

特集

原子力発電と地球温暖化問題

第3回 原子力発電の経済性とCO₂排出量

早川光俊(CASA専務理事)

日本政府や電力会社は、原子力発電は経済性に優れ、発電過程において二酸化炭素（CO₂）を排出しない低炭素電源であり、原子力発電の活用なくしては、エネルギー安定供給はもちろん、地球温暖化問題への対応はおよそ不可能であるとしてきました。しかし、本当に原子力発電は他の電源に比べて発電コストは安いのでしょうか。また、再生可能エネルギーに比べてCO₂排出量が少なく、地球温暖化対策に不可欠なエネルギー源なのでしょうか。

今号では、原子力発電所の発電コストと環境性について考えてみたいと思います。

原子力発電の発電コスト

表1は、原子力発電の費用項目です。

①の「発電費用」は、発電に直接必要とされる費用で、燃料費、減価償却費、保守費用などが含まれます。この「発電費用」は、電気料金として消費者から徴収されています。

②の「バックエンド費用」は、原子力発電所に固有の費用で、発電を行った後にかかる費用です。この「バックエンド費用」の「使用済燃料再処理費用」は、核燃料リサイクルのための

費用で、通常の原子炉（軽水炉）で燃やしたウランを再処理工場で再処理し、MOX燃料を製造する費用です。これは核燃料リサイクルを行わなければ必要のない費用です。放射性廃棄物処分費用の対象となる放射性廃棄物は、「低レベル放射性廃棄物」、「高レベル放射性廃棄物」と「TRU廃棄物」*1に分かれています。②のバックエンド費用のうち、六ヶ所村の使用済燃料再処理費用、高レベル廃棄物処理費用、原子炉解体費用などは電力料金に転嫁されています。

表1 原子力発電の費用項目

①	発電に直接要する費用（燃料費 / 減価償却費 / 保守費用等）			—	
②	バックエンド費用	使用済燃料再処理費用	料金原価に算入されている	原子力発電に固有の費用	
		放射性廃棄物処分費用			低レベル放射性廃棄物費用
					高レベル放射性廃棄物費用
	TRU廃棄物処分費用				
	廃炉費用	解体費用			
		解体廃棄物処分費用			
③	国家からの資金投入（開発費用 / 立地費用）		一般会計、エネルギー特会（電源特会、石油特会から）		
④	事故に伴う被害と被害補償費用		料金原価には不十分にしか算入されていない。		

（出所）「再生可能エネルギーの政治経済学」、55頁の図2-1。①の「発電に直接要する費用」とは、電源ごとに算定される営業費に電源ごとの事業報酬を加えたものとされ、営業費には給料手当、燃料費、修繕費、諸税、減価償却費などが含まれる。

* 1：TRU: ウランより原子番号が大きい人工放射性核種（超ウラン核種）。再処理施設及びMOX燃料加工施設から発生する低レベル放射性廃棄物で、半減期が長く、 α 線を放出する核種が多い。

③の「国家からの資金投入」の中の「開発費用」は、技術開発や関連団体の運営などに対する国家財政からの支出です。1970～2007年の間に10兆1574億円が使われ、96.8%が原子力発電と揚水発電に使われています。「立地費用」は、周辺自治体への公共施設整備費などで、1970～2007年の間に3兆5073億円が使われ、70.1%が原子力発電と揚水発電に使われています。

④の事故に伴う被害と被害補償費用は、今回の福島原子力発電所事故などが起こった場合のその被害補償費用です。原子力発電所の事故に関しては、原子力損害賠償法（原賠法）があり、原子力事業者（電力会社など）は過失の有り無しに関係なく無限の賠償責任を負うと言う無過失・無限責任になっています。原子力事業者に対して、1事業所あたり1200億円の民間の損害賠償責任保険への加入と政府との原子力損害賠償補償契約を義務づけ、この1200億円を超える損害が発生した場合は、国が原子力事業者に必要な援助を行うことになっています。しかし今回の事故の損害は少なくとも数十兆円にも上るとみられており、とてもこの賠償措置額では賄えません。また、この原賠法では、「原子力事業者以外の者は、その損害を賠償する責めに任じない」とされ、原子炉メーカーなどには賠償責任が及ばないとされています。

