

# 各発電システムの外部費用：化石燃料

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

林 部 尚\*

Hisashi Hayashibe

## はじめに

ここでは、ExternEフェーズⅢ（1996～1997年）における欧州諸国の化石燃料サイクルの外部費用評価について、その成果と課題を概観する。

ここで燃料サイクルとは、燃料の採掘、処理、燃料や他の原料の輸送、貯蔵、プラントの建設と運用、廃棄物の処理、そして廃炉までの全ての段階を指し、燃料サイクルの各段階で発生する影響要因に基づいて外部費用を計算している。

ExternEの代表的な手法である影響経路（Impact Pathway）手法は、燃料サイクル各段階における①影響要因の優先順位付け、②影響経路（大気/水/土壌経由）の確定、③負荷（発生量）の定量化、を基に、拡散モデルや線量－応答関数等を用いて各負荷の及ぼす④影響の定量化、を行い、最後に統計的生命の価値やWTP、WTAなどの手法から⑤経済価値付けをするという手順で評価するもので、現実のプラント立地点や特定の発電技術データを計算に用いている。

ExternEでは、化石燃料サイクルとして石炭、褐

表1 化石燃料サイクルの重要評価項目

- |   |
|---|
| <ul style="list-style-type: none"> <li>①大気汚染による人間の健康に対する影響</li> <li>②事故が労働者、および公衆に及ぼす影響</li> <li>③大気汚染が建築素材に及ぼす影響</li> <li>④大気汚染が農作物に及ぼす影響</li> <li>⑤大気汚染が森林に及ぼす影響</li> <li>⑥大気汚染が淡水漁業に及ぼす影響</li> <li>⑦大気汚染が管理できない生態系に及ぼす影響</li> <li>⑧温暖化の影響</li> <li>⑨騒音の影響</li> </ul> <p>上述の影響に加え以下の燃料依存による影響がある。</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>⑩石炭、褐炭の採掘による地面および地表の水に対する影響</li> <li>⑪石炭採掘による建物、建築工事に対する影響</li> <li>⑫褐炭採掘時における立ち退き/再定住（resettlement）</li> <li>⑬石油流出事故が海洋生物に与える影響</li> <li>⑭石油、天然ガス井戸の探査、開発、抽出による定期的な汚染物質排出による影響</li> </ul> |
|---|

\* 助政策科学研究所 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

炭、石油、オリマルジョン、天然ガスの各燃料について評価を行った。ここでは紙幅の都合もあり、主要なものとして石炭、天然ガスについて取り上げる。

## 1. 化石燃料サイクルにおける影響要因

化石燃料サイクルにおける影響要因のうち、ExternEにおいて重要評価項目（priority impact）とされた要因は次の通りである（表1）。

このうち、後述するように大気汚染物質による健康影響が外部費用に大きく影響することになる。

## 2. 石炭燃料サイクルの外部費用

### 2.1 各国石炭燃料サイクルの概要

各国で実施された評価において、産炭地や燃焼技術において違いがある。産炭地についての大きな違いは、いくつかのケースにおいて石炭がEU以外の国から輸入されていることである。そこでは、石炭の採掘と輸送による影響はEU内では生じない。

燃焼方法のほとんどは最新技術であり、脱硫装置（FGD）や電気集塵機（ESP）あるいは低NO<sub>x</sub>バーナーといった環境対策装置を備えている。しかし、アイルランドとベルギーの一方のケースにおいては、環境対策装置を使用していないため、結果に影響している。

スウェーデンの評価はコジェネを採用しているため、熱と電気とで損害を配分している。

### 2.2 石炭燃料サイクルの負荷と影響

石炭燃料サイクルの主要な負荷は、発電時における大気汚染物質の排出である。これは、石炭燃焼に伴う大気汚染物質の健康影響が大きいためであり、また重要評価項目のうち、主に大気汚染物質による健康影響の既存データが充実していたことによるとも言える。加えて、石炭採掘時の職業人の事故も重要な負荷とされている。ベルギーでは、沿岸地域の受容者のみへの影響だが、石炭の船舶輸送時における汚染物質の排出も評価している。

大気汚染物質の排出は、石炭の組成と燃焼方法及び公害防止設備に依存する。石炭は硫黄を含むことから、多くの場合脱硫・脱硝装置が備え付けられ、排出量は低く抑えられている。しかし、アイルランドとベルギーの一方のケースにおいてこれらの装置は無く、排出レベルは高くなっている。ドイツ、イギリス、スペイン以外の多くの国では、品質の良い石炭が輸入されている。フィンランドとスウェーデンで使用されるポーランド産の石炭は品質が悪く、大きな環境負荷と職業上の健康負荷を生じる。しかし、後述するように受容者となる人口密度が低いことから外部費用としては低い評価となった。

