

CS - 72

円筒容器内に充填した相変化物質に対する熱流動解析

電力中央研究所 正会員 ○津旨 大輔
 電力中央研究所 藤原 寛明
 電力中央研究所 亘 真澄
 三菱総合研究所 野邊 潤

1. はじめに

本研究では、密閉した円筒容器に対して外部から入熱がある場合の容器内部の伝熱挙動について数値解析モデルを構築することを目的として熱流動解析を行った。本解析では、容器内部の充填物質が容器の加熱とともに固体から液体へと相変化していく現象を対象としており、固体と液体の密度差により固体部が沈降していく現象に着目してモデル化を行った。このモデル化による解析結果は同体系の実験結果と比較している。

2. 解析対象物

融解時に固体部の沈降が生じる相変化物質として C_6F_{12} （ドデカフルオロシクロヘキサン）を用いる。この相変化物質の物性値を表-1に示す。54℃以下が固体、58℃以上が液体である。

3. 解析条件

3.1 解析形状モデル

解析形状モデルを図-1に示す。ステンレス製の円筒容器内に C_6F_{12} が50%充填されており、解析は二次元断面に対して行う。容器内上部空間での伝熱は、輻射伝熱のみを考慮し、表面輻射率は、容器内表面は1.0、 C_6F_{12} 表面は0.8と仮定し、各面毎の形態係数を求めた。入熱条件の設定のため、容器外表面に仮想の発熱体を張り付けた。

また、解析結果との比較のために、同体系の実験を行った。容器全周をヒーターで覆い解析モデルと同様の条件で加熱した。二次元断面が考慮できるように容器端部は断熱した。実験において、温度計測、内圧計測と同時に可視化も行った。

3.2 基礎方程式および解法

解析には、汎用熱流動解析コードFLUENTを用いた。連続の式、運動方程式、エネルギー方程式を差分法で、各メッシュにおける体積を考慮にいたしたコントロールボリューム法により解いた。

3.3 固体部の沈降現象のモデル化

固体部の沈降をモデル化する為には、融解に伴い逐次固体部の座標を移動させる必要がある。このような計算は困難であるので次に示すモデル化を行った。まず固体部を擬似固体、つまり非常に粘性の高い液体として置き換えた。固体を液体で表現する際、理想的にはその粘性を無限大にするべきであるが、解の安定の為に擬似固体の粘性を液体の3000倍と仮定した。ここで融解現象は、擬似固体が融点温度で融解潜熱相当の熱量を吸収したときに、融解が生じたものと判断し、粘性を液体相当に変化させることによって表す。潜熱を吸収する過程で、固体温度の上昇は強制的に停止させた。以上のモデル化によ

表-1 C_6F_{12} の物性値

温度(℃)	密度(kg/m ³)	粘滞係数(kg/ms)	比熱(J/kgK)	熱伝導率(W/mK)	備 考
25	1892.7	- (注)	1028.7	0.088	融解潜熱 (54℃~58℃で考慮) 16.674(kJ/kg)
54					
58	1838.4		1369.0	0.175	
80	1731.5				
100	1644.6		1530.6		

