



家庭用燃料電池の設置例

## 燃料電池

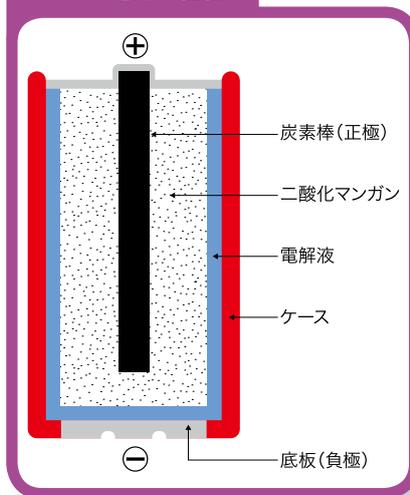
# 充電しなくても 使い続けられる 不思議な電池

時計や懐中電灯で使っている乾電池は、使い切ったら交換するしかありません。携帯電話やデジタルカメラで使っている充電電池ならば、繰り返し使えますが管理や充電が面倒です。交換や充電をしなくても使い続けられる夢のような電池はないのでしょうか。

## 電池は電気のカンヅメ?

私たちの身の回りには電気で動く機器がたくさんあります。部屋の灯りや冷蔵庫などは発電所から送られてきた電気をコンセントから取り出していますが、携帯電話やゲーム機などは電池から電気を取り出しています。けれども電気をそのままの状態、閉じ込めたり貯めておいたりすることはできません。電池の中には化学反応を起こすことで電気を作り出す物質が入っています。電池は電気を化学エネルギーの形に変え蓄えているのです。

マンガン電池の仕組み



## いろいろな電池

懐中電灯や時計、テレビのリモコンなどで使っている乾電池は、使い切ったらそれで終わりです。それに対して携帯電話やデジタルカメラで使っている電池は、充電すれば繰り返し使えます。一回だけの使い切りとなる電池は「一次電池」、充電して繰り返し使える電池は「二次電池」と呼びます。

電池を使うと内部の化学反応を起こす物質が減っていきます。そうなれば一次電池は、もう使えません。けれども二次電池では、電気を送り込むことで内部の物質に逆方向の化学反応を起こします。すると元の物質が増えて、再び電気を取り出せるようになります。これが充電です。

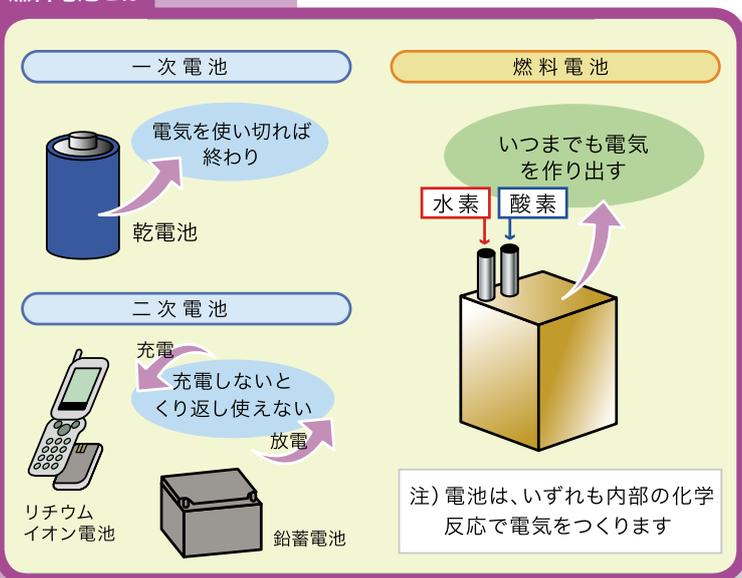
### Let's Research

家庭や学校で、どんなところに電池が使われているか、またその電池の特徴を調べてみよう。

## 燃料電池は小さな発電所

電池を使い切っても、少なくなった物質を補充してやれば、また使えるようになるはず。化学反応を起こす物質を燃料に見立てて、燃料を補充することで使い続けられる電池を燃料電池と呼びます。水素と酸素さえ補充すれば、連続して長時間使い続けられる燃料電池は、小さな発電所と言ってもよいでしょう。

