

## 化学工学

【問1】乾燥に関する以下の文章を読み、文章中の空欄  $\boxed{\text{ア}}$  ～  $\boxed{\text{カ}}$  に当てはまる適切な文字式を答えよ。

乾燥操作は建材や陶磁器、食品の製造など、生産プロセスの中で多用される。また、液体の蒸発潜熱が顕熱と比較して大きいため、乾燥操作はエネルギーを多く消費するプロセスの一つである。さて、乾燥温度が低く、風量の大きな熱風受熱式移送乾燥機などでは熱効率  $\eta$  (乾燥を目的として装置に投入した熱量のうち目的の含水率 (水分) まで乾燥させるために材料に与えられた熱量の割合) を高めるために、排気の一部を外気と混合して循環利用する場合がある。

図1に排気の一部を循環利用する熱風乾燥プロセスのフローシートを示す。図中の  $W_D$  は無水材料の供給速度であり、 $w_2$  および  $w_3$  は、それぞれ乾燥機の入口および出口の含水率 (乾量基準) である。 $G_0$  および  $G_R$  は乾き空気質量基準の熱風流量および循環利用する熱風流量、 $T$  および  $H$  は温度および絶対湿度であり、添え字は図中の各流れを表す。 $Q_H$  はヒーターで供される熱量である。また系内の湿り空気の比熱  $c_H$  は一定とみなし、系からの熱損失はないものとする。

乾燥機における物質収支を考えると、単位時間当たりの含水材料中の水分の蒸発量と熱風が得る水分の量が相等しいため、次式が成り立つ。

$$\boxed{\text{ア}} = \boxed{\text{イ}} \quad (1)$$

次に熱収支を考える。乾燥機において消費される熱量  $Q$  は、材料の加熱に要する顕熱  $Q_S$  と水分の蒸発に要する潜熱  $Q_L$  の和となるので、熱風が乾燥機で失う熱量との収支をとると、

$$Q = Q_S + Q_L \doteq \boxed{\text{ウ}} \quad (2)$$

となる。このとき、ヒーター部における熱収支は次式となる。

$$Q_H \doteq \boxed{\text{エ}} \quad (3)$$

一方で、この乾燥プロセスの熱効率  $\eta$  は、その定義より、既出の熱量で表すと次式となる。

$$\eta \doteq \boxed{\text{オ}} \quad (4)$$

また、式(2)と(3)より、 $\eta$  は各位置の熱風温度を用いて、次式のように表すこともできる。

$$\eta \doteq \boxed{\text{カ}} \quad (5)$$

排気の循環利用はエネルギー的には有利であるものの、外気よりも湿度の高い熱風を循環するため、排気の混合割合 (循環率) を増加しすぎると熱風と被乾燥物との湿度差が減少し、所望の含水率まで乾燥できなくなる。このため、最適な循環率が存在する。

