

# イオン液体が拓く革新的エネルギーデバイスの未来

## 1. はじめに

イオン液体は、室温で液体として存在することのできるカチオンとアニオンのみで構成される「塩」であり、常温溶融塩とも呼ばれている。イオン液体は比較的新規な機能性液体であり、1992年にWilkesらが初めて大気中で安定なイオン液体を開発したことに端を発する<sup>(1)</sup>。それ以後、さまざまなイオン液体が加速度的に開発されるとともに、応用研究が進んでいった。

イオン液体は、蒸気圧が極めて低く、高極性、高イオン伝導性、電気的安定性、難燃性、高温下での安定性、高溶解性、等の機能性を有する。この中でも液体でありながら揮発性がないという優れた機能性と酸化および還元に対して高い安定を示すこと（広電位窓）により、エネルギー分野においては、電気二重層キャパシタや二次電池、湿式太陽電池などの蓄電デバイスにおける電解質や電解液として応用されている<sup>(2)</sup>。また、静電噴霧現象を活用したコロイドスラスタに見られる宇宙推進機への応用が開拓されている<sup>(3)</sup>。

## 2. イオン液体を用いた電気二重層キャパシタ

イオン液体中に一对の分極性電極間に電圧を印加することにより、アニオンおよびカチオンがそれぞれ陽極、陰極側に移動し、電極表面上に電気二重層という表面電荷層を形成する。電気二重層キャパシタは、電気二重層に電荷を蓄える一種のコンデンサーである。イオン液体は、単位面積当たりの電気二重層容量が大きく、電位窓が広いことから、電解液として極めて有用である<sup>(1)</sup>。

図1に数値シミュレーションにより得られた、電解液としてイオン液体を用いた場合の電気二重層キャパシタ内の電位分布およびカチオンとアニオンの濃度差を示す。本シミュレーションにおいては、立体障害効果を考慮した修正Nernst-Planck方程式を基礎式として用いている<sup>(2)</sup>。陽極および陽極近傍において電位勾配が急峻な電気二重層が形成されている。また、電極近傍においては、カチオンとアニオンの濃度差が電気二重層域において、立体障害効果により上限値で一定となっており、最大静電容量が得られている。今後は、実用化のうへで重要となる、環境温度に対する充放電特性の解明を進めていく。

## 3. イオン液体を用いた宇宙推進機の開発

微小細管に液体を供給し、細管と対

向電極間に直流高電圧を印加することで、微小細管先端より高速の微細液滴が連続的に発生する「静電噴霧」という現象が知られている。静電噴霧における作動液体にイオン液体を用いることで、真空中においても単一イオンで構成された微小液滴を連続的かつ収束性よく高速で噴霧させることが可能であることから、宇宙推進機への革新的応用が期待されている<sup>(3)</sup>。比推力が高く、推力の制御性が高いことが本方式の大きな特徴である。

基礎研究として、イオン液体を作動液体として大気圧下で静電噴霧を行った際の高速カメラによる可視化結果を図2に示す<sup>(4)</sup>。図に示すように、5.2kVを印加すると、界面に作用する静電気が表面張力よりも大きいため、テイラーコーンと呼ばれる円錐状界面が形成され、その後、テイラーコーン先端から伸長する液柱が分裂することにより、微小液滴が150Hz程度で周期的に噴出する。また、6.5kV程度を印加すると、液柱に対して不均一に静電気が作用するため、テイラーコーン先端から急激に液柱が伸長した後、回転しながら分裂する、不安定な挙動を示すようになる。

図3に供給流量と印加電圧を変化させた際の液滴速度と生成液滴径の相関を示す。周期的な液滴噴出が得られる場合においても、印加電圧により2種類の噴霧形態が存在し、5.2kV以上の電圧を印加すると、200 $\mu$ m以下の微小液滴が連続的に生成される霧状噴霧に移行する。霧状噴霧においては、供給流量の減少に伴い、液滴径が減少し、液滴速度が増加する。これは、液滴径の減少により液滴の比表面積が増加し、静電気力による加速効果がより顕著に得られるためである。今後は、宇宙推進機応用を目指し、複数の微小細管を用いた相互干渉を伴うイオン液体静電噴霧特性を実験および数値シミュレーションにより明らかにしていく。

## 4. おわりに

イオン液体の機能性を用いたエネルギー分野への応用として、電気二重層キャパシタと静電噴霧を利用した宇宙推進機への応用展開について紹介した。イオン液体は比較的新規な機能性液体であり、用途に応じて開発が進められていることから、イオン液体の優れた機能性を従来技術に重畳することにより、従来のエネルギー技術にブレークをもたらす革新的技術として展開していくことが強く期待できる。

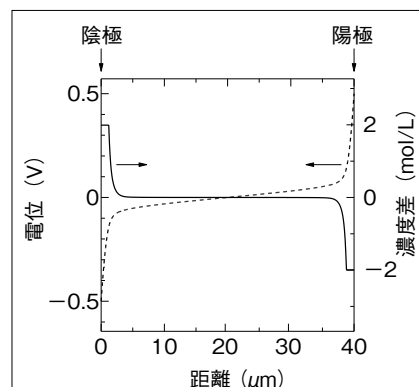


図1 イオン液体を電解液とした電気二重層キャパシタの数値シミュレーション

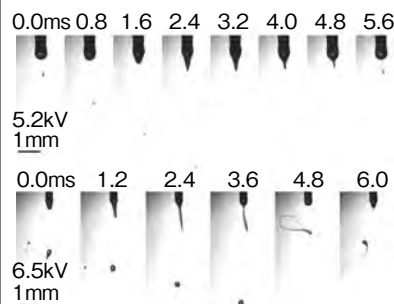


図2 イオン液体静電噴霧法による高速微小イオン液滴生成と不安定現象

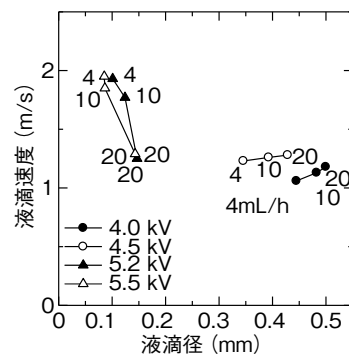


図3 供給流量及び印加電圧に対する液滴径と液滴速度の相関

(原稿受付 2015年8月3日)

[高奈秀匡 東北大学]

### ●文献

- (1) 大野弘幸 監修, イオン液体の開発と展望, (2003), シーエムシー出版.
- (2) Zhao, H., Diffuse-charge Dynamics of Ionic Liquids in Electrochemical Systems, *Physical Review E*, **84** (2011), 051504 (10 pp).
- (3) Lozano, P., Martínez-Sánchez, M. and Lopez-Urdiales, J.-M., Electrostatic Emission from Nonwetting Flat Dielectric Surfaces, *J. of Colloid and Interface Science*, **276** (2004), 392-399.
- (4) Saegusa, K., Shinoki, S. and Takana, H., Visualization and Analysis on Electrostatic Formation with Ionic Liquid, *Proc. of Int. Conf. on Advanced Technology in Experimental Mechanics (ATEM'15)*, (2015-10), 276.