

設備更新等によるCO₂削減効果の算定ツール (ボイラーの燃料転換、高効率化)

[本ツールの目的]

設備更新の効果算定ツール(ボイラーの燃料転換、高効率化)(以下、本ツールという)は、ボイラーの燃料転換や高効率化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の効果を簡易に推算するために、7項目の入力を行えば、既設ボイラーの燃料使用量から導入ボイラーの燃料使用量を求められるようにしている。ボイラーの燃料使用量は、定格運転条件で使用されているものと仮定して簡易算定している。燃料使用量は同じ型式の設備でも運用条件によって変わるため、本ツールによって得られた結果は、実際の運用条件が定格運転条件から乖離するほど算定の不確かさが大きくなることに留意する必要がある。

[使用条件]

本ツールは、更新の対象となるボイラー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って、更新前後のボイラーの定格運転条件での熱効率が把握できている場合に限り使用できる。燃料使用量や熱効率が不明の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 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。)

設備更新等によるCO ₂ 削減効果の算定ツール (ボイラーの燃料転換、高効率化) Ver. 1.0			
Step 1~6の操作により導入設備の燃料使用量が自動的に計算・表示されます。			
Step 1	現在お使いのボイラーの燃料は何ですか? 9種類の中からお選びください。 (注1a、注1b)	選択	
注1a. LPGは、ガス会社の領票伝票を確認し、kgまたは(トン)表示であればLPG(液)を、m ³ 表示であればLPG(ガス)を選択してください。 注1b. 都市ガスについては、ガス会社の領票伝票の数値をそのまま入力する場合はm ³ を、0℃1気圧の標準状態に換算する場合はNm ³ 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を入力してください。 (注2a、注2b)	入力	
注2a. 基準年度燃料使用量とは、直近過去3年度間の平均値となります。 注2b. ここに表示されない単位は、燃料供給業者にご確認ください。			
3	現在お使いのボイラーのカタログや仕様書からボイラー効率を調べて入力してください。 ボイラーが1台の場合でも「3 平均効率計算シート」をお使いください。自動入力(青色セル)となります。(注3)	入力	%
注3. ボイラー効率は真発熱量(低位発熱量)基準で入力してください。ご不明の場合は購入店、メーカー等にご確認ください。			
4	導入予定のボイラーの燃料は何ですか? 8種類の中からお選びください。	選択	
5	導入予定のボイラーのカタログや仕様書からボイラー効率を調べて入力してください。 ボイラーが1台の場合でも「3 平均効率計算シート」をお使いください。自動入力(青色セル)となります。(注5)	入力	%
注5. ボイラー効率は真発熱量(低位発熱量)基準で入力してください。ご不明の場合は購入店、メーカー等にご確認ください。			
6	Step 1で選択した燃料の単価	入力	
	Step 4で選択した燃料の単価	入力	

【図 1 2 算定シート入力画面】

なお、ボイラーが複数台ある場合には、燃料使用量の加重平均で熱効率を求め使用する。その際、10台までであれば、シート【3 平均効率計算シート】を使用して、平均効率を求めることができる。(ボイラーが1台の場合でも使用可)

既存設備	1号機	2号機	3号機	4号機	5号機	6号機	7号機	8号機	9号機	10号機	平均効率
相当蒸発量 [kg/h]											
ボイラー効率 [%]											
導入設備	11号機	12号機	13号機	14号機	15号機	16号機	17号機	18号機	19号機	20号機	平均効率
相当蒸発量 [kg/h]											
ボイラー効率 [%]											

【図 2 3 平均効率計算シート入力画面】

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。

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

ボイラーの更新後の燃料の使用量は次の式(1)により計算される。

$$Q_2 = Q_1 \times HL_1 \times \eta_1 \div (HL_2 \times \eta_2) \quad (1)$$

ただし、

HL₁：更新前の燃料の真発熱量（低位発熱量）[GJ/kL]、[GJ/t]または[GJ/千 Nm³]

