

第1章

ブレイクした燃料電池

夢の発電機だった燃料電池

内燃機と同じ歴史を持つ燃料電池

燃料電池とは、水素を燃料とし空気中の酸素と反応させることで電気を発生させる装置である。電池という名前がついているが、電気を溜めるのではなく電気を作るための発電機である。これまでに、**図表1-1-1**のような4種類の燃料電池が開発されている。細かく見れば複雑な面もあるが、水素と酸素を反応させる、という単純な発想に基づいているため、19世紀初頭にはイギリスで基本的な原理が考案されていたとされる。つまり、燃料電池には内燃機にやや遅れる程度の歴史があることになる。産業革命以降のエネルギー需要の猛烈な拡大を考えれば、今頃内燃機と並ぶ発電手段となってもよさそうだが、世界中のほとんどの電力はいまだに内燃機で作られている。

内燃機で電気を生み出すには多数の部品と複雑な加工や組み立てが必要となる。エンジンであれば、ピストンで受け止めた爆発の力をクランクで回転に換えなくてはならないからだ。さらに、タービンやエンジン自体には電気を生み出す機能がないので、発電機と組み合わせなくてはならない。こうした煩わしさを伴う内燃機が広く普及したのに対して、原理と構造が単純な燃料電池が普及しなかったのは、本質的な技術上の課題があったからだ。詳細は第2章で述べるが、一言で言えば、長時間安定して効率的に電気を作り続けるためのスタックの微細技術が実用レベルに達しなかったからである。

しかし、この10年間に、自動車分野や家庭用燃料電池の分野では、発電性能を高めながらコストを10分の1以上削減する、という技術革新が起こった。エネルギーの分野では、エネルギーマネジメントシステムの性能対比のコストが10分の1程度になっているから、この間、燃料電池

図表 1-1-1 4種類の燃料電池

	固体高分子型 PEFC	りん酸型 PAFC	熔融炭酸塩型 MCFC	固体酸化物型 SOFC
電解質	高分子 イオン交換膜	りん酸水溶液	熔融炭酸塩	セラミックス
作動温度	80℃	200℃	650～700℃	700～1,000℃
触媒	白金系	白金系	不要	不要
発電効率	30～40%	40～45%	50～65%	55～70%
想定 発電出力	数W～ 数十kW	100～ 数百kW	250kW～ 数MW	数kW～ 数十MW
想定用途	自動車、家庭用 電源、携帯端末	定置発電	定置発電	家庭用電源、 定置発電

(各種資料より筆者作成)

については、ITに比肩するほどの技術革新が起こったと言える。その陰には、各社の不断努力と技術革新を可能とした基盤技術レベルでの革新がある。

燃料電池で技術革新が起こったことは二つの観点から社会に大きな影響を与える可能性がある。一つは、燃料電池自体がエネルギーシステムに革新をもたらすことであり、もう一つは、燃料電池をブレークさせた基盤技術の進歩が、幅広い分野で技術革新を生み出すことにある。

燃料電池の特徴

内燃機は化石燃料や核燃料を燃やすことで高温高压のガスや蒸気を発生させ、ピストンやタービンを動かすことで発電機を回して電気を作る、というプロセスを経る分だけエネルギーの損失が避けられない。まず、高温高压のガスや水蒸気のエネルギーを全てピストンやタービンに

伝えることはできないので、伝わらない分が外部に放出される。また、機械の作動に伴う摩擦や振動の分だけエネルギーを失うことになる。これに対して、水素と酸素の反応を直接電気に換える燃料電池では損失が格段に小さくなる。こうした本質的な構造の違いから燃料電池には次のようなメリットが生まれる。

① 効率性が高い

まず言えるのは上述した基本構造から、内燃機に比べて発電効率が高いことだ。内燃機の理論的な発電効率の上限は60%と言われる。最近のガスコンバインドサイクルではこれを超える発電効率が達成されているが、ガスタービンの排熱を使って二重に発電を行った結果である。発電機単体としての限界が高まったわけではない。

これに対して、燃料電池の理論的な発電効率の限界は70%以上あるとされる。既に、SOFCでは55%の発電効率を持つ商品がリリース直前とされているので、単体の発電効率では内燃機を上回りつつある。SOFCのように排熱温度が高い燃料電池なら、ガスタービンのような排ガスを使ったコンバインドサイクルが可能になるので効率はさらに高くなる。

