

不確実性下における電源リプレースの経済性評価

An Economic Evaluation for Replacement of Power Generations under Uncertainty

高嶋 隆太^{1*}, 高野 祐人^{2†}, 内藤 優太^{3‡}

Ryuta Takashima, Yuto Takano, and Yuta Naito

概要 発電事業者は発電設備の老朽化により、その設備を廃止し、より効率の良い、もしくは新技術の設備を新規に設置するといったリプレースに関する意思決定を行う必要がある。発電事業者がリプレースの意思決定を行う際、売電収入や燃料費、新規設置に関する費用といった、経済的な不確実性のみならず、その意思決定に関わる制度や規制等も含めて評価することが重要である。近年、一般電気事業者による火力電源調達事業を競争入札に掛けることにより、プラントの設備更新や、多様な主体による供給力増強を目指した火力電源入札制度が実施されている。本研究では、火力電源入札制度に着目し、燃料費の不確実性を考慮した火力発電プラントのリプレースモデルを構築し、発電事業者のリプレース意思決定に関する経済性評価を行う。特に、最適な投資のタイミング指標である閾値を導出し、火力電源入札制度を考慮したときの卸価格と入札価格が、リプレースの閾値に与える影響について分析を行う。

キーワード 燃料費, 入札価格, 逐次意思決定, 動的計画法, リアルオプション

1. はじめに

2011年の東日本大震災とそれに伴う福島第一原子力発電所の事故の影響により、我が国の発電量に占める電源構成は大きく変化した。特に、原子力発電所の稼働停止を受け、火力発電への依存が顕著となっている中、高度経済成長期に建設された多くの火力発電プラントの老朽化が顕在化してきている。また、近年、火力発電プラントの高効率化・低炭素化・設備信頼性の向上を進めるために、現行の発電プラントを廃止し、さらに跡地への新規プラントの設置

1 東京理科大学工学部, 〒278-8510 千葉県野田市山崎 2641

Faculty of Science and Technology, Tokyo University of Science, 2641 Yamazaki, Noda-shi, Chiba 278-8510, Japan

2 東京理科大学大学院理工学研究科, 〒278-8510 千葉県野田市山崎 2641

Graduate School of Science and Technology, Tokyo University of Science, 2641 Yamazaki, Noda-shi, Chiba 278-8510, Japan

3 三菱UFJモルガン・スタンレー証券, 〒112-8688 東京都文京区目白台 3-29-20

Mitsubishi UFJ Morgan Stanley Securities Co., Ltd., 3-29-20 Mejirodai, Bunkyo-ku, Tokyo 112-8688, Japan

* E-mail address: takashima@rs.tus.ac.jp

† E-mail address: 7414617@ed.tus.ac.jp

‡ E-mail address: yuta.naito@gmail.com

(リプレース)が推奨されている。

電力供給の効率化に向けた発電部門への競争原理の導入については、過去、1995年の電気事業法改正により、卸電気事業に係る参入規制が原則撤廃され、発電事業への新規参入促進を目的とした火力入札制度が導入された。当時の火力入札制度は、募集に対して活発な応札があり、一般電気事業者が設定した上限価格と比較して低い価格で落札される等、一定の効果を上げていた。このため、2000年より、一般電気事業者の自社分も含めた原則すべての新規火力電源を入札の対象とする火力全面入札制度が導入されたが、卸電力取引所の整備を契機として2003年に廃止されることとなった。火力全面入札制度の廃止以降も、電気事業法上は、一般電気事業者が、自主的に入札を行うことは可能であったが、2002年を最後に入札は実施されておらず、IPP事業者をはじめとする新規参入者による卸供給は、活発とは言い難い。このような状況の中で、2012年9月、多様な主体を活用した供給力増強や卸市場の活性化による電力コスト低減に向けて、新規電源設置におけるIPP入札を実施する方針、「新しい火力発電入札の運用に係る指針」が示された。制度下においてプラントのリプレース事業は、一般電気事業者の資産（発電プラントなど）を他の事業者（独立発電事業者などの入札事業者）に売却又は貸与し、当該事業者が代替的にリプレース等のプロジェクトを実行し、さらに、定められた期間、一般電気事業者が、電力の買い取りを行うこととなる。この制度の導入により、一般電気事業者の建設・操業コスト削減や卸供給事業新規参入者の投資の促進、卸電力市場拡大による電力価格の適正化などが期待される。

事業投資の問題を考えるには、将来の不確実性を考慮した意思決定をすることが重要である。火力発電投資における不確実性としては非常に多くのものが考えられる。例えば、電力需要量の変化や技術革新、代替エネルギーの可能性等であるが、本研究では、プラントのキャッシュフローに影響を与える燃料価格の不確実性に注目する。

