

設備更新等による CO₂ 削減効果の算定ツール (変圧器の高効率化、統合)

[本ツールの目的]

設備更新の効果算定ツール（変圧器の高効率化、統合）（以下、本ツールという）は、変圧器の高効率化および統合更新の効果を変圧器の特性（容量[kVA]、負荷損[W]、無負荷損[W]）と電力会社から提供される電力スマートメータによる事業所の電力使用量データから簡易に推算し、設備更新の計画策定に資することを目的としたものである。

[本ツールの特徴]

変圧器の損失は、負荷損失と無負荷損失の合計として与えられるが、負荷損失は、負荷率の 2 乗に比例するが、無負荷損失は電源が接続されている限り一定に発生するものである。したがって、変圧器の損失の算定精度は負荷率をいかに精度よく把握するかに尽きる。本ツールでは、電力会社の提供する電力スマートメータの値を活用して負荷率を算出するもので、何ら電流や電力を実測することなく変圧器損失を算定できることを最大の特長とする。電力スマートメータで得られるデータは、事業所（変電所、キュービクル）全体の 30 分積算電力量であるが、事業所に複数ある変圧器のそれぞれに流れた電力量は不明である。ここでは、これを変圧器容量に比例する（各変圧器の負荷率は同一）として内分する。本算定手法の性格上、これが限界である。

本ツールでは、空調用電力のように季節変動の大きな場合に対応するため、変圧器の損失算定は月毎に行っている。さらに、算定精度を上げるため平日の日中のように負荷率の高い高負荷時間帯と平日の夜間、および休日の負荷率の低い低負荷時間帯に分けて、それぞれの平均負荷率算出の上、負荷損失を求め、これにそれぞれの月の時間数を乗じて当月の負荷損失量としている。詳細は、巻末の Appendix に記載のとおりである。

[使用条件]

本ツールは、更新前・後の変圧器の特性（定格容量[kVA]、負荷損[W]、無負荷損[W]）が既知で、電力スマートメータのデータ（30 分毎の使用電力量）の入手が可能な場合に限り使用できる。電力スマートメータのデータの入手が不可能な場合には本ツールを使用できないため、CO₂ 削減対策の効果算定ガイドライン等を参照し、算定する必要がある。

[本ツールの適用範囲]

本ツールは、設備更新の効果を簡易的に把握するために開発されたものであり、他の目的に利用することは想定されていない。

[免責事項]

本ツールは、あらゆる入力に対して正しい計算結果が得られることを保証するものではない。計算結果の取り扱いについては自己責任とすることに同意できる場合のみ使用できる。

[本ツールの改訂]

本ツールは予告なく改訂される場合がある。利用の際には、環境省ウェブサイトから最新版を入手し、使用していただきたい。

[本ツールの使い方]

本ツールを使用するにあたっては、初めにシート【1 フローチャート】で更新設備が本ツールの適用範囲にあることを確認し、利用可能であればシート【2-1 性能情報入力シート】に更新前後の変圧器の基本性能および負荷条件を入力し、シート【2-2 電力使用量入力シート】に電力スマートメータ出力から毎月の代表日データを入力することにより、更新前後の CO₂ 排出量や CO₂ 削減効果、エネルギーコストなどがシート【3 算定シート】に出力される。

なお、電力料金については、電力供給会社の単価を入力することで算定される。

シート【2-1 性能情報入力シート】および【2-2 電力使用量入力シート】は、Step 1 から Step7 の操作により導入前後の変圧器の電力損失量等が自動的に計算・出力される。ここでは Step を追って入力方法について例を挙げて説明する。

1. 効果算定のための条件入力【2-1 性能情報入力シート】

利用者の選択が必要なセルは緑、入力する必要があるセルは黄色、自動計算にて表記される箇所は青に着色されている。

以下、Step1 から 6 の操作について説明する。

セルの説明	
	チェックボックスを選択してください
	数値を入力してください
	自動で表示されます(入力不可です)

【図 1 セル色別の説明】

Step1 現在使用中の変圧器の基本性能、すなわち、定格容量[kVA]、負荷損[W]、無負荷損[W]の入力。変圧器の単相（電灯）、三相（動力）の区分は、計算処理上は不要であるが基本情報のため選択入力とする。

