

((( ( 技術・行政情報 ) )))

各国における発電システムのライフサイクル分析

1. はじめに

地球が抱える問題群は、複雑にからまっており、あちらを立てれば、こちらが立たずといったジレンマ状態にある。ライフサイクルアセスメント (LCA : Life Cycle Assessment) とは、現代の複雑な技術社会が生みだした諸問題を取り扱うシステム分析法の一つである。それは、製品や技術について“ゆりかごから墓場まで”のライフサイクルにおける諸問題、特に環境問題を中心に社会に与えている影響を総合的に分析する方法である。

LCAの活動は、1970年初期に米国で始まった。最初は増え続けるゴミの減量対策の一環としてコココーラ社が飲料容器を対象にその環境負荷を製造から廃棄のプロセスについて調査したのが始まりである。その後、社会の環境保護運動が高まると、その対象範囲は、家電製品や自動車など様々な大衆消費財に広がっていった。発電システムなど社会インフラ施設に関するLCA研究は、1973年に英国のチャップマンによる原子力発電のエネルギー収支分析が初めてである。環境負荷の研究は、基本的にはエネルギー収支と同じ手法で、温室効果ガスであるCO<sub>2</sub>などについて試されている。最近では、その対象も発電に限らずガス供給システム、水道、建築物、土木構造物など他の社会インフラストラクチャーについても広く研究されるようになった。

本稿は、ライフサイクルアセスメントの一例として

発電システムについてCO<sub>2</sub>排出量をライフサイクルから分析した各国の結果を紹介したものである。

2. 発電システムのライフサイクル分析

2.1 基本構成

LCA手法は、次の3つのプロセスが基本になる。

- ①インベントリー分析(Inventory analysis)
- ②影響分析(Impact analysis)
- ③改善施策(Improvement)

インベントリー分析とは、製品(財、サービス)や技術について資源、労働、金額、環境負荷がどのように投入、かつ産出されているかを明らかにするもので、ライフサイクルアセスメントの最も基本となるプロセスである。そのことからこれまでのLCA研究においても最も多くの研究が行われてきている。影響分析は、対象製品等から産出する環境負荷が、社会や人にどのような影響を与えているかを明らかにするものである。しかし社会や人への影響は、もともと不確実性が大きい問題で、場所や時間によってその値が変わるといった問題がある。改善施策とは、インベントリーや影響の分析で明らかになった問題点を改善するための具体策を検討するものである。施策には、技術的な改善だけでなく、製品へのラベリング、制度の改善、あるいは税制や資金援助といった方策も考えられる。

LCA研究で最も基本となるものがインベントリー分析である。インベントリー分析は、最初に分析の対

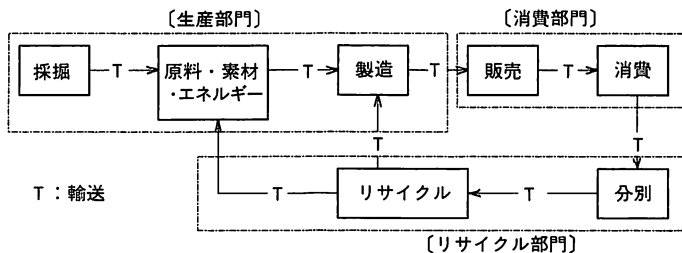


図-1 ライフサイクル分析のプロセス連鎖

((( ( 技術・行政情報 ) )))

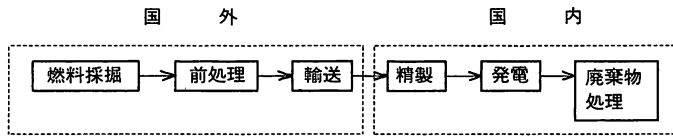


図-2 発電システムの評価プロセス

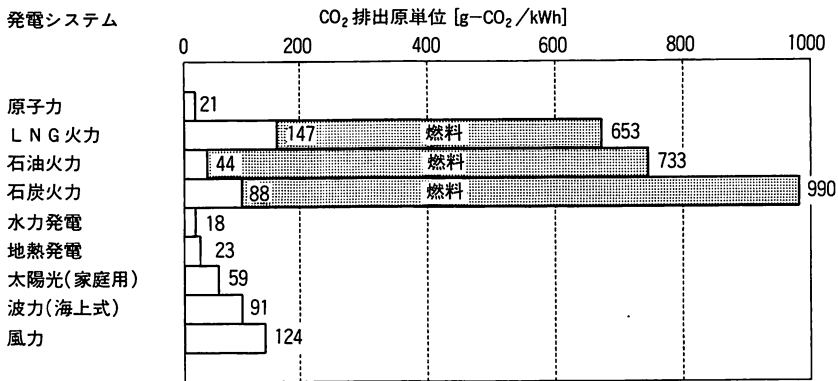


図-3 各種発電システムによるライフサイクルからのCO<sub>2</sub>排出量<sup>1)</sup>

象となる製品あるいは技術について、データが入手できる範囲まで要素を分解する。インベントリーは、鉱石やエネルギーの採掘から精練、製造、加工、組み立て、さらに利用と廃棄、いわば“ゆりかごから墓場”までトータルシステムについて分析する手法である。図-1は、ライフサイクル分析に必要となるプロセス連鎖を示したもので、基本的には生産、消費、リサイクルの3つの部門から構成されている。

