

ゲル内の電気流体力学的流動を利用したマイクロポンプ

Micropumps Using Electrohydrodynamic Flow inside a Gel

信州大学繊維学部 助手 渡辺真志

Faculty of Textile Science and Technology, Shinshu University
Masashi WATANABE

アブストラクト

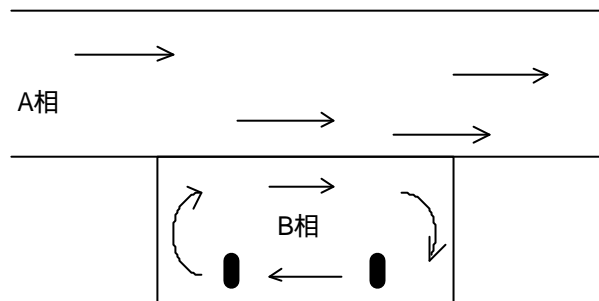
2相系を利用した新しい電気流体力学的ポンプを試作した。用いた系は(1)ポリビニルアルコールゲル/デカリン、(2)ジクロロトルエン/水(3)シリコンゲル/キシレンである。このようなゲル/液体、または液体/液体2相系において、片方の相(例えばゲル相)中に電極を置いて電気流体力学的流動を起こさせた。その結果、他方の相(液相)は電極が接していないにも関わらず流動が生じる事を見出した。そして、この現象がポンプとして利用できる事を示した。従来の電気流体力学的ポンプでは、電極に流体が接するため流体の電気分解が多かれ少なかれ問題になるのに対し、本法のように2相系を利用して間接的に流動を発生させる方式では、流したい流体は電極に接しないので電気分解の心配なく送液できるのが利点である。

Abstract

We demonstrated a new type of electrohydrodynamic pumps using the following two-phase systems, i.e., 1) poly(vinyl alcohol)-gel/decalin, 2) dichlorotoluene/water, 3) silicone-gel/xylene. A voltage application to the electrode placed inside one phase (e.g., the gel phase) caused an electrohydrodynamic flow inside the phase. During the application, the other phase (the liquid phase) flowed, though the electrode was not in contact with the phase. An advantage of such two-phase systems is that one can pump a fluid without the fear of its electrochemical decomposition because the electrode is not in contact with the fluid.

1. 研究目的

マイクロポンプは、近年盛んに研究されている μ -TASやマイクロリアクターなど、微小な化学分析・反応装置における重要な構成要素である。このようなポンプを作る場合、従来の機械式ポンプでは可動部品を含む多数の部品が必要であり、微細加工・組み立ての面で困難さがある。これに対し、電気浸透や電気流体力学的流動など、電氣的に引き起こされる流体の流動現象を利用するポンプでは、部品は一对の電極だけである。従って、微小なポンプを作るのが容易になるという利点がある。しかしこの種のポンプでは、電極が流体に直接接触する事から生じる「流体の電気分解」という問題がつきまとう。そこで本研究では、図1のような2相系を考え、一方の相(B相)で電気流体力学的流動を発生させる事で他方の相(A相、こちらが実際に流したい流体)の流動を引き起こすという新しいコンセプトの電気流体力学ポンプを作製する。この場合、電極は流体と直接接触しないので流体の電気分解という問題が解決されるはずである。



(図1) 2相系での電気流体力学的流動

2. 研究経過

2-1. PVA-DMSO ゲルを用いたポンプ

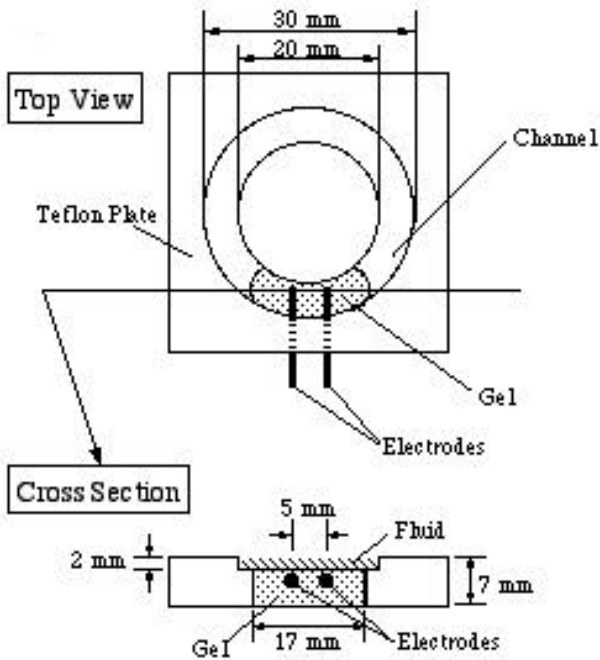
2-1-1. 概要

PVA(ポリビニルアルコール)をDMSO(ジメチルスルホキシド)で膨潤させたゲル内に一对の電極を埋め込み、電極と作動流体とが接触しないような形で作動流体を流すポンプを試作した。

