「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>250221　工業炉の断熱、保温の強化</td></tr>
<tr><td>対策タイプ</td><td>部分更新・機能付加</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>工業炉外壁の保温が不十分な箇所を断熱材で補強することで省エネを促進する。</td></tr>
<tr><td>対策技術の概要</td><td>1．概要
工業炉の用途としては、乾燥、加熱、熱処理、溶解他がある。一般に単一設備で大量のエネルギーが消費されるため、省エネの対象として重要な設備である。特に、化学、鉄鋼、金属製品製造、熱処理、食品などの大規模工場では、工業炉の省エネ対策によって大きな省エネ効果が期待できる。
工業炉では、炉壁の断熱を十分に行い、放散熱量を低減することが重要である。炉壁からの放散熱量は炉体の表面温度が決まれば大体決まるが、炉壁の形状や大きさ、塗装の色、周囲の風の有無に影響される。炉壁からの放散熱量は、周囲空気の対流によって放散される熱量と放射によって放散される熱量からなり、その合計量は一般的に炉の熱エネルギー全体の 2～10%程度程度（注 1）である。
炉壁外面の基準温度（現時点で達成すべき温度）、目標温度（将来的に達成してほしい表面温度）を補足説明欄に示すので、参考にしていただきたい。

2．工業用断熱材
炉体外壁に使用される断熱材は、炉の構造や外壁温度に応じて材料選定する必要がある。省エネ効果を高めるには、熱伝導が低い材料を選ぶべきであるが、重量が問題になる場合は比重の小さいもの、保熱性を考える場合には比熱の大きなものを選ぶ必要がある。
補足説明欄の図 1 に、各種保温・断熱材の使用温度範囲を示す。また、表 2 に炉体外壁用断熱材の代表例として、ロックウール、グラスウールの熱伝導率他の物性値を示す。</td></tr>
<tr><td>補足説明</td><td>表 2．炉壁外面の基準・目標温度
a）基準温度
<table>
<tr><td rowspan="2">炉内温度（単位：℃）</td><td colspan="3">基準炉壁外面温度（単位：℃）</td></tr>
<tr><td>天井</td><td>側壁</td><td>外気に接する底面</td></tr>
<tr><td>1,300 以上</td><td>140</td><td>120</td><td>180</td></tr>
<tr><td>1,100 以上 1,300 未満</td><td>125</td><td>110</td><td>145</td></tr>
<tr><td>900 以上 1,100 未満</td><td>110</td><td>95</td><td>120</td></tr>
<tr><td>900 未満</td><td>90</td><td>80</td><td>100</td></tr>
</table></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）

概要シート

b）目標温度

炉内温度（単位：℃）	目標炉壁外面温度（単位：℃）		
	天井	側壁	外気に接する底面
1,300 以上	120	110	160
1,100 以上 1,300 未満	110	100	135
900 以上 1,100 未満	100	90	110
900 未満	80	70	90

