

令和元年6月24日現在

機関番号：14401

研究種目：基盤研究(C)（一般）

研究期間：2016～2018

課題番号：16K00651

研究課題名（和文）再生可能エネルギーミックス最適化と意思決定支援のための知能システム開発

研究課題名（英文）Development of An Intelligent Decision Support System for Renewable Energy Mix Optimization

研究代表者

松井 孝典（Matsui, Takanori）

大阪大学・工学研究科 助教

研究者番号：30423205

交付決定額（研究期間全体）：（直接経費） 3,600,000円

研究成果の概要（和文）：国際社会の炭素循環社会への移行の要求の中、再生可能エネルギーを主軸とするエネルギーシステムへの早急な転換が求められる。再生可能エネルギーの導入が持つ多様な効果を見極めた上で、地域社会の将来ビジョンから目標を逆照射し、供給安定性や実行可能性、地域経済還元、社会的弱者の参画、地域の自然生態系との親和性など、多面的な視座を持って適正技術・制度設計する必要がある。この背景から本研究では、地域社会の未来像と持続可能な開発目標の達成度が評価できる再生可能エネルギーミックス導入のための意思決定支援システムの開発を試みた。地域社会の将来シナリオとそれを達成する再生可能エネルギーミックスの最適化機能を開発した。

研究成果の学術的意義や社会的意義

本研究での成果は、再生可能エネルギーの社会実装でタイムホライズンとなる2050年頃までの不確実性下で、以下に地域社会が再生可能エネルギーミックスを選択する際の定量的な判断材料を提供でき、地域エネルギーシステムの参加型設計のファシリテーションに貢献することが期待できる。また、地産地消型の再生可能エネルギーミックスの導入を支援するものであり、第五次環境基本計画がいう「地域循環共生圏」の形成への情報提供に寄与する。また再生可能エネルギーが持つ多面的なnexusの側面を定量化するものであり、SDGsアクションプラットフォームにも科学的情報を提供するものと期待できる。

研究成果の概要（英文）：With the strong demand for transition to the carbon circulating society in the global society, a dramatic transition to an energy system based on renewable energy is required.

It is necessary to identify the nexus structure that the introduction of renewable energy shapes and design appropriate technologies and institutional designs based on backcasting approach with multiple viewpoints such as supply stability and feasibility, economic contribution to locals, diverse stakeholders participation, harmony with regional natural ecosystems

From this background, in this study, we attempted to develop a decision support system for introducing a renewable energy mix that can assess the future image of the community and the achievement of sustainable development.

研究分野：持続可能性工学

キーワード：再生可能エネルギー 将来シナリオ分析 多目的最適化 共創システム 意思決定支援

様式 C - 19、F - 19 - 1、Z - 19、CK - 19 (共通)

1. 研究開始当初の背景

2014年頃の日本の環境政策は、東日本大震災後に根幹からの再構築を求められているエネルギー需給システムについて、化石燃料消費の増加による国富流出の緩和や地産エネルギーによる安全保障を含む中長期的視点から、再生可能エネルギー（以下、RE: Renewable Energy）の大胆な普及拡大が急がれていた。しかしながら、当時は、RE に対して低炭素化と経済への正の影響が特に重視される情勢で、地域の文脈を考慮せず、RE ポートフォリオの多様性の欠如を招くことが憂慮されていた。本来 RE の導入計画には、地域社会固有の強み・弱み・機会・脅威に依りて、どこまでの導入を目指すか、経済収支は許容できるか、変動性のある RE 導入によって不安定が生じないか、国際的な炭素排出削減の要求に対応しうるか、バイオマス利用の健康な物質循環が担保されるか、地域固有の自然生態系と共生しうるかなど、持続可能要件を統合的に熟慮した上で、将来ビジョンを共創し、未来からの逆照射により RE のベストミックスを決定する必要があるといえる。

この背景から、申請者は、地域社会の未来像や自然との調和性を考慮した上で RE を重層的に導入するための最適化支援システム REROUTES (Renewable Energy Regional Optimization Utility Tool for Environmental Sustainability) の開発を進めてきた。このモデルは、環境省や新エネルギー開発機構によって公開される RE 賦存量情報を基に、基礎自治体解像度で利用形態・資源規模別に太陽、風力、中小水力、地熱、バイオマスのエネルギー151種をデータベース化し、導入時の炭素収支と市場経済性、自然生態系や物質循環への影響などの指標を数理計画モデル化して、様々な将来ビジョンに応じた組み合わせ最適化し、地域社会の RE ミックスの構想を支援できる。

