

エネルギー分析

Energy Analysis

辻 明 宏*

Akihiro Tsuji

1 はじめに

エネルギー技術評価法としてのエネルギー分析の適用した例は、あまり多くないように思える。筆者の知っている適用例の多くは、自然エネルギーを利用した発電技術——風力発電、太陽光発電等——のエネルギー分析である。

「自然エネルギーを利用した発電プラントは、これを運転するためのエネルギー、すなわち、燃料を必要としない。したがって、発電プラントへのエネルギー消費量は、発電プラントをつくるエネルギーのみ（エネルギーインプットあるいはエネルギー支出）である。ある定められた耐用年数間につくり出されるエネルギー（発電量）は定義できる（エネルギーアウトプットあるいはエネルギー収入）ので、この両者の比較によって、エネルギー発電技術のエネルギー的得失評価が行なえる。これがエネルギー分析の発電技術への適用であり、一般にこれをエネルギー収支分析と呼ばれている。

本文はエネルギー収支分析について論じることが主眼であるが、その前にエネルギー分析について述べておきたい。

エネルギー分析はそれほど正確な数値を生みだすものではない。しかしながら、この数値がその背景や前提条件を忘れてその存在を誇示し、一人歩きする事が多い。一般に前提条件が変われば、その結論も変えることは、他の評価と全く同じであるが、特にエネルギー分析の場合は、その前提条件が人によって大きく異なり、当然のようにその検討結果もその評価をくつがえすほども変わってくる。それだけにエネルギー分析の数値は慎重にその前提条件を注視しなければならない。

日本人の主食はお米である。このお米の生産——エネルギーとは無縁と思われる農業にもエネルギーが

消費されている。それは農機具を運転する動力エネルギーや育苗に使う電気エネルギー（直接消費）のみならず、生産に必要な農薬、肥料などを生産するのに消費したエネルギー（間接消費）も含むからである。更に、農機具や施設などを製造するエネルギーも加味して、間接的に消費されるエネルギーのすべてが包含される。このように米の生産に関して、直接および間接に消費されるエネルギーをまとめることをエネルギー分析と呼んでいる。科学技術庁資源調査会から出された「衣食住のライフサイクルエネルギー」によれば、昭和49年のお米1kgを生産するのに、0.23kgのエネルギー（そのうち直接消費は23%）が消費されたとしている。このことは、米の食品熱量1カロリーを得るのに、その約4%に相当する量の石油エネルギーをその生産に消費している。また、流通も含めた日本全体の食料供給システムにおいては、2300万klのエネルギーが消費され、これは当時の石油換算エネルギーの約7%に相当することが明らかにされた。

このように、エネルギー分析は消費者サイドからみたエネルギー消費の全体量を示すものであり、省エネルギーが直接消費のみならず、間接エネルギーを包括して論ずべきことを示している。

エネルギー分析における「エネルギー」は、人間の労働力を除外し、産業や交通の動力源となりうる石油、石炭、ガスなどであり、これに原子力発電や水力発電、地熱発電などの自然エネルギー利用の発電が加わってくる。いわゆる、我が国の長期エネルギー需給見通しに引用されるところのエネルギーであり、太陽光や水力の自然エネルギーそのものを包含するものではない。

今日、原子力発電の比重が増加したといえ、エネルギーの主流は、なお、石油、ガス、石炭などの化石燃料にある。したがって、エネルギー分析における「エネルギー」は化石燃料の王様である石油で議論するのが理にかなっているように思える。