製品や技術の環境負担性を評価するには、まず対象

となる製品あるいは技術をプロセスに分解する必要がある。例えば社会のインフラストラクチャーの1つである発電施設の場合、検討するプロセスは発電プラントだけでなく、燃料の採掘から輸送、精製、そして廃棄物の処理処分に至るすべてのプラントが対象になる(図-2)。

地球温暖化の原因といわれている温室効果ガスであるCO<sub>2</sub>を電力施設について分析するには、図に示すすべてのプロセスについて、設備の製造から建設、運転、

表1 各種発電システムのCO<sub>2</sub>排出量の文献比較

システム	CO <sub>2</sub> 排出量分析結果 [g-CO <sub>2</sub> /kWh]							
	内山 <sup>1)</sup>	Lewin <sup>2)</sup>	Dones <sup>3)</sup>	Friedlich <sup>4)</sup>	Martin <sup>5)</sup>	Vate <sup>6)</sup>	S/C <sup>7)</sup>	Fritsche <sup>8)</sup>
石炭火力	1,008	1,244	1,078	1,290	964	990	960	929
石油火力	748	—	905	—	726	711	770	—
ガス火力 (LNG)	660	453	797	—	484	1,220	538	542
原子力	9~21	28	8~12	19	7.8	—	25	54
水力	21	—	4	—	10	156	—	—
バイオマス	—	—	—	—	(-160)	180	—	—
風力	74	11	—	16	7.4	7.4	—	155
太陽光	59~125	228	80~256	258	5.4	83	—	3

( ) 内はCO<sub>2</sub>吸収効果。

((( ( **技術・行政情報** ) ))))

廃棄までのライフサイクルにおいて排出するCO<sub>2</sub>量を求めなければならない。それには、各プロセスのプラント特性を明確にし、ライフサイクルに要する資材量とエネルギー量を調べる必要がある。そして得られた資材量とエネルギー量にそれぞれのCO<sub>2</sub>原単位を掛け、それらを足し合わせることで全体のCO<sub>2</sub>排出量が求まる。図-3は、各種発電システムについてプラントの寿命を30年とし、すべてのプロセスから発生するCO<sub>2</sub>量を、その間に発電した発電量で割った値を示したものである。CO<sub>2</sub>排出量には、各プロセスの建設と運用から発生する量に加え、燃料採掘時のメタン洩れ、粗天然ガス中のCO<sub>2</sub>、発電時の燃料燃焼、セメント製造時のCO<sub>2</sub>が含まれている。

2.2 各国の分析例

発電システムのLCA研究は、最近、各国で数多く行われるようになってきた。表1は、CO<sub>2</sub>排出量につ

いて各国の研究結果を比較したものである。分析には、対象技術のプロセス、検討範囲、分析の詳細さ、エネルギー・素材の原単位、設備の耐用年数などの違いが予想され、結果は必ずしも一致するとは限らない。表はそういった前提条件の違いを考慮して、異なる文献のCO<sub>2</sub>排出原単位の値を比較したものである。

表の結果をみると、どの文献も火力発電のCO<sub>2</sub>排出量は、原子力や再生可能エネルギーに比べて際立って大きいことを示している。火力発電のCO<sub>2</sub>排出原単位は、通常、石炭火力、石油火力、天然ガス火力の順に小さくなるが、文献6はガス火力が最も大きな値を示している。これは、ガス田とパイプラインからのメタンガスの洩れの違いによるもので、ほとんどの文献がメタン洩れを1%かそれ以下にしているのに対し文献6は10%程度に仮定している。同じことは文献6の水力発電とバイオマス発電のメタン排出についても言え

表2 原子力発電プロセスのCO<sub>2</sub>排出量の比較

	日 本	ヨーロッパ (UCPET地域)
炉型	沸騰水型水炉	軽水炉
発電容量	1,000MW (発電端)	1,000MW (発電端)
燃焼度	30GWd/トン	40GWd/トン
年設備利用率	75%	70%
寿命	30年 (基礎・建物40年)	40年

UCPET(Union pour la coordination de la production et du transport de l'electricite : Austria, Belgium, Germany, France, Greece, Italy, the Netherlands, Portugal, Spain, Switzerland)

