

識別番号 P 5

研究課題 イオン液体を用いたマイクロマシンの開発

研究代表者 藤田正博 (理工学部物質生命理工学科)

共同研究者 築地徹浩 (理工学部機能創造理工学科)

**Summary** We have been investigating the development of novel micromachines by using ionic liquids. Several ionic liquids and liquid zwitterions were synthesized. Two kinds of cells were fabricated with a needle electrode and a flat-plate electrode. When a cell fabricated with two flat-plate electrodes was used, ionic liquids decomposed at a low voltage. On the other hand, the dielectrophoresis phenomenon of the ionic liquid was observed with a cell fabricated with a needle electrode and a flat-plate electrode.

## 1. 本研究の目的及び背景

本研究課題は、イオン液体の分子設計を通じて流体機械・機器の開発を行い、従来系にはない特色を備えたマイクロマシンの開発を目指すものである。イオン液体は、他の溶媒にはない特長を数多く有しており、興味深い材料であるという評価を多方面で得ている。しかし、イオン液体の高価格（安いもので¥1,000/g、一般的な有機溶媒は¥1/g 以下）と高粘度（一番低い粘度でも水の 20 倍程度）が広範囲への普及を妨げている。そこで、これらの影響を最小限にとどめることができる応用に着目した。マイクロマシンの大きさは、ミリメートルからナノメートルレベルであり、イオン液体の使用量はごくわずかですむ。上記の 2 つの問題を解決することは根本的に難しく、目処はたっていないので非常に有効である。一方、マイクロマシンもクリアすべき問題を抱えている。例えば、通常では無視できる摩擦の問題や、装置内での発熱処理などである。イオン液体は不揮発性の液体で、400°C 程度の熱安定性を有することから、それらの問題を解決するポテンシャルも秘めている。このように、イオン液体とマイクロマシンのコラボレーションは極めて魅力的である。本研究は、上智大学研究機構学内共同研究として 2008 年度～2010 年度の期間、助成を受けたので研究結果について報告する。

## 2. 電気粘性流体としての評価

合成したイオン液体は室温で液体であり、400°C 程度まで熱分解することなく安定であった。イオン液体を図 1 に示す平板透明電極内にセットし、電場印加後の流動状態の変化を観察した。10 V 程度印加した後に黒く変色し、気泡が発生した。これは、イオン液体の分解に基づくと考えられる。イオン液体の導電率は比較的高いため、電流が流れやすいことが原因だと考えられる。

そこで、より電気化学的に安定である双性イオン液体の合成に着手した。得られた双性イオン (Z1) の融点は 170°C であった。図 1 に示すセルをホットスターラー上に組み立て、170°C 以上に

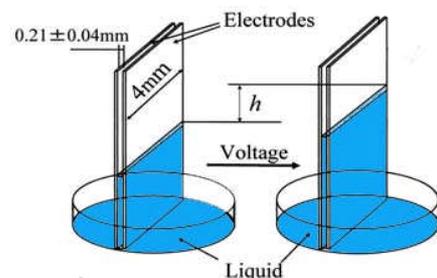


図 1 平板透明電極を用いたセルの模式図

加熱し融解させて実験を行った。しかし、サンプルの融点が高く、平板透明電極に吸い上げられたサンプルがすぐに固化してしまい、電場下での流動状態を調べることは出来なかった。双性イオンの対アニオンをスルホン酸基からアミド基に変えることで、融点が 70°C まで低下した。このサンプルを図 1 のセルにセットし、電場を印加した。ホットスターラーは 75°C に設定した。単純なイオン液体は、わずか 10 V 程度でも分解してしまったが、双性イオン液体は、200 V 程度まで安定であった。さらに、120 V 程度印加したとき、双性イオン液体の上昇を観察した。これは、誘電泳動現象を示していると考えられ、イオン液体に基づく電気粘性流体の合成に成功した。無電場と電場印加後の液面の高さの差は数 mm 程度であったが、同様の現象を示す液晶分子の場合、数百から数千 V 印加しなければならない。その点、双性イオン液体はかなり低電圧で誘電泳動現象を示すため、デバイス化には極めて大きなメリットである。ただし、今回用いた双性イオン液体は空気中で不安定であり、時間経過と共に分解してしまった。

そこで、室温で液体となり、且つ空気中で安定な双性イオンタイプのイオン液体の合成を行った。双性イオンの融点を下げするために、フレキシブルでアモルファス性の高いエチレンオキシド鎖をイミダゾリウムカチオンの側鎖に導入した。エチレンオキシドユニットが一つのを Z2、二つのを Z4 と表記する。各双性イオンの熱分析を行ったところ、Z2 の融点は 170°C であり室温で固体であった。ところが、Z4 は融点を示さず、-35°C にガラス転移温度のみを示した。エチレンオキシドユニットを二つに伸ばすことで、室温で無色透明の双性イオン液体を得ることに成功した。従来、室温で液体となる双性イオンは報告されておらず、学術的にも極めて意義深い結果を得ることができた。

空気中で安定な双性イオン液体の合成と平行して、電極形状の検討も行った。平板透明電極を平行に配置したセルでは、典型的なイオン液体はわずかな電圧印加でも分解してしまい、全く誘電泳動現象を示さなかった。そこで、図 2 に示すような針状電極と平板電極を組み合わせた新しいセルを作製した。まず、疎水性で熱的に安定なイオン液体である  $[C_2mim][N(Tf)_2]$  を用いて実験を行った。電圧印加前は、イオン液体が平板電極上で液滴であった。電圧を少しずつ印加していったところ、約 8V に達したときイオン液体が平板電極に沿って流れ出した。しかし、8V を印加し続けると徐々に針状電極の根本に気泡が発生し始めた。これはイオン液体の分解に基づくと思われる。

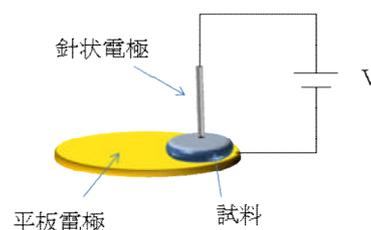


図 2 針状電極と平板電極を組み合わせたセルの模式図

### 3. まとめと今後の展望

イオン液体を用いたマイクロマシンの開発に向けた基礎知見の集積を行った。針状電極と平板電極を組み合わせることにより、イオン液体の誘電泳動現象を観測することができた。しかし、流速は  $1 \text{ mm min}^{-1}$  程度とかなり遅い。詳細なメカニズムの解明には至っていないが、印加電圧が低いことと関係していると考えている。典型的なイオン液体よりも電気化学的に安定な双性イオン液体の合成に成功した。今後は、双性イオン液体を用いて同様の実験を行う予定である。また、セル形状を工夫し、流動現象のバリエーションも増やしたい。