

## 審査の結果の要旨

氏名 大槻 貴司

気候変動問題が人類社会の喫緊の課題とされる中、エネルギーシステムの低炭素化が重要な課題として内外で位置づけられている。その中で、エネルギーシステムの低炭素化に向けた有効な対策の検討に際し、定量的な技術評価手法の構築は大変有益であり、エネルギーシステムの複雑な構成要素を統合的に捉え、各種技術的方策の貢献可能性や将来の望ましい姿を統合的に分析することが重要となる。エネルギーシステム低炭素化の定量的評価手法の一つとして、これまで世界エネルギーシステムモデル（以下、世界モデル）が用いられている。しかし、これまで多様な世界モデルが世界各国の大学や研究機関などで開発・利用されてきたものの、エネルギー資源の分布や貿易等の分析に影響する地理的解像度や、電力需給等の分析に影響する時間的解像度が簡略化されている。そのため、低炭素資源の地域偏在性、水素等の貿易に係る地理的特性、自然変動電源の工学的特性を詳細に総合的に考慮したモデルはまだ開発されていないと言える。本研究では、地理的・時間的解像度を詳細化した世界モデルの開発と 2050 年までの技術の導入可能性評価を目的としている。

本研究の独自性は第 1 に、世界を 363 ノードに分割して、従来のモデルに比べて格段に高い地理的解像度を有するモデルを開発した点にある。世界 143 カ国・地域のエネルギー需給や貿易を明示的に考慮し、再生可能エネルギーや CO<sub>2</sub> 回収・輸送・貯留、水素等の技術分析が可能となった。第 2 に、地理的・時間的解像度の適正水準を明らかにし、それらを踏まえた詳細な世界モデル（世界 132 地域分割、発電部門の時間的解像度は 365 日 3 時間間隔）を構築し、自然変動電源の地理的条件や工学的制約条件を明示的に考慮して、2050 年までの最適な技術選択に関する分析を行っている点にある。

本論文は全 7 章から構成される。

第 1 章は序論であり、研究背景および目的と研究課題に関して記述している。研究課題の設定において、既存研究の世界モデルを数理的構造や地理的・時間的解像度の観点から整理し、従来のモデルが抱える問題点をまとめている。

第 2 章では、モデル構築に際して、エネルギーシステム低炭素化の技術的方

策を俯瞰し、各方策の技術経済的な特徴を整理している。そして、本研究で構築したモデル群の全体像、および、それらの中心となる世界エネルギーモデル **New Earth 5.0** (以下、**NE5.0**) の構造等を詳述している。**NE5.0** は、世界 363 地域からなる詳細な地域分割に基づき、構築されている。

第 3 章では、地理的解像度の詳細化の効果や、解像度の適正水準をシミュレーションにより考察している。**NE5.0** を基に解像度を下げたモデルを複数構築し、2050 年の世界を対象とした分析を行い、最適解の比較等を行っている。

第 4 章では、**NE5.0** を用いた技術評価を実施している。第 4.1 節では、低炭素化実現に向けた 2050 年までの最適技術選択、および、エネルギーや  $\text{CO}_2$  の貿易等を分析し、世界の最適なエネルギーミックスや各種技術の導入可能性を分析している。第 4.2 節では、水素の導入可能性を詳細に分析するため、**NE5.0** の発電、自動車やエネルギー輸送部門の拡張を行い、水素発電や燃料電池自動車、国際水素輸送ネットワークの経済的導入条件に関して分析を行っている。

第 5 章では、電力システムへの自然変動電源の大量導入を分析するために望ましい時間的解像度の水準に関して分析を行っている。世界電源構成モデル **NE5.0-E** を構築し、時間的解像度の設定がエネルギー貯蔵や出力抑制等の電力システム統合方策の最適導入量に与える影響を検討している。

第 6 章では、第 3 章と第 5 章の評価結果を基に、地理的かつ時間的に詳細な逐次動学型世界エネルギーモデル **NE5.0-R** を構築している。そして、当該モデルを用いて、世界各国における自然変動電源の地域偏在性や出力変動性に係る対策技術を考慮した上で、再生可能エネルギー100%の下での電力・水素供給の実現可能性を分析している。本章では最適電源構成やシステムコストの推移等を定量化し、再生可能エネルギー中心のエネルギーシステムの可能性と課題を分析している。

第 7 章では、上述した研究成果の総括と課題に関してまとめられている。

以上を要するに、本論文は、従来にない水準まで地理的・時間的解像度を高め、かつ、長期的な最適技術選択を評価可能とした世界エネルギーシステムモデルの開発により、世界のエネルギー資源等の地理的特性、自然変動電源等の工学的特性を極めて詳細に考慮の上、低炭素化実現のための世界のエネルギーシステムの将来像を数値シミュレーションにより提示したものであり、エネルギーシステム工学分野の発展に資するところが少なくない。

よって本論文は、新規性、有用性、学術的価値および達成度の観点より審査した結果、博士（工学）の学位請求論文として合格と認められる。