分析手法として、不確実な状況下における経済性評価手法の一つであるリアルオプション理論を用いる。リアルオプション理論は、投資の意思決定に柔軟性を持たせることで、投資の延期の価値と即座に投資を行うことの価値を各時点で比較し、価値の高い方を選択するという考え方に基づいている。伝統的に用いられている事業の経済性評価手法であるNPV (Net Present Value: 正味現在価値) 法では、確定的な価格シナリオ/時系列シナリオを設定した後でのみ、その事業の価値を算出することができる。しかしながら、燃料価格、電力価格等、不確実に推移する現在の状況となつては、不確実性に対処できないNPV法では、正確な事業評価が行われることは期待できない。これに対し、リアルオプションは、不確実な状況下において最適な企業行動の意思決定を行ったり、意思決定を延期できるという柔軟性を兼ね備えた理論であり、意思決定の柔軟さや、不確実性に対処できるので、確定的な状況が存在しない場合において、特に正確な事業価値評価ができる手法である。

発電事業へのリアルオプションの適応については、数多くの研究が行われている [2]。特に、発電プラントのリプレース事業に関しては、Naito et al.[3]、中田ら [4]、高嶋・長野 [5] が挙げ

られる。Naito et al. は、原子力発電プラントのリプレース事業において電力価格の不確実性を考慮し、リアルオプション理論を用いて、既存プラントの廃棄オプションと新規プラントの建設オプションを考慮したリプレースに関する複合オプションの構築・提案を行っている。中田らは、Naito et al. のモデルをもとに初期投資負担の平準化制度を中心に減価償却負担の問題についてリアルオプション理論を用いて経済性評価を行っている。高嶋・長野は、高経年化の原子力発電プラントに関して、廃止措置、設備更新、リプレースの選択問題について経済性評価を行っている。本研究では、火力電源入札制度に着目し、原子力発電プラントのリプレースに関する先行研究のモデルを、火力発電プラントのリプレースに拡張する。特に、火力電源の入札が行われる状況を想定し、一般電気事業者が発電プラントを廃止し、さらにプラントの新規建設を入札事業者が実施する場合の両者の最適な投資意思決定問題をモデル化し投資意思決定について分析する。

先行研究である Naito et al. は、単一の事業者によるリプレースプロジェクトへの投資の分析であるが、本研究では、一般電気事業者と入札事業者の2者を想定し分析を行う。入札制度を考慮したリプレースプロジェクトにおいて、一般電気事業者による発電プラントの廃止措置は、入札事業者による新規プラント設置への投資を考慮して行われることから、一般電気事業者は、単一のリプレースプロジェクトのように最適なタイミングで廃止措置を実施することはできない。しかしながら、新規プラントの設置に関わる投資コストや操業コストの低減等による経済的なメリットも存在するものと考えられる。本研究では特に、卸価格と入札価格の関係により変化する最適な投資のタイミング等を明らかにすることによって、入札制度がリプレース事業に与える影響を分析し、入札制度を考慮した場合のリプレース意思決定に関する知見を得ることを目的とする。

2. モデル

2.1. モデルの仮定と設定

本研究では、先行研究 [3, 4, 5] と同様に時刻 t での燃料費が以下の幾何ブラウン運動に従うと仮定する。

$$dC_f(t) = \mu C_f(t)dt + \sigma C_f(t)dW(t), C_0 = c \quad (1)$$

ここで、 μ , σ は、それぞれ燃料費の期待成長率、ボラティリティであり、これらは外生的に与えられる定数である。また、 W_t は、標準ブラウン運動を表している。

本研究において、キャッシュフロー・ベースによって価値を算定するものとする。その上で、プラント1、プラント2のキャッシュフローについて設定する。プラント1、2のキャッシュフローをそれぞれ π_1 , π_2 (yen/kWh) とする。コストは大別して、(i) 運転維持費 (O&M 費)、(ii) 資本費、(iii) 燃料費がある。それぞれについて、以下のように仮定する。

