

# ESCO事業における計測と評価

## Overview of Measurement and Verification

須田 文 隆\*

Fumitaka Suda

### 1. ESCO事業における計測と評価の重要性

ESCO事業は、施設オーナーが享受するメリットを“期待値型”から効果ギャランティという“確定値型”に転換したエネルギーサービスの事業形態とも定義できる。このようなビジネススキームが提案されると“省エネルギー効果の計量結果”は、オーナー及びESCO事業者にとってプロジェクト利益に直結する指標となる。

“省エネルギー効果の計量結果”とは何らかの省エネルギー化対策を実施した前後の消費エネルギーを同一の条件下で比較した値であるから、メーター等で直接計量できない。(図1)

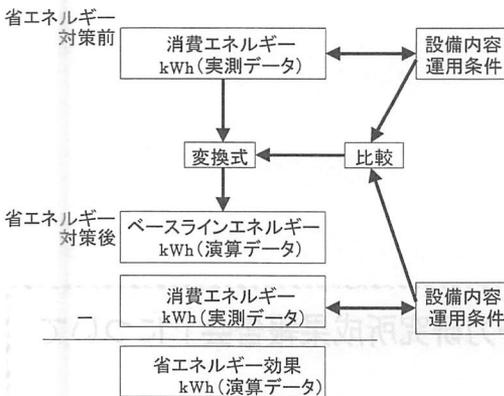


図1 省エネルギー効果算出プロセス

従って“省エネルギー効果の計量結果”を得るためのプロセスに対するオーナー及びESCO事業者の納得性がESCO契約における重要な要素となる。特にESCOプロジェクトの実施経験が少ない施設オーナーが理解し、納得しうる計測手法により“省エネルギー効果

の計量結果”を得ることは、オーナーとESCO事業者の信頼関係を強固にし、健全なESCO事業の発展に欠かせない要素技術となる。

“省エネルギー効果の計量結果”を得るプロセスにおける納得性は、計量精度の高さに大きく依存する。先に述べたように、一般的には対策前後のエネルギー計量値を直接比較できないため、“省エネルギー効果の計量結果”を得るプロセスは、対策後の計測・計量作業と対策後の計測・計量データを対策前のエネルギーデータに変換して比較する作業に分割される。従って両作業プロセスの精度をバランス良く設定し、適切な総合精度を得ることが重要となる。

ESCO事業におけるエネルギー計量は、常にビジネスベースで計画される。ESCOプロジェクトの目的は、利益の最大化であり、エネルギー計量にかかる費用は極力抑えることが望ましい。契約者双方が、納得できる精度の計量手法をいかに安価に計画するかが、ESCO事業における省エネルギー効果計量のポイントとなる。

### 2. 計測・評価計画の実際

計測・評価計画の具体内容は

- ①エネルギー計量のポイント(メーター)の決定
- ②消費エネルギー変動要因の抽出と消費エネルギーに対する変動影響の把握
- ③変動要因をパラメータとした省エネルギー対策前の消費エネルギー量基準の決定(ベースラインエネルギー)

の3ステップに分類される。

エネルギー計量ポイント(メーター)は、省エネルギー対策実施機器、装置の消費エネルギーを直接計量することが基本である。例えば空調ファンにインバータ装置を追加した省エネルギー対策においては、ファン動力の消費電力を計量することとなる。

