平行回転円板間の不安定流れの可視化

東大・院 松村 安家^o
三菱電機 大野 啓明
東大・工 金子 成彦, 葉山 真治

Visualization of Flow between Two Parallel Rotating Disks

Yasuie MATSUMURA*, Hiroaki OHNO**,
Shigehiko KANEKO* and Shinji HAYAMA*

Recently the size of magnetic disk memories becomes larger. And now, disk fluttering is an important problem. Yet, few studies about this problem have been performed. The flow between two parallel rotating disks has been visualized with aluminium flake or coloured water. However, photographs obtained by these methods were not clear.

We studied especially about central-crimp type disk pack without center air blow-off. And by means of smoke wire, we obtained clear visualized photographs of the pattern of the air flow between the disks. These photographs show that the shroud makes the flow stable, and that especially when the spoiler is inserted more than about one-third of the disk radius, the flow becomes extremely stable.

1. まえがき

電子計算機の大容量ファイル記憶装置に用いられている磁気ディスク装置のディスクパックは年々大容量化の傾向にある。また、高密度記録技術の進歩に伴い、アクセスのための浮動ヘッドの浮動量はサブミクロンオーダーとなり、位置決め精度も上がっている。このため、ディスクのフラッタはアクセスミスを引き起こし、重大な問題となっている。しかしながら、回転する二枚の平行なディスク間の流れについての研究で、過去において直接扱われたものはほとんど見受けられない。なかでも Lennemann, E.¹⁾ はアルミ粉を混入した水の中に二枚の透明な円板を入れ、円板上方からアルミ粉の流れを観測し、興味深い流れのパターンを得ている。そのなかで、シュラウドおよびヘッド(スポイラ)がある場合の検討がなされており、それらによるディスクフラッタの軽減への効果が報告されている。その他にも、可視化による実験的研究²⁾ および解析的研究³⁾ が行なわれているが、従来の可視化写真はいずれも鮮明でなかった。

本論文は、安濃田氏の実験研究⁴⁾ を延長して、より鮮明な可視化写真を得ることによって、従来行なわれていなかったディスク間の流れに対するシュラウドおよ

* Faculty of Marine Engineering, University of Tokyo, Hongo, Bunkyo-ku, Tokyo

** Mitsubishi Electric Corporation, Tokyo, Japan

びヘッドの効果について実験的研究を行なったものである。

2. 実験装置および実験方法

本実験の可視化技術のポイントは、スモークワイヤを回転円板に搭載し円板間の流れを空気流のまま扱うところにある。そのため、ディスクの高速回転が要求されるという実験装置上の困難ささえ克服すれば、極めてクリアな写真を得ることができる。そこでまず、本実験システムの概略を述べる。(Fig. 1)

スモークワイヤは回転円板上に放射状に12本、静止外周板(シュラウドを付加しない実験で用いる。)上に12本、それぞれFe-Cr $\phi 0.1$ 線が張られている。円板上のスモークワイヤには、回転軸内にもうけられたオイルタンクからディスク中央部にオイルを供給し(Fig. 2),そこから遠心力によりオイルを塗布する。同時に外周板上のスモークワイヤにはポンプでオイルを供給する。スモークワイヤに通電して発煙させ適当な設定時間が経過したのち、ストロボ装置を発光させて写真を撮影する。これら一連の操作はコントローラを用いて遠隔操作で行なう。

つぎに、実験装置各部に説明を加える。前後二枚の回転円板のうち、後方の円板はつや消し黒に塗装したアクリル製で円板から約1.6mm離れてスモークワイヤが張られている。前方の円板は可視化のために透明になっている。いずれも厚さは10mmで、円板の間隔は外径80mmのスペーサにより調節する。また、シュラウドを付加しない条件で実験を行なう場合には、円板外部流体の挙動を知る目的から円板と同じ間隔に保たれた二枚の平行な静止外周板をとりつけ、同様にスモークワイヤを設置する。またシュラウドを用いる実験では、円板のまわりにアクリル製シュラウドを固定する。その内径は $\phi 30.8$, 幅は50mm, 厚さは15mmである。ヘッドとして透明なアクリル製の板を用いるが、その大きさは $5 \times 30 \times 300$ である。以上、各寸法はFig. 3に示す通りである。なお、撮影にはニコンF2, 80~200mm, MD2付を使用し, Tri-X 135フィルムを一部増感した。発煙材料は流動パラフィンと灯油を

