

<地球環境・省エネルギー>

発電プラントのエネルギー収支分析と CO₂ 排出量

Energy Analysis of Various Electric Power Plants for CO₂ Emission Evaluation

キーワード：エネルギー収支分析, CO₂ 排出, 発電プラント, 自然エネルギー

内山 洋司 山本 博巳

1. はじめに

電力部門はわが国の CO₂ 排出量の約 3 割を占め、業種別にみて最大の CO₂ 排出源となっている。それ故、電力部門の CO₂ 削減対策は重要な課題であり、燃料転換、原子力・自然エネルギー導入、転換効率の向上、CO₂ 回収処理などの対策が検討されている。

原子力、自然エネルギー発電は、化石燃料と異なり発電時に CO₂ を放出しないことから、その削減に大きく寄与すると考えられている。しかし、それに対して、プラント建設や原子燃料の濃縮などに大量のエネルギーを使用するから、CO₂ の排出量は意外に多いのではないかという意見もある。

また、石炭、石油から LNG への燃料転換は、LNG の発熱量あたりの CO₂ 排出量が少ないために、CO₂ 削減に有効であると言われているが、一方、天然ガス液化時に消費する多量のエネルギーを含めると CO₂ 削減効果に疑問があるという意見もある。

本研究は、これらの疑問に答えるため、大型発電プラントと自然エネルギー発電についてエネルギー収支分析^[1]を行い、そこから各発電

プラントの CO₂ 排出量を計算したものである。

2. 発電プラントのエネルギー分析

発電プラントのエネルギー収支分析とは、プラントの建設、保守、燃料の採掘、加工、輸送の各過程で消費するエネルギー量（投入エネルギー量）と発電所で生産するエネルギー量（生産エネルギー量）を比較するものである。投入エネルギーは設備エネルギーと運用エネルギーに分けられる。設備エネルギーとはプラントの建設に必要なエネルギーであり、運用エネルギーとは各プロセスの設備の運用と修繕保守に必要なエネルギーである。

本研究での投入エネルギーの検討範囲を図 1 に示す。石炭火力の灰捨てや、原子力のバックエンドの投入エネルギーについては、データ入手不能のために検討していない。

また、本研究で調査した発電プラントの設備容量等を表 1 (a), (b) にしめす。各発電プラントの投入エネルギーは、文献 [2], [3], [4] を参考に計算した。

