

# 電力市場における電力貯蔵システムの運用戦略

Operation Strategies of Electricity Storage System  
in Electricity Market

46208 丹羽 弘善

(指導教員 山地 憲治 教授)

Key Words : Electricity Market, Electricity Storage System, Uncertainty, Stochastic Dynamic Programming, Multi-Agent Mode

## 1.概要

近年のライフスタイルの変化が電力需要を増加させ、また夏場のピーク負荷を先鋭化している。そのような先鋭化した負荷と高品質な電力の供給への対策として、電力貯蔵技術の導入が有効であると考えられる。というのも電力貯蔵技術は、平準化効果が大きく、かつ非常用電源としても活用できることから電力の質の向上にも役立つからである。

しかしながら、電力市場自由化に際し、電力価格や需要の変動といった不確実性リスクが生じており、それらを考慮しないことには、電力貯蔵技術の有用性を図ることが難しいのが現状である。近年、金融工学的な手法を応用し、相対契約や発電設備の価値を導出する研究が盛んに行われているが、電力貯蔵システムに対して1日の中での電力貯蔵変動特性を考慮した研究例は少ない。

そこで本研究では、始めに電力市場価格の推移がある確率微分方程式で表現できるとの仮定の下、確率動的計画法を用い一日の中での電力市場価格の不確実性を考慮した上で、電力貯蔵設備の貯蔵システム運用モデルを提案した。モデルを検証するとともに電力貯蔵設備の最適な容量や運用方法に対して不確実性の及ぼす影響について考察を行った。次にマルチエージェントモデルを採用し、電力貯蔵システムを保持するエージェントも含めた、電力市場モデルの構築を行った。その結果を検証するとともに、電力貯蔵エージェントの電力価格に対する影響を、電力貯蔵エージェントの規模や人数を変化させて考察した。

## 2.電力貯蔵システムの最適運用戦略の評価

本研究では、確率動的計画法を用いて、1時間単位の電力市場価格の不確実性を考慮した総電力貯蔵コストの導出方法と共に、最適な電力貯蔵システム運用戦略を提案した。また電力貯蔵設備の電力貯蔵量と負荷追従性の問題を考慮するために、状態変数を取り入れた動的計画法とその差分法による解

析方法を提案した。

電力貯蔵システムの最適戦略は電力市場価格の不確実性に大きく影響を受け、不確実性の上昇に従い電力貯蔵装置の価値が上がることを示した。また電力市場価格の不確実性同様に回帰速度も要因となることを示した。

現状の電力貯蔵技術においては、市場で電力貯蔵システムを運用した場合利益を出すには至らないという結果を得た。また今後の技術開発の進展により利益を得ることができるとも示した。

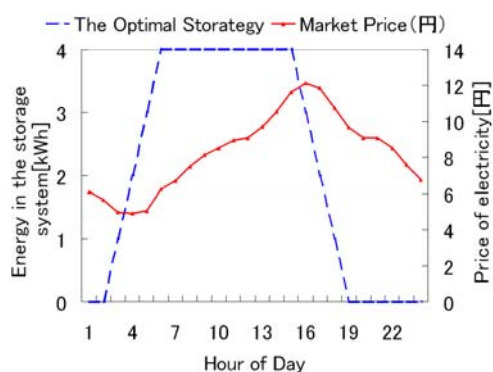


図1 最適電力貯蔵戦略例

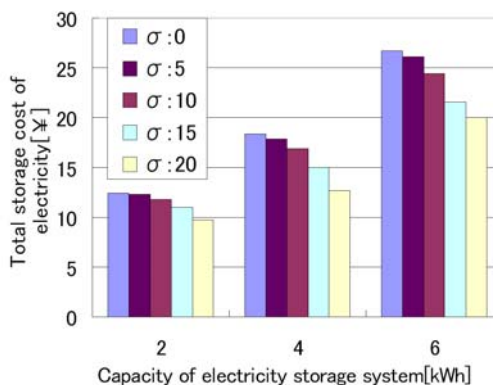


図2 電力市場価格の不確実性と最適戦略

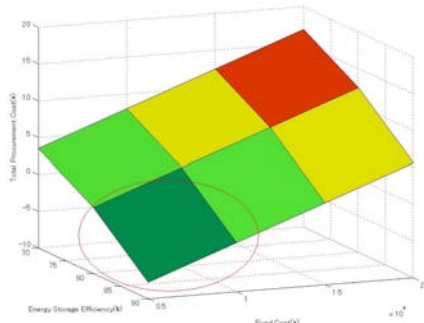


図 3 貯蔵効率・建設単価に対する電力貯蔵設備導入利益

### 3. 電力市場における貯蔵システム運用戦略の評価

強化学習型の市場モデルを応用して電力市場モデルを構築し、電力貯蔵事業者が電力市場に参入した場合の電力価格に関する分析を行った。電力貯蔵事業者として、蓄電池を保持していると仮定し、貯蔵事業者の人数と貯蔵容量を変化させて電力価格への影響を調べた。

