「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）

概要シート

<table>
<tr><td>対策名</td><td>250121　燃焼炉の空気比改善</td></tr>
<tr><td>対策タイプ</td><td>運用改善</td></tr>
<tr><td>対象業種</td><td>産業用　　業務用</td></tr>
<tr><td>分類</td><td>工業炉</td></tr>
<tr><td>内容・目的</td><td>工業炉の燃焼装置（バーナー）では、空気比（＝実空気量／理論空気量）が大きくなると、燃焼に寄与しない余剰空気量が増える。その結果、余剰空気の昇温や排気量の増大などの無駄なエネルギー使用量が増えるため、空気比を適正値に下げる必要がある。</td></tr>
<tr><td>対策技術の概要</td><td>
１．概要
排ガス中の O_2 濃度を測定して空気比を計算し、燃焼状態が適正か否かを判断することは、工業炉の省エネにとって非常に大切である。操業状態が変化する場合には、燃料の消費量変化によって O_2 濃度も変動するため、操業状態に連動して空気比が制御されているかをチェックする必要がある。
最近、O_2 濃度計も安価になってきたので、対象設備への常時設置、あるいは定期的な排ガス中 O_2 濃度測定が容易に行えるようになっている。

空気比（簡易式）＝　21/（21－O_2 濃度（%））

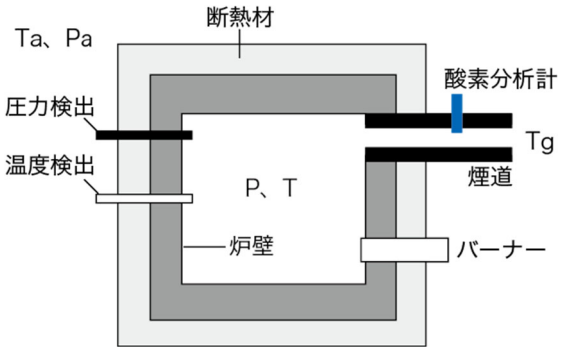
２．空気比の基準
表１に、溶解炉、加熱炉、熱処理炉に関する空気比の基準値を示す（各欄の上段は現時点で達成すべき空気比（基準値）、下段は将来的に達成してほしい目標値）。この値を参考にしながら、現場設備をチェックいただきたい。

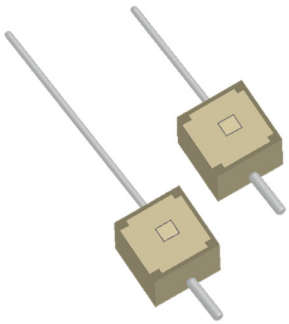
表１．空気比の改善　　上段：基準値　　下段：目標値
<table>
<tr><td colspan="2" rowspan="2">区分</td><td colspan="2">液体燃料</td><td colspan="2">気体燃料</td></tr>
<tr><td>連続式</td><td>間欠式</td><td>連続式</td><td>間欠式</td></tr>
<tr><td rowspan="6">工業炉</td><td rowspan="2">金属溶解炉</td><td>1.30</td><td>1.40</td><td>1.25</td><td>1.35</td></tr>
<tr><td>1.05～1.25</td><td>1.05～1.30</td><td>1.05～1.20</td><td>1.05～1.25</td></tr>
<tr><td rowspan="2">金属加熱炉</td><td>1.25</td><td>1.35</td><td>1.25</td><td>1.35</td></tr>
<tr><td>1.05～1.20</td><td>1.05～1.30</td><td>1.05～1.20</td><td>1.05～1.30</td></tr>
<tr><td rowspan="2">金属熱処理炉</td><td>1.25</td><td>1.30</td><td>1.20</td><td>1.25</td></tr>
<tr><td>1.05～1.20</td><td>1.05～1.30</td><td>1.05～1.15</td><td>1.05～1.25</td></tr>
</table>
</td></tr>
<tr><td>補足説明</td><td></td></tr>
<tr><td>参考資料</td><td>[1]．『平成 27 年度　エネルギー診断プロフェッショナル　認定試験公式テキスト』（省エネルギーセンター）
[2]『エネルギーの使用の合理化に関する法律』 工場又は事業場におけるエネルギーの使用の合理化に関する事業者の判断の基準（省エネ法　判断基準）</td></tr>
<tr><td>用語説明</td><td>空気比：燃料を燃焼させるために実際に投入された空気量と理論空気量の比
理論空気量：単位燃料を完全燃焼させるための必要最小限の空気量
理論燃焼ガス量：単位燃料を完全に燃焼させることにより生じるガス量</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）