しかしながら省エネルギー対策を実施する動力数が

\* 山武ビルシステム(株)事業推進部エネルギーエンジニアリンググループ次長

〒108-6030 東京都港区港南2-15-1

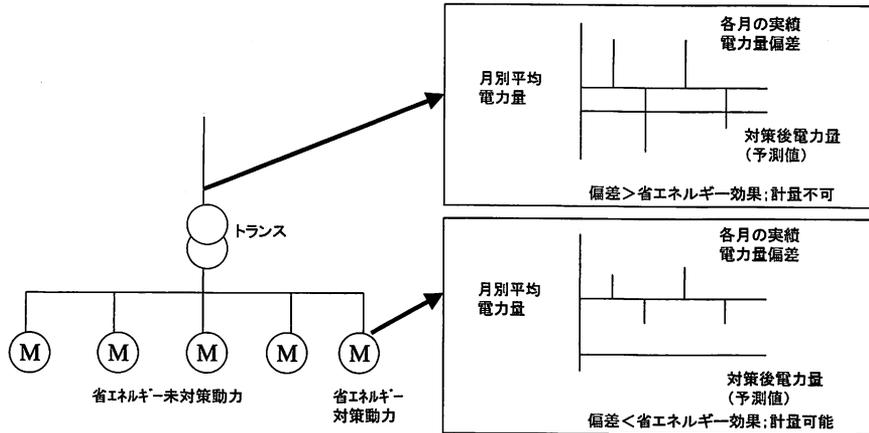


図2 エネルギー計量ポイントの決定

多くなると計量箇所も多くなり、計量コストが増大する。このようなケースでは、対象動力を含むフィーダーで計量する等の代替案を検討する必要がある。 (図2) フィーダーを計量対象として選定できるか否かは、期待される省エネルギー量が計量対象フィーダーの電力量変動に比較して充分大きいことが第一の条件となる。また流量、熱量等、計測器の選定により計測精度が大きく変わるデータ計測では、計測機器選定にも充分留意して計画する必要がある。

次に計量ポイントにおける計量データに対する変動要因の抽出と変動影響の定量化を実施する。このとき選定した計量ポイントにおける過去の記録データが無い場合は、対策前のエネルギーデータを予め収集する必要がある。また変動要因による影響を定量化する過程でエネルギーデータと同時期の変動要因データが必要となることもあり、変動要因データが得られない場

合は、両データを再度収集することも必要である。過去の記録データを使用する場合は、データ収集時点の設備・運用条件等が現状あるいは対策後と同等か否かを確認する必要がある。例えばインバータ装置を追加するポンプの電力量データを使用するとき、供給する負荷に明らかな差があるか否か、運転時間に差異があるか否か等、対策前後の設備・運用条件を明確しておく必要がある。

変動要因は、設計データ、エネルギーデータ、プロセスデータ、環境測定データ、運用ヒアリング等の情報から抽出され、影響が大きいファクターを選択し、要因変動とエネルギー変動を定量化する。(図3) これらの作業は常に得られる省エネルギー効果の大きさを念頭において進められる。

ベースラインエネルギーは、エネルギー消費に影響を及ぼす要因とエネルギー変動の関係を定義すること

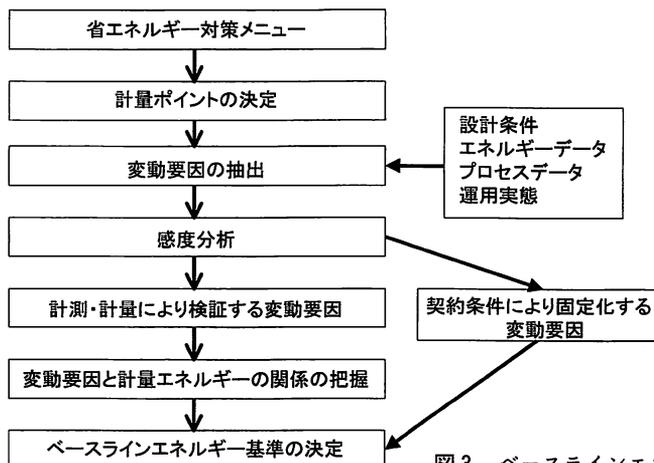


図3 ベースラインエネルギーの決定

により決定される。この関係式により省エネルギー対策後の変動要因データから省エネルギー対策前の消費エネルギーを想定できる。

例えば照明器具の高効率化における消費エネルギー変動要素は、点灯時間と経年劣化、電圧変動等が考えられる。経年劣化、電圧変動は対策前後で同一であるとすれば、点灯時間のみが変動要因と捉えることができ、対策前後の点灯時間が同一であれば、過去のエネルギー消費データをそのままベースラインエネルギーとすれば良いことがわかる。年間点灯時間に多少の差異があると思われる系統では、数年間の平均値を年間ベースラインデータとして採用する等の工夫が考えられる。

