

目的別テーマ：高品位生産システムの確立

17 年度研究テーマ

15-6-18：多成分材料溶融時に形成される密度成層内での熱技術に関する研究

ABSTRACT

An experimental study is performed on the effects of the distance of the heat transfer plates on free convection heat transfer in a stably stratified fluid between vertical plates. The stratified layer is formed using a sucrose aqueous solution, and is heated from one side wall at constant heat flux and cooled from the other side wall at constant temperature. The experiment is conducted for the distance of the heat transfer plates $l = 60$ mm, and the results are compared with those for $l = 20$ mm which are reported by the authors. As a result the thickness of the cellular layer shows weak dependence on the distance l , but the average heat transfer coefficient is affected greatly and becomes lower with increasing l .

研究目的

繊維材料をはじめ新素材の開発において多成分材料の製造プロセスが重要となるが、一般に多成分系の相変化では、各成分の融点異なるために凝固の際に必ず偏析を伴い固相内に非一様な濃度分布が生じる。その結果融解時には、各成分の密度差のために液相内に上方ほど密度が小さい密度成層が形成され、単成分の場合とは全く異なった対流現象となる。すなわち通常自然対流熱伝達とは異なるために、高品位な材料製造に重要な影響を及ぼす。そこで本研究では、こうした多成分材料溶融時に形成される密度成層内の熱伝達を解明して伝熱制御を行えるようにすることを目的に、密度成層内の伝熱現象に関して実験的及び理論的に系統的研究を行う。

一年間の研究内容と成果

本年度は、密度成層内自然対流の熱伝達率予測の理論モデルを構築するための準備として、伝熱面間距離を変化させて鉛直二平板間の場合について実験を行い、その特性を明らかにするとともに熱伝達率データの蓄積を行った。

実験では、高さ 220mm、奥行き 100mm の矩形容器内に、サッカロース水溶液の密度成層を形成し、容器幅を変化させて対流層の観察とともに熱伝達率の測定を行った。加熱面は、ベークライト板の表面にステンレス箔を貼り、これに一定電流を流すことにより熱流束一定条件とし、冷却面は、壁温一定となるよう水冷した。実験条件としては (1)初期密度勾配 (溶液上下の初期密度差 $\Delta\rho_0$ が 178, 88.9, 44.4 kg/m^3) (2)加熱熱流束 q (3.35, 1.50, 0.37 kW/m^2) (3)溶液の初期温度 T_0 (加熱面温度を T_h 、冷却面温度を T_c とすると、 $T_0=T_c$ と $T_c<T_0<T_h$ の場合)をパラメータにとった。

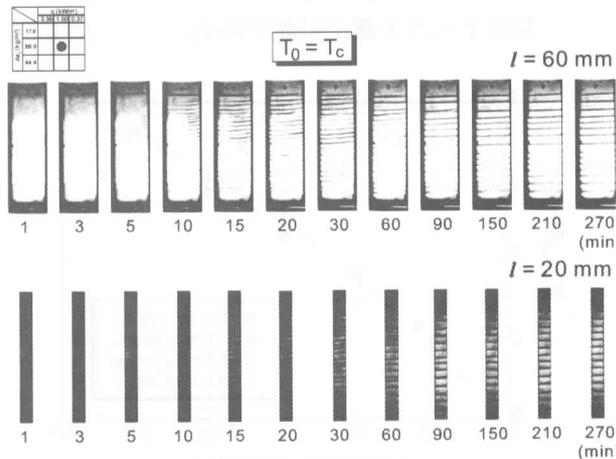


Fig.1 The growth of the convection cells with time for $T_0=T_c$, $\Delta\rho_0 = 88.9\text{kg/m}^3$, $q = 1.50 \text{ kW/m}^2$ and $l = 60$ or 20 mm, when heated at constant heat flux.

Fig.1は初期温度 T_0 を冷却面温度 T_c に等しく設定した場合 ($T_0=T_c$) に対する伝熱面間距離 $l = 60\text{mm}$ と $l = 20\text{mm}$ の時の対流層の成長過程、Fig.2

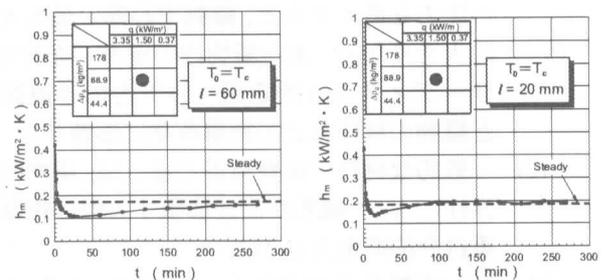


Fig.2 Comparison of the evolution of the average heat transfer coefficient for $l = 60$ and 20 mm, when $T_0=T_c$ ($\Delta\rho_0 = 88.9\text{kg/m}^3$ and $q = 1.50 \text{ kW/m}^2$).

