

第2章 燃料電池の原理と理論

この章では、燃料電池がどのように発電をしているのか、基礎的な電気化学の知識を使って考えます。そして燃料電池の電気特性がどのようなメカニズムから生まれるのかを理解して、その理解を基にした燃料電池の等価回路が示されます。また、効率が高いといわれる燃料電池の効率の考え方について見てみます。

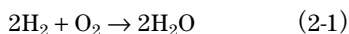


2-1 水素燃料電池の発電原理

水素を燃料とする燃料電池のことを水素燃料電池（以下水素 FC と略します）と呼びます。この発電原理は単純であり直感で理解できます。1839 年に W. Grove は、**図 2-1** と **図 2-2** に概念を示す実験装置を使用して世界で最初に水素による発電ができることを実証してみせました。図 2-1 は、よく知られている水の電気分解を模式的に示したもので、白金電極を通じて電解液に電流を流すことによって、水は水素と酸素に分解します。発生する水素と酸素の体積比は概略 2 : 1 です。一方、図 2-2 ではあらかじめ 2 本の試験管にそれぞれ水素と酸素を入れておきます。直流電源の代わりに電流計を接

続すると、電流計の針が振れて小さな電流が流れるのを確認できます。電気分解の反対の現象が起き、水素と酸素が結合して電流が流れているのです。

水素 FC の動作を化学式で表すと次のようになります。



ここで、 H_2 とは、水素原子 H が 2 個結合して水素分子になっていることを示しています。 O_2 も同様な意味です。また H_2 の前に 2 がついているのは、矢印の右側と左側で原子数が等しくなるようにするためです。この式から分かるように、水素 FC の動作を別の観点からみると、水素燃料を燃焼させているということが出来ます。しか

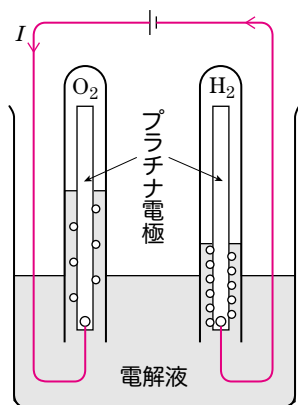


図 2-1 水の電気分解

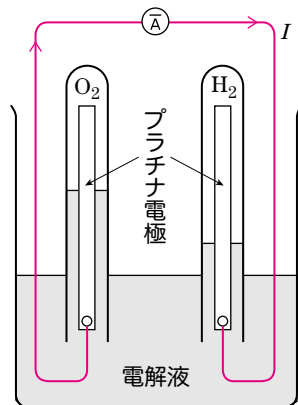


図 2-2 水素燃料電池による発電

し、通常の燃焼とは違って、熱の発生はそれほど多くなく、代わりに電気も発生するわけです。

図2-2の実験装置は、原理を理解するには良いのですが、流れる電流は非常に小さいので実用にはなりません。大きな電流を流すことができない理由は何でしょうか。次の2つが考えられます。

- ① ガス、電極および電解質の接触面積が小さい
- ② 電極間距離が大きい。

この問題点を克服するため、**図2-3**に示すように電極を平板にし、電解液

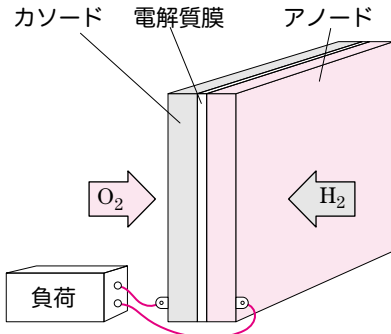
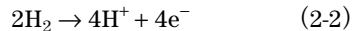


図2-3 水素燃料電池の基本構成

を薄い層にすることが考えられます。電極はポーラス（微細な穴がたくさん開いているような材質）なものとしてイオンとガスの両方が行き来できるようにします。この方式は、ガス、電極および電解質の3つが最も広範なコンタクトをもつことができる構造ですから、実用化されている燃料電池の多くがこの構造となっています。

次に、電子の動きを理解するため、それぞれの電極で起きている反応を考えます。燃料電池の種類により構成材料が異なり反応の様子が異なりますが、ここでは最も単純な水素燃料電池を例にとります。**図2-4**に示すように、アノード（燃料極と呼ばれる）には水素ガスが供給されます。触媒の助けを借りて、供給された水素ガスから電子（ e^- ）が離れ外部回路へと移動します。水素は水素イオン（ H^+ 、プロトンと呼ばれる）に変わります。この動きは次式で表すことができます。



一方、カソード（空気極と呼ばれ

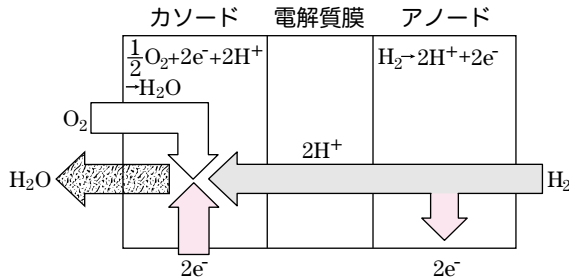
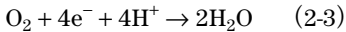


図2-4 各電極での反応

る)には酸素が供給されます。酸素は電解質膜を通過してくるプロトン H^+ と外部回路から流入してくる電子 e^- とに反応して水 H_2O になります。カソード側にも反応が進行しやすくなるように触媒を用います。この反応は式(2-3)で表されます。



式(2-2)と式(2-3)を見て分かるように、反応が連続的に起こるためには酸素分子1個当たり水素分子2個が必要です。図2-4はこれを説明しています。外部に接続された負荷を通してカソードに電子が供給され、この電子とプロトンおよび酸素が結合して水ができます。

ここで、電解質膜は電気的には絶縁物であることが重要で、そうでなければ

燃料電池の出力端子間が短絡してしまうことになります。一方、電解質膜はイオンや水蒸気に対しては高い透過性が要求されます。透過性の悪さは燃料電池の電圧降下として現れ、端子電圧を低下させてしまうので、できるだけ透過性が優れた電解質膜が求められています。このように電解質膜は高度な特性を要求される材料で、活発に開発が進められています。現在この膜は非常に高価なので、特性と同時に低価格化のための開発も重要です。

以上は水素燃料電池の場合の反応ですが、種類の異なる燃料電池では反応に関わる物質がそれぞれに異なるので、違った反応が起きています。それらの反応の説明は、個別の燃料電池を扱っている章で行います。