

(44) 垂直平板からの自然対流伝熱の数値計算

東大 工学部

○佐久田 博司  
吉 沢 昭宣

1. 緒言 白金製錬反応, 特に高温, 流れ支配の現象を, 計算機シミュレーションにより, 評価しようというのは, 現象解明の有力な手段と考えられる。そこで, 前回報告した通り, 先ず, 非圧縮性 Newton 流体の拡散伝熱現象を扱うシミュレータを作成し, それが自然対流を考慮しない場合の低  $R_e$  数の範囲で使用可能であることを確認した。しかし, 白金製錬反応では, 固-気系, 気-気系を問わず, 自然対流の効果が大きい場合も多いと考えられるため, このシミュレータに Boussinesq 近似を導入し, 例として, 高温プレートへの常温ガス吹きつけの計算を行い, 実験との比較を試みた。Gr 数が  $10^3$  以上となるような実際の実験では明らかに自然対流が系を支配していることがわが, たが, このシミュレータは計算の不安定を招く過大な熱流束を許容せず, 計算可能であるのは Gr 数  $10^4$  程度までであることがわかった。そこで, この問題を解決するために, 方程式を改めて組み直し, ENERGY 方程式, 及び状態方程式を運動方程式 (Navier-Stokes Eq.), 連続の式と連立させて解き, 先ず, 簡単な境界条件について自然対流伝熱係数を算定し, 既存の実験データと比較を試みた。

2. 基礎方程式 基礎方程式を次に挙げる。

$$\frac{\partial \rho}{\partial t} + \nabla \cdot (\rho \mathbf{v}) = 0 \quad \dots(1)$$

$$\frac{\partial}{\partial t} (\rho \mathbf{v}) + \nabla \cdot (\rho \mathbf{v} \mathbf{v}) + \nabla p - \rho \mathbf{g} + \nabla \cdot \boldsymbol{\tau} = 0 \quad \dots(2)$$

$$\frac{\partial}{\partial t} (\rho E) + \nabla \cdot (\rho E \mathbf{v}) + \nabla \cdot (p \mathbf{v}) - \rho \mathbf{v} \cdot \mathbf{g} + \nabla \cdot (\boldsymbol{\tau} \cdot \mathbf{v}) + \nabla \cdot \mathbf{q} = 0 \quad \dots(3)$$

$$F(\rho, p, T) = 0 \quad \dots(4)$$

補助方程式は次の通り。

$$\mathbf{q} = -k \nabla T \quad \dots(5) \quad E = U + \frac{1}{2} \mathbf{v} \cdot \mathbf{v} \quad \dots(6)$$

$C_v$  = heat capacity at const. vol. ( $L^2/t^2T$ ),  
 $E$  = total fluid energy ( $L^2/t^2$ ),  $g$  = grav. acceleration ( $L/t^2$ ),  $p$  = fluid pressure ( $M/Lt^2$ ),  
 $q$  = heat flux ( $M/t^3$ ),  $T$  = temperature ( $T$ ),  
 $t$  = time ( $t$ ),  $U$  = internal energy ( $L^2/t^2$ )  
 $v$  = velocity vector ( $L/t$ ),  $\rho$  = fluid density ( $M/L^3$ ),  
 $\tau$  = shear stress tensor ( $M/t^2L$ )  
 $U = C_v T \quad \dots(7) \quad k$  = thermal conductivity ( $ML/t^3T$ )

ここに, 流体は (a) Newton 流体で, (b) Stokes の近似が成り立つ, (c) 理想気体であるとする。

3. 解法及び境界条件 偏微分方程式系は, S.O.R. を多変数に拡張した「連立 S.O.R.」により, 解く。二次元垂直壁からの伝熱を, パラメータを熱源の温度及び周辺環境の温度にとり, 計算を行った。

S.O.R. の手法で明らかな通り, 時間刻みは計算の安定性を大きく左右するが, 本方法においては, それを定量的に予知する手段がないため, 本報告の計算では, 経験的に  $10^{-3}$  秒とした。

4. 結果及び考察 使用計算機は東大大型センタ HITAC 8700/8800 である。各瞬間に測定される Nu 数の時間変化により, 定常状態が実現されたと思われる時点の Nu 数を, 定常 Nu 数と定義する。

現象の概念図として等温線図を示す。

(Fig.1) シミュレータは,  $10^2 - 10^7$  の範囲で安定に動き, その解は健全であることがわかった。

5. 展望 以降の課題として, (1) 反応, 及び多成分を処理可能にする事 (2) 移動境界を扱えるようにする事 (3) 乱流域の計算を可能にする事などが挙げられる。

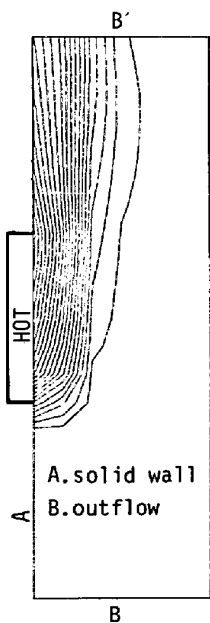


Fig.1 Temp. profile

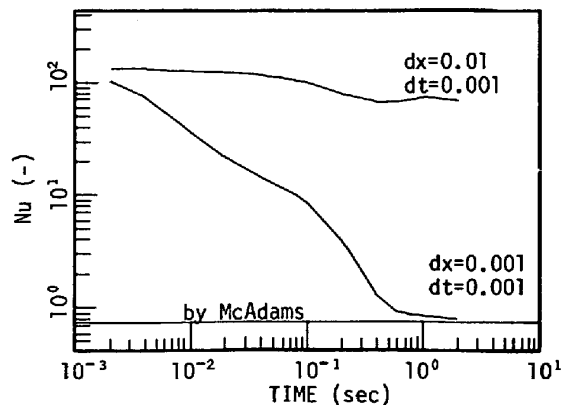


Fig.2 time vs. Nu ( $Gr=2.48 \times 10^4$ )