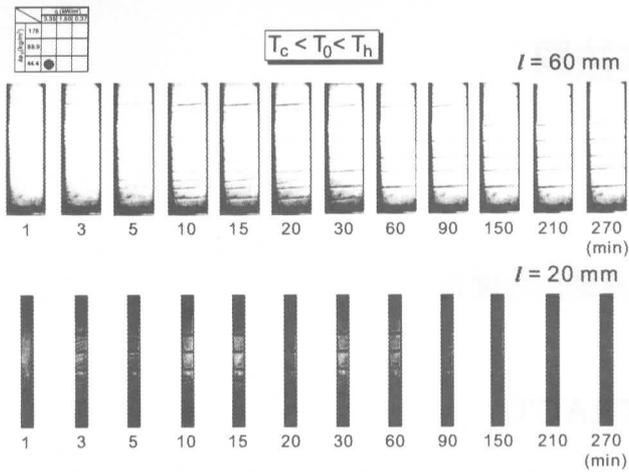


Fig.3 The growth of the convection cells with time for $T_c < T_0 < T_h$, $\Delta\rho_0 = 44.4\text{kg/m}^3$, $q = 3.35\text{kW/m}^2$ and $l = 60$ or 20mm , when heated at constant heat flux.

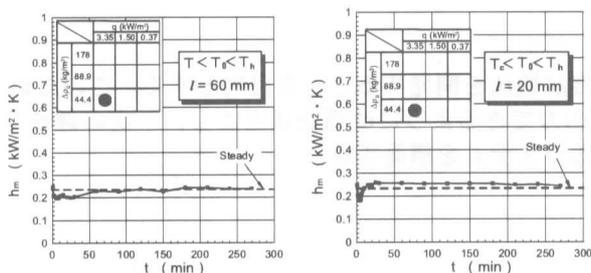


Fig.4 Comparison of the evolution of the average heat transfer coefficient for $l = 60$ and 20mm , when $T_c < T_0 < T_h$ ($\Delta\rho_0 = 88.9\text{kg/m}^3$ and $q = 1.50\text{kW/m}^2$).

である。Fig.3の対流層の写真を見ると、この場合には冷却面と加熱面の両側から対流層が発生し、それらが成長して全域にわたることによって全体の層列が形成される。この際、冷却面側と加熱面側で対流層の厚さや空間的位相が異なるため、厚さの不均一な層が形成されていることがわかる。このように流体の初期温度 T_0 が加熱面温度 T_h と冷却面温度 T_c の中間にある場合 ($T_c < T_0 < T_h$) には、不均一な層厚さとなるのが大きな特徴である。しかしその後、厚い層は薄い層に比べて対流が強いため薄い層を取り込むように成長し、その結果厚い層だけが残り、ある程度時間が経過した後は比較的均一な層厚さとなっている。また、薄い層が消失する時にその層の熱伝達率が悪くなっていることが温度分布の結果より確認されており、Fig.4の平均熱伝達率の時間変化を見ると、伝熱面間距離 60mm の場合、不均一が解消される 60min までの熱伝達率はそれ以後の均一状態の熱伝達率に比べて低いことがわかる。そこで、さらに伝熱面間距離が 20mm の場合と伝熱面間距離が 60mm の場合を比較すると、均一になるまでの時間に違いが見られる。Fig.3の対流層の写真を見ると、伝熱面間距離が 20mm の場合には、10分程度で不均一が解消されており、これに関係して熱伝達率が低下状態にある時間も伝熱面間距離 60mm の場合と比べて短くなっていることがわかる。

このように、以上の実験結果より以下のことが明らかとなった。

- (1) 形成される層の厚さは伝熱面間距離にあまり依存しないが、伝熱面間距離が長くなると層が細長くなり粘性の影響を大きく受けるので、熱伝達率は低くなる。
- (2) 流体の初期温度 T_0 が加熱面温度 T_h と冷却面温度 T_c の中間にある場合 ($T_c < T_0 < T_h$) には、伝熱面間距離が長くなると不均一が解消されるまでの時間が長くなり、熱伝達率が低下状態にある時間も長くなる。

展望

以上の議論では、伝熱面間距離が 20mm と 60mm の実験結果について述べたが、現在、伝熱面間距離が 10mm と 40mm の場合についても実験を進めており、これにより、さらに伝熱面間距離の影響が明らかになるとともに、熱伝達率のデータがさらに蓄積される予定である。また数値計算による理論解析も現在進めており、各分離対流層の熱伝達率の相関式の作成も進行中である。こうした結果を踏まえ、次年度は熱伝達率の予測モデルの構築が本格的に進められ、理論予測に関する研究がさらに進む見込みである。