

# 泳動型磁気マイクロアクチュエータの機構と泳動特性に関する研究

大橋陽介<sup>1</sup>・山田外史<sup>2</sup>・岩原正吉<sup>3</sup>

<sup>1</sup>〒920-8667 金沢市小立野 金沢大学大学院自然形科学研究科電子情報システム専攻；<sup>2</sup>〒920-8667 金沢市小立野 金沢大学自然計測応用研究センター；<sup>3</sup>〒920-8667 金沢市小立野 金沢大学電気情報システム工学科

Yosuke OHASHI<sup>1</sup>, Sotoshi YAMADA<sup>2</sup> and Masayoshi IWAHARA<sup>3</sup>: Mechanism and characteristics of the swimming type magnetic micro-actuator

## 1. はじめに

微小空間で動作可能なマイクロマシンの開発が盛んとなっており、その駆動源となる様々な方式のマイクロアクチュエータが研究されている。中でも磁気マイクロアクチュエータは非接触・ワイヤレスでエネルギー供給が可能で、構造がシンプルであるという特長を持っている。

本研究ではらせん機構を持つ泳動型磁気マイクロアクチュエータの構造と泳動特性について研究しており、現在は使用目的に応じた形状の選択を目標としている。本稿では、アクチュエータの水平方向と垂直方向の泳動特性を測定し、その測定結果から各アクチュエータの形状に関する検討を行った。

## 2. アクチュエータの構成と動作原理

本研究では図1のような4種類を作製した。らせんのパラメータを図のように統一し、これらの先端にφ2×2mmの円筒形NdFeB磁石を磁石の着磁方向が進行方向に垂直となるよう接着した。アクチュエータは同期機の原理で先端部の磁石が回転する。これによりアクチュエータのらせん部が周囲の液体を掻くことで、アクチュエータは磁界の回転面と垂直方向に推進する。実験は動粘性係数が1,5,10,50,100,500,1000である水・シリコンオイルを用いて行った。内径7mmのアクリル管にこれらの液体を満たし、20Gの回転磁界を印加した。また、アクチュエータの泳動と媒体との関係において重要なパラメータとしてレイノルズ数が知られている。レイノルズ数とは、流れの状態を表す無次元の定数で、流体粒子に加わる力（慣性力と粘性力）の比であり、(1)式で表される。

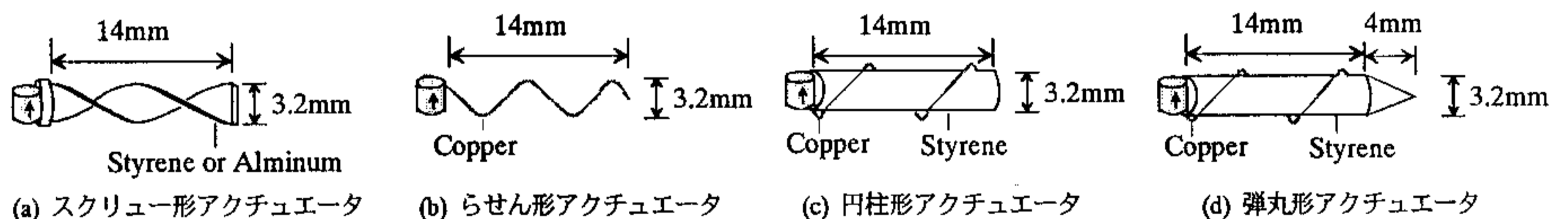


図1 各アクチュエータの形状

$l$ : 全長

$$Re = U \cdot l / \nu \quad (1)$$

$U$ : 泳動速度

$\nu$ : 動粘性係数 (粘性係数 $\mu$  / 密度 $\rho$ )

## 3. アクチュエータの泳動特性と形状に関する検討

### 3.1 アクチュエータの泳動特性

図2,3にそれぞれ水中におけるアクチュエータの水平方向と垂直方向の周波数-速度特性を示す。水平、垂直方向のそれぞれにおいて各アクチュエータの速度は印加磁界の周波数にほぼ比例して増加している。また各特性の最大周波数を越えるとアクチュエータは同期から脱調して推進力を失った。これらの結果はどの粘度の液体中でも確認された。

