



エネルギー変換デバイスの創成 —メソスケール構造化の視点からの機能創出—

低 炭素・脱石油社会の構築はグローバルレベルでのコンセンサスであり、従来の発電システムも、省エネルギー技術や再生可能エネルギーを取り込みつつ、急速に再構築が検討される時代になりました。エネルギー変換デバイスの創成は、益々その意義を増しています。例として、燃料電池、太陽電池、二次電池といった電池技術があります。これらの高機能化、すなわち発電性能や蓄電能の高効率実現のためには、新材料の開発に加えて、各部品の構造化技術が鍵を握ります。特に、機能発現に向けてはメソスケールでの構造化が有効です。加えて、実社会の要請事項を機能創出にフィードバックする視点も必要です。

燃料電池を例にとって説明します。燃料電池の主な要素となる部材は「電極」と「電解質」です。電極は、水素、炭化水素、酸素といった分子種の反応場であり、

触媒能の選別(触媒材料の探索)と電極構造(メソスケール構造化)の設計が極めて重要です。電解質についても、イオン輸送能に見合った材料の開発が重要であり、後述するようにメソスケール構造化もイオン伝導度の向上に寄与します。さて、電解質材料の選択によって燃料電池の作動温度が決定されます。セラミクス系電解質を用いた場合には、作動温度は800℃程度であり、有機高分子系電解質では、作動温度は室温~80℃程度です。仮に、その中間温度域(150~500℃)で作動する電解質があると、高温場による電池の劣化を防止しつつ、かつ高効率発電が可能な燃料電池が実現できます。その観点から高いプロトン伝導度を有する材料開発を行いました。通常は、新しい機能材料を開発し、その用途を探るわけですが、それを逆手に見ることで、出現機能に対する要請事項を固定し、いわばそれを

駆動力として材料・デバイスの開発を進めています。この検討から、中温域(~250℃)で高プロトン伝導率を安定に保持する電解質材料を見出すことができました(図1(1. CsH₂PO₄))。なお、近年、中温域でのプロトン伝導体の研究が他の研究者を含め活発になりました。その材料群も図1に示します。目的駆動型の材料研究の一例です。

見いだしたプロトン伝導体をメソ多孔質体に充填したところ、プロトン伝導率の大幅な向上が観測されました。図2に垂直配向型のメソ多孔質薄膜の構造を示します(図は動的モンテカルロシミュレーションによる構造形成過程の計算結果)。実際にこの構造を有するメソ多孔質シリカ薄膜(細孔径:数nm~数十nm)を合成し、プロトン伝導体であるCsHSO₄を充填したところ、数百~千倍におよぶプロトン伝導率の向上が実現されました。理由の詳細は割愛



図3: 新型燃料電池の単セル写真

しますが、プロトン伝導体とシリカ界面でのメソスケールでの特異な効果に基づく現象です。これらの電解質材料を用いた単セルを作製し(図3)、発電性能を検討したところ、特にアルコール類を直接燃料に用いた場合には、従来型と比較して高い特性が得られました。このように、有効な要請事項の抽出→材料開発→構造化のスキームにより、新規なエネルギー変換デバイスの提案が可能です。今後は、マイクロからマクロまでのスケールをつなぐ機能・構造獲得の方法論の一般化も重要な課題です。

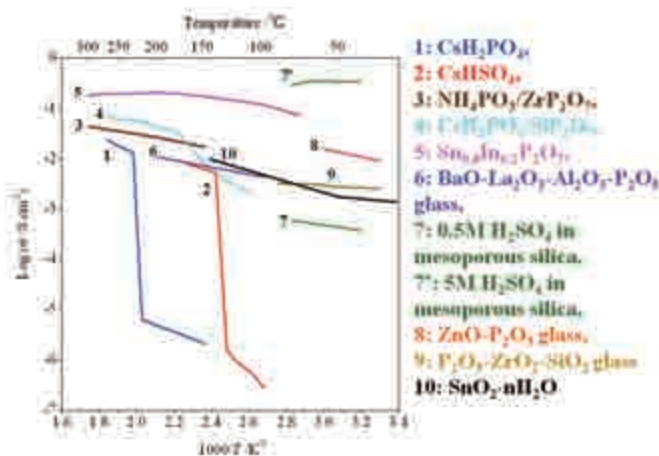


図1: 中温域における新電解質材料(プロトン伝導体)

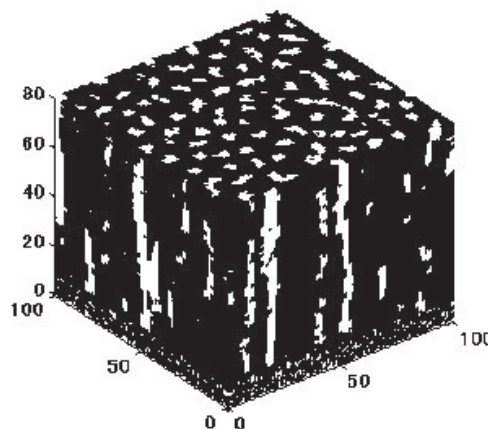


図2: 垂直配向型メソ多孔質薄膜の構造