燃料電池とは



出典：NEDO 技術開発機構 HP より

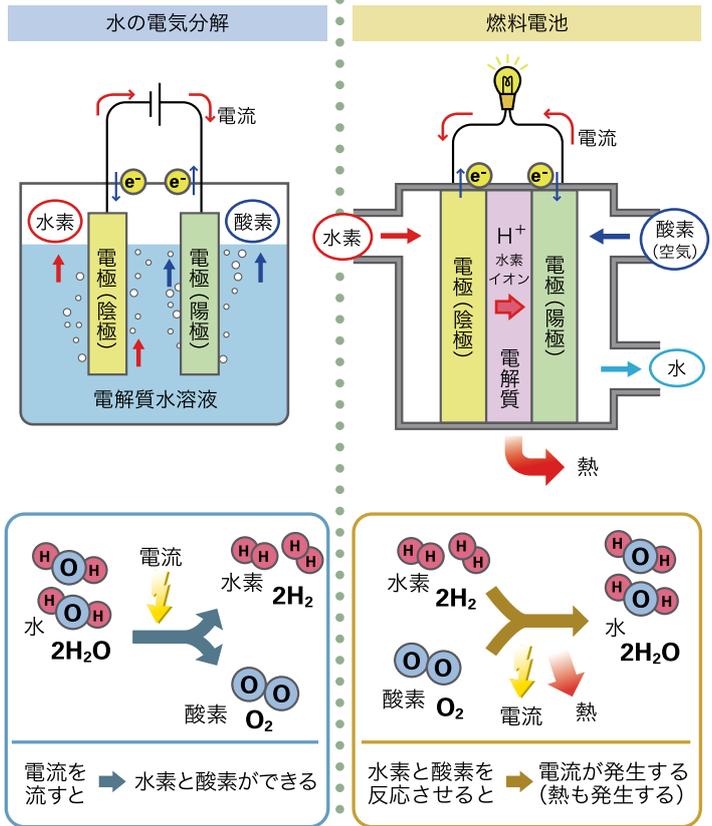
## 燃料は水素と酸素

燃料と聞いて思い浮かぶのは石油やガス、木炭などです。いずれも燃やすと酸素と結びついて、二酸化炭素と熱や光などのエネルギーを出します。

ここで、授業で勉強した電気分解の仕組みを思い出してください。電気分解では水に電流を流すことで、水素と酸素とに分解しました。燃料電池は電気分解の反対の反応を利用しています。つまり、水素と酸素を反応させて電流と熱を取り出しているのです。

参考：NEDO 技術開発機構 HP より

### 電気分解と燃料電池の化学反応



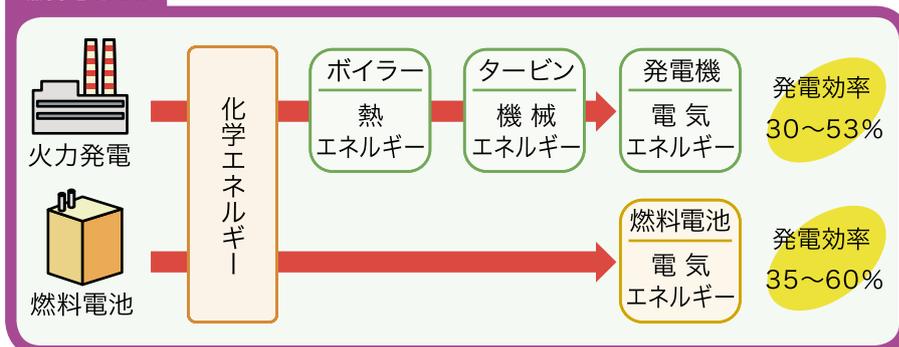
## 燃料電池の特徴

火力発電の場合は石炭などを燃やしてお湯をわかし、水蒸気でタービンを回して発電機を動かしています。この各過程でエネルギーの損失が発生してしまいます。それに対して燃料電池は化学反応で直接発電するため、効率が高いという特徴があります。

