

科学研究費助成事業（科学研究費補助金）研究成果報告書

平成 24 年 6 月 6 日現在

機関番号：14301

研究種目：基盤研究（C）

研究期間：2009～2011

課題番号：21560881

研究課題名（和文）

入れ子型自律分散意思決定構造を考慮した再生可能エネルギー導入促進方策の検討

研究課題名（英文）

Measures for promoting Renewable Energy Introduction by taking Nested Decentralized Autonomous Decision-making Structure

研究代表者

手塚 哲央（TEZUKA TETSUO）

京都大学・大学院エネルギー科学研究科・教授

研究者番号：60163896

研究成果の概要（和文）：

再生可能エネルギーの需要と供給は、小規模な意思決定主体が広範囲に分散して進められるとともに、国や地方自治体の規制下にも置かれることから、入れ子型自律分散意思決定システムとして表現されることとなる。本研究では、自律分散エネルギー需給システムの制度設計手法として、シミュレーション型モデルによるロバスト制度設計を提案し、タイ国における籾殻利用を対象として、現地調査を実施、その利害関係者の意思決定構造を推定、シミュレーションモデルを構築、そして、現状の問題を解決するための制度を提案することにより、提案した手法の有効性を示した。

研究成果の概要（英文）：

Renewable energy supply and demand depends on the small-scales decision-makers distributed in wide area, and is also under the regulation by national and local governments. Therefore, it can be represented as the nested decentralized decision-making systems. In this study the robust design method is proposed for regulation design for autonomous decentralized energy system, and the method is applied to the rice-husk utilization system in Thailand. The ways of decision-making of stakeholders of rice-husk market have been identified through interview and questionnaire in Thailand, and the decision-makers' models are developed based on the investigation results. Through model simulations with several targets of regulation design the effectiveness of the proposed method is demonstrated.

交付決定額

（金額単位：円）

| | 直接経費 | 間接経費 | 合計 |
|--------|-----------|-----------|-----------|
| 2009年度 | 1,200,000 | 360,000 | 1,560,000 |
| 2010年度 | 1,200,000 | 360,000 | 1,560,000 |
| 2011年度 | 1,000,000 | 300,000 | 1,300,000 |
| 年度 | | | |
| 年度 | | | |
| 総計 | 3,400,000 | 1,020,000 | 3,420,000 |

研究分野：エネルギーシステム学

科研費の分科・細目：エネルギー額

キーワード：自律分散システム、意思決定、再生可能エネルギー、制度設計、ロバスト設計、籾殻、タイ国

1. 研究開始当初の背景

＜再生可能エネルギーと自律分散エネルギーシステムとの関係＞

日本の採るべき中・長期的エネルギー政策の目標の一つとして脱化石燃料が挙げられている。そして、その実現のためには省エネルギーと再生可能エネルギーの導入が不可欠と考えられる。近年、世界の多くの国で、太陽光発電、風力発電、バイオエネルギーなどの再生可能エネルギー普及促進策が積極的に進められている。バイオエタノール混合ガソリン利用の義務化、再生可能エネルギーによる発電電力量の固定料金買取制度（Feed-in Tariff、FIT）や発電会社に再生可能エネルギーによる発電量の最低割合を義務付ける RPS(Renewable Portfolio Standard)制度など、多様な制度が考案、施行されている。しかし、それらの各種制度の有効性の判断については、国や地域の特殊性を考慮しなければならない。

再生可能エネルギーの特徴の一つとして、エネルギーの空間分布密度の低い点が挙げられる。これは、再生可能エネルギーの利用には大規模なプラントではなく、分散立地した小規模プラントの利用が必要であることを示し、その設備建設には地理的に分散した数多くの意思決定者が関わることが予想される。

地理的に分布した多数のエネルギー供給者、消費者が、適当な制度の下でエネルギー需給に関わる独自の意思決定を行うシステムは、自律分散的な意思決定主体の集合体の一つと見なすことができる。これを以下では「自律分散型エネルギー需給システム」と呼ぶ。従来の中央集権的エネルギー需給システム計画手法とは異なり、多様な意思決定者が多数参加できるエネルギー需給システムの挙動についての検討は未だ不十分である。