HL₂：更新後の燃料の真発熱量（低位発熱量）[GJ/kL]、[GJ/t]または[GJ/千 Nm³]

Q₁：更新前の燃料の使用量 [kL/年]、[t/年]または[千 Nm³/年]

Q₂：更新後の燃料の使用量 [kL/年]、[t/年]または[千 Nm³/年]

η₁：更新前のボイラーの熱効率

η₂：更新後のボイラーの熱効率

表 1-1 燃料の真発熱量（低位発熱量）

A重油	36.73	GJ/kL
C重油	39.67	GJ/kL
灯油	34.27	GJ/kL
LPG	46.44	GJ/t
LNG	49.84	GJ/t
都市ガス	40.63	GJ/千Nm ³
電気	3.6	GJ/千kWh
木質ペレット	12.57	GJ/t

表 1-2 燃料の総発熱量（高位発熱量）

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
電気	3.6	GJ/千kWh
木質ペレット	13.21	GJ/t

ボイラーの更新前後のCO₂排出量は次の式(2)、(3)により計算される。

$$C_1 = Q_1 \times HH_1 \times \alpha_1 \quad (2)$$

$$C_2 = Q_2 \times HH_2 \times \alpha_2 \quad (3)$$

ただし、

C₁：更新前のCO₂排出量 [t-CO₂/年]

C₂：更新後のCO₂排出量 [t-CO₂/年]

HH₁：更新前の燃料の総発熱量（高位発熱量）[GJ/kL]、[GJ/t]または[GJ/千 Nm³]

HH₂：更新後の燃料の総発熱量（高位発熱量）[GJ/kL]、[GJ/t]または[GJ/千 Nm³]

α₁：更新前の燃料のCO₂排出係数（発熱量ベース）[t-CO₂/GJ]

α₂：更新後の燃料のCO₂排出係数（発熱量ベース）[t-CO₂/GJ]

表 1-3 CO₂ 排出係数

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 [t-CO ₂ /千 m ³]*
電気	0.000438 [t-CO ₂ /kWh]
木質ペレット	0.00 [t-CO ₂ /t]

*標準環境状態

ボイラーの更新前後のエネルギー使用量は次の式(4)、(5)により計算される。

$$E_1 = Q_1 \times HH_1 \quad (4)$$

$$E_2 = Q_2 \times HH_2 \quad (5)$$

ただし、

E₁ : 更新前のエネルギー使用量 [GJ/年]

E₂ : 更新後のエネルギー使用量 [GJ/年]

ボイラーの更新による CO₂ 削減量[t-CO₂/年]、CO₂ 削減率は次の式(6)、(7)により計算される。

$$[\text{CO}_2 \text{ 削減量}] = C_1 - C_2 \quad (6)$$

$$[\text{CO}_2 \text{ 削減率}] = (C_1 - C_2) \div C_1 \times 100[\%] \quad (7)$$

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（ver5.0）”令和 6 年 2 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。

$$M=(1/458) V \quad (8)$$

ここで $M[t]$
 $V[m^3]$

LPG 使用量が体積で計測されている場合は、シート【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(9)に準拠して計算する。

$$V = \{V_1 \times (101.325 + P)\} \div (101.325 + 0.981) \quad (9)$$

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]

V₁ : 更新前のガスメーターの検針量 [m³]

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、年平均気温の最も高い沖縄県那覇市の気温 23.7℃ (2021~2023 年平均) を計測時温度として、次の式 (10)で標準状態への換算を行う。

$$\begin{aligned}
 \text{標準状態体積[Nm}^3] &= \frac{101.325[\text{kPa}] + \text{ゲージ圧}[\text{kPa}]}{101.325[\text{kPa}]} \times \frac{273.15[\text{K}]}{\text{計測時温度}[\text{K}]} \times \text{計測時体積}[\text{m}^3] \\
 &= \frac{101.325[\text{kPa}] + 0.981[\text{kPa}]}{101.325[\text{kPa}]} \times \frac{273.15[\text{K}]}{23.7^\circ\text{C} + 273.15} \times \text{計測時体積}[\text{m}^3] \\
 &= 0.9291 \times \text{計測時体積}[\text{m}^3] \quad (10)
 \end{aligned}$$