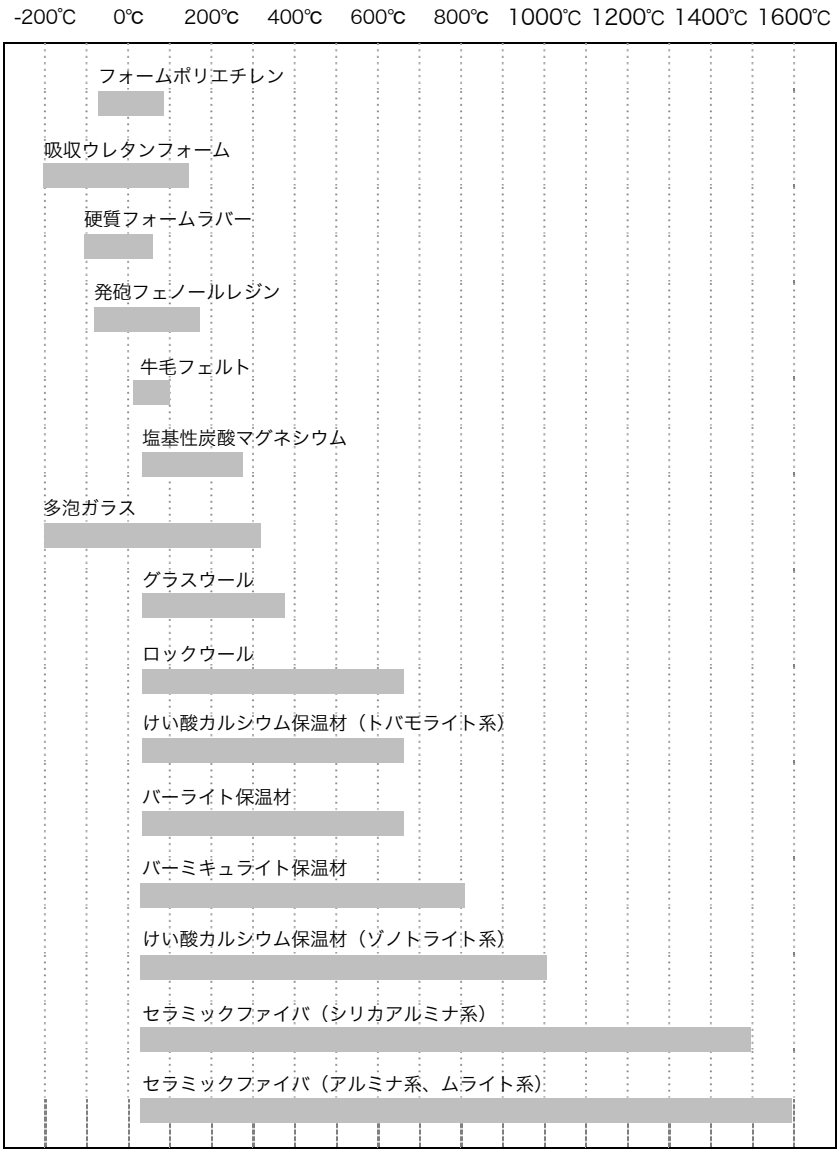


図 1. 各種保温・断熱材の種類と使用温度

「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

表 2. ロックウール、グラスウールの主な物性

種類			ホルムアルデヒド放散による区分*	密度 (kg/m³) 範囲	熱間収縮温度 (℃)以上 1)	熱伝導率 (W/(m·K)) 以下 (平均温度 70℃)	熱伝導率算出参考式(W/(m·K)) θ：温度(℃)2)
ロックウール	ウール		F☆☆☆☆	40～150	650	0.044	
	保温板	1号	F☆☆☆☆	40～100	600	0.044	0.0337+0.000151·θ　(-20≦θ≦100) 0.0395+4.71×10⁻⁵·θ+5.03×10⁻⁷·θ² (100＜θ≦600)
		2号	F☆☆☆☆ F☆☆	101～160		0.043	0.0337+0.000128·θ　(-20≦θ≦100) 0.0407+2.52×10⁻⁵·θ+3.34×10⁻⁷·θ² (100＜θ≦600)
		3号		161～300		0.044	0.0360+0.000116·θ　(-20≦θ≦100) 0.0419+3.28×10⁻⁵·θ+2.63×10⁻⁷·θ² (100＜θ≦600)
	フェルト			20～70	400	0.049	0.0349+0.000186·θ　(-20≦θ≦100) 0.0337+1.63×10⁻⁴·θ+3.84×10⁻⁷·θ² (100＜θ≦400)
	ブランケット	1号		40～100	600	0.044	保温板1号と同じ
		2号		101～160		0.043	保温板2号と同じ
	保温帯	1号		40～100		0.052	0.0349+0.000244·θ　(-20≦θ≦100) 0.0407+1.16×10⁻⁴·θ+7.67×10⁻⁷·θ² (100＜θ≦600)
		2号		101～160		0.049	0.0360+0.000174·θ　(-20≦θ≦100) 0.0453+3.58×10⁻⁵·θ+4.15×10⁻⁷·θ² (100＜θ≦600)
	保温筒			40～200		0.044	0.0314+0.000174·θ　(-20≦θ≦100) 0.0384+7.13×10⁻⁵·θ+3.51×10⁻⁷·θ² (100＜θ≦600)
グラスウール	ウール		F☆☆☆☆		400	0.042	0.0314+1.50×10⁻⁴·θ　(0≦θ≦100)
	保温板	24K	F☆☆☆☆	22～26	250	0.049	0.0357+1.42×10⁻⁴·θ+8.34×10⁻⁷·θ² (-20≦θ≦200)
		32K	F☆☆☆	28～36	300	0.046	0.0333+1.21×10⁻⁴·θ+6.56×10⁻⁷·θ² (-20≦θ≦200)
		40K	F☆☆	37～44	350	0.044	0.0328+1.10×10⁻⁴·θ+5.61×10⁻⁷·θ² (-20≦θ≦200)
		48K		45～52	350	0.043	0.0324+1.05×10⁻⁴·θ+4.62×10⁻⁷·θ² (-20≦θ≦200)
		64K		58～70	400	0.042	0.0320+9.48×10⁻⁵·θ+3.30×10⁻⁷·θ² (-20≦θ≦200)
		80K		73～87		0.042	0.0317+9.39×10⁻⁵·θ+2.48×10⁻⁷·θ² (-20≦θ≦200)
