

海外の試算例にみる原子力発電のコスト評価

Comparison of Cost Estimates of Nuclear Electricity Generation

松尾雄司*・村上朋子*・永富悠*
 Yuhji Matsuo Tomoko Murakami Yu Nagatomi

1. はじめに

地球環境問題への配慮やエネルギー・セキュリティ等の観点から、近年原子力発電に対する意識が高まっており、その発電コストを評価し、他電源との比較を行うことが重要となっている。しかし原子力発電と石炭火力発電・ガス火力発電等のコスト比較を行った文献間ではその優劣について必しも整合的な結果は得られていない。ここでは海外の文献に見られるコスト評価手法を検討し、追計算を行うことにより評価結果に差異が現れる理由を探るとともに、今後の政策的インプリケーションを汲み取ることに努めた。

2. 各機関の発電コスト試算例

日本及び海外の各機関での発電コストの試算例を表1に示す。日本の経済産業省総合資源エネルギー調査会電気事業分科会・コスト等検討小委員会（以下「コスト小委」）では運転年数40年、割引率3%、設備利用率80%の条件で、原子力のコストを5.3円/kWhと火力発電よりも安く見積っている¹⁾のに対し、例えば米国議会予算局（CBO）の評価では原子力発電が最も高価な発電方法となっている²⁾。

表1 発電コスト評価例

評価機関(年)	単位	石炭火力	ガス火力	原子力
コスト小委(2004)	円/kWh	5.7	6.2	5.3
MIT(2003)	\$/MWh	42	41	67
シカゴ大学(2004)	\$/MWh	33~41	35~45	51
CBO(2008)	\$/MWh	55	57	72
DGEMP(2004)	¢/MWh	33.7	35.0	28.4

3. 再計算による影響要因分析

上記のコスト小委とCBOの試算の前提条件を比較すると、発電プラントの建設コストについては同程度の金額を前提としており、また運転維持費、設備利用率、バックエンド等の前提はコスト小委の方が高い設定を行っている。一方で初期投資に調達した資金を返済する際の利率をCBOでは8~14%、コスト小委では0~4%としており、これがコスト小委の試算で原子力発電のコストが比較的安く見積

られている大きな原因となっている。仮にCBOと同様の計算条件・方法を用いて利率のみコスト小委と同程度の3%として再計算を行ったところ、原子力発電コストは図1に示すよう

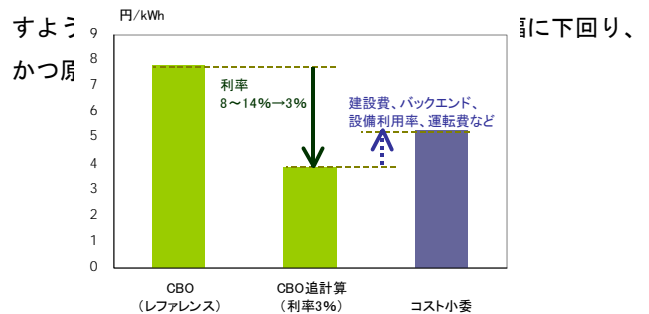


図1 原子力発電コスト試算の比較

また、原子力発電が火力発電に比べて高価であると評価されている例でも、化石燃料価格の高騰を考慮して再計算を行ったところ原子力発電が有利となる結果が得られた。

4. まとめ

このように原子力発電はその初期投資の高さから、一般的には石炭火力・ガス火力等に比べてコスト的に有利であるとは言いがたい。しかし以下のいずれかの条件が成り立つ場合には他電源よりも安価なものとなるのがわかる。

- ① 化石燃料価格が高い水準にとどまる
- ② 税制優遇や低金利の資金調達など、原子力発電の初期投資負担を軽減する何らかの優遇的環境が整備される
- ③ 高い炭素価格が導入される

今後世界の多くの国で原子力発電計画が着実に遂行されるためには、各国が政策的に原子力発電の導入を支援すると共に、先進国からの資金的・技術的援助等により初期投資の負担が低減されることが特に必要であると考えられる。