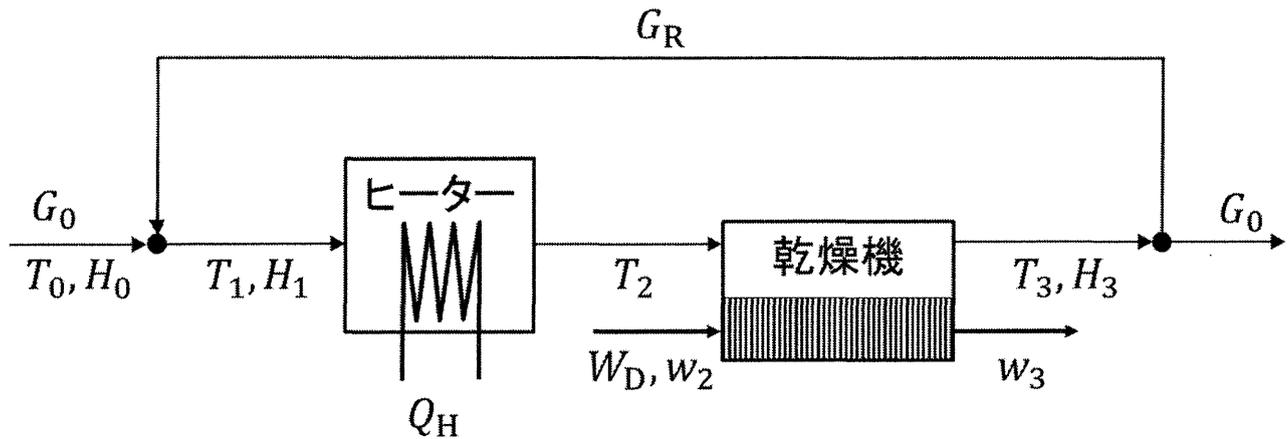


図1 熱風乾燥プロセスのフローシート

【問2】 伝熱と調湿に関する以下の文章を読み、設問に答えよ。

物体内のある位置において熱の流れ方向に直角な面を考える。この単位面積を単位時間に通過する熱量を  といい、これを  $q$  とすると、熱伝導率  $\lambda$ 、温度  $T$ 、熱の流れ方向の距離  $x$  を用いて

$$q = -\lambda \cdot \text{イ} \tag{6}$$

と表される。これを  の熱伝導法則という。

一方、固体表面と面に接する流体との間の熱移動現象は対流熱伝達と呼ばれ、 の冷却の法則によれば、 は熱伝達率  $h$  と固体表面と流体との温度差  $\Delta T$  を用いて

$$q = \text{オ} \tag{7}$$

で表される。

近年、さらなる省エネルギーを達成するために、住宅の断熱性能の向上が求められている。住宅において熱通過率（総括伝熱係数、熱貫流率）が大きいのはドアや窓などの開口部であり、開口部の面積の縮小や熱通過率の低減がいつその省エネルギー化のためには有効である。このため、窓枠の樹脂化や複層（ペア）ガラスの設置が温暖地域でもよく見られるようになってきた。そこで、どの程度ガラスの複層化が省エネルギーに効果があるのかを求めてみる。図2に単板ガラスと複層ガラスの模式図を示す。ガラス板は厚さ 3.00 mm であり、複層ガラスの板の間隔  $l$  は 12.0 mm である。ガラスの熱伝導率  $\lambda_g$  は 1.00 W/(m·K)、乾燥空気の熱伝導率  $\lambda_a$  は  $2.50 \times 10^{-2}$  W/(m·K) であり、ガラス板間の空気の流動はないものとみなしてよく、空気とガラス板間の熱抵抗は無視できる。また、室外側の熱伝達率  $h_o$  は 20.0 W/(m<sup>2</sup>·K)、室内側の熱伝達率  $h_i$  は 5.00 W/(m<sup>2</sup>·K) とし、熱放射による伝熱は無視できるものとする。

夏季に室外および室内の空気の温度が 35.0°C および 25.0°C で一定に保たれており、形成される温度分布が定常に達していると仮定すると、単板ガラスの場合の熱通過率の値は  で

あるのに対して、複層ガラスの場合の熱通過率の値は **キ** となる。すなわち、窓ガラスの部分の熱通過に限れば、単板ガラスから複層ガラスに変更すれば、室内外の温度差を保つためのエアコンの空調負荷は、**ク** %まで減少させることができる。

一方で、冬季においてはガラス面への結露が発生することがある。室内と室外の温度以外の諸条件が夏季の場合と同一であると仮定すると、室内の空気の温度および露点温度がそれぞれ  $20.0^{\circ}\text{C}$  および  $10.0^{\circ}\text{C}$  に保たれる場合、結露時の凝縮潜熱を無視すれば、単板ガラスの場合は室外の温度が **ケ**  $^{\circ}\text{C}$  まで低下すると結露するが、複層ガラスの場合は室外温度が **コ**  $^{\circ}\text{C}$  に低下するまで結露しないことがわかる。