一方、空調熱源エネルギー等のように明らかにエネルギー消費が外気温度と関連するような場合、外気温度とエネルギー消費の相関を過去のデータから算出し、関係式を定義することでベースラインエネルギーデータ算出手法を定義する。

以上のように、計量場所と変動要因、ベースラインエネルギーデータが決定されると省エネルギー効果の計測・評価が可能となる。また実際のプロジェクトにおいては、将来変動が予想される運用項目等についても、変動時のベースラインエネルギー算出を検討、合意しておくことも大切な要素となる。

### 3. 計測と評価の事例－1－

ここでは、固定（一定）負荷に対する事例として照明（蛍光灯）効率向上対策の計測・評価を挙げる。

省エネルギー効果は

$$\begin{aligned} (\text{省エネルギー効果}) = \\ (\text{対策前照明電力量}) - (\text{対策後照明電力量}) \\ \text{と表現できる。} \end{aligned}$$

計測場所は、照明器具、各分電盤（照明・コンセント回路）、照明系フィーダー等が考えられる。

照明電力量の変動要因は、器具・ランプの劣化、電源電圧変動等も考えられるが、現実的には点灯時間のみを考慮に入れる。従って単位時間当りの電力量消費によりベースラインエネルギーを決定すれば良いことがわかる。

点灯時間が容易に把握できるあるいは点灯時間が施設オーナー・ESCO事業者間の合意として決められる場合、

省エネルギー効果は

$$(\text{省エネルギー効果}) =$$

$$\begin{aligned} (\text{旧器具の消費電力} - \text{新器具の消費電力}) \\ \times \text{改善灯数} \times \text{年間点灯時間} \end{aligned}$$

のように計算される。

このとき旧器具の消費電力は施工前に計測する。一般には数時間から1日程度の短い時間で十分な精度が得られる。また1カ所でのデータを複数ヶ所に増やすと得られるデータ数が増加し、計測精度が向上する。簡易的な計測としては、新器具の消費電力をカタログ値で代用することも可能である。

点灯時間は、実績点灯時間を計測する方法もあるが、通常運用ベースの点灯時間を一律に合意する簡易手法が一般的である。照明の効率改善は、運用等の工夫による効果変動が少ないことから詳細な計測・計量によるエネルギー分析が新たな省エネルギー効果を生むことは無く、コストをかけない計量計画が望ましい。

分電盤やフィーダーで計測する場合は、点灯時間を含めた運用条件が変化しないことや同時に計量せざるを得ないコンセント系電力量が改善工事前後で変化しない等の条件でベースラインを決定できる。但し長期的なコンセント系電力量の変化が把握できないとすれば、長期に渡る効果検証は困難である。

(省エネルギー効果) =

$$\begin{aligned} (\text{旧照明電力量} + \text{コンセント電力量}) \\ - (\text{新照明電力量} + \text{コンセント電力量}) \end{aligned}$$

以上のように固定負荷事例における計測と評価は比較的容易で安価である。

### 4. 計測と評価の事例－2－

次に変動負荷に対する事例として定速運転の冷水ポンプに可変速装置（インバーター装置等）を導入した場合の計測・評価を挙げる。先の固定負荷事例が1回の計測値（カタログ値）をベースに省エネルギー効果を求めたのに対し、変動負荷を対象とした省エネルギー効果計測は、長期に渡る計測データを基にしたエネルギー消費特性から求める必要がある。

省エネルギー効果は

$$\begin{aligned} (\text{省エネルギー効果}) = \\ (\text{対策前ポンプ電力量}) - (\text{対策後ポンプ電力量}) \\ \text{と表せる。} \end{aligned}$$

