

※発言をそのまま書き起こしたデータを基に、個人情報に関する部分を削除し、文意が通るように修正を行っています。

Q&A

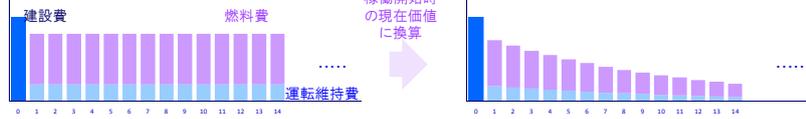
木村：それでは、今回のお話について、分からなかったことでもいいですし、興味があるので少しお話ししてくださいでも構いませんし、基本的なところで申し訳ないですけどももう一度解説してもらえませんかでも構いませんので、忌憚なく質問をしていただければと思います。皆さんの理解が促進されることが非常に重要ですので。よろしくお願ひします。

A：スライド 32 の、割引率 3%のときの現在価値換算後の管理費用のところですけども、この手の話をするときには、費用便益分析をするのだと思います。そのときに第何期まで評価するのかということで、一般的には無限大まで飛ばして、最終的には収束すると思うのですけれども、それは第 0 期から丸々便益を享受できる人はそれで合っていると思うのですが、公共プロジェクトをやるときに、発電にしても道路を作るとかそういうことがあると思うのですけれども、必ず減価償却するわけですよね。便益がどんどん減っていく中で、かなり後に生まれた人にとって便益をどのように扱うのが気になります。それから、便益をどのような指標で測るのが気になるので、教えていただければと思います。

松尾：ここで評価しているのはコストなので、便益ではないというのが基本的な回答になります。便益はまた別にあって、コストを評価しているということです。

平準化発電原価(LCOE)の計算方法

費用



収入



$$\sum_{t=0}^{14} P_{\text{Fuel}} \cdot \text{MWh} \cdot (1+r)^t = \sum_{t=0}^{14} [\text{Capital}_t + \text{O\&M}_t + \text{Fuel}_t + \text{Carbon}_t + \text{D}_t] \cdot (1+r)^t \quad (1)$$

where the different variables indicate:

- P_{Fuel} = The constant lifetime remuneration to the supplier for electricity;
- MWh = The amount of electricity produced in MWh, assumed constant;
- $(1+r)^t$ = The discount factor for year t (reflecting payments to capital);
- Capital _{t} = Total capital construction costs in year t ;
- O&M _{t} = Operation and maintenance costs in year t ;
- Fuel _{t} = Fuel costs in year t ;
- Carbon _{t} = Carbon costs in year t ;
- D _{t} = Decommissioning and waste management costs in year t .

Because P_{Fuel} is a constant over time, it can be brought out of the summation, and equation (1) can be transformed into

$$\text{LCOE} = P_{\text{Fuel}} = \frac{\sum_{t=0}^{14} [\text{Capital}_t + \text{O\&M}_t + \text{Fuel}_t + \text{Carbon}_t + \text{D}_t] \cdot (1+r)^t}{\sum_{t=1}^{14} \text{MWh} \cdot (1+r)^t} \quad (2)$$

where this constant, P_{Fuel} , is defined as the levelized cost of electricity (LCOE).

(出所) OECD/NEA, "Projected Costs of Generating Electricity 2015 Edition"

・1kWhの電力がP円の収入をもたらすと想定し、ライフサイクル全体の費用と収入(ともに現在価値に換算後)が一致するようにPを設定。このPが平準化発電原価(LCOE)と呼ばれる。

・計算上は、「割引後の総費用」を「割引後の総電力量」で除した値がLCOEになる。

・原子力や再生可能エネルギー発電では、割引率が大きくなると、分子(割引費用)は小さくならない一方で、分母(割引電力量)が小さくなるために、LCOEは火力に比べて大きくなる。

