

# 「サイエンスZERO」に見る“新エネルギー”

NHK制作局科学環境番組部チーフプロデューサー

青木 伸之

「サイエンスZERO」は、NHK・Eテレで2003年4月から放送している科学番組です。これまで350本以上の番組を制作し、この4月で放送開始から10年目を迎えます。数年で終わることもあるテレビ番組の中では比較的長寿の部類に入ります。とりあげるテーマは最先端の科学ならどんなものでも。宇宙や素粒子、IT技術、生命科学、医療、災害、自然環境など。その時々注目を集めている最先端科学、そして私たちの未来を大きく変えるであろう技術について取り上げてきました。2011年3月に東日本大震災が起こってからは、巨大地震や原発事故についても数多くの番組を制作しています。

もちろんエネルギー問題は、サイエンスZEROが取り上げる大きなテーマのひとつであり、いわゆる「新エネルギー」についても数々の番組を制作してきました。そこで今回は、「サイエンスZERO」で9年間に取り上げてきた主な新エネルギーを見ていくことで、その歴史と現状を振り返ってみたいと思います。

## 燃料電池

まずサイエンスZEROの第1回目のテーマが「燃料電池」でした（「燃料電池実用化最前線」2003年4月9日放送）。2003年の放送当時は、ガソリン自動車に代わるものとして「燃料電池車」が大きな期待を集めていました。大手自動車メーカーがこぞって燃料電池車の開発に参入し、技術を競い合っていました。燃料電池は、水素と酸素を反応させて電気を取り出すため（よく水の電気分解の逆の反応といわれます）廃棄物は水だけというクリーンさが最大の売り物です。技術的なポイントとなるのは、厚さ0.1mmほどの「高分子膜」です。この高分子膜は、水素イオンだけを通すという性質があり、この性質を利用して燃料電池を実現しています。

燃料電池は、自動車だけでなく携帯電話やパソコンの電源としても実用化が進められています。発電の方式はメタノールから水素を取り出し、発電するというものです。燃料電池の開発は家庭用にも進められています。こちらの燃料になるのは、都市ガスのメタンガスです。ガス会社の試算によると、家庭量燃料電池を最も効率よく運転すれば、

二酸化炭素の排出量を現在の4分の3に減らすことができるとされています。

このように未来のエネルギーとして期待される燃料電池ですが、「新エネルギー」として考える場合には、大きな課題があります。それは水素をどう供給するか、というものです。メタノールなどから水素を取り出す方法では、結局のところ化石燃料をつかうことになってしまいます。これでは発電効率がよくても、本当にクリーンエネルギーとは言えないものがあります。そこで考えられている燃料電池の究極の姿は、太陽光発電で水を電気分解し水素を取り出し、その水素を燃料電池の燃料として使う、というものです。こうすれば化石燃料を一切使わずに太陽光のエネルギーだけで発電することができるのです。さらにもうひとつ、特殊な細菌を使って生ごみなどから水素を取り出そうという試みも行われています。未来の新エネルギーとして期待される燃料電池の開発は、様々な方法で今も進められているのです。

## 太陽光発電

太陽光発電については、サイエンスZEROでこれまで何度か取り上げてきました。今回はそのうちユニークな2つの研究についてご紹介します。

### ①宇宙太陽光発電（「宇宙太陽光発電に挑む」2010年3月6日放送）

宇宙太陽光発電は、宇宙空間に巨大な太陽電池パネルを浮かべて発電するという壮大な計画です。太陽光発電の課題は、コストの高さ、エネルギー変換効率の低さ、それに立地スペースの制約、さらには曇っている日は発電できない、などがあります。宇宙で発電ができれば、後の2つについては大きく解決に近づくことになります。宇宙空間ではスペースの制約は少なく（静止衛星の軌道に上げる予定なので制約がゼロではありませんが）、曇っている日に発電できないということもないためです。