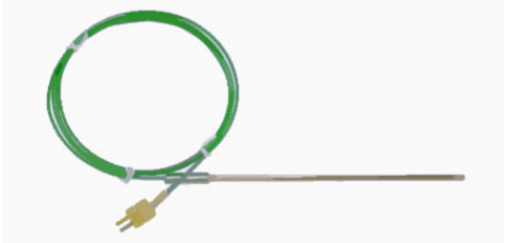
計測シート

対策名	250121　燃焼炉の空気比改善
対象タイプ	運用改善
対象業種	産業用　　業務用
ﾕｰﾃｨﾘﾃｨ・主設備	工業炉
内容・目的	工業炉の燃焼装置（バーナー）では、空気比（＝実空気量／理論空気量）が大きくなると、燃焼に寄与しない余剰空気量が増える。その結果、余剰空気の昇温や排気量の増大などの無駄なエネルギー使用量が増えるため、空気比を適正値に下げる必要がある。以下に、空気比を適正値に下げることによる省エネ効果の算出するために必要な測定項目、測定方法、測定機器等を示す。
フロー図と計測箇所	＜計測項目＞ １．排ガスの酸素濃度 排気ガス測定等に適した酸素分析計濃度計（ジルコニア式等）を煙道に設置し、排気ガス中の酸素濃度を計測する。測定した酸素濃度（%）を以下の式に代入することにより、排気ガスの空気比 m が導出できる。 m　＝　21/（21－酸素濃度（%））　　（１） ２．排ガスの温度 Tg 排ガス温度に適した温度検出器を炉道に取付けて測定する。 ３．外気温度 Ta 燃焼に用いる空気の温度
計測装置	１．排ガスの酸素分析計（濃度計） ジルコニア式、磁気流量比式、レーザー分光式、電極式等の酸素濃度計があるが、中でもジルコニア式（濃淡電池式）が煙道などに直接取付けることができ、かつ排ガスのサンプリングが不要で、使い易い。長時間の測定が必要な場合には、データロガー等も活用する。 ２．ガス温度検出器 高温用の温度センサーを煙道のポート等に装着して、排ガス温度を測定する。長時間にわたる測定の場合、データロガーの使用も検討すること。
計測留意事項	１．酸素濃度の測定値が「湿りガスベース」でなく、「乾きガスベース」に換算等がなされていることを確認すること。





ジルコニア式酸素濃度計



高温用温度センサー

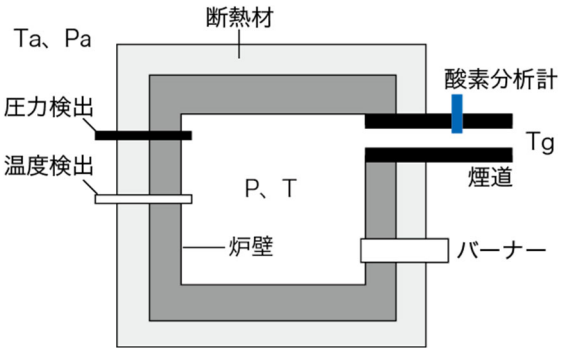
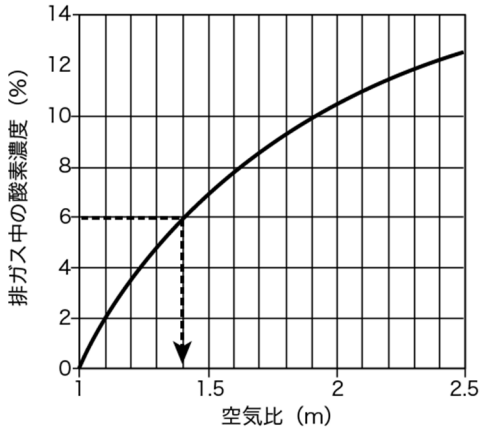
「省エネルギーセンター」ダウンロードファイル（無断転載、翻訳を禁ず）

