

# リアルオプション法を用いた原子力発電所の経済性評価

2015年度 環境システム学専攻

指導教員 吉田好邦教授 学生証番号 47-136809 原 明宏

キーワード：原子力発電、リアルオプション、経済性評価、不確実性、電力自由化

## 1 背景

### 1.1 背景

東日本大震災に伴う東京電力福島第一原子力発電所事故により、原子力発電所が続々と運転停止していき、2013年9月15日の大飯原子力発電所4号機の停止をもって国内の原発はすべて停止をした。

一方で2014年に閣議決定されたエネルギー基本計画<sup>[1]</sup>によると2030年に向けて政府は、運転時における温室効果ガスの排出がないことから原子力発電も安定性に寄与する重要なベースロード電源であるとしている。その上でいかなる事情よりも安全性をすべてに優先させ、国民の懸念の解消に全力を挙げる前提の下、原子力発電所の安全性については、原子力規制委員会の専門的な判断に委ね、原子力規制委員会により世界で最も厳しい水準の規制基準に適合すると認められた場合には、その判断を尊重し原子力発電所の再稼働を進めるとしている。また原子力規制委員会によって特別な認可を得られた場合を除き、運転期間を「原則40年」とするという新しい規制も制定された。さらには2016年4月より一般家庭向け電力の自由化が始まることを考慮すると、原子力発電の収益は不確実なものとなってくる。

この様な状況の中で、原子力発電所の廃炉・再稼働についての意思決定が急がれている。美浜原子力発電所1・2号機や敦賀原子力発電所1号機などに代表されるような運転開始から40年前後が経過し、出力が小さい計5基の原子力発電所は2015年3月から4月にかけて廃炉が決定した。この廃炉の意思決定は再稼働に必要な事故対策工事費用を残りの運転年数で電力会社が回収できないと判断した結果であると推測される。一方で九州電力川内原子力発電所1号機のように経過年数もまだ短く、定格出力の大きい発電所は再稼働し始めている。また電力会社のみならず、政府としても廃炉するまでの一連の原子力発電事業に責任をもつことが今後の課題となってくる。

### 1.2 研究目的

本研究では収益が不確実性にさらされる中で、原子力発電所を再稼働した際にその発電所がどの程度価値があるのかをリアルオプション法を利用して評価を行う。また政府が原子力で発電した電気を固定価格で買い取る制度を導入した際に、収益がどのように変化するかシミュレーションする。

## 2 日本の原子力発電所

日本の原子力発電所の種類は大きく分けて、軽水を原子炉冷却材および中性子減速材とし、この軽水を炉心で沸騰させて蒸気を生じさせ直接タービン発電機に導き電気を得る沸騰水型軽水炉（BWR）と軽水を原子炉冷却材および中性子減速材として使用し、炉心全体にわたって沸騰しない高温高圧水とし（一次冷却系）、この高温高圧水を蒸気発生器に送って熱交換により蒸気を生じさせ（二次冷却系）、この蒸気をタービン発電機へ送って発電する加圧水型軽水炉（PWR）の2種類に分類される。<sup>[2]</sup>2011年に事故を起こした東京電力福島第一原子力発電所は沸騰水型軽水炉であったこともあり、現在

再稼働の審査は加圧水型軽水炉を中心に進んでいる。また加圧水型軽水炉は西日本の原子力発電所に多く見られる種類なので今後西日本の原子力発電所が中心に再稼働していくことが予想される。現在の法律では、原子力規制委員会による新規制基準適合審査の認可と原発立地自治体の承認がないと原子力発電所を再稼働できないこととなっている。また 40 年を超えて発電所を運転する場合には、新規制基準適合審査の認可とは別に原子力規制委員会の承認が必要となる。

### 3 理論<sup>[3]</sup>

#### 3.1 DCF 法

DCF 法には以下の 2 種類が存在する。

- NPV 法（正味現在価値）

(3.1) 式のように  $t$  期に得られるキャッシュフロー  $CF_t$  を、割引率  $r$  を用いて初期時点に割引した累積額を初期投資と比較し、事業性の判断を行う手法。

$$NPV = \sum_t \frac{CF_t}{(1+r)^t} - I \quad (3.1)$$

- IRR 法（内部収益率）

(3.1) 式において  $NPV=0$  となる  $r$  の値を内部収益率と呼び、この値を事業性の判断に行う手法。

#### 3.2 リアルオプション法

リアルオプションとは金融オプション評価に用いるオプション理論を実物資産に適用したもので、従来の DCF 法による事業評価と異なり、将来の不確実性を考慮に入れた評価方法である。

### 4 DCF 法モンテカルロシミュレーション

#### 4.1 保有便益の分布

発電所ごとの年間当たりの収益を保有便益（億円/年）とする。1kWh 当たりの収益を売電収益とすると保有便益は以下のように求められる。

$$(\text{保有便益}) = (\text{定格出力(万 kW)}) * (\text{設備利用率}) * (\text{売電収益(円/kWh)}) * 8760\text{h} \times 10^{-4}$$