また、同一性能の変圧器が複数ある場合はその数だけ記載する。

ただし、同一事業所に複数の受電設備がある場合(電力会社との契約が複数ある場合)は、それぞれについて本ツールを別々に適用することになる。

Step 1	既存の変圧器の性能情報を入力してください								
	[No]	1	2	3	4	5	6	7	
	交流相数	三相	単相	単相					
	容量[kVA]	200	100	100					
	負荷損[W]	2900	1450	1450					
	無負荷損[W]	600	260	260					

【図2 step1 入力画面】

Step2 導入予定の変圧器の基本性能を入力。入力方法は Step1 と同様である。

導入前・後の総容量は、ほぼ同一であることが原則だが、設備の電化や、化石燃料使用の自家発電設備の廃止等、CO₂ 排出量削減に資する対策に伴う容量増加はその限りではない。

また、現在使用中の変圧器容量が過大と認められる場合の変圧器の統合による総容量の減少は可能で、そして、統合の場合は変圧器の性能は更新前後で同一で総容量のみ減少でも効果算定は可能である。

Step 2	導入予定の変圧器の性能情報を入力してください								
	[No]	1	2	3	4	5	6	7	
	交流相数	三相	単相	単相					
	容量[kVA]	200	100	100					
	負荷損[W]	2140	1160	1160					
	無負荷損[W]	315	135	135					

【図3 step2 入力画面】

Step3 平日（高負荷日、すなわち、操業、営業、または業務が行われ、電力使用量の多い日）日数を月毎に入力する。

うるう年が対象の場合、表記のチェックボックスへチェックを入れる。

Step 3	平日（高負荷日）（操業、営業、または業務が行われる）日数を月毎に入力してください。							☐ うるう年の場合にチェックが入っていないと、正しい数値が算出されません					
	月	4月	5月	6月	7月	8月	9月	10月	11月	12月	1月	2月	3月
	稼働日数[日]	21	20	20	22	20	23	23	22	23	22	20	23

【図4 step3 入力画面】

Step4 平日の始業および終業時間を月毎に入力。通常、年間を通じて同一の場合が多いと思われるが夏時間を採用している場合を想定して、月毎入力とする。また電力データ入力が30分毎であるため、30分単位の入力とする。ここで端数（15分等）が出た場合は、適宜前又は後へシフトして下さい。

Step 4	平日の稼働時間（始業時間、終業時間）を30分単位で入力してください														
	月	4月		5月		6月		7月		8月		9月		10月	
	稼働時間	時	分	時	分	時	分	時	分	時	分	時	分	時	分
	始業時間	08		08		08		08		08		08		08	
	終業時間	18		18		18		18		18		18		18	

【図5 step4 入力画面】

Step5 電力会社の請求書に記載の月毎の力率[%]を入力。変圧器の負荷率は、2次側の皮相電力[kVA]を変圧器の定格容量[kVA]の総量で除して求められる。電力スマートメータからの有効電力[kW]を力率で除して皮相電力に変換するためである。

Step 5	月毎の電力会社請求書に記載の力率を入力してください												
	月	4月	5月	6月	7月	8月	9月	10月	11月	12月	1月	2月	3月
	力率[%]	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100

【図6 step5 入力画面】

Step6 基準年の電力単価[円/kWh]を入力する。

Step 6	基準年度の電力単価(円/kWh)を入力してください。	
	電力単価[円/kWh]	30

【図7 step6 入力画面】

2. 効果算定のための条件入力【2-2 電力使用量入力シート】

Step7 電力会社から入手した電力使用量のデータ表記と同じ向きの表を選び、対象の表のチェックボックスへチェックを入れた後、コピー＆ペーストする方法で入力する。

入力データは、毎月平日の1日分のデータを基に算定を行うので、10日を月の代表日とし、10日が休日の場合は、翌平日のデータを選択し、30分毎の電力量データ[kWh]を入力してください。1年度分(12回)の入力が必要になります。その他、ツールに記載の注意事項に従い行ってください。

