UVP measurement of the flow between Corotating Disks

兼子 亮 (同大) 正 平田 勝哉 (同大) 正 舟木 治郎 (同大)

Ryo KANEKO, Katsuya HIRATA, Jiro FUNAKI, Doshisha University

This work presents influence of flow in the narrow space between a pair of coaxially rotating disk enclosed by a fixed outer wall, viz., a an outer shroud. The flow consists of two different parts; one is referred to as the 'central core,' and the other the 'secondary flow.' The former is the flow in solid-body motion at the central area. The later is the flow with vortical structures developed by shear stress on the outer wall. The boundary between those flows tends to have polygonal shapes. The number of vortical structures in the secondary flow, i.e., the number of apices of the polygon, depends on the Reynolds number Re , and the ratio δ of the disk gap to the disk radius and the ratio of wall radius to disk radius λ . We study the flow using UVP(Ultrasonic Velocity Profile).

Key words: flow

1. 緒言

静止外周壁を持つ同径の 2 円板が、円板径より十分に狭い間隔を保ち、回転軸を共有して同一方向に回転するとき、円板間の流れは、剛体的回転流れに加えて、非軸対称で複雑な流れを持つことが知られているが、現在の段階ではその二次流れの細部に関しては、十分に解明がなされるまでには至っていない。

このような流れは、電子計算機などの磁気ディスク装置などで発生し、フラッタ振動の原因となり、浮動するヘッドで記録を行うこれらの媒体にとっては、致命的な欠陥となる事が考えられる。特に近年、磁気ディスク装置のさらなる高速大容量化に向けて、より高精度なヘッドの位置決めが要求されているが、ディスク間の流体運動による圧力変動から誘起される振動が無視できなくなっている。

本研究では、静止外周壁を取り付けた回転 2 円板の流れを UVP(Ultrasonic Velocity Profile)で計測した。

2. 実験装置および方法

2.1 実験装置

回転二円板は同径で、回転軸に連結しており、可変速モーターからの動力が伝えられる。作動流体は水で、円板間を満たしている。円板の水平度は上下共に 0.1% 以下である。水平度 0.2% でも影響が無い事を確認したので、この装置は流体力学的に軸対称であると考えてよい。

本研究ではアクリルパイプを円板間に挟むことにより、円板間隙を変えることが出来るようになっている。

静止外周壁の外側に設けたひずみ除去装置によって、可視化をした際の外周壁によるひずみを取り除いた。ただし、可視化のために回転二円板と静止外周壁、ひずみ除去装置はアクリル製で、下部回転円板は黒く塗装してある。

また、軸が長い為、上部板にビロブロックを取り付け、軸がぶれないようにしている。

可変速モーターにより回転数は 1.5[rpm]~150[rpm]まで変化できる。

2.2 実験パラメータ

本研究の最も重要なパラメータは、間隙比 δ 、回転レ

イノルズ数 Re 、静止外周壁半径 λ である。 R_d は回転円板半径 (0.153m で固定)、 R_s は内円筒半径 (0.034m で固定)、 R_w は静止外周壁半径 (0.154m で固定)、 G は回転円板間隙、 ω は円板回転角速度である。支配パラメータは次の 2 つの形状パラメータである。

間隙比

$$\delta = \frac{G}{R_d} \quad (2-1)$$

無次元静止外周壁半径

$$\lambda = \frac{R_w}{R_d} \quad (2-2)$$

本研究では $\lambda = 1$ で固定。

円板端速度を代表速度にとった回転レイノルズ数

$$Re = \frac{\omega R_d^2}{\nu} \quad (2-3)$$

である。ここで、 ν は流体動粘度である。

また、円板端と静止外周板との間隙は 1[mm]以下と十分狭いので流れへの影響は少ない。

実際の HDD の一例と比較して、回転レイノルズ数は 1桁低い、静止外周壁を設けることで実機において発生するモードの範囲 (ただし磁気ヘッドの影響は無視する) は十分に網羅されている。