分析は、プラントの耐用年数を 30 年とし、その間の投入エネルギーと生産エネルギーとからエネルギー収支を次式によって求めた (図

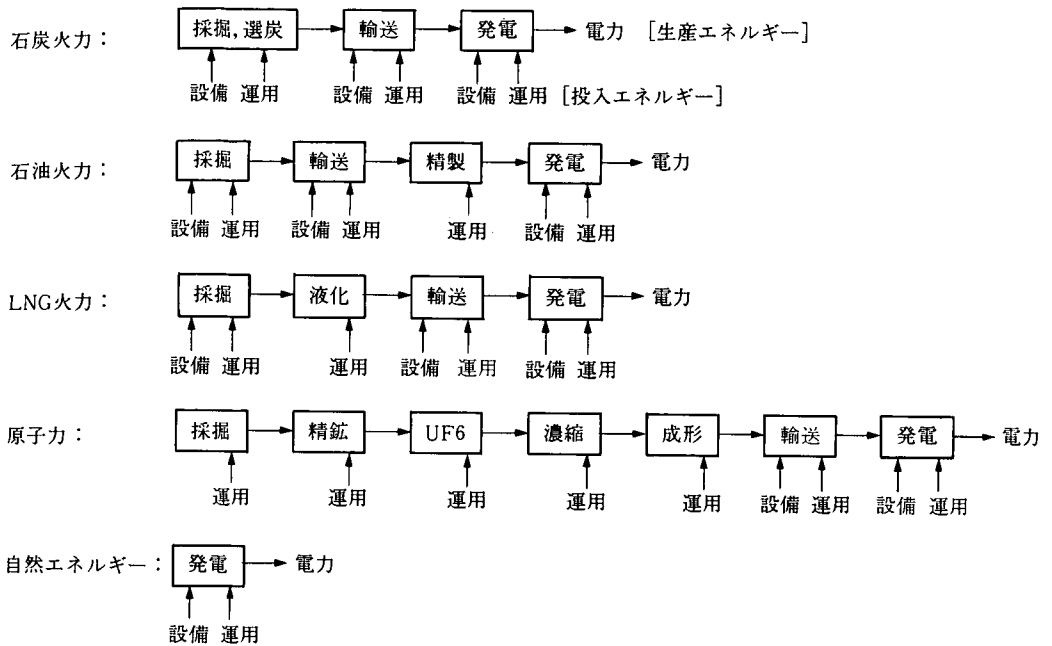


図 1 エネルギー収支の検討範囲

表 1 対象の発電プラント

(a) 大型発電プラント

	石炭火力	石油火力	LNG火力	原子力発電
設備容量 (発電端) [MW]	1,000	1,000	1,000	1,000
設備利用率 [%]	75	75	75	75
発電効率 (発電端) [%]	39	39	39	33.5
所内率 [%]	7.4	6.1	3.5	3.4

(b) 自然エネルギー

	中小水力	地熱	風力	波力	潮流	海洋温度差	太陽熱	太陽光
設備容量 (発電端) [KW]	10,000	10,000	100	1,000	3,000	2,500	5,000	1,000
設備利用率 [%]	45	60	35	25	40	80	30	30
所内率 [%]	0.25	7	10	30	30	50	5	5

2)。

$$EA = \frac{NO \cdot dp \cdot cr}{Ee + Eo \cdot dp} \quad \dots\dots(1)$$

ただし、EA：エネルギー収支、NO：年間発電電量 (送電端)、Ee：設備エネルギー量、Eo：年間運用エネルギー量、dp：耐用年数、cr：電力の一次エネルギー変換係数 (2,250 kcal/kWh)

その結果、大型電源のエネルギー収支は、LNG 以外は 17~21 と高い値であった。LNG 火力の値だけが 5.6 と小さいのは、天然ガスを液化する段階で、多量のエネルギーを使用するためである。自然エネルギーでは、既に実用化している中小水力と地熱のエネルギー収支が 10 以上と高い。特に、中小水力のエネルギー収支は約 40 で、大型電源を含めた発電プラン

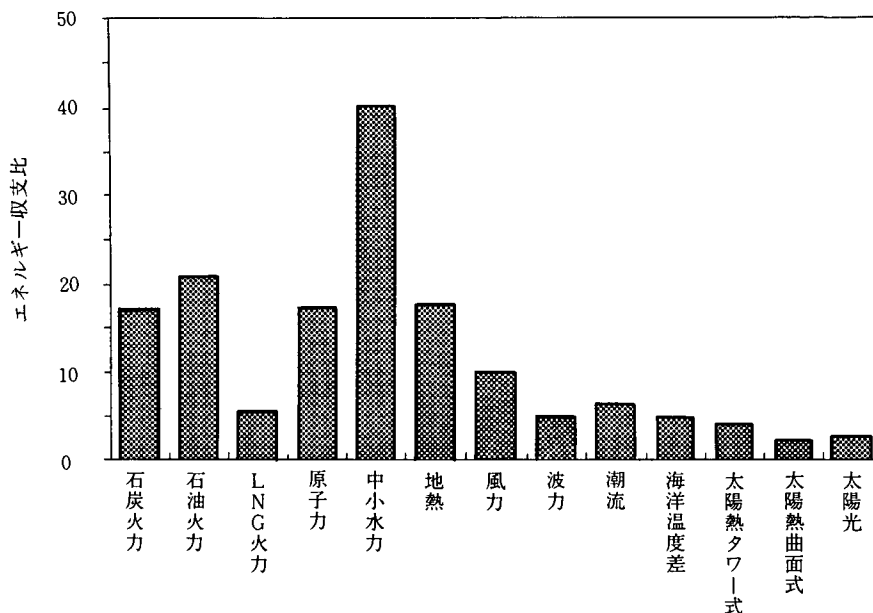


図 2 発電プラントのエネルギー収支

トの中で最も優れている。それに対して、実用化途上にある他の自然エネルギーのエネルギー収支は、7以下に留まっており、特に太陽熱、太陽光は5以下である。

自然エネルギーの中で水力と地熱のエネルギー収支が高い理由は、水力が自然の力で貯められた水の位置エネルギーを使い、地熱は地下に貯まっている高密度のエネルギーを汲み上げて発電しているためである。それに対し、他の自然エネルギーは希薄になっているエネルギーを設備を使って集めなければならない、それは投入エネルギーを増やし、結果としてエネルギー収支を悪くしている。