		96K		88～105		0.042	0.0318+9.82×10⁻⁵·θ+2.44×10⁻⁷·θ² (-20≦θ≦200)
	波形保温板			37～105	350	0.050	0.0331+1.00×10⁻⁴·θ+7.30×10⁻⁷·θ² (0≦θ≦100)
	保温帯	A		22～36	250	0.052	0.0384+1.99×10⁻⁴·θ　(0≦θ≦100)
		B		37～52	350	0.052	0.0384+1.99×10⁻⁴·θ　(0≦θ≦100)
		C		58～105	400	0.052	0.0384+1.99×10⁻⁴·θ　(0≦θ≦100)
	保温筒			45～90	350	0.043	0.0324+1.05×10⁻⁴·θ+4.62×10⁻⁷·θ² (0≦θ≦200)
	ブランケット	A		24～40	350	0.048	0.0337+1.99×10⁻⁴·θ　(0≦θ≦100)
		B		41～120	400	0.043	0.0314+1.68×10⁻⁴·θ　(0≦θ≦100)

注　1）実際に使用する際の諸条件を考慮した使用温度の上限は、附属書Ⅰ参照。
2）熱伝導率算出参考式は、熱伝導率を測定した温度範囲を表示している。
＊　F☆☆☆☆ 放散速度が 5μg/(m²·h) 以下　F☆☆☆ 20μg/(m²·h) 以下　F☆☆ 1205μg/(m²·h) 以下

参考資料

[1] 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）
『エネルギー管理のためのデータシート』（省エネルギーセンター2014）
[2]『エネルギー管理のためのデータシート』（省エネルギーセンター2014）
[3]『省エネルギー手帳』（省エネルギーセンター）

用語説明

「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	250221　工業炉の断熱、保温の強化
対象タイプ	部分更新・機能付加
対象業種	産業用　　業務用
分類	工業炉
内容・目的	工業炉外壁の保温が不十分な個所の断熱補強による省エネ効果や CO_2 削減効果を算定するために、必要な計測データ、計測方法等を示す。
計測装置	1．放射温度計 物体の温度と放射赤外線との関係から、特定波長の赤外線量より温度を測定する。短時間での測定が可能で便利だが、物体からの放射赤外線以外がセンサーに入射すると測定誤差となる。 2．サーモグラフィ 放射温度計が測定範囲を 1 個の測定数値として出力するのに対して、サーモグラフィは温度の分布を 2 次元画像として測定するもの。工業炉外壁の保温が不十分な個所の全体把握、面積確認には有用である。測定時には、放射温度計と同様に放射率の設定が重要。 3．接触式温度計 熱電対などを使用し、測定対象物にプローブを接触させて温度を測定する。対象物へのセンサーの接触状態により測定値に誤差が生じるので注意のこと。また、プローブの耐熱性にも留意すること。
計測留意事項	1．平常あるいはそれに近い操業時に測定すること 2．非定常運転が頻繁に行われる場合は、連続測定を実施することで温度変化を把握すること 3．放射温度計、サーモグラフィ等を使用する際は、出来るだけ正しい放射率を設定すること 4．接触式温度計を使用する際には、センサーの対象物表面との接触状態により測定値が大きく変化する。確実に接触していることを確認しながら測定すること。

