

# 建物・工場における省エネ診断ツールの作成と効果検証

種谷 卓希

## 1. はじめに

地球温暖化対策として、日本政府はCO<sub>2</sub>などの温室効果ガスの排出量を 2030 年度に 2013 年度比で 46%削減することを表明した。しかし、既存建物での省エネは進んでおらず、省エネ診断等によって、運用の改善と設備の改修を進めていく必要がある。省エネ診断については様々な企業や団体が取り組んでいるが、診断をサポートする効果的なツールは十分には開発されておらず、特に短時間の診断で効果が大きい項目を抽出し、経済的メリットも含めて提示するツールが求められている。そこで本研究では、対象建物を訪問した際に、専門知識を持つ調査員が、その場で得た情報を入力して効果の提示に用いることを前提として、短時間で入力できる省エネ診断ツールの開発に取り組んだ。

## 2. ツールの概要

### 2.1. ツールのコンセプトと仕様

本研究で作成する省エネ診断ツール（以下、本ツールとする）は Excel ソフトを用いて作成した。実際に建物に赴き、一定の項目を実測し、Excel のセル上に入力することで、各分類別の現状電力消費量や改善後電力消費量、電気代削減量などが自動的に算出され、表示されるというシンプルな構成になっている。省エネ項目の選定では、(財) エネルギーセンターが発行する「ビルの省エネルギーガイドブック 2021」と「工場の省エネルギーガイドブック 2021」を参考にし、省エネルギーセンターが過去の省エネ診断で提案した改善項目のうち件数が多いものを抽出し、省エネ項目を照明、

空調、工場特有の省エネ項目の 3 つに大きく分類した。

### 2.2. 照明

#### 2.2.1. ①照明の適正化

照明分野の 1 つ目の省エネ項目は、「①照明の適正化」である。入力項目は、現状と改善後の点灯率選択  $\alpha_{11}$ ,  $\alpha_{12}$  (0.6~1.0)、現状と改善後の作業面照度  $E_{11}$ ,  $E_{12}$  (lx)、現状の照明器具消費電力  $P_{11}$  (W/台)、現状と改善後の照明器具台数  $n_{11}$ ,  $n_{12}$ 、照明器具の点灯時間  $h_{11}$ ,  $h_{12}$  (h/月) となる。点灯率の選択は、人感センサの有無が関係してくる要素であり、プルダウンで 0.6~1.0 という数値を選択する方式となっている。この数値については参考文献 1)~3) を基に、人感センサの導入により最大約 40%の電力削減が見込めると判断した。これにより現状電力消費量  $W_{11} = \alpha_{11}P_{11}n_{11}h_{11}$  の式で求めることができる。また  $E_{12}$  の入力により、改善後の目標とする照度が小さくなり、消費電力や必要台数が小さくなるため、改善後の照明の消費電力  $P_{12} = P_{11}(n_{11}E_{12}/n_{12}E_{11})$  となる。この  $P_{12}$  を利用して、改善後電力消費量  $W_{12} = \alpha_{12}P_{12}n_{12}h_{12}$  の式で求め、その差をとって削減電力消費量を算出する。実際の本ツールの①照明の適正化シートの画面を図 1 に示す。

#### 2.2.2. ②LED 誘導灯の採用

照明分野の 2 つ目の省エネ項目は、「②LED 誘導灯の採用」である。入力項目は、現状と改善後の誘導灯消費電力  $P_{21}$ ,  $P_{22}$  (W/台)、現状と改善後の誘導灯台数  $n_{21}$ ,  $n_{22}$ 、現状と改善後の誘導灯点灯時間  $h_{11}$ ,  $h_{12}$  (h/月) となる。点灯時間については、誘導灯の場合 24 時間 365 日点灯していることがほとんどであるため、基本