3. 発電プラントのCO₂ 排出原単位

前節のエネルギー収支で求めた投入エネルギーから、発電プラントのCO₂ 排出原単位を計算した(図3)。なお、計算にはセメント(プ

ラントの建材)の製造時に発生するCO₂ と、採掘直後の天然ガス成分中に含まれるCO₂ も考慮した。発電プラントのCO₂ 排出原単位は次式で表される。

$$RC = \frac{\sum_{i=1}^4 [(E_{e_i} + (E_{o_i} + E_{f_i}) * dp) * R_{cf_i} + O_{t_i} * dp] + C_e}{NO * dp} \quad \dots\dots(2)$$

ただし、RC: CO₂ 排出原単位、i: エネルギー種別(石炭、石油、天然ガス、電力)、E_f: 化石燃料のエネルギー量、R_{cf}: CO₂ 排出量/エネルギー量、C_e: セメント製造時のCO₂ 排出量、O_t: 天然ガスに含まれるCO₂ 量

図の化石燃料を使う発電プラントについてみると、燃料から発生するCO₂ 量は、設備や運用に投入するエネルギーから発生する量に比べ極めて大きく、石炭で24倍、石油で24倍、

LNG で 4 倍である。LNG 火力の倍率が他に比べ小さいのは、エネルギー収支と同じ理由で、天然ガスの液化に多量のエネルギーを消費しているためである。その結果、LNG 火力の CO₂ 排出量は、燃料だけでみれば石炭火力の 52% であるが、建設、運転に投入するエネルギーを考慮すると 63% とその格差が縮まっている。

原子力発電の値は、水力に次いで小さく、大型火力の 1/20~1/30 である。ただし、今回の分析では、原燃サイクルについてはフロントエンドだけについての計算で、再処理や放射性廃棄物の処理処分などバックエンドの分はデータが入手できなかったため加算していない。しかし、もしバックエンドに投入するエネルギーが例えば原子力の全投入エネルギーの 85% を占める濃縮過程と同じに仮定しても、原子力発電の CO₂ 排出原単位は大型火力の 1/15 程度で、

依然として優位を保っている。

また、大型電源の設備建設からの CO₂ 排出量は 1 g-C/kWh 以下に過ぎず、図中では殆ど検出できない。大型電源では設備が巨大であるが、それ以上に発電量が大きいためこのような結果になった。一方、自然エネルギー発電は燃料を使用しないが、水力、地熱以外はエネルギー密度と設備利用率が低いいため、発電設備の割に発電量が少ない。それにより、設備建設からの CO₂ 排出量も大きく、特に、太陽光、太陽熱発電は、LNG 火力の 1/2 から 1/3 もの CO₂ を放出している。この値は、プラントの耐用年数を 30 年以下にして計算すれば更に悪化する。この様に、自然エネルギー発電であっても、エネルギー収支が悪いプラントは、CO₂ 排出量を無視できないことが分かった。