2. 研究の目的

目的1として、種々の RE 生成量、流通のためのエネルギー技術システム構成、FIT 制度による経済性や認可基準など、最適解の導出に付随するパラメータの不確実性を考慮した頑健な最適化機能を実装する。目的2には、ユーザーが RE ミックスの意思決定を目的関数、制約条件が混在する多目的最大化問題として捉え、RE ミックスを実装した際に生じうる相対的に最適化された多様なエネルギーシステム像を表現すると共に、複数の指標の満足性の判断を支援できる機能拡張を行う。目的3では、RE を含むエネルギーシステムは数十年規模の運用になる RE の供給端である環境システム側の RE 賦存構造および需要端である社会システム側の構造の動態を全体システムとしてモデル化した上で、シナリオとして記述する機能を開発し、上記の多目的最適化モデルと連携して RE ミックスの将来シナリオを設計する。

3. 研究の方法

日本の市区町村を対象に、各地域の再生可能エネルギーの供給ポテンシャルとエネルギー需要のデータを基に、再生可能エネルギーの組合せ最適化を行うモデルである REROUTES (Renewable Energy Regional Optimization Utility Tool for Environmental Sustainability) を開発した。

数理モデルの構造を決定する各種のパラメータやシステムの構造が遷移し、RE システムの挙動に影響を与える技術・制度の導入の不確実性を考慮するべく、進化計算と機械学習、知識処理技術の連携によって最適解集合の縮約を実行し、満足解の選定過程を支援するアルゴリズムを開発した。具体的には、エリート非優越ソートアルゴリズム (NSGA-II) というパレートフロント同定型の進化計算アルゴリズムによって設計空間上で実行可能な RE ミックスの多様な非劣解集合を抽出し、RE 利用率・経済収支・風力発電導入率・CO2削減率・バイオマス資源循環率・潜在的生態系影響面積の6次元に写像される非劣解集合を、教師なし機械学習である自己組織化マップ (SOM: Self-Organizing Maps) により次元圧縮して可視化し、各地域の RE 供給ポテンシャル下で選択可能なパレート最適解を「ピーク性能の追求型」や「バランス性能重視型」のように、RE ミックスとその環境・経済性能で多様な分布を持つ形で類型化、構造化するシステムを開発した。

加えて、地域の望ましい将来像に基づき、多様な主体の参画と科学的知見の活用を伴う共創的なバックキャスト手法によって持続可能な地域のエネルギーシステムを設計することを支援すべく、市民との共同により地域の将来像の形成し、それに基づく将来エネルギーの定量的な需要予測を社会経済モデルである ExSS で予測、将来需要を満たす再生可能エネルギーミックスを多目的最適化したうえで、市民の選好に基づく最適解の対話的抽出を行い、多面的な影響評価と住民の選好に基づき、最適な再生可能エネルギーミックスを導出するための共創プロセスを開発した。

4. 研究成果

REROUTES モデルの骨格では、年間のエネルギー需要や再生可能エネルギーの供給ポテンシャルのデータを基に、そのマッチングをかける形で最適化を行うことができるモデルとなった。データベースは1742の全市区町村別の空間解像度で作成され、最適化の対象となる再生可能エネルギーは、太陽光発電、太陽熱利用、陸上および洋上風力発電、河川および農業用水路にお

