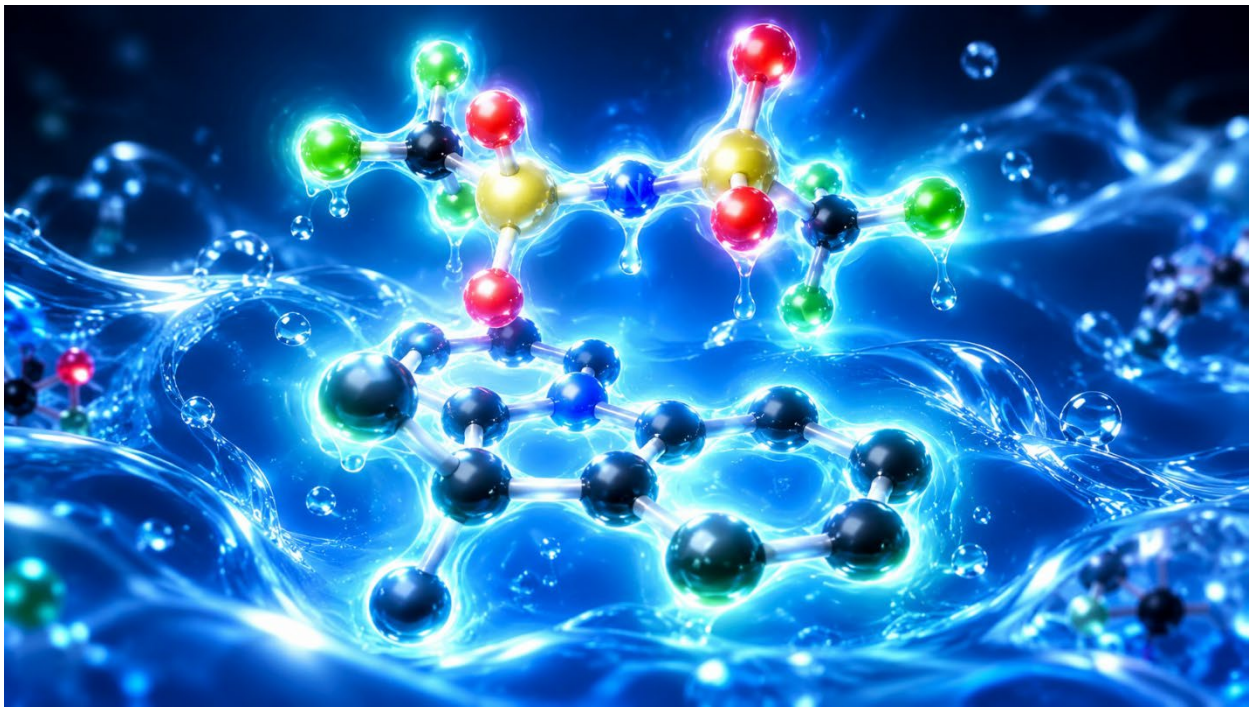
岐阜大学 GIFU UNIVERSITY
京都大学 KYOTO UNIVERSITY
京都工芸繊維大学 KYOTO INSTITUTE OF TECHNOLOGY
北里大学

2026 年 11 月 20 日

液体のまま明るく光る、過酷環境に耐える蛍光液体を開発
～フレキシブル光デバイスへの応用に期待～

【本研究のポイント】

- 溶媒を含まない液体状態のままで、蛍光量子収率[注1)]80%という極めて高い効率で発光する蛍光性イオン液体[注 2)]を開発しました。金属を含まない室温の蛍光性イオン液体として、これまでの最高値（64%）を上回る値です。
- 陰イオンが陽イオンの発光部分に特定の場所で寄り添い、分子の動きに“鍵”をかける『アニオン−π⁺相互作用[注 3)]』を利用するという、新しい分子設計の考え方を示しました。
- 開発した液体は、400℃を超えても分解せず、250℃・減圧下でも蒸発しないほか、300℃でも発光を維持し、15 日間の強い紫外線照射や強酸・強塩基性条件にも耐えるなど、きわめて高い耐久性を示しました。
- 市販の原料からわずか 2 段階で合成でき、水で洗浄するだけで高純度に精製できるため、機能材料への展開も容易です。
- フレキシブル光デバイスやソフトロボット、宇宙機器など、過酷な環境で働く“やわらかい”光材料への応用が期待されます。



【研究概要】

近年、曲げたり伸ばしたりできるフレキシブルな光デバイスやソフトロボット、さらには宇宙機器など、過酷な環境でも働く「やわらかい」発光材料が求められています。しかし、溶媒を含まない液体状態の有機材料は、分子同士の接触や活発な分子運動によって光が弱まりやすく、熱や紫外線、薬品などによって分解しやすいという課題がありました。