「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）

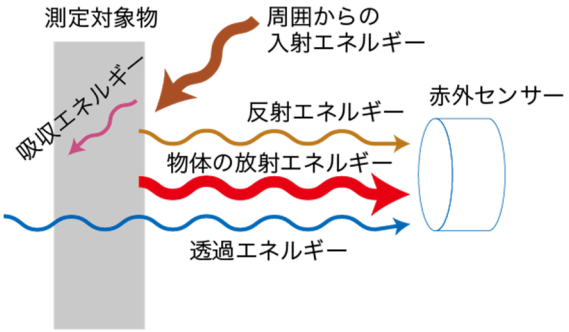
計測シート

補足説明

1．放射温度計を使用する際の留意事項

1）放射率の設定法

測定対象物からの放射赤外線以外（右図参照）がセンサーに入射すると測定誤差となる。測定対象と同様物体の放射率が文献などに記載されている場合でも、以下方法で放射率を設定し、確実な表面温度測定が好ましい。

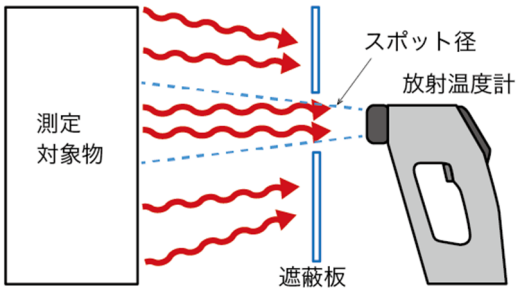


a) 接触式温度計により別途物体表面の温度を測定し、放射温度計の測定値が接触式温度計の測定値と一致するように放射率を設定する。

b) 黒体スプレー（またはテープ）を測定対象表面に塗布（貼り付け）して、放射率１としてスプレー（またはテープ）部の表面温度を測定する。

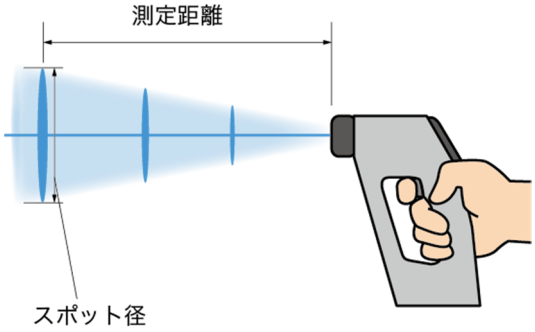
2）測定可能範囲（スポット径）と測定距離

放射温度計では、測定対象物までの距離により測定できる範囲（スポット径）が決まる。使用距離において、スポット径がどのくらいの大きさになっているかをカタログ等で確認し、スポット径より測定対象が大きくなるように留意しながら、測定する