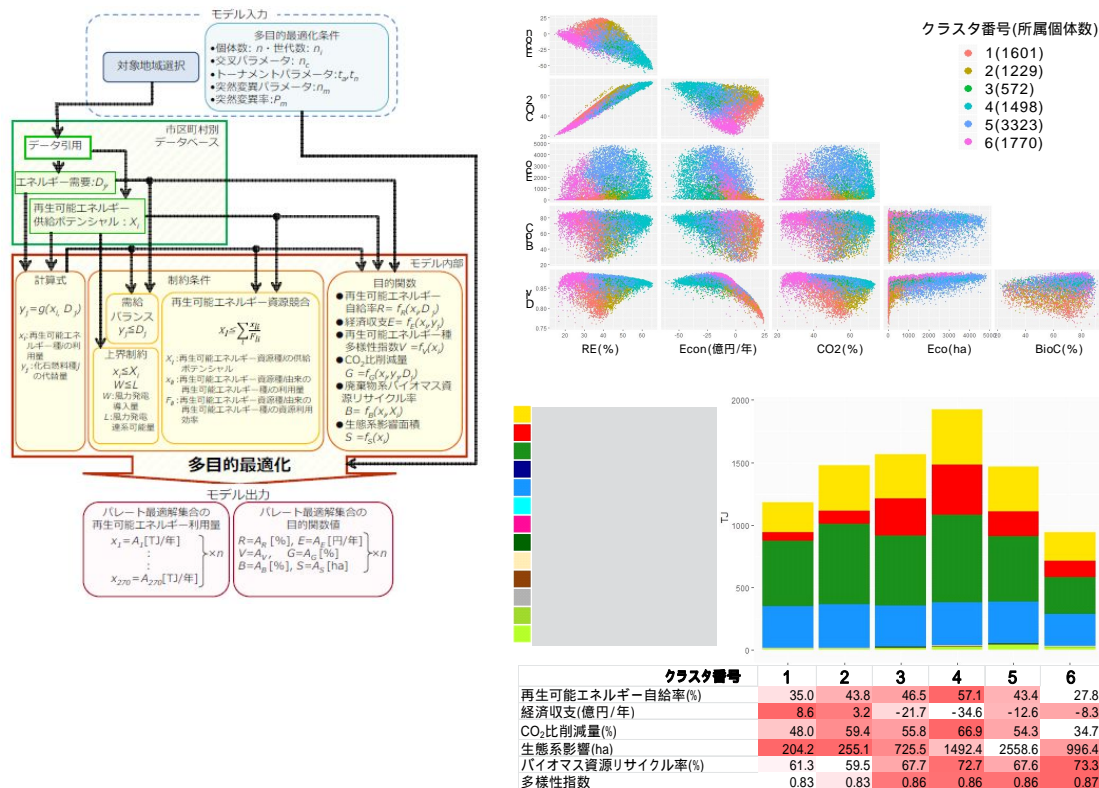


図1 REROUTES モデルの基本構造とアウトプットのイメージ(多目的最適化版)

ける中小水力発電, 地熱発電, 木質・草草系, 農業系, 畜産系, 廃棄物系バイオマスによるバイオマス熱利用, バイオマス発電およびコジェネレーションの267種に細分化されているエネルギー種を採用できた。実行可能な解を得るための制約条件として, 再生可能エネルギーの供給ポテンシャルを導入量の上界値とする条件, 土地利用の競合, バイオマス資源の競合, 熱需要量を熱利用の上界値とする条件を課される。再生可能エネルギーの組合せ解の評価指標は, 対象のエネルギー需要のうち再生可能エネルギーが供給可能な割合を示す「再生可能エネルギー利用率」, 1年単位のコストと利益のバランスを示す「経済収支」, エネルギーの組み合わせの多様性を示す「エネルギー種の多様性」, 2010年のエネルギーミックスによるCO₂排出量と再生可能エネルギー導入後に期待できるCO₂排出量を比較する「CO₂削減率」, 廃棄されていたバイオマス資源の再利用率を示す「バイオマス資源循環率」, 設備の設置等により生態系に影響を与える可能性のある面積を算出する「生態系影響面積指標」の6種が実装できた。REROUTESの最適化部分は, 一つの指標を目的変数, その他の指標を制約条件とする単目的最適化機能, すべての指標を目的変数とする多目的最適化機能の両方を実装した。