表2 政府の電源別発電コスト計算

	設備規模 (kW)	設備利用率 (%)	運転年数	コスト (円/kWh)
一般水力	1～2万	45	40	11.9
石油火力	35～50万	80	40	10.7
石炭火力	60～105万	80	40	6.2
LNG火力	144～152万	80	40	5.7
原子力	118～136万	80	40	5.3

(出所)「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」資料26の割引率3%の試算結果

政府の電源別コスト試算

表2は政府の発電コストの試算結果^{*2}です。資源エネルギー庁の発電コストの試算は、モデルプラントを想定する方法です。電源ごとにモデル的な発電所を想定し、必要な総費用を、その発電所が一定年数稼働して発電する総発電量で割って、1kWh当たりの発電原価を試算するというものです。例えば原子力発電については、118～136万kWの設備規模の原発設備を、設備利用率80%で40年運転すると想定し、発電に直接要する費用である発電費用（燃料費/減価償却費/保守費用等）と使用済燃料の再処理費用・放射性廃棄物処分費用・廃炉費用などのバックエンド費用をモデル的に想定して算出します。

バックエンド費用については、六ヶ所村再処理工場が2005年～2046年まで40年間操業する間に再処理される使用済燃料を3.2万トンとし、これに基づいて、再処理事業、MOX燃料加工事業やこれらの施設の廃止措置、放射性廃棄物処理事業、六ヶ所村で再処理できない使用済燃料の中間貯蔵などの費用を想定しています。

バックエンド費用の総額は18兆8000億円とされ、そのうち再処理費用が11兆円、高レベル放射性廃棄物処分費用2兆5500億円、MOX燃料加工費1兆1900億円、使用済燃料中間貯

表3 大島教授の電源別発電コスト計算 (円/kWh)

	原子力	火力	水力	一般水力	原子力+揚水
発電単価	8.64	9.80	7.08	3.88	10.13
開発単価	1.64	0.02	0.12	0.06	1.68
立地単価	0.41	0.08	0.06	0.04	0.42
総単価	10.68	9.90	7.26	3.98	12.23

(出所)「再生可能エネルギーの政治経済学」、80頁の表2-7より作成

* 2: 「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」(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委員会, 2004年1月)

歳1兆100億円などとされています。

政府の試算結果は、一般水力が11.9円/kWhで最も高く、次いで石油火力の10.7円/kWh、石炭火力の6.2円/kWh、LNG火力が5.7円/kWhで、もっとも安いのは原子力発電の5.3円/kWhとなっています。

しかし、この経産省の試算方法は、想定によって発電単価に大きな差異を生じます。例えば、原子力発電の設備利用率は80%を想定していますが、福島原子力発電所事故前でも利用率は60%程度に落ちこんでおり、この利用率の想定はあまりに実態からかけ離れています。

またこの試算には、MOX燃料を製造・使用するのであれば当然必要となるMOX使用済燃料の再処理または処分費用、六ヶ所村再処理工場処理できない使用済燃料の再処理費用、高速増殖炉サイクルを維持するのであれば必要となる高速増殖炉燃料の製造や再処理などの費用、などが含まれていません。

こうした試算の欠陥は、結果的に原子力発電の発電単価を低く見積もることになります。

大島教授の電源別発電コストの試算

こうした政府の発電コストの試算に対し、立命館大学の大島教授が電源別（水力、火力、原子力）の実績値を基に発電コストの試算をしています³。その結果が表3です。

大島教授の電源別発電コストの試算は、政府の試算方法とはまったく異なり、電力会社の「有価証券報告書総覧」の財務諸表に電源別に記載されている項目の金額を、原子力発電が稼働し始めた1970年から直近の2007年まで合計し、これを発電量で割って発電コス

