



Title	磁気ディスク記憶装置の浮上ヘッドスライダの表面圧力変動と浮上量変動
Author(s)	田村, 尚敬; Tamura, Hisataka; 木谷, 勝 他
Citation	北海道大學工學部研究報告, 150, 9-16
Issue Date	1990-05-31
Doc URL	https://hdl.handle.net/2115/42224
Type	departmental bulletin paper
File Information	150_9-16.pdf



磁気ディスク記憶装置の浮上ヘッドスライダの 表面圧力変動と浮上量変動

田村 尚敬* 木谷 勝* 望月 修* 下仲 順永** 桜井 浩***

(平成元年12月12日受理)

Clearance Fluctuation and Fluctuating Surface Pressure of a Floating Headslider of a Magnetic-Disk Memory Storage Device

Hisataka TAMURA, Masaru KIYA, Osamu MOCHIZUKI,

Toshinori SHIMONAKA and Hiroshi SAKURAI

(Received December 12, 1989)

Abstract

This paper presents an estimation of the clearance fluctuations of a floating headslider of a magnetic memory device based on the fluctuating surface pressure of the headslider. An experiment using a scale-up model is performed at a Reynolds number of 1.1×10^5 , which is the same as that of the prototype magnetic disk. Results showed that the surface-pressure fluctuation can possibly produce rms values of the clearance fluctuation which is about a few percent of the average clearance. The probability density distributions of the clearance fluctuation are also estimated by a Monte-Carlo simulation.

1. ま え が き

磁気ディスク記憶装置の浮動ヘッドスライダは、流体軸受の原理によって、ディスク表面から浮上する。時間平均浮上量は浮上力とスライダアームのばねの平衡によって決定される。

これまで、浮動ヘッドスライダ(以後、単にスライダとよぶ)の磁気ディスクに対する面(以後、この面を下面、反対側の面を上面とよぶ)の時間平均圧力分布⁽¹⁾、スライダの振動特性⁽²⁾および磁気ディスクのきずあるいはうねりに対するスライダの浮上追従特性^{(3),(4),(5)}について多くの研究が行われているが、スライダ上面の圧力変動による浮上量変動の可能性については検討されていない。

スライダは回転する磁気ディスクによって生ずる流れにさらされているために、その上面には流れのはく離・再付着による変動圧力が作用する。スライダの浮上力はスライダ上面と下面との圧力差によって決定されるから、上面の圧力変動が十分に大きければ、これによって無視しえないスライダ浮上量変動の生ずる可能性がある。

この観点にたつて、本論文では模型実験によってスライダ上面の圧力変動を測定し、これによる実機スライダの変動浮上量を推定した。また、変動浮上量の確率密度分布をモンテカルロ・シ

* 機械工学科 流体工学第一講座, ** 日本電気ロボットエンジニアリング, *** トキコ株式会社

ミュレーションによって推定した。この結果、表面圧力変動によって時間平均浮上量の数パーセント程度の変動浮上量が発生する可能性のあることがわかった。

2. 実機磁気ディスクの表面付近の流れ

模型実験の条件設定のために、まず実機磁気ディスク(HITACHI DK505, 5.25インチ)(図1参照)の表面付近の流れを調べた。磁気ディスク装置内には、防塵および放熱のための流路が設けられており、ディスク周辺の容器形状も軸対称ではないため、装置内を循環する流れをあらかじめ予測できない。

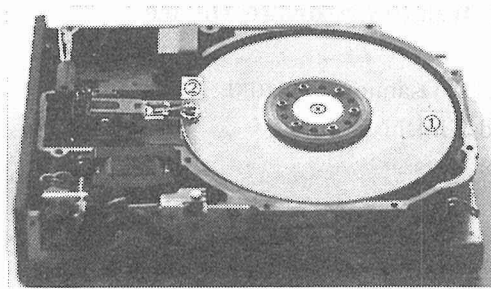


図1 磁気ディスク記憶装置
① 磁気ディスク、
② ヘッドスライダ
(上蓋は取り除いてある)