計測場所は、冷水ポンプ動力を直接計測する方法が一般的である。冷水ポンプを含む動力フィーダーでの計測は、他の動力の変動割合が大きく省エネルギー効果を評価できない場合が多い。

ポンプ消費電力量が変動する要因は、搬送冷水熱量、

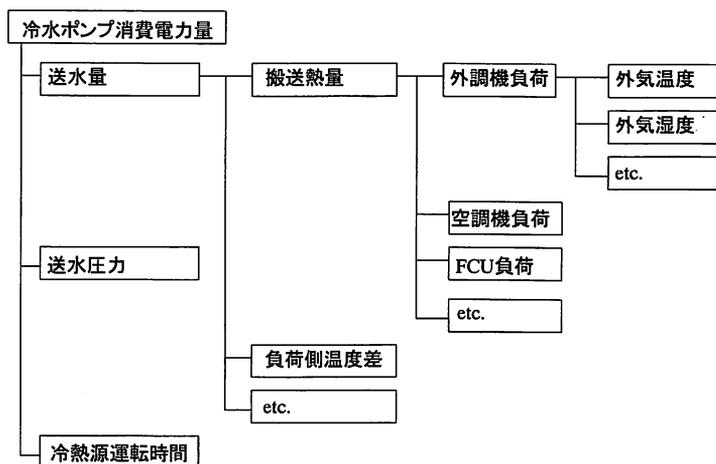


図4 冷水ポンプ消費電力量変動要因

搬送冷水量，等種々の要素が考えられる。またこれらの要因に影響を与える要素として，冷房運転時間，内部負荷の変動，外皮負荷の変動，あるいは外気温度変動等が挙げられる。このような諸要因の中でエネルギー消費に大きな影響を与えかつ安価に計測可能な要因を選定し施設オーナーとESCO事業者が変動パラメータとして合意する。(図4)このとき施設のエネルギー消費特性，負荷特性，運用実態等を十分に把握することで計測計画の簡易化，低コスト化が可能となる。

ここでは搬送冷水量をエネルギー変動要因としてベースラインエネルギーを決定する。

ベースラインエネルギーは，施工前の搬送水量と消費電力量の比により作成される。十分に施設の特性を把握できる計測期間について，ポンプ電力量と送水量を計測し，単位送水量当りのポンプ電力量を算出し，これに送水量を乗じた値をベースラインエネルギーとする。

省エネルギー効果は

$$\begin{aligned}
 (\text{省エネルギー効果}) &= \\
 &(\text{改善後送水量} \\
 &\times \text{改善前単位送水量当りのポンプ動力}) \\
 &- (\text{改善後消費電力量}) \\
 &= (\text{ベースライン電力量}) - (\text{改善後消費電力量})
 \end{aligned}$$

と表せる。

以上のように変動負荷事例における計測と評価は長期計測データを使用してベースラインエネルギーを決定する。省エネルギー効果算出の精度は，エネルギー及び変動要因の計測精度のみでなく，エネルギー変動要因の抽出と変動影響を定量化する手法にも依存する。

### 5. 計測と評価の事例－3－

最後に施設のエネルギー消費の特性から省エネルギー効果を算出する事例を紹介する。多くの省エネルギー対策を同時に導入した場合，個々の対策に対する効果を個別に計量することは非常に煩雑な作業であり，膨大なコストが発生する。このような場合，施設全体のエネルギー消費特性をベースラインエネルギーとして表すことで，全体効果を容易に把握できる。

省エネルギー効果は

$$\begin{aligned}
 (\text{省エネルギー効果}) &= \\
 &(\text{改善前の施設のエネルギー消費}) \\
 &- (\text{改善後の施設のエネルギー消費})
 \end{aligned}$$