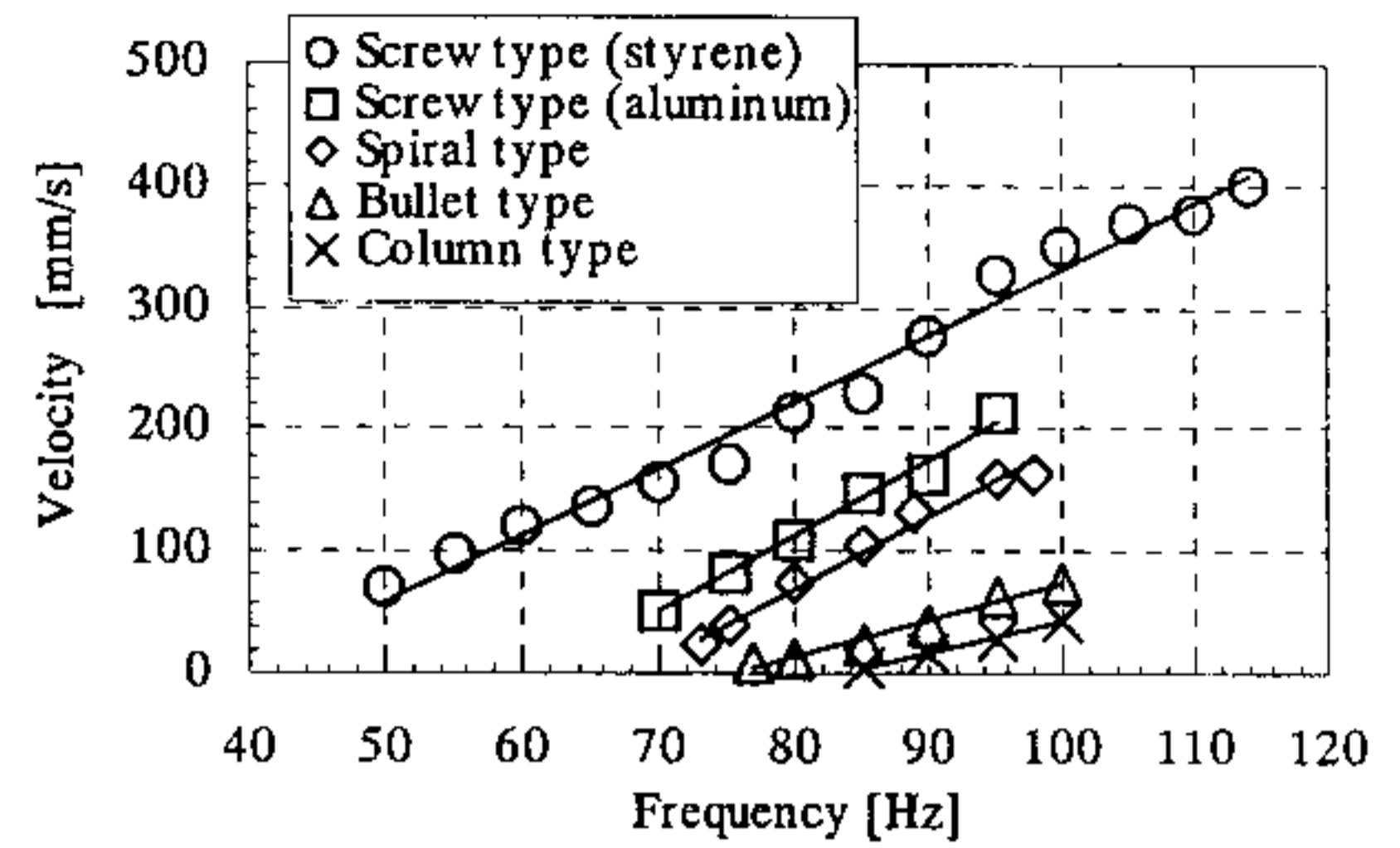