参考文献

- 1) 総合資源エネルギー調査会 電気事業分科会 コスト等検討小委員会;バックエンド事業全般にわたるコスト構造、原子力発電全体の収益性等の分析・評価, (2004)
- 2) US Congressional Budget Office; Nuclear Power's Role in Generating Electricity, (2008)

* 財団法人日本エネルギー経済研究所
 戦略・産業ユニット 原子力グループ
 〒104-0054 東京都中央区勝どき 1-13-1
 e-mail matsuo@edmc.ieej.or.jp

海外の試算例にみる原子力発電のコスト評価

Comparison of Cost Estimates of Nuclear Electricity Generation

松尾雄司*・村上朋子*・永富悠*

Yuhji Matsuo

Tomoko Murakami

Yu Nagatomi

In order to meet future energy needs without emitting carbon dioxide and other pollutants, many countries are now planning to introduce nuclear electricity generation, and many studies have been done to estimate the costs of generating electricity. In this paper we compared some of the papers to find the main factors influencing the generating costs. We found that the crucial factors to determine the cost competitiveness of nuclear electricity generation are the discount rate (rate of return for investment), hydrocarbon prices and the price of carbon dioxide. Especially the discount rate plays a main role because nuclear electricity generation requires high initial costs. In order to introduce nuclear power in many countries in the future, it will be important to give some governmental incentives or international aids to reduce the risks of investment, and effectively reduce the rate of return.

Keywords: Nuclear, Electricity Generation, Cost

1. はじめに

近年では地球環境問題への配慮やエネルギー・セキュリティ等の観点から原子力発電に対する意識が急速に高まっており、先進国・途上国双方を含む世界の多くの国で新規に原子力発電所を建設する計画が立てられている。その際、原子力発電は初期投資（発電プラントの建設）に多大なコストを必要とし、場合によっては発電事業者に大きな負担を強いることもあり得るため、その発電コストを評価し、他電源との比較を行うことが重要となる。しかし原子力発電と石炭火力発電・ガス火力発電等のコスト比較を行った文献間ではその優劣について必しも整合的な結果は得られておらず、試算方法によって評価が異なる結果となっている。本稿では海外の文献に見られるコスト評価手法を検討し、再計算を行うことにより原子力発電コストに影響する要因を探るとともに、そこから得られる今後の政策的インプリケーションを汲み取ることに努めた。

2. わが国での発電コスト試算例

わが国では、経済産業省総合資源エネルギー調査会電気事業分科会・コスト等検討小委員会（以下「コスト小委」）において、平成 16 年度に各電源の発電コスト評価が行われている¹⁾。これは、特に原子力のバックエンド事業に焦点を

当て、そのコスト構造について分析・評価を行った上で原子力発電及びその他の電源の発電コストを試算し、原子力発電全体の収益性等について検討をしたものである。この試算では、運転年数 40 年、割引率 3%、設備利用率 80% の条件で、表 1 に示すように原子力 5.3 円/kWh、石炭火力 5.7 円/kWh、LNG 火力 6.2 円/kWh と、原子力の発電単価が最も安価になっている。

表 1 発電コスト評価例

評価機関（年）	単位	石炭火力	ガス火力	原子力
コスト小委（2004）	円/kWh	5.7	6.2	5.3
MIT（2003）	\$/MWh	42	41	67
シカゴ大学（2004）	\$/MWh	33~41	35~45	51
CBO（2008）	\$/MWh	55	57	72
DGEMP（2004）	¢/MWh	33.7	35.0	28.4
Tarjanne & Luostarinen （2003）	¢/MWh	44.3	39.2	23.7

3. 海外の発電コスト試算例

海外の機関により同様の発電コスト評価が行われたケースとして、フランス²⁾やフィンランド³⁾の試算例では上記の経済産業省の試算と同様に原子力発電のコストが石炭火力・ガス火力に比べて低くなっている一方で、米国で行われた試算⁴⁾⁵⁾⁶⁾では、特別な優遇措置や炭素価格等の前提のない条件下では原子力発電がコスト的に不利であるとの結