岐阜大学工学部の水野 翔太 助教、船曳 一正 教授、自然科学技術研究科修士課程1年の巽 光瑠さんらの研究グループは、京都大学大学院エネルギー科学研究科の松本 一彦 教授、京都工芸繊維大学分子化学系の山田 重之 教授、北里大学未来工学部の石井 良樹 講師との共同研究で、窒素を組み込んだフルオレン[注 4)]骨格を持つ陽イオンと、フッ素を含むかさ高い陰イオンを組み合わせることで、室温で液体でありながら蛍光量子収率 80%という極めて高い効率で発光する『蛍光性イオン液体』の開発に成功しました。この液体は 400℃を超えても分解せず、300℃の高温条件でも光り続けるほか、強い紫外線や酸・塩基に対しても高い耐久性を示しました。

本研究成果は、日本時間 2026 年 11 月 10 日に Advanced Materials 誌オンライン版で発表されました。

【研究背景】

液体は、固体の結晶とは異なり、自由に形を変え、複雑な形状にもなじみ、傷ついても自然に元に戻るといった特長を持っています。そのため、曲げたり伸ばしたりできるフレキシブルな光デバイスやソフトロボット、さらには人工衛星の部品など、次世代の技術を支える材料として注目されています。しかし、一般的な有機液体は揮発しやすく、熱や薬品に弱いため、高温・真空・腐食性といった過酷な環境では使うことができませんでした。

そこで注目されているのが、陽イオンと陰イオンのみで構成され、室温でも液体の状態を保つ「イオン液体」です。イオン液体は蒸発しにくく、熱にも強いうえ、イオンの組み合わせによって性質を自在に設計できます。これまでに、光るイオン液体（蛍光性イオン液体）がいくつか報告されてきましたが、その多くは希少な金属を含んでおり、合成や精製に手間がかかるという問題がありました。

さらに根本的な問題として、「液体であること」と「強く発光すること」の両立が難しいという課題がありました。液体であるためには分子が動き回れる必要がありますが、分子が動くと光のエネルギーが熱として失われてしまいます。また、溶媒で薄められていない状態では、発光する分子同士が接近し、光が弱まる「凝集起因消光[注 5)]」が起こります。そのため、溶液中では明るく光っても、溶媒を含まない液体そのものの状態では光が弱くなってしまうことがほとんどでした。金属を含まない室温の蛍光性イオン液体では、これまでの最高値でも蛍光量子収率は 64%にとどまっていました。

【研究成果】

本研究では、フルオレンの骨格に窒素原子を組み込んだ独自開発の陽イオン(*N*-ドープフルオレン、PIn^+)に着目しました(図 1)。窒素を組み込むことで分子の一部(ピリジニウム環)がプラスの電荷を帯びるため、陰イオンの種類を変えるだけで、融点や発光特性などの性質を調整できます。この陽イオンに、フッ素を多く含むかさ高い陰イオン(TFSI、NFSI)を組み合わせたところ、室温で液体となる塩が得られました。これらは市販の原料からわずか 2 段階で合成でき、水で洗浄するだけで純度 99%以上に精製できます。

得られた液体に紫外線を当てると、溶媒で薄めていないにもかかわらず強い青色蛍光を示しました。特に NFSI を組み合わせた液体では、蛍光量子収率 80%を達成しました。これは、蛍光性イオン液体として、これまでの最高値を大きく上回るものです。

さらに、開発した液体は以下のように極めて高い耐久性を示しました。

耐熱性:5%重量が減少する温度は最大 432℃で、400℃でも分解しません。300℃まで蛍光を保ち、200℃に加熱したホットプレート上でも明るい青色に光り続けました。

