

目的別テーマ：高品位生産システムの確立

## 15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 inner cylinder diameter on free convection heat transfer in a stably stratified fluid between coaxial cylinders. The stratified layer is formed using a sucrose aqueous solution, and is heated from the outer cylinder (70mm I.D.) at constant heat flux and cooled from the inner cylinder (15-50.8mm O.D.) at constant temperature. The experimental results show that the average heat transfer coefficient for a small inner diameter approaches the steady state value with time but never exceeds it, and that the inner cylinder diameter affects the time free convection becomes to prevail and the temperature increase of the heating wall at an early stage of heating.

### 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、各成分の融点が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、密度成層内の伝熱現象に関する系統的研究の一環として、二重円管内密度成層中での自然対流熱伝達に及ぼす内管径の影響について実験的研究を行い、その特性を明らかにした。

長さ 100mm、内径 70mm のアクリル管の中に外径 15 - 50.8mm の銅管を同軸に設置した二重円管容器内に

サッカロース水溶液による密度成層を形成して実験を行った。アクリル管内面にはステンレス膜ヒーターを貼り付け、熱流束一定で加熱した。一方銅管は壁温一定で水冷した。実験に当たっては、冷却面温度を溶液初期温度と等しく設定し、(1) 初期密度勾配 (上下の初期密度差  $\Delta\rho_0$  が、178、88.9、44.4  $\text{kg/m}^3$ )、(2) 加熱熱流束  $q$  (2.0、

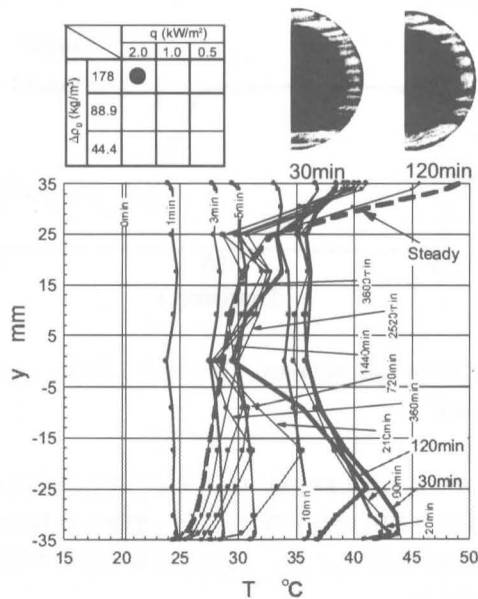


Fig.1 Evolution of the temperature profile of the heating surface (outer cylinder), when the inner cylinder diameter is 50.8mm. ( $q = 2.0 \text{ kW/m}^2$  and  $\Delta\rho_0 = 178 \text{ kg/m}^3$ )

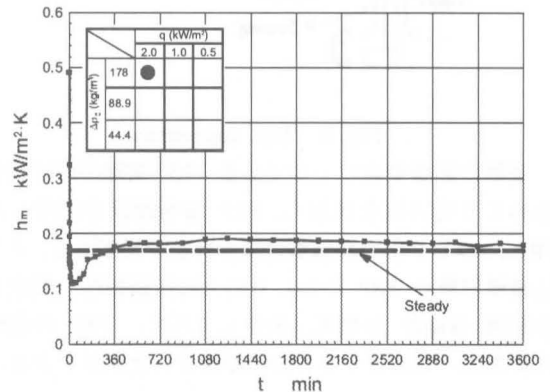


Fig.2 Time-wise variation of the average heat transfer coefficient, when the inner cylinder diameter is 50.8mm. ( $q = 2.0 \text{ kW/m}^2$  and  $\Delta\rho_0 = 178 \text{ kg/m}^3$ )

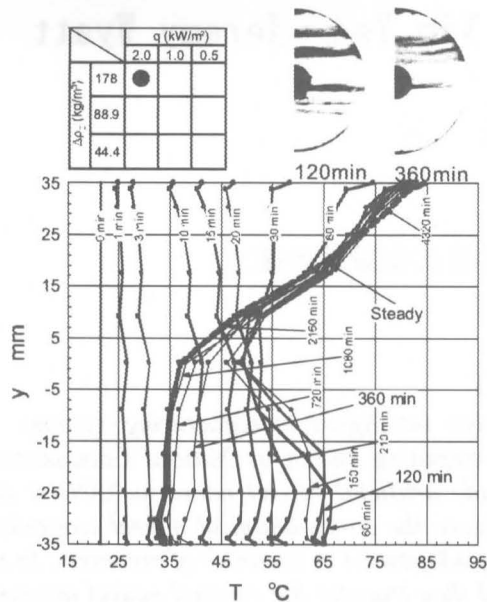


Fig.3 Evolution of the temperature profile of the heating surface (outer cylinder), when the inner cylinder diameter is 15.0mm. ( $q = 2.0 \text{ kW/m}^2$  and  $\Delta\rho_0 = 178 \text{ kg/m}^3$ )