図 4 は縦軸にプラントの CO₂ 排出原単位の逆数（つまり単位 CO₂ 排出量あたりの発電

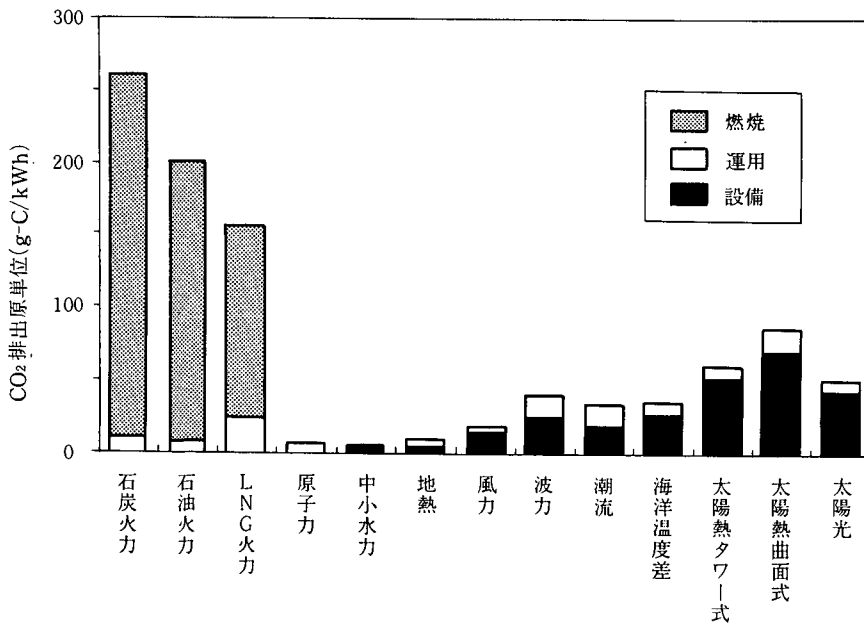


図 3 発電ブランドの CO₂ 排出原単位

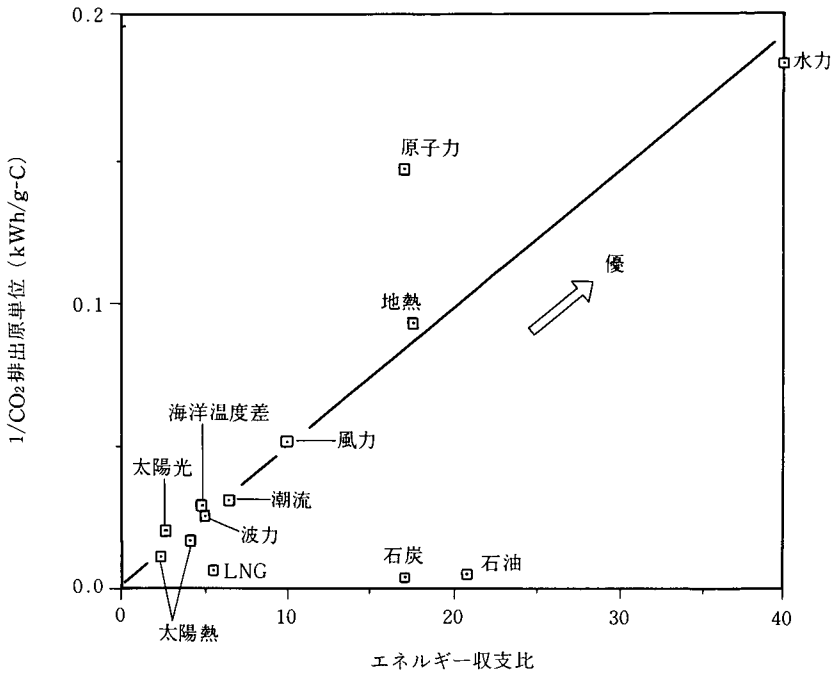


図 4 発電プラントのエネルギーと CO₂ 排出原単位

量), 横軸にエネルギー収支をとりプロットしたものである。図中で右上に行くほど, CO₂ とエネルギー収支の面で優れたプラントになる。図より, 中小水力発電が最も優れており, 原子力, 地熱, 風力がそれに続いている。ただし, 原子力はバックエンドを含めると優位性が低下する。一方, 太陽熱, 太陽光発電は図の左下であり, プラントの実用化までに課題が多いことが分かる。化石燃料発電は図の下部に位置し, CO₂ 排出の面では劣っている。

4. まとめ

エネルギー収支は, 発電プラントの経済性や環境性を客観的に理解する上で大切である。本研究では, 発電プラントのエネルギー収支を計算し, CO₂ 排出の側面からプラントの環境性を評価した。今後の課題としては, 分析データを更に詳しく調査することとともに, プラント

の経済性計算を行うことで, エネルギー収支分析をベースにした経済性と環境性を調べ, 各発電プラントの社会における位置づけを明らかにすることである。

【参考文献】

- [1] 内山他, “エネルギー収支分析と電源構成からみた将来の CO₂ 排出量”, 第7回エネルギーシステム・経済コンファレンス, 特3-5, 1990
- [2] A. T. Amr, et al, “Energy Systems in the United States”, Marcel Dekker Inc, 1981
- [3] 重田潤, “化石燃料利用のための二酸化炭素排出量の定量的評価”, 季報エネルギー総合工学 10月号, 1990
- [4] 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, 1983

(うちやま ようじ
やまもと ひろみ
経済部エネルギー研究室)