では実際に宇宙太陽光発電はどんな計画なのか？ まずは地上から3万6千kmの上空に一辺が1～2kmの巨大な太陽光パネルを浮かべ発電し、その電気をマイクロ波など

に変換して地上まで送る、というものです。資源の少ない日本では、期待の発電技術とされており、国は2030年代のうちに商業用の宇宙太陽光発電を実現したいとしています。

宇宙太陽光発電を実現するために、現在研究されているのが主に2つの技術です。ひとつめが、宇宙に太陽光発電施設を建設する方法です。宇宙に建設する太陽光パネルは、一辺が1~2kmの巨大なものになることが想定されています。こんな大きなものを上空3万6千kmまでロケットで運んで、宇宙空間で組み立てるのは、とても困難です。そこで現在検討されているのが、「風呂敷衛星」というものです。神戸大学と東京大学の研究チームが開発している「風呂敷衛星」とは、複数の小型衛星を宇宙空間に展開させてその間に網のような構造をつくり、その網の上で小型ロボットを移動させて太陽光パネルを組み立てる、という構想です。小型衛星によってつくられた網が風呂敷のような形をしていることからこの名前がつけられたといえます。2006年から風呂敷衛星の実験ははじめられています。現在の最大の課題は、衛星同士の距離をいかに適正に保つかということです。太陽光発電施設の建設には、もうひとつ別のアイデアをJAXA(宇宙航空研究開発機構)が研究しています。それは、あらかじめ小さくたたんだ太陽光パネルをロケットで打ち上げ、宇宙で展開するというものです。そのために、たたんだ太陽光パネルの“骨組み”には形状記憶合金を使います。形状記憶合金は、温度が上がると伸びる性質にしておきます。実際には、打ち上げた太陽光パネルを宇宙に行ってから電気であたため、展開させるのです。

宇宙太陽光発電を実現させるもうひとつの技術的課題は、発電した電気を地上まで送る方法です。現在有力と考えられているのは、電気をマイクロ波に変換して地上に送る方法です。ただし、マイクロ波は、空間に広がりながら進むため、ピンポイントで地上に送ることが難しいという欠点があります。これを解決するために神戸大学のチームが考えたのが、いくつものアンテナを並べて、一斉にマイクロ波を発射するという方法です。この方法を使うと、マイクロ波同士が影響しあうことで、横に広がることなくピンポイントで伝送することができます。そしてさらにもうひとつ、福井大学では、太陽光を直接レーザーに変換して地上に送る技術の研究も進められています。ここで使うのは、セラミック素材の「レーザー媒質」です。クロムやネオジムを含むレーザー媒質に太陽光を当てると、クロムが太陽光を吸収し、ネオジムにそのエネルギーが伝わります。そして最後にネオジムから強いレーザーが出るという仕組みです。こちらの技術もすでに実験が行われ、宇宙太陽光発電を成功させる技術として期待を集めています。こうしたマイクロ波制御の技術が宇宙太陽光発電成功のカギを握っています。

## ②サハラ・ソーラーブリーダー計画(「サハラ砂漠に太陽光発電基地をつくれ!」2011年5月7日放送)

太陽光発電については、福島第一原発の事故を受けて、日本の大学や企業が参加している大規模な計画があります。その名も「サハラ・ソーラーブリーダー計画」。アフリカのサハラ砂漠に広大な太陽光発電基地をつくり、そこから日本をはじめとする世界各国に送電しようという計画です。最初のステップとしてまず2メガワットの太陽電池をつくり、そこで作った電気を使ってさらに太陽電池を作り出します。計算上は2年ごとに太陽電池の数を倍に増やしていくことができるので、30年後には100ギガワットの発電ができるようになる計算です。これができれば、原発100基分、世界のエネルギーの10パーセントはまかなえる可能性があるといえます。

この計画の最大のポイントは、砂漠の砂に含まれるケイ素からシリコンを作り出し、これを材料にして太陽光パネルをつくりだそうということです。太陽光発電の大きな課題がコストです。このコストの中でも大きなウエイトを占めるのが電池の原料となるシリコンです。砂漠の砂からシリコンを作り出し、さらに降り注ぐ太陽光を利用できれば一石二鳥。この計画は、20年以上前にアイデアが出され、去年アルジェリアの大学と日本の研究機関の共同研究が本格的にはじまりました。

