

設備更新等による CO₂ 削減効果の算定ツール (工業炉の燃料転換)

[本ツールの目的]

設備更新の効果算定ツール（工業炉の燃料転換）（以下、本ツールという）は、工業炉の燃料転換の効果を基本性能と燃料使用量から簡易に推算し、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]

本ツールは、設備更新等の効果を簡易に推算するために、Step 1～5 の入力を行えば、工業炉の対策実施前の燃料使用量から対策実施後の燃料使用量を求められるようにしている。燃料転換の場合、燃料は対策前後のエネルギー使用量が同一となるように、総発熱量（高位発熱量）を基準としている。

[使用条件]

1. 本ツールは、更新の対象となる工業炉の燃料使用量が、購買伝票あるいは精度管理された計量器で把握できている場合や、動作原理等に基づいて合理的に概算できる場合である。
2. 本ツールの対象とする工業炉は、一般的に普及している燃焼炉としている。以下の工業炉は対象外のため、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。
 - (1) 電気炉（抵抗加熱炉、誘導加熱炉、アーク炉、マイクロ波加熱炉等）
 - (2) 炉内の装入物の反応により、炭素を含む可燃性ガスを発生する以下の工業炉
 - ・ 金属用溶解炉（高炉、転炉、キューポラ炉等）
 - ・ 化学工業用炉（コークス炉、改質炉、乾留炉等）
 - (3) 機構が複雑な炉（リフロー炉等）
 - (4) 古タイヤ等廃棄物を多種燃料としている炉（セメント焼成炉等）
 - (5) 挿入物が燃焼する焼却炉（廃棄物焼却炉等）
3. 本ツールでは、非エネルギー起源 CO₂ を算定対象にはしていません。非エネルギー起源 CO₂ を算定対象にしている事業もあるため、対象事業の要件の確認が必要である。非エネルギー起源 CO₂ が算定対象の場合は、本ツールは使用できない。
4. 対象の設備更新等の内容については、改善対策が単純な燃料転換のみ場合で、対策前後の工業炉の熱効率は変わらない前提になっている。対策前後で効率が変化する場合は本ツールの対象外となる。また、対策前の燃料の種類は 2 種類以内とし、対策後の燃料の種類は 1 種類としている。

なお、更新対象の工業炉が複数台ある場合は、対策前の合計の燃料使用量（燃料が2種類ある場合は、各燃料の合計量）を入力すれば、対策後の合計の燃料使用量が出力できる。

5. 本ツールで選択できる燃料の種類は原油、A 重油、C 重油、灯油、LPG、LNG、都市ガスの7種類である。対策前燃料がLPGの場合は、購入伝票が[kg]または[t（トン）]表示であれば、LPG（液）を、[m³]表示であればLPG（ガス）を選択できる。都市ガスの場合、購入伝票の数値をそのまま入力するときは都市ガス[m³]を、標準状態（0℃、1気圧）に換算されているときは都市ガス[Nm³]を選択できる。
6. 燃料の単価の入力においては、LPGは[千円/t]または[千円/m³]を、都市ガスは[千円/Nm³]または[千円/m³]を選択できる。

[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 算定シート】に必要な事項を入力すれば、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算出される。（条件入力セルは黄色に、選択セルは緑色に、自動表示は青色とする。）

Ver. 1.0

Step 1	現在お使いの工業炉の燃料は何ですか？ プルダウンで選択できる9種類の中から最大2種類を選択してください。 LPG^{注1}、都市ガス^{注2}を選択する場合は注意事項をお読みください。	選択 (1種類目)		選択 (2種類目)		
注1 購買伝票が、kgまたは(ton)表示であればLPG(液)、m3表示であればLPG(ガス)を選択してください。 注2 購買伝票の数値をそのまま入力する場合は、都市ガス(m3)を、標準状態(0℃ 1気圧)に換算する場合は都市ガス(Nm3)を選択してください。						
2	Step 1 で選択した燃料の購買伝票などから基準年度燃料使用量^{注3}を表示される単位に注意して入力してください。	入力 (1種類目)		入力 (2種類目)		
注3 基準年度燃料使用量とは、直近過去3年度間の平均値です。						
3	対策後の工業炉の燃料は何ですか？ プルダウンで選択できる7種類の中から1種類を選択してください。	選択				
4	燃料転換後の燃料がLNGで、且つ、気化器で自己消費される場合は、自己消費率(%)を入力してください。 (燃料転換後の燃料がLNGで、気化器で自己消費されない場合は入力不要です。)	入力		%		
5	Step 1 で選択した現在お使いの燃料の単価を、表示される単位に注意して入力してください。	入力 (1種類目)		入力 (2種類目)		
	Step 3 で選択した対策後の燃料の単価を、表示される単位であてはまる単位 1つを選び、その左のセルに入力してください。 (2ヶ所に入力した場合は、左側が優先されます)	入力可		入力可		