エネルギー分析の欠点の一つは、石油もガスもすべ

* (財) 電力中央研究所柏江研究所電力システム部調査役
〒201 東京都柏江市岩戸北2-11-1

表1 各産業部門の消費エネルギー算出例

| 産業部門 | 直接分 A (10 ⁶ Kcal) | 間接第1次分 B (10 ⁶ Kcal) | 間接第2次分 C (10 ⁶ Kcal) | 消費エネルギー A+B+C (10 ⁶ Kcal) | エネルギー原単位 (主にKcal/kg) | エネルギー集中度 (Kcal/円) |
|-------------------|------------------------------------|---------------------------------------|---------------------------------------|--|-----------------------------|----------------------|
| 米 麦 | 17.6 | 8.6 | 14.5 | 40.7 | 3,180Kcal/kg | 13.5 |
| 水産食品 | 5.7 | 58.6 | 30.0 | 94.1 | 16,600Kcal/kg | 60.7 |
| 酒 類 | 1.2 | 9.5 | 6.0 | 21.8 | 3,400Kcal/kg | 11.4 |
| パン・菓子 | 10.0 | 12.0 | 16.9 | 38.9 | 13,500Kcal/kg | 24.6 |
| 合成繊維紡 | 2.3 | 9.9 | 8.7 | 21.0 | 39,700Kcal/kg | 36.4 |
| 衣料・身廻品 | 7.2 | 13.2 | 23.6 | 44.0 | — | 19.7 |
| ゴム製品 | 8.9 | 18.4 | 13.0 | 40.4 | 32,400Kcal/kg | 32.1 |
| 化学肥料 | 2.6 | 15.9 | 5.8 | 24.3 | 1,370Kcal/kg | 60.9 |
| 陶 磁 器 | 8.9 | 3.1 | 2.3 | 14.3 | — | 31.5 |
| セメント | 60.8 | 7.4 | 2.8 | 71.0 | 800Kcal/kg | 83.9 |
| 非鉄金属地金 | 34.8 | 11.6 | 3.3 | 50.0 | 13,810Kcal/kg | 31.3 |
| 自動車 | 15.6 | 47.1 | 70.0 | 132.7 | 2.03×10 ⁶ Kcal/台 | 18.0 |
| 自動二輪車 ・ 自転車 | 4.1 | 10.1 | 15.2 | 29.4 | — | 21.7 |

注) 1) 数値はわかり易くするため、出典の値を2~3ケタに四捨五入した。

2) エネルギー原単位における物量kgは、その産業部門の生産総量である。(品質の相違は考慮していない)

出典 衣食住のライフサイクルエネルギー

Kcalとすれば、0.32ℓの石油を消費したと同義であることを示している。同様に、酒類は平均3400Kcal/ℓだから、ビール1本のめば、おおよそ0.24ℓの石油を飲んだことになる。

エネルギー集中度やエネルギー原単位は、いろいろな分野におけるエネルギー分析の計算の根拠になることが多い。この計算手法における前提条件の問題点だけはふれておきたい。

i) 投入金額と消費エネルギー量は必ずしも比例しない。労働力は多くの費用を要するが、エネルギーには無縁である。

ii) それぞれのエネルギー部門において、エネルギーのKcal当りの価格は、品質や契約の方法によって変動している。例えば、石油製品部門におけるガソリンと重油の価格差、電力部門における工場などの大口電力用と一般家庭用の電灯料金の差など、大きく異なっている。

(2) 積上げ方式による方法

エネルギー分析はこの方法がもっとも多く用いられている。この方式は直接消費されたエネルギー直接分とそれを得るために必要な「もの」(消耗材、生産設備の損耗分等)の間接消費のエネルギーを各要素(各工程)毎に算出、集計するものである。これは一般に

表2 主要物資電力原単位表

(昭和62年度実績)

| 物 資 | 単位 | 電力量 (kWh) | 物 資 | 単位 | 電力量 (kWh) |
|-----------------|----|--------------|--------|----|--------------|
| 石油精製 (原油処理量) | kl | 34 | 電気銃 | t | 912 |
| アンモニアガス法 | t | 569 | ※転炉鋼塊 | t | 31 |
| カーバイト | t | 3,325 | 電炉鋼塊 | t | 476 |
| ソーダ(電解法) | t | 2,683 | ※熱間圧延 | t | 182 |
| セメント | t | 110 | フェロアロイ | t | 3,834 |
| ※高炉焼 | t | 27 | アルミナ | t | 239 |
| | | | エチレン | t | 2,246 |

注: 1. 日本電力調査委員会資料による。

2. ※印は、公営電力量を含んだ原単位である。

3. 直接消費分のみ。

事例調査になる。

直接消費エネルギーは代表的な事例調査によって行ないうるが、間接消費エネルギーの算出は、それに用いた「もの」のエネルギー原単位(Kcal/kgかKcal/m³など)やエネルギー集中度(Kcal/円)によって行う。しかし、これらの数値が一般的に整備されていないので計算を困難にしている。