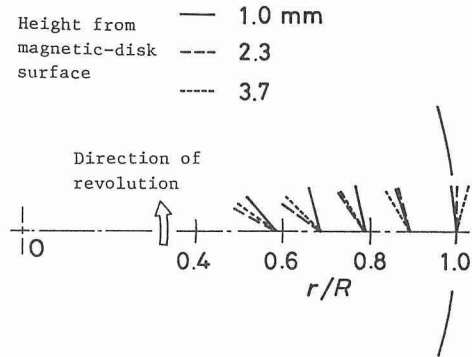


図2 磁気ディスク付近の流れの方向
 r : 半径, R : ディスク半径

本研究では、実験的な制約のために、図1の最上部にある磁気ディスクと上蓋との間の流れを対象とした。スライダの作動範囲に対応する上蓋の部分を、透明なアクリル樹脂板に置き換え、その部分に数本のタフトスティックプローブ⁽⁶⁾を取り付け、ディスク表面近くの流れの方向を可視化法により観測した。

図2はいくつかの半径位置における流れの方向を、磁気ディスクとタフトプローブ間の距離 h をパラメータとして示したものである。なお、磁気ディスクと上蓋の間隔は4.7mmである。 $r/R=1.0$ (r : 半径, R : 磁気ディスク半径)の位置では、流れはほぼ周方向に沿うが、これよりも内側ではいずれの h においても、流れは中心方向に向く。この方向は、円筒容器内で回転する円盤の、表面近くの流れとは逆である。このようになるのは、円盤の粘性ポンプ作用を用いて、装置内の流れを循環させているためである；円盤の他の部分では流れが外向きになっている可能性がある。しかし、本研究ではスライダ近くの流れが重要なので、他の部分の流れの観測は行わなかった。

また、図2において、流れは r/R が小さいほど半径方向を向いている。これは r の減少による周方向速度成分の減少と、半径方向速度成分の増加(流量がほぼ一定と仮定)によるものと解釈される。

3. 模型実験装置および実験方法

図3に模型実験装置を示す。これは、① 回転ディスク、② シロッコ・ファン、③ 吸込管、④ 固定ディスク、⑤ 回転数制御装置、⑥ スライダ模型によって構成されている。

回転ディスクは厚さ10mm、直径60cmの表面が滑らかな透明アクリル製であり、回転数可変モータによりベルトを介して駆動される。実験回転数(177rpm)における回転ディスク外周の軸方

向のうねりの最大は $\pm 0.16\text{mm}$ であった。なお回転ディスクの直径は実機のそれの約4.5倍である。固定ディスクは実機の上蓋に対応するもので、回転ディスクと同一の諸元を持っている。両者の間隔は30mmである。

固定ディスクには、回転ディスク表面付近の流れ方向を観測するための、5本のタフトステックプローブを取付けてある。なお、両ディスク間の流れが吸込管に滑らかに流入するように、固定ディスクと吸込管（直径100mm）の接合部は滑らかな曲面とした。