運転維持費については、コスト等検証委員会報告書に示されたコスト（設備利用率 80%）を基

本とし、その運転維持費を C_{om} (yen/kWh) とする。また、発電容量を Q (kW) とし、出力 \times 24(時間) \times 365(日) \times 設備利用率によって定義する。さらに、一般電気事業者が一般需要に売電する電力価格(卸価格)を P_w (円/kWh) とする。プラント2の建設期間を T (年) とし、その寿命期間を L (年) とする。資本費に関しては、プラント1を廃棄するコスト $I_d(Q)$ (yen/kW)、プラント2の建設コスト $I_i(Q)$ (yen/kW) に全て含まれ、利子の支払い等も含める。また、廃棄コストは廃棄決定時 $t = \tau_1$ に支払われ、建設コストはプラント2操業開始時 $t = \tau_2 + T$ に支払われるものとする。また、プラント1の建設費は支払い済みであるとする。投資コスト $I_i(Q)$ については、発電容量 Q に依存するため I を Q の関数とすると、以下のように与えられる。

$$I_i(Q) = \xi_i Q \quad (2)$$

ここで、 ξ_i は単位発電容量当たりの投資コストである。すなわち、 $I(Q)$ は Q に比例する値となる。同様に、

$$I_d(Q) = \xi_d Q \quad (3)$$

とし、 ξ_d は単位発電容量当たりの廃棄コストであるとする。

燃料費に関しては、上記のとおり時刻 t により不確定変動する値として定義している。ある時点 t におけるプラント1, 2のキャッシュフローは電力価格から得られる収入から燃料費、運転維持費などのコストを減じたものにプラントの発電容量を掛けた値であると仮定し

$$\pi_1(t) = Q(P_w - \eta_1 C_f(t) - C_{om}) \quad (4)$$

$$\pi_2(t) = Q(P_w - \eta_2 C_f(t) - C_{om}) \quad (5)$$

と表すことができる。本研究では老朽化したプラントと技術の向上によって効率化した新規プラントの差別化を図るため燃料費に関するパラメータとして η_1, η_2 が $\eta_1 > \eta_2$ となるよう設定する。ここで、 $\pi_1(t), \pi_2(t)$ はそれぞれ、

$$0 \leq t \leq \tau_1 \quad (6)$$

$$\tau_2 + T \leq t \leq \tau_2 + T + L \quad (7)$$

において定義される。また、廃棄の際のプラント1の残存価値は0であるとし、割引率を年率 ρ と設定する。

2.2. 単一事業者リプレース評価モデル

先行研究の Naito et al. モデル [3] に従い*1、一般電気事業者が、自身でリプレース事業行う状況を考える。図1は、単一事業者によるリプレース事業の時系列概念図である。リプレース事業は、老朽化したプラントを廃棄コストを支払い、廃棄措置を実行。さらに、建設コストを

*1 Naito et al.[3] では、電力価格、すなわち、売電収入の不確実性を考えているが、本研究では、燃料費の不確実性を考える。

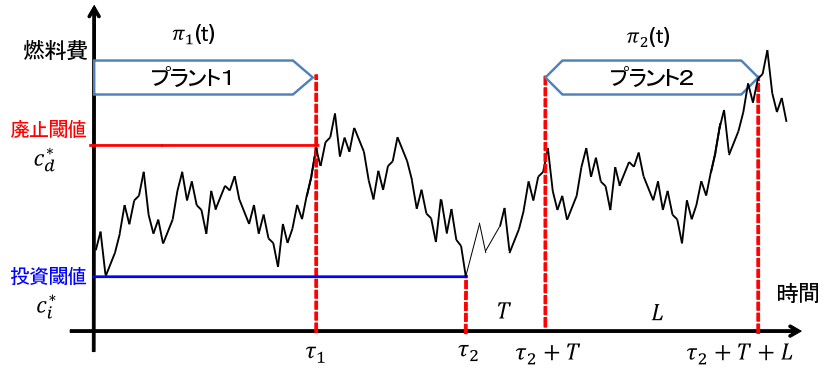


図1 単一事業者リプレース事業の時系列収益概念図

支払い、プラントを廃止したその跡地に新規プラントを設置するというものである。この時のプラントの廃棄コスト、また建設コストは、一般電気事業者が負担し、プラントにて発電した電力を一般需要に売電することによって事業者は利益を得ることとなる。

すなわち、プラント1は、 $t=0$ からキャッシュ・フローが発生し、 $t=\tau_1$ において、操業を停止し、直ちに廃止措置を行う。その後、 $t=\tau_2$ において、プラント2の建設の意思決定が行われる。プラント2は、 T で建設され、 $t=\tau_2+T$ からキャッシュフローが発生し、 $t=\tau_2+T+L$ に操業を停止するものとする。

まず、一般電気事業者が、新規にプラントを設置する場合の投資オプションについて示す。投資オプションにおいて、最適投資時期は、投資の意思決定を行い、建設コストを支払うことにより、受け取るキャッシュフローの価値が投資の意思決定を遅らせることの価値より大きくなる時点である。そこでまず、建設コストを支払うことにより得られるキャッシュフローの価値を求める。これは、すなわち、投資の正味現在価値 (NPV) を表す。プラント2の操業中に得られる収益の $t=\tau_2$ 時点での価値 $V_i(c)$ は、プラント2のキャッシュフローが、 $t=\tau_2+T$ 時点から発生し、建設コスト $I_i(Q)$ が発生していることに注意すると

$$\begin{aligned} V_i(c) &= E\left[\int_T^{T+L} e^{-\rho t} Q(P_w - \eta_2 C_t - C_{om}) dt - I_i(Q)\right] \\ &= kc + \gamma - I_i(Q) \end{aligned} \quad (8)$$