計画のひとつめのポイントは、砂からいかに効率よくシリコンを作り出すか、という点です。これまで半導体用には純度99.99999999% (イレブンナインと呼ばれます)のシリコンが使われ、太陽光発電についても同様の純度のシリコンが使われてきました。この場合「シーメンス法」という方法を使います。しかしこの方法を使うとシリコンの純度は高まるものの、コストが高くなってしまいます。そこで弘前大学で現在開発が進められているのが、製鉄法を応用してシリコンを作り出す方法です。製鉄では、通常酸化鉄とコークス(炭素)を混ぜて高温に熱すると炭素と炭素が結びつき、純粋な鉄が残ります。

この方法を砂の成分・二酸化ケイ素に応用しようということです。実際には、二酸化ケイ素と炭素を熱しても一酸化炭素と一酸化ケイ素しかできません、そこで、さらに酸素を完全に取り除くために、炭化ケイ素を使います。ちなみにこの炭化ケイ素も砂からつくることができる物質です。この方法によって二酸化ケイ素からシリコンを取り出すことができることがわかってきました。さらに効率を高めていけば、将来太陽光パネルに使えるシリコンを取り出せるのではないかと考えられています。

サハラ・ソーラーブリーダー計画のもうひとつのポイントが、長距離の直流送電を実現することです。現在日本では交流で電気を送っていますが、実は長距離の場合直流のほうがロスが少ないといわれています。そのためサハラ砂漠から世界中に送電するサハラ・ソーラーブリーダー計画

では、直流送電を実現することが必要になります。直流送電を行う場合に課題となるのが、送電ロスをいかに減らすか、という点にあります。送電線に電気抵抗があると、それがわずかなものであっても長距離を送電する場合には大きなロスになってしまいます。そこで注目されているのが超電導技術です。現在、マイナス163度で超電導になるビスマス系の素材を使った送電実験が中部大学で行われています。実は、超電導ケーブルは内管と外管の2重構造になっていて、この管同士の間隔を決めるのが実用化にあたっての重要な課題です。実験では、この管の間を14cmにすることで200mの送電に成功しました。今後は、さらに送電距離を伸ばしていくことで、サハラ・ソーラーブリーダー計画を少しでも実用化に近づけていきたいということです。

## 二酸化炭素の利用

ちょっと意外な新エネルギーとして、地球温暖化の原因といわれる二酸化炭素を利用しようという研究も行われています。「資源になる!? 二酸化炭素を利用せよ」2010年5月15日放送)

まずは火力発電所から出る二酸化炭素を利用しようという技術です。光合成をおこなう海藻の中には、地上の植物の10倍以上のスピードで成長する種類のものがあります。こうした海藻に二酸化炭素を吸収させて光合成を行わせ、さらにその海藻からバイオエタノールを作り出そうというものです。沖縄で琉球大学が研究しているこの技術では、まずは海水に大量に二酸化炭素を溶かす研究からはじめました。一般的に液体に気体を溶かす場合は、液体の中に気体を発生させます。しかしこの方法では、気体と液体の触れる面積が少なく、効率がよくありません。そこで、琉球大学の研究チームでは、この逆の方法を考えました。つまり、筒を二酸化炭素で満たし、そこに海水を噴射するという方法です。この方法を使えば、飽和状態ギリギリまで海水に二酸化炭素を溶かすことができることがわかりました。さらに海藻の育て方にも工夫しました。海底に根をはるのではなく、浮遊させながらお互いからませて育てるという方法です。高知大学の考案したこの方法と、さきほどの海水に二酸化炭素を噴霧する方法を組み合わせる実験が行われました。その結果、海水の濃度が2%の場合に海藻がおよそ1.4倍も速く成長することがわかりました。現在大規模な実験設備が作られ、海藻を育てる実験が始まっています。さらに育てた海藻からエタノールを取り出す研究も進められています。