＜入れ子型自律分散エネルギー需給システムの問題点とロバスト制度設計＞

エネルギー需給に関わる意思決定の規模については、家庭の屋根の上の太陽光発電装置に関わる比較的小規模のものから、地方自治体における太陽光発電導入促進方策のように地域的な広がりを持った大規模なものまで様々である。そして、それらは地理的な包含関係と他の意思決定間の相互影響の程度により「入れ子構造」を形成する。すなわち、ある地域での意思決定は、その地域を含む、より広域の意思決定の影響を強く受けるというものである。例えば、家庭での太陽光発電装置の購入は、その地域の規制（日照量を確保するための建築規制など）、市町村、都道府県の制度（例えば太陽光発電購入補助金制度など）、国の制度（例えば系統連系要件

や発電量買取制度など）の影響の下で意思決定される。また、市町村の意思決定は国の意思決定の影響を受ける。

そこで、入れ子型自律分散意思決定構造を有する一つのエネルギー需給システムでの制度設計を考える場合には、その内部に含まれる多様な意思決定者の行動（小規模な個々の設備投資を実施する意思決定の内容とそれを取り囲む小地域内での制度設計）を考慮しなければならない。そしてその際には、個々の意思決定者のミクロ的な視点と、その個々の意思決定が実施された後の全体システムの挙動、すなわち、マクロ的な視点との双方を考慮して、その地域内の制度を決定する必要がある。

しかし、一般にマクロ的な視点の議論は、対象を単純化した仮想的な状況に基づいたものであるのに対し、ミクロ的な意思決定は個々に独自の評価基準、情報、制約に基づいて自律的に実施される。この双方の視点を融合させることが困難であるため、この視点のギャップが放置されたまま、制度の策定が行われる場合が少なくない。過去の電力産業自由化政策、バイオエタノールによる穀物価格の高騰、太陽光発電導入支援策の急変などは、このギャップによる問題が顕在化した例と見ることができる。

2. 研究の目的

以上の背景を踏まえて、本研究では、入れ子型意思決定構造を持つエネルギー需給システムに対して再生可能エネルギー普及を効果的に促進するための、マクロ的視点とミクロ的視点の双方を考慮した「ロバストな制度」設計の枠組みとその設計のために必要となる設計手法の枠組みを提案し、具体的なエネルギー需給システムに対して提案手法の適用・検証することを目的とする。

3. 研究の方法

＜研究計画の要旨＞

本研究では、再生可能エネルギー利用技術・利用特性の調査、マクロ的視点からの各種制度の候補の策定、受容困難な状況の想定、実験経済結果に基づくミクロ的意決定モデルの同定、入れ子型自律分散意思決定システムにおける各意思決定者間の相互影響の推定、不確実性に対する意思決定者の反応のモデル化、そして、得られた入れ子型自律分散エネルギー需給システムモデルを用いたシミュレーション実験手法によるロバスト制度設計手法の開発を行う。