燃料である水素と酸素は地球上に大量に存在しているので、枯渇する心配はありません。また酸性雨の原因となる大気汚染物質 ( $\text{NO}_x$ ,  $\text{SO}_x$ ) や地球温暖化の原因になる二酸化炭素も発生しません。排出されるのは水だけで、音も静かです。燃料電池は環境に配慮したクリーンなエネルギー源といえます。

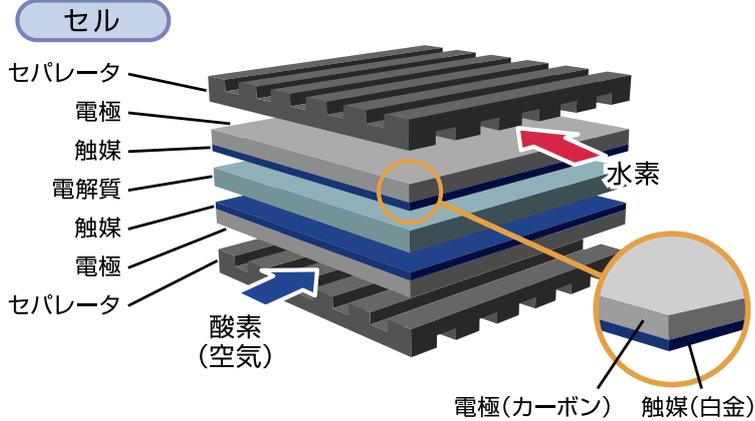
### 燃料電池とは

出典：NEDO 技術開発機構 HP より

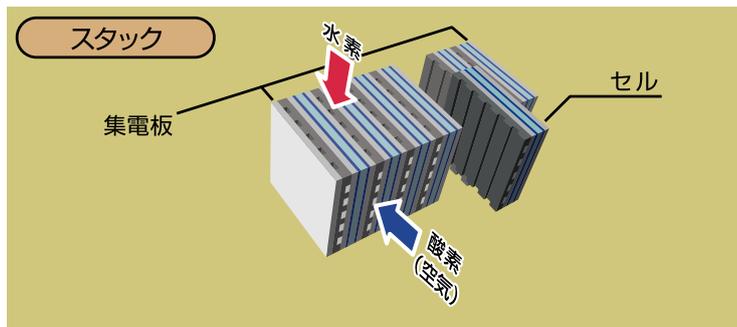


## 電気を作り出すしくみ

### 燃料電池の構造



燃料電池の本体は、板状の積み重ねです。その一つの単位を「セル」といいます。一つのセルが作る電気の量はわずかですが、それを積み重ねることによって大きな電気がえられます。セルの積み重ねを「スタック」と呼んでいます。



出典：NEDO 技術  
開発機構 HP より

燃料電池は2つの電極の間に、電気を通しやすい電解質をはさんだ構造になっています。それぞれの電極には外部から酸素と水素が供給されます。また化学反応を起こしやすいするため、触媒と呼ばれる物質を利用しています。この組み合わせをセルと呼びます。ひとつのセルが発電する電圧は低いですが、必要に応じてたくさんのセルを積み重ねることで、高い電圧が得られます。

## 燃料から水素を取り出す

地球上にある水素のほとんどは、他の元素と化合した状態で存在しています。そこで燃料電池で使用するには、まず天然ガスやアルコール、ガソリンなどの水素原子を含んだ物質（原燃料）から水素を取り出す作業が必要です。この作業を改質と呼びます。