* 財団法人日本エネルギー経済研究所
戦略・産業ユニット 原子力グループ
〒104-0054 東京都中央区勝どき 1-13-1
e-mail matsuo@edmc.ieej.or.jp

IEEJ: 2009年2月掲載

論が導かれることが多い(表1)。

3.1 フランスでの試算例

フランス DGEMP (エネルギー・資源総局) はアレバ社の EPR (欧州式加圧水型軽水炉) を想定して原子力発電のコスト評価を行い、石炭火力発電やガス火力発電のコストとの比較を行っている。その結果、標準とされる 8% の割引率のケースにおいて原子力 28.4 ユーロ/MWh、石炭火力 (微粉炭) 33.7 ユーロ/MWh、ガス火力 (複合サイクル) 35.0 ユーロ/MWh [何れも 2001 年価格] と原子力が最も安価な発電方式となっている。この試算において特徴的なことは、原子力発電プラント (EPR) の建設単価を 1,043 ユーロ/kW (2001 年価格) と、後述の米国 CBO の試算 (2006 年価格 236 万ドル/MW) や日本のコスト小委による試算 (2002 年価格 27.9 万円/kW) に比べて非常に安価に設定していることであり、それがこの評価において原子力発電コストが低く評価される一因となっている。なおこの試算の後に EPR は実際にフィンランドのオルキルオト 3 号機として着工され現在建設が行われており、工事の遅延等に伴い建設コストが大幅に増加していると言われている。実際の建設単価は DGEMP の前提よりも大幅に高い値となる可能性が高い。

3.2 米国での試算例

前述のように米国での試算では、特別なインセンティブ等のない場合には原子力発電が石炭火力・ガス火力発電に比べて高い結果となることが多い。例として 2008 年 5 月に発表された米国議会予算局 (CBO) の試算結果を以下に示す。

この試算では原子力発電、従来型の石炭及びガス火力発電の他に、発生する二酸化炭素の 90% を回収・貯留するプロセスを想定した革新型石炭火力・ガス火力発電を対象とし、1MWh の発電を行うために必要となる価格 (「標準コスト」) を試算している。計算の前提条件は表 2 の通りである。なおこのレポートの中で金額は全て 2006 年基準実質価格で表記されている。

表 2 CBO のコスト試算前提条件

	原子力	従来型石炭火力	従来型ガス火力	革新型石炭火力	革新型ガス火力
建設コスト (万ドル/MW)	236	150	68	247	139
燃料費 (ドル/MWh)	8	16	40	17	52
固定運転コスト (ドル/MWh)	8	4	1	6	3
設備利用率	90%	85%	87%	82%	84%
投資家の期待する利率	8~14%				
バックエンド費用 (ドル/MWh)	1	-	-	-	-

この試算の結果では、基準ケースでは新規に建設される

従来型石炭火力及び従来型ガス火力の発電コストがほぼ同程度となり、原子力はそれよりも 30%ほど割高となっている。

(なお革新型の石炭・ガス火力の発電コストは従来型に比べ 50%ほど割高となる。) すなわち、何らの特別なインセンティブもない条件下では、電気事業者は従来型火力発電プラントを建設する選択が有利であることになる。それに対し、CO₂ の排出量に応じてコストを上乗せするケースでは、CO₂ の価格を高く設定するほど排出量の大きな火力発電のコストが上昇する結果となる (図 1)。この試算では CO₂ コストが 45 ドル/t-CO₂ 以上であれば、原子力が最も経済的な電源となる。また、米国で原子力への優遇策として導入された 2005 年エネルギー政策法に基づく支援を考慮した試算ケースでは、原子力発電のコストが顕著に低くなり従来型石炭・ガス火力に比べて経済的な優位性を持つようになる。この場合には特に、生産税控除 (新規原子力発電プラントに対し最初の 8 年間に発電量 1MWh 当り 18 ドルの優遇措置を行う) や建設費に対する政府の 80%までの債務保証が大きく影響している。