(注) 解析上液体の粘性の3000倍とした

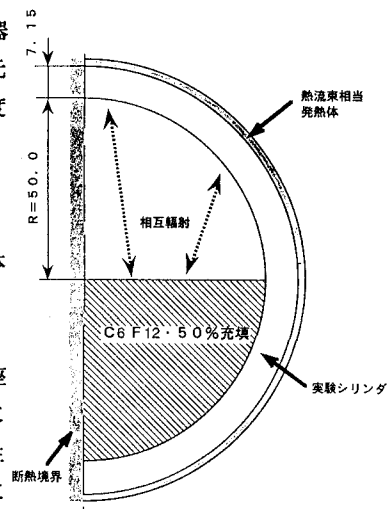


図-1 解析形状モデル

り固体領域は解析上、流れ場と見做され、固液境界は解析上移動させることが可能となり、固体部は液体部との密度差により沈降する。

4. 解析結果および考察

容器外部全面の模擬発熱体からの入熱を考慮し、内部における輻射入熱と固体部の沈降をモデル化した熱流動解析を行った。図-2と図-3に温度分布の時系列を解析結果と実験結果を合わせて示す。解析と実験において容器壁の温度分布には比較的良好な一致が見られるが、 C_6F_{12} 内部での温度分布は再現できていない。図-4に実験と解析における融解率の時系列を示す。通常の融解過程をモデル化し固体部の沈降を考慮しなかったケースよりも、擬似固体のモデル化により固体部の沈降を考慮したケースのほうが実験値とよい一致を示す。特に、固体部の沈降を考慮したケースは、前半での融解現象をよく再現している。これは固体部の沈降が未考慮のケースにおいて、固体下部からの流動による融解促進が過度に考慮されたためであると考えられる。

解析結果において、容器内での温度分布や後半での融解現象での実験結果との違いが生じる原因としては、擬似固体部に微小速度ベクトルが存在しているためと考えられる。

5. おわりに

本研究において、融解現象を粘性の変化として置き換えることにより熱流動解析を行った。このモデル化により、固体の沈降を再現することができた。今後、固体部の微小速度ベクトルを0に近づけるため、生成項のサブルーチンに対して改良を行っていく予定である。

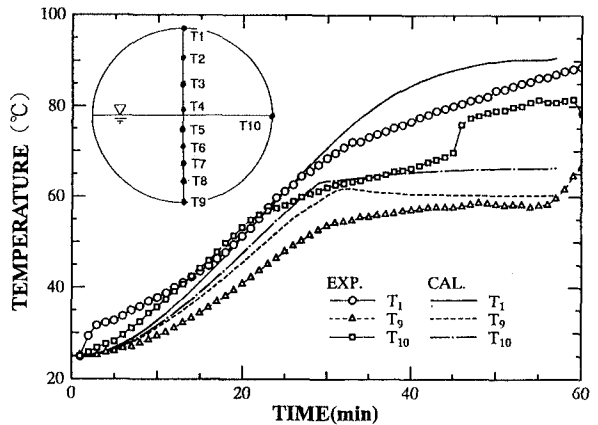


図-2 温度分布の時系列データ（容器壁）

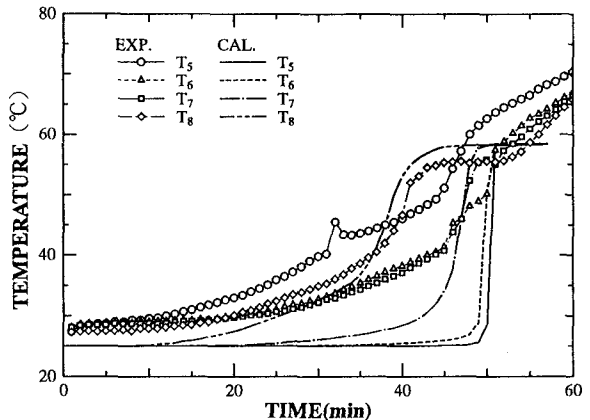


図-3 温度分布の時系列データ（ C_6F_{12} 内部）

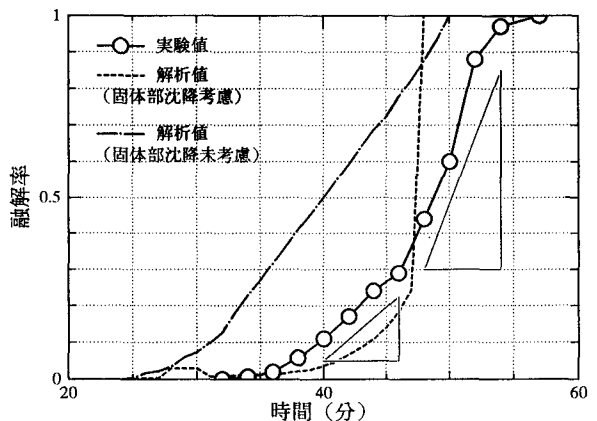


図-4 融解率の時系列データ