

# 姫野修廣

目的別テーマ：高品位生産システムの確立

## 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の熱技術に関する研究

## ABSTRACT

A systematic study on free convection heat transfer in a stably stratified fluid was performed in the cases of the fluid between coaxial cylinders and vertical plates. In the case of coaxial cylinders, the stratified layer was formed using a sucrose aqueous solution, and was 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. As a result characteristic features of heat transfer and the effects of the inner cylinder diameter were clarified experimentally. In the case of vertical plates, the effects of the distance between the transfer plates, heating conditions, the initial temperature and density gradient of the fluid were experimentally made clear. Furthermore a numerical analysis was conducted to make correlation formulas of heat transfer coefficients.

## 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。Fig.1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。上述のように2成分系の場合に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、融解面形状が大きな異なっている。このように多成分系の融解・凝固では、単成分の場合とは全く異なった対流伝熱現象となるために、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系統的研究を行う。

## 5年間の研究内容と成果

本研究では、密度成層内の伝熱現象に関する系統的研究として、代表的伝熱形態である二重円管内と鉛直二平板間の場合について研究を行ったが、以下では二重円管内で外管加熱・内管冷却した場合を中心にその概要を報告する。

長さ100mm、内径70mmの亚克力管の中に銅製の内管（外径15、30、50.8mmの3種類の銅管を使用）を同軸に設置し、前・後面を観測窓用の亚克力板で囲っ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。亚克力管内面にはステンレス膜を貼り付け、これに一定電流を流して熱流束一定で加熱した。一方銅管には、PID制御した冷却水を流して壁温一定で冷却した。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、実験パラメータとして（1）初期密度勾配（上下の初期密度差

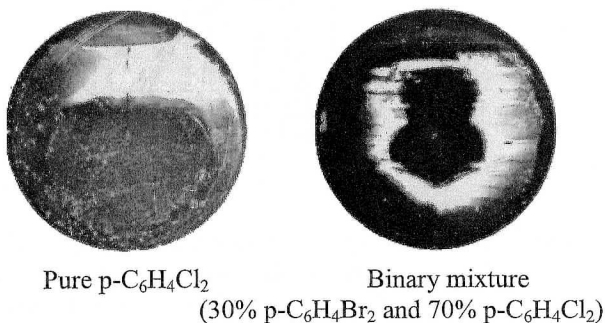


Fig.1 Melting process of PCM in a cylindrical capsule

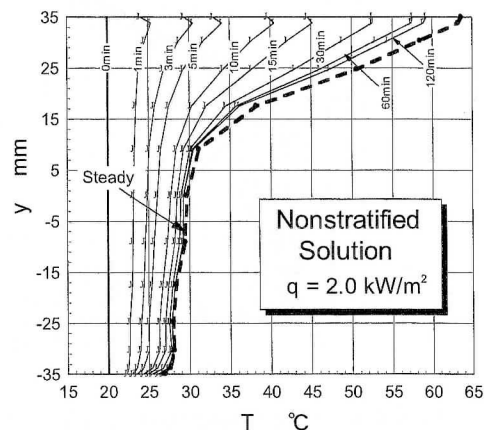


Fig.2 Time-wise variation of the temperature profiles at the heating surface for a non-stratified fluid at  $q = 2.0 \text{ kW/m}^2$ .

$\Delta\rho_0$ が、178、88.9、44.4 kg/m<sup>3</sup>）、(2) 加熱熱流束  $q$  (2.0、1.0、0.5 kW/m<sup>2</sup>) をとって実験を行った。

最初に密度成層の影響を明らかにするために、内管径が 30mm の場合に対して密度成層が存在しない一様密度場の実験を行った。Fig.2 は、密度成層実験での平均濃度と等しい溶液を用い、加熱熱流束が 2.0 kW/m<sup>2</sup> の時の一様密度場に対して測定した加熱面温度の高さ方向分布の時間変化である。加熱面に沿って上向きに境界層が発達するため上方ほど温度が高く、時間とともに定常状態の温度分布に滑らかに漸近していく様子がわかる。特に外管加熱の場合には、上部では加熱面が上、冷却面が下に位置するため、密度的に極めて安定で対流が生じにくい。そのため上部では熱伝達率が低くなり加熱面温度は急激に上昇している。

一方 Fig.3-5 は、それぞれ、内管径が 15、30、50.8mm の場合の密度成層場 ( $\Delta\rho_0 = 178$  kg/m<sup>3</sup>) での実験結果である。これらに共通して密度成層がない Fig.2 とは全く異なった温度分布となっており、加熱開始後しばらくの間は高さ方向にほぼ一様に温度が上昇し、その後上部と下部では引き続き温度が上昇するのに対し、中央部では温度が低下し定常状態の温度分布に近づいていく。また下部ではある時間を境に急激に温度は低下し定常状態の温度分布に近づいていく。これは初期においては密度成層の存在のために熱伝導が支配的となること、また加熱面と冷却面の位置関係より中央部より下ではやがて対流層が成長するが、対流層が多数に分離する結果、下部全体で一つの大きな対流層が形成されるまでは、下部対流層は冷却面に接しないために熱伝達率が低いことなどによって説明できる。また内管径が大きな場合には、鉛直二平板間の密度成層場での伝熱特性に近づくなど、内管径の影響についても明らかとなった。こうした本研究で得られた知見により Fig.1 に示す融解面形状となる理由やメカニズムについても明らかとなった。