2-1-2. ポンプの作製

テフロン板を加工し図2のような円周形の流路と、ゲルに埋め込まれた電極を作製した。ここで、ゲルはPVA(重合度 1000) / DMSO / 蒸留水(10 / 72 / 18wt.%) からなる溶液を用いて凍結解凍法によって作製したあと、さらにグルタルアルデヒドで化学架橋させたも

のを用いた。



(図2) PVA-DMSO ゲルを用いたポンプ

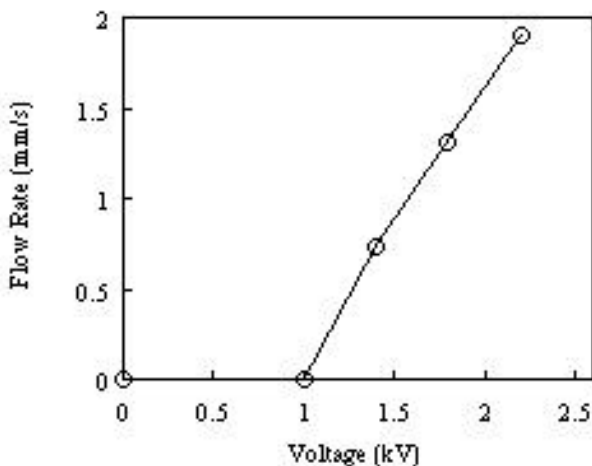
2-1-3. 結果と考察

電極間に 1.22 kV の電圧を印加したところ、作動流体（デカリン）の流動が観察された（図3）。電極は PVA-DMSO ゲル中に埋め込まれており、かつ、作動流体（デカリン）は DMSO に不溶である事を考えると、ゲル内の電気流体力学的流動によって、間接的に作動流体が流れたと考えられる。

2-2. 液-液 2 層系を用いたポンプ

2-2-1. 概要

液-液 2 層系を用いた電気流体力学的ポンプを



(図3) デカリン相の流速

試作した。この場合、下の液層中に電極を置き、その電

気流体力学的流動を利用して間接的に上層の液体を流動させる。上層の液体（作動流体）は電極と接触しないので、作動流体の電気分解は回避される。

2-2-2. ポンプの作製

ガラスシャーレとテフロン板を用い、図4のような円周形の流路を作製し、底に電極を取り付けた。上層には水（1.0 wt.%ドデシルベンゼンスルホン酸ナトリウムを含む）を、下層にはジクロロトルエンを用いた。

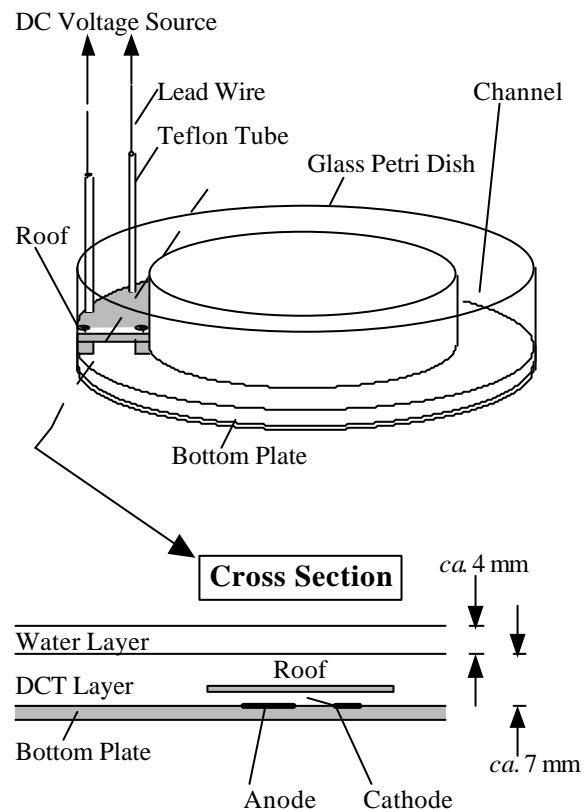
2-2-3. 結果と考察

電極間に 1.3 kV の電圧を印加したところ、上層の水の流動が観察された（図5）。その流動方向は、ジクロロトルエンだけの場合と同じであった事から、ジクロロトルエン（下層）の流動が界面剪断応力によって水層（上層）の流動を引き起こしたと考えられる。また、電流値は上層に水があっても無くても大きな変化はなかった事から、上層の水は電極には接しておらず、従って電気分解も起きていないと考えられた。

