



## 予言 Prophecies 車も家も、 燃料電池で動き出す

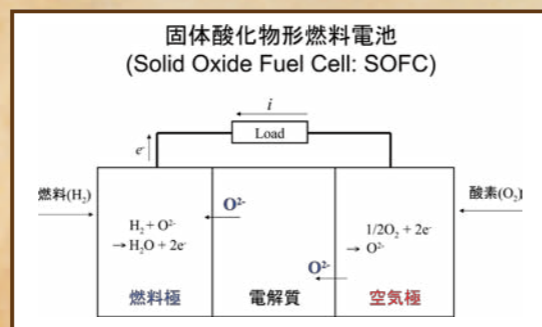
現在日本では新エネルギーの利用が積極的に進められている。新エネルギーという多くの方は、太陽光や風力、地熱などを思い浮かべるだろう。しかし、10年後主流になっているのは、大友先生が取り組む燃料電池であるかもしれない。

### 燃料電池時代の幕開け

2011年10月、家庭用定置型電源として固体酸化物形燃料電池(以下SOFC)が日本で発売されました。一昨年には既に固体高分子形燃料電池(以下PEFC)も家庭用に導入が始まっており、現在、燃料電池は社会への浸透のまさに黎明期にあります。燃料電池を家庭に導入すると、たとえ停電で電気が使えなくなっても、都市ガスが使える状況であれば発電することができます。現状の家庭用SOFCの発電効率は約45%で、一般の火力発電所とはほぼ同レベルですが、さらに発電効率の向上が可能です。震災や原発事故後、安全性と低炭素社会の両立に向けて、分散電源あるいは新しい火力発電技術として、燃料電池に多くの期待が集まっています。

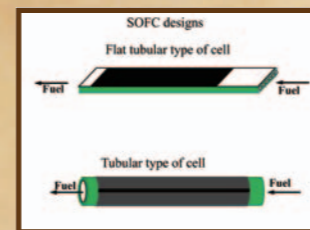
燃料電池は、酸素と水素を反応させて電気を取り出す装置です。酸素源として空気を使用し、都市ガス(メタン)と水から生成する水素を燃料として使うため、手軽に発電できる利点があります。もしSOFCを一台家庭に導入した場合、1年で約2トンの二酸化炭素を削減することができます。仮に、燃料電池を150万世帯に導入すれば3メガトンの二酸化炭素を削減できるのです。これは、一見、低炭素社会に大きな貢献をしているように思えます。しかし、

日本全体では年間十数億トンという莫大な量の二酸化炭素が出ているため、これでも0.3%程度しか削減できません。一方、現状では家庭用燃料電池の導入には200~300万円もの費用がかかります。このままでは、燃料電池の技術が広く社会に導入され、低炭素社会の構築に貢献するのはかなり難しい状況です。そこで、燃料電池を広く普及させていくためには、新材料やメカニズム解析の基礎研究と並行して、科学技術の知識に基づいた低炭素技術の社会への導入シナリオ(技術シナリオ)を考える必要があります。技術シナリオから見えてくる燃料電池のミッションに基づいて以下お話ししましょう。



### ミッション1: 高出力化 ~セルのデザインから考えてみる~

燃料電池の技術シナリオに構築するにあたって、燃料電池システムを、材料や物性、そしてセルのデザイン等の要素・要因に分割することで、性能やコストについて定量的に語るができるようになります。具体的な例をあげると、システム解析に基づく家庭用燃料電池の導入により実際に下がると予想される電気代は一家庭あたり年間4万円ほどです。燃料電池の寿命は約10年のため、一台につき4万円×10年で40万円の利益が出ると予想されます。ということは、燃料電池の値段を40万円程度にすれば、一般家庭に導入するインセンティブが働きます。そこで、SOFCの生産コストの内訳を分析しました。ある生産スケールでは、4割が製造費や人件費で、残り6割は材料費でした。このことから、燃料電池を小型化し、使用する材料を減らすことで大幅に生産コストを削減できます。また、体積あたりの出力密度を現状の5倍以上に向上させる必要があることもわかりました。このような高出力の燃料電池を実現させるためには、電池のデザインそのものを変える方法があります。燃料電池は面内で反応するため、たとえばマイクロチューブという小さな円筒形にして表面積を増やせば、反応する部分も増え、体積あたりの出力密度を上げることができます。このようなアプローチで、家庭用燃料電池の社会への浸透を意図した技術シナリオを描くことができるようになります。



