

イオンで電子を制御して金属性プラスチックを実現

東京大学が世界で初めてイオン交換が半導体プラスチック（高分子半導体）でも可能であることを明らかにしました。

イオン交換は、古くから水の精製、たんぱく質の分離精製、工業用排水処理などに広く応用されており、我々の生活に欠かすことのできない化学現象です（図1 a）。本研究では、この極めて普遍的かつ化学工学の単位操作であるイオン交換を用いて、半導体プラスチックの電子状態を制御する革新的な原理を明らかにしました（図1 b）。また、本指導原理を利用して、半導体プラスチックの電子状態を精密に制御し、金属的な性質を示すプラスチックの実現に成功しました。

今回、発見した手法は大面積化が容易な室温付近の溶液プロセスであり、半導体プラスチックのドーピング量・結晶性・熱耐久性・伝導特性を著しく向上させるものです。多彩なイオン性化合物の選択により、今後さらに伝導特性や物理化学的特性の制御が可能となります。本研究で実現した金属性プラスチック内のイオン交換反応は、このようなイオントロンクスデバイスの実現を大きく前進させると期待されます。

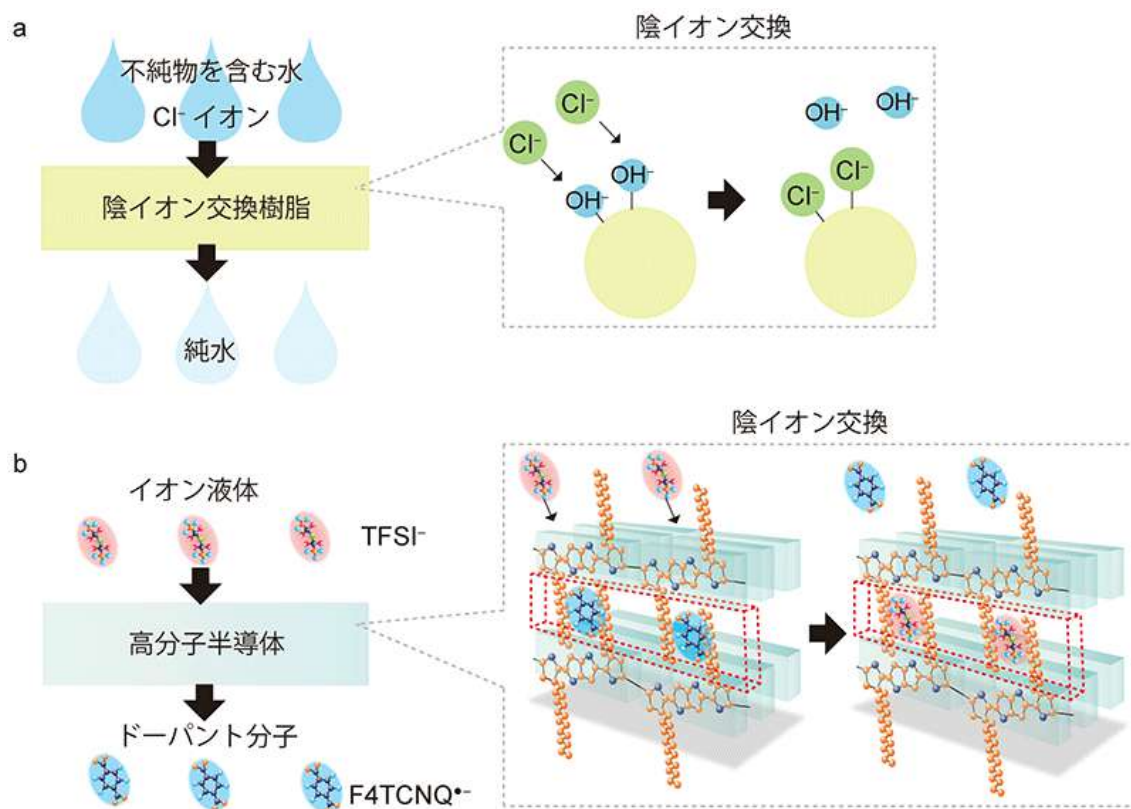


図1 (a) 一般的なイオン交換の原理。ここでは不純物陰イオン（塩化物イオン： Cl^-

一) を含む水から純水を精製する例を示した。塩化物イオンを含む水を陰イオン交換樹脂に浸透させることで、塩化物イオンは陰イオン交換樹脂自身に含まれる水酸化物イオン(OH⁻)に陰イオン交換される。

(b) 本研究で発見された高分子半導体におけるイオン交換ドーピングの原理。高分子半導体中にあらかじめ導入されたドーパント陰イオン(図中では青のF4TCNQ⁻を例として示した)は、イオン液体などから別の陰イオン(図中では赤のTFSI⁻を例として示した)が供給されると瞬時に陰イオン交換が生じる。実際には高分子半導体のナノメートルサイズのわずかな隙間で陰イオン交換が生じる。適切な陰イオンを選定することで、陰イオン変換効率はほぼ100%に到達することが分かった。