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 (m3)」を選択し、体積を入力すれば、補正係数 0.9291 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）、真発熱量（低位発熱量）の設定値

都市ガスの総発熱量（高位発熱量）、真発熱量（低位発熱量）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ことが望ましいが、本ツールでは簡易的に表 4-1 の組成として表 4-2 の数値を使用する。

表 4-1 ガス組成

ガス 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 4-2 ガス発熱量

ガス 性質	天然ガス (13A)
総発熱量（高位発熱量）	45.00[MJ/Nm ³]
真発熱量（低位発熱量）	40.63[MJ/Nm ³]

A5. 複数ボイラーの熱効率が異なる場合の平均熱効率の計算方法

複数のボイラーを使用している場合に、すべてのボイラーの熱効率が同一の場合には、シート【2 算定シート】に値を入力することができるが、ボイラーごとに効率が異なる場合には、それぞれのボイラーの使用状況が反映された熱効率で計算する必要がある。本ツールでは、ボイラーが定格運転条件にあるものとして計算を行うため、ボイラーごとに効率が異なる場合には、定格運転条件での各ボイラーの熱効率を各ボイラーの燃料使用量で加重平均した値を、平均の熱効率として計算に使用する。

ボイラーの熱効率を燃料使用量で加重平均する計算は、10 台までであればシート【3 平均効率計算シート】に各ボイラーの出力（相当蒸発量）と熱効率を入力すれば下記式で行われ、計算結果はシート【2 算定シート】のボイラー効率に転記される。

更新前の各ボイラーの入熱（燃料使用量）比による合計の燃料使用量の按分と加重平均は、以下の式による。

1 号機の燃料使用量：

$$q_1 = Q_1 \times \frac{W_1/\eta_1}{W_1/\eta_1 + W_2/\eta_2 \sim + W_{10}/\eta_{10}}$$

$$= Q_1 \times \frac{W_1 \cdot \eta_2 \sim \cdot \eta_{10}}{W_1 \cdot \eta_2 \sim \cdot \eta_{10} + W_2 \cdot \eta_1 \cdot \eta_3 \sim \cdot \eta_{10} \sim + W_{10} \cdot \eta_1 \sim \cdot \eta_9}$$

2 号機の燃料使用量：

$$q_2 = Q_1 \times \frac{W_2/\eta_2}{W_1/\eta_1 + W_2/\eta_2 \sim + W_{10}/\eta_{10}}$$

$$= Q_1 \times \frac{W_2 \cdot \eta_1 \cdot \eta_3 \sim \cdot \eta_{10}}{W_1 \cdot \eta_2 \sim \cdot \eta_{10} + W_2 \cdot \eta_1 \cdot \eta_3 \sim \cdot \eta_{10} \sim + W_{10} \cdot \eta_1 \sim \cdot \eta_9}$$

.....

(3 号機～9 号機の式略)

.....

10号機の燃料使用量：

$$q_{10} = Q_1 \times \frac{W_{10}/\eta_{10}}{W_1/\eta_1 + W_2/\eta_2 \sim + W_{10}/\eta_{10}}$$

$$= Q_1 \times \frac{W_{10} \cdot \eta_1 \sim \cdot \eta_9}{W_1 \cdot \eta_2 \sim \cdot \eta_{10} + W_2 \cdot \eta_1 \cdot \eta_3 \sim \cdot \eta_{10} \sim + W_{10} \cdot \eta_1 \sim \cdot \eta_9}$$

