「省エネルギーセンター」ダウンロードファイル（無断転載、翻訳を禁ず）

【対策効果算定シート】

対策の種類	対策名称	シート番号	対策メニュー名
設備導入	熱回収式コンプレッサーの導入	C14133	コンプレッサー排熱の有効利用
工程名	圧空システム	対象設備	コンプレッサー
システム／設備区分名	圧空システム		
対策内容	現状のコンプレッサーは空冷式のコンプレッサーを採用しており圧縮熱を大気に放出しているが、熱回収式のコンプレッサーを導入して圧縮熱を回収し、ボイラー給水予熱に利用することで、燃料使用量を低減させ、CO_2 排出量を削減する。		

1．実施計画時の効果算定

効果算定のポイント		① 熱回収式コンプレッサーから回収した熱でボイラー給水温度を上昇させることでボイラー燃料消費量を削減する。 ② 対策実施前と実施計画で、コンプレッサーの電力使用量、ボイラーの蒸気発生量は等しいとする。 ③ 【燃料使用量】＝【蒸気発生量】 ×（【飽和蒸気の比エンタルピー】－【給水の比エンタルピー】） ÷（【燃料低位発熱量】×【ボイラー効率】） の式で、【給水の比エンタルピー】＝【給水温度】×【水比熱】なので、給水温度を上昇させれば給水の比エンタルピーが高まり、燃料使用量が削減できる。 ④ 本事例は効率よく排熱を回収できる専用の熱回収式コンプレッサーを対象としているので排熱回収割合は高いが、コンプレッサーの排気管を水冷ジャケット化するなどによる部分更新・機能付加でも同様な対策効果を得ることができる。 ⑤ 本シートは、熱回収式のコンプレッサーを導入して圧縮熱を回収し、ボイラー給水の一部を約 42[℃]昇温する対策の効果算定手順例を示す。
対策実施前	活動種別	都市ガス（13A）
	年間活動量	対策実施前の都市ガス使用量 F1 はガス会社の請求書の数値に換算係数を乗じて、標準状態の値に換算した値を用いる。 F1＝934[千 m^3/年]×0.957[Nm^3/m^3]＝894[千 Nm^3/年] ＝894[千 Nm^3/年]（補足説明①）

「省エネルギーセンター」ダウンロードファイル（無断転載、翻訳を禁ず）

対策実施前

年間活動量

表 1　対策実施前のボイラーの使用状況

記号	項目	数値	根拠
F1	燃料使用量	934[千 m^3/年]	ガス会社の請求書
T1	平均給水温度	20.0[℃]	計画値
P	蒸気圧力	0.80[MPa-G]	設定値
W1	平均給水量	1,880[kg/h]	測定値
h″	飽和蒸気の比エンタルピー	2,772[kJ/kg]	蒸気表(0.8[MPa-G])
h1′	対策実施前の給水の比エンタルピー	83.9[kJ/kg]	蒸気表(20[℃])
η1	対策実施前のボイラー効率	98[%]	仕様書
H	都市ガスの単位発熱量	44.2[GJ/千 Nm^3]	ガス会社の提供値
HL	都市ガスの低位発熱量（補足説明②）	40.6[GJ/千 Nm^3]	ガス会社の提供値
α	都市ガスの CO_2 排出係数	0.0513[t-CO_2/GJ]	SHIFT 事業モニタリングガイドライン

エネルギー使用量

対策実施前のエネルギー使用量 PE1 は、対策実施前の都市ガス使用量 F1 に都市ガスの単位発熱量 H を乗じて下記になる。

PE1＝F1×H

＝894[千 Nm^3/年]×44.2[GJ/千 Nm^3]＝39.5[千 GJ/年]

CO_2 排出量

対策実施前の CO_2 排出量 C1 は、対策前のエネルギー使用量 PE1 に都市ガスの CO_2 排出係数αを乗じて下記になる。

C1＝PE1×α

＝39.5[千 GJ/年]×0.0513[t-CO_2/GJ]＝2.03[千 t-CO_2/年]