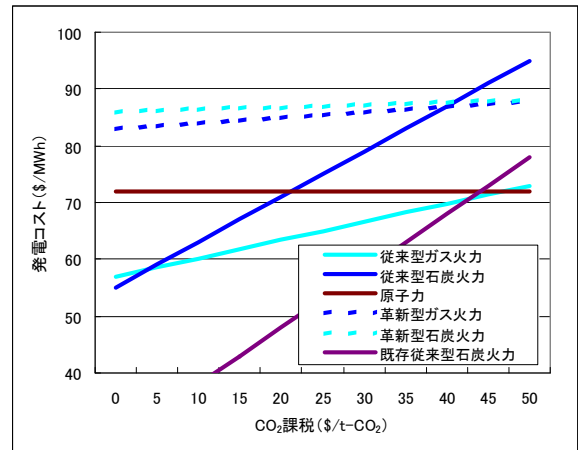


図 1 CBO のコスト試算結果例 (CO₂ 価格を設定した場合)

CBO の試算結果を仮に GDP デフレーターにより 2002 年価格に補正し、為替レートを 122 円/ドルとして日本円に換算して日本のコスト小委の試算結果と比較すると、表 3 のようになる。ここでは石炭・ガス火力については二つの試算結果がほぼ同等の値となっているのに対し、原子力の発電コストについては政策インセンティブのない場合には CBO の値の方がはるかに大きく、それにより原子力発電と火力発電との優位性が反転する結果となっていることがわかる。

表 3 コスト試算結果比較

	原子力	従来型石炭火力	従来型ガス火力
CBO 基準ケース	7.8	6.0	6.2

単位: 2002 年価格 円/kWh

(政策インセンティブありの場合)	5.8	—	—
コスト小委	5.3	5.7	6.2
(割引率 3%、設備利用率 80%)			

3.3 OECDによる試算例

OECD⁷⁾では、日本・米国・欧州諸国等を対象として原子力発電・石炭火力発電・ガス火力発電・太陽光発電・風力発電等様々な発電方式によるコストについて、割引率5%及び10%の2ケースを想定して試算を行っている。各電源の発電コストは国により異なるが、例えば日本については図2に示すようになっている。ここに示されるように、割引率5%の場合には原子力発電は石炭火力発電・ガス火力発電よりも安価になっているのに対し、割引率10%を仮定すると原子力発電のコストはガス火力発電よりも高い結果となる。原子力発電は火力発電に比べて固定費(初期投資)が高く、変動費(運転維持費・燃料費)が安いという特徴を有するため、割引率を高く設定する程、比較的にコストが高くなる結果が得られる。

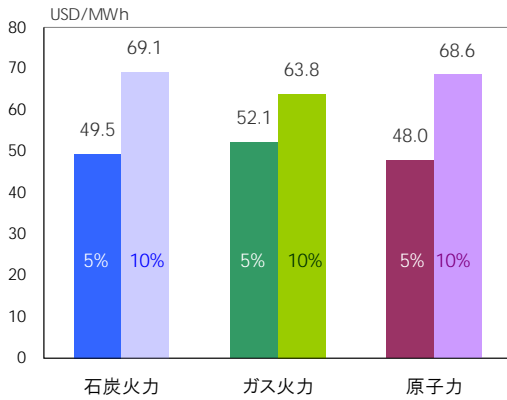


図2 OECDによるコスト試算結果例

4. 再計算による影響要因分析

以上の背景のもと、上記の諸文献の計算方法を踏襲してコスト試算を行うことにより、原子力発電コストに影響を与える要因について分析を行った。

4.1 日米のコスト評価の比較

上記のように日本では「最も安価な電源」とされる原子力発電が、米国の試算では(従来型の)石炭火力やガス火力発電に比べて「割高な電源」となっている。ここではこの原因を探るために二つの試算の前提条件を比較するとともに、CBOの試算方法に準じた再計算を行った。