難揮発性:250℃・減圧下(約 0.4 hPa)で 15 分間加熱しても蒸発や泡立ちは見られず、加熱前後で吸収スペクトルにも変化はありませんでした。

耐光性:強い紫外線(254 nm)を 15 日間当て続けても、まったく劣化しませんでした。

耐薬品性:強酸性の条件でも変化せず、塩基性条件でも高い安定性を示しました。

また、約 4 V という広い電気化学的な安定領域とイオン伝導性も持つことから、光と電気の両方の機能を持つ『やわらかい材料』としての利用も期待されます。

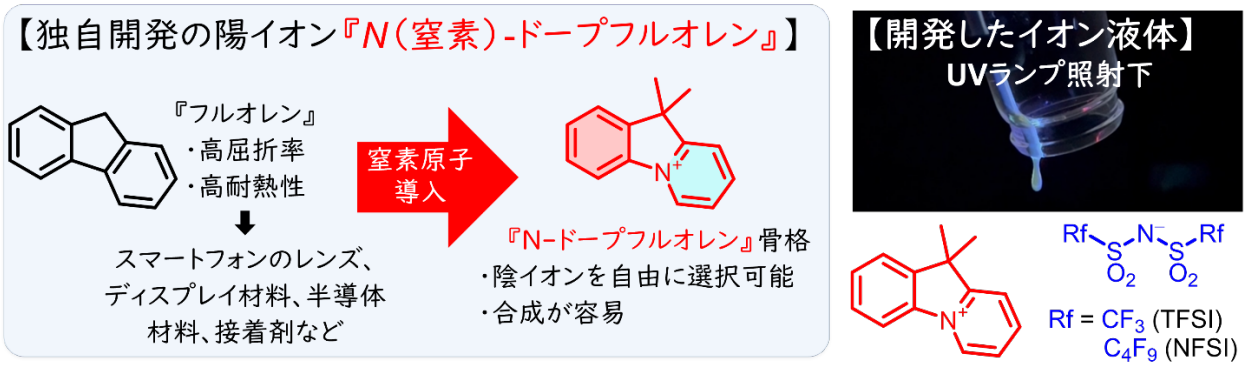


図1. 本研究で開発した蛍光性イオン液体

【今後の展開】

本研究で用いた窒素を組み込んだフルオレン骨格は、2 段階で簡単に合成できるうえ、フルオレン類の化学に基づいた自由な設計を活かして、発光色や電気化学的な性質、流動性を自在に調整できます。今後は、発光色の異なる材料の開発を進めるとともに、高温で使用される強誘電ネマティック液晶[注 6)]への発光機能の付与、流体型センサー、宇宙機器や

過酷な工業環境で使える高耐久な光学材料など、従来の材料では対応できなかった分野への応用をめざします。

【研究者コメント】

「液体は分子が動き回るから光りにくい」というのが、これまでの常識でした。今回、陰イオンを“鍵”として使うという発想で、その常識を覆す、明るく丈夫な“光る液体”をつくることができました。共同研究者の皆さま、そして一緒に実験に取り組んでくれた学生の皆さんに心から感謝しています。

【研究支援】

本研究は、日本学術振興会 科学研究費助成事業（26K17918、23K26696、24K17576）、天野工業技術研究所、日揮・実吉奨学会、中部電気利用基礎研究振興財団の支援を受けて実施されました。計算の一部は、自然科学研究機構 分子科学研究所 計算科学研究センター、および北海道大学のスーパーコンピューター「Grand Chariot II」（HPCI システム利用研究・課題番号: hp250108）を利用して行いました。また、三菱マテリアル電子化成株式会社よりペルフルオロアルキルスルホニルイミド塩の提供を受けました。

【用語解説】

注 1）蛍光量子収率:
物質が吸収した光のうち、どれだけの割合を蛍光として放出できるかを表す値。100%に近いほど、効率よく光る材料であることを意味します。

注 2）イオン液体・蛍光性イオン液体:
陽イオンと陰イオンだけからなり、水などの溶媒を含まずに室温付近で液体となる塩のこと。蒸発しにくく、燃えにくいことから、電池の電解液などにも使われています。このうち、それ自身が蛍光を発するものを蛍光性イオン液体と呼びます。

注 3）アニオン–π^+相互作用:
マイナスの電荷を持つ陰イオン（アニオン）と、プラスの電荷を帯びた平らな環状の分子構造（π^+）との間にはたらく引き合う力。本研究では、この力を利用して液体中での陽イオンの動きを抑えました。

注 4）フルオレン:
3 つの環がつながった平らな構造を持つ有機分子で、有機 EL などの発光材料の骨格として広く使われています。本研究では、その骨格の一部に窒素原子を組み込んだ分子を用いました。

注 5）凝集起因消光:
発光する分子どうしが近づいたり重なり合ったりすることで、光のエネルギーが失われ、発光が弱まってしまう現象。溶媒を含まない液体や固体の状態で起こりやすい問題です。

注 6）強誘電ネマティック液晶：
液体のような流動性と結晶のような規則性をあわせ持つ「液晶」の一種で、電場に対して非常に大きく応答する性質を持ちます。次世代の光学材料として注目されています。

【論文情報】

雑誌名：Advanced Materials
論文タイトル：Liquid Luminescent Materials Based on 10*H*-Pyrido[1,2-a]-5-indolium Salts
著者：Shota Mizuno*, Hikaru Tatsumi, Kentaro Kamada, Yuto Eguchi, Yasuhiro Kubota, Toshiyasu Inuzuka, Shigeyuki Yamada, Yoshiki Ishii, Kazuhiko Matsumoto*, Kazumasa Funabiki*（*責任著者）
DOI: 10.1002/adma.75683