松尾：割引率を用いてどのように評価しているかについて、少し補足したいと思います。発電単価というのは何かというと、まず、建設費用がかかります。それから、燃料費と運転維持費がかかります。普通は40年間くらいお金がかかるのだけれども、もし仮に廃棄物を10万年間管理し続けるとすると、10万年間管理費がかかることとなります。それに対して、電力会社の目線で見ると、収益があります。発電量に応じて、P円のお金が、40年間だったら40年間発生します。これらの費用を全て現在価値に換算して、収入のほうも現在価値に換算して、全期間での費用と収入がちょうど一致するようなPを割り算して求め、それを平準化発電原価(Leveled Cost of Electricity: LCOE)と呼んでいます。

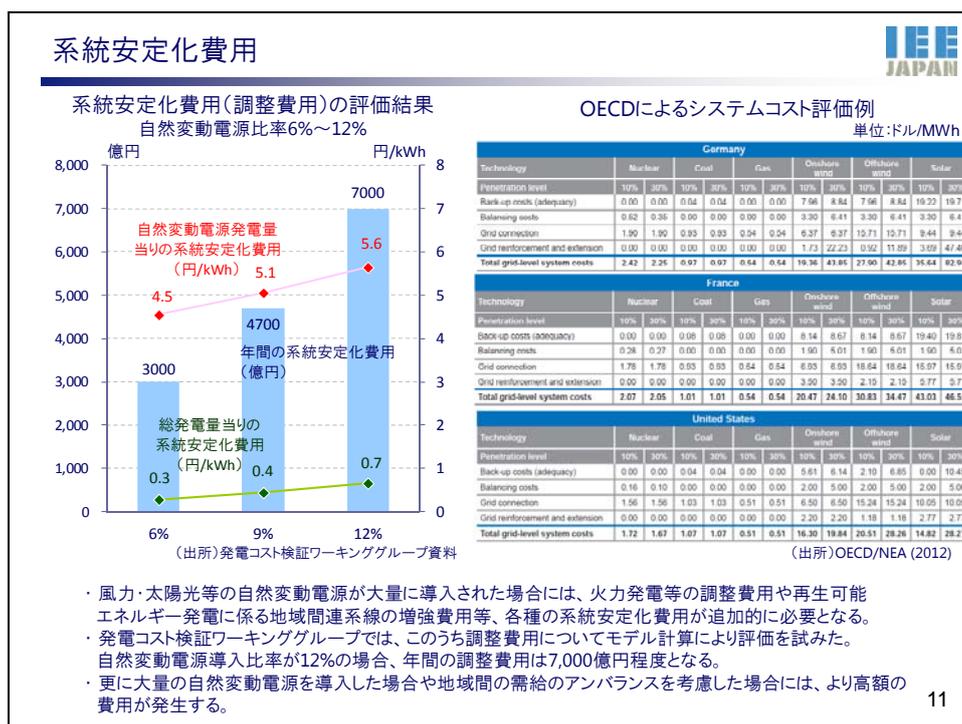
電力会社の目線を見て、トータルの費用とトータルの収益で考えているのです。しかも、現在価値に換算しているということです。

そういう意味では、廃棄物処分のはきは、こちら(収入)は40年分で、こちら(費用)は無限、ということになります。ただし、あくまでも現在価値に換算するというので、世代間の差みたいなものは一応ここで評価しているということになります。具体的に言うと、例えば1万年後に生まれた人にとって、どういう費用があつて、どういう便益があるか。40年間運転して、廃炉にしたとします。廃棄物処分をしたときに、例えば1,000億円お金を拠出して、その運用益だけでずっと管理するとなると、1万年後に生まれた人にとっては、便益も費用もないということです。ただし、あくまでも現在価値に換算するので、こここのところで評価するということです。

木村：他はどうですか？ ちょっと恥ずかしいのだけどとか、そういうのでも構いません。

基本的には皆さん素人なので、そういうところは無視して、元気よく発言してくださいね。

B：広義の発電コストの中の「系統対策コスト」というのは、例えば太陽光とか風力とか、不安定なものを補うためのコストという説明を伺ったのですが、例えば太陽光だったら昼はあって夜はゼロになると思うのですが、それを資金的な面で具体的にどう補っているのですか？



松尾：そこは難しいところです。今回、系統安定化費用の評価もしているのですが、どれくらい正確に評価できているかは分からないのです。

系統安定化の一番単純なやり方は、蓄電池です。電気が余ったときに蓄電池に蓄えて、足りないときに使うという方法ですが、蓄電池は結構コストが高いという問題があります。なので、蓄電池をある程度は使うけれども、なるべく使わないようにするにはどうするかということを考えるわけです。