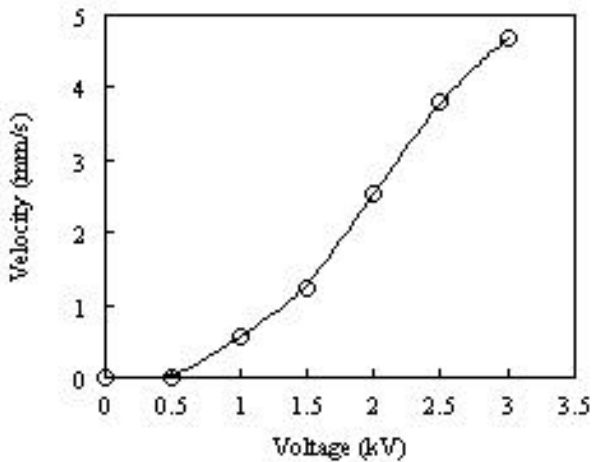
2-3. シリコンゲルを用いたポンプ

2-3-1. 概要

ゲルとしてシリコンをキシレンで膨潤させたものを用い、ポンプを作製した。



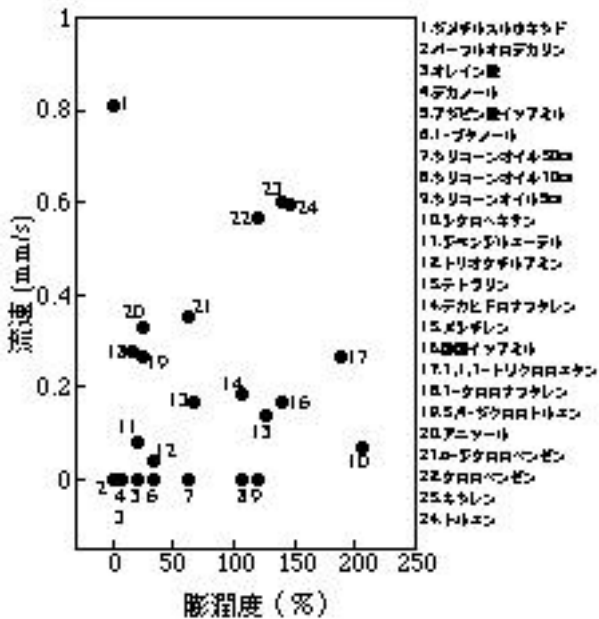
(図4) 液-液 2 層系ポンプ



(図5) 上層(水)の流速

2-3-2. ゲル膨潤溶媒の選択

ゲル膨潤溶媒は(1)シリコンを十分に膨潤させ、かつ(2)電気流体力学的流動の大きなものを選択する必要がある。そのため比較的沸点の高い溶媒 20 余種について膨潤度と電気流体力学的流動の



(図6) 各種溶媒の電気流体力学的流動特性とシリコンの膨潤度

流速を調べた(図6)。その結果、キシレン、トルエンなど芳香族炭化水素系溶媒が最適である事が分かった。

2-3-3. ゲルの調製

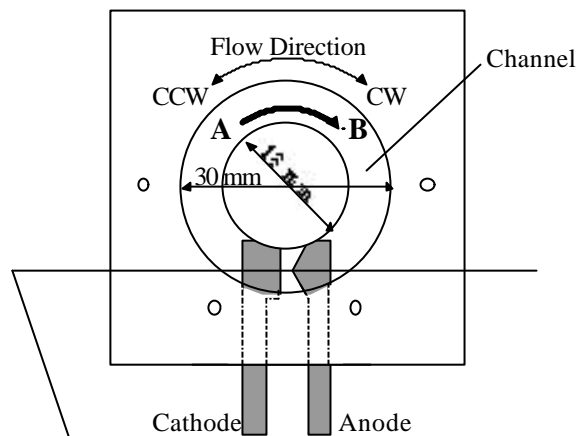
図7のようにテフロン板で作った流路に電極を取り付け、電極上にゲルを作製した。当初、ヒドロシリル化反応

