



Title	不確実条件下での複数価値取引と電力需給計画の最適化に関する研究
Author(s)	内藤, 健人
Citation	大阪大学, 2025, 博士論文
Version Type	VoR
URL	https://doi.org/10.18910/103220
rights	
Note	

The University of Osaka Institutional Knowledge Archive : OUKA

<https://ir.library.osaka-u.ac.jp/>

The University of Osaka

論文内容の要旨

氏名（内藤健人）	
論文題名	不確実条件下での複数価値取引と電力需給計画の最適化に関する研究
論文内容の要旨	
<p>日本では長らく10社の電力会社が、管轄するエリア内の発電・送配電および電力の販売を一貫して行い、安定的な電力供給を実現してきた。近年、電力の低廉化を目指して電力システム改革が進められ、電気事業に自由競争が導入されたことに伴い、電気事業者の収益確保が課題となっている。本研究では、発電事業者の意思決定における課題に対して、最適化技術を用いた解決策を提案するとともに、シミュレーションによりその有用性を示す。</p> <p>第1章では、発電事業者を取り巻く近年の状況を踏まえて、意思決定における課題を抽出するとともに、本論文では「不確実条件下での取引に関する意思決定」と「複数価値の取引に関する意思決定」に関する解決策を提案することを述べる。</p> <p>第2章では、不確実条件下での取引に関する意思決定手法を提案する。具体的には、週間での発電機の運転計画とスポット市場での取引計画を統合して作成する際に、発電事業者のリスク選好に応じた収益を得られるように、スポット市場の価格の不確実性を考慮して最適化する手法を提案する。発電事業者が明示的にリスク選好を反映できるよう、収益のValue at Riskを最大化することを目的として、確率計画法を用いた計画作成手法を提案する。数値シミュレーションによる検証により、収益の期待値を最大化する従来手法と比較して、提案手法が収益のValue at Riskを向上させることを示し、その有用性を確認する。</p> <p>第3章では、複数価値の取引に関する意思決定手法を提案する。具体的には、スポット市場での電力量の取引計画と、需給調整市場での調整力の取引計画と、発電機の運転計画を統合して最適化する手法を提案する。調整力を発動できることを担保するためには、出力帯の計画が必要となる。そこで、フローネットワークを活用して出力帯と起動停止をモデル化する手法を提案する。数値シミュレーションによる検証により、電力量の取引のみを考慮する従来手法と比較して、提案手法が発電事業者の収益を向上させることを示すとともに、調整力の発動指令に確実に応じができるように火力発電機の出力帯を計画できることを示し、提案手法の有用性を確認する。</p> <p>第4章では、不確実条件下での複数価値の取引に関する意思決定手法を提案する。具体的には、スポット市場と需給調整市場の価格の不確実性を考慮した上で、電力量・調整力の取引計画と発電機の運転計画を統合して最適化する手法を提案する。不確実性と複数価値取引を同時に考慮するこの問題を、混合整数計画問題として定式化して直接的に解くことは、実用的な時間では困難である。そこで、決定変数を段階的に決定するヒューリスティックを提案するとともに、段階的な処理の過程において、離散変数の決定問題を求解が容易な最短路問題に帰着させる方法を提案する。数値シミュレーションによる検証により、価格の不確実性を考慮しない従来手法と比較して、提案手法が収益のConditional Value at Riskを向上させることを示す。加えて、発電機30台の翌日需給計画を、1時間未満で作成出来ることを示し、提案手法の有用性を確認する。</p> <p>第5章では、本研究から得られた前述の成果を総括するとともに、電力需給計画の今後の課題を述べる。今後の課題は、揚水発電機、水力発電機や太陽光発電などの再生可能エネルギー電源等を考慮することである。また、確率計画法で用いるシナリオについて、実用的な時間での計算とリスクの考慮を両立するための適切なシナリオ数を見積もる方法を検討する必要がある。加えて、複数の市場価格と再生可能エネルギー電源の出力のシナリオを、相関を考慮して生成する必要があるほか、発電機の故障といった突發的な事象も考慮する必要がある。さらに、今後は環境への影響も考慮する重要性が高まる。温室効果ガスの排出量を考慮した発電機の運転計画、ひいては電源の投資計画を考える必要がある。他方で、2023年から同時市場を創設する検討が開始されている。同時市場では、電力量と調整力を同時に約定することで、一般送配電事業者が十分な調整力を確保できる、という効果が見込まれているが、全国の発電機の運転計画という、大規模な運転計画問題を解く必要があり、効率的かつ安定的な解法が必要となる。本研究で提案した発電機のモデル化と定式化を応用できる可能性があると考える。</p>	