よく使われるのは原燃料に高温の水蒸気を加える水蒸気改質法です。たとえば天然ガスに含まれるメタンを原燃料にした場合は、以下のような反応になります。



改質の行程で二酸化炭素が発生し、さらに改質に必要な高温の水蒸気を作るときにも二酸化炭素が発生しますが、従来の火力発電などよりは少ないので、トータルでは二酸化炭素の削減になります。

## 燃料電池の種類と応用

燃料電池には電解質や化学反応を起こす温度によって、いくつかの種類があります。高い温度が必要なタイプは発電効率はいいのですが起動や停止に時間がかかります。そのため大規模な発電施設や工場などで使われています。

100℃以下の低温で運転できる固体高分子型は、比較的小型で起動にあまり時間がかからないため、家庭での利用や自動車への搭載などが期待されています。

このほか、改質が不要でメタノールを直接使えるダイレクトメタノール型燃料電池も開発が進んでいます。メタノールを補充すれば電源がない場所でも、また充電をしなくても使えることから、ノートパソコンや携帯電話などの携帯用途での活用が期待されています。

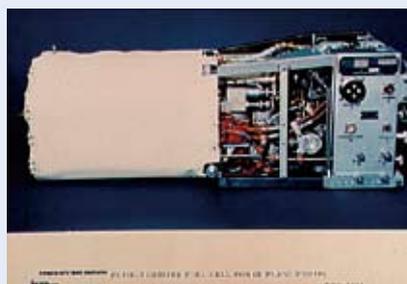
燃料電池の種類

参考：NEDO 技術開発機構 HP より

	固体高分子形 (PEFC)	りん酸形 (PAFC)	固体酸化物形 (SOFC)	熔融炭酸塩形 (MCFC)	ダイレクトメタノール型 (DMFC)
原燃料	都市ガス, LPG, メタノール等				メタノール
電解質	固体高分子膜	りん酸	安定化ジルコニア	炭酸塩	イオン交換膜
運転温度	70～90℃	200℃	700～1000℃	650～700℃	100～300℃
発電効率 (HHV)	30～40%	35～42%	40～65%	40～60%	50～60%
発電規模	数 W～数百 kW	20kW～1 万 kW	1kW～数十万 kW	数百 kW～数十万 kW	数 W～数百 kW
開発段階	研究～実用化段階	商用化段階	研究～実用化段階	実証段階	研究～実用化段階
装置例	家庭用, 自動車	病院, 工場, ホテル	工場, 分散発電	大規模発電施設	携帯用

## コラム 宇宙で使われる燃料電池

燃料電池が実用化されたのは宇宙開発のためでした。宇宙には空気（酸素）が存在しないため、ガソリンエンジンで発電機を動かすことも、火力発電所のように火を使って電気を起こすこともできません。もちろん密閉された宇宙船の中で火を使うなどして空気を汚すわけにはいきません。そこで 1960 年代に宇宙開発に乗り出したアメリカは、宇宙船の動力源として燃料電池を実用化しました。排出した水も飲み水に利用できる燃料電池は、宇宙開発にとってこのエネルギー源です。