トを試算する方法です。また、電力会社の会計には現れない、開発費用、立地費用などに、国家財政からの資金投入もコストとして計算しています。

開発費用とは、技術開発や関連団体の運営費などで、立地費用とは発電施設周辺の自治体へ公共用施設整備費などとして交付される立地対策のための費用です。この立地費用は原子力発電所の立地が計画通り進まなくなったため多額の剰余金が発生するようになり、その交付対象が拡大されスクールバス整備、小学校や体育館の整備、葬祭場整備などの公共関係だけでなく、外国語教育やコミュニティバス事業など、本来発電設備と関係の無いものにも使われています。こうした膨大な国家財政からの資金投入を可能にしているのが、電源三法⁴に基づく財政システムです。電源三法交付金は、1975～2007年の間に総額9137億円にのぼり、その70%が原子力関連に支出されています。その財源は、電気料金（1kWh当たり0.375円）に転嫁される電源開発促進税です。九州電力のやらせメールで問題になった説明会も、電力、原発メーカーなどが役員に名を連ねる日本生産性本部が国から請け負った、こうした資金による広報・公聴事業によって行われています。

さらに、揚水式水力発電⁵も、需要の少ない夜間に原子力発電所で発電した電力でポンプアップして、需要の多い昼間に発電することから、原子力発電と一体の水力発電所であることから、原子力発電のコストとして計算されています。

試算結果は、最も安いのが揚水発電を抜い

* 3:「再生可能エネルギーの政治経済学～エネルギー政策のグリーン改革に向けて～」、大島堅一、東洋経済新報社：2010

* 4: 電源開発促進税法、電源開発促進対策特別会計法、発電用施設周辺地域整備法。

* 5:「水力」は、一般水力と揚水発電の両方を合わせたもので、一般水力は設備利用率が40～50%あるが、揚水発電は昼間のみ発電のため、設備利用は3～6%と非常に低い上に、ダムを2つ作る必要があるので、コストは一般水力の2倍近くかかる。

た一般水力で 3.98 円 /kWh、次いで水力（含揚水発電）で 7.26 円 /kWh、火力は 9.90 円 /kWh、もっとも高いのは原子力発電の 10.68 円 /kWh と、政府の発電コストの試算とは逆の結果になっています。さらに、揚水発電の費用を原子力発電の費用に含めた「原子力+揚水」は 12.23 円 /kWh とさらに高い結果となっています。

再生可能エネルギーの発電コストと原子力発電のコスト

「エネルギー白書 2010」によれば、風力発電（大規模）の発電コストは 10～14 円 /kWh、太陽光発電の発電コストは 49 円 /kWh、地熱が 8～22 円 /kWh とされています*6。

大島教授の試算では「原子力+揚水」は 12.23 円 /kWh とされていますので、風力発電は現状でも原子力発電の発電コストと遜色のないレベルにあります。

再生可能エネルギーの発電コストを考える場合、重要なのは発電コストの今後の見通しです。「エネルギー白書 2010」にも、再生可能エネルギーの発電コストは「今後技術革新や需要拡大によるコストの低下が期待されています」と書かれ、現実に再生可能エネルギーの発電コストは普及により大幅に低下しています。

一方、原子力発電の発電コストは上昇を続けています。この特集の 1 回目に紹介したドイツ政府の委託研究*7は、「多くの産業の場合、その技術的学習曲線の成熟により、コストの低下を経験しているが、原子力産業の場合、現存の建設のコスト及び将来のコスト予測は、着実に上昇を続けている。」とし、マサチューセッツ工科大学（MIT）が 2003 年に発表した「原子

力の将来」を 2009 年 5 月にアップデートした調査報告書でも、「設備容量 1kW 当たりの建設コストは前の報告書（2003 年）の推定の二倍になった（2000 ドルから 4000 ドルへ）。つまり、原子力の投資コストは、たった 6 年の間に 2 倍に増えている」、「文献によると、現在の景気悪化に突入して行く時期に原発建設コストは年 15% の上昇を見せており、この試算は日本と韓国の実際の原発建設コスト上昇のデータと米国での新規原発の推定コストに基づいていると報告されている。」とされています*8。