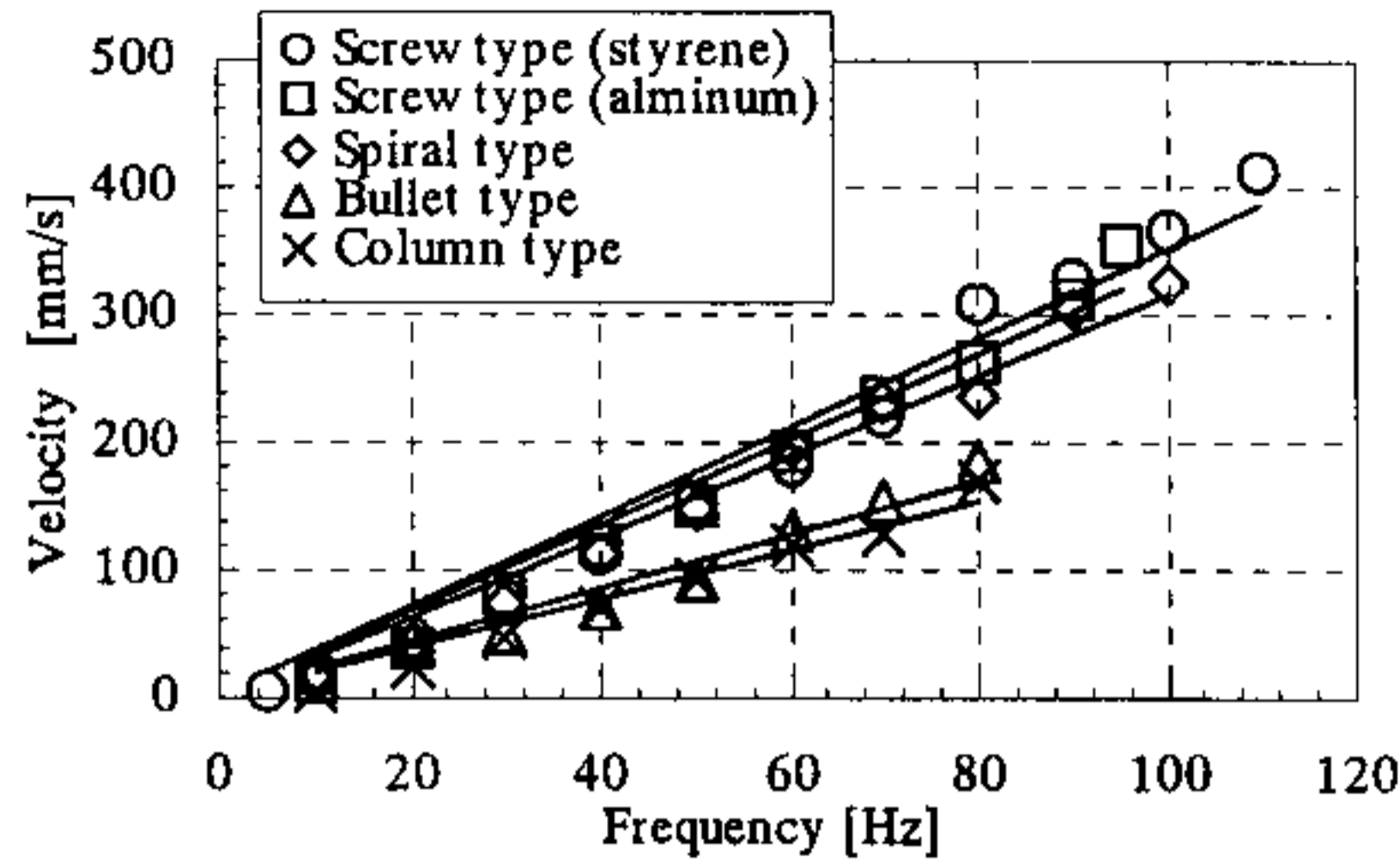