まず、再生可能エネルギーによる発電電力量に対する制度比較を目的として、上記の一連の手法を具体的に開発し、提案する手法の有効性を確認する。

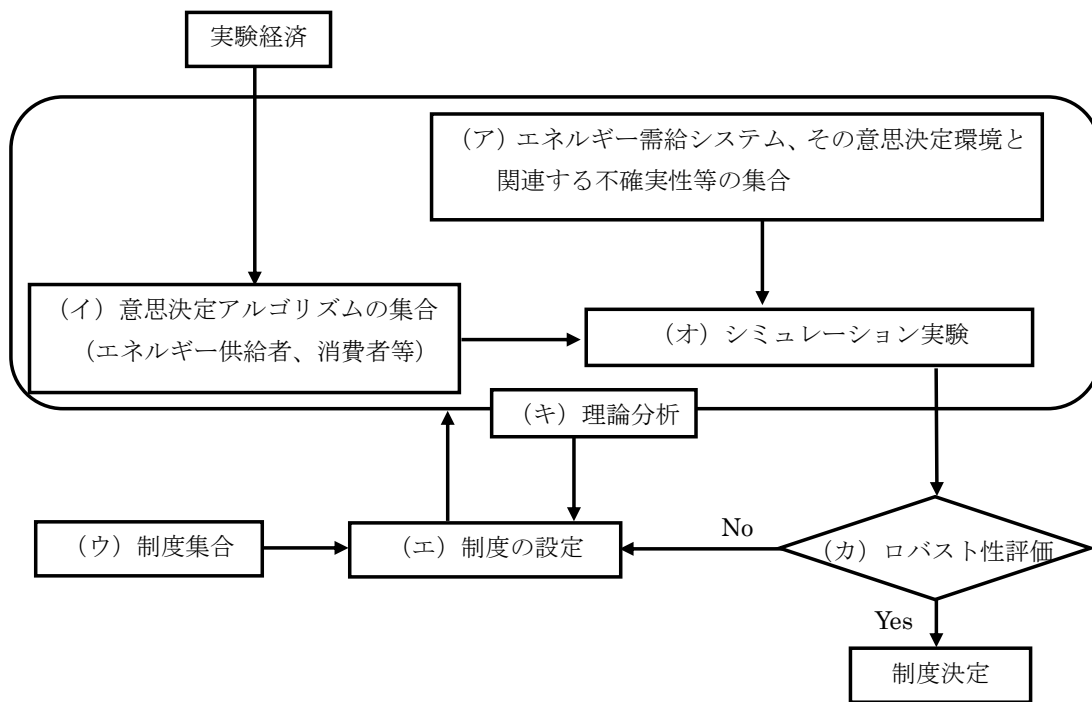


図1 シミュレーション実験に基づくロバスト制度設計の流れ図

そして、タイにおける複数種類のバイオマスの有効利用を対象としたより複雑な構造を持つ制度設計問題に拡張し、提案手法の適用限界を探る。

最終年度には、意思決定支援システムの開発を通して、提案した手法の有効性を検証する。

シミュレーション実験に基づいたエネルギー需給システムのロバスト制度設計手法の概要を図1に示す。エネルギー需給システムと意思決定環境の集合(ア)と利害関係者の意思決定集合(イ)に対して、制度集合(ウ)の要素(制度)の組合せ(エ)を与えることにより、エネルギー需給シミュレーションが可能となる。そこで、予想可能なエネルギー需給システムの環境と合理的な意思決定のあらゆる組み合わせに対するシミュレーション結果(オ)が常に許容可能となるような制度を、ロバスト安定な特性を持つ望ましい市場制度と判断する(カ)。そして、そのようなロバストな制度を、シミュレーション実験(オ)と理論分析(キ)とを併用して、候補として考えられる制度集合から合成する実用的方法論を構築する。

(1) シミュレーション実験環境の整備

本研究では、種々の意思決定アルゴリズム獲得のために再生可能エネルギー設備投資の実務担当者から意見を聴取し、その記録から設備投資に関わるミクロ的意思決定アルゴリズムを抽出する。

(2) マクロ的視点からみた受容困難な状況の想定

制度設計の目標を定め、エネルギー需給シ

ステム全体において受容可能な導入量の範囲を想定する。これは、シミュレーション実験の結果に応じて調整されるべき値である。

(3) 実務担当者へのヒヤリング調査結果に基づくミクロ的意思決定モデルの同定(1)のシステムを用いて、太陽電池導入促進のための二種類の制度の下での投資に係る意思決定の行動アルゴリズムの集合を作成する。この段階では、専門家を含む数多くの関係者の参加を得て、多様なアルゴリズム集合を作成する。この集合には、合理的ではない意思決定アルゴリズムも含まれる。

(4) 入れ子型自律分散エネルギー需給システムにおける各意思決定者間の相互影響の構造の推定、不確実性に対する意思決定者の反応のモデル化

まず、複数意思決定者の意思決定行動を、入れ子型自律分散エネルギー需給システムとしてその相互影響の構造を含めてモデル化し、上記で得られた意思決定アルゴリズムに各制度の詳細設計が及ぼす影響を定量化する。そして、更に意思決定の際に考慮すべき不確実性やリスクに対する意思決定者の反応を調査し、意思決定モデルに含める。これにより、各意思決定者による各種リスクの低減方策を制度設計の際に考慮することが可能となる。

(5) シミュレーション実験手法によるロバスト制度設計

上記で与えられた、意思決定アルゴリズム集合、意思決定環境、不確実性などを所与として、受容できない結果に至ることのないよ

うに制度の詳細設計を行うロバスト制度設計の方法論を確立する。そして、その二種類の制度の費用対効果を分析することにより制度の有効性の比較を行う。

4. 研究成果

- (1) シミュレーション実験環境によるロバスト設計手法を確立した。具体的には、想定される最悪の状況を再現し、その状況を回避するための制度を考案する手順を明らかにした。
- (2) タイ国の穀物の市場価格の高騰問題に着目し(図2)、その問題解決に向けた制度設計を問題として取り上げることとした。そして、穀物取引の関係者に、インタビュー調査を実施し、その考え方に、取引に関する意思決定構造を抽象し、モデル化した(例:図3)。
- (3) そして、国及び地方自治体の種々の制度の下でのシミュレーションにより、制度評価を可能とし、受容できない結果を避けることのできるロバスト制度設計に適用可能であることを示した(図4)。
- (4) 現在、上記の内容を整理し、学会誌に論文投稿中である。