実施計画

活動種別

都市ガス（13A）

年間活動量

実施計画の都市ガス使用量 F2 を算定する。回収した熱で給水温度を上昇させた時の都市ガス消費量を求める。算定には表 1、表 2 に示す数値例を使用する。

対策実施前と実施計画で年間蒸気発生量は変わらないとすると、

$W = F1 \times HL \times \eta1 \div (h'' - h1')$ (1)

$F2 = W \times (h'' - h2') \div (HL \times \eta2)$ (2)

$= F1 \times HL \times \eta1 \div (h'' - h1') \times (h'' - h2') \div (HL \times \eta2)$

ここで、W　：年間蒸気発生量 [t/年]

F1　：対策実施前の都市ガス使用量 [千 Nm^3/年]

η1　：対策実施前のボイラー効率 [%]

h1′：対策実施前の給水の比エンタルピー [kJ/kg]

h″　：飽和蒸気の比エンタルピー [kJ/kg]

F2　：実施計画の都市ガス使用量 [千 Nm^3/年]

h2′：実施計画の給水の比エンタルピー [kJ/kg]（補足説明③）

HL　：都市ガスの低位発熱量 [GJ/千 Nm^3]

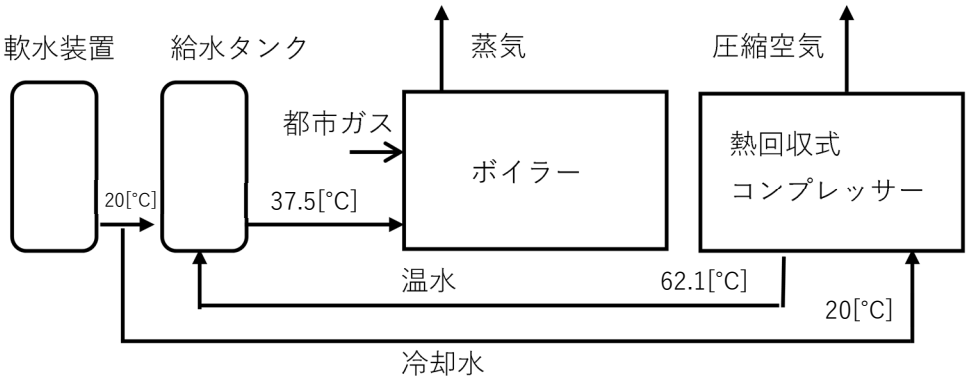
η2　：実施計画のボイラー効率 [%]

「省エネルギーセンター」ダウンロードファイル（無断転載、翻訳を禁ず）

<table>
<tr><td rowspan="3"></td><td>年間
活動量</td><td>表 1、2 の数値を式(2)に代入して、実施計画の都市ガス使用量を求める。
F2＝894[千 Nm^3/年]×40.6[GJ/千 Nm^3]×0.98÷(2,772[kJ/kg]－83.9[kJ/kg])
×(2,772－157)[kJ/kg]÷(40.6[GJ/千 Nm^3]×0.97)
＝826[千 Nm^3/年]