ボイラー合計負荷量：

$$Q_1 \times \frac{W_1 \cdot \eta_2 \sim \cdot \eta_{10}}{W_1 \cdot \eta_2 \sim \cdot \eta_{10} + W_2 \cdot \eta_1 \cdot \eta_3 \sim \cdot \eta_{10} \sim + W_{10} \cdot \eta_1 \sim \cdot \eta_9} \times \eta_1 \cdot HL_1$$

$$+ Q_1 \times \frac{W_2 \cdot \eta_1 \cdot \eta_3 \sim \cdot \eta_{10}}{W_1 \cdot \eta_2 \sim \cdot \eta_{10} + W_2 \cdot \eta_1 \cdot \eta_3 \sim \cdot \eta_{10} \sim + W_{10} \cdot \eta_1 \sim \cdot \eta_9} \times \eta_2 \cdot HL_1$$

.....

(3号機～9号機の式略)

.....

$$+ Q_1 \times \frac{W_{10} \cdot \eta_1 \sim \cdot \eta_9}{W_1 \cdot \eta_2 \sim \cdot \eta_{10} + W_2 \cdot \eta_1 \cdot \eta_3 \sim \cdot \eta_{10} \sim + W_{10} \cdot \eta_1 \sim \cdot \eta_9} \times \eta_{10} \cdot HL_1$$

$$= Q_1 \times HL_1 \times \frac{\eta_1 \sim \cdot \eta_{10} (W_1 + W_2 + \sim + W_{10})}{W_1 \cdot \eta_2 \sim \cdot \eta_{10} + W_2 \cdot \eta_1 \cdot \eta_3 \sim \cdot \eta_{10} \sim + W_{10} \cdot \eta_1 \sim \cdot \eta_9}$$

平均のボイラー効率：

$$\eta_A = \frac{\eta_1 \sim \cdot \eta_{10} (W_1 + W_2 + \sim + W_{10})}{W_1 \cdot \eta_2 \sim \cdot \eta_{10} + W_2 \cdot \eta_1 \cdot \eta_3 \sim \cdot \eta_{10} \sim + W_{10} \cdot \eta_1 \sim \cdot \eta_9}$$

ただし、

- HL₁：更新前の燃料の真発熱量（低位発熱量） [GJ/kL]または[GJ/千 Nm³]
- q₁～q₁₀：更新前のボイラー1号機～10号機の燃料使用量
[kL/年]、[t/年]または [千 Nm³/年]
- Q₁：更新前の燃料の使用量 [kL/年]または[千 Nm³/年]
- η₁～η₁₀：更新前のボイラー1号機～10号機の熱効率 [%]
- η_A：更新前のボイラーの平均熱効率 [%]

更新後の各ボイラーの入熱（燃料使用量）比による合計の燃料使用量の按分と加重平均は、以下の式による。

11号機の燃料使用量：

$$q_{11} = Q_2 \times \frac{W_{11}/\eta_{11}}{W_{11}/\eta_{11} + W_{12}/\eta_{12} \sim + W_{20}/\eta_{20}}$$

$$= Q_2 \times \frac{W_{11} \cdot \eta_{12} \sim \cdot \eta_{20}}{W_{11} \cdot \eta_{12} \sim \cdot \eta_{20} + W_{12} \cdot \eta_{11} \cdot \eta_{13} \sim \cdot \eta_{20} \sim + W_{20} \cdot \eta_{11} \sim \cdot \eta_{19}}$$

12号機の燃料使用量：

$$q_{12} = Q_2 \times \frac{W_{12}/\eta_{12}}{W_{11}/\eta_{11} + W_{12}/\eta_{12} \sim + W_{20}/\eta_{20}}$$

$$= Q_2 \times \frac{W_{12} \cdot \eta_{11} \cdot \eta_{13} \sim \cdot \eta_{20}}{W_{11} \cdot \eta_{12} \sim \cdot \eta_{20} + W_{12} \cdot \eta_{11} \cdot \eta_{13} \sim \cdot \eta_{20} \sim + W_{20} \cdot \eta_{11} \sim \cdot \eta_{19}}$$

.....

