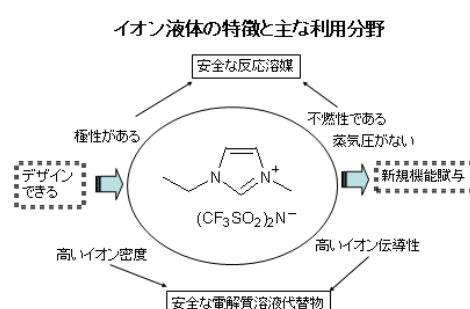


ディビジョン番号	11
ディビジョン名	電気化学

大項目	4. 電気化学計測／電気化学反応
中項目	4-2. 電気化学反応
小項目	4-2-4. イオン液体

概要（200字以内）

100°C以下で熔融する塩のことをイオン液体と呼ぶ。有機イオンからなる場合が多く様々なイオン種によって作成でき、機能の導入も可能である。分子性の溶媒を全く含まないにも関わらず、幅広い温度域で液状である。蒸気圧がほとんどないため、環境に優しい反応溶媒や、不揮発性・不燃性電解質溶液として利用する研究が盛んになってきた。高いイオン伝導度が魅力で、各種エネルギー変換デバイスへの応用展開が広がってきている。



現状と最前線

塩を構成するカチオンとアニオンの間の静電的な相互作用を弱め、結晶化を抑制する構造を導入することにより、塩の融点を下げることができる。空気中でも安定な有機塩からなるイオン液体は 1990 年以降に報告された。イオン構造の多様性など、多くの可能性を有しているため、21 世紀になって急激に研究例が増大してきた。上述の図に示すような、カチオンとアニオンの電荷が共に非局在化した構造をデザインすることにより、塩の融点は氷点下まで達する。このイオン液体は室温での粘度も 30cP 以下と低く、イオン伝導度も $1 \times 10^{-2} \text{ S} \cdot \text{cm}^{-1}$ を越える。300°C以上に加熱しても安定に液状を保つものも多く、密度も $1.6 \text{ g} \cdot \text{cm}^{-3}$ を越えるものもある。

イオン液体の作成に用いられるカチオンの多くは 4 級オニウムカチオンである。これらのカチオンは、電荷の非局在化や大きなイオンサイズを特徴とし、アニオンとの相互作用を弱めることができる。また、カチオンに結合しているアルキル鎖長を変えて非対称にしたり、立体障害を加えたりすることで、イオン液体の特性を微調整できる。一方、アニオン構造はフッ素などのハロゲン元素を構造中に含んだものが多く用いられている。これはハロゲン元素の持つ電子吸引力によって負電荷を非局在化させ、静電相互作用を弱くさせるためである。

通常のイオン液体作成手順はオニウムカチオンの作成と対アニオンの交換反応の 2 段階からなる。無機塩が生成してくるので、それらを分離する必要があるが、塩の混合物から高純度で特定の塩を単離することは容易ではない。そこで、アミンに酸エステルを反応させ、アルキル

基を導入しつつ、有機酸残基が対アニオンになる方法が使われる。イオン液体の研究において、純度は極めて重要である。イオン液体に不純物が混入すると粘度低下や融点低下などが起こるため、優れたイオン液体が得られたものと誤解しやすいので、注意が必要である。試料の物性測定として、元素分析、イオンクロマトグラフィー、質量分析、NMRなどの測定は必須である。

揮発性が無く高いイオン伝導度を有するイオン液体を電気化学分野で用いる検討が我が国を中心として盛んに行われている。特に電解質溶液の代替物としての展開は大いに進展している。リチウムイオン電池のみならず、燃料電池、太陽電池、人工筋肉、キャパシターなどのデバイスへの導入も試みられている。実際に用いるには、各種イオニクスデバイスで利用する特定のイオン (Li^+ や H^+ など) を伝導させる能力がイオン液体に求められる。従って、イオン液体を構成するイオン(電極反応に関与しない)の移動を抑止する必要があり、イオン液体の物性改善が望まれる。電位勾配下で泳動しないイオンは無いが、泳動しないようにすることはできる。カチオンとアニオンを共有結合でつなぐと、それぞれの電荷の反対方向への運動力が相殺されて、泳動しなくなる。このような考えの元で考案された低融点の zwitterion は新規イオン液体として期待される。この zwitterion に他のイオン液体を混合して特定イオンの移動を高める試みもある。また、カーボンナノチューブや種々の高分子と複合化させることや、イオン液体自体を高分子化してイオン伝導性フィルムとすれば、特定イオンの移動を補助するほか、各種イオニクスデバイスの軽量、薄膜化にも寄与する。

電気化学分野では、不揮発性と安全性が重視されるが、特定イオンの伝導など機能の開発と併せて、今後の大きな成長が期待される。

将来予測と方向性

- ・ 5年後までに解決・実現が望まれる課題

基礎物性の整理、データベースの作成、諸現象の物理化学的な解釈、工業的なレベルでの大量使用のための安価なイオン液体の製造、など。

- ・ 10年後までに解決・実現が望まれる課題

機能を自由に設計するためのプロトコル、繰り返し使用、あるいは廃棄するためのプロトコル、実験室レベルから工場レベルに至るまでの使用指針などの確立、など。

キーワード

不揮発性液体・不燃性・イオン・常温溶融塩

(執筆者： 大野弘幸)