表 2　実施計画の都市ガス使用量の算定に使用する数値とその根拠
<table>
<tr><th>記号</th><th>項目</th><th>数値</th><th>根拠</th></tr>
<tr><td>Q</td><td>コンプレッサーの熱出力</td><td>42[kW]</td><td>仕様書</td></tr>
<tr><td>r</td><td>平均熱回収率</td><td>91[%]</td><td>仕様書</td></tr>
<tr><td>W2</td><td>熱回収水量</td><td>780[kg/h]</td><td>仕様書</td></tr>
<tr><td>W3</td><td>補給水量</td><td>1,100[kg/h]</td><td>W1(表 1)－W2</td></tr>
<tr><td>T3</td><td>補給水温度</td><td>20.0[℃]</td><td>T1</td></tr>
<tr><td>η2</td><td>実施計画のボイラー効率</td><td>97[%]</td><td>給水温度上昇による補足説明③</td></tr>
<tr><td>Cp</td><td>水の比熱</td><td>4.186[kJ/kg℃]</td><td>物性値</td></tr>
<tr><td>h2′</td><td>実施計画の給水の比エンタルピー</td><td>157[kJ/kg]</td><td>補足説明④</td></tr>
<tr><td>he</td><td>熱量換算係数</td><td>3,600[kJ/kWh]</td><td></td></tr>
</table></td></tr>
<tr><td>エネルギー
使用量</td><td>実施計画のエネルギー使用量 PE2 は、実施計画の都市ガス使用量 F2 に都市ガスの単位発熱量 H を乗じて下記になる。
PE2＝F2×H
＝826[千 Nm^3/年]×44.2[GJ/千 Nm^3]＝36.5[千 GJ/年]</td></tr>
<tr><td>CO_2
排出量</td><td>実施計画の CO_2 排出量 C2 は、実施計画のエネルギー使用量 PE2 に都市ガスの CO_2 排出係数 α を乗じて下記になる。
C2＝PE2×α
＝36.5[千 GJ/年]×0.0513[t-CO_2/GJ]＝1.87[千 t-CO_2/年]</td></tr>
<tr><td colspan="2">実施計画の
エネルギー削減量</td><td>対策実施前と実施計画のエネルギー使用量の差異より下記になる。
PE1－PE2＝39.5[千 GJ/年]－36.5[千 GJ/年]＝3.0[千 GJ/年]</td></tr>
<tr><td colspan="2">実施計画の
CO_2 削減量</td><td>対策実施前と実施計画の CO_2 排出量の差異より下記になる。
C1－C2＝2.03[千 t-CO_2/年]－1.87[千 t-CO_2/年]＝0.16[千 t-CO_2/年]</td></tr>
<tr><td colspan="2">補足説明</td><td>① 都市ガス使用量
燃料が都市ガスの場合に、ガスメーターの値（ガス会社の請求書、単位：[m^3]）から得られた都市ガス使用量は、15℃、圧力約 1kPa-G の状態なので、 0 ℃、101.3kPa-abs の標準状態での値（単位：[Nm^3]）に換算する必要があり、換算係数は下記となる。
換算係数（東京ガスの例）
中圧（工場、商業ビル等）　：0.957[Nm^3/m^3]
低圧（一般家庭等）　　：0.967[Nm^3/m^3]</td></tr>
</table>

「省エネルギーセンター」ダウンロードファイル（無断転載、翻訳を禁ず）

補足説明	② 低位発熱量 ボイラー効率は低位発熱量基準なので、式(1)の計算には低位発熱量を用いる。 ③ 本算定例のように、既に十分に熱回収を行っていてボイラー効率が高いボイラーは、給水温度を上げると付属するエコノマイザの熱吸収率が低下して排ガス温度が上昇するので、ボイラー効率は低下する。 ④ 熱回収による給水温度の上昇 回収熱による温度上昇ΔT は下記になる。 ΔT＝Q×he×r÷(W2×Cp)　　(3) ここで、Q　：コンプレッサーの熱出力 [kW] he　：熱量換算係数 [kJ/kWh] r　：平均熱回収率 [%] W2 ：熱回収水量 [kg/h] Cp　：水の比熱 [kJ/kg℃] 表 2 の数値を(3)に代入して ΔT=42[kW]×3,600[kJ/kWh]×0.91÷(780[kg/h]×4.186[kJ/kg℃]) ＝42.1[℃] 熱回収水の温度 T2 は下記になる。 T2＝T3＋ΔT＝20.0＋42.1=62.1[℃] 温度 T3 の補給水を W3 加えた後の給水温度 T4 は下記になる。 T4＝(W2×T2＋W3×T3)÷(W2＋W3) ＝(780[kg/h]×62.1[℃]＋1,100[kg/h]×20.0[℃])÷1,880[kg/h] ＝37.5 [℃] 従って、実施計画の給水の比エンタルピーh2″は下記になる。 h2″＝T4×Cp＝37.5[℃]×4.186[kJ/kg℃]＝157[kJ/kg]  **図 1　設備構成** ④ 図 1.ではドレーン等の環水が無い場合で、ある場合は給水温度はそれに応じて計算する。