を利用してシリコンゴムを作製した後、キシレンで膨潤させると言う方法をとったが、膨潤過程でシリコンの体積が著しく増加するため電極から剥がれてしまうという問題が生じた。そこでシリコンオイルを多量(90 wt.%) 混ぜたシリコンゴムをまず作製し、その後シリコンオイルとキシレンを入れ替えてゲルを得ると言う方法に変えたところ、電極から剥がれる事なくゲルを作製できた。

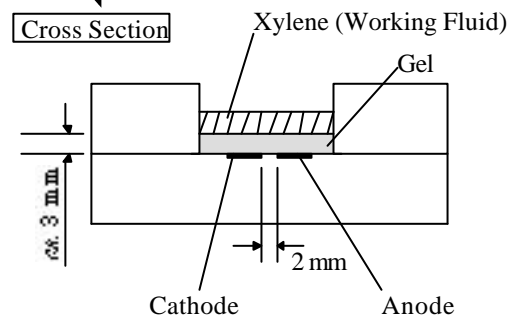
2-3-4. 結果と考察

作動流体としてキシレンを用いた場合、400 2000 V の印加で流動が見られた(図8-a)。その流速はゲルで電極を覆わない時とあまり大きな差は無かった(図8-b)。通常の固体で電極を覆った時

Top View



Cross Section



(図7) シリコンゲルを用いたポンプ

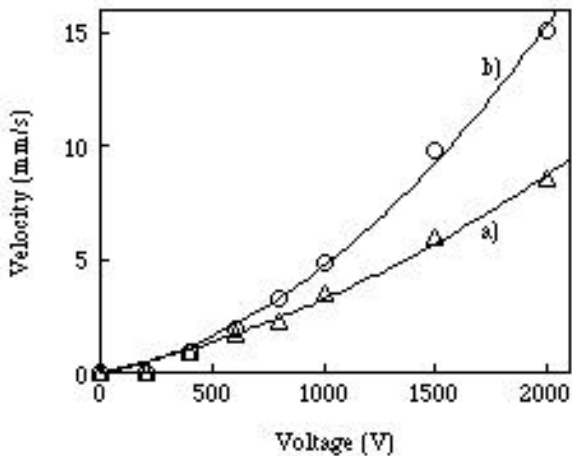
は全く流動が生じない事と比較すると、ゲルは固体であるにも関わらず流動をあまり妨げないという、極めて特殊な固体である事が示された。

作動流体として水を用いた場合、残念ながら今のところ流動は観察されていないが、ゲルが水と電極との接触を防ぐ事は電流値の測定から確認された。すなわち、

ゲル上に水を満たした場合と満たさない場合とで比較したところ、電流値はほとんど変わらず、効果的に水との接触を妨げている事が分かった。従って、水の電気分解という問題は電極をゲルで覆う事によって解決された。

3. 研究成果

3-1. 電極を PVA-DMSO ゲルに埋め込んだ場合、作動流体（デカリン）を流せるポンプを作製できた。



(図 8) 作動流体キシレンの流速

3-2. 液-液 2 層系の電気流体力学的ポンプでは、電気分解なしに水を流せるポンプを作製できた。

3-3. 電極をシリコーンゲルで覆ったポンプでは、キシレンを流す事ができた。

4. 今後の課題と発展

本研究では、電極と作動流体が接触しない形での電気流体力学的ポンプを幾つか試作した。しかし、今のところミリメートルサイズのポンプなのでマイクロポンプとは呼べない。今後、ポンプのマイクロ化について検討する必要がある。また、ゲル内の電気流体力学的流動は、これまで研究例のほとんど無かった領域であり、基礎科学的な観点から今後研究していく価値のあるものと思う。

5. 発表論文リスト

1. M. Watanabe, J. Zheng, A. Hara, H. Shirai, and T. Hirai: A Pumping Technique Using Electrohydrodynamic Flow Inside a Gel; *IEEE Trans. Dielectr. Electr. Insul.*, **10**, 181-185 (2003).
2. M. Watanabe, H. Shirai, and T. Hirai: Liquid-liquid Two-layer Electro-hydrodynamic Flow System;

Sens. Actuators, B, **94**, 267-270 (2003).

3. M. Watanabe, A. Hara, and T. Hirai: Gel-coated Electrodes for an Ion Drag Pump; *IEEE Trans. Dielectr. Electr. Insul.* in press.