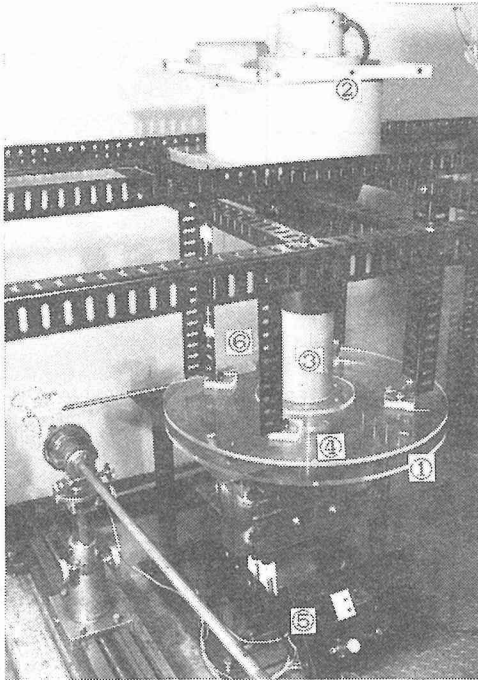


図3 実験装置

- ① 回転ディスク, ② シロッコファン③ 吸込管,
④ 固定ディスク, ⑤ 回転数制御器, ⑥ 模型ヘッドスライダ

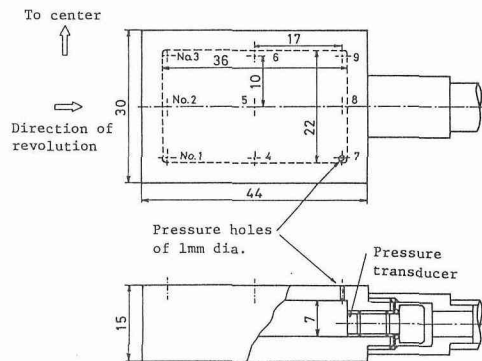


図4 模型ヘッドスライダ

回転ディスクの回転数は、光電管式ピックアップによって回転数に同期したパルスを検出し、これを周波数カウンタで計測することによって求めた。

模型スライダは、その内部に圧力変換器を組み込む必要上、実機スライダ（ウィンチェスタタイプ）の約7.6倍の大きさの長方形柱（縦44mm、幅30mm、高さ15mm）とした。模型スライダの詳細を図4に示す。模型スライダには実機スライダの下面のテーパ部および長手方向の溝は設けていない。スライダは直径9.5mmの丸棒によって支持されている（図4参照）。支持棒はスライダにあたる流れの下流側に位置している。また模型スライダにはジンバル（実機スライダの支持アームで上記支持棒に直角になっている）の模型は取り付けていない。

模型スライダの上面には、図4のように9個の圧力孔（直径1.0mm）を設けた。測定すべき圧力はスライダ内部のキャビティ（ $36 \times 22 \times 7\text{mm}^3$ ）を介して、その一端面に装着した圧力変換器

(ENDEVCO, Model 8507-2) に導かれる。それ以外の圧力孔は薄い粘着テープでふさがれている。圧力変換器の出力は直流増幅器 (TOYODA, Model A-3004) によって増幅される。図5は圧力 p と出力電圧 E との校正曲線である。なお、以下の説明の都合上、各圧力孔に図4のような番号をつける。同図には近寄り流れの方向と各圧力孔との位置関係もあわせて示してある。

圧力変換器をスライダに装着した場合のキャビティの存在によるヘルムホルツ共振周波数は313 Hz (圧力変換器そのものの固有振動数は4.5kHz) であった。したがって、測定された圧力変動波形は200Hz のローパスフィルタを通してから解析した。

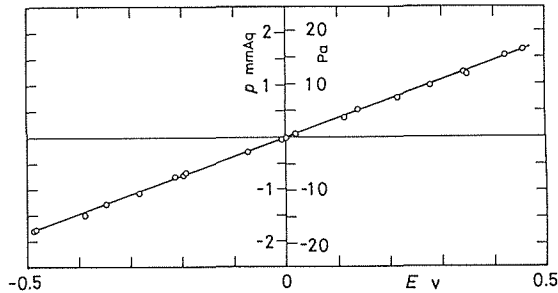


図5 圧力変換器の校正曲線

実機のレイノルズ数 $Re (= R^2 \omega / \nu, R$: 磁気ディスク半径, ω : 回転角速度, ν : 動粘性係数) は 1.1×10^5 である。本実験はこれと同一のレイノルズ数で行った。このときの模型ディスクの回転角速度は18.5rad/s である。

回転ディスク付近の流れの方向が実機のそれと同一になるように送風機による空気吸込量を調節した。

スライダは潤滑剤 (CRC5-56) を介して回転ディスクに軽く接触している。潤滑剤の使用によって、回転ディスクとスライダとの接触による熱および静電気の発生を防止することができた。スライダの半径位置は、実機スライダのそれとほぼ同一の $r/R = 0.567 \sim 0.9$ の範囲内で5種類に変化させた。

圧力変換器の出力信号は増幅(1000倍)の後、FFTアナライザ (ONOSSOKI, CF-910) に入力して、その rms 値、スペクトルおよび確率密度関数を求めた。

4. 実験結果および考察

4.1 スライダ上面の変動圧力

図6は変動圧力のパワースペクトル分布の一例を示す。9箇所の圧力測定位置のいずれのパワースペクトルにも顕著な卓越周波数は現れていない。0-200Hz の周波数範囲における変動圧力の rms 値と、0-500Hz の周波数範囲の rms 値からヘルムホルツ共振周波数範囲 313 ± 50 Hz の値を差引いたものとの間にはほとんど差がなかった。

図7はスライダの各半径位置における変動圧力係数 $Cp'_{rms} (= \sqrt{p'^2} / \frac{1}{2} \rho (R\omega)^2)$ の分布である。 Cp'_{rms} は一般に r/R の減少とともに増加する。ただし、No.1 の Cp'_{rms} は、 r/R が変化しても、ほぼ一定である。上流側圧力孔 (No.1-No.3) の Cp'_{rms} は、他の圧力孔のそれに比較して大きい。特に No.1 における Cp'_{rms} が大きい。これは流れがスライダの上流側および外周側の角からはく離するためであろう。