と表される。

計測場所は，省エネルギー対策内容により異なる。照明に関わる対策だけであれば，照明フィードーのみでも計測可能であるが，これに空調対策も実施しておれば施設の動力用電力量，熱源ガス量も計測する必要がある。一般的にエネルギー消費機器に近い場所での計測を計画することが精度の観点からは重要であるが，対策効果全体を包含するポイントで計量する必要がある。

施設全体のエネルギー変動要因は，施設運用時間，空調内部負荷，空調外皮負荷，施設利用形態等，数多く挙げられる。ここでは事例として，暖房用ガス消費量が暖房運転時間と外気温度のみに依存するケースを検討する。

毎日の暖房運転時間が一定の施設において，1日の暖房用ガス消費量と運転時間中の外気平均温度を過去

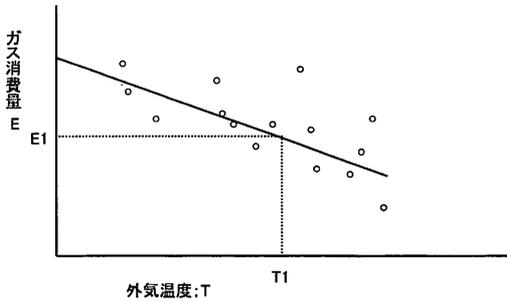


図5 ガス消費モデルからのベースラインガス量の算出

のデータから抽出して図を作成する。この各点を代表する特性として図の直線近似が成立すれば、施設運転時間における平均外気温度をパラメータとする暖房用ガス消費量ベースラインが作成される。(図5)

省エネルギー対策実施後に平均外気温度とガス消費量を計測することで、省エネルギー効果が算出される。

$$\begin{aligned}
 (\text{省エネルギー効果}) = & \\
 & (\text{平均外気温度より算出された} \\
 & \quad \text{ベースラインエネルギー量}) \\
 & - (\text{実測したエネルギー量})
 \end{aligned}$$

図5は最も単純なモデルであるが、これ以外にも種々のモデルが考えられる。

この手法においては、エネルギー変動要因の抽出とモデル化の適否が精度に影響を与える。一般にパラメータ数を多くするとモデル精度は向上するが、モデル作成は煩雑となり、コストは増大する。省エネルギー効果の期待量を考慮したコストと精度により計量計画を策定することが重要である。

## 6. 今後の課題

ここでは、NEMVP (North American Energy Measurement and Verification Protocol) の1996年3月版をベースにいくつかの計量手法を解説した。省エネルギーの計量・計測手法は常にコストも含めた

最適な手法の確立が求められており、米国ではシミュレーション技術をベースとしたM&V (Measurement and Verification) 手法も標準化されつつある。

またESCO事業における受託内容が運用やメンテナンスに関わる項目やコジェネレーションのようなエネルギーフローの変更が含まれる項目に拡大するにつれて、これらの効果を適切なコストで定量化する手法も求められる。

これらの計量手法は、広くESCO事業に利用されるものであることから、手法やツールは利用しやすいハイアラキーを意識して整備されることが望ましい。

計量手法の基本的な考え方をまとめた計量基準や具体的な手法の述べる手引き書類、実際の計量事例等ユーザーのニーズに応じたドキュメント体系の整備が急務である。

ESCO先進国の米国においては、International Performance M&V Protocol, Federal Energy Management Program M&V Guidelines, ASHRAE 14-P, Standard Performance Contract M&V Guidelines等多くのドキュメントが整備されている。

省エネルギーの計量手法は、施設オーナーが理解し納得することが重要である。そのためには、産学協同による研究事例の拡大や成果の公表、実施事例に対するオープンな議論を通じて、計量手法が社会的なコンセンサスを獲得することが必要となる。

我が国におけるESCO事業は緒についたばかりである。今後のESCO事業の着実な発展には、省エネルギー効果の計量手法の確立と社会認知が不可欠である。

## 参考文献

- 1) U. S. Department of Energy ; North American Energy Measurement and Verification Protocol (1996)