①照明の適正化														
現状の照明状況							改善後の照明状況							
名前・場所	(lx)		(W/台)		(h/月)		(kWh/月)	(lx)		(W/台)		(h/月)		(kWh/月)
	照度	点灯率	消費電力	台数	点灯時間	現状電力消費量		照度	点灯率	台数	想定消費電力	点灯時間	改善後電力消費量	
講義室	800	1	73	13	180	170.8	600.0	1	13	54.8	180	128.1	42.7	
製図室	1000	1	73	20	180	262.8	800.0	0.9	16	73.0	150	157.7	105.1	
応接室	700	1	150	8	60	72.0	500.0	1	6	142.9	60	51.4	20.6	
製造工場	1000	1	150	9	180	243.0	800.0	1	9	120.0	180	194.4	48.6	
倉庫	700	1	150	3	180	81.0	300.0	0.8	2	96.4	120	18.5	62.5	
食堂	600	1	73	15	30	32.9	500.0	1	12	76.0	30	27.4	5.5	
事務室	900	1	80	9	180	129.6	700.0	1	6	93.3	160	89.6	40.0	
						0.0				#DIV/0!		#DIV/0!	#DIV/0!	
						0.0				#DIV/0!		#DIV/0!	#DIV/0!	
						0.0				#DIV/0!		#DIV/0!	#DIV/0!	
						0.0				#DIV/0!		#DIV/0!	#DIV/0!	
	照度計読み取り		型番から読み取り			992.1	照度計読み取り	読み取り				667.1	325.0	

図 1: 「①照明の適正化」の画面と入力例



力の関係のグラフを図3に示す。またインバータ効率 $\alpha_5$ の算出は2.3.2と同様に、モーター負荷率を関数に当てはめて算出する。この項目でのモーター負荷率は、 $L_5 = I_{52}/I_{51}$ で求める。以上から、現状電力消費量 $W_{51} = P_{51}L_5h_{51}SHP_1$ 、改善後電力消費量 $W_{52} = P_{51}L_5h_{52}(v_{52}/v_{51})^3/\alpha_5$ で算出されるため、これらの差をとって削減電力消費量を求める。

## 2.4. 工場特有の省エネ項目

工場特有の省エネ項目は、「⑥吐出圧力の適正化」、「⑦エア配管の漏れ防止」、「⑧コンプレッサインバータ制御」の3つとなっているが、この3種類の要素は全てコンプレッサが関係しており、照明や空調のようにそれぞれの省エネ項目を独立したものとして扱うことはできない。従ってこの分野に関しては、3種の省エネ要素を⑥→⑦→⑧と順番に行っていくこととした。

### 2.4.1. ⑥吐出圧力の適正化

⑥では、コンプレッサの圧力調整弁の調節により、吐出圧力を小さくした場合の省エネ効果について評価する。入力項目は、制御方法の選択（オンロード・アンロードかインバータを選択）、コンプレッサ定格出力 $P_6$  (kW)、圧縮段階の選択（1段 or 2段）、運転時間 $h_6$  (h/月)、調整前と調整後の圧力調整弁圧力 $p_{61}$ ,  $p_{62}$  (MPa)を制御方法に関わらず入力する。オンロード・アンロードの場合は加えてオンロード時間 $t_{on}$  (s)、アンロード時間 $t_{un}$  (s)、インバータの場合は加えて定格電流 $I_{61}$  (A)、実測電流 $I_{62}$  (A)、定格周波数 $v_{61}$  (Hz)、運転周波数 $v_{62}$  (Hz)、インバータ機種の選択（2.3.2.と同様）となる（この項目でのインバータ効率を $\alpha_6$ とする）。モーター負荷率の算出が必要となるが、オンロード・アンロードの場合は $L_6 = (t_{on} + 0.25t_{un})/(t_{on} + t_{un})$ 、インバータの場合は $L_6 = I_{62}/I_{61}$ で算出する。これにより、現状電力消費量 $W_{61} = P_6L_6h_6$ （オンロード・アンロード）、 $W_{61} = P_6L_6h_6(v_{62}/v_{61})^3/\alpha_6$ （インバータ）の式で求められる。次に圧力調整弁調節前後の動力比 $\beta_6$ を、1段圧縮機・2段圧縮機それぞれにおいて実測により得られた吐出圧力—理論所要動力関係の関数に前後の吐出圧力を代入したものの比を求めることにより算出する。圧縮段階ごとの吐出圧力—理論所要動力関係と、前後の動力比 $\beta_6$ の算出方法を表2に示す。これにより、改善後電力消費量 $W_{62} = \beta_6W_{61}$ の式で求め、その差をとって削減電力消費量を算出する。

### 2.4.2. ⑦エア配管の漏れ防止

⑦については、エア漏れを発見して塞ぐことによる省エネ効果について評価する。この項目では漏れ率の測定を行い、その値に⑥から引き継いだコンプレッサの定格事項等を当てはめて電力消費量を求める。漏れ