- 1) 文章中の空欄 **ア** ~ **コ** に当てはまる適切な数値，語句または文字式を答えよ。  
 なお，数値は有効数字を3桁とし，導出過程も記述すること。
- 2) 複層ガラスの板の間隔  $l$  を変化させた実験を行い  $q$  を測定すると，どのように変化するかを答案用紙に縦軸を  $q$ ，横軸を  $l$  にとってその概形を図示せよ。また， $l$  に対して  $q$  がそのような概形をとる理由を100字以内で記せ。

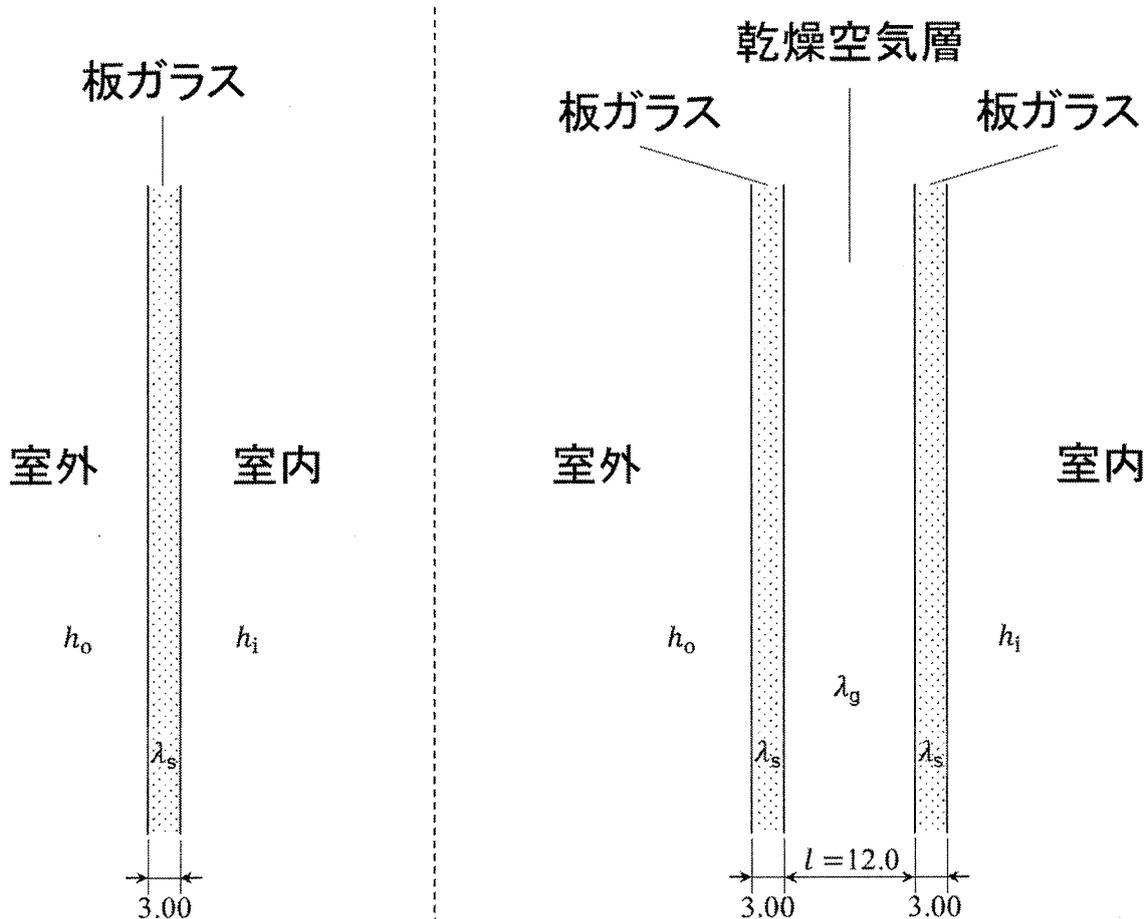


図2 単板ガラスと複層ガラスの模式図 (図中の数値の単位は mm)