

# 各発電システムの外部費用：原子力発電システム

## External Costs of Electric Power Generation Systems : Nuclear Fuel Cycle in ExternE

勝 木 知 里\*

Chisato Katsuki

### はじめに

ここでは、ExternEにおける原子力発電（Nuclear Fuel Cycle）の外部費用評価結果について解説する。ExternE PhaseⅢではEU参加国が各発電システムについて、自国での外部費用評価を行っているが、原子力発電の外部費用評価を行った国は、15カ国中ベルギー、ドイツ、フランス、オランダ、イギリスの5カ国である。フランスについては、PhaseⅡで方法論の提示のために評価を行っているため、特にPhaseⅢで再評価は行っていない。

### 1. 原子力発電外部費用評価の概要

ExternEでは、ウランの採掘・精錬、転換、濃縮、燃料製造、発電、再処理、廃棄物処理、輸送、建設・解体の9段階における外部費用を評価している。しかし、全ての国が一律に同じ段階の処理を自国内で行っているわけではない。特に、採掘・精錬や再処理等は自国内で行っていないケースの方が多く、技術情報としては燃料の産出地（輸入先）として示されているが、費用としては算入されない。再処理段階は、ワンスルー方式の国の場合は評価項目として考慮しない。また、主なCO<sub>2</sub>の排出原因となる建設・解体についても、国によって評価に含めるか否かはまちまちである。

評価を行うに当たっては、各国は想定したサイトの特性を明らかにしておかなければならない。これは、サイト毎に立地点の特性（風向き、周辺住民人口密度）や、炉型（排出される放射線核種の量の違い）等の、最終的には評価結果を左右するような要因が異なっていることを示すためである。原子力発電の場合は化石燃料利用の発電ほど利用技術による影響の差は大きくないが、ExternEではPWRよりはBWRやGCRの負

荷係数を多くしている。排出物が多ければ、算出される影響は当然大きくなるが、排出物の多寡の他に、排出により影響を受ける人口の粗密も外部費用を左右する要因の一つである。また、ウランの採掘段階では、特に露天掘りで空気中への放射性核種の拡散と、テーリングプールでの水中、または土壌中への拡散が起こりやすいため、ウランの採掘方法（坑内掘り、露天掘り、溶解浸出法）やテーリングプールの有無も技術情報として必要である。再処理技術については、ExternEで評価済みのフランスのUP3以外で再処理を行う場合の損害について、英国のTHORPで行う場合は炭素削減装置を考慮し低い係数を、それ以外のプラントについては高い係数を設定しているため、再処理プラントを定義することも必要である。

### 2. 原子力発電における重要評価項目

ExternEでは、それぞれの発電システムの各段階で発生する、外部費用に大きく影響すると思われる重要評価項目（Priority Impact）を定義している。これは、ExternEプロジェクトが行われた時点での様々な研究結果をベースにしているため、研究が進めば内容が変わる可能性もある。原子力発電においては、一般公衆への放射線による健康影響（通常運転時の微量な放出と、偶発事故時の放出を含む）が重要評価項目とされ、放射性核種以外に排出される化学物質の影響については、無視できるとしている。また、放射性および非放射性物質による職業人の健康についても、優先度が低いとしている。

### 3. 放射性物質の影響経路と外部費用算出法

ExternEで考慮された放射性物質の影響経路は、図1の通りである。環境に放出される放射性物質は、固体（主に廃棄物）、液体、気体として排出され、それぞれ図のように拡散する。環境中に放出された核種は、雲や土壌に堆積された場合は人体への外部被曝を、

\* 助政策科学研究所 主任研究員

〒100-0014 東京都千代田区永田町2-4-8

東芝EMI 永田町ビル5F

空気中に拡散した核種は吸入により内部被曝を起こす。また、水中に放出された核種は川なら灌漑などで農産物へ、海なら魚介、海産物へ取り込まれる。それらを食物として人間が経口摂取し、内部被曝を起こす。経路が異なっても最終的には、人体の外部被曝か、内部被曝という形で放射性物質の影響が考えられる。同じ核種でも外部被曝と内部被曝では曝露係数が異なるので、核種は拡散経路別に異なった係数を用いて被曝量(mSv)が算出され、合計される。