本研究では前述のように二重円管以外にも鉛直二平板間の場合についても研究を行い、伝熱面間距離の影響、加熱条件の影響、初期温度の影響、初期密度勾配の影響について明らかにし、併せて熱伝達率の定量的データの蓄積を行った。

またこれらと平行して、基本となる鉛直二平板間自然対流熱伝達の数値解析を行い、熱伝達率の相関式の作成を行った。こうして得られた数値計算結果と以上で得られた実験結果をもとにモデル化を行うことによって、熱伝達の理論予測も可能になると考えられる。

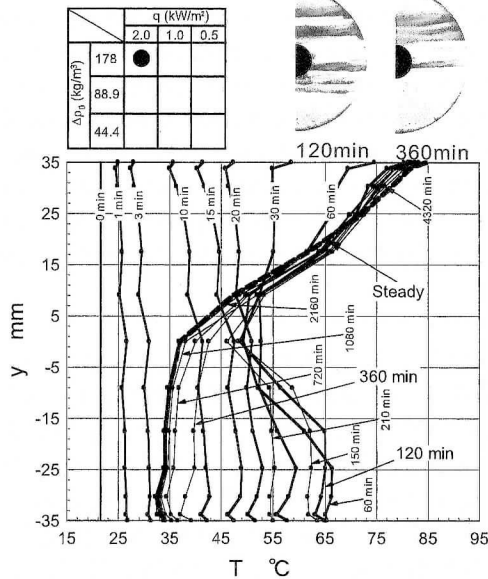


Fig.3 Evolution of the temperature profile of the heating surface (outer cylinder), when the inner cylinder diameter is 15.0mm. ( $q = 2.0$  kW/m<sup>2</sup> and  $\Delta\rho_0 = 178$  kg/m<sup>3</sup>)

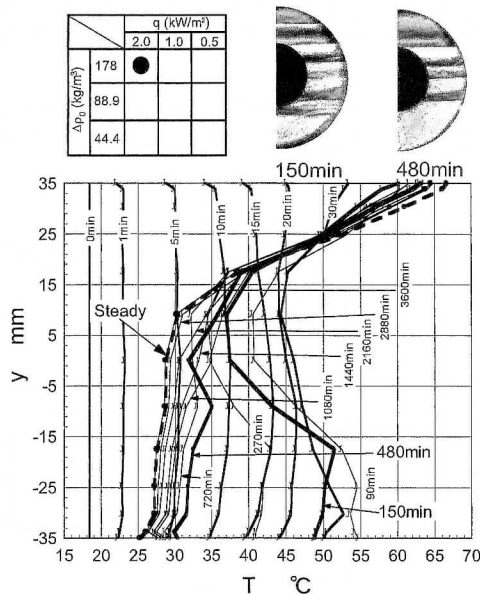


Fig.4 Evolution of the temperature profile of the heating surface (outer cylinder), when the inner cylinder diameter is 30.0mm. ( $q = 2.0$  kW/m<sup>2</sup> and  $\Delta\rho_0 = 178$  kg/m<sup>3</sup>)

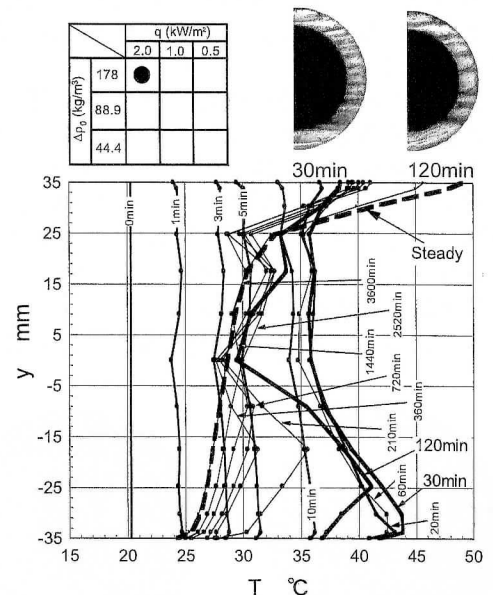


Fig.5 Evolution of the temperature profile of the heating surface (outer cylinder), when the inner cylinder diameter is 50.8mm. ( $q = 2.0$  kW/m<sup>2</sup> and  $\Delta\rho_0 = 178$  kg/m<sup>3</sup>)