

カーボンニュートラル・循環型社会を目指す研究開発

国立研究開発法人量子科学技術研究開発機構

量子技術基盤研究部門研究企画部 農学博士 松橋信平

(高崎量子応用研究所勤務)

記録的な猛暑やこれまでに経験したことがない大雨。地球温暖化による気候への影響が深刻化しています。

その原因物質はCO₂(二酸化炭素)などの温室効果ガスで、18世紀後半の産業革命以降に排出量が急激に増加し、大気中のCO₂は現在も増加し続けています。

CO₂の排出量を減らすためには、環境、資源、エネルギーなどの分野を相互に関連付けた多面的な取り組みが必要です。

たかさき研では、このための省エネルギーや再生可能エネルギーの普及拡大に貢献する研究を、量子科学技術の研究と並行して進めています。

高導電性・高耐久性電解質膜

蓄電・水素製造の必須アイテム

石炭や石油といった化石燃料に比べ、CO₂の排出を低減できる燃料電池や金属空気電池^(注)、水素製造。電解質膜はこれらに共通して必要な材料です。電解質膜は、電子は通さずにイオンだけを通す分離膜の役割(導電性)と、負極(-)と正極(+)の電気的なショートを防ぐ絶縁体としての役割を併せ持っています。

(注)金属空気電池：正極に酸素、負極に金属を使用した電池で、空気を取り込んで電気を作る。これまでの電池よりコンパクトで大容量の電池を製造できる可能性がある。充電できない使い切りのものは商用化

されているが、蓄電池として繰り返し使えるものは実用化されていない。

たかさき研が進めている電解質膜の開発は、ボタン電池の負極と正極を隔てる分離膜(セパレータ)を、放射線を使って作る研究開発から始まっています。

性能が良い膜を「創り」、その機能や性能が生まれる仕組みを最先端の分析技術で「観る(調べる)」。その結果を、さらに性能が良い膜の「創る」に活かします。

これまでに開発した、高性能の電解質膜の超微細構造を調べてみると、図1に示すような階層構造があることが分かってきました。

たかさき研では、ハイブリッド自動車などに搭載されているリチウムイオン電池の次の世代の電池と言われる、金属空気電池に搭載できる電解質膜の開発を進めています。ポイントは、発電性能を左右する導電性と実用耐久性を左右する機械強度の両立です。大雑把に言えば、導電性を高めようとするれば「軟らかく」なり、構造を維持するためには「硬さ」が必要です。この相反するものをどう両立させ、さらにそれぞれの性能を高めるか?研究者の腕の見せ所です。

たかさき研の研究者は、電解質膜の機能性に結びつく階層構造を解明し、高導電性と実用耐久性が両立する高性能の電解質膜の開発にチャレンジしています。

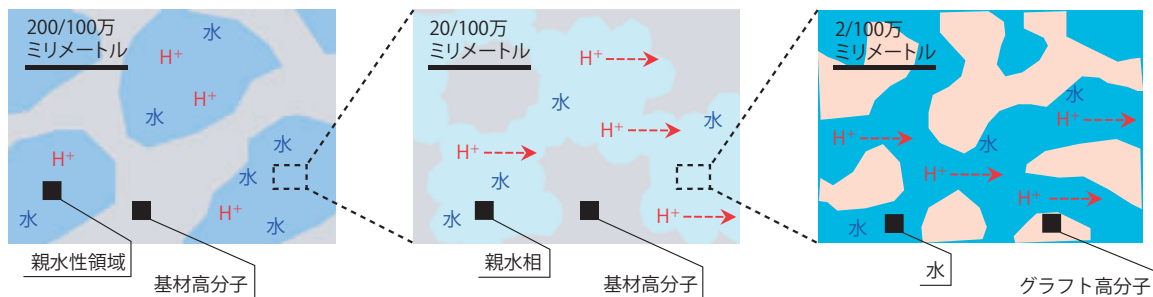


図1：電解質膜の機能を産み出す階層構造(分析データを元に作成した膜断面のモデル図)。電解質膜は、構造を維持する基材高分子の中に200/100万ミリメートルほどの導電性に寄与する島状の親水性領域が存在する(左)。親水性領域の中には20/100万ミリメートルほどの親水相(水に溶ける性質の物質が固まらずに溶けた状態でいられる場)の塊が連結して分布する(中)。親水相は2/100万ミリメートルよりやや小さいグラフト高分子の周りにH⁺(水素イオン)と水の通り道が分布している(右図)。