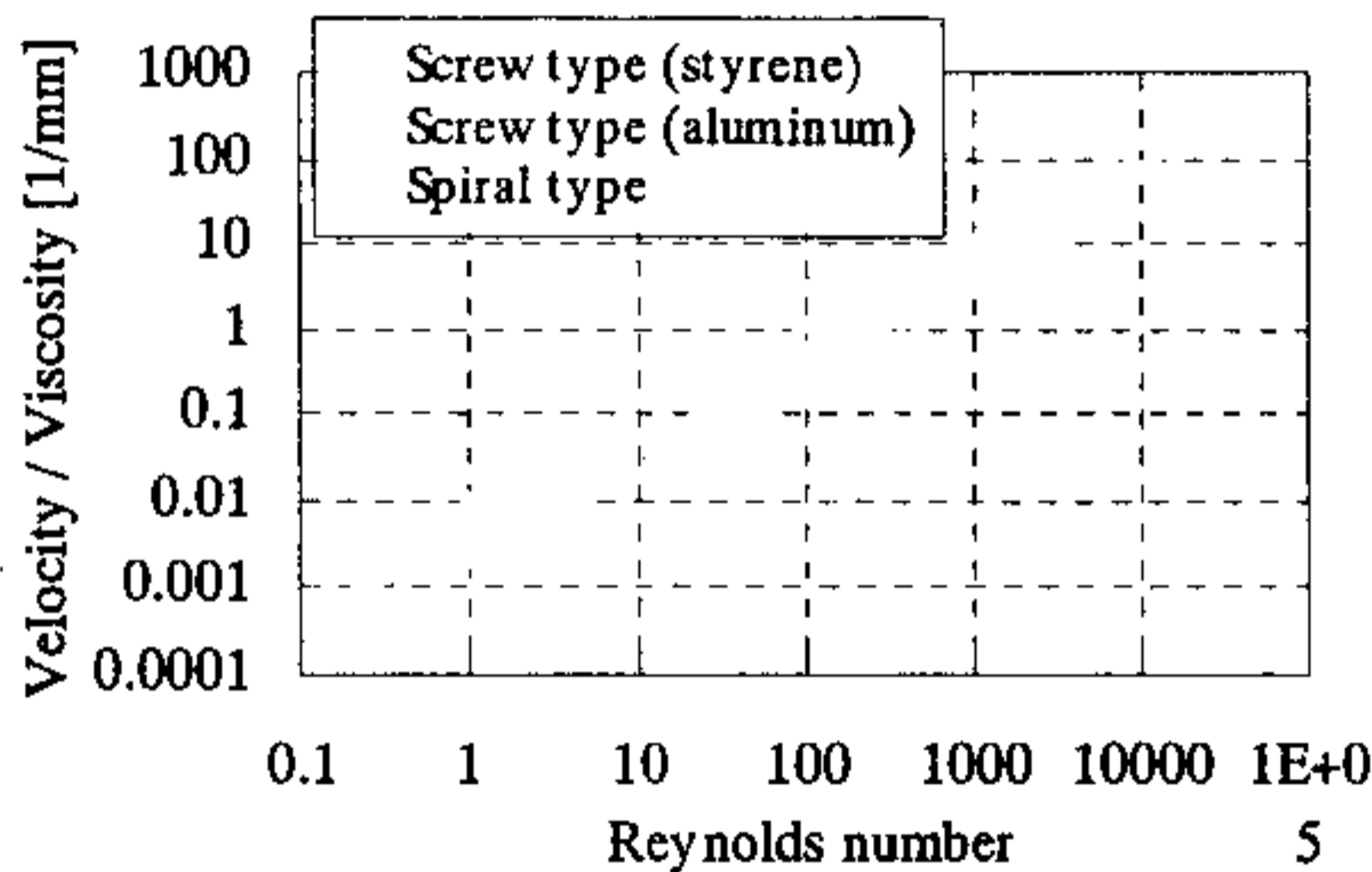


