

# 302 低アスペクト比固液混相流 Taylor 渦の超音波による速度計測

Ultrasonic velocity measurement of a solid-liquid phase Taylor vortex flow with a short annulus

○ 学 小林 広精 (室蘭工大院) 正 河合 秀樹 (室蘭工大)  
正 高橋 洋志 (室蘭工大)

Hiroaki KOBAYASHI, Muroran Institute of Technology, 27-1, Mizumoto-cho, Muroran, Hokkaido  
Hideki KAWAI, Muroran Institute of Technology  
Hiroshi TAKAHASHI, Muroran Institute of Technology

Keywords : Taylor-couette Vortex Flow(TVF), Ultrasonic Time-Domain Correlation(UTDC)

## 1. 緒言

同軸二重円筒の内円筒と外円筒の間に流体を満たし、内円筒に回転速度を持たせると軸方向にセル状の流れが複数個積み重なるように発生する現象が見られる。この渦は Taylor-couette Vortex Flow (TVF) として知られている。TVF は局所的な高せん断が少なく、攪拌ムラが防止できる特徴を有するため、これを利用してせん断に弱い細胞組織を効率よく培養するバイオリアクターや機能性たんぱく質の分離濃縮装置などへの応用、濾過におけるフィルターが目詰まり防止を利用した汎用濾過装置の開発が期待されている。

最近の TVF における乱流スペクトル遷移に関する研究は UVP(Ultrasonic Velocity Profile-monitor)による武田らがよく知られている<sup>(1)</sup>。そこでは非接触高精度の速度分布が時空間同時計測され、無限遠 TVF における特異的なスペクトルやカオスの挙動が明らかになっている。

一方工学的装置の設計においては上下に境界端を有する有限アスペクト比 TVF の挙動も重要である。UVP は速度の空間分布を計測できる有用な装置であるが、まだ高価であり、その普及には時間を要すると思われる。そのため、自己相関法により速度分布を解析し、速度場を測定する比較的兼価な方法が注目されている(Ultrasonic Time-Domain Correlation: UTDC)。

ここではアスペクト比の小さい Taylor 渦の固液混相流れにおいて超音波パルスレーザを使用して軸方向の平均速度測定を行った。超音波計測法を用いて粒子径の違いによる TVF におよぼす影響と固体粒子の濃度の違いによる流れの影響の有無を速度場の観点から測定を行うことによって確認する。

## 2. 実験方法

### 2-1 TVF 発生装置

Fig.1 に TVF 装置を示す。図中  $R_1$  は内円筒半径、 $R_2$  は外円筒半径、 $H$  はテスト部の高さを表す。実寸法は  $R_1=15[\text{mm}]$ 、 $R_2=40[\text{mm}]$ 、 $H=75[\text{mm}]$ 。これより内外円筒間半径  $d=R_2-R_1=25[\text{mm}]$ 、アスペクト比  $\Gamma=H/d=3$ 、半径比  $\eta=R_1/R_2=0.375$  となる。また、レイノルズ数は  $Re=d\Omega R_1/\nu$  ( $\nu$ : 動粘度、 $\Omega$ : 内円筒の角速度) で定義される。外円筒は固定され、内円筒はモータに付属のコントローラーの制御により一定回転する。作動流体はグリセリン水溶液 68wt%を用いた。

### 2-2 UTDC による流速分布計測

測定対象の流体にトレーサー粒子を混入し、超音波のパルスを超音波トランスデューサ(TDX)から測定流体に

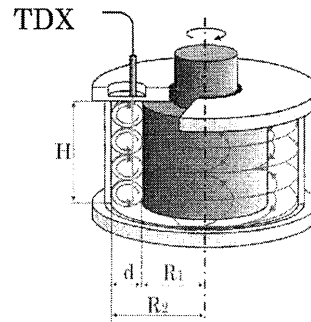
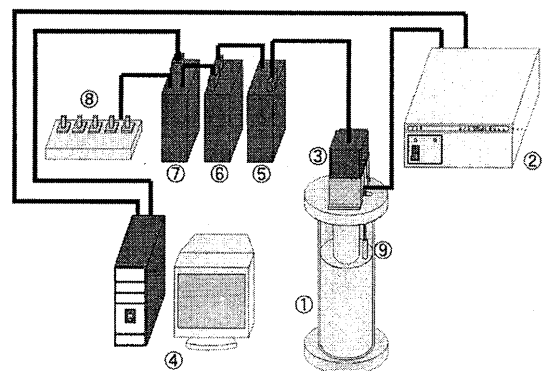


