中外炉サーモテックニュース

Chugai Ro Thermal Technology News



執筆者ご紹介

今回は ワタシが執筆いたします!

中外炉工業株式会社 プラント事業本部 サーモシステム事業部 事業部長 第「中外炉サーモテックニュース」編集長

池田 勇

本号執筆者プロフィール

1985年 中外炉工業 入社

1991年 International Flame Research Foundation

(オランダ)に出向し燃焼研究に没頭

1994年 中外炉工業サーモシステム事業部に復帰

2009年 サーモシステム事業部長に就任

2014年 子会社である中外炉タイ、中外炉インドネシアの

社長に就任し現地駐在

2019年 中外炉工業サーモシステム事業部長に再び就任

技術解説

工業炉における伝熱の基礎

多くの工業炉では、バーナやヒータなどの熱源を用いて被加熱物を加熱していますが、工業炉において被加熱物を効率的に加熱するためには、各炉の仕様に最適な熱の伝え方(=伝熱方法)を採用する必要があります。今号では、熱源で発生した熱がどのようにして被加熱物に伝えられるかを解説し、各伝熱方法における代表的な設備や利用方法を紹介します。

1. 熱が伝わる (= 伝熱) 時の 基本 3 形態





物体表面の流体の移動によって物体から 周囲流体(またはその逆方向)に熱が伝わ る現象で、対流熱伝達とも言います。代表 例は、同じ気温の冬の日でも強風の日ほど 寒く感じる(体感温度が低く感じる)現象です。



物体から熱エネルギーが電磁波として放出 される現象です。代表例は太陽からの熱放 射ですが、このことからも解るように熱放射 (熱輻射とも言う)は宇宙空間のような 真空中でも伝わることが大きな特徴です。 物体内の高温部から低温部に向かって物質の移動を伴わずに熱が移動する現象です。代表例は金属棒の片端を加熱すると金属内部で熱が伝わり反対端の温度も上昇する現象です。

■ 2. 熱伝達(対流熱伝達)による伝熱

対流熱伝達の計算式

$$Q = F \cdot k \cdot (t_1 - t_2)$$

Q:対流熱伝達量【W】 F:伝熱面積【m'】 k:熱貫流率【W/(m'·K)】

t1:放熱流体温度【℃】 t2:受熱流体温度【℃】

対流熱伝達の特徴

- 対流熱伝達量は伝熱面積、熱貫流率、流体温度差の1乗に比例します。
- ●熱貫流率は流体の流速上昇に伴い上昇します。
- 工業炉の外壁面からの対流熱伝達量は壁面の向きにより異なります。(水平上向面は垂直面の約1.3倍放熱)
- ●比較的低温(炉温1000℃未満が目安)の工業炉においては、対流熱伝達が炉内の伝熱を支配する傾向にあります。

対流熱伝達を積極的に利用した工業炉

- ハイスピードバーナ搭載直火式熱処理炉: 高速火炎噴流による熱貫流率向上 → 材料への対流熱伝達促進と均一温度分布
- RCファン搭載雰囲気熱処理炉: 高速炉内循環流による熱貫流率向上 → 材料への対流熱伝達促進と均一温度分布
- 高効率レキュペータ搭載ラジアントチューブバーナ: 高速排ガス流による熱貫流率向上 → 予熱空気温度向上による省エネ

■ 3. 熱放射(熱輻射)による伝熱

熱放射の計算式

Q=5.67 •
$$\varepsilon$$
 • A • $[(\frac{T_1}{100})^4 - (\frac{T_2}{100})^4] \cdot 10^{-3}$