論文審査の結果の要旨及び担当者

	氏名 (内藤 健人)	
	(職)	氏名
論文審査担当者	主査 教授 高井 重昌 副査 教授 舟木 剛 副査 教授 牛尾 知雄 副査 准教授 橋本 和宗	

論文審査の結果の要旨

電力システムは、電気エネルギーを発生する発電設備、電気エネルギーを消費する需要家設備、発電設備で作られた電気エネルギーを需要家に供給する電力流通設備からなる大規模なネットワークシステムである。電力システムでは何より、需要家に電力を安定して供給することが要求される。我が国では、電気事業の地域独占的体制により安定的な電力供給を実現してきたが、一連の電力システム改革を経て、現在では発電事業・小売電力事業が自由化され、市場における自由競争が導入されている。自由競争下において、発電事業者・小売電気事業者が安定して収益を確保するため、電力の売買に関して如何に意思決定を行うかが課題となっている。そこで本論文では、最適化技術を用いた発電事業者ための電力の売買に関する意思決定手法を提案している。

発電事業者は、市場価格と発電量という二つの不確実性の下で、安定して収益を得るために意思決定をする必要がある。そこでまず、発電事業者が週間での発電機の運転計画とスポット市場での取引計画を統合して作成する際、収益が減少するリスクの選好に応じた収益が得られるように、スポット市場の価格の不確実性を考慮した最適化手法を提案している。本提案手法は、発電事業者が明示的にリスク選好を反映できるように、不確実条件下でのリスクを定量的に示す指標である収益の Value at Risk (VaR) を最大化することを目的とし、確率計画法を用いて最適化する手法である。数値シミュレーションにより、収益の期待値を最大化する従来手法と比較して、提案手法により収益の VaR が向上することを示すことで、提案手法の有用性を確認している。

また、発電事業者にとって、それぞれ異なる市場で取引される「実際に発電された電気である電力量」と「短時間で需給調整できる能力である調整力」はトレードオフの関係にある。そこで、これら電力量および調整力の取引計画と、発電機の運転計画を統合して、収益を最大化する手法を提案している。調整力を売る際には、調整力を発動できることを担保する必要があるため、発電機の出力・起動停止と合わせて、発電機の出力範囲を複数の区間に分けたものである出力帯の切替計画も重要となる。この問題を数理計画問題として定式化する際には、出力帯の離散性を表現する必要があり、重み付き有向グラフの一種であるフローネットワークを用いた出力帯と起動停止のモデル化を提案している。数値シミュレーションにより、電力量の取引のみを考慮する従来手法と比較して、提案手法が発電事業者の収益を向上させることを示し、提案手法の有用性を確認している。

さらに、スポット市場と需給調整市場の価格の不確実性を考慮した上で、電力量および調整力の取引計画と発電機の運転計画を統合して、不確実条件下でのリスクを定量的に示すもう一つの指標である収益の Conditional Value at Risk (CVaR) を最適化する手法を提案している。この問題を混合整数計画問題として定式化し、実用的な時間で直接的に解くことは困難であるため、決定変数を段階的に決定するヒューリスティックにより、段階的な処理の過程において、離散変数の決定問題を求解が容易な最短路問題に帰着させる方法を提案している。数値シミュレーションにより、価格の不確実性を考慮しない従来手法と比較して、提案手法により収益の CVaR が向上することを示し、提案手法の有用性

を確認している。

以上のように、本論文は発電事業者の不確実条件下での取引に関する意思決定および複数価値の取引に関する意思決定のための最適化手法を提案しており、自由競争下での発電事業者の安定した収益確保に寄与するところが大きい。よって本論文は博士論文として価値あるものと認める。