表3 軽水炉を対象とした日本とスイスの分析例 単位: g-CO<sub>2</sub>/kWh

プロセス	日 本		ヨーロッパ
	ガス拡散法 ワンスルー	遠心法 ブルサーマル	遠心法 ブルサーマル
採掘			0.39
精鉱	0.25	0.18	1.41
転換	1.08	0.92	1.45
濃縮	13.98	1.52	1.04
加工	0.13	0.13	0.09
発電	4.49	4.49	3.04
再処理	—	1.61	1.19
中間貯蔵	0.24	—	0.03
低レベル廃棄物処分	—	1.18	0.09
中高レベル廃棄物処分	0.76	0.15	0.19
合計	20.93	10.19	8.92

# (((( ( 技術・行政情報 ) ))))

る。水力ダムからのメタン発酵とバイオマス資源の生産中に発生するメタンの大気放出は温暖化に大きな影響を与える可能性がある。

## 2.3 軽水炉のCO<sub>2</sub>排出量比較

原子力発電の分析で最も詳細な研究は日本<sup>1)</sup>とスイス<sup>3)</sup>である。それらは燃料サイクルを含め詳細な資料をもとにCO<sub>2</sub>排出量を分析している。表2は我が国とスイスで分析した軽水炉の前提条件を示す。

表3は燃料サイクルを含めてプロセス別にCO<sub>2</sub>排出量を比較したものである。プロセス別のCO<sub>2</sub>排出量は、ガス拡散法によるウラン濃縮が際立って大きい。しかし遠心法になると、日本とヨーロッパとで大きな差は見られず、発電所の影響が最も大きくなっている。詳細に比較すると、日本の値は海外に依存する採掘、精鉱、転換のプロセスでは小さいが、国内で実施あるいは計画されているプロセスに関してはスイスの値より大きい。

## 3. おわりに

エネルギー技術の選択は、今回検討したエネルギー収支やCO<sub>2</sub>排出量以外に、他の環境問題、それに資源、立地、安全性、経済性など総合的な視点から考えて行かなければならない。今回は、温室効果ガスの排出量という環境問題の一側面から発電システムの分析例を紹介したに過ぎないが、今後は開発したライフサイクル手法をさらに発展させ他の要因に関する分析を深めることで、エネルギー技術政策の具体的な立案に役立つことが望まれる。

## 引用文献

- 1) 内山洋司「発電プラントのライフサイクル分析」電力中央研究所研究報告 Y94009(1995年)
- 2) Lewin, B., "CO<sub>2</sub> Emission von Kraftwerken unter Berücksichtigung der vor- und nachgelagerten Energieketten. VDI Berichte Nr. 1093, Dusseldorf, Germany (1993), in German.
- 3) Dones, R., "Environmental Inventories for Future Electricity Supply Systems for Switzerland : Results for Greenhouse Gases", presented by the IAEA Advisory Group Meeting on Greenhouse Gas Emission, Vienna, 26-27 Sep. (1995)
- 4) Friedrich, R., "Life Cycle Analysis of Electricity Systems : Methods and Databases", presented by the IAEA Advisory Group Meeting on Greenhouse Gas Emission, China, Oct. (1994)
- 5) San Martin, R. L., "Environmental Emissions from Energy Technology Systems : The Total Fuel Cycle, U.S. DOE, Washington, D.C., USA (1989)
- 6) Van de Vate, J. F., "Overview of Existing Studies on Full-Energy-Chain Emissions of Greenhouse Gases", presented by the IAEA Advisory Group Meeting on Greenhouse Gas Emission, China, Oct. (1994)
- 7) Science Concepts, Inc., "Reducing Airborne Emissions with Nuclear Electricity", Report for US Council for Energy Awareness (1990)
- 8) Fritsche, U., L. Rausch and K. H. Simon, "Umweltwirkungsanalyse von Energiesystemen : Gesamt-Emissions-Modell Integrierter Systeme (GEMIS)", Oeko-Institut, Darmstadt, Germany (1989), in German.

(脚)電力中央研究所 経済社会研究所技術評価グループリーダー・東京工業大学大学院総合理工学研究科 人間環境システム専攻客員教授 内山 洋司)

共催行事ごあんない

## 第15回光がかかわる触媒化学シンポジウム

〔主催〕理化学研究所、触媒学会  
 〔共催〕日本化学会、高分子学会他  
 〔日時〕平成8年6月6日(木)  
 〔会場〕東京工業大学・百年記念館 フェライト  
 会議室(目黒区大岡山2-12-1)  
 〔参加費〕一般3,000円、学生1,000円。(当日受付)

〔懇親会〕講演終了後行います。会費3,000円の予定  
 〔申込先〕〒226 横浜市緑区長津田町4259  
 東京工業大学・生物工業科・大倉一郎  
 (Tel 045-924-5752, Fax 045-924-5778)