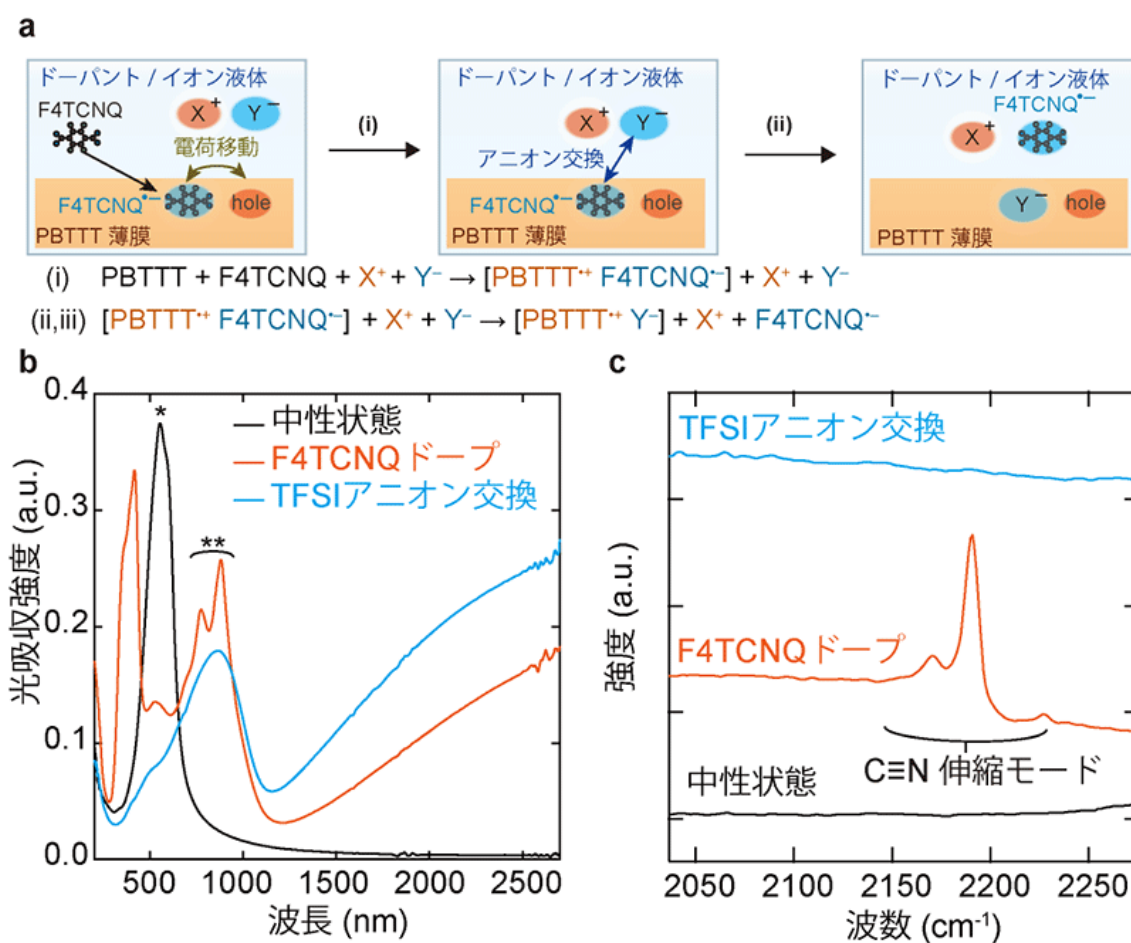


図 2

(a) 陰イオン交換ドーピングのモデル。ドーパント溶液として、F4TCNQとイオン液体の混合溶液を使用することで、PBTtT中に取り込まれたF4TCNQ陰イオンをその場でイオン液体の陰イオンY⁻と交換できる。PBTtT薄膜の (b) 光吸収測定や (c) フーリエ変換赤外分光測定の結果から、イオン交換ドーピング後のPBTtT薄膜にはF4TCNQ陰イオンが存在せず、ほぼ100%の変換効率で陰イオンY⁻に変換さ

