

化学工学

【問1】蒸発に関する以下の文章を読み、空欄 ~ に当てはまる適切な文字や文字式、数値を答えよ。なお、数値は有効桁数を3桁とし、導出過程も記述すること。

化学工業や食品工業においては、溶液を加熱や減圧することにより溶媒を分離し、溶質を濃縮する蒸発操作がよく用いられる。蒸発に用いる加熱源には水蒸気が用いられることが多い。これは、凝縮潜熱が大きく、加熱蒸気の を制御することで、加熱温度を一定に保つことができることや、凝縮時の 率が大きいこと、コストの面で有利であることなど、様々な利点があるためである。

さて、図1に示す飽和水蒸気加熱方式の蒸発缶で、塩化ナトリウム (NaCl) 水溶液を濃縮することを考える。蒸発缶内の液面は大気圧である。図中の F [kg/s] は原液の供給質量流量、 D [kg/s] は溶媒の蒸発蒸気質量流量、 W [kg/s] は濃縮された溶液の排出質量流量、 S [kg/s] は加熱用水蒸気の供給質量流量 (= 凝縮水質量流量) であり、 x_j は各部 j における溶質の質量分率、 t_F [°C] は原液の温度、 t_W [°C] は濃縮液の温度 (濃縮液の沸点)、 t_s [°C] は飽和水蒸気の飽和温度、 t_c [°C] は凝縮水温度である。 c_F [kJ/(kg·K)] は原液の比熱、 c_c [kJ/(kg·K)] は凝縮水温度における水の比熱であり、これら比熱は温度依存性はないものとする。また、 t_W における溶媒の蒸発潜熱を r_W [kJ/kg]、 t_s における水の蒸発潜熱を r_s [kJ/kg] とする。この蒸発缶について、蒸発蒸気側に飛沫の同伴がないものとし、全物質の物質収支をとると

$$F = \text{ウ} + \text{エ} \quad (1)$$

となる。また、溶質の物質収支をとると

$$Fx_F = \text{オ} \quad (2)$$

これら二つの式より

$$D = F \cdot \text{カ} \quad (3)$$

と表される。

次にエネルギー収支を考える。缶は断熱されているものとして、蒸発缶全体の熱収支より、伝熱量 Q [kW] は、加熱蒸気による原液の加熱と蒸発に要した伝熱量と、加熱蒸気が失った伝熱量が等しいため、次式となる。

$$Q = \text{キ} = S \cdot \text{ク} \quad (4)$$

ここで

$$t_s = t_c$$

とすれば、

$$S \cdot \text{ケ} = \text{キ} \quad (5)$$

が成り立つ。

質量分率 $x_F = 0.0500$ [-] の NaCl 水溶液を供給質量流量 $F = 1.00$ kg/s で供給し、質量分率 $x_W = 0.200$ [-] の NaCl 水溶液を濃縮液として得る。このとき、溶媒の蒸発蒸気質量流量 D は kg/s であり、濃縮液の排出質量流量 W は kg/s である。また、原液が $t_F = 20.0^\circ\text{C}$ で供給され、質量分率 $x_F = 0.0500$ [-] の NaCl 水溶液の比熱が 3.47 kJ/(kg·K)、質量分率 $x_W = 0.200$ [-] の NaCl 水溶液の大気圧下における沸点を 107°C 、その蒸発潜熱を 2235 kJ/kg とすると、この操作に要する伝熱量は kW と求められる。

蒸発操作にあたっては、蒸発蒸気に溶質が含まれる飛沫同伴が生じやすいので、蒸発缶の上部空間に、 が設置されることが多い。また、蒸発缶内の伝熱面と液面との距離が長いと、 を招くため、距離をなるべく短くとる必要がある。