率の測定は、配管の末端を閉鎖してからコンプレッサの運転を開始し、上限圧力 $p_{61}$ に達したらコンプレッサを停止する。その後停止時からの漏れにより圧力が減少し下限圧力 $p_{62}$ になるため、このときの $p_{62}$ から $p_{61}$ になった時間 $t_1$ および $p_{61}$ から $p_{62}$ になった時間 $t_2$ を計測することで測定する。これにより、コンプレッサの漏れ率 $L_p = t_1/(t_1 + t_2)$ で求められる。また、改善後の目標漏れ率を0.2MPaとし、前後の漏れ率比 $\beta_7 = 1 - (L_p - 0.2)$ で求めることができるため、改善後の電力消費量 $W_{72} = \beta_7W_{62}$ で求めることができる。これと $W_{62}$ の差をとることで⑦での削減電力消費量が分かる。

### 2.4.3. ⑧コンプレッサインバータ制御

⑧では、現在オンロード・アンロード運転で制御しているコンプレッサをインバータ化した際の省エネ効果について評価する。入力項目は、定格周波数 $v_{81}$  (Hz)と運転周波数 $v_{82}$  (Hz)のみであり、その他コンプレッサの定格事項は⑥から引き継いだものを用いる。また、この項目の対象となるのは、⑥において制御方法をオンロード・アンロード運転と選択したもののみである。以上から、改善後電力消費量 $W_{82} = W_{72}(v_{82}/v_{81})^3$ の式で求められ、 $W_{72}$ との差をとって、⑧での削減電力消費量を求める。

## 2.5. 合計シート

本ツールには、①～⑧それぞれの省エネ項目での月ごとの現状消費電力量、改善後電力消費量、電力削減量、削減電気代とそれらの合計をまとめた「合計シート」を組み込んでいる。ただ、削減電気代の算出にあたり、

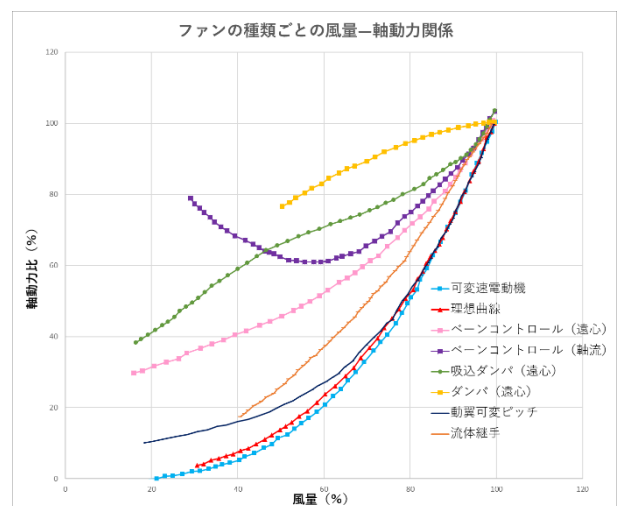


図3：風量と軸動力の関係<sup>4)</sup>

表2：圧縮段階ごとの吐出圧力—理論所要動力関係と、前後の動力比 $\beta_6$ の算出方法

1段圧縮	$f(x) = -1.6517x^2 + 6.5563x + 0.907$
2段圧縮	$f(x) = -1.465x^2 + 5.3533x + 0.9583$
前後の動力比	$\beta_6 = f(p_{62})/f(p_{61})$

各電力会社の電気代プランにおける従量単価(円/kWh)の入力を行う必要がある。

### 3. ツールの運用と効果検証

#### 3.1. 工場の運用結果とその分析

本ツールの精度確認や運用検証のため、まず工場において本ツールを使用した。工場での実測においては設備の関係で、①③⑥⑧のみ運用を行った。ただし、空調機器更新については実現可能性の点から行わなかった。工場での運用結果の合計シートを図4に示す。

運用結果から、項目内では③→①→⑧→⑥の順に電力削減量が大きく、③だけで全体の約79%の省エネ効果となっている。電気代としては、約29000円の削減となった。照明、空調両項目において、面積が大きい部屋の方がより大きな省エネ効果を得やすいという結果となっているため、この工場においてはなるべく大きな部屋に対して、③や①を優先的に行うことで、効率の良い省エネができるということが判明した。

#### 3.2. オフィス空間の運用結果とその分析

オフィス空間でも運用を行い、今回は大学の研究室の一室を用いて実測を行った。オフィス空間においては①②③の運用を行った。ただし、空調機器更新については、空調が高性能の物であったため行わなかった。オフィス空間での運用結果の合計シートを図5に示す。