つまり設備利用率と売電収益が決まれば保有便益が求まる。

そこで設備利用率を平均 70% ±20% の範囲、売電収益を 8.5 円 ±1.5 円の範囲でそれぞれ三角分布で 10000 回与えたときに保有便益がどのように分布するかを発電所ごとにシミュレーションした。図 4.1 は美浜原子力発電所 1 号機におけるシミュレーション結果である。

#### 4.2 IRR からみた事故対策費用

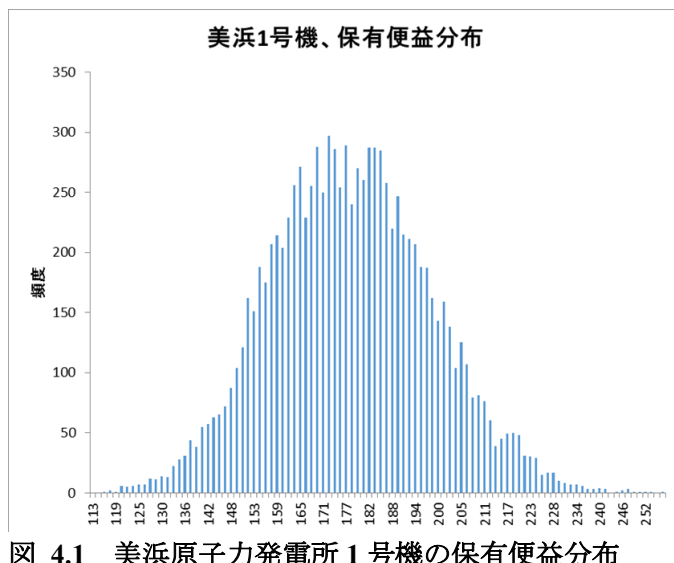


図 4.1 美浜原子力発電所 1 号機の保有便益分布

4.1と同様に設備利用率を平均70%±20%の範囲、売電収益を8.5円±1.5円の範囲でそれぞれ三角分布によって与え、同時に内部収益率も平均3%±1%の範囲で三角分布によってそれぞれ10000回与えたときに(3.1)式における初期投資額Iがどのように分布するのかを発電所ごとにシミュレーションした。これは内部収益率が平均3%になるような初期投資額、すなわち再稼働に必要な安全対策工事額の分布である。図4.2は美浜原子力発電所1号機におけるシミュレーション結果である。

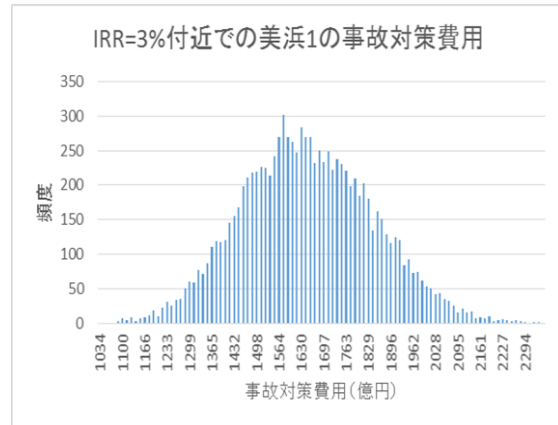


図 4.2 IRR3%付近における事故対策費用分布

## 5 再稼働シミュレーション

2016年4月から再稼働することを想定し、設備利用率 $R$ と売電収益 $P$ が不確実性を持つとしてこれら2つを(5.1)、(5.2)式のようなブラウン運動に従うと仮定する。

$$dR = a_1 dt + b_1 dz \quad (5.1)$$

$$dP = a_2 dt + b_2 dz \quad (5.2)$$

### 5.1 パラメータ推定

- 設備利用率 $R$ のパラメータ

$a_1$ (%/年)は $R$ の期待変化率、 $b_1$ (%)は $R$ のボラティリティで、公開されている過去の発電所ごとの設備利用率の推移から推定する。

- 売電収益 $P$ のパラメータ

$a_2$ (円/年)は $P$ の期待変化率、 $b_2$ (円)は $P$ のボラティリティで、2011年から2014年の一般家庭向け電気料金の推移から推定する。このパラメータはすべての発電所に共通して利用する。

- 保有便益 $x$ の設定

保有便益 $x$ (億円/年)を(5.3)式のように定義する。上記で推定したパラメータを(5.3)式に代入してパラメータ $a_3$ 、 $b_3$ を求める。

$$\begin{aligned} dx &= k * (PdR + RdP) * 10^{-4} \\ &= k * \{(Pa_1 + Ra_2)dt + (Pb_1 + Rb_2)dz\} * 10^{-4} \quad (5.3) \\ &= a_3 dt + b_3 dz \end{aligned}$$