ひとつは、地域関連システムの増強、つまり広い地域で連携して、こちらで余ったらそちらで使う、という形があります。それから、火力でバックアップしなければいけないとしたら、そのバックアップのためのコストはどのくらいかかるのか、という評価もしています。

しかし、これらの評価も状況によってまったく変わってくるのです。今回は2030年を想定して計算しているので、太陽光発電、風力発電がどのくらいあって、火力はどのくらいあって、系統対策費用がこのくらい必要ですね、ということを考えているのですが、その計算と、例えば2050年までに再生可能エネルギーで全て賄いましょうと決めた場合とでは、

まったく状況が違うわけです。火力がある中での系統対策費用と、全て再生可能エネルギーの中での系統対策費用は、まったく対策の質が違うのです。全て再生可能エネルギーでやるためには、発電した電気を全部水素にしたり、蓄電したりしなければなりません。一方、2030年時点の評価では、火力でバックアップをするためにどのくらい費用が必要になるか、ということを考えているので、ものによって違います。

まとめると、系統安定のための方法は、蓄電、火力でのバックアップ、系統増強などが考えられています。ただし、その評価は、非常に重要である割にはあまり進んでいなくて、今後も検討が必要だということになります。

海外でもやっているのですが、正確な評価はなかなかできていないのが現状です。

木村：他はいかがでしょうか？

A：事故がどのくらいの確率で起こるかという話があったと思うのですがけれども、日本は1回だけということですよ。日本で40年に1回起こったから確率が算出できる、というわけではないと思うのですがけれども、世界的に、原発というのはこのくらいの確率で事故を起こすものだ、という統一した議論はあるのですか？

松尾：それは当然国によって違います。そもそも、統一した見解が存在しないから、事故の発生確率の見積りに大きな開きが現れているのです。

よくなされているのは、確率論的リスク評価（PRA）というものです。原子力発電所の中にはいろいろな機器があります。それから、いろいろな事象、地震が起きたり、津波が起きたりします。地震が起きる確率を評価して、それから、ある機器がトラブルを起こす確率を評価します。地震が起きたからといって、必ず事故になるわけではなくて、地震が起きて、津波が来て、どういったことがあれば事故につながります、というイベントツリーを書いて、その上で確率を評価しましょうという試みが、昔からなされています。それはそれぞれ国に応じて、アメリカならアメリカで評価するし、日本なら日本で評価するし、日本だったら当然地震や津波のリスクが大きくなるので、そこも含めて評価しています。

ただし、確率論的リスク評価をすると、スライド36に示した確率よりもずっと低い頻度になるのです。理論上は1万炉年や10万炉年に1回しか事故が起きないとなっているところで、じゃあ10万炉年に1回と評価してしまっているのか、という話になるのです。ここは議論の分かれるところで、それでいいという人もいるし、それでは駄目だという人もいます。今後、我々が考えていかなければいけない問題だと思います。

ただ、個人的には、このような理論的な評価と、実際の事故の発生頻度と、両者をちゃんと踏まえた上で、ある程度現実的な値を評価していくという試みがフランスでなされているので、日本でもそういうものを参考にしながら考えていくべきだと思っています。

木村：他はいかがですか？

B：実際に廃炉になった原子力発電所があるという話だったのですけれども、日本でも廃炉がどうたらという話がテレビとかであったのですけれども、廃炉のときは、コストも大事な評価だと思うのですけれども、使用済み核燃料とかはどのような処理をしたのかなとすごく疑問に思ったのですけれども。

松尾：原子力発電所の廃棄物には、放射能のレベルが低いものと高いものがあり、別々に処分します。原子力発電所を運転すると、使用済み燃料が出てきます。使用済み燃料は高レベル放射性廃棄物として、発電所内に残しておくわけではなくて、どこかに持って行ってそこで保管するわけです。それで、最終的には一括して埋めましょうということになっています。