となる。ここで、

$$\begin{aligned} k &= -\frac{\eta_2 Q}{\rho - \mu} e^{-(\rho - \mu)T} (1 - e^{-(\rho - \mu)L}) \\ \gamma &= \frac{(P_w - C_{om})Q}{\rho} e^{-\rho T} (1 - e^{-\rho L}) \end{aligned} \quad (9)$$

である。投資オプションを $F_2(c)$ とすると、Bellman 方程式より以下の微分方程式が導出される [1].

$$-\rho F_2(c) + \mu c F_2'(c) + \frac{1}{2} c^2 F_2''(c) \sigma^2 = 0 \quad (10)$$

(10) 式で表される微分方程式の一般解は

$$F_2(c) = A_1 c^{\beta_1} + A_2 c^{\beta_2} \quad (11)$$

である。ここで、 β_1, β_2 は次の特性方程式の正負の 2 根であり、 $\beta_1 > 0, \beta_2 < 0$ とする [1].

$$\frac{1}{2}\sigma^2\beta(\beta - 1) + \mu\beta - \rho = 0 \quad (12)$$

$$\beta_1 = \frac{1}{2} - \frac{\mu}{\sigma^2} + \sqrt{\left(\frac{1}{2} - \frac{\mu}{\sigma^2}\right)^2 + \frac{2\rho}{\sigma^2}} > 1 \quad (13)$$

$$\beta_2 = \frac{1}{2} - \frac{\mu}{\sigma^2} - \sqrt{\left(\frac{1}{2} - \frac{\mu}{\sigma^2}\right)^2 + \frac{2\rho}{\sigma^2}} < 0 \quad (14)$$

また、閾値 c_i^* における $V_i(c)$ との接続条件であるバリュー・マッチング条件と、最適化条件であるスムーズ・ペースティング条件を求めると、

$$F_2(c_i^*) = V_i(c_i^*) \Leftrightarrow F_2(c_i^*) = kc_i^* + \gamma - I_i(Q) \quad (15)$$

$$F_2'(c_i^*) = V_i'(c_i^*) \Leftrightarrow F_2'(c_i^*) = k \quad (16)$$

となる。ここで、 $c \rightarrow \infty$ の極限における境界条件を考えると、投資を実施する可能性が極めて低いためオプション価値は 0 である。すなわち、

$$\lim_{c \rightarrow \infty} F(c) = 0 \quad (17)$$

が得られる。これより、

$$A_1 = 0 \quad (18)$$

となる。(15) 式、(16) 式より、投資の閾値 c_i^* と未定係数 A_2 は

$$c_i^* = \frac{\beta_2}{1 - \beta_2} \frac{\gamma - I(Q)}{k} A_2 = \frac{k(c_i^*)^{1-\beta_2}}{\beta_2} \quad (19)$$

となる。したがって、本モデルにおける投資オプション $F_2(c)$ は次のように求まる。

$$F_2(c) = \begin{cases} kc + \gamma - I_i(Q) & c \leq c_i^* \\ A_2 c^{\beta_2} & c > c_i^* \end{cases} \quad (20)$$

次に、リプレースオプションについて示す。実際のリプレース事業においてプラント 1 を廃棄する最適な時期を決定する際には、単純にプラント 1 のみの収益を考えて決定するのではなく、次に建設されるプラント 2 の収益も考えることによりリプレース事業全体の正確な事業評価ができるものと考えられる。

リプレースモデルを考える上で、プラント 1 を廃止する価値には、プラント 2 のオプション価値が含まれている。この場合、比較する 2 つの価値は、廃棄コストを払い、プラント 2 の期待オプション価値を受け取ったときの価値と、プラント 1 から得られる収益と継続価値である。廃棄コストを払い、プラント 2 の期待オプション価値を受け取ったときの価値を $V_d(c)$ と

すると、 $V_d(c)$ は

$$V_d(c) = F_2(c) - I_d(Q) \quad (21)$$

である。オプション価値 $F_1(c)$ は、

$$F_1(c) = B_1 c^{\beta_1} + \frac{Q(P_w - C_{om})}{\rho} - \frac{Q\eta_1 c}{\rho - \mu} \quad (22)$$