3）高温物体測定時の不要赤外線の遮蔽

高温物体測定時、放射温度計が熱せられ、正確な温度測定に支障を生じたり、測定器の破損に繋がる場合がある。このような場合には、測定に必要な赤外線以外を遮蔽する。



「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）

計測シート

<table>
<tr>
<td></td>
<td>
２．放射率の代表例
各種物体の放射率を以下に参考として示す。
<table>
<tr><th>物体</th><th>放射率 ε</th></tr>
<tr><td>アルミ合金（粗磨き面）</td><td>0.1～0.4</td></tr>
<tr><td>アルミ　酸化面</td><td>0.4</td></tr>
<tr><td>真ちゅう　酸化面</td><td>0.5</td></tr>
<tr><td>銅　酸化面</td><td>0.5～0.8</td></tr>
<tr><td>鉄　酸化面</td><td>0.6～0.9</td></tr>
<tr><td>ステンレス</td><td>0.15～0.8</td></tr>
<tr><td>アスベスト</td><td>0.9</td></tr>
<tr><td>セラミックス</td><td>0.8～0.95</td></tr>
<tr><td>コンクリート</td><td>0.9</td></tr>
<tr><td>ガラス</td><td>0.75～0.95</td></tr>
<tr><td>石膏</td><td>0.8～0.9</td></tr>
<tr><td>塗料（アルミ除く）</td><td>0.9～0.95</td></tr>
<tr><td>プラスチック（不透明 0.5mm 厚以上）</td><td>0.95</td></tr>
</table>
出所：放射温度計メーカー等のホームページ
</td>
</tr>
<tr>
<td>用語説明</td>
<td>放射率：物体から放射される赤外線の量は同じ温度の物体であっても、材質や表面状態によって異なる。放射温度計で温度を測定する場合は、物体によってこの放射の割合を補正する必要があり、この割合のことを「放射率」という。</td>
</tr>
</table>

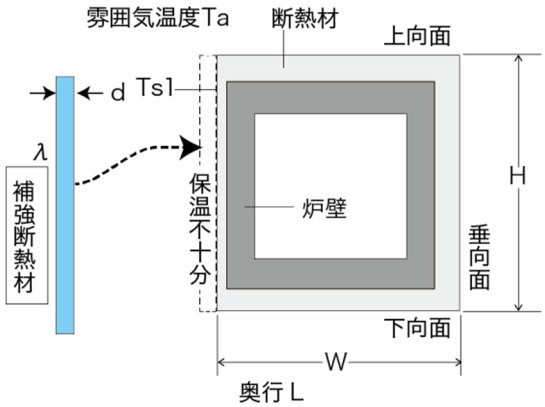
「省エネルギーセンター」ダウンロードファイル（無断転載、翻訳を禁ず）

算定シート

対策名	250221　工業炉の断熱、保温の強化
対策タイプ	部分更新・機能付加
対象業種	産業用　　業務用
分類	工業炉
目的	工業炉外壁の保温が不十分な箇所を断熱材で補強することによって、どの程度の放散熱量（自然対流と放射によるものの和）が低減できるかを算定する方法を示す。

計算条件

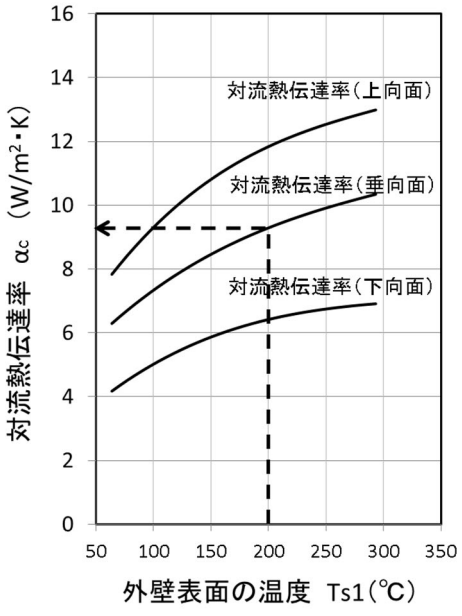
・保温が不十分な箇所
　表面温度 Ts1＝200℃
　面積 S（＝H×L）＝1.5m×2m
・補強断熱材の物性値等
　使用断熱材：グラスウール（48K）
　を使用（概要シートの表 2 参照）
　熱伝導率λ＝0.043W/m･K
　表面の放射率ε＝0.8
　厚み d＝0.05m
　断熱材厚比λ/d＝0.86W/m²K
・雰囲気温度 Ta＝30℃
・工業炉運転時間 t
　24 時間連続で 200 日/年稼動とする
　　t ＝24h/日×200 日/年＝4800(h/年)