石炭採掘時の職業上の事故では、一般的に露天掘りは坑内掘りと比較して事故率は低い。また、優れた採掘技術を有する先進国は、途上国と比較して事故率は低い。

2.3 石炭燃料サイクルの結果

以上の負荷と影響をもとに価値付けまで評価を行った主要な結果は表2のとおりである。

結果は採用技術とサイトの選定により大きく変わる。クリーン・テクノロジーの採用、プラントの好立地、人口の少ない国々では、人の健康損害が非常に低くなる。クリーン・テクノロジーの効果は、ベルギーの2つのケースの評価により明らかに示された。

地球温暖化問題による損害は、これら要因と完全に一致するわけではないが、結果は非常に似ている。地球温暖化影響による損害は大きな不確実性を伴っており、異なる割引率を用いて感度分析が行われた。そのため、結果は広いスパンを示している。職業上の健康影響については、スペイン、ポルトガルを除き輸送時

の事故率が高いことは共通している。ポーランド産の石炭はその他の評価と比較した場合その影響は小さいが、スウェーデンとフィンランドにおいては、相対的に高い損害を生んでいる。

スウェーデンとフィンランドの結果はとても低い。これは汚染物質の排出率が非常に低いことに加え、受容者の密度が低いことによるためと思われる。

3. ガス燃料サイクルの外部費用

3.1 各国ガス燃料サイクルの概要

各国のガス燃料サイクルの主な違いは、使用されるガスの原産地による。ガスの産地は、アルジェリア、ノルウェー、イタリア、またはロシアである。燃焼技術に関しては、ほとんどの国がガスタービン・コンバインド・サイクル(CCGT)を採用している。これらは高効率性と低汚染物質排出性の観点から、最近最も注目されている発電技術である。

あるチームはコジェネレーション発電所を評価したが、コジェネレーション発電所は、エネルギー効率が高いため、発電のみの発電所に比べ影響が随分小さくなった。

3.2 ガス燃料サイクルの負荷と影響

ガス燃料サイクルの負荷は、採掘や輸送段階でいくらかあるものの、大部分が発電時に大気中に汚染物質が放出されることによるものである。

上流の段階については、ロシアのパイプラインが最新のものではないと思われることから、オーストリアにおける輸送段階の影響は重要である。一方、アルジェリアからのパイプラインは最新の技術で造られていることから、スペインとポルトガルにおける影響はとて

表2 石炭燃料サイクルの外部費用の概要 (mECU/kWh)

国	立地点/出力	技術	石炭燃料	発電段階			発電以外の段階			小計
				人の健康	地球温暖化	その他	観衆人の健康	地球温暖化	その他	
ベルギー	Genk, 274 MW	SCR, DeSO <sub>x</sub>	輸入	17.7	4-128	0.6	0.4	0.3-11	0.3	23-157
	Genk, 274 MW	No emission control	輸入	101.2	3-127	3.8	0.4	0.3-11	0.2	109-240
ドイツ	Lauffen, 600 MW	ESP, FGD, DeNO <sub>x</sub> , De-dust	ドイツ, 坑内掘り	11.9	3-111	0.15	0.19	0.4-14	1.3	17-138
スペイン	Valdecaballeros, 1050 MW	ESP, FGD, low NO <sub>x</sub>	スペイン, 露天掘り	25.3	4-141	0.88	2.41	0.04-1.5	0.7	33-172
フィンランド	Meri-Pori, 560 MW	PF, ESP, FGD, NOx, SCR	ポーランド, 坑内掘り	2.5	3-108	0.23	1.2	0.3-12	0.5	8-124
フランス	Cordemais, 600 MW	PF, FGD	フランス, USA	48.4	4.1-151	0.84	-	-	-	53-200
アイルランド	Moneypoint 580 MW	low NO <sub>x</sub>	輸入, USA-Col	35	3-128	2.1	1	0.4-3	3	45-172
オランダ	Amsterdam, 600 MW	PF, ESP, FGD, low NO <sub>x</sub>	輸入	8.1	3-126	0.6	2	0.3-11	0.1	12-175
ポルトガル	Pego, 1200 MW	PF, ESP, FGD	輸入	19.1	3-107	0.8	6.9	0.4-13	0.3	26-161
スウェーデン	Västarås, 520 MW CHP	PF, ESP, SCR, FGD	ポーランド, 坑内掘り	0.7	3-102	0.01	0.4	0.5-17	1.4	6-121
イギリス	West Burton, 1800 MW	PF, ESP, FGD, low NO <sub>x</sub>	イギリス, 坑内掘り	23.4	3-118	1.6	0.9	0.2-7	0.02	29-151

出所: ExterneE Home Page (<http://externe.jrc.es/infos/All-EU+Coal.htm>) より

表3 ガス燃料サイクルの外部費用の概要 (mECU/kWh)