となる。バリュー・マッチング条件、スムーズ・ペースティング条件は、閾値を c_d^* とすると、投資の閾値 c_i^* はそれ以下であれば投資を決定し、廃棄の閾値 c_d^* はそれ以上であれば廃棄を決定することから、 c_d^* は、明らかに c_i^* より大きいことに注意すると、

$$F_1(c_d^*) = V_d(c_d^*) \Leftrightarrow B_1(c_d^*)^{\beta_1} + \frac{Q(P_w - C_{om})}{\rho} - \frac{Q\eta_1 c_d^*}{\rho - \mu} = A_2(c_d^*)^{\beta_2} - I_d(Q) \quad (23)$$

$$F_1'(c_d^*) = V_d'(c_d^*) \Leftrightarrow \beta_1 B_1(c_d^*)^{\beta_1-1} - \frac{Q\eta_1}{\rho - \mu} = \beta_2 A_2(c_d^*)^{\beta_2-1} \quad (24)$$

となる。(37) 式,(36) 式を同時に満たす B_1, c_d^* は解析的には解けないが、以下の式を満たす。

$$A_2(\beta_1 - \beta_2)(c_d^*)^{\beta_2} + (\beta_1 - 1) \frac{Q\eta_1 c_d^*}{\rho - \mu} - \beta_1 Q \left(\frac{P_w - C_{om}}{\rho} + \xi_d \right) = 0 \quad (25)$$

(25) 式を数値計算により解くことで c_d^* が求まる。求めた c_d^* を (36) 式に代入すれば、 B_1 が求まる。また、廃棄を行い、直ちに建設に入るとい意思決定は、燃料費が初めて c_d^* を上回ったときに行われる。

2.3. 入札制度を考慮したリプレース評価モデル

本研究で提案する IPP 入札を考慮したリプレースオプション・モデルを示す。図 2 は、IPP 入札を考慮したリプレース事業の時系列概念図である。IPP 入札を考慮したモデルでは、IPP

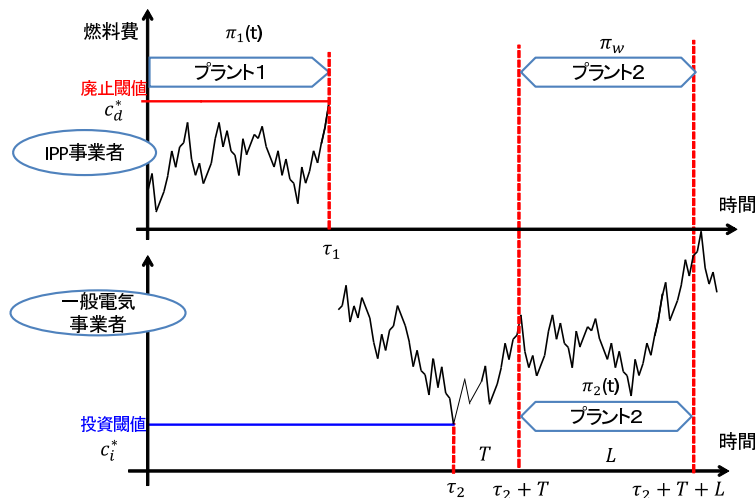


図 2 入札制度を考慮したリプレース事業の時系列概念図

事業者が一般電気事業者に売電する価格（入札価格）を P_b (円/kWh), また一般電気事業者が一般需要に売電する価格（卸価格）を P_w (円/kWh) と設定する. 新規プラント建設への投資の意思決定においては, IPP 入札考慮の場合も, 単一事業者の場合と同様新規プラントを設置する価値と投資オプション価値より求めることができる.

IPP 事業者投資の閾値は以下ようになる

$$c_i^* = \frac{\beta_2}{1 - \beta_2} \frac{\gamma - \xi_i Q}{k} \quad (26)$$

ただし, γ は

$$\gamma = \frac{(P_b - C_{om})Q}{\rho} e^{-\rho T} (1 - e^{\rho L}) \quad (27)$$

である. IPP 事業者が新規プラントを設置しプラントが稼働している間, 一般電気事業者は IPP 事業者から電気を買取る. さらに, 一般需要へと売電を行うことにより一般電気事業者は燃料費の変動に関わらず一定のキャッシュフロー π_w を得ることができる.

$$\pi_w = Q(P_w - P_b) \quad (28)$$

新規プラント建設による一般電気事業者の価値 V_w とすると,

$$V_w = \frac{Q(P_w - P_b)}{\rho} e^{-\rho T} (1 - e^{-\rho L}) \quad (29)$$

となる. IPP 事業者が投資オプションを保有しているときの, 一般電気事業者プラント 2 の期待オプション価値 $\hat{F}_2(c)$ は \hat{B}_2 を未定係数として

$$\hat{F}_2(c) = \hat{B}_2 c^{\beta_2} \quad (30)$$

と表され, IPP 事業者が投資を行うタイミングである c_i^* によって決定される. すなわち

$$\hat{F}_2(c_i^*) = V_w \quad (31)$$

$$\hat{B}_2 = \frac{Q(P_w - P_b)}{\rho} e^{-\rho T} (1 - e^{-\rho L}) c_i^{*\beta_2} \quad (32)$$