2.3 実験方法

UVP を用いた流速分布の測定

本実験では二円板間の流れの流速分布の時間変化について UVP を用いることにより調べた。UVP プローブから超音波ビームを二円板間内部に発し、 r 方向 128 点の速度分布を一分間測定する。UVP は、ビーム方向の速度成分についてののみ測定でき、プローブに近づく方向を $-$ 、プローブから遠ざかる方向を $+$ として表示する。また UVP は 1024 個の速度分布を連続的に記録することができる。本実験ではトレーサとして架橋ポリスチレン粒子を用いた。

3. 結果および考察

UVP 測定結果

$Re=1.0 \times 10^5$ (40rpm), $\delta=0.3$, $\lambda=1.0$, mode 4 における二円板間の各点における周方向, 軸方向, 鉛直方向の時間平均流を UVP で測定したものである。Fig.1 は UVP と LDV により回転円板中央での周方向速度を r 方向に調べ, 比較したものである。縦軸は周方向の流速を回転円外周速度で無次元化した無次元周方向速度 u_θ , 横軸は回転軸からの距離を回転円板半径で無次元化した無次元半径 r である。Fig.2 は軸方向速度を r 方向に調べたものである。縦軸は軸方向の流速を回転円外周速度で無次元化した無次元軸方向速度 u_r である。Fig.3 は回転円板中央での鉛直方向速度を r 方向に調べたものである。縦軸は鉛直方向の流速を回転円外周速度で無次元化した無次元鉛直方向速度 u_z である。Fig.1 より UVP は正確な数値を示していることがわかった。また, r 方向の変化は, 回転円板速度にほぼ等しい領域からピーク値にいたり外周壁付近で大きく減少することが判った。Fig.2 より円板上部付近では回転軸から外周壁に向けての流れ, 円板間の中央部では外周壁から回転軸に向けての流れから, コア外部領域では, 渦塊が形成されていることが確認された。

次に r 方向, θ 方向, z 方向に UVP プローブを設置して $z=0.5$, $Re=1.0 \times 10^5$ (40rpm), $\delta=0.3$, $\lambda=0.1$, mode 4 における二円板間の流速の変化を測定した。Fig.4, Fig.5, Fig.6 は $r=0.5, r=0.8, r=0.9$ における r 方向, θ 方向, z 方向流速を示したものである。縦軸はそれぞれの方向の流速を回転円外周速度で無次元化した無次元速度 u_r, u_θ, u_z , 横軸は無次元時間 t である。これらよりコア内部領域, コア外部領域, 遷移領域それぞれに周期的な流れの存在を確認した。

4. 結言

1) $Re=1.0 \times 10^5$ (40rpm), $\delta=0.3$, $\lambda=1.0$, mode 4 において UVP により計測を行うことにより, コア外部領域では, 円板の近くでは, 回転軸から外周壁への流れ, 円板間の中央部では, 外周壁から回転軸への流れを確認することができた。

Fig.1 Velocity u_θ by UVP, $z=0.5$ ($Re=1.0 \times 10^5$ (40rpm), $\delta=0.3$, $\lambda=1.0$, mode 4).

Fig.2 Velocity u_r by UVP, $z=0.25 \sim 0.9$, ($Re=1.0 \times 10^5$ (40rpm), $\delta=0.3$, $\lambda=1.0$, mode 4).

Fig.3 Velocity u_z by UVP, $z=0.5$ ($Re=1.0 \times 10^5$ (40rpm), $\delta=0.3$, $\lambda=1.0$, mode 4).

Fig.4 Relation between mean velocity and distance, $r=0.5$, $z=0.5$ ($\delta=0.3$, $\lambda=1.0$, $Re=1.0 \times 10^5$ (40rpm), mode 4).

Fig.5 Relation between mean velocity and distance, $r=0.8$, $z=0.5$ ($\delta=0.3$, $\lambda=1.0$, $Re=1.0 \times 10^5$ (40rpm), mode 4).

Fig.6 Relation between mean velocity and distance, $r=0.9$, $z=0.5$ ($\delta=0.3$, $\lambda=1.0$, $Re=1.0 \times 10^5$ (40rpm), mode 4).