

不確実性下における火力発電設備の事業評価

リアル・オプション・アプローチ

02302960 東京大学 大学院工学系研究科 *高嶋隆太 TAKASHIMA Ryuta
02602580 早稲田大学 大学院理工学研究科 宮口直也 MIYAGUCHI Naoya
東京大学 大学院工学系研究科 長谷川秀一 HASEGAWA Shuichi

1 はじめに

世界先進各国における規制緩和の潮流の下、日本でも電力の自由化が進展している。小売り自由化の対象範囲の拡大、卸電力を売買する電力取引所の設置等、様々な制度改革が行われることとなっている。欧米の電力自由化が進展している国々でも取引所は開設されている。電力供給事業のバリューチェーンは、概ね、発電、送配電、小売りの3つの事業から構成される。各事業の価値評価にあたって、自由化の進展する新たな経営環境に適した評価方法が必要となる。

近年、事業価値の評価法としてリアル・オプション・アプローチが注目されており、様々な事業分野の事業価値評価モデルが開発され、リアル・オプションの研究が盛んに行われている。一般的に事業評価モデルは、その対象によって変数や不確実性の数が異なる。それらの数が増し、より複雑な投資問題を扱うとき、解析的な解を得ることだけでなく、評価モデルの式を導出することさえ困難になる。このような場合、シミュレーションモデルは有効である。たとえば、Schwartz and Zozaya-Gorostiza (2000) は、破壊的技術の投資評価をシミュレーションモデルにより行っている。

本研究では、建設期間と操業期間の両期間を考慮した火力発電設備の事業評価を行うシミュレーションモデルを開発する。価値評価にあたっては、新たに設置されることとなっている電力取引所での取引を想定しモデルを構築している。このモデルを用いることによって、建設費、電力価格、燃料価格の不確実性（やそれぞれの変数間の相関）が投資に及ぼす影響を分析する。また、操業期間においてスパークスプレッドに基づく運転・停止オプションを考慮したプロジェクトの価値を算出する。

2 モデル

2.1 建設費の不確実性

火力発電設備の建設費は、Pindyck モデル (1993) に基づいて K を火力発電設備の建設を完成させるための期待費用 (the expected cost of completion) として、次のような式に従うと仮定する。

$$dK = -I dt + \gamma K dw \quad (1)$$

ここで、 I は投資率を表し、 dw は Wiener 過程の増分である。(1) 式の右辺の第 2 項において、 γ は建設費の不確実性の大きさを表す。 dw は Wiener 過程の増分であり建設費の不確実性を表す。建設費の不確実性は建設材料市場や労働市場、経済状況等に起因し発生する¹。

¹Pindyck は、この他に技術的な不確実性も考慮している。

2.2 収益の不確実性

火力発電設備の建設が完了することにより、その時点から収益が発生する。収益の大きさは、次式のように表される。

$$Profit = P_E - H \cdot P_F \quad (2)$$

ここで P_E は電力価格、 H は熱消費率、 P_F は燃料価格である。この電力価格と燃料費の差である収益をスパークスプレッドと呼ぶ。本研究では、スパークスプレッドに基づき発電設備の運転・停止が行われるオプションを考慮する。つまり、スパークスプレッドが 0 より大きいときには発電設備を運転し、0 より小さいとき、つまり燃料費が電力価格を上回った場合は、運転を停止するものとする。従って収益は次式のようにになる。

$$Payoff = \max(P_E - H \cdot P_F, 0) \quad (3)$$

本研究では、このスパークスプレッドに基づく運転・停止の選択権をスパークスプレッド・オプションという。Deng et al. (2001) は、このスパークスプレッド・オプションを考慮し発電設備の価値を算出している。さらに、本研究では、操業期間中にかかる O&M 費（運転維持費）も考慮している。

電力価格 P_E と燃料価格 P_F は確率変数で、平均回帰仮定に従うと仮定する。

$$d(\ln P_E) = \eta_E (\ln \bar{P}_E - \ln P_E) dt + \sigma_E dz_E \quad (4)$$

$$d(\ln P_F) = \eta_F (\ln \bar{P}_F - \ln P_F) dt + \sigma_F dz_F \quad (5)$$

$$dz_E dz_F = \rho dt$$

ここで、(4) 式、(5) 式それぞれ η は回帰速度、 \bar{P} は長期均衡価格を表している。電力価格と燃料価格の変動による相関を考慮する。そのときの相関係数を ρ とする。

2.3 シミュレーションモデル

火力発電設備のプロジェクト価値は、(1) 式、(4) 式、(5) 式の離散化を行い、シミュレーションにより算出される。まず、建設費の現在価値は次式のようにになる。

$$PVC = E_0 \left[\int_0^T I e^{-rt} dt \right] \quad (6)$$

ここで、建設の完了時点である τ は、(1) 式より K が 0 となる場所であることから、確率変数である。

次に、収益の現在価値は次式のようになる。

$$PV_P = E_0 \left[\left\{ \int_{\tau}^T \max [P_E - H \cdot P_F, 0] e^{-r(t-\tau)} dt \right\} e^{-r\tau} \right] \quad (7)$$