アメリカの場合は、ユッカマウンテンというところに埋めようとしていたのですが、オバマ政権になってそれを撤回して、またどこにどうしようということ議論しています。今日紹介した、廃炉にされた原子力発電所で発生した使用済み燃料もまだ埋められていないわけです。でも、それはどこかに置いてあって、今後埋めなくてはいけない、ということになります。

廃炉というのは、発電所のあった場所を更地にして、再び使えるようにすることです。そこまでが廃炉なので、ごみはごみとして別途残っています。そのコストは廃棄物処分のコストとして、別途かかっているのです。

B：なるほど。そうしたら、ごみのほうは、半減期とか、放射能としてしばらくは残っているわけじゃないですか。その維持とかはどうなっているのですか？

松尾：使用済み燃料はどこかに保管されています。ただ、暫定的に置いておきましょうというだけであれば、ドライキャスクというものに入れて、監視すればいいので、そんなにお金はかかりません。

ただ、これを10万年間、あるいは30万年間安全に埋めましょうとなると、いろいろなことを考えて埋めないといけないので、結構お金がかかります。それが先ほどの廃棄物処分の話です。

現時点では、使用済み燃料はどこかで保管しています。

木村：他はいかがですか？

A：スライド24のコスト関係のところですが、事故リスクコストは原子力発電を念頭に置いたものという話でした。原子力発電に反対する人とか、心配だと思っている人た

ちは、発電コストも重要ですけど、健康被害とかを気にされていると思います。福島第一原発の周りはまだ帰れなかったりするわけですよね。そこで経済活動が行えないとか、引っ越さなければいけないとか。一番問題なのは、健康被害が世代をまたぐ可能性があることです。子供に被ばくの被害が何か出てくるとか。そういったものは金銭換算しにくいと思うのですが、コストの中に含まれているのですか？

松尾：まず、エネルギーというものはコストだけを見るべきではないので、これはあくまでもコスト評価の中で見た事故リスクであって、それ以外にリスクというものをちゃんと考えるべきでしょう。仮に事故リスクコストが安かったからといって、事故リスクを考えなくていいということには絶対になりません。安全性の話は諸葛先生がなさると思うので、そのときに聞いてほしいとは思いますが、むしろそれはコスト評価以外のところで考えるべきである、というのが基本的な回答になります。

それから、福島事故の被害額を 9.1 兆円と評価していますが、これは政府が払っているお金と、政府が払おうとしているお金、それから東京電力が払っているお金と、払おうとしているお金が含まれています。その中に何がどのくらい積み重なっているかということですが、今後 100 年間で子供がどうなるということは、たぶんそんなに入っていないと思います。何が起こるかが明確に分かれれば額として入れられますけれども、起きるのか起きないのかも分からないものはやはり入れられないので、入っていないだろうと思います。そこをどう考えるかは議論がありうる場所ですけれども、明確に分からないものは入れようがないですよね。だからそこはコストというよりはコスト以外の、安全という側面で考えるべきものだと思います。

木村：他はどうですか？

C：モデルプラントのコストの中に「資本費」とありますけれども、1つの発電所を作ったら何年くらいもつという想定でやっているということですか？

松尾：そうです。原子力であれば 40 年使うという想定です。その想定によって資本費は変わってきます。長く使えばもっと安くなります。

木村：他はどうですか？

前回議論した「3E+S」の観点とか、コストとの兼ね合いで聞いておきたいことがあれば、そういうことも聞いてくださいね。

D：政策経費の中に「立地」という項目が入っていますが、すぐ想像つくのは、水力発電所を作るときに町をどかさなければいけないとか、住民たちにある程度費用を出さなければ

いけないと思うのですけれども、それはどの程度まで出すのですか？

松尾：今回の評価では、それは入っていないかもしれません。発電コストを評価するときには、原子力ばかりに興味が行ってしまうのが実態なのです。全部見て評価しているのだけれども、反対派も賛成派も議論したいのは原子力なので、原子力はものすごく細かくやるのだけど、水力についてはそこまで全ての費用項目を積んでいません。