最近、アメリカの国債の格付けを下げて話題となった大手格付け機関も、福島原子力発電所事故以前から原子力発電の経済的将来性には否定的で、投資情報会社「スタンダード&プアーズ」は 2006 年 1 月に発表した北米とヨーロッパの原子力の信用度評価報告書で、「原子力を抱える電力会社は、それを持たない会社よりも、信用評価が低く、信用のために余分に払うことになり得る」とし、2008 年には大手債券格付け機関「ムーディーズ」も、「新規原発を建設する電力会社の債券価格は 20～30% 低落する」などとしています。

原子力発電と再生可能エネルギーの CO₂ 排出量

地球温暖化対策として検討が必要なのは、化石燃料に代替するエネルギー源とされる再生可能エネルギーと原子力との比較です。

経済産業省などは、原子力発電は発電時に CO₂ を出さない発電源で、地球温暖化対策には不可欠として、原子力発電を地球温暖化対策の中核に位置づけてきました。具体的には、原子力発電の 1kWh 当たりの CO₂ 排出量は 20g と

* 6：「エネルギー白書 2010」、123 頁、図第 122-3-2「各エネルギー源の発電コスト・CO₂削減費用」

* 7：ドイツ連邦環境・自然保護・原子炉安全省の委託研究「世界の原子力産業現状報告 2009 年 - 経済諸問題に焦点」。CASA レター 72 号 2～3 頁。

* 8：こうした海外の情報はグリーンアクション HP に詳しい。

し、太陽光の38gや風力の25gよりも排出量が少なく、地球温暖化対策として有効だとしています。

これに対し、先に紹介した大島教授の「再生可能エネルギーの政治経済学」には、Sovacool氏とJacobson氏の原子力発電のCO₂排出量についての最近の研究が紹介されています*9。

Sovacool氏の研究は、ウラン採掘から廃炉に至までの原子力発電のライフサイクル全体の排出量を計算した最近10年の103の研究から、古いデータ(1997年以前)のもの、公開されていないデータに基づくもの、二次的情報源を利用したり、計算方法の説明がなかったりしたものを除いた19の研究の計算値を平均すると、1kWhあたり66g(最小で1.36g、最大で288.25g)の排出量となったとしています。

また、再生可能エネルギーと原子力についての包括的な検討を行ったJacobson氏の、利用可能量や温室効果ガス排出量について抜粋した表(表4)を紹介していますが、このJacobson氏の研究でも、原子力発電のライフサイクルのCO₂排出量は1kWhあたり9~70gとされ、太陽光発電や風力発電よりCO₂

排出量が多いとされている。このJacobson氏の研究で注目されるのは、計画から運転開始までの期間が長い原子力発電などではその間、既存の化石燃料による排出が続くことになり、この「遅延による機会排出」も計算していることです。原子力発電では、この「機会排出」が1kWhあたり59~106gと他の電源に比べて圧倒的に大きいとされています。

アメリカの原子力関係機関のBRADFORD、Peter氏*10は、「高価な新しい原子力発電所を造ることは、私たちの気候の保全のための、もっと安く簡単に入手できる再生可能エネルギー及びエネルギー効率向上のオプションから、民間及び公的投資をそらしてしまう」、「風力その他の再生可能エネルギー源(太陽エネルギーやバイオ・エネルギーなど)は、エネルギー効率向上や、節約、コジェネレーションなどと合わせると、ずっと費用効率が良く、ずっと速く展開できる」とし、世界的に著名なエネルギーの研究者であるエイモリー・B・ロビンズはその著書「原子力：気候問題の解決策?あるいは、愚行?」で、「ファーム型の風力発電及びコジェネレーションは、CO₂の

表4 自然エネルギーと原子力の利用可能量とCO₂排出量

	利用可能量 (兆kWh/年)	CO ₂ 排出量 (g/kWh)			
		技術的利用可能量	ライフ サイクル	遅延による 機会排出	戦争・テロ による排出
太陽光発電	<3000	19 ~ 59	0	0	19 ~ 59
太陽熱発電	1.05 ~ 7.8	8.5 ~ 11.3	0	0	8.5 ~ 11.3
風力	410	2.8 ~ 7.4	0	0	2.8 ~ 7.4
水力	<16.5	17 ~ 22	31 ~ 49	0	48 ~ 71
原子力	<4.1 ~ 122	9 ~ 70	59 ~ 106	0 ~ 4.1	68 ~ 180.1

