観点から検討している。詳細データの収集が困難なバイオマスプラント建設に伴うGHG排出量の推計を対象事例とし、詳細な物量データに基づく積み上げ法と金額データの粗さが異なる2種類の産業連関法（詳細IO法、簡略IO法）を、[1]推計値、[2]推計に要する作業量、[3]プラント建設のGHG排出量の推計結果がライフサイクル評価に与える影響の3つの観点から比較している。その結果、積み上げ法は物量データの入手・作成に多くの時間が必要であり、かつ現実的に得られるデータ範囲が限定的となるため、産業連関法に比べ過小な推計値となる。詳細IO法は網羅的な推計が可能であるが、プラント建設は多種多様な財・サービスで構成されているため、費用項目数が1,000以上となりGHG排出量の推計に時間を要する。簡略IO法は平均化された推計値となるため、詳細IO法に比べて約20%小さい値となるが、簡略IO法の作業量は、詳細IO法の2%程度と極めて小さい。また、詳細IO法と簡略IO法の推計差は、ライフサイクル評価における他の不確実性（例えば、電力排出係数の変動など）と同程度であることから、簡略IO法の推計結果は一定の妥当性を持つと評価されている。以上の結果より、バイオマス事業のLCA実施において、プラント建設に伴うGHG排出量の推計に簡略IO法を用いたハイブリッド手法が有用であると結論している。

第6章は結語であり、第2章から第5章までが総括され、今後の展開がまとめられている。本研究では、バイオマス事業の事業化プロセスの各段階で入手できるデータ（想定値、設計値、実績値）を活用した実用的なLCA手法を提案した。その上で、今後の展開として、LCA実施に向けた国内先行事例の統計情報の整備や、想定値・設計値の算定を支援する手法開発などの重要性が指摘されている。

以上のように本論文は、地域における効果的なバイオマス事業の導入に向け、事業の立案から実施にいたるまでのプロセスを俯瞰し、事業化プロセスの各段階における実用的なLCA手法を提案するとともに、その有用性について明らかにしている。得られた研究成果は、エネルギー技術評価の分野において新たな知見を提供するとともに、バイオマス発電をはじめとした再生可能エネルギー発電の導入拡大に関する政策の立案に資するものであり、学術的にも社会的にも価値ある内容を含んでいると判断される。したがって、本論文は博士（環境学）の学位論文として十分な内容を有すると、審査委員全員が一致して認めた。

注 論文及び審査結果の要旨欄に不足が生じる場合には、同欄の様式に準じ裏面又は別紙によること。