### 5.2 計算方法

(5.4)式に設備価値 $F$ を定義する。離散時間 $\Delta t$ の間に確率 $p$ で上方(+ $\Delta x$ )へ、確率 $q$ で下

$$F_{i,j} = \max\left[0, i\Delta x\Delta t + \frac{pF_{i+1,j+1} + qF_{i-1,j+1}}{1 + r\Delta t}\right] \quad (5.4)$$

方(- $\Delta x$ )へランダム・ウォークする格子モデルを用いた数値解法で発電所ごとの設備価値 $F$ (億円)をバックワード的に算出する。ただし、確率 $p$ 、 $q$ は時刻に対し独立である。また移

動幅  $\Delta x$ 、上昇確

率  $p$ 、下降確率  $q$  を次の(5.5)式

と設定する。図 5.2 に美浜原子力発電所 1 号機におけるシミュレーション結果を示す。

$$p = \frac{1}{2} \left[ 1 + \frac{a_3}{b_3} \sqrt{\Delta t} \right], q = \frac{1}{2} \left[ 1 - \frac{a_3}{b_3} \sqrt{\Delta t} \right], \Delta x = b_3 \sqrt{\Delta t} \quad (5.5)$$

## 6 固定価格買取制度導入シミュレーション

### 6.1 パラメータ推定

- 設備利用率  $R$  のパラメータ再稼働シミュレーションの時に使用したパラメータをそのまま利用する。
- 売電収益  $P$  のパラメータ  $P$  の期待変化率  $a_2$  (円/年)

はそのまま利用し、 $P$  のボラティリティ  $b_2=0$  としてシミュレーションを行う。

これは固定価格買取制度によって売電収益のボラティリティが減ることを想定している。図 6.1 に美浜原子力発電所 1 号機におけるシミュレーション結果を示す。

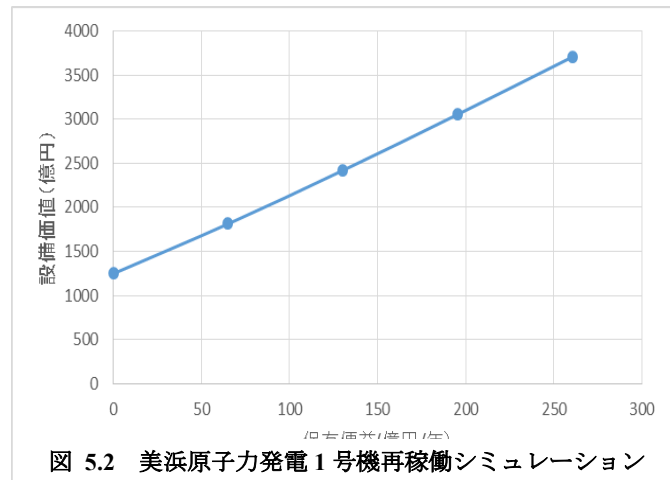


図 5.2 美浜原子力発電 1 号機再稼働シミュレーション

## 7 まとめ

リアルオプション法を用いて設備利用率と売電収益の不確実性を考慮に入れた、原子力発電所

の設備価値を定量的に評価した。また、固定価格買取制度が導入された場合と導入しない場合の設備価値の比較を行うことで、どのような制度設計をするべきかの評価を行った。また DCF 法を利用して発電所の事故対策費用をどの程度に抑えれば収益を担保できるのかを推計した。

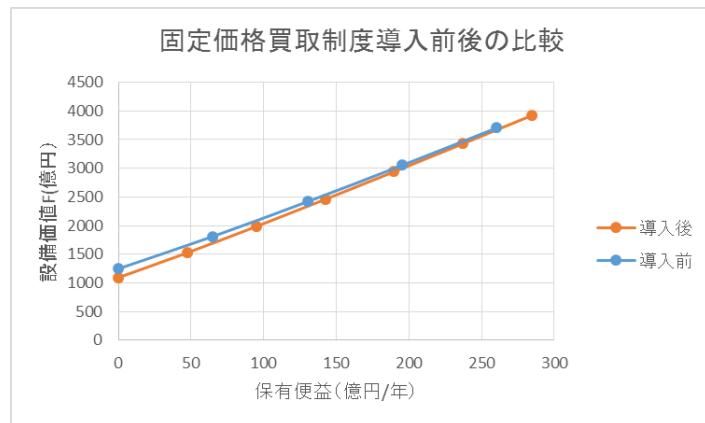


図 6.1 美浜原子力発電所 1 号機における

### 参考文献

[1] 経済産業省：エネルギー基本計画

<http://www.meti.go.jp/press/2014/04/20140411001/20140411001-1.pdf>, アクセス日 2016 年 1 月 28 日

[2] (財) 高度情報科学技術研究機構：原子力百科事典 ATOMICA

[http://www.rist.or.jp/atomica/data/dat\\_detail.php?Title\\_No=02-01-01-01](http://www.rist.or.jp/atomica/data/dat_detail.php?Title_No=02-01-01-01), アクセス日 2016 年 1 月 27 日

[3] 野口悠紀雄、藤井真理子；金融工学，ダイヤモンド社，(2000)