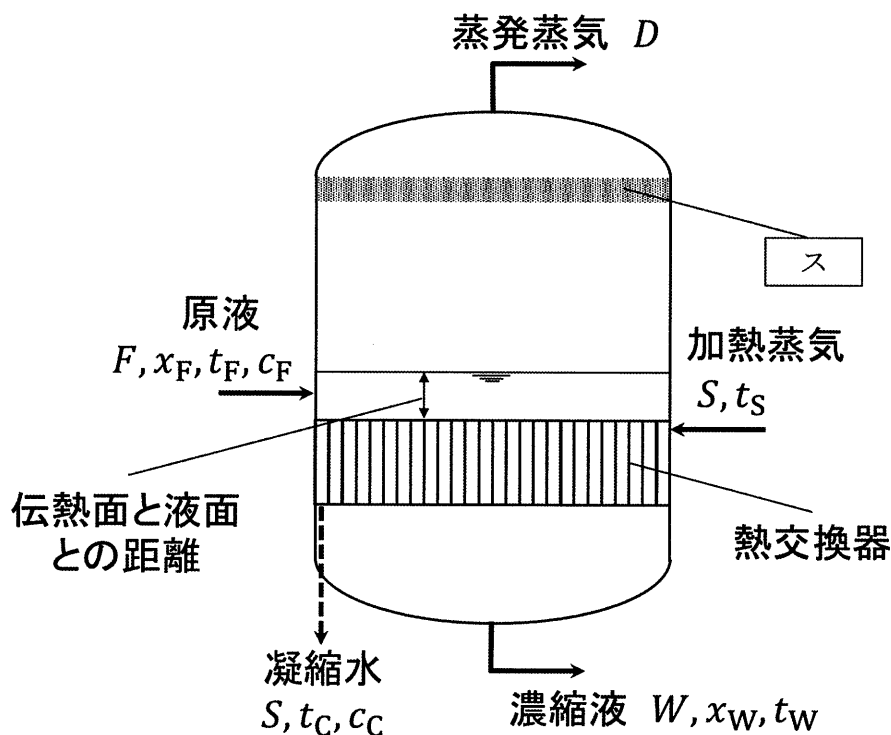


図1 蒸発缶の模式図

【問2】沸騰伝熱に関する以下の文章を読み、設問に答えよ。

相変化を伴う熱伝達は、大きな潜熱の移動を伴うため、発電所のボイラーのような大型の装置から冷蔵庫、エアコン、ノート PC などの小型の機器類まで、様々な装置で用いられている。強制的な流れを伴わないプール沸騰に関しては、1934 年、東北帝国大学の抜山四郎により、細線の発熱体を用いた水中での沸騰実験が行われ、その性質が解明された。図2はプール沸騰における の模式図である。図では横軸に [K] を、縦軸に熱流束 [W/m^2] を用いる。A-B 間は穏やかな自然対流が細線まわりに生じた状態である。 を増加させると

ウ 沸騰が始まり、やがてD点（エ 点）に到達する。D点は沸騰伝熱において極めて重要な特性値である。さらにイ を増加させると、細線の温度が急上昇し、図中の右矢印のように突然F点に遷移する。さらにイ を増加させると細線は極めて高温となるので、相変化を伴う伝熱以外にオ 伝熱の寄与が大きくなる。E点よりもイ が大きい沸騰の状態をカ 沸騰とよぶ。次にF点からイ を減少させるとやがてE点に至るが、さらにイ を減少させると、熱流束が増加するので、突然C点に移行する。このようなE点をキ 点という。D-E間は、イ が増加（減少）するにもかかわらず熱流束が減少（増加）する遷移沸騰領域であり、現象が不安定なため、定常状態の観察は困難である。このように、ウ 沸騰とカ 沸騰の間には、イ の増加あるいは減少で、経路の異なるヒステリシスが見られる。

- 1) 文章中の空欄 ア ~ キ に当てはまる語句を答えよ。
- 2) 文章中の下線部について、その理由を100文字以内で答えよ。

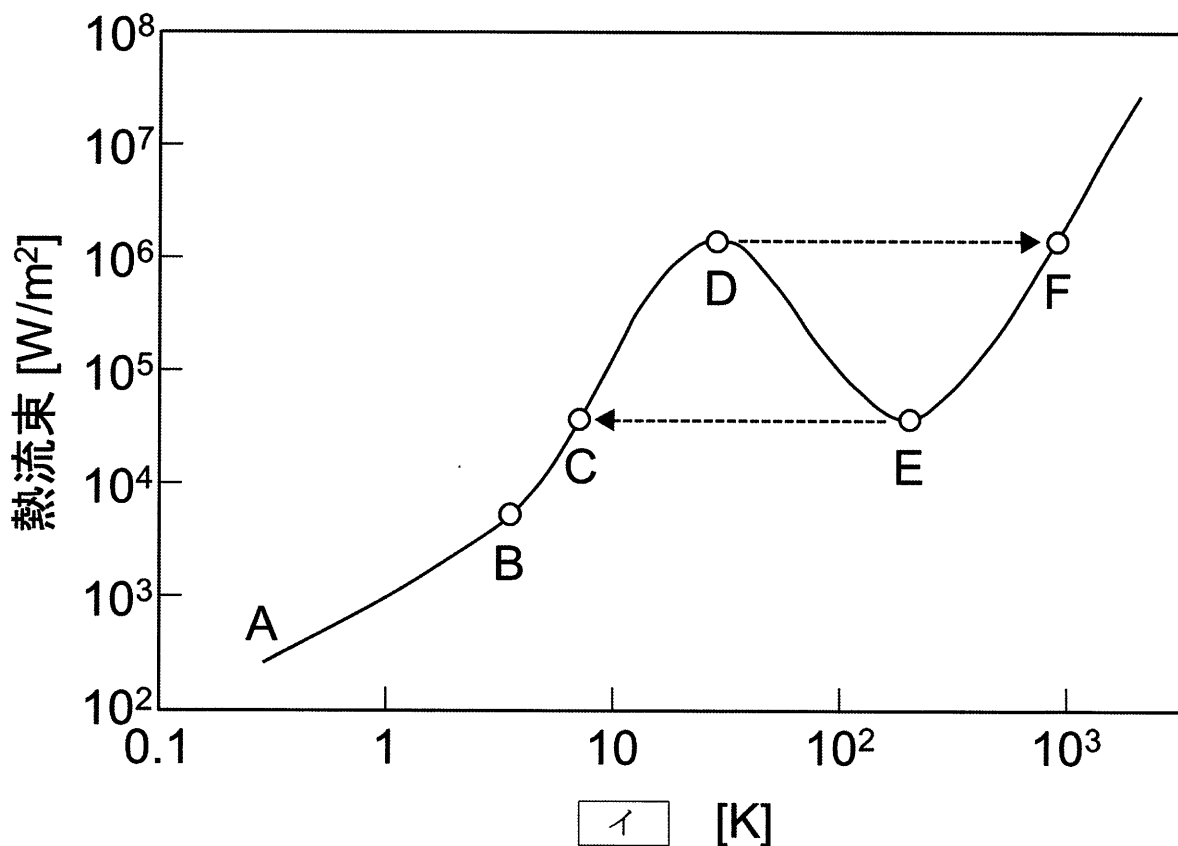


図2 プール沸騰における ア の模式図