・使用燃料　A 重油

計算方法

1．断熱材補強前の放散熱量 Q1



① 図 1．炉壁からの対流熱伝達率

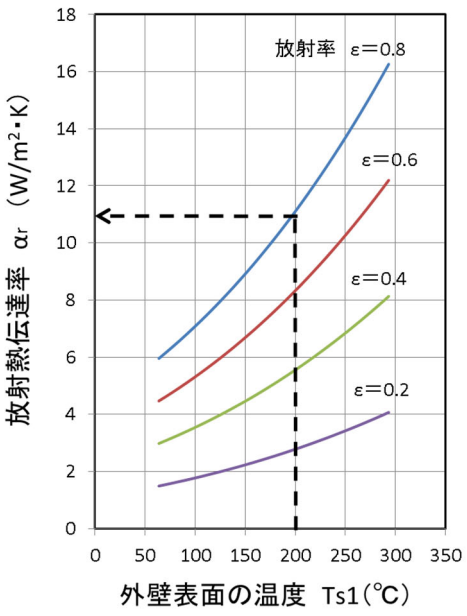


図 2．炉壁からの放射熱伝達率　　熱伝達率の算定

保温不十分箇所の方向（上向、垂向、下向）、表面温度 Ts1、放射率ε を求め、図 1、図 2 より、対流熱伝達率αc、放射熱伝達率αr を導出する。

＜事例＞

上記計算条件の場合、αc＝9.3 W/m²・K、αr＝11.0 W/m²・K

「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

対流と放射による放散熱伝達率α＝αc＋αr＝20.3W/m²・K　（1）

② 断熱材補強前の放散熱量 Q1

Q1＝（放散熱伝達率α）×（面積 S)×（外壁温度 Ts1－雰囲気温度 Ta）

＜事例＞

Q1＝20.3W/m²・K×3m²×（200℃-30℃）÷1000

＝10.4kW　（2）

2．断熱補強後の放散熱量 Q2

＜事例＞

断熱材の厚さ比

λ/d＝0.86W/m²・K

断熱材の内側表面温度は被補強表面部の温度 Ts1 と同じ 200℃とみなし、図３より補強断熱材外側表面からの単位面積当たりの放散熱量を読み取る。

Q＝0.13ｋW/m²　（3）

従って、側面（1.5×2＝3 m²）からの放散熱量 Q2 は

Q2＝0.13ｋW/m²×3 m²

＝0.39（ｋW）　（4）

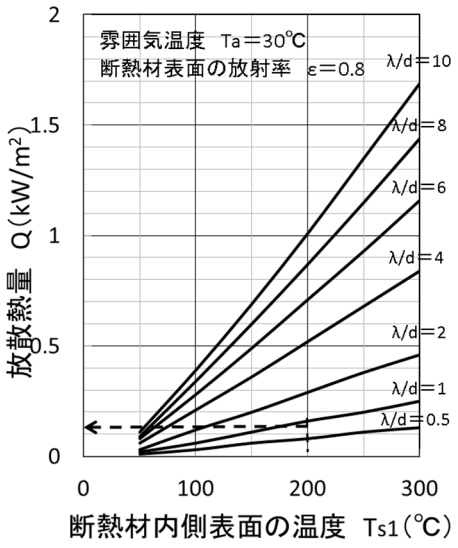


図３．断熱材表面からの放散熱量
（垂直面　ε＝0.8）

3．省エネ効果

＜事例＞

年間のエネルギー差削減量

（Q1－Q2）× t

＝(10.4kW－0.39kW)×1000×4800h/年×3,600s/h÷10⁹　＝173GJ/年　（5）

燃料（A 重油）削減量⊿F

A 重油の低位発熱量 36.6GJ/kL より

⊿F＝173GJ/年÷36.6GJ/kL＝4.73kL/年　（6）

削減金額⊿Y

A 重油単価 70 円/L より

⊿Y＝4.73kL/年×70 円/L＝331 千円/年　（7）

CO_2 削減量⊿C

A 重油の CO_2 排出係数 2.71t-CO_2/kL より

⊿C＝4.73kL/年×2.71t-CO_2/kL＝12.8t-CO_2/年　（8）

原油換算削減量⊿O

原油換算係数 1.01kL/kL より

⊿O＝4.73 kL/年×1.01 kL/kL＝4.78kL/年　（9）

効果

項目	単位	効果	備考
購入電力削減量	—	—	
原油換算削減量	KL/年	4.78	
CO_2 削減量	t-CO_2/年	12.8	

「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

	削減金額	千円/年	331	

測定/取得データ

・炉外壁の保温不十分箇所の温度 Ts1（平均値）