IEE JAPAN

政策費用：今回試算

・エネルギー関連の政府支出(平成26年度予算)を右表のように整理し、①及び②のみを計上、単年の発電量で除することにより政策費用単価(FIT分以外)を評価。

・分母の発電量として、再生可能エネルギー発電は導入量が未だ小さいため、平成27年1月末までの設備認定量等を用いて評価。

・「核融合」、「宇宙太陽光」等は③に含まれるものとし、計上せず。一方で高速増殖炉の研究開発費用は②に含まれるとし、計上。

	①	②	③	④
立地	立地交付金	—	—	—
防災	全て	—	—	—
広域 (離島地域)	全て	—	—	—
広域 (全国)	—	特定電源の広域	エネルギー全般の広域	—
人材育成	安全・規制	人材育成一般	—	他国の発電に資するもの
評価・調査	安全・規制 放射性廃棄物の処分 保護措置	評価・調査一般	—	—
国際機関 拠出金	国内の安全規制の策定 等に資するもの	安全性向上等を国際的に議 論するもの	—	エネルギーについて 議論するためのもの
発電 技術開発	安全性向上等に 資するもの	高効率化・低コスト化に 資するもの	—	—
将来発電 技術開発	—	原子力に関する費用のうち、 核燃料サイクルや安全に関 する費用	その他、現在の発電形式と 連続性が低い研究開発	—
導入支援	—	—	—	全て
資源開発	—	—	—	全て
調査	—	—	—	全て
CCS	—	—	—	全て
IRR (「固定価格買取制度」の買 取価格の優遇された利用)	全て	—	—	—

・再生可能エネルギーについては別途、「FIT制度による上積み分」を計上。特にIRRの高い地熱発電について大きなコストとなっている。

・OECD試算に準じ、CO₂対策費用は政策経費とは別のものとして評価。

25

松尾：今回の試算では、平成26年度予算を整理して、例えば立地とか研究開発にお金を積んでいますということの評価をしています。水力発電所のダムを作るために立ち退きしてもらったというのは、ずっと昔のことなので、このときの予算には入っていません。

ただし、今後、住民に退去してもらって新たにダムを作るということは、たぶん日本ではあまりないと思われます。なので、皆それをあまり真面目に考えていないところがあるので、ダムを作るとしたら、過去の費用を調べて、予算に積まなければいけないと思います。でも、今回の評価ではそれはできていないと思います。

D：今回、原子力事故で退去を強制された人たちにお金を払わなければいけないと思うのですけれども、ダム建設による立ち退きは、そういうときの参考にはしないのですか？

松尾：事故の補償は試算の中に入っています。政府や電力会社がどのくらいお金を払って、こういうことをやろうとしていますというのはこの中に入っているの、それは評

価しています。

水力のダムというのはまた別のものなので、費用が違って来るわけです。しかも、昔のデータはあるけれども、昔の人と今の人では、同じ退去してもらうにしても違うので、昔のデータがどれくらい参考になるかも分かりません。当然、海外のデータはもっと参考にならないわけですね。

ということで、水力について評価するのは難しいかなとは思いますが、原子力については今あるデータで評価しているということです。

D: 福島の補償の金額というのは、どのくらいの生活レベルを想定しているのですか？ どのくらい支援すれば十分という評価なのですか？

松尾: 政府がすでにいろいろな援助をしていますよね。それが十分なのかどうかは、実際に見ていないから私には分かりませんが、政府が積んでいる予算はこのくらいです、今後やろうとしていることはこれくらいです、それがもし足りなくてもっと必要ですという話であれば、もう少しお金がかかるかもしれません。

スライド9の表をよく見ると、例えば原子力の発電コストは「10.1円/kWh～」となっています。この「～」の意味は、福島事故の被害額を今回は9.1兆円と想定していますけれども、もしかしたらもっとお金がかかるかもしれない。そういう場合にはもう少し発電コストが高くなりますよ、という意味です。