今までの分析例では、費用からエネルギー量を算出する場合には信頼度に問題があるものの、産業連関分析で得たエネルギー集中度がよく利用されている。また、物量をベースに算出する場合には、エネルギー原単位を用いるが、これらは産業連関分析から得ること

表3 工場における生産に要した直接消費のエネルギー原単位

| 業種名 | 製 品 | 対 象 工場数 | 単 位 | 49 年 1~3月 平均 | 化学工業 | 高度化成肥料 | 3 | 10 ³ Kcal/t | 945 |
|--------------------|----------|--|-------------------------|--------------------|----------|-------------|-------------------------|------------------------|--------------------------|
| | | | | | | | | | |
| 食料品、 たばこ 製 造 | 粉 乳 | 13 | 10 ³ Kcal/t | 7,730 | 石油化学 | 溶成 磷肥 | 3 | " | 2,325 |
| | 市 乳 | 18 | " | 724 | | エチレン | 5 | 10 ³ Kcal/t | 10,900 |
| | 精 製 | 15 | " | 1,508 | ポリエチレン | 8 | " | 5,200 | |
| | 一 | 20 | 10 ³ Kcal/kl | 935 | 化学繊維 | ポリエステル | 9 | " | 14,507 |
| | 清 酒 | 15 | " | 647 | | ナイロン | 9 | " | 13,220 |
| た ば こ | 20 | 10 ³ Kcal/10 ³ 本 | 4,012 | 石油石炭 製 品 | 石油精製 | 37 | 10 ³ Kcal/kl | 4,986 | |
| 繊維工業 | 綿糸 | 26 | 10 ³ Kcal/kg | | 10.8 | 窯業土石 製 品 | 普通板ガラス | 4 | 10 ³ Kcal/c/s |
| パルプ 紙加工品 | 梳毛糸 | 22 | " | 20.2 | セメント(乾式) | 23 | 10 ³ Kcal/t | 1,117 | |
| | パルプ(KP法) | 17 | 10 ³ Kcal/t | 3,812 | "(湿式) | 6 | " | 1,700 | |
| | "(SP法) | 5 | " | 3,182 | "(Lボール式) | 5 | " | 1,066 | |
| | 板 紙 | 22 | " | 3,091 | 衛生陶器 | 7 | " | 5,375 | |
| | 洋 紙 | 8 | " | 3,859 | 食卓用陶磁器 | 6 | " | 6,065 | |
| | 新聞用紙 | 6 | " | 2,810 | タイル | 18 | " | 2,873 | |
| | ちり紙 | 10 | " | 5,159 | 耐火煉瓦 | 23 | " | 1,386 | |
| | 段ボールケース | 5 | " | 318 | | | | | |

出典：熱管理と公害，Vol 77 No. 4 P26~P27

表4 米の1kgの生産費と消費エネルギー量

| 区 分 | 費用(円) | 摘 要 | 消費エネ ルギー量 (Kcal) |
|---------------------|--------|---------------------------------|------------------------|
| 種 苗 | 1,206 | 種子, 苗 | 22 |
| 肥 料 | 6,104 | 自給肥料は材料費, 労働費から算出して計上 | 365 |
| 農 業 薬 剤 | 3,089 | 殺虫, 殺菌剤, 除草剤等 | 240 |
| 光 熱 動 力 | 1,694 | 石油類, マシン油, グリス, 電気料, 石炭, 炭 等 | 518 |
| そ の 他 の 諸 材 料 | 1,685 | 苗床材料, なわ, くん炭, 選種用塩, ビニール 等 | 121 |
| 土 地 改 良 及 び 水 利 | 2,484 | 水利事業負担金, 組合費, 水路整備の賦役負担 等 | 79 |
| 賃 借 料 及 び 料 金 | 3,656 | 建物農具の賃借料, 賃耕料 | 145 |
| 建 物 及 び 土 地 改 良 設 備 | 2,369 | 実際の取得価格によった, 建物は延べ使用面積 | 222 |
| 農 機 具 | 15,476 | 農具は使用時間より作物別割合を出す | 554 |
| 畜 力 | 9 | 役畜の飼育費を実際の使役1時間当りに算出 | 0 |
| 労 力 | 32,520 | その地方における男女別農業臨時雇賃金より算 出 | 0 |
| 費 用 合 計 | 70,292 | | 2,266 |