Fig. 1 Experimental apparatus

Fig. 2 Oil supply to smoke wires

Fig. 3 Head position and disk size

容積比で5対5に混合したものを使用した。

さて、実験方法であるが、大別して (1) シュラウドを付加しない時、(2) シュラウドを付加する時、の二種類の実験を行ない、それぞれの場合についてヘッドの影響を調べた。パラメータは円板間隔 d (mm)、回転数 N (rpm) およびヘッドの挿入深さであり、次表の範囲で実験を行なった。ここでヘッドの挿入深さであるが、その先端がスペーサ表面に接している時を1、ディスク外周に接している時を0とする。(Fig.3 左側)

パラメータ	シュラウドなし	シュラウドあり
円板間隔 d (mm)	8, 11	8, 11, 14
回転数 N (rpm)	300 ~ 1200	300 ~ 1200
ヘッドの挿入深さ	1 ~ 0 ~ -2, なし	1 ~ 0, なし

従って、符号がマイナスのときはヘッドの先端が円板外にあることを示す。

3. 実験結果

3.1. シュラウドの影響について・・・ディスクの回りにシュラウドを付加しない時と付加した時の可視化写真をそれぞれ Fig. 6-8 と Fig. 7-5 に示す。円板の回転数および円板間隔はいずれも同じで、発煙後 $\frac{\pi}{2}$ 回転させて撮影したものである。また、ヘッドは挿入されていらない。円板は反時計方向に回転しており、円板上の煙の分布は円板の角速度と同じ回転座標系からみた流体の運動をあらわしている。これに対して外周板上の煙の分布は静止座標系からみたものであることに注意を要する。シュラウドが付加されていらない時に注目すると、円板中央部では比較的層流に近く、擾乱の周方向速度成分は円板の回転方向に対して、向きが 360° の間に二度変化している。また円板外周においては、外部の流体の影響を受けて一様に後方にたなびいており、流体の速度ベクトルは外向きと内向きに交互に変化している。したがって円板の外周で空気の吹き口と吸い口がそれぞれ二個ずつ出現していて、Fig. 4 に示すような二次のモードの空気流が生じている。これに対してシュラウドを付加すると、円板中央部の擾乱の大きさはかなり小さくなり、剛体回転流に近くなっている。すなわち流れは安定化の傾向にある。また、円板外周近傍においても半径方向の速度変動はわずかであった。これはシュラウドによる境界条件のためである。以上の現象は実験を行なったすべてのパラメータの場合について同じで、シュラウドを付加した方が安定であった。また、シュラウドを付加しない時に出現したモードはすべて二次であったのに対し、シュラウドを付加するとより高次のモードが観察された。Fig. 7-9 ~ Fig. 7-12 はそれぞれ3 ~ 6 次のモードをとらえている。これらはいずれも発煙後 $\frac{\pi}{2}$ だけ回転したところを撮影した可視化写真である。また Fig. 5 は、シュラウドを付

Fig. 4 Air Flow between Disks without the Shroud

加した場合に回転数 N と円板間隔 d を変えて出現するモードの次数をまとめたものである。表の中で斜線で区切って二つの数字を記しているのは、そのパラメータの条件において出現したモードが二つあったことを示す。また、その下のカッコ内の数字はヘッドを $1/6$ 挿入した時のモードの次数である。Fig. 5を見ると、円板間隔 d が小さく回転数 N が低い程、より高次のモードが出現しやすいことがわかる。

$d(\text{mm})$	300	400	600	800	1000	1200
14	6 (4)	5 (4, 3)	5 (3)	5/4 (3)	4 (3)	3 (3)
11	6 (6)	6/5 (6)	5 (5)	5/4 (4)	4 (4)	4 (4)
8	6 (6)	6 (6)	6 (5)	6/5 (5)	5 (5)	5 (4)
	$N(\text{rpm})$					