国	立地点/出力	技術	ガス燃料 原産国	発電段階			発電以外の段階		小計
				人の健康	地球温暖化	その他	地球温暖化	その他	
オーストリア	Linz, 116 MW, CHP	CCGT, low NOx, SCR	ロシア	1.6	1.5-56	0.05	0.4-15	0.06	4-73
ベルギー	Drogenbos, 480 MW	CCGT	ノルウェー	3	1.5-54	0.12	0.1-3.1	0.07	5-60
ドイツ	Lauffen, 780 MW	CCGT	デンマーク, ノルウェー	2.8	1.3-49	0.03	0.2-7	1.6	6-60
デンマーク	Hillørd, 77 MW CHP	CCGT, low NOx	北海	3.4	1.8-64	0.16	0.3-11	1.2	7-60
スペイン	Valdecaballeros, 624 MW	CCGT, low NOx	アルジェリア	3.4	1.5-56	0.14	0.02-0.9	1.7e-2	5-60
フランス	Cordemais, 250 MW	CCGT	ロシア, アルジェリア	11.3	1.5-56	0.27	0.1-4.5		13-71
ギリシャ	Lavrio, 550 MW	CCGT	ロシア, アルジェリア	2.5	0.8-28	0.85	4e-3-0.16	0.06	4.1-31
イタリア	Trino Vercellese, 640 MW	CCGT, low NOx	アドリア海	6.5	1.7-60	0.16	0.12-1.5	0.13	9-69
オランダ	Eernshaven, 1700 MW	CCGT, low NOx	ノルウェー	2.2	1.5-57	0.12	0.02-0.9	0.1	3-69
ノルウェー	Tjeldbergodden, 652 MW	CCGT, low NOx	ノルウェー	0.3	1.5-57	0.03	ng	0.01	2-58
ポルトガル	Tapada do Outeiro, 918 MW	CCGT	アルジェリア	0.25	1.6-60	0.01	0.03-1.1	0.08	2-62
イギリス	West Burton, 652 MW	CCGT	北海	3.3	1.5-55	0.2	0.04-1.6	0.1	5.2-60

出所: ExternE Home Page (<http://externe.jrc.es/infos/All-EU+Gas.htm>) より

も小さい。

排出される汚染物質は、NO<sub>x</sub>、CO、CH<sub>4</sub>およびCO<sub>2</sub>である。天然ガスの中にごく微量の硫黄が含まれているが、SO<sub>2</sub>排出による影響は無視できる。

液体排出物や、固形廃棄物の影響が定量化されていないが、これらの影響はそれ以外に比べて重要ではないとされている。探査、掘削、ガス生産において重要な可能性を持つのは、海の環境に対する影響である。他に重要と思われるパイプラインの事故リスクの影響については、CEEETAにより開発された方法論によって評価された。

### 3.3 ガス燃料サイクルの結果

各国の評価結果はとても似たものとなった。これは、最近のガス発電所の低い排出濃度のため、全てのケースで結果がとても小さくなったためである。最大の値は、イタリアとフランスで示されるが、これは影響を受けるエリアの人口密度が高いためである。

ほとんどの外部費用は発電段階で起きている（しかし、石炭燃料にくらべ大気汚染物質の排出量が小さいことから、健康影響の外部費用もオーダーが異なるほど低い）。上流段階の影響は、発電段階に比べれば無視できるものであるが、オーストリアのケースのようにロシアのパイプライン操業による温暖化ガス排出とエネルギー消費が有意な損害を発生させる場合もある。デンマークにおいても上流段階での損害は重要である。この両国において研究対象となったのはCHPプラントで、結果に影響を及ぼすものだからである。

## 4. 今後の課題

以上、欧州の化石燃料サイクルにおける外部費用評価結果を概観したが、各国の詳細なレポート (Na-

tional Implementation) より次のような課題を見いだすことができる。

- 重要評価項目 (priority impact) に挙げられているながらデータが未整備なため外部費用評価に至っていないもの (国によって異なるが、石炭採掘・輸送時の事故による健康影響や大気汚染物質による農作物への影響など) については、その整備・充実が望まれる。

- 生態系影響など、その影響まで定量化が試みられたが外部費用の算出に至っていないものについては、適切な価値付け手法の開発が期待される。

- 地球温暖化など、重要だが不確実性の大きな損害要因については、今後さらに様々なシナリオ分析や感度分析を展開し、その不確実性の範囲の明確化や科学的知識の充実に努めていくことが望まれる。

以上、ExternEにおける外部費用の解析・評価手法やそのためのデータベースの整備にはまだまだ課題が残されているが、リスクの正しい認識のためにも定量的な評価は欠かせないものであり、今後の方法論やデータの整備が望まれる。

## 参考文献

- ExternE Home Page  
<http://externe.jrc.es/infos/All-EU+Coal.htm>  
<http://externe.jrc.es/infos/All-EU+Gas.htm>
- Power Generation and the Environment-a UK Perspective Volume 1, June 1998  
<http://exterx.jrc.es/cgi-bin/LogControl/usactions.cgi>
- ExternE National Implementation Germany Final Report, November 1997  
<http://exterx.jrc.es/cgi-bin/LogControl/usactions.cgi>

いずれもregistrationが必要