Fig.1 Test section



1. Test section, 2. Pulser receiver, 3. Motor, 4. Personal computer, 5. servo driver, 6. controller, 7. AC power supply, 8. upper controller, 9. Transducer

Fig.2 Experimental setup UTDC

向けて発射すると粒子にパルス波が反射し TDX に戻る。トレーサー粒子から反射したパルスを受信して流速分布を求める。流速分布算出方法を用い、照射したパルス信号と受信したパルス信号の類似性から、時間遅れを求め、流速を算出する。UVP と同様、超音波パルスを測定対象に発射することで速度分布を求めているが、時間領域相関法を用いていることが特徴である。パルスレーザは Imaginant 社製 DPR300、TDX はジャパンプローブ社製超音波プローブ (基本周波数 8MHz、振動子直径 3mm) を用いた。測定時間はおおよそ 100 秒であり、その間に各測定点につき 4000 個の速度を測定する。なお 68wt%グリセリン水溶液中での音速は 1820m/s である。

トレーサー粒子としてナイロンパウダー平均粒子径 20  $\mu\text{m}$  と 80  $\mu\text{m}$  の 2 種類の粒子を使用した。両者とも密度:  $\rho=1.02\text{g/cc}$  である。

### 3. 実験方法

Fig.2に UTDC システムと渦発生装置で構成される実験装置の概要を示す。本実験では Normal2-cell(N2-cell)モードと Normal4-cell (N4-cell)モード<sup>(2)</sup>を発生させ  $Re=500$ と安定した流れ場における渦流れを平均粒子径の違う2種類の粒子を用いて平均速度分布を測定し、比較することによって粒子径の違いによる影響を測定する。また固体粒子の濃度の違いによる流れの影響を測定する。トレーサー粒子であるナイロンパウダーは比重が1.02と68wt%グリセリン水溶液より低めであるが、TVFの作用により攪拌され、ほぼ流体の流れに沿うものとして考える。

### 4. 実験結果および考察

Fig.3, Fig4 に平均粒子径  $20\mu\text{m}$  と  $80\mu\text{m}$  の N2-cellモード, N4-cellモードでの平均速度分布を比較した図を示す。測定位置は超音波プローブの中心が内円筒から6mmの地点である。

