

課題名: エネルギー変換場としての界面電気二重層の分子論的描像の解明とその応用展開

氏名: 福井賢一

機関名: 大阪大学

### 1. 研究の背景

エネルギー問題を解決して持続可能な社会を構築するグリーン・イノベーションの推進のために、**電気エネルギーを可能な限り損失なく蓄積する技術**の重要性が高まっています。電極反応の効率を高めるには、電極と溶液の界面にできる電気二重層について従来の平均化した描像では不十分で、その**起源であるイオンの局所的な分布を知る必要**がありますが、有効な方法がありませんでした。

### 2. 研究の目標

本研究は、界面の電気二重層を**電子授受(電気エネルギー)**や**物質変換(化学エネルギー)**が起こる**エネルギー変換場**として捉え、その局所的な構造や電子状態を観測する手法の開発と解析によって分子論的な描像を得て応用へと展開することを目的としています。特に、応用が期待される**イオン液体の電気二重層の解明**に取り組みます。

### 3. 研究の特色

微弱な力を利用して**界面の電気二重層の局所構造を観測できる世界初の顕微鏡**と、**電子の授受に関わる電子状態を動画像として可視化できる顕微鏡**を武器に、新世代の電極界面化学を切り拓いて行きます。

### 4. 将来的に期待される効果や応用分野

**リチウムイオン電池の安全な溶液として期待されるイオン液体の電子授受**の障害の本質を明らかにし、開発を加速させます。また、太陽光のエネルギー変換として開発が進む**色素増感太陽電池、光触媒など**、**界面での電子授受を伴うあらゆる応用の基盤となる情報**を発信して行きます。

## 研究概要

液中での分子間の電子移動反応の速度は、1992年にノーベル化学賞を受賞したMarcusの理論で良く説明され、植物の光合成における電子移動反応などの理解に役立てられてきました。溶液中で特徴的なのは、反応する分子のエネルギーが近接する他の分子によって大きく変化すること、先に電子だけが移動してしまうとエネルギーが高くなってしまい、周りの分子が電子移動に気がついて居心地の良い配置になる時間が必要なことです(図1)。つまり、反応を理解するには近接する分子まで含めた局所情報が必要となります。

本研究では、これまで不十分だった局所情報の解析手法を開拓し、分子の集団的な振る舞いを解明して行こうとしています。これまでに、微弱な力を利用して界面の分子の電荷状態を観測可能な顕微鏡を世界に先駆けて開発して来ました。

中でも応用上も重要なイオン液体を使った界面の研究に最も力を入れて取り組んでいます。イオン液体は正電荷と負電荷をもつ分子性イオンのみからなる液体で、化学的に安定で難燃性であるために、発火の危険のない安全なリチウムイオン電池への応用が期待されています。ところが、我々が開発した顕微鏡で解析したところ、流動的なイオン液体中でありながら電極上には固体的なイオン液体の構造体ができることが明らかになり、電極でのスムーズな電子移動を阻害しているかもしれません(図2)。つまりこれまで常識と思われていたことも疑わしいことがわかってきました。

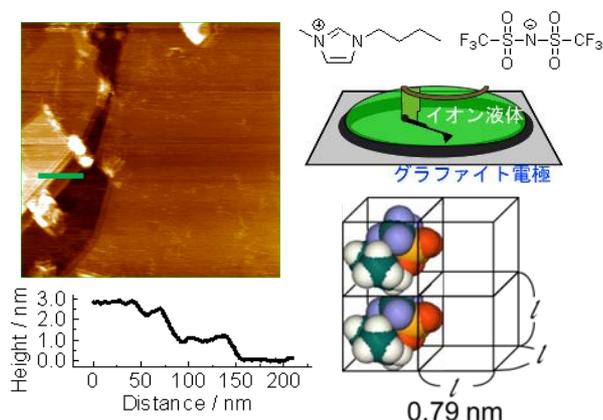


図2. イオン液体／グラファイト電極界面に生じる予想外の構造

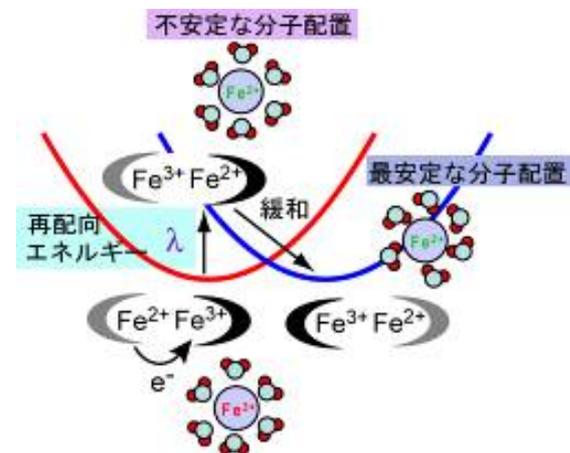


図1. 溶液中で分子が電子移動反応を起こすときのエネルギー変化の概念図

イオン液体は蒸気圧が非常に低いので、表面分析が得意とする真空という土俵に持ち込むことができます(図3)。溶液の電気化学反応を真空中で行い、同時にその分析も可能となるので、これまでは得ることが不可能だった電極界面の描像を明らかにして行けると考えています。

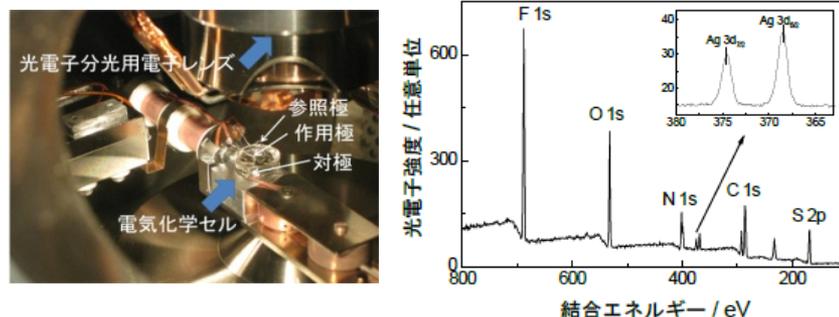


図3. 真空中でのイオン液体／電極界面の化学組成解析