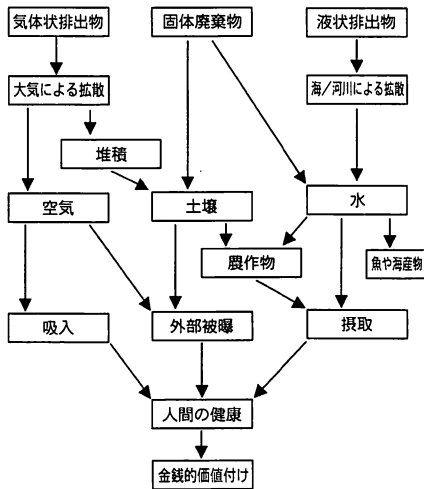


図1 放射性排出物の環境における影響経路

合計された被曝線量mSvから、ICRP（国際放射線防護委員会）のデータを用い、非致死性ガンの発生率と、致死性ガンの発生率を計算し、それをもとに、損失余命と統計的生命価値を用いて貨幣価値に換算される。

4. 原子力発電の評価結果

各国の評価結果は表1の通りである。表1が「発電」と「発電以外」の段階に分かれているのは、発電段階が圧倒的に発電以外の段階（としてくられてしまった8段階）のどれよりも外部影響が大きいためである。

ベルギーでは自国で再処理の研究を行っており、一部MOX燃料を利用しているため、再処理を行わない場合（オープン）と行う場合（クローズ）に分けて評価しているが、健康影響は同じ結果となっている。

ドイツでは、架空の発電所を設定し、評価を行っており、「発電以外の段階」の健康影響と地球温暖化で高い結果が出ている。フランスは、発電段階での健康影響と、小計の部分にしか評価結果が出ていないが、これはフランスがPhase IIで評価を行った際に、Phase IIIで評価を行った国々と同じフォーマットではデータを公開していないためである。オランダは、発電以外の段階での外部費用が高く出ている。これは実際オランダ国内ではウラン濃縮、発電、廃棄物処理の3段階のみが行われているが、それ以外の段階もフランスまたはUNSCEARのデータを算入し、全段階での費用を出しているためと思われる。イギリスの結果はフランスに次いで損害費用が低く出ているが、これは評価された発電所がイギリスでは唯一で、評価対象としては最新運開のPWRによるところが大きい。また、地球温暖化影響が多少高めにしたのは、発電所と再処理工場の建設段階でのCO<sub>2</sub>排出を考慮したためである。

原子力発電が他の発電システムに比べて、環境負荷が少ない結果となっているのは、定義されている重要評価項目が「一般公衆の健康影響」にしばられていることによる。特に化石燃料と比較するとわかりやすいが、化石燃料における損害の主なものは大気汚染物質による影響である。大気汚染物質により一般公衆・職業人の健康影響はもとより、酸性雨による自然環境への被害（農作物、土壌、魚介類）や、人工建造物（建築物、彫塑等）への影響など、影響を受ける部分のすそ野が広い。原子力発電において、発電段階で通常運転時に放出される放射性物質は微量で、自然環境中に排出されることで農作物、魚介類へ蓄積されるにしても、その段階で農作物や、魚介類そのものが直接影響

表1 原子力発電システムの外部性評価結果の概要 (mECU/kWh)

国名	サイト, 出力	技術	燃料原産地	発電			発電以外の段階			小計
				健康影響	事故	その他	健康影響	地球温暖化	その他	
ベルギー	Doel	PWR (オープン)	EU外	0.4	0.001-0.35	-	3.5	0.02-0.7	0.12	4.0-4.7
ベルギー	Doel	PWR (クローズ)	EU外	0.4	0.001-0.35	-	3.5	0.02-0.6	0.1	3.9-4.6
ドイツ	ドイツ南西部, 1375MW	PWR	カナダ	0.18	0.003	-	4.2	0.1-2.7	-	4.4-7.0
フランス	1300MW	PWR	フランス	-	-	-	-	-	-	2.5
オランダ	Borssele, 449MW	PWR	フランス	0.11	-	-	7.2	-	-	7.3
イギリス	Sizewell, 1,300MW	PWR	EU外	0.08	0.0029	-	2.1	0.04-1.6	-	2.2-3.8