計測シート

	2．排ガス酸素濃度の測定が困難な場合、定期点検等での確認情報を流用することも可能。 3．空気比改善による省エネ・CO_2 削減効果に関し、長期にわたる効果を明確にするには、排ガスの酸素濃度、排ガス温度、外気温度も、長期間の平均値を用いる必要がある。 4．測定対象炉の煙道に備え付けの酸素分析計や温度検出器があり、その測定値を流用する場合には、分析計や検出器に故障やくるいが無いことを事前に確認すること。
補足説明	
用語説明	湿りガスベース： 煙道中のガスを直接測定するような場合、水分を含んだままの排ガスを測定している。このような条件での測定値は、「湿りガスベース」の値と呼ばれる。湿りガスベースの値は蒸気も含んだガスを 100%としているので、同じ排ガスの酸素濃度を測定しても低目となる。ジルコニア式酸素濃度計には、乾きガスベースへの演算機能を有しているものもある。 乾きガスベース： 排ガス中の水分を除外した条件でのガス分析値を「乾きガスベース」の値と呼ぶ。

「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）

算定シート

対策名	250121　燃焼炉の空気比改善
対策タイプ	運用改善
対象業種	産業用　　業務用
ﾕｰﾃｨﾘﾃｨ・主設備	工業炉
目的	工業炉の燃焼装置（バーナー）では、空気比（＝実空気量／理論空気量）が大きくなると、燃焼に寄与しない余剰空気量が増える。その結果、余剰空気の昇温や排気量の増大などの無駄なエネルギー使用量が増えるため、空気比を適正値に下げる必要がある。以下に工業炉の空気比を適正値に下げることによる省エネ効果の算出方法を示す。
計算条件	・燃料：都市ガス 13A 低発熱量 Hu＝41.9MJ/ Nm^3 CO_2 排出係数 2.15kg/ Nm^3 単価 100 円/ m^3 ・燃料使用量 F＝64,000 Nm^3/年 ・炉内温度 T＝1,200℃ ・排ガス　温度 Tg＝1,100℃ 1,100℃の平均比熱 Cp＝1.4kJ/ Nm^3K ・雰囲気温度 Ta＝30℃ ・改善条件 改善前の空気比 m_1＝1.4（酸素濃度 6%）　→　改善後　m_2＝1.1 
計算方法	1．酸素濃度から空気比mの推算 排ガス中の酸素濃度 O_2(%)と空気比 m には、式（1）の概略関係が成り立つ（図は式（1）をグラフ化したもの）。 $m=21/(21-O_2(\%))$　（1） 2．理論空気量 A_0、理論燃焼ガス量 G_0の算出 使用燃料 13A の理論空気量 A_0、理論燃焼ガス量 G_0を表 1 の式より求める。 $A_0=0.268\times41.9=11.2$（Nm^3/Nm^3） $G_0=0.293\times41.9=12.3$（Nm^3/Nm^3）  図 1．排ガス中の酸素濃度と空気比の関係

「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）

算定シート

表 1．理論空気量 A_0、理論燃焼ガス量 G_0 の概略計算式

燃料の低位発熱量	理論空気量 A_0	理論燃焼ガス量 G_0
液体燃料 Hu（MJ/kg）	0.296×Hu−1.36 (Nm^3/kg)	0.376×Hu−3.91 (Nm^3/kg)
気体燃料 Hu（MJ/Nm^3）	0.268×Hu　(Nm^3/Nm^3)	0.293×Hu　(Nm^3/Nm^3)

