

(60) 円筒内の単一粒子からの物質移動

— Re=1.0-80.0, Sc=0.1-4.0 における数値実験 —

東京大学 工学部 ○佐久田 博司
吉沢 昭宣

1. 緒言 右金反応のシミュレータとして開発したプログラムを、単一粒子からの、円管内を流れる媒体への拡散現象に適用した。

多くの右金製錬反応は、高温下、流れ支配下の、伝熱、拡散を伴った複合現象であるが、そのような各現象間の干渉が強い場合のモデル実験は、制御の困難な要因を多く持っている。特に、高温下の反応のモデル実験は、給体としての現象解明には、必ずしも有力とはいえない。以上のような事実から、複合現象のシミュレータとして、計算機実験を想定し、本報告では、流れ-拡散系の現象について、その信頼性を検討した。

2. 基礎方程式 解くべき方程式系は、円筒座標系、軸対称二次元における Newton 流体の、(1)連続の式、(2) N-S 式、(3) 拡散の方程式を無次元化したものである。

$$\frac{\partial u}{\partial t} + \frac{1}{r} \frac{\partial u^2}{\partial r} + \frac{\partial uv}{\partial z} = -\frac{\partial \phi}{\partial r} + \frac{1}{Re} \frac{\partial}{\partial z} \left(\frac{\partial u}{\partial z} - \frac{\partial v}{\partial r} \right)$$

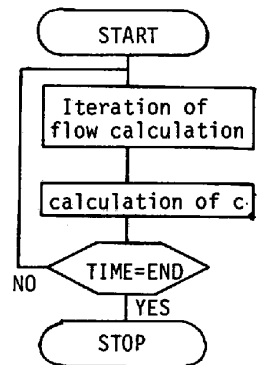
$$\frac{\partial v}{\partial t} + \frac{1}{r} \frac{\partial (ruv)}{\partial r} + \frac{\partial v^2}{\partial z} = -\frac{\partial \phi}{\partial z} - \frac{1}{Re} \frac{1}{r} \left[r \left(\frac{\partial u}{\partial z} - \frac{\partial v}{\partial r} \right) \right]$$

$$\frac{1}{r} \frac{\partial (ru)}{\partial r} + \frac{\partial v}{\partial z} = 0$$

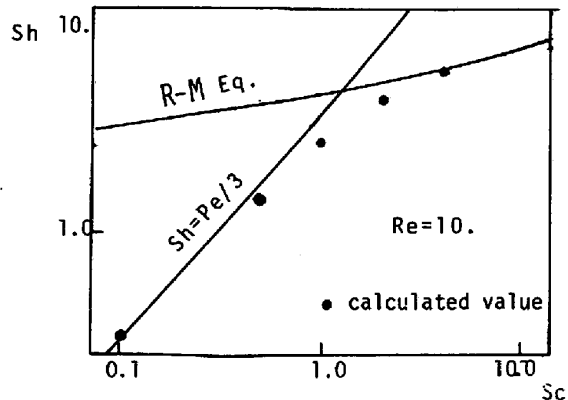
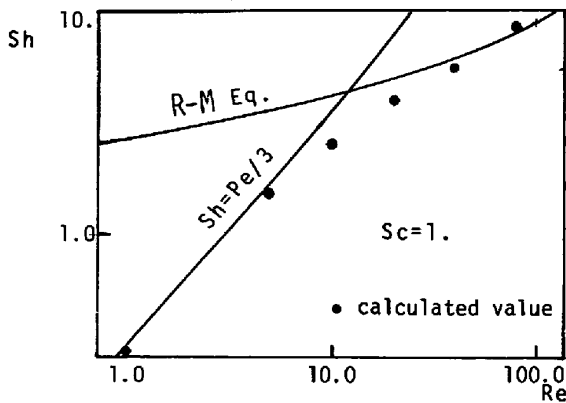
$$\frac{\partial c}{\partial t} + u \frac{\partial c}{\partial r} + v \frac{\partial c}{\partial z} = \frac{1}{Pe} \left[r \frac{\partial}{\partial r} \left(r \frac{\partial c}{\partial r} \right) + \frac{\partial^2 c}{\partial z^2} \right]$$

u: 速度のr成分 v: z成分
c: 溶質濃度
 $\phi := p - \rho g$
 $Re = VD_p / \nu$; $Pe = VD_p / D$
V: 平均流速
 D : 拡散係数 L_p : 粒子長
 D_p : 粒子径 D_t : 管径

3. 解法及び境界条件 流れについては、SMAC法に準拠し、拡散は、前進型陽的解法に依り、各時間ステップについて、その手続きをくり返す。フローチャートを右に示す。管は、任意のRe数をもつ Poiseuille流れ(入口)で満たされており、同軸円柱形粒子が、計算領域中央に浮かんでいる状態を考える。パラメータとして $Re, Sc, D_p/D_t, L_p/D_p$ をとった流れ、溶質濃度の境界条件は、管壁、粒子表面で Dirichlet型で、出口境界では Neumann型である。



4. 計算結果と考察 計算機は、東大 HITAC8700/8800を使用した。計算結果は、擬定常に達した後の Sh数により、球状粒子における Ranz-Marshall 式及び、一次元流れと仮定した場合の式 ($Sh = Pe/3$) との比較を行った。下に、 $Sc=1$ (一定) 下の $Sh-Re$, $Re=10$ (一定) 下の $Sh-Sc$ の関係を示した。その結果、濃度境界層と管壁の相互作用が現われ始める遷移領域において、本報告のシミュレーションは現実によく対応することがわかり、シミュレータの健全性が確認された。



(*) Amsden & Harlow, The SMAC method, LA4370