まず原子力発電の建設単価については、コスト小委では柏崎刈羽原子力発電所6、7号機(東京電力、ABWR)及び玄海発電所4号機(九州電力、PWR)をモデルプラントとし、27.9万円/kWの建設単価を想定している。一方CBOで前提とされる建設単価は2002年日本円換算で26万円/kW程度で

あり、コスト小委の方がやや高くなっているものの両者に大きな差異はない。

次にフロントエンド及びバックエンドに係る費用を見ると、コスト小委では、割引率3%の条件下でフロントエンド(ウラン及びMOX燃料)に係る費用を0.66円/kWh、バックエンド(再処理、廃棄物処分等)に係る費用を0.81円/kWhとしている。一方でCBOでは、2002年日本円換算で燃料費は0.85円/kWhであり、ウラン価格の高騰を反映してやや大きな値になっている。バックエンドコストについてはCBOでは再処理を想定していないため0.11円/kWhと小さな額になっており、しかもこれを名目値で一定額としているため、実質では更に小額となる。このように、フロントエンド・バックエンドにかかる費用を合計するとコスト小委の方がCBOよりも高くなっている。

また、CBOの計算では設備利用率を原子力について90%、石炭火力について85%、ガス火力について87%と設定しており、どれもコスト小委での想定より高い。その他に、運転費や修繕費などについても、コスト小委の方が高く見積もっている可能性がある。これらの前提条件の差は何れもコスト小委の方が発電コストを高く評価するものであり、仮にCBOの試算においてコスト小委と同様の条件を置くと更に原子力発電コストを上昇させ、火力発電とのコスト差を拡大する結果となる。

一方で、コスト小委の方がコストを低く見積もっている要因としては計算に当たって想定されている割引率が挙げられる。コスト小委では割引率として0%~4%の値を用い試算を行っている。それに対し、CBOでは投資家の期待収益率を株式について14%、負債について8%と見込んでおり、コスト小委の値はCBOに比べて著しく低くなっている。

CBOレポートと同様の試算において、利率の値をコスト小委の割引率と同程度の3%として計算したところ、標準発電コストは原子力で3.5円/kWh、石炭火力では3.6円/kWhとコスト小委結果を大幅に下回り、かつ原子力が石炭火力を下回る結果となった。図3にCBOとコスト小委の原子力発電コストの比較、及びCBOでの割引率を3%としたときの結果を示す。

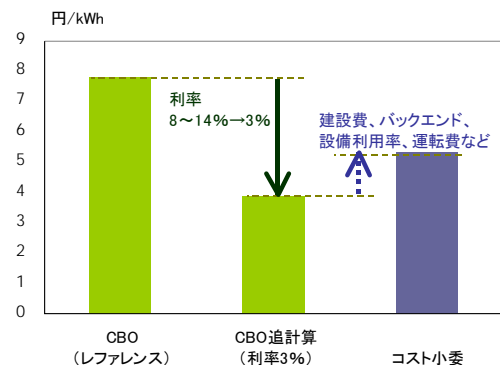


図3 原子力発電コスト試算の比較

以上示されるように、日米の原子力発電コスト評価の差に最も大きく影響しているものは利率の設定である。一般に、米国の株式・債権市場における投資家の期待収益率は日本よりも高い傾向にある。日本の電気事業者の資金調達源はほとんどが銀行借入金、それも政策投資銀行等利率の低いものが多いのに対し、米国の電気事業者は資金の多くを株式市場から調達していることも、日米でそれぞれ前提とする割引率に差がある理由となっている。日本のほうが米国よりも相対的に原子力発電のコスト優位性が高いのは、日本の場合、比較的 low 利率で借入が可能であり、かつ資本市場からの調達の比率が低い所以であるとも考えられる。

