

((((((技術・行政情報))))))

発電プラントのエネルギー収支分析

1. はじめに

我が国のCO₂排出量は、1988年で2.92億トン（炭素換算）で、そのうち電力部門からの排出量は0.9億トンあり全排出量の約3割を占めている。その値は、業種別で見ると最も大きい。我国のCO₂排出量を削減するには、電気事業は経済性や供給の安定性に加え、環境対策を重視した電源計画を策定していかなければならない。

電気事業が発電部門でCO₂を技術的に削減する方法には、省エネルギー、燃料転換、代替エネルギー、固定化といったものがある。それらは、CO₂を削減する技術およびシステムの開発、LNG、原子力、自然エネルギーの利用、それに発生するCO₂を回収、処理する技術開発である。このうちCO₂の回収処理技術は、技術的にも経済的にもまだ確立されていないことから、CO₂の技術的解決策として、当面は発電技術の高効率化、燃料転換、代替電源開発等に頼らざるを得ない。

原子力発電や自然エネルギーによる発電技術は、化石燃料の燃焼発電と異なり、発電時にCO₂を全く放出せず、その導入はCO₂削減に大きく寄与すると考えられている。しかし、それらは発電時には確かにCO₂を排出しないが、発電所の建設と核燃料サイクルにおいてエネルギーを消費していることから間接的にみればCO₂を発生していることになる。ここでは、その消費するエネルギー量が発電する電気エネルギーに比べどの程度であるかを理解するため、各種発電技術について建設・運転時の投入エネルギーと発電時の生産エネルギーとを分析したエネルギー収支の結果を報告する。

2. エネルギー収支分析

2.1 概要

発電プラントは、そのライフサイクルで、どれだけのエネルギーを生産し、またその生産のためにはどれだけのエネルギーを消費しているか。この問題を解決する方法にエネルギー収支分析法がある。それは、あるエネルギー生産システムについて、種々の財および

サービスに直接あるいは間接的に投入されるエネルギー量を、そのシステムで生産するエネルギー量と比較するものである。

図-1は、発電プラントについて投入エネルギーと生産エネルギーとの関係を示したものである。

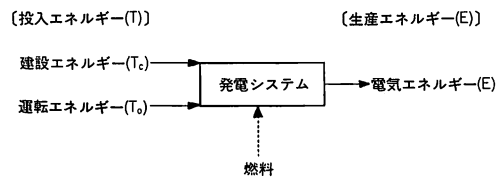


図-1 発電システムの投入/生産エネルギー

エネルギー収支分析には、総エネルギー収支(Gross energy analysis)と正味エネルギー収支(Net energy analysis)とがある。総エネルギー収支とは、電気エネルギー1単位を生産するのに必要な投入エネルギーで、それはエネルギー比 T/E によって表わされる。それに対し正味エネルギー収支は、発電プラントが生産するエネルギーの利用可能な正味のエネルギー量を算定するもので、それは $E-T$ で表わすことが出来る。発電プラントは、エネルギー生産システムであることから、基本的には $E>T$ の関係式が成り立たねばならない。

エネルギー収支分析で、投入エネルギーを求めるには、産業連関表を用いて、直接、間接に投入するエネルギーを算出する方法と、積み上げでもって発電プラントの建設・運転に必要な投入エネルギーを求める方法とがある。前者は、対象を産業部門別に捉えたもので、その結果は複数の製品あるいは技術が関与したものになる。それに対し後者は技術種別のエネルギー収支を分析する方法で発電プラントのエネルギー収支など個別技術の分析によく使われる。

2.2 発電プラントのエネルギー収支

発電プラントのエネルギー収支分析事例として最も知られている研究に、1975年にChapmanが原子力発電について行なった分析がある¹⁾。その後、数多くの

((((技術・行政情報))))

研究が行なわれてきているが、1981年に出版された合衆国のエネルギーシステムに関する研究はそれらを集大成している²⁾。我が国でのエネルギー収支は、1983年に科学技術庁資源調査会が自然エネルギーの発電技術について行なった分析が最も代表的な研究といえる³⁾。

ここでは、それらの文献資料を基に、各種発電プラントについてエネルギー収支を分析し比較している。大型電源である原子力発電、石炭火力、石油火力に関しては、文献2の値を参考に、燃料輸送の部分を日本の場合に直して投入エネルギー量を算定した。すなわ

表1 原子力発電と石炭火力、石油火力のエネルギー投入量

	原子力発電	石炭火力	石油火力
発電プラント建設 [BBtu]	12130	11480	6880
年運転エネルギー(燃料搬入)[BBtu]	3586.8	8519	429
内訳	採掘	2.75	採掘 2544
	精鉱	96.04	選炭 645
	UF ₆ 製造	53.13	輸送 5330
	濃縮	3412.2	採油 288
	成型加工	22.2	輸送 3941
	燃料輸送	1.29	

ち、石炭の輸送に要する運転エネルギーは、オーストラリアから日本までの距離(6800km)を船で輸送(輸送原単位:540BTU/トン・マイル²⁾)するものとし、石油に関してはサウジアラビアから日本までの距離(13000km)をタンカーで輸送(原単位:335BTU/トン・マイル²⁾)するものとして求めている。