Fig. 5 Mode Number of Flow between Disks with Shroud

3.2. ヘッドの影響について・・・ヘッドの挿入深さに対する流体の挙動の変化をシュラウドを付加しな場合とした場合のそれぞれについて Fig. 6-1 ~ Fig. 6-8 と Fig. 7-1 ~ Fig. 7-5 に示す。シュラウドがない場合はヘッドが1の位置、すなわちヘッドの先端がスパーサ表面に接している時、円板間の流れは円板の角速度よりも遅い剛体回転流に近い流れに変化していき、モードの影響は消失している。一方外周板間の流れは、外周板の右側つまりヘッドの上流側では擾乱がみられるが、下流側では殆ど完全に静止している。これは発煙後の時間を長くとした Fig. 6-9 を見るとより明らかである。ここで、ヘッドの挿入深さを $3/8$ にすると (Fig. 6-3), まず円板間で若干のモードの影響が出はじめ、さらにヘッドを0の位置にすると (Fig. 6-5), 円板外周の流れにもモードが出現する。次にシュラウドを付加した時であるが、この場合も前者と同様の結果が得られた。ヘッドを $1/6$ にすると場合によってはモードが確認された。(Fig. 7-6) さらにヘッドを $1/6$ まで抜くとすべてのパラメータの場合についてモードが出現した。その次数は Fig. 5 の中でカッコで表わしている。これを見るとヘッドを若干($1/6$)挿入してもモードの影響は残るが、その次数はヘッドがない時に比べて減少する傾向にあることがわかる。最後に回転数を1200 rpm にした時の可視化写真を Fig. 6-10 ~ Fig. 6-12 と Fig. 7-7, Fig. 7-8 に示す。いずれも低回転数の時と殆ど違いは認められない。

4. まとめ

スモークワイヤ法を用いて平行回転円板間の流れの可視化実験を行ない、次のことが判明した。シュラウドを付加すると付加しない場合に比べて擾乱の大きさは小さくなり、剛体回転流に近くなる。また高次のモードが出現しやすくなる。ヘッドを挿入すると、円板間の流れは特にヘッドの下流側において大変安定になる。またヘッドを挿入した時に出現するモードの次数はヘッドがない時のそれより小さくなる傾向にある。

文献 1) Lennemann, E., IBM J. Res. Develop., 18-6 (1976), 480 2) 金子・ほか3名, 電気通信研究所研究実用化報告, 26-2 (1977), 563 3) 松村・大野・金子・葉山 東大卒論 (1981)

4) 安濃田 東大博論 (1978)

 Fig. 6-1 $d=8\text{mm}$, $N=400\text{rpm}$
Head:1

 Fig. 6-2 $d=8\text{mm}$, $N=400\text{rpm}$
Head:1/2

 Fig. 6-3 $d=8\text{mm}$, $N=400\text{rpm}$
Head:3/8

 Fig. 6-4 $d=8\text{mm}$, $N=400\text{rpm}$
Head:1/4

 Fig. 6-5 $d=8\text{mm}$, $N=400\text{rpm}$
Head:0

 Fig. 6-6 $d=8\text{mm}$, $N=400\text{rpm}$
Head:-1/4

 Fig. 6-7 $d=8\text{mm}$, $N=400\text{rpm}$
Head:-1/2

 Fig. 6-8 $d=8\text{mm}$, $N=400\text{rpm}$
No head

 *Fig. 6-9 $d=8\text{mm}$, $N=400\text{rpm}$
Head:1

 Fig. 6-10 $d=8\text{mm}$, $N=1200\text{rpm}$
Head:1/2

 Fig. 6-11 $d=8\text{mm}$, $N=1200\text{rpm}$
Head:3/8

 Fig. 6-12 $d=8\text{mm}$, $N=1200\text{rpm}$
Head:1/4

 Fig. 6 Visualized Flow between Disks without Shroud
($\pi/5$ rotated except π rotated after fume)

Fig. 7-1 d=8mm, N=400rpm
Head:1

Fig. 7-2 d=8mm, N=400rpm
Head:2/3

Fig. 7-3 d=8mm, N=400rpm
Head:1/3

Fig. 7-4 d=8mm, N=400rpm
Head:1/6

Fig. 7-5 d=8mm, N=400rpm
No head

*Fig. 7-6 d=14mm, N=800rpm
Head:1/3

Fig. 7-7 d=8mm, N=1200rpm
Head:1

Fig. 7-8 d=8mm, N=1200rpm
Head:2/3

**Fig. 7-9 d=14mm, N=1200rpm
No head

**Fig. 7-10 d=11mm, N=1000rpm
No head

**Fig. 7-11 d=11mm, N=600rpm
No head

**Fig. 7-12 d=11mm, N=400rpm
No head

Fig. 7 Visualized Flow between Disks with Shroud
($\pi/5$ rotated after fume except
* π rotated and ** $6\pi/5$ rotated after fume)