注1) 出典 衣食住のライフサイクルエネルギー

2) 米生産 調査農家 平均収量 496kg/10a

は少く、別の調査資料——例えば表2や表3——がよく利用される。

エネルギー集中度を用いてエネルギー分析を行った一例として、「米の生産」がある。その結果が表4である。これは農家の生産費平均値をベースに、消費エネルギー直接分と産業連関分析で得たエネルギー集中度による消費エネルギー間接分を求めたものである。しかし、肥料や農薬のような消耗材の間接分の算出においては、各区分の費用に該当する産業部門がすべてあるわけではなく、該当部門がない場合には種々の面

からの調査分析が行われている。また、農機具（トラクター、田植機、噴霧器、等10数種ある）のような耐久消費材の間接分は1戸当りの平均保有台数、各農機具の、耐用台数、水田1ha当りの使用実績などを調査した上で計算できるもので、かなり労力を要するものである。

3 エネルギー収支分析

エネルギー技術評価法としてのエネルギー収支分析は、燃料を必要としない自然エネルギー利用技術——

表8 自然エネルギー利用技術のエネルギー収支分析

| | | 水力発電 | 地熱発電 | 風力発電 | 海洋温度差発電 |
|----------------|------------------------------------|-------------------------------|--------------------------------|-----------------------------|------------------------------|
| エネルギーアウトプット | 設備容量 | 10,000kw | 10,000kw | 100kw | 2,500kw |
| | 設備利用率 | 45% | 60% | 40% | 80% |
| | 所内率 | 0.25% | 7% | 10% | 50% |
| エネルギーインプット | ①発電電力量(送電端) ()内石油換算値 | 39,321MWH/年 (9,634oil・t/年) | 48,881MWH/年 (11,976oil・t/年) | 315.4MWH/年 (77.3oil・t/年) | 8,760MWH/年 (2,146oil・t/年) |
| | ②設備投入エネルギー量 石油換算値 ()内電力のみ再掲 | 5,462oil・t (9,192MWH) | 3,983oil・t (6,513MWH) | 124.6oil・t (175,1MWH) | 8,853oil・t (16,760MWH) |
| | ③修繕保守エネルギー量 | 55oil・t/年 | 507oil・t/年 | 2.3oil・t/年 | 137oil・t/年 |
| エネルギー回収率 ②/①-③ | | 0.6年 | 0.4年 | 1.7年 | 4.5年 |
| エネルギー比 | 稼働年数 10年 | 16.0 | 13.2 | 5.2 | 2.1 |
| | ” 20年 | 29.4 | 17.0 | 9.1 | 3.7 |
| | ” 30年 | 40.6 | 18.7 | 12.0 | 5.0 |

注 1) 出典：科学技術庁 資源調査会編：自然エネルギーと発電技術
 2) 石油換算値 1 oil・t=10⁷Kcal
 3) エネルギー回収率は、出典ではエネルギー投入比と表現している。

用いるエネルギー原単位の一例である。ただし、その機器に使われている素材材料（この物量は製品重量から歩留りを考慮して算出する）に消費されたエネルギーは「素材エネルギー」でカウントする。しかし、工場における製造設備の損耗分まで計算を拡大することは難しい。

「輸送エネルギー」とは、「物量（燃料も含めて）」を輸送するために消費されたエネルギーで計算するもので、表7がこのエネルギー原単位の一例である。

輸送に使われるトラックや鉄道の建設エネルギーの損耗分はいかに算定するか決定しがたいので考慮されていない。水力発電などの建設用輸送道路の建設は、「建設エネルギー」に含まれるが、この輸送の一般道路の建設エネルギーの損耗分まではとても計算が及ばない。