Q:熱放射量[kW] 5.67:ステファン・ボルツマン定数 ϵ :放射率

A:関与する表面積【㎡】 T1:放射面の絶対温度【K】 T2:吸収面の絶対温度【K】

熱放射の特徴

- 熱放射による伝熱量は放射率と表面積に対しては1乗で比例し、表面絶対温度に対しては4乗で比例します。
- 伝熱量が絶対温度の4乗で増加するので、比較的高温(炉温1000℃以上が目安)の工業炉においては、熱放射が炉内の伝熱を支配する傾向にあります。
- 放射率は高温側(放熱側)と低温側(吸熱側)の両方を考慮する必要があります。放射率は最大値が1.0で表示される指標で、 物質でとに異なる物性値です。また同じ物質でも温度域により値が変化します。
- ●放射率=1.0の理想物質を黒体といいますが、実在する物質の放射率は全て1.0未満です。(次ページ表 1 参照)
- ●物質の放射率と吸収率は同じ値になります。また不透明な物質の放射率と反射率の合計は1.0になります。
- 一般的なガス燃焼の火炎放射率(0.3~0.4)は一般的な油燃焼の火炎放射率(0.4~0.8)より低くなります。

物質	鉄 (酸化面)	アルミ (酸化面)	耐火レンガ (暗クローム色)	アルミナ (研磨面)	
放射率 0.79		0.11~0.19 0.75		0.63~0.69	
温度範囲	200∼600℃	200~400℃	1000℃	200∼600℃	

熱放射を積極的に利用した工業炉

- ルーフバーナ搭載加熱炉:扁平火炎によるコーン状バーナタイル赤熱→材料への放射伝熱促進と燃焼空間低減(炉の小型化)
- 反射型アルミ溶解炉: 火炎が材料加熱と同時に炉壁も加熱 → 赤熱した炉壁から材料への熱放射により溶解促進

▲ 4. 熱伝導による伝熱

平板2層断熱の熱貫流率計算式

$$k = \frac{1}{\frac{1}{\alpha_{\text{OUT}}} + \frac{1}{\alpha_{\text{IN}}} + \frac{S_1}{\lambda_1} + \frac{S_2}{\lambda_2}}$$



αоит: 放熱物質の熱伝達率【W/(m²·K)】 αм: 受熱物質の熱伝達率【W/(m²·K)】

S₁: 断熱層 1 の厚さ【m】 S₂: 断熱層 2 の厚さ【m】

 λ_1 : 断熱層 1 の熱伝導率 $[W/(m \cdot K)]$ λ_2 : 断熱層 2 の熱伝導率 $[W/(m \cdot K)]$

熱伝導の特徴

- 金属の熱伝導率は種類により大きく異なります。表 2 に示すように、銅は鋼の10倍の熱伝導率です。
- ●耐火物の熱伝導率も種類により大きく異なります。表2に示すように断熱キャスタブルはCFブランケットの6倍の熱伝導率です。

表2. 主な物質の熱伝導率

	金属				耐火物		
物質	共析鋼 C 0.84%	ステンレス SUS304	工業用純アルミ A1100	銅	断熱キャスタブル LW-14A	断熱レンガ LBK-20	CF(セラミックファイバー) ブランケット 1260 8P
熱伝導率 W/(m·K)	38.1	20.1	222	383	0.43	0.17	0.07
温度	400℃	400℃	27℃	327℃	400℃	350℃	400°C

工業炉における熱伝導の応用

- 工業炉における炉壁の断熱計算は、熱伝導と対流熱伝達の考え方を組合せて実施されます。
- ■工業炉における炉壁の断熱を強化するために、炉内壁に熱伝導率が小さいCFブランケットを貼り付ける手法が用いられます。
- ●酸素バーナ先端部の水冷部分には、高温火炎からの受熱を素早く伝導させるために熱伝導率が大きい銅が使われています。

発行:

☑ 中外炉工業株式会社

堺事業所 プラント事業本部	〒592-8331 堺市西区築港新町2丁4番 ————————————————————————————————————	TEL(072)247-1440(直通)
東京支社 プラント事業本部	〒108-0075 東京都港区港南2丁目5番7号(港南ビル) ――――――――――――――――――――――――――――――――――――	-TEL(03)5783-3378(直通)
名古屋営業所	〒450-0003 名古屋市中村区名駅南1丁目21番19号(名駅サウスサイドスクエア) ――――――――――――――――――――――――――――――――――――	-TEL(052)561-3561(代表)