スペースシャトルで使われている米国 UTC Power 社の燃料電池

写真提供 NASA

## 使う場所で発電できる燃料電池

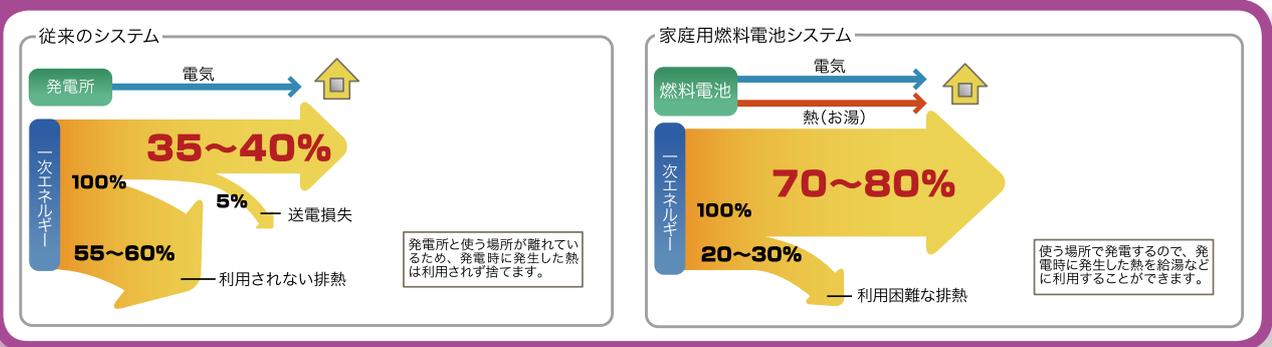
中でも注目を集めているのが、家庭用の燃料電池です。電力会社の発電所は多くの場合、石油などの燃料の輸送に便利な海のそばや水力を利用しやすい山の中にあります。そのため発電した電気を使用する場所まで運ぶ途中でエネルギーの損失が発生しています。

それに比べて家庭用の燃料電池システムでは、使う場所で発電ができるため送電による損失が発生しません。また、発電のときに発生する熱を回収して給湯や暖房などに利用できるため、最終的なエネルギーの利用率を高めることができます。

現在 NEDO 技術開発機構により、大規模な実証実験が行われています。平成 18 年～20 年の 3 年間に全国で約 2200 件、川崎市では 14 件の家庭用燃料電池システムが設置されています。

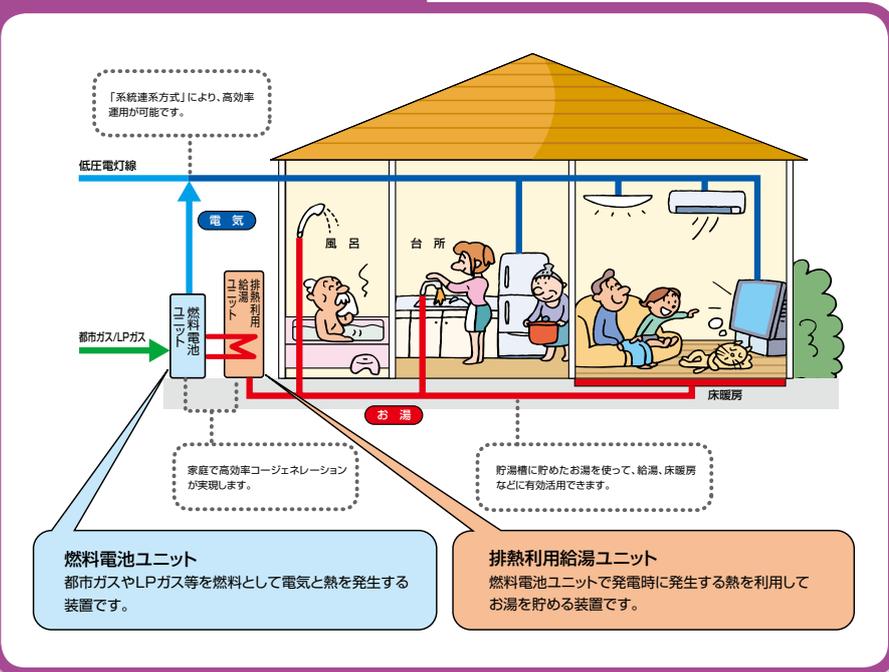
出典：NEDO 技術開発機構 HP より

### 家庭用燃料電池の効率



## 電気と熱が利用できる家庭用燃料電池

### 電気とお湯が利用できる家庭用燃料電池



川崎市川崎区にある東芝燃料電池のシステムの家庭用燃料電池は、都市ガスやプロパンガスを原燃料として700Whの電力を発電します。また発生した熱を回収することで、60℃の温水が利用できます。燃料電池ユニットの大きさはエアコンの室外機よりやや大きめで重さは100kg程度です。給湯ユニットには200リットルのお湯が貯められます。