・保温不十分箇所の面積 S
・保温不十分箇所表面の放射率 ε

留意事項

1．放散熱量の算出方法

放散熱量 Q は対流によるものと放射によるものからなり、それらを伝熱係数の形で表せば、以下のような関係式となる。

$$Q=(\alpha c+\alpha r)\times S\times(Ts1-Ta) \quad (10)$$

ここで　αc：対流熱伝達率、　αr：放射熱伝達率

本分析シートでは、（10）式を用いて放散熱量を算出している。

＜参考＞

放射熱量は

$$Qr=5.67\times10^{-8}\times\varepsilon\times\{(Ts1+273)^4-(Ta+273)^4\} \quad (11)$$

でもあり、（10）(11)より　放射熱伝達率αr は

$$\alpha r=5.67\times10^{-8}\times\varepsilon\times\{(Ts1+273)^4-(Ta+273)^4\}/\{S\times(Ts1-Ta)\} \quad (12)$$

と表示できる。

2．**補強断熱材の内側（炉体側）表面温度 Ts1 は、炉の取付け面の温度と同じとみなす（断熱材と炉外壁の接触温度差が小さいとして無視）** 3．各種材料の放射率を参考図表欄（表１）に示すが、計測シートに提示する方法により、外壁の放射率を実測する方が好ましい

4．**断熱材表面からの放散熱量（図３）の断熱材向きや放射率による影響については、参考図表の図 4、図 5、図 6、図 7 より補間修正することにより、推算いただきたい（λ/d が小さい場合は、差異がほとんど見られない)）**

5．断熱材選定時は耐熱温度に留意すること

6．非定常操業が頻繁に行われる工業炉の場合、熱容量の小さい断熱材を選定する方が省エネとなる

参考資料

『エネルギー管理のためのデータシート』（省エネルギーセンター）

参考図表等

1．代表的物体の放射率

表１　代表的物体からの放射率

物体	放射率 ε
アルミ合金（粗磨き面）	0.1～0.4
アルミ　酸化面	0.4
真ちゅう　酸化面	0.5
銅　酸化面	0.5～0.8
鉄　酸化面	0.6～0.9
ステンレス	0.15～0.8
アスベスト	0.9
セラミックス	0.8～0.95
コンクリート	0.9
ガラス	0.75～0.95
石膏	0.8～0.9
塗料（アルミ除く）	0.9～0.95
プラスティック（不透明 0.5mm 厚以上）	0.95

「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

出所：放射温度計メーカー等のホームページ

2．補強断熱材表面からの放散熱量（断熱材向き（上向、下向）の関係）

図３の他、上向、下向の場合の断熱材からの放散熱量を図４、図５に示す。λ/d が大きい（断熱材が薄くて断熱材外表面温度が高く、周囲温度 Ta との温度差が大きい）場合に、上向、下向の放散熱量の差が比較的大きいが、λ/d が小さくなるに従い、向きによる差が小さくなる。

