

氏 名	蔡 聖 華 サイ シェン ホア
学位(専攻分野)	博 士 (エネルギー科学)
学 位 記 番 号	エ ネ 博 第 169 号
学位授与の日付	平 成 20 年 3 月 24 日
学位授与の要件	学 位 規 則 第 4 条 第 1 項 該 当
研 究 科 ・ 専 攻	エ ネ ル ギ ー 科 学 研 究 科 エ ネ ル ギ ー 社 会 ・ 環 境 科 学 専 攻
学 位 論 文 題 目	Robust Framework Design for Electric Power Industry Deregulation (電力産業自由化のためのロバスト制度設計)

論文調査委員 (主 査) 教 授 手 塚 哲 央 教 授 石 原 慶 一 准教授 下 田 宏

論 文 内 容 の 要 旨

本論文は、規制緩和（以下、自由化）された電力産業におけるロバスト制度設計手法について研究した成果をまとめたものであり、6章からなっている。

自由化された電力市場は、独自に意思決定を行う多数の電気事業者、消費者の集合、すなわち、自律分散意思決定システムと見なすことができる。しかし、このような自律分散意思決定システムに望ましい特性を付与できる有効な「意思決定の枠組（以下、制度）」の設計手法は未だ確立されていない。特に重要な問題点として、制度設計と市場参加者の行動間の明確な対応関係を事前に把握することの困難さが挙げられる。これは、従来のエネルギー経済モデルで用いられている解析的手法によって市場設計の問題に対処することが困難であることを意味する。この観点から、最近注目を集めている手法に、人間を被験者とする実験経済学がある。これは、多様な制度の下で、被験者である人間に仮想的な市場で取引行動をとらせる実験を行うことにより、その結果現れる市場の動きを観察し、種々の制度の妥当性を比較検討しようとするものである。しかし、この手法は人間を含む実験であることから、得られた実験結果の再現性や妥当性に問題のあることが知られている。

そこで、本研究では、電力市場に対して、従来の設計規範である最適性や均衡などとは異なる「ロバスト性」の概念に基づいた制度設計を提案し、その基準に基づく制度設計手法を具体的に提案する。ここでロバスト性とは、システムやその参加者に関わる多様な不確実性に対して、その利害関係者にとって受容可能な特性をシステムが維持できることと定義される。本研究の特徴は、この自律分散意思決定システムとしての市場に対するロバスト制度設計の概念の提案と、その具体的な制度設計手法としての「対話型シミュレーション実験手法」を新規に提案することにある。

まず、第二章では、電力システムの基本的な特徴を、技術的視点と経済的な視点の双方から整理する。そして、自由化された電力市場のモデル化の考え方を、競合と協調という相反する市場参加者の行動指針に基づいて説明する。

第三章では、自由化された市場における自律分散意思決定のためのロバスト制度の概念を提案する。ここでロバストな市場制度とは、将来の市場における様々な不確実性や、市場行動として想定しうる市場参加者の多様な意思決定行動の組合せに対して、市場が不安定化せず、さらに制度設計者や市場参加者にとって受容可能な特性を維持できる市場制度を意味する。このロバスト制度設計は、市場関係者の主観的な判断に基づくものであることが重要である。

ロバスト市場制度の設計手法は、基本的に次の3つの手順から構成される。

第一に、市場の参加者（電力市場では、政府、発電事業者、送・配電業者、需要家、市場管理者など）の意思決定行動のモデル化と将来の市場における種々の不確実性の想定が必要となる。意思決定行動としては合理的ではない意思決定をも含む多様なアルゴリズムが考慮される。さらに、システムの多様な評価規範についても列挙する。

第二に、市場の多様な不確実性や市場参加者の行動に対して発生しうる、市場参加者にとって望ましくない電力市場の状況を定量的に表現することが必要となる。例えば、電力産業の公益性からは、市場参加者の予期されうる意思決定行動に対して適切な価格による安定した需給を常に維持することが必要であり、また、将来の投資リスクを低め市場参加者間の不平

等を抑制することも、市場での設備投資を妨げないために重要である。ここでは、このような多様な基準の下で、参加者にとっての受容可能性を評価することとなる。

第三として、上記の望ましくない状況の発生を未然に防ぐためのロバストな市場制度を設計する。本研究では、このための手法として第四章で意思決定者との対話的なシミュレーション実験を通じた制度設計手法を提案する。