出展: Extern Homepage <http://extern.jrc.es/infos/All-Eu+Nuclear.htm> (英国データはNational Implementationより)

を受けるほどの放射線量にはならない。そのため、最終的にそれらを摂取する人体への影響がクローズアップされている。

## 5. 留意された点、課題があるが保留されている点

原子力発電の外部性を計算するに当たっては、人間の健康に影響を与える放射性核種の半減期の長さが考慮された。排出される全ての放射性核種の半減期が長いわけではないが、半減期の長い核種が排出された場合、時間経過に伴い、拡散範囲が広がり被曝する延べ人数がふえるため、放射線影響は増大してゆくと考えられる。このために、評価においては、長期スケール(100年～10,000年)で影響を見ており、以下の何点かを前提としている。

- ・将来のライフスタイルを現在と変わらないと仮定
- ・低線量での放射線曝露は、線形とする
- ・人体への放射線の線量応答関数は現在のものを使用
- ・致死性のガンは現在と同じに想定

重大であると認識されているが、影響の値として算入できないために除外されたものとしては、事故、高レベル廃棄物の影響、核拡散問題、テロリズムの4点である。どの要素を取っても、発生確率は低いが、ひとたび起これば影響が大きく、結果の数値に大きな変化があることは容易に予測できるが、現状ではこれらの影響がどの程度になるか、信頼に値するデータが存在していないこと、方法論が確立されていないことなどからExternEとしては保留にされている。しかし、重大事故の影響については、フランス(10万年、割引率0%)、ドイツ(1万年、割引率0%)など、試算を行っている国もある。

## 6. 今後の課題

長期の影響を見るために、タイムスパンを100年から10,000年に設定していくつかの条件を現状のものに変化無しと仮定しているが、100年でもライフスタイルはかなり変化するであろうし、致死性ガンも医療技術が進めば致死性でなくなる可能性はある。低線量被曝についての線形応答関数の利用については、近年見直しや新たな見解がでてきており、人体への放射線影響の線量応答関数は、データの更新により幾度も見直しがかけられている。大前提として固定されている条件は、原子力発電の外部性を考える時のモデルの不確実性を高めているが、現状ではどの問題も予測不可能

である。これら不確実性の問題をどう解決してゆくかは一つの課題である。

また、重大事故の扱いも大きな課題の一つである。放射性核種が外部環境に放出されるような重大事故がひとたび起きれば、損害費用は大きくなるが、事故の発生確率は他の一般産業における工場の事故に比べ、かなり低い。

低線量被曝の健康影響については、しきい値が存在しないというスタンスから、直線仮説(被曝量が増えるに従って影響は直線的に増えてゆくと仮定。低線量被曝影響については高線量被曝のデータを外挿し算出。)を当てはめているが、この仮説の妥当性が近年問われている。従来、通常運転時の放射性核種の排出については、基準値以下ということで取り扱われてこなかった。しかし、ExternEにおいては、考慮できる限り全ての排出を扱うというスタンスから、通常運転時の微量な排出を取り扱っている。この点では、試みは評価に値するが、現状では低線量被曝の健康影響が実際にどのくらいあるのか判断はつけられない。こうした背景から、ExternEで算出された費用については議論の余地がある。また、同じスタンスにたつなら、微量のため無視しようとして考慮されていない化学物質についても、健康影響がある可能性も無視できないであろう。

原子力発電の外部費用算出結果については、方法論は共通しているものの、自国内のデータが不備の場合はPhase IIで行われたフランスのデータを利用できること、国によってはサイト条件を実在のものではなく仮定して評価を行っていること、影響を見るタイムスパンの設定が国によって異なること、など評価結果が必ずしも現実に即したものではないことを留意しておく必要がある。

## 参考文献

- 1) ExternE Homepage <http://externe.jrc.es/infos/All-Eu+Nuclear.htm>
- 2) Power Generation and the Environment-a UK Perspective Volume 1, June 1998
- 3) ExternE National Implementation Germany Final Report, November 1997
- 4) External Costs of Energy : Application of the External Methodology in France, Final Report for Contract JOS 3-CT95-0010, January 1998
- 5) CEPN, ExternE Externalities of Energy Vol. 5 Nuclear, (1995), 337, European Commission