二酸化炭素利用でもうひとつ期待されているのが、メタン生成菌という細菌を使って、二酸化炭素をメタンに変える方法です。メタン生成菌とは、酸素がない場所で有機物を分解し、メタンを合成する細菌で、海底の堆積物や地殻

の中に存在することが知られています。研究では、二酸化炭素をメタン生成菌のいる海底に閉じ込めて、そこでメタンを生成させようとしています。研究を行っている海洋研究開発機構では、まず下北半島の石炭の一種・褐炭層を二酸化炭素を閉じ込める候補地として選びました。褐炭層は、固まりきっていないいわば未熟な石炭で、多くの隙間があります。その隙間に二酸化炭素を閉じ込めようというのです。そしてここにメタン生成菌が生息しているかどうかを調べました。さまざまな試行錯誤を経た結果、メタノバクテリウムというメタン生成菌の存在を確認することができました。今後は、火力発電所などから排出された二酸化炭素を海底に送り込み、メタン生成菌を使ってメタンに変え、それを再び燃料として使う構想が立てられています。

## 熱電発電

サイエンスZEROでは、ちょっとユニークな新エネルギーも紹介してきました。

そのひとつが「熱電発電」(「身近な熱を電気に変えろ 実用化迫る! 熱電発電」2011年10月15日放送)です。熱電発電は、「熱を電気にかえる」発電なのですが、ちょっと聞くと、どこが新エネルギーなのか?と思われるかもしれません。現在行われている発電は、火力発電にしろ原子力発電にしろ、熱でお湯を沸かして、出来た水蒸気をつかってタービンを回して発電しています。つまり熱を電気にかえるのは、当たり前技術なのです。しかし、熱電発電の画期的なところは熱を「直接」電気に変えるところです。熱→お湯→水蒸気→タービンと段階を経て発電するには、大規模な施設が必要で、しかも段階ごとに発電効率は低下していきます。しかし熱電発電は、熱を直接電気に変えれば、小規模な施設で効率よく発電できるという発想です。

では、一体どうやってそんなに都合のいい発電ができるのか?そこで登場するのが「ゼーベック効果」という不思議な現象です。この現象は、ドイツの物理学者・トーマス・ゼーベックが19世紀前半に発見したものです。その時の実験は、金属の棒の片方の端を温めると中間に置いた磁石が動いたというものです(磁石は金属の棒を流れた電流によって動いた)。ではなぜこんな現象が起こるのか?実は、金属の中に温度差が生じると、電子の運動の活発さに差が生まれます(温かいほうの電子が活発に運動する)。そして、活発に運動する温かいほうの電子が冷たいほうへと流れていきます。こうして電流が生じるのです(ちなみに電子が流れる方向と電流が流れる方向は逆方向です)。この熱電発電は、1977年に打ち上げられた惑星探査機ボイジャーにも搭載されています。こんな簡単な発電方法があるなら、すぐにでも実用化したらよいのでは、とも思い



ます。なんといっても熱は私たちの身の周りにあふれていますから。工場や自動車、太陽熱、さらには私たちの体の体温だってあります。これらを全部利用できたらエネルギー問題なんてすぐにでも解決してしまいそうです。

現在、熱電発電の実用化が進められているのは、工場の廃熱利用や自動車の排気ガスの熱を利用した発電などです。工場の廃熱利用については、石川県にある焼却炉メーカーが「凝縮熱」を利用した熱電発電を実用化しています。「凝縮熱」とは、水蒸気が水滴に変わる時に出す熱です。このメーカーでは、当初排気ガスの熱を利用した発電を考えていましたが、熱の密度が低く断念した経緯がありました。その過程で、水蒸気の「凝縮熱」を利用すれば、排気ガスの100倍以上の発電ができるようになり、実用化が可能になったのです。また自動車の排気ガスの熱利用についても、海外のメーカーが実装試験をはじめると、実用化への動きが進んでいます。