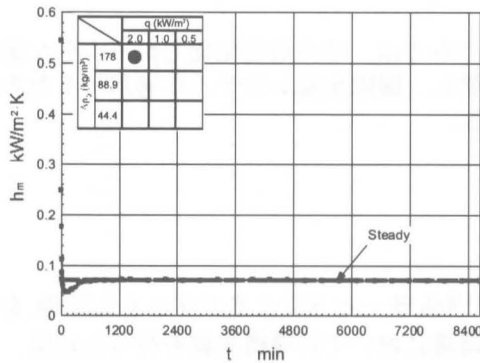


Fig.4 Time-wise variation of the average heat transfer coefficient, when the inner cylinder diameter is 15.0mm. ( $q = 2.0 \text{ kW/m}^2$  and  $\Delta\rho_0 = 178 \text{ kg/m}^3$ )

以上のように内管径が小さい場合は、熱伝達率の悪い上部領域が大きいこと、冷却面積が小さいこと、伝熱面間距離が大きいことなどのために、対流発生後も熱伝達率は定常値を超えることはなく、初期においても対流発生時間や壁面温度上昇に大きな違いが現れることが明らかとなった。

## 展望

Fig.5は、円管カプセル内で相変化物質(PCM)を融解させたときの様子を写真観察したもので、左が単成分、右が2成分物質の場合である。研究目的でも述べたが、一般に多成分系の相変化では、凝固の際に偏析が生じる結果、融解時には液相内に密度成層が形成され、対流層が細かく分離するために局所熱伝達率は全く異なったものとなる。その結果Fig.3のように、融解面形状の大きな違いとなって現れる。

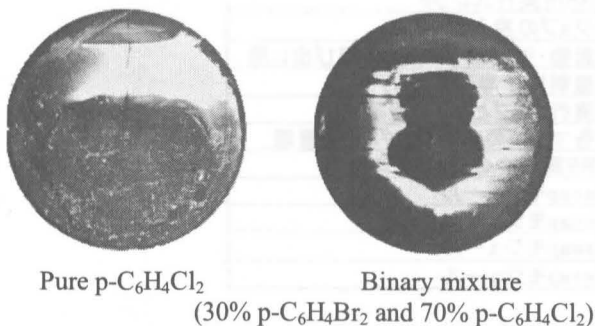


Fig.5 Melting process of PCM in a cylindrical capsule

1.0、0.5 kW/m<sup>2</sup>) をパラメータに実験を行った。

Fig.1-2に内管径50.8mmの結果を示す。Fig.1は $q = 2.0 \text{ kW/m}^2$ 、 $\Delta\rho_0 = 178 \text{ kg/m}^3$ の条件で測定した加熱面温度の高さ方向分布の時間変化、Fig.2は平均熱伝達率の時間変化である。加熱開始直後10分ぐらいまでは、密度成層の存在によって非定常熱伝導的な熱伝達となり、高さ方向にほぼ一様に温度が上昇する。その後対流の発達とともに温度は低下するが、内管の大きさはFig.1の縦軸で+25.4mmから-25.4mmまでであり、対流が十分発達した後は、+25mmあたりより下では上下方向に温度が平均的には比較的一様になっている。これは内管径が大きいために、左右に伝熱面を有する鉛直二平板間の伝熱特性に近づくためである。また対流層が適度の厚さの場合には密度成層が存在しない場合に比べて境界層前縁効果が大きくなるため、平均熱伝達率は高くなる。その結果Fig.2に見られるように、対流層が発達すると定常状態の熱伝達率を超え、その後層の消失とともに定常状態の値に漸近していくことがわかる。

一方、同じ条件で測定した内管径15.0mmの結果をFig.3-4に示す。Fig.3の温度分布を見ると、内管径が小さくなった結果、加熱面と冷却面の間隔が広くなり、上下にほぼ一様に温度が上昇する時間が30分程度と長く、温度上昇幅もFig.1に比べると大きい。また上部では、加熱面が上、冷却面が下となるため対流が生じにくく、内管径が小さい場合には、こうした熱伝達が悪い上部領域が大きくなるため、最上部の温度は85°C近くに上昇している。このように内管径が大きいFig.1の場合に比べて上部の温度上昇幅が極めて大きくなっている。

Fig.4に示す平均熱伝達率もこうした対流層の挙動を反映しており、初期において熱伝達率が極小となった後、対流の発達とともに熱伝達率は上昇するが、内管径の大きいFig.2の場合と違って定常値を超えることはなく、時間とともにそれに漸近していく。また定常状態の熱伝達率も、熱伝達率の悪い上部領域が大きいこと、冷却面積が小さいこと、伝熱面間距離が大きいことなどのために、Fig.4に比べてかなり小さくなっている。

本年度行った内管径の影響は、融解開始直後から融解がかなり進んだ状態までの熱伝達に関連しており、昨年度の研究に引き続き本年度の研究によってこうした融解問題の特性をかなり明らかにすることができた。今後さらに伝熱面間距離の影響を明確にするとともに、理論解析により熱伝達率の相関式を作成し、伝熱制御など密度成層内の熱技術に大きく貢献したいと考えている。