☒ 【表1：横入力用】

30分毎の 4月から 始まる平 日(10日 ※休日の 場合は翌 平日)の 電カス マート メータ出 力を入力 して下さ い	時間帯 月	0:00 0:30	0:30 1:00	1:00 1:30	1:30 2:00	2:00 2:30	2:30 3:00	3:00 3:30	3:30 4:00	4:00 4:30	4:30 5:00	5:00 5:30
	4月	3.6	3.6	3.6	3.6	3.6	3.6	3.6	3.6	3.6	3.6	3.6
	5月	3.6	3.6	3.6	3.6	3.6	3.6	3.6	3.6	3.6	3.6	3.6
	6月	3.6	3.6	3.6	3.6	3.6	3.6	3.6	3.6	3.6	3.6	3.6
	7月	3.6	3.6	3.6	3.6	3.6	3.6	3.6	3.6	3.6	3.6	3.6
	8月	3.6	3.6	3.6	3.6	3.6	3.6	3.6	3.6	3.6	3.6	3.6
	9月	3.6	3.6	3.6	3.6	3.6	3.6	3.6	3.6	3.6	3.6	3.6
	10月	3.6	3.6	3.6	3.6	3.6	3.6	3.6	3.6	3.6	3.6	3.6
	11月	3.6	3.6	3.6	3.6	3.6	3.6	3.6	3.6	3.6	3.6	3.6
	12月	3.6	3.6	3.6	3.6	3.6	3.6	3.6	3.6	3.6	3.6	3.6
	1月	3.6	3.6	3.6	3.6	3.6	3.6	3.6	3.6	3.6	3.6	3.6
	2月	3.6	3.6	3.6	3.6	3.6	3.6	3.6	3.6	3.6	3.6	3.6
	3月	3.6	3.6	3.6	3.6	3.6	3.6	3.6	3.6	3.6	3.6	3.6

☐ 【表2：縦入力用】

30分毎の4月から始まる平日(10日※休日の場合は翌平日)のスマートメータ出力を入力して下さい												
時間帯 月	4月	5月	6月	7月	8月	9月	10月	11月	12月	1月	2月	3月
0:00 0:30												
0:30 1:00												

【図8 step7 入力画面】

注：変圧器に対応する入力欄のすべてに数値を入力しなければ、正しい計算結果が表示されないため、算定結果の数値に疑義がある場合は、入力漏れや入力場所の間違いがないか確認してください。

3. 変圧器の算定結果

算定結果は、シート【3 算定シート】(図9) のとおり、既存変圧器と導入予定変圧器の電力損失量、CO₂ 排出量等の推計結果が出力される。

簡易的なものではあるが、設備更新の効果を把握するためにご活用ください。

効果の算定結果			
項目	対策前		対策後
変圧器総容量(kVA)	400		400
変圧器負荷損 (kWh/年)	383		293
変圧器無負荷損 (kWh/年)	9,811		5,125
変圧器全損失 (kWh/年)	10,194		5,418
CO ₂ 排出量 (t-CO ₂ /年)	4.465		2.373
CO ₂ 削減量 (t-CO ₂ /年)			2.092
電気料金 (円/年)	305,825		162,528

CO ₂ 排出係数	電気	0.438	t-CO ₂ /千kWh
----------------------	----	-------	-------------------------

既存機			導入機		
月	等価平均負荷率		月	等価平均負荷率	
	高負荷時 (%)	低負荷時 (%)		高負荷時 (%)	低負荷時 (%)
4月	10.1%	2.5%	4月	10.1%	2.5%
5月	8.3%	2.8%	5月	8.3%	2.8%
6月	12.8%	3.6%	6月	12.8%	3.6%
7月	19.2%	4.1%	7月	19.2%	4.1%
8月	21.4%	5.0%	8月	21.4%	5.0%
9月	20.4%	4.7%	9月	20.4%	4.7%
10月	11.2%	3.8%	10月	11.2%	3.8%
11月	9.2%	2.8%	11月	9.2%	2.8%
12月	12.3%	3.8%	12月	12.3%	3.8%
1月	14.0%	3.8%	1月	14.0%	3.8%
2月	17.8%	4.1%	2月	17.8%	4.1%
3月	14.0%	3.8%	3月	14.0%	3.8%

図9 既存設備と導入設備の推算画面の例

Appendix

先に説明した通り、負荷率は、負荷側の皮相電力[kVA]を変圧器定格容量[kVA]で除して求めるが、電力スマートメータから得た積算電力量[kWh/30min]を 30 分平均電力[kW]に変換し、これを電力会社請求書に記載の力率で除して皮相電力[kVA]を求めた。