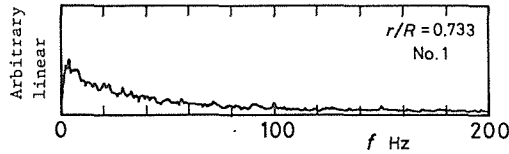


図6 スライダ表面の変動圧力のパワースペクトルの一例
($r/R=0.733$, No.1)

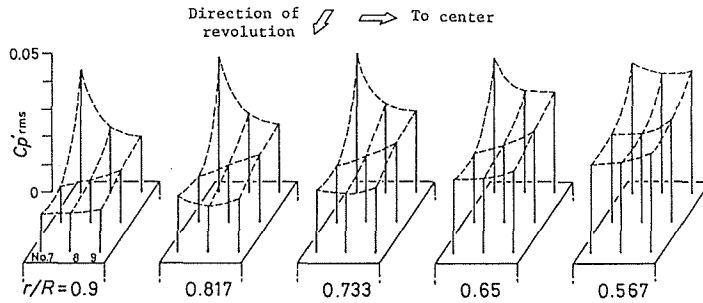


図7 スライダ表面の変動圧力 (rms 値) の分布

4.2 実機スライダの変動浮上量の推定

スライダ上面の任意の点 \mathbf{x} の、時刻 t における変動圧力を $p'(\mathbf{x}, t)$ とすれば、スライダに作用する変動揚力 L' は

$$L'(t) = \int_A p'(\mathbf{x}, t) dA \quad (1)$$

である。ここに、 A : スライダ上面の面積、 dA : \mathbf{x} を中心とする微小面積である。したがって、変動揚力の自乗平均は

$$\overline{L'^2} = \iint R(\mathbf{x}, \mathbf{x}') p'_{rms}(\mathbf{x}) p'_{rms}(\mathbf{x}') dA dA' \quad (1a)$$

であたえられる。 $R(\mathbf{x}, \mathbf{x}')$ は \mathbf{x}, \mathbf{x}' における変動圧力の相互相関係数 ($= \overline{p'(\mathbf{x}, t) p'(\mathbf{x}', t)} / p'_{rms}(\mathbf{x}) p'_{rms}(\mathbf{x}')$) である。

いま、スライダ上面を n 個の面積 dA_i に分割し、その中心を \mathbf{x} とする。 \mathbf{x}' が dA_i の内部にあるときには $R(\mathbf{x}, \mathbf{x}') = 1$ 、外部にあるときには $R(\mathbf{x}, \mathbf{x}') = 0$ と仮定する。また、 dA_i の内部では p'_{rms} は一定と仮定する。このとき式(1a)より

$$\overline{L'^2} = \sum p'_{rmsi}{}^2 dA_i{}^2 \quad (2)$$

となる。ここで簡単のために、 $dA_i = A/n$ とすれば

$$L'_{rms} = A (\sum p'_{rmsi}{}^2)^{1/2} / n \quad (3)$$

となる。したがって、変動浮上量の rms 値 h'_{rms} は

$$h'_{rms} = L'_{rms} / k = A (\sum p'_{rmsi}{}^2)^{1/2} / nk \quad (4)$$

となる。ここに k はスライダアーム (ジンバル) のばね定数である。

実機スライダとして、ウィンチェスタタイプのもの ($A=22 \times 10^{-6} \text{m}^2$, $k=14.7 \text{N/m}$) を想定すれば、 h'_{rms} とスライダの半径位置 r との関係は、図 8 のようになる。 h'_{rms} は半径の小さなほど大きく、しかもその大きさは r の減少とともに直線的に増加する。最も内側の半径位置 $r/R=0.567$ における h'_{rms} は約 $7 \mu\text{m}$ である；この値はスライダと回転ディスクの平均間隔 ($0.4 \mu\text{m}$) の約 18 倍に達する。

以上の考察によって、変動浮上量がどの程度の大きさに達しうかがわかった。次の問題は、このように大きな圧力変動が発生する頻度を求めることである。ここでは、つぎの仮定のもとに、この頻度をモンテカルロ法によって求めた。