また、操業期間において修繕費、人件費などの O&M 費を考慮する。O&M 費は年率で、 $TC \cdot O\&M\text{Ratio}$ と表せる。 TC は建設にかかった総費用で、建設期間が確率変数であることから TC も確率変数となる。また、 $O\&M\text{Ratio}$ は定数で本研究では、5% と設定する²。操業期間における O&M 費の現在価値は次式のようになる。

$$PV_{O\&M} = E_0 \left[\left\{ \int_{\tau}^T (TC \cdot O\&M\text{Ratio}) e^{-r(t-\tau)} dt \right\} e^{-r\tau} \right] \quad (8)$$

これらの式をもとにプロジェクト価値は次式のようになる。

$$V = PV_P - PV_{O\&M} - PV_C \quad (9)$$

プロジェクト価値 V は投資の意思決定者に対し、 V が 0 より大きいときは投資を実行し、0 より小さいときは投資を実行しないという示唆を与える。

このプロジェクト価値を求めるシミュレーション（それぞれの変数の時間発展）を図 1 に示した。刻み幅を 0.01 年としてシミュレーションを行っている。点線の左側が建設期間で、右側が操業期間となっている。時点 τ （約 10 年）で、建設が完了し収益が発生する。操業期間において、電力価格 P_E 、燃料費 P_{FC} は確率変数として変動している。この期間において燃料費が電力価格を上回る場所がある（例えば、約 15 年）。このようなところにスパークスプレッド・オプションが存在する。時点 T （約 30 年）でプロジェクトは終了する。この一連のシミュレーションを 1 回として、1 万回のシミュレーションより期待プロジェクト価値が算出される。このモデルによりスパークスプレッド・オプションを考慮するときとしないとき両方の価値を求める。

シミュレーションにあたって、 H は一定とし、操業期間は 20 年とした。各時点のキャッシュフローの算出にあたっては、法人税等を 0 とすることで、O&M 費に減価償却費は考慮していない。

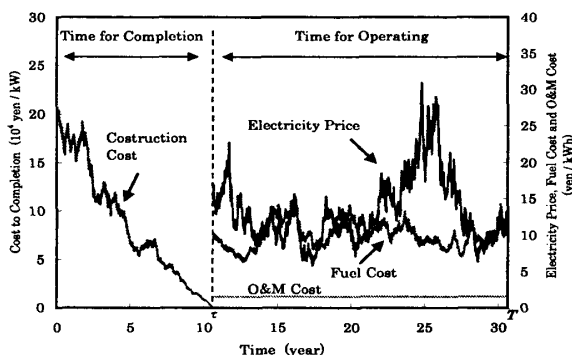


図 1: シミュレーションモデル

²つまり O&M 費は総費用の 5%（年率）である。

3 結果・考察

図 2 は、電力価格のボラティリティとプロジェクト価値の関係を示している。上がスパークスプレッド・オプションを考慮したときのプロジェクト価値で、下が考慮していないときのプロジェクト価値である。いずれの場合も、電力価格のボラティリティが増えることにより、プロジェクト価値が大きくなることがわかる。スパークスプレッド・オプションを考慮することによりスパークスプレッドが負の時には運転を停止し損失を回避するため、電力価格のボラティリティが大きくなるにつれて、スパークスプレッド・オプションは経済的価値を増すことがわかる。

電力の取引市場が創設され、電力価格に不確実性が存在するような状況下において、火力発電設備の持つスパークスプレッド・オプションは経済的な価値を持ち、不確実性の大きさによりその価値を増す。不確実な状況において変化する状況に適応する設備の柔軟性は重要性を増し、このような柔軟性を計画し保有する必要性は大きくなるといえる。

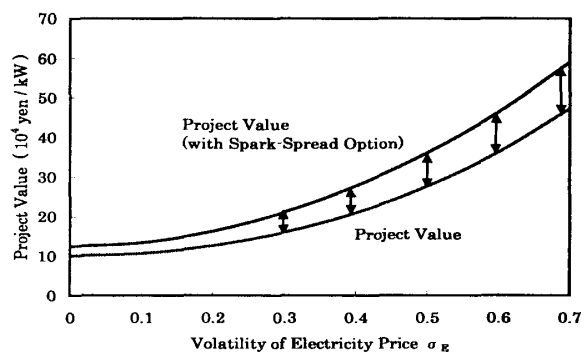


図 2: スパークスプレッド・オプションの価値

4 結論

本研究では、火力発電設備の事業評価に対し、建設費、電力価格、燃料価格の不確実性を考慮したリアル・オプション・アプローチによるシミュレーションモデルを開発した。これにより、電力価格の不確実性とプロジェクト価値の関係を示すことが可能となった。さらに、スパークスプレッド・オプションを考慮した場合としない場合を比較することによりオプション価値が算出され、柔軟性のあるプロジェクトの正当性を示した。

参考文献

- [1] Deng, S. Johnson, B. and Sogomonian, A. (2001) Exotic electricity options and the valuation of electricity generation and transmission assets. *Decision Support Systems*, **30**, 383-392.
- [2] Pindyck, R.S. (1993) Investment of uncertain cost. *Journal of Financial Economics*, **34**, 53-76.
- [3] Schwartz, E.S. and Zozaya-Gorostiza, C. (2000) Evaluating Investments in Disruptive Technologies. In Geman, Madan, Pliska and Vost (eds), *Mathematical Finance - Bachelier 2000*. Springer-Verlag, forthcoming.