である. 一般電気事業者が廃止措置を行う価値 $\hat{V}_d(c)$ は以下で表される.

$$\begin{aligned} \hat{V}_d(c) &= \hat{F}_2(c) - I_d(Q) \\ &= \hat{B}_2 c^{\beta_2} - I_d(Q) \end{aligned} \quad (33)$$

一般電気事業者のリプレース・オプションは単一事業者のリプレースモデルと同様に, 2つの価値を比較する. 廃棄コストを払い, プラント 2 の期待オプション価値を受け取った時の価値と, プラント 1 から得られる収益と継続価値である. すなわち, リプレース・オプション価値を $F_1(c)$ とすると同様に,

$$F_1(c) = B_1 c^{\beta_1} + \frac{Q(P_w - C_{om})}{\rho} - \frac{Q\eta_1 c}{\rho - \mu} \quad (34)$$

となる。バリュー・マッチング条件，スムーズ・ペースティング条件は，閾値を c_d^* とすると

$$F_1(c_d^*) = \hat{V}_d(c_d^*) \Leftrightarrow B_1(c_d^*)^{\beta_1} + \frac{Q(P_w - C_{om})}{\rho} - \frac{Q\eta_1 c_d^*}{\rho - \mu} = \hat{B}_2(c_d^*)^{\beta_2} - I_d(Q) \quad (35)$$

$$F_1'(c_d^*) = V_d'(c_d^*) \Leftrightarrow \beta_1 B_1(c_d^*)^{\beta_1-1} - \frac{Q\eta_1}{\rho - \mu} = \beta_2 \hat{B}_2(c_d^*)^{\beta_2-1} \quad (36)$$

となる。(35) 式,(36) 式を同時に満たす B_1, c_d^* は解析的には解けないが，以下の式を満たす。

$$\hat{B}_2(\beta_1 - \beta_2)(c_d^*)^{\beta_2} + (\beta_1 - 1) \frac{Q\eta_1 c_d^*}{\rho - \mu} - \beta_1 Q \left(\frac{P_w - C_{om}}{\rho} + \xi_d \right) = 0 \quad (37)$$

(37) 式を数値計算により解くことで c_d^* が求まる。求めた c_d^* を (36) 式に代入し， B_1 が求まる。

3. 結果と考察

3.1. パラメータ設定

本分析では，稼働率 80% で 100 万 kW 規模の LNG 火力発電プラントを考える。本モデルにおいて，設定すべきパラメータとして，発電コストに関するもの（運転維持費 C_{om} ，発電容量 Q ，建設コスト単価 ξ_i ，廃止コスト単価 ξ_d ），時間に関するもの（プラントの建設期間 T ，プラントの運転可能期間 L ），燃料費に関するもの（燃料費の期待成長率 μ ，ボラティリティ σ ），外生的に与えられるパラメータ（割引率 ρ ）があげられる。 C_{om} は，コスト等検証委員会報告書 (2011) のデータを用いる。建設コスト単価は，火力発電の燃料構成について (2012) において，12 万 (yen/kW) となっており，(yen/kWh) に変換し， $\xi_i = 21.40$ (yen/kWh) と設定する。廃止費用単価 ξ_d は，建設単価の 5% に設定する。さらに，プラントの効率化に関するパラメータとなる η_1, η_2 と上記のパラメータの値を表 1 に示す。総合資源エネルギー調査会によると，LNG 火力発電プラントにおける建設の決定から運転開始までにかかる標準的な期間は，7 年から 8 年程度であり，その内訳は，建設地点の選定と開発計画の策定に約 1 年，環境アセスメントに約 4 年，建設工事と試運転に 3 年程度と想定しているが，本研究ではプラン

表 1 発電コスト関連パラメータ

パラメータ	変数	値
発電容量	$Q(10^4\text{kWh})$	70.08
O&M 費	$C_{om}(\text{yen/kWh})$	0.7
建設コスト単価	$\xi_i(\text{yen/kWh})$	21.40
廃止コスト単価	$\xi_d(\text{yen/kWh})$	1.07
燃料費パラメータ 1	η_1	1
燃料費パラメータ 2	η_2	0.8