「熱電発電」に関連して、もうひとつ驚くべき方法で発電できる可能性が出てきました。おととしの10月、「スピンゼーバック効果」を使って発電ができることを示す論文を東北大学の研究チームが発表したのです。「スピン」とは、電子が持つ自転のような性質のことです。熱を加えるとスピンは大きく揺らめくような動きをするため、このエネルギーを取り出して発電ができるというのです。このスピンゼーバック効果を使えば、電気を通さない絶縁体でも発電が可能になるため、熱電発電の可能性が大きく広がっていくといえます。

熱電発電は、大規模ではありませんが、分散型の発電の一翼をになう可能性のあるユニークな発電技術なのです。

## 地熱発電（「眠れるエネルギー 地熱を掘り起こせ」2009年6月27日放送）

4枚のプレートがぶつかり合う火山国・日本にとって、地熱発電も有望な新エネルギーだと考えられています。地熱発電は、地価のマグマに熱せられた高温高压の熱水や蒸気がたまっている「地熱貯留層」まで井戸を掘り、そこから蒸気を取り出します。この蒸気を使ってタービンを回し発電するのです。水蒸気の温度は200度以上。冷えた蒸気は地下に戻すという循環型システムを構成します。太陽光や風力と比べた場合の地熱発電の長所は、天候や風向きに関わらず、24時間間安定して発電できることです。そして日本の地熱資源量は、2347万キロワット。インドネシア、アメリカに続いて世界で3番目に地熱資源が豊富であることが知られています。

しかし、現在日本で利用されている地熱発電は、発電量全体の1%未満です。その原因のひとつが地熱貯留層の位置を正確に把握するのが難しいという点があります（この他にも地熱資源のある場所の多くが国立公園内にあるとい

う問題もあります）。

そこで、東北大学では、地震波を使って地熱貯留層の場所を把握する、MTCというプロジェクトを立ち上げました。MTCとは「more than cloud」の頭文字。今まで雲のようにぼんやりとしか見えていなかったものからはっきりとした情報を取り出す、という意味です。この技術では、高温の蒸気や熱水があると推測される位置の近くに高压の水を送り込み、微弱な振動、いわば人工の地震を起こします。そして、そこから伝わるP波とS波を高精度の受信機でとらえます。このデータを地熱探査用のソフトを使って分析するのです。東北大学のチームは、実際に地下の様子を調べた実験でも、地熱資源の位置を確かめることに成功しました。そしてフランスやスイスなどでこの技術を使って地熱資源の位置を確かめてきたのです。さらに現在は、センサーをマイクロチップにすることで、観測の精度を高精度にするとともに観測地点も増やし、地熱資源の開発につながっていきたいといえます。さらにこの地熱発電は、これまで地熱エネルギーに縁が薄いと考えられていた国でも開発がはじめられています。その国とはオーストラリア。なぜ火山も温泉もないオーストラリアで地熱資源が開発できるのか？ その理由は、地下4000メートルにある高温の花崗岩の層にあります。通常地熱発電で掘る深さはおよそ2000メートル。火山国ではこの地点に地熱貯留層があることが多いのですが、火山がない国でも地下4000メートルの花崗岩から熱水や蒸気を取り出すことができるというのです。

日本では、2020年に、150万キロワット、現在の3倍という地熱発電の数値目標がかかげられていました。そして最近、環境省が国立・国定公園内での地熱発電開発について規制緩和する方針を固めたというニュースが報じられました。地熱発電が有力な新エネルギーとなるかもしれません。

## 風力発電（風レンズ風車）

太陽光とならぶ次世代の新エネルギーとして期待されている風力発電については、意外なことにサイエンスZEROではこれまで1回しか番組を制作していません。理由はいろいろありますが、ひとつには風の力で風車を回して電力を生み出す、という仕組みが比較的単純で、テレビで紹介できるような科学的に画期的な技術というのがあまりなかったからではないかと思えます。しかし、この2月に初めてサイエンスZEROで風力発電を取り上げました。（「海の風を集める！ 実用化目指す新型風車」2012年2月4日放送）そのきっかけの一つは、去年12月の環境省の調査で、新エネルギーの中で最もコストの安い発電方式となることが期待されると発表されたこと、そして同じく12月に九州大学による海上風力発電の本格的な実験がはじめら