図2 水平方向の周波数-速度特性 ( $\nu=1.0\text{mm}^2/\text{s}$ ) 図3 垂直方向の周波数-速度特性 ( $\nu=1.0\text{mm}^2/\text{s}$ )

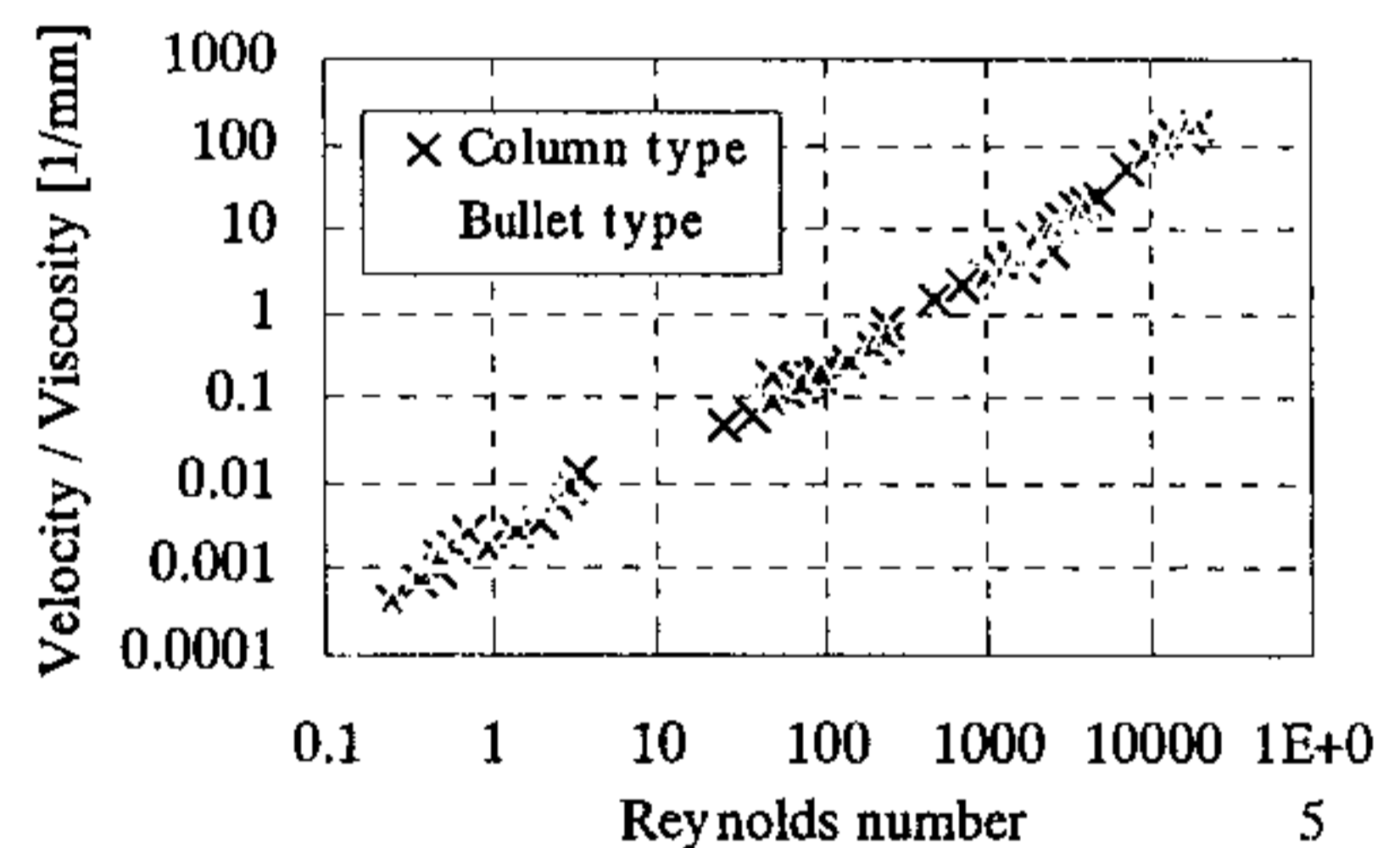
### 3.2 レイノルズ数を用いたアクチュエータの形状に関する考察

(1)式にアクチュエータにおける各パラメータを代入し、求めた  $Re$  数と速度/動粘性係数の特性を図4に示す。図4(a)はスクリー形とらせん形の特性である。グラフから  $Re$  数 3000~4000 以上ではスクリー形の方が速く、それ以下ではらせん形の方が速く駆動している。一般に高  $Re$  数 ( $Re$  数  $> 10^5$ ) では慣性力が優位となる。そのため高  $Re$  数では表面積が大きく、生み出す揚力の大きいスクリー形の方が速く推進していると考えられる。

図5(b)は円柱型と弾丸形の  $Re$  数-速度/動粘性係数特性である。一般に  $Re$  数 1000 の領域でのアクチュエータ周辺の流れは層流 (流体が層状に規則正しく流れる) であり、アクチュエータの形状を多少変化させても乱流 (流れが乱れ、拡散する) に変化させることはできない。そのため  $Re$  数  $10^4$  領域で有効である遷移を利用した方法 (先端を尖らせるなど) は、ほとんど効果が期待できないと言われている。その結果高  $Re$  数では弾丸形の方が円柱型よりも速くなるものの、低  $Re$  数になるにつれて両者の差はほとんどなくなったと考えられる。



(a) スクリー形とらせん形の比較



(b) 円柱形と弾丸形の比較

図4 レイノルズ数-速度/動粘性係数特性

## 4. まとめ

本研究ではアクチュエータの使用目的に応じた形状の選択を目標とし、7種類の粘度の液体中で走査させ、水平方向と垂直方向の泳動特性を測定し、それらの結果からアクチュエータの形状に関する考察を行った。その結果アクチュエータの泳動速度は回転磁界の周波数に比例して増加し、周波数を大きくしすぎると同期から外れ推進しなくなることがわかった。また、スクリー形とらせん形を比較すると、高  $Re$  数ではスクリー形の方が、低  $Re$  数ではらせん形の方が優位となった。円柱型と弾丸形を比較すると、高  $Re$  数では弾丸形のほうが多少優位となるものの、低  $Re$  数ではあまり差が見られなかった。