トのリプレース事業を想定しているため、廃止するプラント跡地に新規プラントを建設する関係上、プラントの建設期間 T は 6 年と設定している。また、プラントの寿命期間（運転可能期間） L については、平成 12 年度から 20 年度までに廃止となった火力発電の平均稼働年数を参考に 40 年と想定している。また、燃料費に関するパラメータは $\mu = 0$ 、 $\sigma = 0.1$ とし、割引率を $\rho = 0.05$ と設定する。

3.2. 入札価格とリプレース閾値の関係

IPP 入札を考慮したリプレース事業において、一般電気事業者は、現行プラントの廃止コストは支払うものの、建設コストや操業コストを支払うことなく、一定期間利益を上げることが可能である。しかし、その収益の大小は、IPP 事業者の入札価格に影響を受けるものと考えられる。

図 3 は、2012 年における日本卸電力取引所の平均取引価格を参考に卸価格を 15(円/kWh) と設定したとき、入札価格とリプレース閾値の関係を示している。新規プラント建設の権利を獲得するため、IPP 事業者の競争入札により入札価格が、低下していくと考えられる。図 3 において、リプレース閾値は、入札価格の減少に伴い低下し、ある値を境に上昇していることが確認できる。すなわち、卸価格 15(円/kWh) に対して、投資が最も促進されると考えられる入札価格が存在することがわかる。しかしながら、入札価格は、投資意思決定者が決定できる値ではないことから、この価格は投資が促進される目安として与えられる値である。本研究では、卸価格 15(円/kWh) に対して、入札価格 11.59(円/kWh) のとき、リプレース閾値は最も小さくなる。しかしながら、入札価格が、この値よりもさらに低下した場合、リプレース閾値は上昇し、リプレースの機会は減少することが示されている。

リプレースが促進される入札価格の価格帯においては、入札価格が卸価格に比較し、減少するに伴い、IPP 事業者の期待キャッシュフローは減少してしまうものの、一般電気事業者の電源調達コストは減少し、期待されるキャッシュフローも増加するため、投資へのインセンティブが大きくなり、閾値は低下するものと考えられる。しかしながら、入札価格の過度な低下

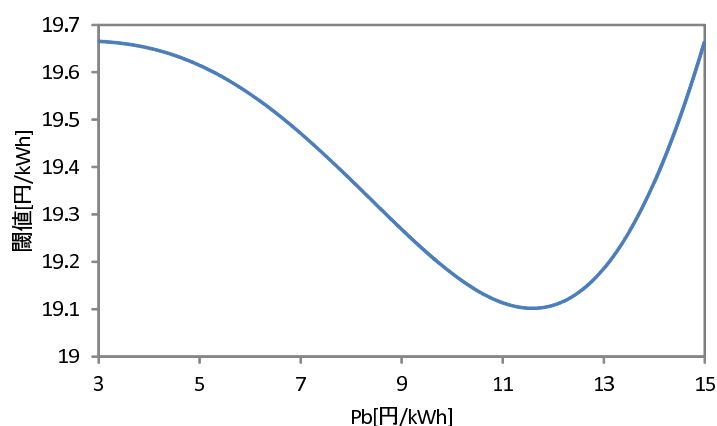


図 3 入札価格と閾値の関係 ($P_w=15$)

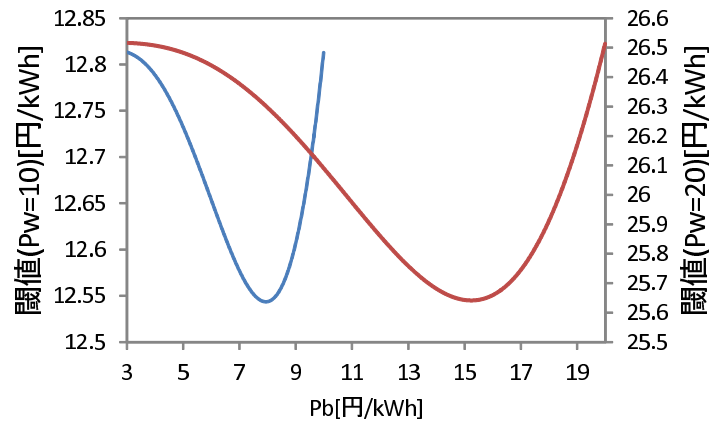


図4 入札価格と閾値の関係 (Pw=10,Pw=20)

は、リプレース後の IPP 事業者が受け取る期待キャッシュフローを減少させ、リプレースへのインセンティブを減少させ、この結果、リプレースの閾値は上昇すると考えられる。これらより、入札価格に依存しリプレースの閾値は変化し、リプレースが促進される入札価格の価格帯、また、リプレースの機会が減少する価格帯があることがわかる。