運用結果から、②においては省エネ効果がほとんど見込めず、実質①と③のみの省エネ効果となった。工場での実測と同様にやはり空調設定温度調節による効果が最も大きいという結果になっている。電気代としては約9100円の削減となった。この建物では、空調の設定温度をこまめに調節するということや、窓際の空間において、明るすぎる場合にはなるべく照明をつけないことが効率的であるとともに、これはキャンパス内の一つの建物の、一つの部屋のみでの効果のため、

この省エネ項目を全キャンパス内で総力を挙げて行えば、莫大な効果を得られるということも分かった。

#### 4. おわりに

本研究のツールの作成では、簡易的に省エネ効果を算出できるということを目指していた。今回実測を行った工場では4項目で1時間強、オフィス空間では3項目で30分ほどと短い時間で行うことができたので簡易性という面では目標を達成できたと考える。ただ、今回の実測では④⑤⑦については運用を行えていないのと、②や工場特有の省エネ項目全般においては大きな省エネ効果が見込めないという結果が出たため、大きな省エネ効果を効率よく得る、という点では課題が見えた。そのため今後はより多くの実測を行い精度を高めるとともに、省エネ項目の見直しを行うことで、さらに高効率な省エネ診断ツールの作成を目指す。

【謝辞】本研究にあたり、(株) コンシェルジュ小嶋卓二様、堀川弘様、(株) 上野製作所の皆様に多大なご協力を頂きました。深く感謝申し上げます。

#### 【参考文献】

- 1). 小野林功昇, 三木光範, 榎原佑樹, 池上久典, 間博人: 人感センサを用いた照明制御システムと知的照明システムの消費電力削減効果の比較, 同志社大学理工学研究報告, 55巻, 2号, pp.202-208, 2014.7
- 2). 一般社団法人 日本照明工業会: 「照明制御装置による消費電力削減効果の評価手法」, 技術資料 130-2001
- 3). 電気設備学会 地球環境委員会: 高効率照明、照明の制御 ([https://www.ieiej.or.jp/activity/environment/pdf/2015\\_reconsideration03.pdf](https://www.ieiej.or.jp/activity/environment/pdf/2015_reconsideration03.pdf)), 2023年1月参照
- 4). 尾形俊輔編著 「改訂 ファン・ブロウ」(財) 省エネルギーセンター p.10, 11, 147 (2003年)

	照明			空調				工場			総合計	
	照明の適正化	LED誘導灯の採用	照明合計	設定温度調節&機器更新	ポンプインバータ化	ファンインバータ化	空調合計	吐出圧力の適正化	エア配管の漏れ防止	コンプレッサインバータ制御		工場合計
現状電力消費量 (kWh/月)	962.2	0.0	962.2	12515.8	0.0	0.0	12515.8	127.9			127.9	13605.9
改善後電力消費量 (kWh/月)	733.4	0.0	733.4	10307.9	0.0	0.0	10307.9	22.3			22.3	11063.6
電力削減量 (kWh/月)	228.8	0.0	228.8	2207.8	0.0	0.0	2207.8	15.6	0.0	90.0	105.6	2542.3
削減電気代(円/月)	¥2,655	¥0	¥2,655	¥25,611	¥0	¥0	¥25,611	¥181	¥0	¥1,044	¥1,225	¥29,490.7

図4：工場での運用における合計シート

	照明			空調				工場			総合計	
	照明の適正化	LED誘導灯の採用	照明合計	設定温度調節&機器更新	ポンプインバータ化	ファンインバータ化	空調合計	吐出圧力の適正化	エア配管の漏れ防止	コンプレッサインバータ制御		工場合計
現状電力消費量 (kWh/月)	167.7	8.2	175.9	4949.2	0.0	0.0	4949.2	0.0			0.0	5125.2
改善後電力消費量 (kWh/月)	130.9	5.8	136.6	4454.3	0.0	0.0	4454.3	0.0			0.0	4591.0
電力削減量 (kWh/月)	36.8	2.4	39.3	494.9	0.0	0.0	494.9	0.0	0.0	0.0	0.0	534.2
削減電気代(円/月)	¥626	¥42	¥668	¥8,414	¥0	¥0	¥8,414	¥0	¥0	¥0	¥0	¥9,081.3

図5：オフィス空間での運用における合計シート