事故リスク対応費用：2011年試算における試算方法



「コスト等検証委員会」による事故リスクコストの計算方法は以下の通り。

前提①：福島第一原子力発電所事故の事故被害額を5.8兆円「以上」と想定。

前提②：2010年度の原子力発電電力量2,722億kWh

前提③：「40年の相互扶助」を想定。

⇒ 事故リスク費用として、以下の通り試算。

$$5.8兆円 \div 40年 \div 2,722億kWh \\ = 0.5円/kWh「以上」$$

(i) 損害期待値を算出する方法
モデルプラントについて、単位発電量当たりの事故による損害期待値を試算

$$\frac{\text{損害費用 (円)} \times \text{事故発生頻度 (1年あたりの事故発生確率)}}{\text{発電電力量 (kWh)}} = \text{損害期待値}$$

(ii) 相互扶助の考え方に基づく方法
事業者間での相互扶助の考え方に基づき、損害額を事業者同士で一定期間で支払う場合のコストを算出

$$\frac{\text{損害費用 (円)} \div \text{支払期間 (年)}}{\text{事業者の年間発電電力量}}$$

(出所)コスト等検証委員会

※ 40年に一度の確率で福島相当の事故が発生するとして、被害金額の期待値を計算したことに相当。

※ 仮に事故被害額が1兆円上昇すると、0.09円/kWhの発電コスト上昇となる。即ち、被害額10兆円(事故リスクコスト0.9円/kWh)程度では原子力発電のコスト競争力は大きくは失われない反面、50兆円(同4.5円/kWh)規模になると火力発電に比べてコストが高くなる、という結果に。

33

松尾：2011年の評価のときには、被害額を5.8兆円と想定しましたが、5.8兆円が1兆円上がるとすると、0.09円コストが上がります、みたいなことも評価しています。その辺は幅を持って見てくださいということになっています。下限付きで示しているということです。もう少し高い可能性もあるということです。

木村：他はどうですか？

E：このような評価は、アジアなどの新興国では行われているのですか？

松尾：新興国でも行われています。ですが、やはり日本、ヨーロッパ、アメリカなど先進国で進んでいます。

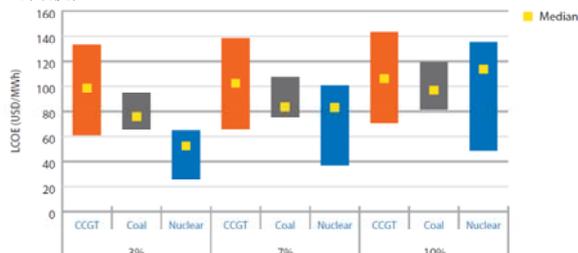
例えばインドだと、インド政府のウェブサイトにもこういった評価も最近は出ています。

ただし、コストが安いのです。先ほどのOECDの評価は、OECDの国を対象として評価しているのですが、中国のデータも参考に扱っています。中国で原子力発電所を建てると、日本の何分の1とかすごく安いのですが、それが正しいのかどうかは我々には分かりません。

海外の試算例: OECD/NEA, IEA

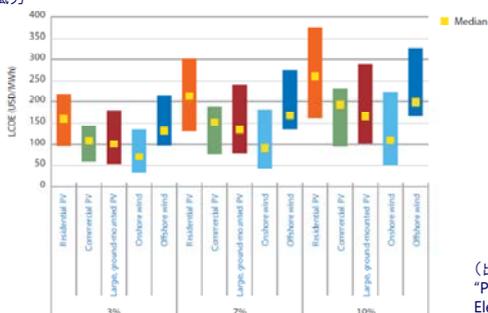


原子力、石炭、ガス



・ OECD/NEA及びIEAによる評価では、割引率3%、7%及び10%で試算を実施。3%の条件下では原子力は石炭火力・天然ガス火力に比べて安価であるが、10%ではその何れよりも高価になる。

太陽光、風力



・ 太陽光・風力は(世界的には)コスト低下が進んでおり、特に陸上風力は他電源と比較しても安価。

(出所) OECD/NEA, IEA, "Projected Costs of Generating Electricity 2015 Edition" (2015)

19

松尾：この図は、いろいろな国の発電コストの幅と、その中央値を取っていますが、これくらい幅があるわけです。この原子力の幅の下限值は中国です。こんなに違うのか、というくらい安いわけです。

ですから、答えとしては、新興国でも評価はされています。されているけど、どのくらい正しいかということは今後見ていく必要があるということです。

木村：他はどうですか？ とりあえず大丈夫でしょうか。