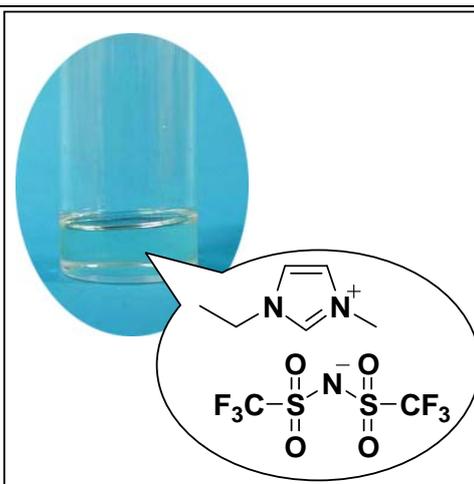


ディビジョン番号	1
ディビジョン名	物理化学

大項目	3. 凝縮系の物性と機能
中項目	3-5. イオン液体
小項目	3-5-0. イオン液体とは？

概要（200字以内）

100°C以下で溶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圧倒的に多く、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。溶媒を全く含んでいないにも関わらず、幅広い温度域で液体である。蒸気圧がほとんどないため、従来の分子性液体と大きく異なる特徴を持つ。不揮発性溶媒や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が、応用展開は潤滑油からバイオ分野までさらに広がる勢いがある。



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。イオン液体は、反応溶媒として多く研究されている。一般的な有機化学反応のみならず、分離や抽出、酵素反応に至るまで、一般の分子性液体中で行われている反応のほとんどはイオン液体中でも行える。イオンの構造がデザインブルであることを利用し、用途に適した機能性溶媒としてのイオン液体の設計も報告され始めている。触媒能を有する反応溶媒、水中からの重金属の回収、CO₂分離、など様々な展開がなされてきている。極性が高いイオン液体を設計して、難溶性の化合物を溶解させる試みも盛んになってきた。セルロースや絹などの天然高分子を溶解するイオン液体の開発も増えてきており、新規溶媒としての可能性も大きい。

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も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。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、各種イオニクスデバイスの軽量、薄膜化に寄与する。

また、新規分野の開拓も進んでいる。潤滑剤としての応用、燃料としての展開、耐熱性ゲル、塗料、等々多くの例を挙げることができる。これらとは別に大きな期待がよせられている分野がバイオ分野である。イオン液体中でのバイオ反応は今後重要になる。イオン液体中では(化学修飾された)タンパク質の熱安定性が驚異的に向上し、100°Cを越えても活性を維持するような例が報告されている。薬剤をイオン液体にする試みもある。

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)