5. 主な発表論文等

(研究代表者、研究分担者及び連携研究者には下線)

[雑誌論文] (計3件)

[1] N. Chayawato, B. Fungtammasan, N. Agya Utama, T. Tezuka and K.N. Ishihara, Energy Sector Scenario for Low Carbon Society in Thailand towards 2050, IEEE First conference on clean energy and Technology (CET) (2011)

[2] Cai Shenghua and Tetsuo Tezuka: Robust market design for power industry deregulation by simulations, Simulation Modelling Practice and Theory, Vol. 18, Issue 5, pp.589-599 (2010)

[3] Ampaitopin Singhabhandhu and Tetsuo Tezuka: A perspective on incorporation of glycerin purification process in biodiesel plants using waste cooking oil as feedstock, Energy, Volume 35, Issue 6, pp. 2493-2504 (2010)

[学会発表] (計2件)

[1] T. Tezuka, S. Yane: An Extended model for a Long-term Energy Supply-demand Scenario Analysis and its Inverse Problem, International Conference on Applied Energy (ICAE2011), Italy (2011)

[2] Tetsuo Tezuka: Framework Design of Autonomous Decentralized Energy

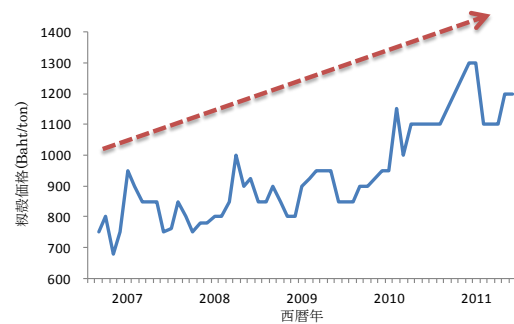


図2 タイにおける米穀価格の推移

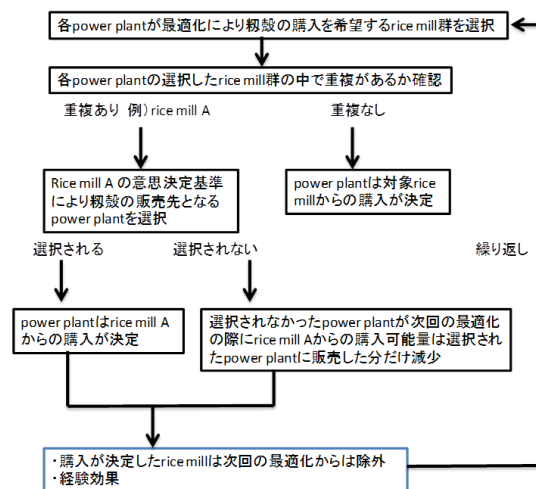


図3 シミュレーションのフロー図

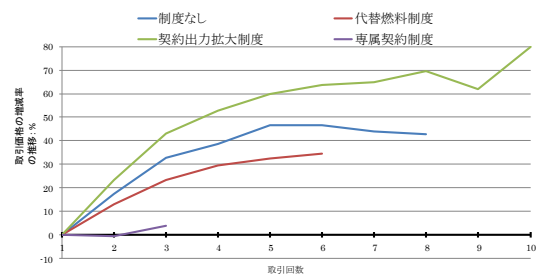


図4 シミュレーション結果例

Supply-demand System (AUDES) for Promoting Introduction of Renewable Energy, World Renewable Energy Congress 2009 - Asia, The 3rd International Conference on "Sustainable Energy and Environment (SEE 2009)", 18-23 May 2009, Bangkok, Thailand (2009)

[図書] (計4件)

[1] 手塚哲央: エネルギーと環境のシステム学、「エネルギー・環境。社会」現代技術社会論 第5章、丸善、pp.58-76 (2010)

[2]手塚哲央：エネルギー学探訪（15） - 地球温暖化問題とエネルギー学 - 、OHM、第97巻3号、pp. 42-44（2010）

[3]手塚哲央：エネルギー学探訪（7） - 電力システムとエネルギー学 - 、OHM、第96巻7号、pp. 50-52（2009）

[4]手塚哲央：エネルギー学探訪（6） - 太陽光発電システム導入促進に関する意思決定と選好 - 、OHM、第96巻6号、pp. 70-72（2009）

〔その他〕

ホームページ等

<http://eecon.energy.kyoto-u.ac.jp/jpindex.htm>

6. 研究組織

(1) 研究代表者

手塚 哲央 (TEZUKA TETSUO)

京都大学大学院エネルギー科学研究科・教授

研究者番号：60163896