第四章では、ロバスト制度設計のための「対話的シミュレーション実験手法」を提案する。シミュレーション実験とは、実験経済学の被験者をシミュレーションモデルに置き換えたものであり、多様な意思決定アルゴリズムの組合せ、各種外生条件の組合せを自由に考慮でき、さらに実験結果の再現性が確保されるところに大きな利点がある。第三章に述べた設計手順において、実際には、各意思決定者のアルゴリズムや価値観、市場の不確実性などの十分な情報を事前に得ることは困難である。さらに、その情報が得られたとしても組合せ問題を解くこととなるため、その厳密な求解も困難である。そこで、種々の条件が主観的に与えられることを考慮した対話的な制度設計手法が有効となる。本論文では、関係者が種々の基準から見て望ましくない状況を提示し合うことにより市場参加者間の合意形成を志向できる、ロバスト制度設計手法を新規に提案する。

第五章では、本論文で提案した手法を、電力市場の制度設計の問題に適用した結果について述べる。まず、自由化市場で大きな問題となる設備投資問題に注目し、投資された設備の固定費に対する支払い(Capacity Payment)による、システムの安定運用のための適切な設備投資を維持できる制度について、ロバスト制度の視点から前章までに述べた手法を用いて検討する。また、市場支配力を利用した市場操作行動の抑制可能性についても検討する。電力市場の制度設計に際しては、供給の安定性を犠牲にして経済効率を追求することは望ましくない。本章ではシミュレーション実験手法により、固定料金制度が投資者行為とエネルギー市場価格に及ぼす影響を定量的に評価し、設備容量に対する可変支払制度が、適切な規制の下で、市場の安定的運用に対してロバスト性を付与できることを示す。

第六章は結論であり、本論文で得られた結論を整理し、今後の問題点を提示している。

論文審査の結果の要旨

規制緩和（以下、自由化）された電力市場は、電気事業者や需要家などの独立した多数の意思決定者の集合、すなわち、自律分散意思決定システムと見なすことができる。しかし、このような自律分散システムは、個々の主体の意思決定行動を事前に定めることができないため、従来の経済理論等に基づいた規範的制度設計手法をそのまま適用することができず、市場に望ましい特性を付与できる有効な設計手法は未だ確立されていない。本論文は、この自由化された電力産業を対象としたロバスト制度設計手法を提案し、その具体的な設計手順とその適用手法について研究した成果をまとめたものである。得られた主な成果は次の通りである。

1. まず、自由化された電力産業を自律分散意思決定システムとして捉え、その制度設計を目的として、従来の設計規範である最適性や均衡とは異なる概念として「ロバスト制度設計」の概念を提案した。ここで、ロバストな市場制度とは、将来システムに関わる種々の不確実性と市場参加者の多様な意思決定行動の組合せに対して、常に市場参加者にとって許容可能な市場特性を維持できる市場制度として定義される。
2. 上記のロバスト制度設計問題は組合せ問題となり大規模な問題への適用は困難であり、また、種々の不確実性や意思決定行動も事前に定量的に把握し正確にモデル化することはできない。そこで、具体的なロバスト制度設計の手順として、従来の理論分析、実験経済、モデルシミュレーションの各々の長所を生かし欠点を補う手法として、シミュレーション実験手法を提案した。さらに、その手法に基づく具体的なロバスト制度設計の手順として、市場における利害関係者（ステークホルダー）が許容可能な市場制度を探索できる対話型シミュレーション実験手法を提案し、この手法が市場の利害関係者の合意形成の促進に有効であることを指摘した。
3. 提案したロバスト制度設計手順を、自由化された電力市場の制度設計問題に適用し、その有効性を確認した。具体的には、自由化電力市場において最も重要視されている問題の一つである設備投資問題を取り上げ、ロバストな電力市場を実現するためには投資された設備の固定費支払に対して可変料金制の導入が有効であることを示した。

社会システムにおける制度設計において、従来の規範型接近法が限定された意思決定の状況しか対象とすることができな

かったのに対し、本論文で提案された制度設計手法では、種々の状況に対して参加者の満足度を考慮したロバストな設計が可能となる。この手法は市場参加者の合意形成も促進できることから、今後の種々の社会システムにおける制度設計に大きく貢献することが期待される。

よって、本論文は博士（エネルギー科学）の学位論文として価値あるものと認める。また、平成20年2月26日実施した論文内容とそれに関連した試問の結果合格と認めた。