表1は、発電出力1000MW(発電端)のプラントについて、プラントの建設と運転(発電用燃料を除く)に要する投入エネルギー量を計算し比較したものである。表の結果から、石炭火力は燃料の輸送にかなりのエネルギーが使われており、また原子力発電は濃縮時に多量のエネルギーを消費していることが分る。さらに表の結果によると、プラントの建設に要するエネルギーは、燃料を発電所に持込むまでに要するエネルギーと比べ、いかにその量が小さいか理解できる。このことは、原子力発電の燃料サイクル設備の建設に要するエネルギーについても同様で、その値はおそらく燃料サイクルの運転エネルギーに比べれば小さく、まして20~30年の発電プラントのライフサイクルで考えた運転エネルギーとの比較になれば、ほとんど無視できると考えられる。

表2は、発電プラントに自然エネルギー³⁾を加え、それらのエネルギー収支をプラントの耐用年間で分析

表2 発電プラントのライフサイクルのエネルギー収支分析

発電プラント	発電出力	所内率	設備利用	発電量(送電端)[10 ⁶ kWh]		投入エネルギー[10 ⁶ kWh]		エネルギー収支	
	[MW]	[%]	率 [%]	年間	20年間(A)	建設(B)	20年運転(C)	A/(B+C)	A-(B+C)*
石油火力	1,000	6.1	75	6,169	123,380	708	8,700	13.11	114,000
石炭火力	1,000	7.4	75	6,084	121,680	1180	17,525	6.51	103,000
軽水炉	1,000	3.2	75	6,360	127,200	1250	7,379	14.74	119,000
中小水力	10	0.3	45	39.3	786	22.29		35.26	76,371
地熱発電	10	7	60	48.9	978	16.26		60.15	96,174
風力	0.1	10	20	0.16	3.16	0.510		6.20	26,500
太陽光	1	5	30	2.50	49.9	21.3		2.34	28,600
太陽熱	タワー	5	5	12.48	249.7	65.55		3.81	36,830
	曲面	5	5	12.48	249.7	117.8		2.12	26,380
波力	海上	1	30	1.23	24.6	4.81		5.11	19,790
	固定	0.1	30	0.12	2.46	0.735		3.35	17,250
潮流	3	30	40	7.36	147	17.05		8.62	43,317
海洋温度差	2.5	50	80	8.76	175	36.13		4.84	55,548

電気出力1000MWeに換算して算定

(((((技術・行政情報)))))

したものである。耐用年数は20年で、分析は総エネルギー収支と正味エネルギー収支の両方について行なっている。分析では、エネルギーの単位を同一にしており、投入一次エネルギーを電気エネルギーに換算する係数に2450kcal/kwhの値を用いている。

総エネルギー収支の結果で各種発電プラントを比較すると、比較的高密度なエネルギーが自然に得られる地熱と水力発電が最も優れており、次にエネルギー密度が高い原子力、石油、石炭の大型電源が続き、最後が希薄なエネルギー源である再生可能エネルギーの順になっている。石油と石炭火力は、燃料を発電所に搬入するまでに多量のエネルギーを消費しており、エネルギー収支の改善には、燃料の各搬入過程での効率向上が重要となる。大型電源のうち、原子力発電は比較的そのエネルギー収支が良い。しかし今回の分析には、再処理や放射性廃棄物の処理処分のエネルギー量は含まれていないため、今後それらの値が明らかになれば、その値次第では順位が代る可能性もある。

発電プラントの耐用期間にどの程度のエネルギーが利用できるかを分析する正味エネルギー収支の結果を表からみると、原子力、石油、石炭の大型電源は、自然エネルギーの電源に比べ利用可能エネルギー量がいかに大きいか分かる。値はプラントの耐用年数を20年として計算しているが、大型電源の実際のプラント耐用期間が30年あるいは40年であることを考慮すれば、その差はさらに拡大し大型電源はエネルギー収支で一層優位となる。

3. おわりに

エネルギー収支により、発電プラントの生産エネルギーと消費される投入エネルギーが分析でき、それによりプラントの建設と運転に必要なエネルギー量が明

らかになる。エネルギーの消費量は、一般に経済性とも関連があり、投入エネルギー量が多いほど経済的に不利になる傾向がある。すなわち生産エネルギーを一定にして、それに必要な投入エネルギー量を比較すれば、エネルギー収支の結果で、プラントの経済的な優位性のある程度まで理解できる。

このエネルギー投入量と経済性との関係は、経済性をCO₂発生量に置き換えれば両者の相関がさらに強まることになる。もちろん、石油、石炭火力は発電時に燃烧によって多量のCO₂を発生することから、全体から見たCO₂発生量は膨大になる。表2の結果からCO₂排出で最も優れているのは地熱と水力発電になるが、問題はプラントの立地制約である。

原子力発電は、今後、燃料のバックエンド対策を考慮すると、投入エネルギー量は増えるが、そのエネルギー収支は悪くても石油の大型火力並みであろう。これは、正味エネルギー収支に優れた原子力発電が、発電時にCO₂を発生しないことから、CO₂対策には最も有望な電源であることを意味している。もちろん原子力の利用には、信頼性の高い技術の確立と、人々にその利点と安全性を理解してもらう弛まない努力が必要である。

引用文献

- 1) P. F. Chapman : Energy Analysis of Nuclear Power Stations, Energy Policy, Vol. 13(4), pp. 285-298, 1975
- 2) Asad T. Amr, Jack Golden, Robert P. Quellette : Energy Systems in the United States, Marcel Dekker, Inc. New York and Basel (1981).
- 3) 科学技術庁資源調査会：自然エネルギーと発電技術，大成出版社，東京（1983）
 (財)電力中央研究所 経済研究所 エネルギー研究室
 主査研究員 内山 洋司