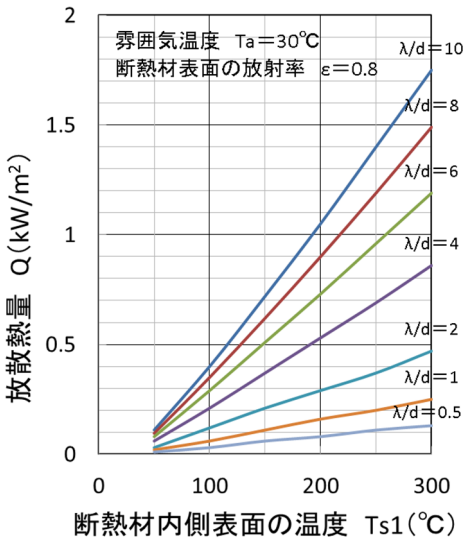


図４．断熱材表面からの放散熱量（上向き面の場合）

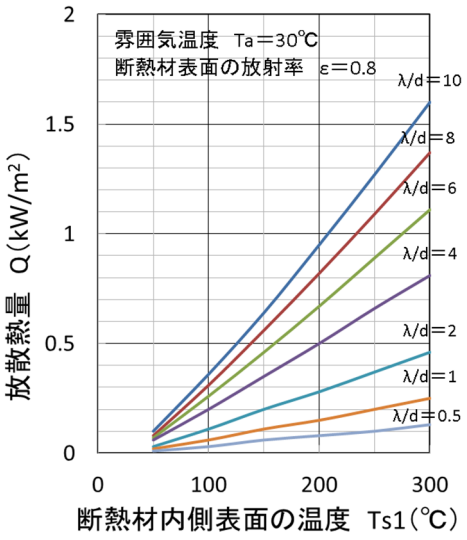


図５．断熱材表面からの放散熱量（下向き面の場合）

3．補強断熱材表面からの放散熱量（放射率の影響）

垂向面における断熱材表面からの放散熱量の放射率の影響を以下の図 6、図 7 に示す。２）の放散熱量の向きによる影響の場合と同様、断熱材の放射率の放散熱量に与える影響は、λ/d が大の場合に大きい。

「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

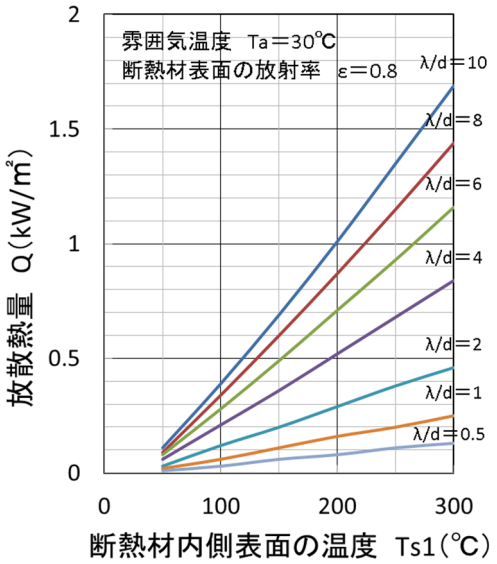


図 6. 断熱材表面からの放散熱量
（垂向面　ε=0.8）

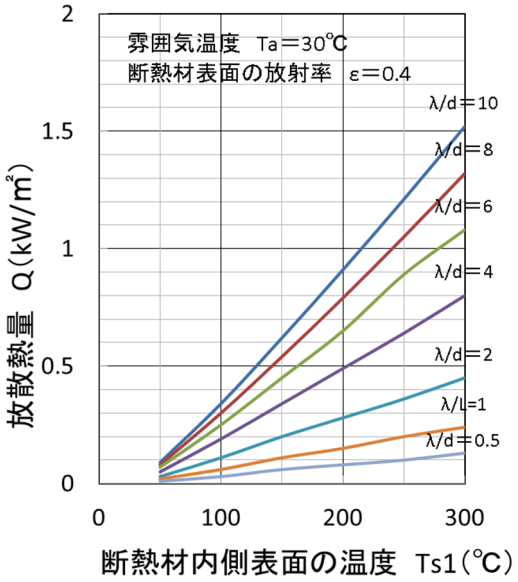


図 7. 断熱材表面からの放散熱量
（垂向面　ε＝0.4）