4.2 燃料価格高騰の影響

近年、化石燃料価格の急騰に伴い、特に化石燃料を消費する火力発電において発電コストが顕著に増大するケースが見られた。この影響は上記のコスト試算評価では考慮されておらず、化石燃料が高騰した場合の発電コストはこれらの評価結果とは大きく異なるものとなる可能性がある。上述の OECD の試算方法に基づいて、日本を対象として割引率 10% の条件下で石炭・ガス・原子力の各発電コストを試算した結果が図 4 である。ここで、石炭の価格は一般炭のスポット価格を想定して 160 ドル/トン、ガスの価格は日本の LNG 輸入価格を想定して 12 ドル/MMBtu と仮定した。また原子力発電については、2007 年度の関西電力（株）の財務諸表から原子力発電に係る燃料コストを推定し、22 ドル/MWh と設定した。

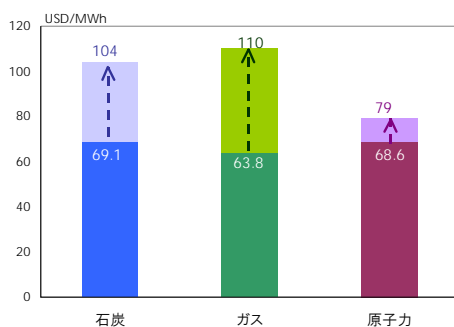


図4 燃料価格高騰の影響

この図に見られるように、OECD の試算結果では原子力発電コスト (68.6 ドル/MWh) はガス火力発電コスト (63.8 ドル/MWh) よりも高いものとなっているが、燃料コストの高騰を考慮した場合には石炭及びガス火力発電のコストが大幅に増大して 100 ドル/MWh を超える一方で、原子力発電コストは 79 ドル/MWh にとどまる。このように、燃料価格の高い状況下では 10% の高い割引率の想定下でも原子力発電が火力発電に比べて有利な選択となると考えられる。

5. まとめ

以上からわかるように、日本で一般的に「原子力発電は他電源に比べて安価である」と見なされているのは電気事業者が大量の資金を低リスクで調達することができるという特殊な事情に基づいているものである。一般的にはより高い利率での資金調達しか行われ得ない可能性があり、その場合には原子力が石炭火力・ガス火力等に比べてコスト的に有利であるとは言いがたい。しかし上記の結果から、以下のいずれかの条件が成り立つ場合には原子力発電が他電源に比べてコスト的に有利となることがわかる。

- ① 化石燃料の価格が高い水準にとどまる
- ② 税制優遇や低金利の資金調達など、原子力発電の初期投資負担を軽減する何らかの優遇的環境が整備される
- ③ 高い炭素価格が導入される

現在、これまで原子力発電を行ってきた先進国を中心とする国々の他に新たに東南アジアや中東等の諸国において原子力発電を行うべく計画が立てられている。これらの国々で原子力開発計画が実際に進展するためには原子力がコスト的に安価なものとなることが不可欠であり、そのためには上記のいずれかの条件が整うことが必要である。化石燃料や炭素価格等の要因は状況に応じて大きく変動する可能性があるものであり、従って原子力発電計画が着実に遂行されるためには、各国が政策的に原子力発電の導入を支援するとともに、先進国からの何らかの形での資金的・技術的援助により初期投資の負担が低減されることが必要であると考えられる。

参考文献

- 1) 総合資源エネルギー調査会 電気事業分科会 コスト等検討小委員会:バックエンド事業全般にわたるコスト構造、原子力発電全体の収益性等の分析・評価, (2004)
- 2) Direction Generale de l' Energie et des Matieres Premieres, France; Coûts de reference de la production electrique, (2004)
- 3) R.Tarjanne and K.Luostarinen; Competitiveness Comparison of the Electricity Production Alternatives, Research Report, Lappeenranta University of Technology, (2003)
- 4) University of Chicago; The Economic Future of Nuclear Power, US Department of Energy, (2004)

IEEJ: 2009 年 2 月 掲載

- 5) Massachusetts Institute of Technology: The Future of Nuclear Power, (2003)
- 6) US Congressional Budget Office: Nuclear Power's Role in Generating Electricity, (2008)
- 7) NEA/IEA/OECD: Projected Costs of Generating Electricity 2005 Update, (2005)

お問い合わせ : report@tky.ieej.or.jp