れることが分かった。

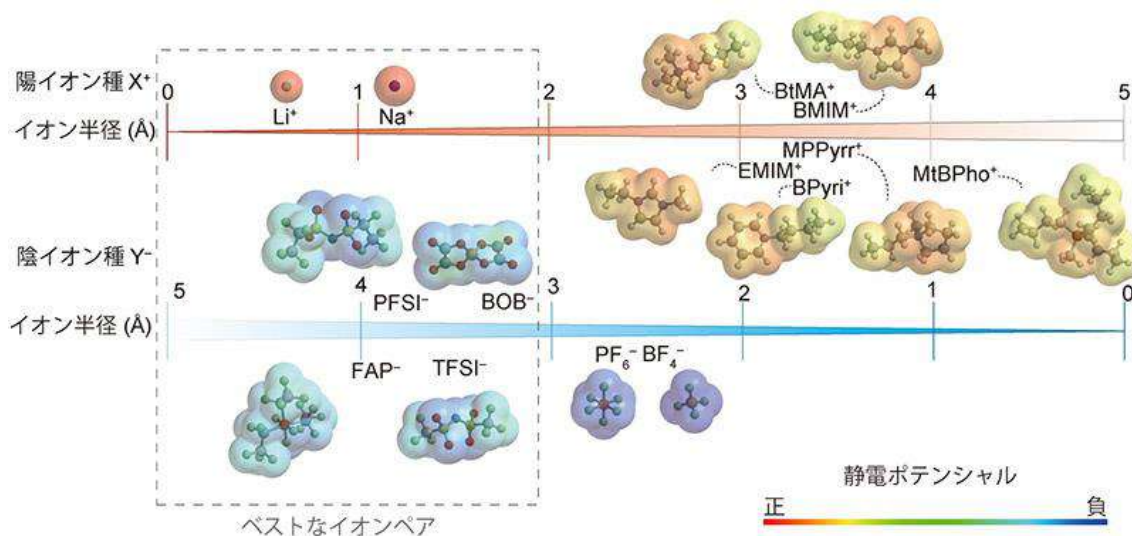


図3 適切なイオン種を選択の概要

密度汎関数計算から、イオン交換効率が高いベストなイオンペアを選定できた。高い変換効率を得るためには、供給するイオン種として、正電荷が局在化しやすいイオン半径の小さな陽イオンと、負電荷が非局在化しやすいイオン半径の大きな陰イオンのペアが好ましいことが分かった。

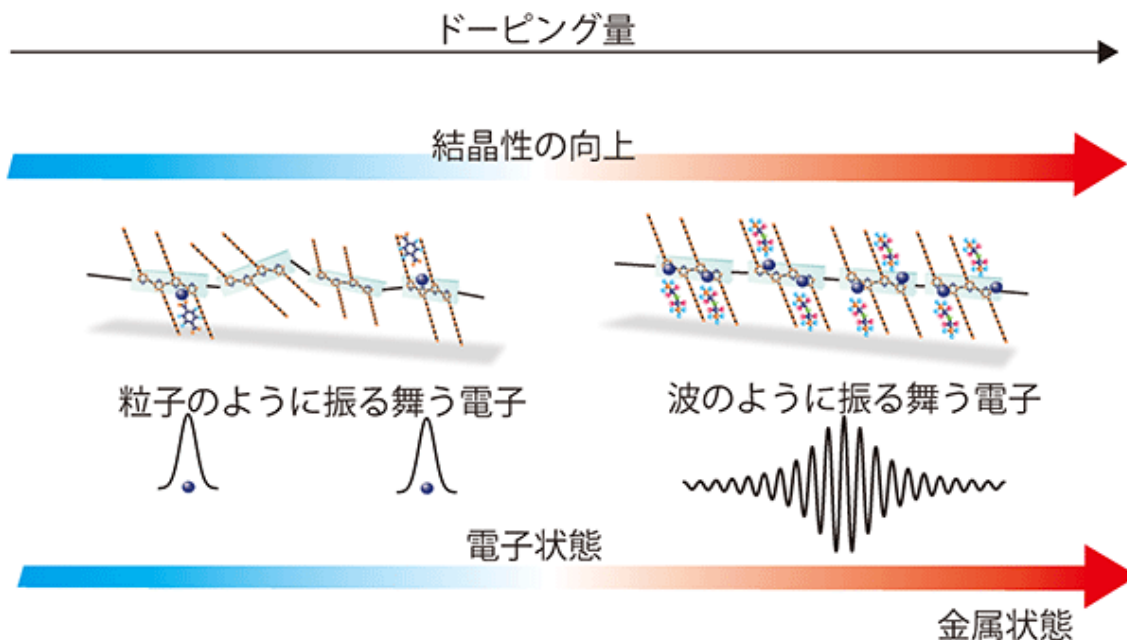


図4 金属性を示すプラスチックの概要

従来の導電性高分子は非結晶性構造を有するため、電子は局在化した準位に孤立した状態にあり、熱エネルギーを借りてホッピング伝導をする。一方で、本研究では高分子半導体の隙間にイオンを配列することで、電子は周期的な結晶ポテンシャル下で波のように振る

舞う。これは一般的な金属で見られる電子状態である。

本研究成果は 2019 年 8 月 28 日付けで、英国科学雑誌「Nature」にオンライン掲載されます。

日文新聞发布全文 <https://www.jst.go.jp/pr/announce/20190829-2/index.html>

文：JST 客观日本编辑部翻译整理