また、エネルギーコストについては、取引業者や公的機関等が公開する燃料の単価を入力することで算定される。

効果の算定結果			
項目	対策前（1種類目）	対策前（2種類目）	対策後
燃料種別			
総発熱量 (GJ/kL, GJ/t, GJ/千Nm3, GJ/千kWh)			
燃料使用量			
LNGの気化器での自己消費率			%
CO2排出量 (t-CO2/年)			
CO2削減量 (t-CO2/年)			
エネルギー使用量 (GJ/年)			
エネルギーコスト (千円/年)			
CO2排出係数 (標準環境状態)			

図2 効果の算定結果画面

本ツールの計算の考え方は、巻末の Appendix に記載のとおりである。

Appendix

A1. 計算の考え方

以下に対策前燃料の種類が2種類の場合の計算手順について記載する。

1. 対策前エネルギー使用量の計算

$$E_{11} = Q_{11} \times HH_{11} \quad (1)$$

$$E_{12} = Q_{12} \times HH_{12} \quad (2)$$

$$E_1 = E_{11} + E_{12} \quad (3)$$

ただし、

Q_{11} Q_{12} : 対策前の燃料使用量 [kL/年]、[t/年]または[千 Nm³/年]

E_{11} E_{12} E_1 : 対策前のエネルギー使用量 [GJ/年]

HH_{11} HH_{12} : 対策前の燃料の総発熱量（高位発熱量） [GJ/kL]、[GJ/t]または
[GJ/Nm³]

2. 対策前 CO₂ 排出量の計算

$$C_{11} = Q_{11} \times \alpha_{11} \quad (4)$$

$$C_{12} = Q_{12} \times \alpha_{12} \quad (5)$$

$$C_1 = C_{11} + C_{12} \quad (6)$$

ただし、

C_{11} C_{12} C_1 : 対策前の CO₂ 排出量 [t-CO₂/年]

α_{11} α_{12} : 各燃料の CO₂ 排出係数 [t-CO₂/kL]、[t-CO₂/t]または
[t- CO₂/Nm³]

3. 対策前エネルギーコストの計算

$$F_{11} = Q_{11} \times f_{11} \quad (7)$$

$$F_{12} = Q_{12} \times f_{12} \quad (8)$$

$$F_1 = F_{11} + F_{12} \quad (9)$$

ただし、

F_{11} F_{12} F_1 : 対策前のエネルギーコスト [千円/年]

f_{11} f_{12} : 各燃料のエネルギー単価 [千円/kL]、[千円/t]または[千円/Nm³]

4. 対策後燃料使用量の計算

$$\begin{aligned} Q_2 &= Q_{21} + Q_{22} \\ &= Q_{11} \times (HH_{11}/HH_2) + Q_{12} \times (HH_{12}/HH_2) \end{aligned} \quad (10)$$

ただし、

Q_{21} Q_{22} Q_2 : 対策後の燃料使用量 [kL/年]、[t/年]または[千 Nm³/年]
 HH_2 : 対策後の燃料の総発熱量（高位発熱量） [GJ/kL]、[GJ/t]または [GJ/Nm³]

5. 対策後の燃料が LNG で、かつ気化器で自己消費される場合の計算

$$Q_3 = Q_2 \times (1 + x/100) \quad (11)$$

ただし、

Q_3 : LNG の自己消費を見込んだ燃料使用量 [t/年]
 x : 自己消費率 [%]

6. 対策後エネルギー使用量の計算

$$E_2 = Q_3 \text{ or } Q_2 \times HH_2 \quad (12)$$

ただし、

E_2 : 対策後のエネルギー使用量 [GJ/年]

7. 対策後 CO₂ 排出量の計算

$$C_2 = Q_3 \text{ or } Q_2 \times \alpha_2 \quad (13)$$

ただし、

C_2 : 対策後の CO₂ 排出量 [t-CO₂/年]
 α_2 : 対策後各燃料の CO₂ 排出係数 [t-CO₂/kL]、[t-CO₂/t]または[t- CO₂/Nm³]

8. 対策後 CO₂ 削減量の計算

$$\Delta C = C_1 - C_2 \quad (14)$$

ただし、

ΔC : 対策後の CO₂ 削減量 [t-CO₂/年]

9. 対策後エネルギーコストの計算

$$F_2 = Q_3 \text{ or } Q_2 \times f_2 \quad (15)$$

ただし、

F_2 : 対策後のエネルギーコスト [千円/年]
 f_2 : 対策後燃料のエネルギー単価 [千円/kL]、[千円/t]または[千円/Nm³]

表 1 燃料の総発熱量（高位発熱量）

燃料の種類	総発熱量 (高位発熱量)	単位
原油	38.26	GJ/kL
A 重油	38.90	GJ/kL
C 重油	41.78	GJ/kL
灯油	36.49	GJ/kL
LPG	50.08	GJ/t
LNG	54.70	GJ/t
都市ガス	45.00	GJ/千 Nm ³