- (i) スライダ表面の各点における圧力変動は統計的に互いに独立である。
- (ii) 圧力変動の確率密度関数は正規分布である。例として、 $r/R=0.567$ ；No. 1, No. 2, No. 3 における確率密度関数の測定結果を図 9 に示してある。No. 1 以外のものはほぼ正規分布である。このことは、ほかの r/R についても同様であった。
- (iii) 圧力変動は平均値が 0、標準偏差が Cp'_{rms} の実測値に等しい正規乱数におきかえられる。
- (iv) 乱数を発生させる試行回数はスライダのデータの書き込みあるいは読み取りの回数に対応する。

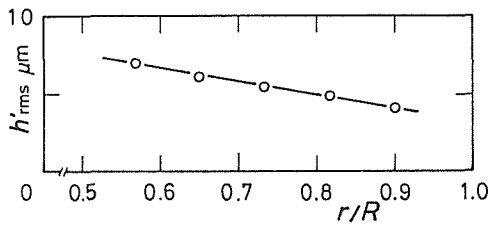


図 8 変動浮上量 h'_{rms} と半径位置 r/R との関係 (スライダアームのばね定数のみを考慮した場合)

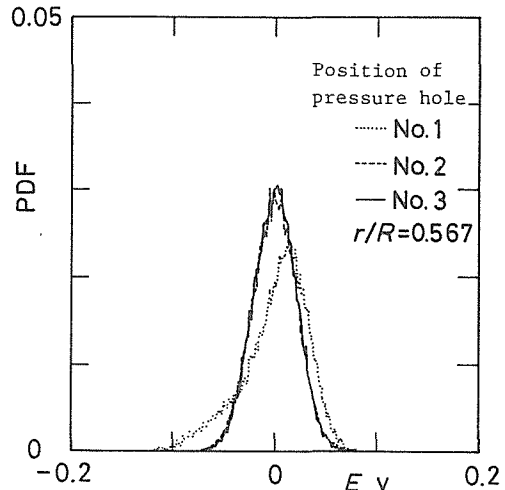


図 9 スライダ表面の変動圧力の確率密度関数 ($r/R=0.567$, No. 1, No. 2, No. 3)

スライダの変動揚力は、9 個の圧力孔の圧力に対応する 9 個の乱数の和と面積との積である。このことは式 (1) から明らかである。この試行を 10^5 回くり返し行った。これによって求められた変動浮上量 h' の確率密度を図 10 に示す。いうまでもなく、 h' の正の値はスライダの浮上を意味する。これより、各 r/R における任意の浮上量 h' の発生する確率を推定することができる。参考のために、同図の横軸上に各 r/R における h'_{rms} の値を示してある。

図 11 は 10^5 回のデータの読み取りあるいは書き込みを行ったときに発生する最大の変動浮上量 h'_{max} と r/R との関係を示したものである。これも h'_{rms} と同様に、 r/R の減少とともに直線的に増加することがわかる。また、 $r/R=0.567$ の h'_{max} は平均浮上量の 70 倍程度になる。

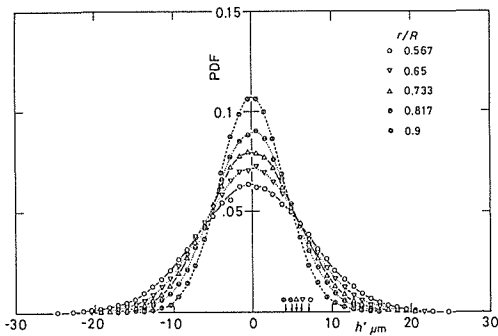


図10 モンテカルロ・シミュレーションによる浮上量の確率密度分布(横軸の↓は各 r/R の変動浮上量(図8)を示す)

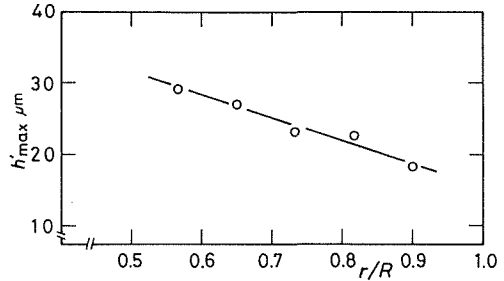


図11 10^5 回のデータを読み書きするときに発生する最大の変動浮上量 h'_{max} と半径位置 r/R との関係(スライダアームのばね定数のみを考慮した場合)