「省エネルギーセンター」ダウンロードファイル（無断転載、翻訳を禁ず）

留意事項	① コンプレッサーの更新で省電力効果が見込める場合は、それによる CO_2 削減効果を別途計算する。 ② CO_2 排出係数など係数の値は、最新のものを確認して使用すること。 ③ ボイラーの給水量のように実測データを使用する際は、実測に使用した計測機器の名称・型式及び精度等を示し、精度管理されていることを説明する必要がある。 （記載例） 流量計の仕様は、以下の通りである。 メーカー名　：〇〇精機 型式型番　：PA-123 計測精度　：±〇 [%] 精度管理方法　：毎年〇月に〇〇計器にて校正
備考	① 平均熱回収率はコンプレッサーの運転状況で異なる。熱出力は、定格運転の場合の値なので、熱回収式コンプレッサーを優先して常時全負荷で運転することが望ましい。 ② 温水システムに使用することもできる。

2．対策実施後の効果算定

対策実施前	活動種別	都市ガス（13A）
	エネルギー使用量	計画時の効果算定で得た対策実施前のエネルギー使用量 PE1。 PE1＝ 39.5[千 GJ/年]
	CO_2 排出量	計画時の効果算定で得た対策実施前の CO_2 排出量 C1。 C1＝2.03[千 t-CO_2/年]
対策実施後	活動種別	都市ガス（13A）
	年間活動量	① 購入記録から都市ガスボイラーの都市ガスの年間使用量 830[千 m^3/年]を得て、換算係数を乗じて標準状態の値に換算する。 ② 対策実施前に算定した実施計画の都市ガスの年間使用量 F2 と比較し、大きな差異がないことを確認する。 ③ ボイラーの給水各系の水量と温度の実測値の把握をする。 年間都市ガス使用量：830[千 m^3/年]×0.957[Nm^3/m^3]＝794[千 Nm^3/年]
	エネルギー使用量	対策実施後の年間都市ガス使用量に都市ガスの単位発熱量 H を乗じて対策実施後のエネルギー使用量の実績値 PE3 を求める。 PE3＝794[千 Nm^3/年]×44.2[GJ/千 Nm^3]＝35.1[千 GJ/年]
	CO_2 排出量	対策実施後のエネルギー使用量 PE3 に都市ガスの CO_2 排出係数αを乗じて対策実施後の CO_2 排出量の実績値 C3 を求める。 C3＝35.1[千 GJ/年]×0.0513[t-CO_2/GJ]＝1.80[千 t-CO_2/年]
対策実施後のエネルギー削減量		対策実施前と対策実施後のエネルギー使用量の差異より下記になる。 PE1－PE3＝39.5[千 GJ/年]－35.1[千 GJ/年]＝4.4[千 GJ/年]

「省エネルギーセンター」ダウンロードファイル（無断転載、翻訳を禁ず）

対策実施後の CO_2 削減量	対策実施前と対策実施後の CO_2 排出量の差異より下記になる。 C1－C3＝2.03[千 t-CO_2/年]－1.80 千 t-CO_2/年]＝0.23[千 t-CO_2/年]
留意事項	① 更新するコンプレッサーは電力量、同履歴を把握できるのでデータロガーで負荷や運転時間の実績を把握する。
備考	

３．対策効果の検証・有効性評価

効果検証と有効性評価の手順	① 熱回収効果と機器性能評価 実施計画時の都市ガス使用量算定式（式(2)）に、可変値である実際の蒸気発生量とボイラー給水温度を代入して計算し、結果を都市ガス使用量の実績値と比較することで、熱回収効果と機器性能を評価する。