将来の卸価格の変化に伴うリプレースの意思決定について分析するため、卸価格の依存性について考える。図4は、卸価格が10(円/kWh)、また20(円/kWh)となった場合の入札価格と廃止閾値の関係を比較したものである。卸価格が大・小の場合、それぞれの場合を比較すると、卸価格が低価格の場合、リプレースが促進される入札価格の範囲が、高価格の卸価格の場合と比較して、狭くなることが確認できる。これは、入札価格の低下により IPP が事業を行う価値が小さくなるため、リプレースが促進される価格帯が小さくなっているものと考えられる。また、卸価格が大きい場合よりも、小さい場合の方が、リプレース閾値は小さくなっていることも確認できる。これは、廃止措置を実施するのは、一般電気事業者であり、リプレース閾値は、入札価格よりも卸価格に大きく影響されるためである。

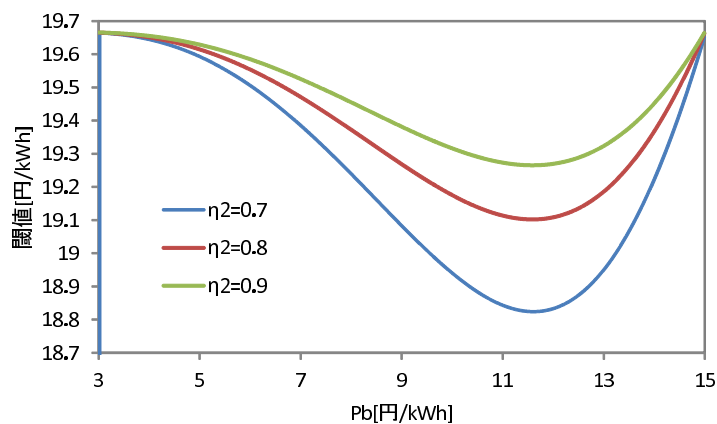


図5 プラントの効率化と閾値の関係

将来期待される技術進歩によりプラントが効率化した場合のリプレース意思決定への影響について分析するため、本研究における、プラントの効率化に関するパラメータである η_2 の値を変化させた場合も同様に、入札価格と閾値の関係を算出する。図5は、 η_2 の値を変化させたときの入札価格に対するリプレース閾値を示している。図5からわかるように、 η_2 の値を低下させた場合、すなわち、プラントの効率化が図られた場合、プラント廃止の閾値は低下し、リプレースは促進される。これは、新規プラントが高効率化されることにより、IPP事業者の期待キャッシュフローが増加し、投資へのインセンティブが増加することで、投資が早まることから、リプレースが促進されていると考えられる。

4. おわりに

本研究では、火力電源入札制度の導入を背景に、この制度に着目し、燃料費が不確実である状況下において、火力発電リプレースプロジェクトに関して評価モデルを構築し、リプレースの意思決定について分析を行った。本モデルを用いることにより、火力電源入札制度の導入下において、リプレースの閾値は、一般電気事業者から一般需要への売電価格である卸価格とIPP事業者から一般電気事業者への売電価格である入札価格の関係に応じて変化し、特に、入札価格が卸価格に対して一定の価格以上であれば投資を促進し、さらに価格が大きく下がる場合には、リプレースの機会は減少することが明らかとなった。本研究では、燃料費の不確実性のみを考えたが、将来、卸電力市場内での取引が考えられることから、売電価格の不確実性も併せて考える2変数問題が、今後の研究として考えられる。また、今後考えられる容量メカニズムの制度も考慮した、リプレースや新規設置問題を分析することも拡張研究として考えられる。

謝辞

本研究は、日本学術振興会科学研究費助成事業（若手研究(B)）（課題番号：25750127）を受けて実施したものである。

参考文献

- [1] A.K. Dixit and R.S. Pindyck: *Investment under Uncertainty*, Princeton University Press, Princeton, 1994.
- [2] E.A. Martinz Cesena, J. Mutale and F. Rivas-Davalos: Real Options Theory Applied to Electricity Generation Projects: A Review, *Renewable and Sustainable Energy Reviews* **19** (2013), 573–581.
- [3] Y. Naito, R. Takashima, H. Kimura and H. Madarame: Evaluating Replacement Projects of Nuclear Power Plants under Uncertainty, *Energy Policy* **38** (2010), 1321–1329.
- [4] 中田翔治, 高嶋隆太, 長野浩司, 木村浩, 斑目春樹: 原子力発電リプレース投資における減価償却費の評価, 日本原子力学会和文論文誌 **9** (2010), 252–270.
- [5] 高嶋隆太, 長野浩司: 不確実性下の高経年化原子力発電プラントの投資意思決定手法の開発, 電力中央研究所研究報告 Y0903 (2010).