表 2 CO₂ 排出係数

燃料の種類	CO ₂ 排出係数	単位
原油	2.67	t-CO ₂ /kL
A 重油	2.75	t-CO ₂ /kL
C 重油	3.10	t-CO ₂ /kL
灯油	2.50	t-CO ₂ /kL
LPG	2.99	t-CO ₂ /t
LNG	2.79	t-CO ₂ /t
都市ガス	2.05 ^{※1}	t-CO ₂ /千 m ³
	2.27 ^{※2}	t-CO ₂ /千 Nm ³

※1：標準環境状態（25℃、100kPa）

※2：標準環境状態を標準状態に換算した数値

標準環境状態の体積を標準状態に換算する係数は次式による。

$$\begin{aligned}
 \text{標準状態体積[Nm}^3] &= \frac{100}{101.325} \times \frac{273.15}{273.15 + 25} \times \text{標準環境状態体積[m}^3] \\
 &= 0.9042[\text{m}^3]
 \end{aligned}
 \tag{16}$$

$$2.05[\text{t-CO}_2/\text{千 m}^3] \div 0.9042 = 2.27[\text{t-CO}_2/\text{千 Nm}^3]$$

A2. LPG（ガス）の単位質量の計算方法

LPG の使用量は、LP ガス販売業者から供給される LPG の状態によって、体積で計測される場合と質量で計測される場合がある。LPG の発熱量は質量ベースのため、体積で計測されている場合は産気率を使用して質量に変換する必要がある。

産気率は 10[kg] の LPG を完全に気化させ、ガスメーターを通過させた時の体積[m³]を表している。産気率は、LPG ボンベの周囲温度に依存することから、地域ごとに基準産気率として数値が決められて、それを利用するのが通例であったが、ここでは「環境省ウェブサイト“温室効果ガス排出量算定・報告マニュアル（ver 6.0）”令和 7 年 3 月の通達」に従い、換算係数 = 1/458 [t/m³] とする。

ちなみに産気率で表すと、産気率 = 4.58[m³/10kg]となる。

以上より、体積（V）から質量（M）の変換は次式による。

$$M = (1/458) V \quad (17)$$

ここで、M[t]、V[m³]となる。

LPG 使用量が体積で計測されている場合は、【2 算定シート】において [LPG（ガス）] を選択し、体積を入力すれば、質量に換算して計算が行われる。

A3. 都市ガスの標準状態への補正係数の計算方法

中圧の都市ガス使用量は、ガス会社の約款（「ガス基本約款」等）により、次の式に準拠して計算する。

$$V = \{V_1 \times (101.325 + P)\} \div (101.325 + 0.981) \quad (18)$$

ただし、

0.981 : 基準ゲージ圧力 [kPa]

P : 最高圧力 (2.5[kPa]) を超えて供給する圧力 [kPa]

V_1 : 対策前のガスメーターの検針量 [m^3]

温度 15℃への補正は、通常は実施されておらず、需要家の要請がある場合のみ、温度圧力補正メーターによる計測が実施されている。したがって、都市ガスの使用量を標準状態に換算するには、基準ゲージ圧力と計測時温度の体積から、ゲージ圧力 0 [kPa]、温度 0℃時の体積へ換算する必要がある。

本ツールでは、更新前の燃料使用量が過剰に見積もられないように、年平均気温が最も高い沖縄県那覇市の気温 23.97℃（2022～2024 年平均）を計測して、次の式で標準状態への換算を行う。

$$\begin{aligned} \text{標準状態体積}[Nm^3] &= \frac{101.325[kPa] + \text{ゲージ圧}[kPa]}{101.325[kPa]} \times \frac{273.15[K]}{\text{計測時温度}[K]} \times \text{計測時体積}[m^3] \\ &= \frac{101.325[kPa] + 0.981[kPa]}{101.325[kPa]} \times \frac{273.15[K]}{23.97^\circ C + 273.15} \times \text{計測時体積}[m^3] \\ &= 0.9282 \times \text{計測時体積}[m^3] \end{aligned} \quad (19)$$

ガス会社からの請求書の数値をそのまま使用する場合は、シート【2 算定シート】において「都市ガス (m^3)」を選択し、体積を入力すれば、補正係数 0.9282 で標準状態に換算して計算が行われる。

A4. 都市ガスの総発熱量（高位発熱量）の設定値

都市ガスの総発熱量（高位発熱量）は、ガス会社により成分が異なるため、ガス会社の提供値を使用するのが望ましいが、本ツールでは簡易的に表 3 の組成として表 4 の数値を使用する。

表 3 ガス組成

ガス名	成分	天然ガス(13A)
メタン	CH ₄	89.60%
エタン	C ₂ H ₆	5.62%
プロパン	C ₃ H ₈	3.43%
ブタン	C ₄ H ₁₀	1.35%

表 4 ガス発熱量

ガス 性質	天然ガス(13A)	単位
総発熱量 (高位発熱量)	45.00	MJ/Nm ³

以上