まず初めに、電力貯蔵事業者が市場参入することでの、電力価格に関する分析を行った。電力貯蔵事業者が電力市場に参入することで、電力価格の 1) オフピーク時での上昇 2) ピーク時の下落が見て取れた。これは電力貯蔵事業者の参入により、電力価格の昼夜間格差が減少することを示している。また電力価格の分散の増加、つまり電力価格の変動リスクが増加することもわかった。

次に電力貯蔵事業者の人数や貯蔵容量を変化させた場合の感度分析を行った。貯蔵事業者の参入数が増加することにより、電力価格の昼夜間格差が減少する。つまり負荷平準化効果が増加する。また電力貯蔵事業者の貯蔵容量を変化させると、同じく電力価格の昼夜間格差が減少することがわかった。しかしながら、電力貯蔵容量をある一定値以上にすると、貯蔵事業者がプライスセッターとしての役割を担うようになり、電力価格が煩雑になることがわかった。よって、電力貯蔵事業者が市場参入する際には、貯蔵規模をある一定値以下に定める等の規制が必要であると考えられる。

### 4. 揚水発電を含めた日本の電源構成の構築

最後に、日本の電源構成を、全項に構築したモデルを用いて模擬した。本研究では、従来にはなかった揚水発電をエージェント化し、より詳細な電源構成を模擬することが可能であることが示せた。

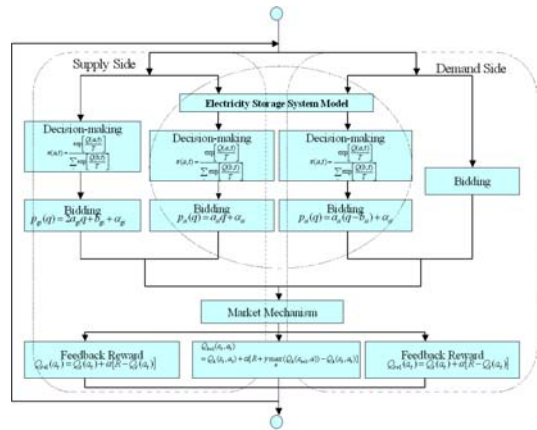


図 4 市場モデルのアルゴリズム

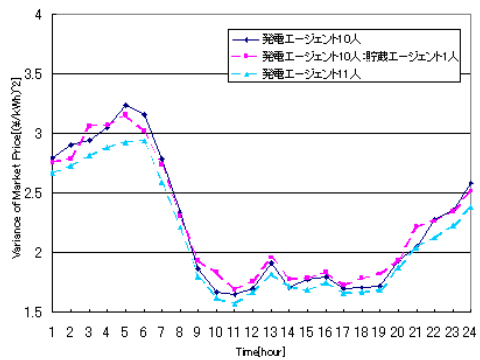


図 5 電力価格の分散とエージェントとの関係

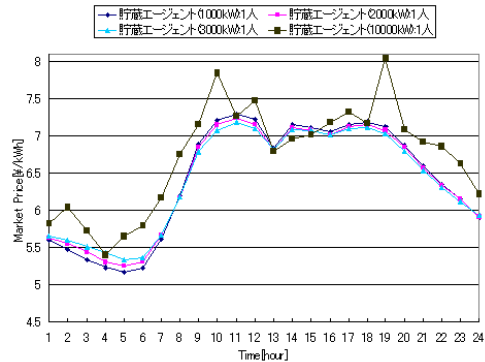


図 6 電力価格散と貯蔵エージェント規模との関係

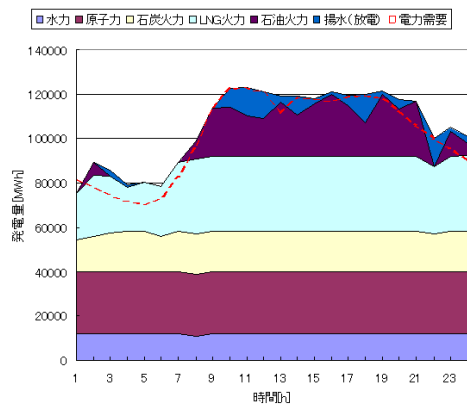


図 7 強化学習を用いた日本の電源構成