れたことです。九州大学では、長年にわたって「風レンズ風車」という風車を研究・開発してきました。風レンズ風車は、風車の周りにつばのような構造物を取りつけることで、風速をアップして発電効率を3倍にあげることができる技術です。つばをつけた風レンズ風車には空気の“渦”ができます。この渦が空気を引き込むことで風速がアップするということです。もともと空気の渦は、建築物にとって大敵でした。突風が吹いて空気の渦ができることで、ビルや橋に大きな被害を与えることがあるためです。有名な例として、1940年に起きた、アメリカのタコマ橋の崩落事故があります。しかし、風レンズ風車では、この渦を逆に利用して風速をアップし、発電効率を3倍に上げることに成功したのです。

風レンズ風車の次なる課題は、海上での実験です。陸上での風力発電は、山地の多い日本では立地可能な場所が少ないことに加えて風が不安定なこと、さらには騒音問題、バードストライキング、低周波騒音問題などがあり、発電量を増やしていくのは容易ではないといわれています。一方、海上の風力発電は、風が安定して吹いていること、さらに発電ポテンシャルの面でも日本の全発電量をまかなえるほどだといわれ、今期待を集めています。しかし、問題は、どういう方法で海上風力発電をおこなうのか、です。海上風力発電の実用化がすすんでいるヨーロッパでは、風車を柱のように海底にたてる「着定式」と呼ばれる方式が数多く採用されています。しかし、着定式風車を立てるには、海が遠浅であることが条件になります。日本では、遠浅の海が少ないため、着定式は現実的ではないと考えられています。そこで登場したのが「浮体」という発想です。海上に風車を浮かべて発電しようというアイデアです。しかし、これまで浮体式の風車は、世界でもほとんど実現していません。そこで九州大学のチームが考えたのは、六角形の浮体です。六角形の形は外部からの力に対して強い構造であることに加えて、水に浮かべた時の安定性が高いためです。材質には、安価でかつ海水でもさびないコンクリートを採用しました。中を空洞にすることで浮力を確保しています。

実験が行われたのは去年12月。この時の大きな課題のひとつが、意外にも強風の時の風車がちゃんと止まるのか？ という点でした（もちろん発電量や浮体の安定性も大きな課題でしたが）。実は、風車は風が強すぎると壊れてしまうことがあります。これまで陸上に設置されていた風車の中にも強風で壊れたものが少なくありません。今回の実験では1分間に300回転を越えた場合にブレーキがかかる仕組みを備えつけました。その結果、見事システムが作動。毎分300回転を超えそうになった時、風車が停止していました。

今回の実験は「風レンズ風車」が海上で発電を行う大きな一歩となりました。海上での発電は、世界第6位の排他

的経済水域を持つ日本にとって、極めて重要な技術となる可能性があります。九州大学のチームでは、今後さらに実験をすすめて、海上風力発電の可能性を追求していきたいとしています。

## 原子力発電について

新エネルギーを考える時に避けて通れないのが原子力発電の問題です。東日本大震災以前には、原子力が国内の発電のおよそ3割を占めていました。しかし、東京電力福島第一原発の事故から1年が過ぎた今、国内で稼働している原発は1基。サイエンスZEROでは、東京電力福島第一原発の事故の後、「シリーズ原発事故」と題して6本の番組を放送してきました。今後のエネルギーを考える場合に、原発事故の原因を究明することが必要になるからです。しかしながら、事故から1年過ぎても事故の詳細なプロセスは明らかにならず、今後原発をどうしていくのか、国民のコンセンサスも得られているとはいえない状態です。福島第一原発で何が起こったのか、現在どのような問題が発生しているのか、そして事故の収束はどうなるのか、引き続き取材を続けていきたいと考えています。

## profile

青木 伸之（あおき のぶゆき）

1989年 NHK入局  
高松局、青森局、長崎局などを経て現職