### ミッション2: 発電効率のアップ ~新しい材料・作動原理から考えてみる~

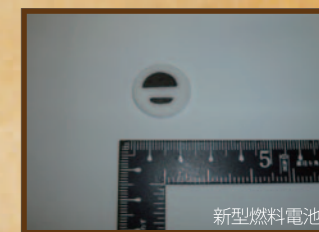
燃料電池には、既に述べたようにSOFCとPEFCがあります。これらの基本的な原理は同じですが、可動イオン(使用する電解質材料)の違いにより燃料電池の種類が異なります。SOFCでは、700~800℃の高温条件下において電池内部で酸化物イオン(O<sup>2-</sup>)が動くことで化学反応が起き、電気を取り出せます。これに対して、PEFCでは約80℃の低温条件下、内部でプロトン(H<sup>+</sup>)が動くことで電気を取り出せます。PEFCは低温で動作する特徴を生かし、自動車や一般家庭など身近なところでの利用が考えられています。しかし、発電効率はPEFCよりSOFCのほうが高く、家庭用の定置型燃料電池は、徐々にSOFCに置き換わっていくでしょう。一方、技術シナリオの分析から、現状より10%以上のSOFCの発電効率の向上が必要不可欠であることもわかっています。SOFCでは、燃料極で水が生成することによって燃料の希釈が生じます。その結果、セル電圧の低下が起こります(ネルンストロス)。また、燃料極の再酸化による破壊を避けるため、燃料利用率を高くできない問題もあります。



### 大友 順一郎 准教授

所属/新領域創成科学研究科環境システム学専攻  
1994年 東京大学工学部工業化学科卒業、1999年 東京大学大学院工学系研究科化学システム工学専攻博士課程修了 博士(工学)、1999年 東京大学大学院工学系研究科化学システム工学専攻 リサーチ・アソシエイト 寄附講座教員(助手相当)、2003年 工学院大学工学部環境化学工学科 講師、2006年 同 助教授、2007年 東京大学大学院 新領域創成科学研究科 環境システム学専攻 助教授、2007年より現職

そこで、酸化物イオンではなく、プロトンが可動イオンである固体電解質を用いた、中温域(PEFCとSOFCの間の200~600℃の作動温度域)で作動する新しい燃料電池を考えています。この新電池では燃料利用率の向上とネルンストロスの改善によって、さらに10%以上の発電効率の向上が可能です。しかし、高いプロトン伝導度を有し、かつ安定して使える固体電解質材料は現時点ではありません。そのため、私たちは固体電解質材料の研究開発を行っています。安定性・耐久性の面で依然として厳しい制限がありますが、例えば、酸素酸塩の一種であるCsH<sub>2</sub>PO<sub>4</sub>は250℃近傍で高いプロトン伝導度を有する物質です。これまでに、酸素酸塩のイオン伝導機構について検討し、複合化によるメソスケール空間でのプロトン伝導度の飛躍的向上の現象を見いだしています。また、アルコールを燃料とした直接アルコール形燃料電池がありますが、従来はPEFCの使用により80℃近傍で電気を取り出すことになるため、効率がよくありませんでした。そこで、酸素酸塩を電解質材料に用いた燃料電池を作製し、エタノールを燃料に用いて発電したところ、従来型より高効率で発電することがわかりました。これにより、プロトンで動作する中温作動燃料電池は、将来的にアルコールを燃料とする燃料電池自動車に使える可能性も出てきました。新しい材料を開発することで、新しい用途やブレイクスルーが見えてくるのです。



### 燃料電池の街へ

社会に新しい技術を確実に導入するためには、上述のように個別の技術を徹底的に分析した後に、技術を導入するシナリオを考える必要があります。プロトンで動作する燃料電池は、分散型電源としてポテンシャルがあり魅力的ですが、普及に向けてひとつずつ問題を解決しなくてはなりません。最近の検討から、ようやく多様な燃料が有効利用される道筋が見えてきました。今後も材料開発やイオン伝導機構の基礎研究を行いつつ、技術導入と上手くリンクさせてエネルギー・環境問題を解決していきたいと考えています。

さらに、現在では家庭用だけでなく、SOFCによる大規模な発電所も考えられています。IGW級のSOFC複合サイクルシステムの発電効率は約70%になると予測されています。この非常に高効率な発電システムは、SOFCで発電した後、その排ガスでガスタービンを回し、さらにその余熱で水を気化させて水蒸気を作り、タービンを回すという三段階の発電方法になります。この非常に高効率な発電システムは、20年後くらいの実現を目指しており、家や車だけでなく、街全体が燃料電池の恩恵を受ける日も遠くはありません。