エネルギー収支分析の結果例

表8はこれらの結果を要約したものである。文献では、エネルギー投入比で表わされているが、下記の式にもとづく数値であるので、筆者はエネルギー回収年と表わした。

$$\frac{\text{設備投入エネルギー}}{\text{年間発電電力量(送電端)-年間保守エネルギー量}} \Rightarrow \text{エネルギー回収年}$$

ここに年間発電電力量（送電端）とは、発電電力量

から所内運動動力量を差しひいたものである。

表8における水力発電と地熱発電は、在来技術であり、技術評価の上で、他の風力発電や海洋温度差発電に比較してエネルギー回収年も短く、エネルギー比をより大きくなっている。

エネルギー回収率は0.4～4.5年と短期間になっているが、「費用」の面で見れば、とても現実感に遠く、間接エネルギーの算出範囲をもっと大きくする必要性が感じられる。

エネルギー回収年やエネルギー比は、その絶対値で議論すべきではなくて、相対値として評価に用いるべきであろう。

在来技術については、前提条件が実績値にもとづいており、その数値に設備力をもつものに対し、風力発電や海洋温度差発電の前提条件は目標設定値になっている。

例えば、風力発電の設備利用率は風がよく吹く地域の40%を前提とした検討であり、もし、ある離島のように10%の設備利用率の地域であれば、エネルギーアウトプットが $\frac{1}{4}$ になるのでエネルギー回収率は4倍、エネルギー比も $\frac{1}{4}$ になる。

海洋温度差発電は、海底から低温の海水をくみあげる動力が大きいため一般に所内率が非常に高い（ハワイの初期の例では所内率90%）。ここではこの所内

率を50%とし、80%ときわめて高い設備利用率を想定（あるいは目標）としているが、これらの条件が変われば、風力発電の場合と同様に、評価が異なってくることに注意していただきたい。

在来技術である地熱発電においても、補充井の探索ならびに掘削エネルギーの予測が難しく、この状況変化がエネルギー収支分析の結果を左右することになる。

このように、エネルギー収支分析の成果は、その数値そのものが一人歩きする心配があるものの、ある技術予測の変化に伴う、評価の変更を把握することも可能と考えられる。

4 あとがき

ある限られた紙面において、エネルギー分析を説明し、エネルギー技術の評価としてエネルギー収支分析を、自然エネルギー利用の発電技術の例にして、紹介した。

エネルギー分析（収支分析も含めて）の考え方は理解を容易にするため、一例のみを示し、異なる見解についてはふれなかった。特に原子力発電のエネルギー分析については種々な議論があり、筆者の一見解を示したかったが、視点に関する議論もあって次の機会に譲ることにした。

エネルギー技術の評価において、エネルギー収支分析の結果がそのまま解釈できる（エネルギー回収年のように）ほど、消費エネルギー量の計算——特に間接エネルギー——は完璧でない。これらの従来の試算例は、考察範囲を巾広く、かつ細く努力して計算してい

るものの、未だ計算されていない、あるいは計算しえない部分が残されて、間接エネルギーの計算が不十分ないように思えてならない。

しかしながら、エネルギー比やエネルギー回収年の評価値は、絶対値ではなく、同一の計算手順による相対値としてみれば、省エネルギー的観点からの適切な指針を与えているといえよう。

エネルギー消費量は、歴史が示すように、成長率が鈍化しても増大をつづける。省エネルギーは、エネルギー情勢によってそのレベルが変わるものの、永久の研究課題と考えられる。省エネルギーを考えないエネルギー技術の開発はあってはならない。深夜電力の低コスト性に着目した技術開発についても、経済性の論議のみならず、「負荷平準化」による設備利用率の向上とそれに伴う設備投資の省エネルギー性をエネルギー分析によって評価できよう。

最後に、エネルギー収支分析は、計算方法に問題があるものの省エネルギーの観点からエネルギー技術の評価に有効であるものと考えている。

参 考 文 献

- 1) 科学技術庁資源調査会編；衣食住のライフサイクルエネルギー
- 2) 辻明宏；電力中央研究調査資料，No.176006
- 3) 茅 陽一編著；エネルギー・アナリシス
- 4) 辻明宏；中小水力発電のエネルギー評価，エネルギー・資源 5巻，1号（1984）P58～P64
- 5) 科学技術庁資源調査会編；自然エネルギーと発電技術