全国全基礎自治体を対象とした全国版評価, 新潟県佐渡市および滋賀県高島市での事例サイト別の再生可能エネルギー最適化計算を様々にい地域REミックスの意思決定に資する科学的情報の提供を行うことができた。特に高島市では, 市民ワークショップによって定性的に得られた高島市の望む将来社会の姿から, 2040年の高島市内の経済活動やライフスタイルの変化を定量データに変換し, それらを基に地域圏(都道府県を複数に分割した小地域)別に将来の活動量を推計し, それに伴うエネルギー消費量やCO₂排出量を定量的に表現するモデルであるExSSモデルによって2040年の活動量やエネルギー需要, 温室効果ガス排出量の予測を行い, 将来時点の地域内の産業構造やライフスタイルに係るパラメータ(年齢構成, 就業率など)と, 将来の機器のシェアや効率等, 必要となる労働力から地域人口が, 地域の消費から必要な産業の規模等が連立方程式の均衡解として定量的に導き, それを基に部門ごとの活動量や必要となるエネルギー消費量を算出した。ExSSで算出した将来エネルギー消費量を再生可能エネルギーの多目的最適化モデルREROUTESに入力することで, 地域の住民により描かれた将来像を実現するための再生可能エネルギーの組み合わせ最適解を導出した。これらの結果を地域のステークホルダーに開示して有用性の評価を行い, 地域レベルの再生可能エネルギーミックスの設計を支援するという意見を得ており, 有用なREミックス設計支援環境を構築できた。

5. 主な発表論文等

[雑誌論文](計 2件)

堀啓子, 松井孝典, 小野智司, 福井健一, 蓮池隆, 町村尚: 地域別再生可能エネルギーミックスの多目的最適化ツールの開発と応用, 人工知能学会論文集, Vol. 33, No. 3, p. A-HA1_1-12, 2018.05. (査読付き学術論文)

K. Hori, T. Matsui, T. Hasuike, K. Fukui, T. Machimura: Development and Application of the Renewable Energy Regional Optimization Utility Tool for Environmental Sustainability: REROUTES, Renewable Energy, 93, 548-561, 2016.03. (査読付き学術論文)

〔学会発表〕(計 6件)

堀啓子, 金再奎, 木村道徳, 河瀬玲奈, 松井孝典, 町村尚:再生可能エネルギーミックス多目的最適化モデルと共創的最適化プロセスによる地域エネルギーシステムの共創的な設計支援手法の提案 ~滋賀県高島市のケーススタディ~, 第46回環境システム研究論文発表会講演集, vol.46 pp.279-288, 2018.10. (査読なし学術論文)

西口舞, 堀啓子, 松井孝典, 町村尚:多様なバイオマスエネルギー利用オプションを加えた再生可能エネルギーミックスの最適化, 第34回エネルギーシステム・経済・環境コンファレンス講演論文集, 34-3, 2018.01

Keiko Hori, Takanori Matsui, Satoshi Ono, Ken'ichi Fukui, Takashi Hasuike, Takashi Machimura: Development and Application of a Multi-Objective Optimization Tool for Renewable Energy Mix in Municipalities, EcoBalance 2016 proceedings, 2016.10. (査読なし学術論文)

松井孝典, 堀啓子, 小野智司, 福井健一, 蓮池隆, 町村尚:再生可能エネルギー実装のための多目的最適化支援システム: REROUTES の開発, 電気学会第68回情報システム研究会予稿集, IS-16-041, 2016.10.

堀啓子, 松井孝典, 小野智司, 福井健一, 蓮池隆, 町村尚:進化計算による再生可能エネルギーミックスの多目的最適化, 2016年度人工知能学会全国大会予稿集, 2K5-0S-25b-3, 2016.06.

堀啓子, 松井孝典, 蓮池隆, 福井健一, 町村尚:再生可能エネルギーミックスの地域別最適化とクラスターリングによる需給特性の俯瞰, 2015年度人工知能学会全国大会, 1M2-0S-24a-2, 2015.05

〔図書〕(計 0件)

〔産業財産権〕

出願状況(計 0件)

名称:
発明者:
権利者:
種類:
番号:
出願年:
国内外の別:

取得状況(計 0件)

名称:
発明者:
権利者:
種類:
番号:
取得年:
国内外の別:

〔その他〕

ホームページ等

6. 研究組織

(1)研究分担者

研究分担者氏名:

ローマ字氏名:

所属研究機関名：

部局名：

職名：

研究者番号（8桁）：

(2)研究協力者

研究協力者氏名：福井健一

ローマ字氏名：FUKUI Ken'ichi

研究協力者氏名：蓮池隆

ローマ字氏名：HASUIKE Takashi

科研費による研究は、研究者の自覚と責任において実施するものです。そのため、研究の実施や研究成果の公表等については、国の要請等に基づくものではなく、その研究成果に関する見解や責任は、研究者個人に帰属されます。