3．空気比改善前後の試算

1）改善前の有効に使用された熱量の計算

単位燃料当たりの排ガスの排熱量 Q_1 は

$Q_1 = \{G_0 + (m_1 - 1) \times A_0\} \times Cp \times (Tg - Ta)$　（2）

$= \{12.3\ Nm^3/Nm^3 + (1.4-1) \times 11.2\ Nm^3/Nm^3\} \times 1.4\ kJ/Nm^3K$

$\times (1100℃ - 30℃) \div 1{,}000 = 23.5 MJ/Nm^3$

有効に利用される単位燃料当たりの熱量 Qy_1 は

$Qy_1 = Hu - Q_1$　（3）

$= 41.9\ MJ/Nm^3 - 23.5\ MJ/Nm^3 = 18.4 MJ/Nm^3$

従って、総有効熱量は Qy に燃料の年間使用量 F を掛けたものであるから

$Qy_1 \times F_1$　＝　18.4 MJ/Nm^3 × 64,000 Nm^3/年 ＝ 1,180,000MJ/年

2）改善後（$m_2 = 1.1$）の有効に使用された熱量の計算

式（2）より、改善後の単位燃料当たりの排ガスの排熱量 Q_2 は

$Q_2 = \{12.3\ Nm^3/Nm^3 + (1.1-1) \times 11.2\ Nm^3/Nm^3\} \times 1.4\ kJ/Nm^3K$

$\times (1100℃ - 30℃) \div 1{,}000 = 20.1 MJ/Nm^3$　有効に利用される単位燃料当たりの熱量 Qy2 は（3）式を用いて

$Qy_2 = Hu - Q_2$

$= 41.9\ MJ/Nm^3 - 20.1\ MJ/Nm^3 = 21.8 MJ/Nm^3$

3）改善後（$m_2 = 1.1$）の年間必要燃料 F_2

①　で求めた総有効熱量を作るために必要な改善後の必要燃料量 F_2 は

$F_2 = Qy_1 \times F_1 / Qy_2$

$= 1{,}180{,}000\ MJ$ /年 ÷ 21.8 MJ/Nm^3 ＝ 54,100Nm^3/年

4．改善効果

年間の燃料（都市ガス 13A）の削減量 ⊿F

改善前の年間燃料使用量 F_1 ＝64,000 Nm^3/年と　3．3）の結果から

⊿F＝F1−F2

＝64,000 Nm^3/年 − 54,100 Nm^3/年 ＝ 9,900Nm^3/年

削減金額 ⊿Y

13A の単価 100 円/Nm^3 より

⊿Y　＝9,900 Nm^3/年 × 100 円/Nm^3 ÷ 1000　＝　990 千円/年

CO_2 削減量 ⊿C

13A の CO_2 排出係数 2.15kg/Nm^3 より

「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）

算定シート

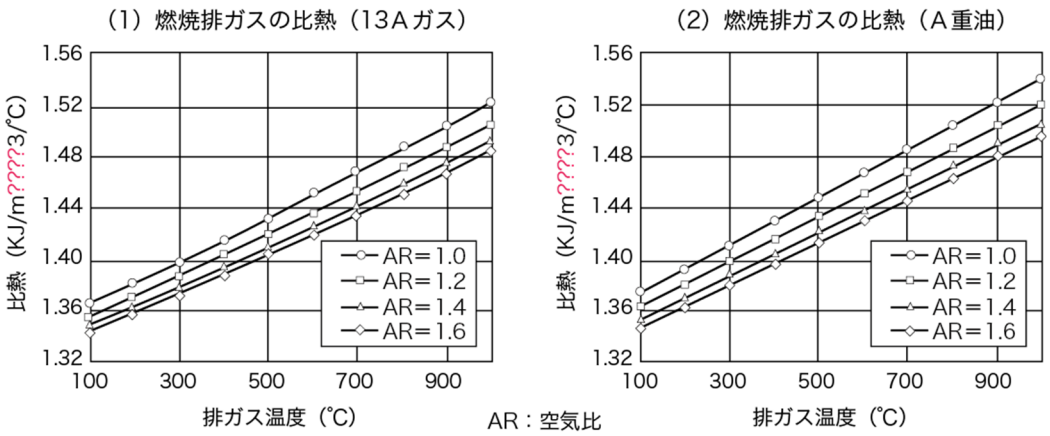
<table>
<tr><td></td><td>⊿C　＝9,900 Nm³/年×2.15kg/Nm³÷1000＝21.3t-CO₂/年

