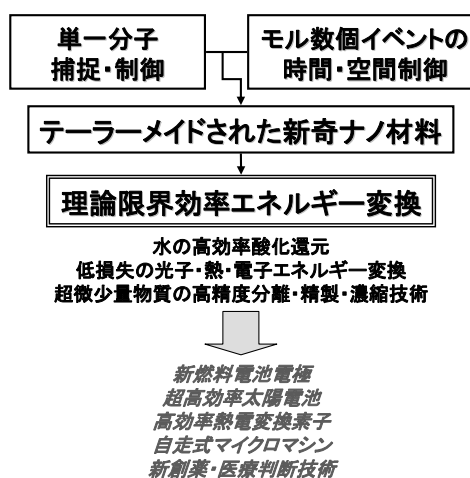


ディビジョン番号	14
ディビジョン名	ナノテク・材料化学

大項目	3. ナノ計測・分析
中項目	3-1. 計測
小項目	3-1-3. 単分子計測

概要（200字以内）

室温・溶液内のような大きな揺らぎのある系内において単一分子を自在に分別捕捉し、制御された外部摂動を与える技術を確認する必要がある。さらにその技術を分子集合体へ拡張することを物質化学的見地に立って自己組織化手法などを用いて行う必要がある。現状では、これらは殆ど実験的には示されていないが、可能となれば燃料電池電極における酸素還元・酸化反応の高効率化、超高効率太陽電池構築、高効率熱電変換素子形成、自走式マイクロマシン、新創薬・医療判断技術構築などが実現される。



現状と最前線

材料化学的、分光的技術の飛躍的進展により単一分子分光が可能となってきた。しかし、依然として単一分子に固有の特徴的な振動構造、電子構造、それらの静的・動的挙動の詳細は明らかとされていない。また、さらに一歩踏み込んだ単一分子の積極的な制御も一部の巨大分子を除いては達成されていない。これらの問題解決には、積極的に単一分子を時間・空間的に捕捉し、制御された摂動印加環境にて、十分な時間・空間・分光測定精度をもって評価する必要がある。現在までのところ、単一分子分光は、蛍光・増強ラマン散乱分光や単一分子伝導度測定を応用した伝導（トンネル）電子散乱分光 (Fig. 1) などによって可能となっているが、制御された捕獲状態下では行われておらず、「都合の良い」局所場に「偶然（あるいはたまたま）」存在した状態を待って行われている。極低温超高真空下における単一原子・分子操作は走査型トンネル顕微鏡技術を応用した手法などにより原理的には可能となっているが、生体分子がその機能を発揮する室温の電解質溶液内などでの操作は未だ困難である。一つの解決法として、局所プラズモンを単一分子の捕捉摂動として用いる提案などが有力視されているが、まだ理論検討段階にある。光を局所的に閉じ込めた場合は、単一分子を捕捉するだけではなく

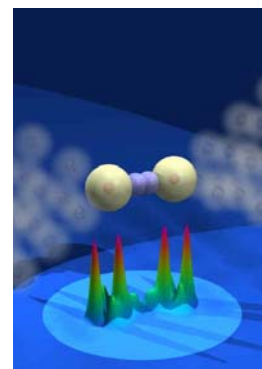


Fig. 1. 金属接合に挟まれた単一水素分子の伝導度測定; J. M. van Ruitenbeek *et al.*, *Phys. Rep.* **377**, 81 (2003).

分子の振動構造を制御する外部摂動として利用可能であり、積極的な化学反応を選択的に誘起させることもできるためその発展が期待されている (Fig. 2)。

単一分子の分光・制御・機能発現は、それぞれのが基礎科学の発展において必要不可欠かつ重要、また興味深いものであるが、それだけは十分ではない。即ち、先の単一分子制御について、さらにそれをモル数個の分子を対象に個別かつ空間・時間的に同時に行うことが重要となってくる。こちら

についても現在、自己組織化現象の検討を主とした精力的な研究が行われているが、残念ながらその端緒も拓けていないというのが実状である。しかし、単一分子レベルの機能単位を高次組織化する技術が発見されれば、これまでになく新しい機能を有する材料が創成されることが期待される。

ターゲット技術の最重要課題は、広義のエネルギー変換であると考えられる。最少の入力エネルギーをもって系の自由エネルギーを熱力学のカルノー限界の効率にて高めることは、次世代の技術ターゲットの中心にあると考えられる。室温のような大きな熱揺動のある環境下にて電子、光子、熱、機械エネルギーの流れを任意に導き、整流することにより、例えば、燃料電池電極における酸素還元・酸化反応の高効率化（多電子移動反応の効率化）、超高効率太陽電池構築（無損失の光子・電子エネルギー変換）、高効率熱電変換素子形成（廃熱のエネルギー源化）、自走式マイクロマシン（周囲の環境からのエネルギーを機械エネルギーに変換）、創薬・医療判断新技術構築（超微量試料中の極微量原子・分子の分離・精製・濃縮技術の確立 (Fig. 3)）などが実現される。これらの技術は、トップダウン技術の単純延長上にあってエネルギーを大量消費している現在の実用的技術にパラダイムシフトをもたらすことが期待される。

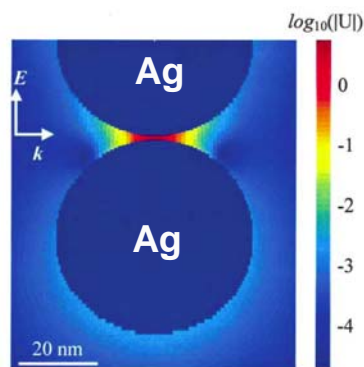


Fig. 2. 室温単一分子捕捉を可能とする局所電場; H. Xu, *et al.* *Phys. Rev. Lett.* 89, 246802 (2002).

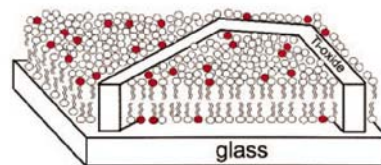


Fig. 3. 室温溶液内において分子分別を実現する微小構造体; G. Boxer, *et al.*, *Science*, 285, 1046 (1999).

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
 - (1) 生体関連物質の機能発現状態（室温・溶液内下）における単一分子捕捉技術確立
 - (2) 捕捉した単一分子の電子・振動励起状態の自在任意制御技術の確立
- ・ 10年後までに解決・実現が望まれる課題
 - (1) 自己組織化法によるモル数個分子の同時個別制御技術手法の確立
 - (2) 複合化した傾斜型人工ナノ材料によるエネルギー量子の導流・整流

キーワード

単一分子分光、局所光電場、ラチェット、ゆらぎ、エネルギー変換

(執筆: 村越敬)