(Ⅱ −25) 有限要素法による三次元非圧縮流れ解析

江　春波, 樫山　和男, 川原　睦人
正会員, 中央大学理工学部土木工学科

1. はじめ

本論文では、筆者らが提案したの三段階 Tarlor-Galerkin 方法[1,2] を用いて、三次元非定常非圧縮流れの解析を行ったことについて報告するものである。

2. 数値スキーム

流体は非圧縮粘性を仮定し、基礎方程式として以下に示す Navier-Stokes の運動方程式と連続方程式を用いる。

$$\frac{\partial u_i}{\partial t}+u_j u_{i,j}=-p_{,i}/\rho+\nu(u_{i,j}+u_{j,i})_{,j}+f_i \qquad i,j=1,2,3 \tag{1}$$

$$u_{i,i}=0 \qquad i=1,2,3 \tag{2}$$

三段階 Taylor-Galerkin 方法[1,2] を基礎方程式 (1)、(2) に適用すると次のように離散化される。

$$\begin{array}{llll}\textbf{Step1} & u_i^{n+1/3}-u_i^n & =\frac{\Delta t}{3} & [F(u_i^n)-p_{,i}^n/\rho] \\ \textbf{Step2} & u_i^{n+1/2}-u_i^n & =\frac{\Delta t}{2} & [F(u_i^{n+1/3})-p_{,i}^n/\rho] \\ \textbf{Step3} & u_i^{n+1}-u_i^n & =\Delta t & [F(u_i^{n+1/2})-p_{,i}^{n+1}/\rho]\end{array} \tag{3}$$

ここで、 $F(u_i^n)=-u_j^n u_{i,j}^n+\nu(u_{i,j}^n+u_{j,i}^n)_{,j}+f_i^n$。非圧縮条件を満足させるために、次のポアソン方程式を導入する。

$$p_{,ii}^{n+1}=\frac{u_{i,i}^n}{\Delta t}-F(u_i^{n+1/2})_{,i} \tag{4}$$

3. 数値計算例

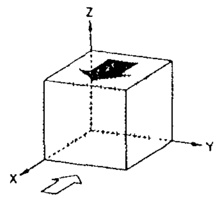
三次元に拡張したスキームを用いて、立方体 Cavity 内流れの計算を行った。領域の要素分割は、立方体を $N\times N\times N$ の等分割で要素としては、六面体要素を用いている。Re=1000 の計算を、 N=20 で行った。このケースにおいて y=0.5 (x-z 面) に対称定常解が得られた。
Re=4000 の計算を、 N=30 で行い, x = 0.6 (y-z 面) の断面流速ベクトルを図-1 に示す。この場合、非定常 TGL (Taylor-Gortler-Like) 渦の存在を確認した。

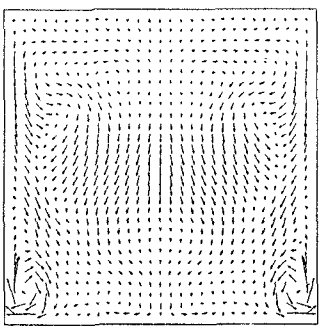
4. おわりに

本計算で、三段階 Taylor-Galerkin 法を三次元非圧縮粘性流れに拡張しました。Re=4000 の三次元 Cavity 流れについて、非定常 TGL 渦が存在することが確認した。

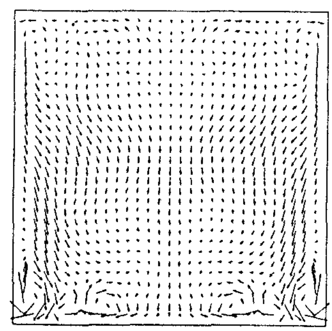
参考文献

[1] 江　春波、畑中、川原、樫山, 日科技連第五回シンポジウム報文集, 211-218, 1991 年 10 月。
[2] C.B.Jiang, M.Kawahara, K. Hatanaka and K. Kashiyama, Computational Fluid Dynamics JOURNAL Vol.1 no.4 January 1993,447-466.

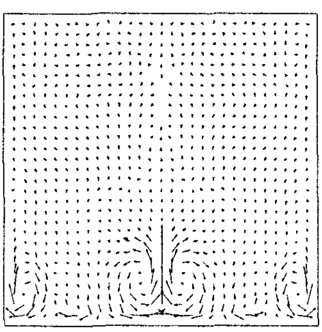




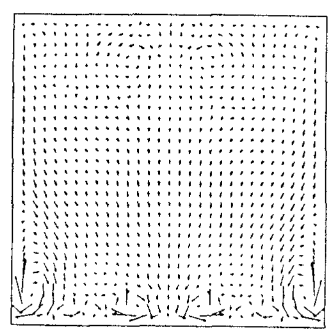
t=18 sec.



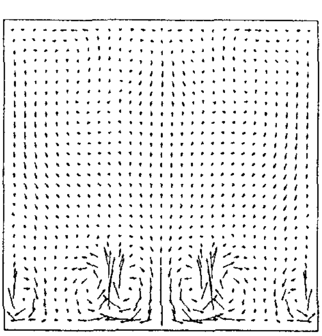
t=22 sec.



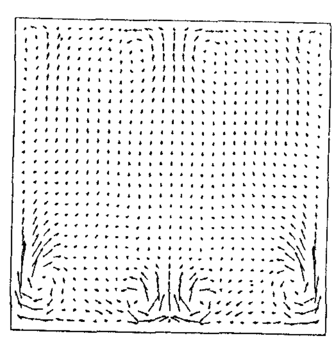
t=26 sec.



t=30 sec.



t=34 sec.



t=38 sec.