原油換算削減量⊿O
13A の原油換算係数 1.16L/ Nm³ より
⊿O　＝9,900 Nm³/年×1.16L/Nm³÷1000　＝　11.5kL/年</td></tr>
<tr><td>効果</td><td>
<table>
<tr><th>各月の</th><th>単位</th><th>効果</th><th>備考</th></tr>
<tr><td>① 購入電力削減量</td><td>—</td><td>—</td><td></td></tr>
<tr><td>② 原油換算削減量</td><td>kL/年</td><td>11.5</td><td></td></tr>
<tr><td>③ CO₂削減量</td><td>t-CO₂/年</td><td>21.3</td><td></td></tr>
<tr><td>④ 削減金額</td><td>千円/年</td><td>990</td><td></td></tr>
</table>
</td></tr>
<tr><td>測定/取得データ</td><td>・排ガスの酸素濃度、
・排ガスの温度、
・外気温度
・改善前の年間燃料使用量
・排ガスの定圧比熱</td></tr>
<tr><td>留意事項</td><td>燃焼不良事故防止の観点から、空気比調整の実作業は原則として専門業者に依頼する。</td></tr>
<tr><td>参考資料</td><td>[1]『エネルギー診断プロフェッショナル　認定試験公式テキスト』(省エネルギーセンター)
[2]エネルギーの使用の合理化に関する法律　工場又は事業場におけるエネルギーの使用の合理化に関する事業者の判断の基準（省エネ法　判断基準）</td></tr>
<tr><td>参考図表等</td><td>1．工業炉等の空気比の基準、目標値
表２に液体／気体の燃料の違いによる各種工業炉の空気比の基準、目標値を示す。空気比改善の参考にしていただきたい。

表２．空気比の基準　　上段：基準値　　下段：目標値
<table>
<tr><th colspan="2" rowspan="2">区分</th><th colspan="2">液体燃料</th><th colspan="2">気体燃料</th></tr>
<tr><th>連続式</th><th>間欠式</th><th>連続式</th><th>間欠式</th></tr>
<tr><td rowspan="6">工業炉</td><td rowspan="2">金属溶解炉</td><td>1.30</td><td>1.40</td><td>1.25</td><td>1.35</td></tr>
<tr><td>1.05～1.25</td><td>1.05～1.30</td><td>1.05～1.20</td><td>1.05～1.25</td></tr>
<tr><td rowspan="2">金属加熱炉</td><td>1.25</td><td>1.35</td><td>1.25</td><td>1.35</td></tr>
<tr><td>1.05～1.20</td><td>1.05～1.30</td><td>1.05～1.20</td><td>1.05～1.30</td></tr>
<tr><td rowspan="2">金属熱処理炉</td><td>1.25</td><td>1.30</td><td>1.20</td><td>1.25</td></tr>
<tr><td>1.05～1.20</td><td>1.05～1.30</td><td>1.05～1.15</td><td>1.05～1.25</td></tr>
<tr><td rowspan="8">ボイラー</td><td rowspan="2">≧30T/h</td><td colspan="2">1.1～1.25</td><td colspan="2">1.1～1.2</td></tr>
<tr><td colspan="2">1.05～1.15</td><td colspan="2">1.05～1.15</td></tr>
<tr><td rowspan="2">≧10T/h</td><td colspan="2">1.15～1.3</td><td colspan="2">1.15～1.3</td></tr>
<tr><td colspan="2">1.15～1.25</td><td colspan="2">1.15～1.25</td></tr>
<tr><td rowspan="2">≧5T/h</td><td colspan="2">1.2～1.3</td><td colspan="2">1.2～1.3</td></tr>
<tr><td colspan="2">1.15～1.3</td><td colspan="2">1.15～1.25</td></tr>
<tr><td rowspan="2">5T/h＞</td><td colspan="2">1.2～1.3</td><td colspan="2">1.2～1.3</td></tr>
<tr><td colspan="2">1.15～1.3</td><td colspan="2">1.15～1.25</td></tr>
</table>
2．定圧比熱
都市ガス 13A、A 重油の燃焼排ガスの定圧比熱を以下に示す。</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）

算定シート

<table>
<tr>
<td></td>
<td>


出典：『省エネルギー診断技術ハンドブック』（省エネルギーセンター）
図２．燃焼排ガスの定圧比熱
</td>
</tr>
<tr>
<td>用語説明</td>
<td>
１．空気比：燃料を燃焼させるために実際に投入された空気量と理論空気量の比
２．理論空気量：単位燃料を完全燃焼させるための必要最小限の空気量
３．理論燃焼ガス量：単位燃料を完全に燃焼させることにより生じるガス量
</td>
</tr>
</table>