月の平日（電力使用量の多い日、店舗などで休日である場合もある）の 1 日を代表日（毎月 10 日、10 日が休日の場合は翌平日）として選定し当日の電力スマートメータの値を読み込み、以下により月の変圧器損失を求めている。

上記、代表日の稼働時間（ex.8～18 時）内は変圧器の高負荷率時間帯で、他（0～7, 19～23 時）は、休日の 24 時間と併せて低負荷率時間帯としてそれぞれの平均負荷率を算出し、負荷損を求め、これにそれぞれの時間を乗じて負荷損失を求める。

算出式の詳細は以下の通りである。

W	:	変圧器全損失[kWh/月]（負荷損,無負荷損と識別するため "全"とする） $= Wc + Wi$	(1)
Wc	:	負荷損失[kWh/月] $= (Pc/1000) \times (Rew^2 \times tws + Reo^2 \times tos)$	(2)
Wi	:	無負荷損失[kWh/月] $= (Pi/1000) \times 24 \times (Dw + Dh)$	(3)
Pc	:	負荷損[W]変圧器固有の性能で、仕様書等に表示される。	
Pi	:	無負荷損[W]変圧器固有の性能で、仕様書等に表示される。	
Rew	:	高負荷時等価平均負荷率[－] 平日（高負荷日）日中	
Reo	:	低負荷時等価平均負荷率[－] 平日夜間、休日	
tws	:	高負荷時運転時間[h/月] $= (Ie - Is) \times Dw$	(4)
tos	:	低負荷時運転時間[h/月] $= (24 - (Ie - Is)) \times Dw + 24 \times Dh$	(5)
Dw	:	平日日数[日/月]（高負荷日）	
Dh	:	休日日数[日/月]（低負荷日）	
Is	:	始業時間（ex.8）	
Ie	:	終業時間（ex.18）	
Re	:	等価平均負荷率[－] $= \sqrt{\{(1 \div T) \sum (2 \times XXk \div Pf \div K)^2 \times \Delta T)\}} \quad k: 1, 48$	(6)
T	:	計測時間[h/日] 高負荷時（Tw）と低負荷時（To）のそれぞれ	
XX	:	計測電力量[kWh/30min]電力スマートメータからの入力	

Pf	:	力率[－]電力会社請求書に記載の値（月毎）	
K	:	変圧器の総容量[kVA] $= \sum (Y_i) \quad i=1, n$	(7)
n	:	変圧器台数	
Y	:	変圧器容量[kVA]	
ΔT	:	計測間隔（=0.5 h）	
Z(i)	:	変圧器 (i)の 年間全損失[kWh/年] $= \sum W(i, j) \quad j=1, 12$ 全損失の年間集計	(8)
W(i, j)	:	変圧器 (i) の (j) 月の全損失[kWh/月]	
Zt	:	全変圧器 の 年間全損失[kWh/年] $= \sum Z(i) \quad i=1 \sim n$ （変圧器台数）	(9)

注：式（6）におけるXXに乗じている係数2は、積算電力[kWh/30min]
を瞬時電力[kW]に変換するためのもの。

式（6）は、高負荷時および低負荷時に対する共通式であるが、
時間帯により高負荷時（添え字 w）、低負荷時（添え字 o）で使い分ける。

添字

c	:	負荷損
i	:	無負荷損
w	:	高負荷時
o	:	低負荷時

以上の計算式は、更新の前後で共通である。そして、その効果は次により算出される。

ΔC	=	$C1 - C2$	(10)
C1	=	$Zt1 \times \alpha$	(11)
C2	=	$Zt2 \times \alpha$	(12)
ΔE	=	$E1 - E2$	(13)
E1	=	$Zt1 \times f$	(14)
E2	=	$Zt2 \times f$	(15)

ΔC	:	CO ₂ 削減量[t-CO ₂ /年]
C	:	CO ₂ 排出量[t-CO ₂ /年]
Zt	:	変圧器全損失[kWh/年]
α	:	電力の CO ₂ 排出係数 : 0.438[t-CO ₂ /千 kWh]
ΔE	:	電気料金削減量[円/年]
E	:	電気料金[円/年]
f	:	電気料金単価[円/kWh]

添字

1	:	更新前
2	:	更新後