(出所)「再生可能エネルギーの政治経済学」259頁の表終-1より作成

* 9 : 「再生可能エネルギーの政治経済学」、257 ~ 260 頁

* 10 : U.S. Nuclear Regulatory Commission

削減において原子力の少なくとも 1.5 倍の費用効率を持つ（最新の原発費用推定を使うと約 3 倍となる）」としています。

原子力は CO₂ 排出量について、再生可能エネルギーと比べて優位性があるとは言えません。

福島原子力発電所事故と原子力発電の 経済性・環境性

福島原子力発電所事故は、原子力発電の経済性や環境性を考えるうえで、大きな問題を提起しています。

今回の福島原子力発電所事故の被害総額については、事態が進行中であり、その被害総額を現在の段階で見積もることは困難です。

政府は今回の事故の賠償額を 4 兆円と試算したと報道されていますが、これは東電や原発を保有する他の電力会社の負担可能額から逆算されたとも報道されています。しかし、拡大する土壤汚染、農業・漁業被害、さらに観光業や輸出食品産業などの被害を考えれば、この程度の賠償額で収まるとは考えられません。また、この賠償額には高濃度汚染水の処理や原子炉などを廃炉にする費用は含まれていません。高濃度汚染水の処理には 1 トンあたり 1 億円かかるとの試算もあり、仮に 20 万トンの汚染水を処理するとすればこれだけで 20 兆円になります。政府の試算では廃炉費用は 1.5 兆円と見積もられているとされていますが、1～3 号機の原子炉の状況はほとんどわかっておらず、廃炉費用を試算すること自体に無理があります。

原子力発電所の過酷事故の被害額の試算については、1960 年に当時の科学技術庁が原子力産業会議に委託した研究があります。「大型原子炉の事故の理論的可能性及び公衆損害額に関する試算」と題される報告書は、約 15 万 kW（熱出力 50 万 kW）の原子炉が事故を起こしたとの想定で試算しています。原子炉が停止して後

約 1 日後に冷却材喪失により炉心溶融や燃料損傷が起こり、内蔵されている放射能約 5×10^8 キュリーのうち 10^7 キュリーが大気中に放散される事故を想定した被害総額の試算を行い、気象条件などが最悪の場合的損害だけで 3.7 兆円（当時の国家予算の約 2 倍）の損害を見積もっています。この報告書は隠蔽され、1999 年に参議院での質問を契機に、作成から 40 年たって全文公表されています。

また、朴勝俊関西学院大学准教授は、2004 年（当時は京都産業大学）に、関電大飯 3 号機（出力 118 万 kW）をモデルとして、チェルノブイリ事故の放出量推定値に近い放射能放出量を想定した過酷事故の経済的損害の試算を行い、平均して約 62 兆円、最大で 279 兆円との試算を発表しています。

今回の事故の被害総額は、気の遠くなるような天文学的なものになることは避けられそうにありません。事故の損害を発電コストに反映させるためには、事故の程度や発生確率、補償範囲などの想定が必要で簡単ではありませんが、仮に損害額を 100 兆円とし、福島第 1 原子力発電所と浜岡原子力発電所を除いた原子力発電所の設備容量である 4091 万 kW を 80%稼働させ、100 兆円を電気料金で 10 年間で償却しようとするれば、電気料金は 1kWh あたり 34.8 円上昇することになります。

原子力発電所事故による放射能汚染の深刻さは、他の発電設備の事故とまったく異質なものです。確かに原子力発電は化石燃料に比べて CO₂ 排出量は少ないですが、いったん事故が起こると極めて広汎な放射能汚染を、長期にわたって引き起こします。その環境汚染は他の公害などの汚染と比べても、まったく質の異なるものです。

福島原子力発電所事故は、経済性や環境性の面でも、原子力を選択する余地がないことを示しているように思います。