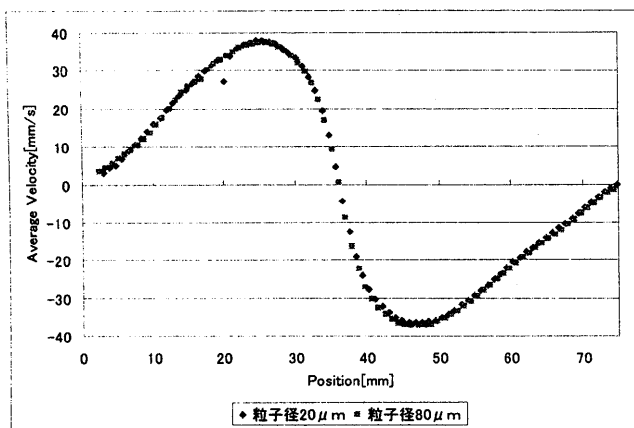


Fig.3 Mean velocity profile for  $Re=500$  by UTDC

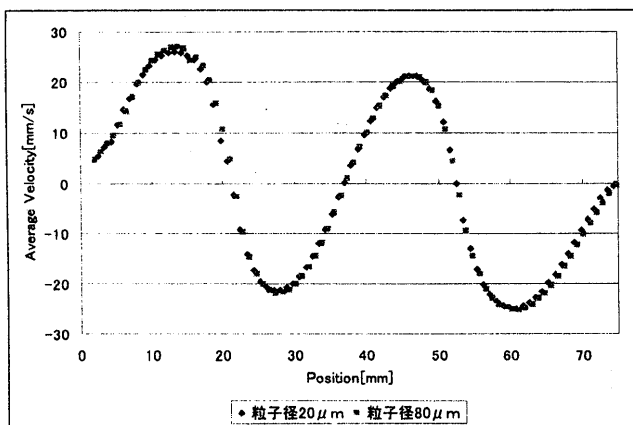


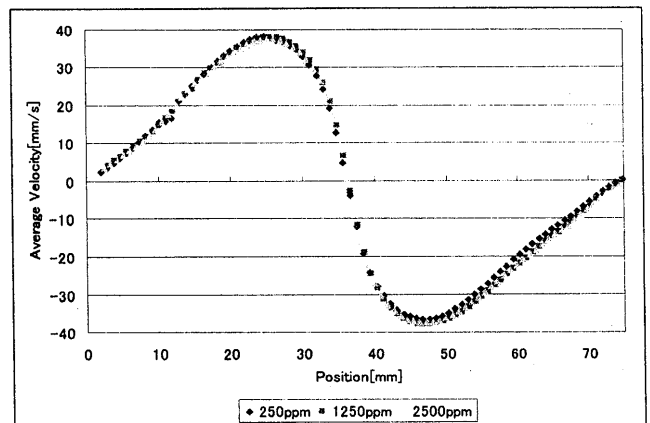
Fig.4 Mean velocity profile for  $Re=500$  by UTDC

両者を比較してみると N2-cell, N4-cellともに速度分布は一致していることがわかり、粒子径を変化させても渦流れに与える影響は  $Re=500$ では少ないと考えられる。

Fig.5, Fig6 に固体粒子の濃度の違いによる N2-cell

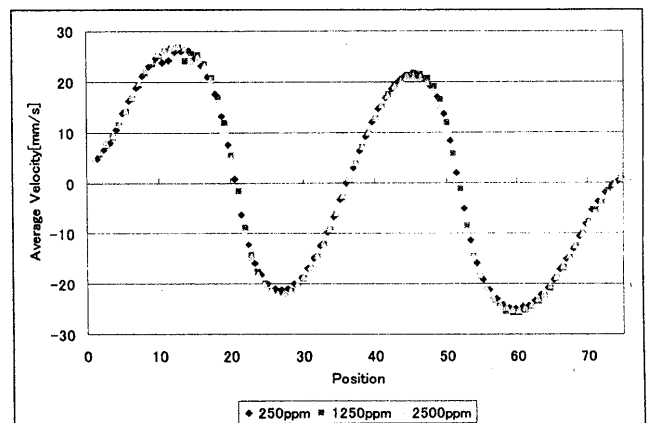
モード, N4-cellモードでの平均速度分布の比較を示す。平均粒子径  $80\mu\text{m}$ である。固体粒子の濃度は溶液中に固体粒子を0.1g, 0.5g, 1.0g投入することで250ppm, 1250ppm, 2500ppmとなる。測定位置は超音波プローブの中心が内円筒から6mmの地点である。

N2-cellモード, N4-cellモードともに2500ppmと粒子が多く可視化が困難な状態でも測定することができた。そして濃度が10倍になっているにもかかわらず平均速度分布はよく一致している。



N2-cell mode

Fig.5 Mean velocity profile by difference of density



N4-cell mode

Fig.6 Mean velocity profile by difference of density

### 5. 結言

平均粒子径が  $20\mu\text{m}$ と平均粒子径  $80\mu\text{m}$ よりかなり小さい粒子径であっても超音波を用いて測定することができた。 $20\mu\text{m}$ から  $80\mu\text{m}$ の間で  $Re<500$ においては渦流れに与える影響は少ないといえる。

また、固体粒子の濃度を変化させた場合でも速度分布は良好に一致した。

### 6. 参考文献

- (1) Y.Takeda, *J.Fluid Mechanics*, Vol.389(1999),81
- (2) 中村・ほか3名, 機論, 54-505,B, (1988),2425
- (3) Steven T. Wereley and Richard M. Lueptow, *Phys. Fluids*, No.2, February 1999