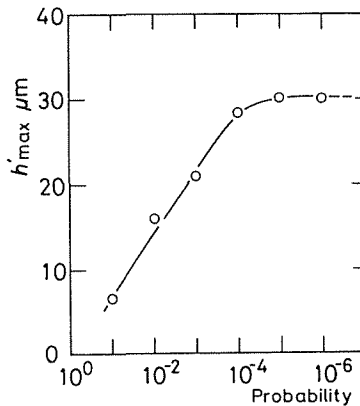


図12 各確率に対する $r/R=0.576$ における最大変動浮上量 h'_{max} の変化(スライダアームのばね定数のみを考慮した場合)

回転中の磁気ディスクとスライダの間には、うすい空気膜が形成され、これがスライダアームの見かけ上のばね定数を増加させる。この見かけの剛性のために、スライダ上面に大きな圧力変動(したがって、これによる大きな揚力変動)が発生しても、実際のスライダの浮上量変動につながらない可能性がある。文献(4)、(5)によれば、空気膜剛性のばね定数はスライダアームのその10³~10⁵倍大きい。したがって空気膜剛性のばね定数を考慮すると変動浮上量の最大は0.007 μm 程度となり、これは平均浮上量の1.8%である。図12は $r/R=0.576$ における10⁻¹~10⁻⁶の各確率で発生する h'_{max} の変化を示したものである。10⁻⁵および10⁻⁶の確率で発生する h'_{max} はほぼ一定(=30 μm)となり、これ以下の確率においても h'_{max} はあまり変化しないものと思われる。これについても、空気膜剛性のばね定数を考慮すると、 h'_{max} は平均浮上量の7.5%程である。変動浮上量の許容値は平均浮上量の10%⁽⁷⁾である。したがって、記録の高密度により平均浮上量の減少が進むにつれて、 h'_{max} はこの許容値を超えることも考えられ、スライダ上面の変動圧力を軽減させるようなスライダ形状の開発が必要である。

本実験では、見かけの剛性を明らかにすることができなかった。これは今後の研究課題である。

また、スライダの変動浮上量の rms 値を推定するにあたって、圧力変動の相関係数 $R(\mathbf{x}, \mathbf{x}')$ を微小面積ごとに 1 とした。これは最も危険側の変動浮上量を与えるが、実際には $-1 < R(\mathbf{x}, \mathbf{x}') < 1$ であるから、 h'_{rms} はこの値よりも小さい。 $R(\mathbf{x}, \mathbf{x}')$ の測定およびより正確な h'_{rms} の決定も今後の課題である。

5. 結 論

磁気ディスク記憶装置のヘッドスライダ上面（ディスクから遠い面）における圧力変動が、スライダの浮上量変動を生ずる可能性について実験的に検討した。実験にはヘッドスライダの拡大模型を採用し、実機とほぼ同一のレイノルズ数において測定を行った。

主な結果を要約すればつぎの通りである。

- (1) 圧力変動による変動浮上量の rms 値の最大は、時間平均浮上量 ($0.4\mu\text{m}$) の 1.8% 程度である。
- (2) スライダ上面の圧力変動の rms 値は、スライダがディスク中心に近い位置にあるほど大きい。この rms 値は、スライダ中心とディスク中心の距離の減少とともにほぼ直線的に増加する。
- (3) モンテカルロ・シミュレーションによって、浮上量変動の確率密度を推定した。 $10^{-5} \sim 10^{-6}$ の確率で発生する最大の変動浮上量は平均浮上量の 7.5% 程度である。

参考文献

- (1) White, J. W., Tribology and Mechanics of Magnetic Storage System, ASLE SP-16 (1984), 72.
- (2) White, J. W., 同上, 77.
- (3) Bouchard, G., Miu, D. K., Bogy, D. B. and Talke, F. E., 同上, 85.
- (4) Ono, K., Trans. ASME, J. of Lubrication Technology, 97-2 (6975), 250.
- (5) 小野, 小暮, 三矢, 日本機械学会論文集 C 編, 45-391 (1979), 356.
- (6) 流れの可視化学会, 新版流れの可視化ハンドブック (1986), 135, 朝倉書店.
- (7) 小野, 油圧と空気圧, 17-2 (1986), 92.