次世代電池用電極触媒

貴金属を使わない水素製造を目指す

電極触媒は、文字通り「電極」と「触媒（化学反応を効率よく起こすもの）」の機能を持ち、電極自身は変化せずに、触媒として化学反応を促進し、目的とする生成物だけを効率よく作ります。

電池や水素製造を高性能化するためには、化学反応の「場」となる、電極表面の反応効率（触媒性能）を高める必要があります。現在、代表的な触媒として白金が使われています。供給が不安定で、コストが高くつくこと、また、高い温度（120℃）に耐えることができない、といった問題があります。

たかさき研では、自動車に搭載する水素燃料電池を念頭に、資源量が豊富で安価、そして高い耐熱性が得られる触媒材料で電極触媒を作る研究を進めています。着目したのは、チタニア（酸素が結合したチタン）など金属の酸素化合物を焼き固めた「酸化物セラミックス」です。酸化物セラミックスは、そのままでは触媒として作用しませんが、表面の成分組成や微細構造を変化させる（修飾する）ことで触媒として作用する（酸化還元反応を起こす）ことが分かってきました。

そして「量子の世界」で起きることとして捉える必要があることも分かってきました。

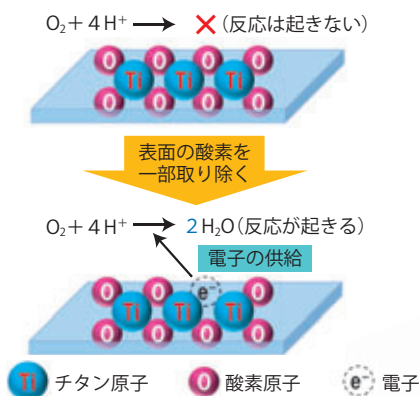


図2：チタニアの表面修飾による触媒機能（酸化還元反応の促進）の付与

たかさき研の研究者は、電子の構造の観察など、量子科学的な情報に基づき、貴金属を使った触媒より高性能な酸化物セラミックス触媒の開発を目指して研究を進めています。

エネルギー変換デバイス

廃油からジェット燃料を作る

日本では、2030年までに航空燃料の10%を持続可能な航空燃料に置き換える目標が政策で打ち出されています。たかさき研の研究者は、食用油などの廃油からジェット燃料を作る「触媒」の開発を狙っています。

ジェット燃料は、数珠状につながった炭素原子(C)に水素原子(H)が2個ずつ付いた構造をしています。廃油はもともとと同じような構造を持っています。廃油をジェット燃料に変換する工程でカギを握るのが、数珠状の炭素に水素をつける「水素化反応」です。

水素化反応は古くから知られていますが、高温・高圧で行うため、装置が大きくなり、反応を進めるためのエネルギーの投入も必要です。つまり、作れば作るほど、多くのエネルギーを消費します。この自己矛盾を回避する方法が、常温でも水素化反応が進む「触媒」の導入です。実際のプロセスで、触媒を基材に結合させて固体化すれば、反応装置の小型化や反応廃液処理の簡略化、触媒の回収が不要になるといった利点も期待できます。

たかさき研の研究者は、触媒に使う物質の選択、触媒を固定する高分子基材の組成と立体構造、触媒に使う物質と高分子基材との結合方法など、固体化触媒の製造に関する物理的・化学的なパラメータ（変数）の最適化にAIを活用して、製造に重要なパラメータを予測し、開発を効率よく短時間で行うことを計画しています。

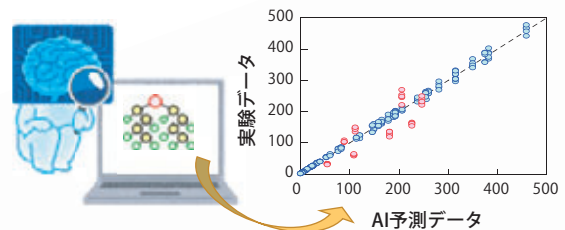


図3：AIによる予測データの有用性。AIによる学習イメージ(左)。実験データとAI予測データの比較(右)。青色の点は実験データ、赤色の点はAI予測データを示す。

たかさき研は、今回紹介した研究開発の推進により、カーボンニュートラルや継続的な資源の循環にも貢献していきます。