

氏名（本籍）	松本 拓史（東京都）
学位の種類	博士（経営学）
学位記番号	博甲第 9653 号
学位授与年月日	令和 2 年 8 月 31 日
学位授与の要件	学位規則第 4 条第 1 項該当
審査研究科	ビジネス科学研究科
学位論文題目	Forecast Based Risk Management for Electricity Trading Market

主査	筑波大学 教授	博士（工学）	山田 雄二
副査	筑波大学 教授	博士（理学）	牧本 直樹
副査	筑波大学 准教授	博士（文学）	尾碕 幸謙
副査	筑波大学 准教授	博士（工学）	領家 美奈
副査	立命館アジア太平洋大学 准教授	博士（経営）	中島 克志

## 論文の内容の要旨

従来、規制料金制度下で地域独占的に運営された我が国の電力市場は、完全自由化を契機に、複数事業者の競争原理による市場環境へと変革を遂げた。また、近年急増した風力や太陽光等の再生可能エネルギー発電は、出力が気象条件に依存し、電気事業者の供給量や卸電力価格の変動リスクを増加させている。本論文は、自由化以降特に顕在化した電力取引におけるリスク管理上の課題に対し、予測手法、ヘッジ手法、市場取引戦略という 3 つの側面から解決策を提示することを目的とするものである。主要結果は、第 3 章から第 6 章にかけて以下のように述べられている。

第 3 章では、日射量等の観測値を時間帯別・天気別に分けた場合に存在する滑らかな周期性トレンドに着目し、トレンドの推定値と気象庁の発表する天気概況予報を用いた太陽光発電予測モデルを新たに構築している。そこでは、天気概況予報に基づく天気シナリオの実現確率を多項ロジットモデルによって推定し、一般化加法モデルによる季節性トレンド推定値と組み合わせることで、日射量と出力の予測値を算出している。また、先行研究における予測手法、および予測シナリオを直接代入した手法と比較し、本研究で提案する手法の予測誤差低減化における優位性を検証している。

第 4 章では、太陽光発電の予測誤差損失に対するヘッジ手法を提案している。太陽光発電事業者は、日々行う翌日の出力予測に誤差が存在する場合、電力系統運用者によってペナルティーが課せられる。本章では、このような予測誤差に伴う太陽光発電事業者の損失を効果的に補填するための天候デリバティブを提案し、そのヘッジ効果を検証している。具体的には、日射量の予測誤差を原資産とする気象予測誤差デリバティブを設計した上で、気温の予測誤差絶対値に基づくデリバティブをさらに導入し、これらを用いたクロスヘッジ手法を構築している。その際、日内トレンドと季節性トレンド両方向の平滑化条件を同時に加味するテンソル積スプライン関数を用いた手法が新たに示され、実証分析によりその有効性が明らかにされている。

第5章では、価格・ボリュームリスクを同時にヘッジするためのデリバティブポートフォリオ戦略を、日本卸電力取引所（JEPX）にて取引を行う太陽光発電事業者の収益変動リスク、および米国 PJM 市場における小売電気事業者の調達コスト変動リスクのような異なる市場におけるヘッジモデルに対して提案している。ここでは、様々なノンパラメトリック回帰手法を複合的に用いることで、対象時系列の複数方向に存在するトレンドの推定を行っている。具体的には、前章でも利用したテンソル積スプライン関数に加え、ヘッジモデルの構造を明確化するための ANOVA 分解や、交差変数付きスプライン関数を用いるなど、既存の手法を異なる角度から組み合わせることで新たなヘッジモデルを開発している。実証分析に当たっては、JEPX と PJM といった異なる市場の実データを用いることにより、ヘッジモデルの汎用性・頑健性を検証している。

第6章では、電力市場特有の需要・供給の不一致（インバランス）の精算に係る直近の制度変更を動機として、小売事業者の裁定取引がもたらすインバランス縮小効果といった観点から新制度の有効性を検証している。モデル化に当たっては、インバランスの量・価格両方の確率分布に対して2段階の分位点回帰に基づく近似的予測手法を新たに導出するとともに、裁定取引者の取引量を与える決定変数を連続変数とした最適化問題に基づく近似アルゴリズムが構築されている。実証分析においては、インバランス量・価格の予測可能性が高まるほど、裁定取引者の利益と系統安定化機能の両方が高まることや、個社別のインバランスに課される一定規模のペナルティーが、更なる系統インバランスの縮小に貢献するなどといった市場メカニズムが明らかにされている。

## 審査の結果の要旨

本論文は、再生可能エネルギー発電特有の損失リスクや卸電力価格・調達量・供給量変動リスクに対するヘッジ手法、および需給調整のコスト負担に関するインバランス清算制度の有効性検証手法を提案したものである。特に、本論文における近年急増した太陽光発電事業者の利用を想定した予測誤差デリバティブによるヘッジ手法やデリバティブポートフォリオによるヘッジ戦略、市場原理を利用した系統安定化に関する研究は、いずれも我が国の電力市場が直面する課題に対する解決案や実務活用を見据えた実用性が高い研究と評価される。さらに本論文では、実務上の課題解決を念頭に置きつつ、理論の高度化も追及されている。集中的に扱ったノンパラメトリック回帰手法の拡張だけではなく、点推定の回帰予測に存在し得るバイアスに着目し、多項ロジットや分位点回帰などの確率分布予測の視点が入り入れられるなど、随所に工夫がみられる。また、国ごとに特殊性をもつ電力市場に対して市場横断的な分析を行うことによって得られた新たな知見は、分析アプローチの有効性を多面的に認識することにもつながる。電力市場におけるリスクマネジメントは、社会、経済、自然環境要因が混ざり合う非常に複雑な課題であるが、本論文の研究成果は、長らく低迷する我が国の経済効率性改善に向けて、解決策を導く効果的なアプローチを与えることが期待される。

### 【最終試験】

論文審査委員会による最終試験を令和2年7月7日に実施し、全員一致で合格と判定した。

### 【結論】

よって、著者は、博士（経営学）の学位を受けるのに十分な資格を有するものと認める。