燃料電池の効率性をさらに高めるのはコージェネレーションとして利用できる範囲が広いことである。後述するように、環境性が高いこと、コンパクトであること、などから内燃機に比べて分散電源として利用できる範囲が大きく広がるからだ。その分だけ燃料の利用効率が向上する。発電効率で10%、コージェネレーションにより20%程度燃料の利用効率が上がれば、文明開化以来日本が抱えてきた燃料調達問題も緩和される。

② 環境性が高い

化石燃料を燃焼させる内燃機ではNO_x、SO_xの発生が避けられない。地球温暖化の問題が注目されてからは二酸化炭素の発生も問題になっている。世界的に見ても、発電から発生する二酸化炭素は温室効果ガスの

大きなシェアを占める。

これに対して燃料電池は水素を燃料とするから、発電に伴うNO_x、SO_xも二酸化炭素も排出されない。燃料電池自動車が究極のエコカーと言われる最大の理由はここにある。もちろん、内燃機でも水素を燃料にすればNO_x、SO_x、二酸化炭素は排出されないが、燃料電池ほどの発電効率を得るのは難しい。

環境という視点では、騒音や振動が少ないことも重要だ。大型の発電所は人里離れて建設されることが普通なので、騒音や振動が問題になることは少ないが、中小型の自家発電施設などでは騒音、振動に神経を使う。スマートシティが注目されてから、都市部でもガスコジェネレーションを設置しようとする動きが増えているが、騒音や振動を閉じ込めるための設備や空間に伴うコストは発電機自体のコストを超える場合もある。建物の容積の価値が高い大都市部ではコジェネレーション普及の大きな障害となってきた。

これに対して、燃料電池自体はほとんど騒音や振動を発生しない。大型の燃料電池の設備から発生している音は送風に起因するものだ。その分だけ、熱需要のかたわらで発電を行いコジェネレーションとして利用することができる。

③ 多くの燃料を使うことができる

自然環境の中から発電事業に必要な水素を集めることは難しいから、何らかの変換プロセスを経て水素を集めることになる。現在利用されている燃料電池の多くは天然ガスなどの化石燃料から抽出した水素を使っている。この場合、温室効果ガスの削減効果は燃料の利用効率が高くなった分だけになる。

燃料電池が優れているのはいくつかの段階を経て、カーボンフリーの時代に移行できることだ。燃料電池の普及当初は水素の多くを天然ガスなどの化石燃料から作ることになる。それをもって、燃料電池はエコな

発電システムではない、という指摘もあるが適切ではない。化石燃料の利用は理想的な水素供給システムへスムーズに移行するための過程に過ぎないからだ。水素供給量の増大にしたがって、未利用ないしは他用途に利用されている水素の転用、再生可能エネルギーからの水素の製造とステップを踏めることが燃料電池の優れた点である。

移行過程における矛盾は他のシステムにもある。例えば、アメリカで電気自動車を普及する場合、当分の間、半分以上が石炭から作られた電気を使わざるを得ない。また、後述するように、いくら再生可能エネルギー由来の電力を使っても、電力系統を使って電力を供給する方法では、ゼロカーボンへの移行プロセスが見えない。

インフラ整備の課題はあるが、ゼロカーボンへのストーリーを描けることは燃料電池と水素システムのメリットなのである。

④ 自立性が高い

前項に通じるが、水素燃料は再生可能エネルギーの自立性を高めることができる。世界中で再生可能エネルギーへの期待が高まっているものの、発電量の変動や地政学的な偏在を吸収するための決定的な方法は見えていない。ドイツは原子力発電から決別して再生可能エネルギーを中心とした電源ポートフォリオを目指しているが、現場に行くとその難しさがわかる。現状では、再生可能エネルギーの変動要素は火力発電で吸収せざるを得ないが、ドイツでは再生可能エネルギーの量が増える一方で火力発電の収益性が過度に圧迫されるという問題が起こっている。

火力発電の収益性が低下しているのは、再生可能エネルギーのコストが下がっているからとする指摘もあるが、最大の問題は再生可能エネルギーをどのくらい優遇すればいいか見えていない点にある。再生可能エネルギーはいくつかの面で特別扱いされている。まず、固定価格買取制度の賦課金で収益に下駄をはいている。その分だけ需要家は財布が圧迫され、より安い電力を求めようになり、火力発電にツケが回っている。