(13号機～19号機の式略)

.....

20号機の燃料使用量：

$$q_{20} = Q_2 \times \frac{W_{20}/\eta_{20}}{W_{11}/\eta_{11} + W_{12}/\eta_{12\sim} + W_{20}/\eta_{20}}$$
$$= Q_2 \times \frac{W_{20} \cdot \eta_{11\sim} \cdot \eta_{19}}{W_{11} \cdot \eta_{12\sim} \cdot \eta_{20} + W_{12} \cdot \eta_{11} \cdot \eta_{13\sim} \cdot \eta_{20\sim} + W_{20} \cdot \eta_{11\sim} \cdot \eta_{19}}$$

ボイラー合計負荷量：

$$Q_2 \times \frac{W_{11} \cdot \eta_{12\sim} \cdot \eta_{20}}{W_{11} \cdot \eta_{12\sim} \cdot \eta_{20} + W_{12} \cdot \eta_{11} \cdot \eta_{13\sim} \cdot \eta_{20\sim} + W_{20} \cdot \eta_{11\sim} \cdot \eta_{19}} \times \eta_{11} \cdot HL_2$$
$$+ Q_2 \times \frac{W_{12} \cdot \eta_{11} \cdot \eta_{13\sim} \cdot \eta_{20}}{W_{11} \cdot \eta_{12\sim} \cdot \eta_{20} + W_{12} \cdot \eta_{11} \cdot \eta_{13\sim} \cdot \eta_{20\sim} + W_{20} \cdot \eta_{11\sim} \cdot \eta_{19}} \times \eta_{12} \cdot HL_2$$

.....

(13号機～19号機の式略)

.....

$$+ Q_2 \times \frac{W_{20} \cdot \eta_{11\sim} \cdot \eta_{19}}{W_{11} \cdot \eta_{12\sim} \cdot \eta_{20} + W_{12} \cdot \eta_{11} \cdot \eta_{13\sim} \cdot \eta_{20\sim} + W_{20} \cdot \eta_{11\sim} \cdot \eta_{19}} \times \eta_{20} \cdot HL_2$$
$$= Q_2 \times HL_2 \times \frac{\eta_{11\sim} \cdot \eta_{20} (W_{11} + W_{12} + \sim + W_{20})}{W_{11} \cdot \eta_{12\sim} \cdot \eta_{20} + W_{12} \cdot \eta_{11} \cdot \eta_{13\sim} \cdot \eta_{20\sim} + W_{20} \cdot \eta_{11\sim} \cdot \eta_{19}}$$

平均のボイラー効率：

$$\eta_B = \frac{\eta_{11\sim} \cdot \eta_{20} (W_{11} + W_{12} + \sim + W_{20})}{W_{11} \cdot \eta_{12\sim} \cdot \eta_{20} + W_{12} \cdot \eta_{11} \cdot \eta_{13\sim} \cdot \eta_{20\sim} + W_{20} \cdot \eta_{11\sim} \cdot \eta_{19}}$$

ただし、

HL₂：更新後の燃料の真発熱量（低位発熱量） [GJ/kL]または[GJ/千 Nm³]

q₁₁～q₂₀：更新後のボイラー11号機～20号機の燃料使用量
[kL/年]、[t/年]または [千 Nm³/年]

Q₂：更新後の燃料の使用量 [kL/年]または[千 Nm³/年]

η₁₁～η₂₀：更新後のボイラー11号機～20号機の熱効率 [%]

η_B：更新後のボイラーの平均熱効率 [%]

更新後の燃料使用量：

$$Q_2 = Q_1 \times \frac{HL_1}{HL_2} \times \frac{\eta_A}{\eta_B}$$

以上