このシステムを1年間使用した場合の二酸化炭素の削減量を試算すると、燃料電池の二酸化炭素発生量は

### 家庭用燃料電池システムの例



約1トンで20～40%の削減になります。  
これは約100本の樹木が1年間に二酸化炭素を吸収する量に相当します。

左側が燃料電池ユニット  
で右側が給湯ユニット。

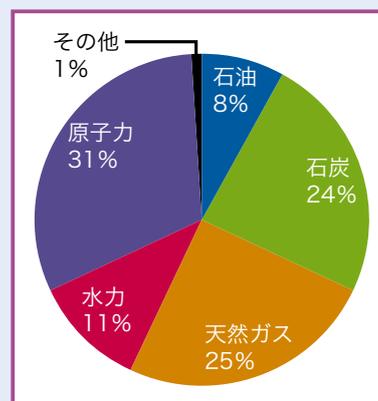
### Let's Research

家庭で使われている電気製品の消費電力を調べてみよう。

## コラム 新エネルギーとして注目を集める燃料電池

日本の電力は約6割が石油や石炭、天然ガスを燃やす火力発電で作られています。水力発電は1割、原子力発電は約3割です。石油や石炭などは掘りつくせばなくなってしまいますし、燃やせば燃やすほど二酸化炭素も発生します。また原子力には、需要に合わせた出力の調整が難しい欠点があります。二酸化炭素の排出が少ない燃料電池は、新エネルギーとして期待されています。

2005年の日本国内の発電量の内訳  
出典：「原子力・エネルギー図面集」2007年版（電気事業連合会）



## インタビュー 燃料電池が開く新しい世界

今までの発電所は発生した熱を海に捨てていました。燃料電池は熱も利用することでエネルギーの利用率を高くした、究極の分散型発電システムです。2010年頃には商品として提供したいと考えています。

現在は都市ガスやLPGで水素を作っていますが、今後は少しずつ、水素社会が広がっていきます。すでに首都圏には10箇所の水素ステーションがあります。また我々も国土交通省や大阪ガスと共同で、マンションの屋上に水素を作る実験を始めています。各戸で水素を作る必要がなくなると、装置がコンパクトになります。さらにガス機器を水素に対応させれば、燃料の利用効率が50%以上まで向上します。

将来的には太陽光や風力などの再生エネルギーで水素を作って、貯めておいて発電する。そういう水素社会が考えられます。水素社会のエネルギー（電気と熱）

を作り出す手段として、燃料電池はますます重要になっていきます。我々も一生懸命、技術開発と製品化を進めています。

都市ガスや天然ガスから水素を作っても、二酸化炭素を20～40%低減できます。水素社会ができるまでの20年、30年はこれを使えばいいでしょう。今の中学生が働き盛りになる頃には燃料電池が普及して、水素社会がたちあがっていくかもしれないですね。



東芝燃料電池システム株式会社  
技師長 永田裕二さん

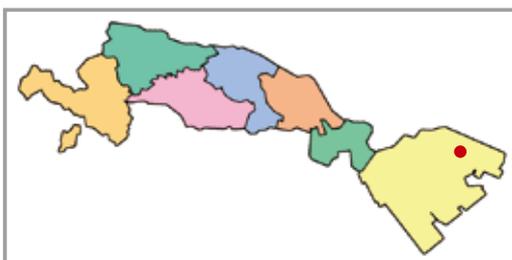
# 東芝燃料電池システム株式会社 研究開発部門



場所：〒210-0862 川崎市川崎区浮島町 4-1

<http://www.toshiba.co.jp/product/fc/>

※問い合わせはホームページより



## More Information

燃料電池アカデミー (東京ガス)

<http://www.tokyo-gas.co.jp/pefc/>

燃料電池の歴史や種類を調べよう。

燃料電池一じっくり読める FC 講座 (日本ガス協会)

<http://www.gas.or.jp/fuelcell/>

楽しみながら燃料電池について調べよう。

よくわかる! 技術解説/環境技術分野 (NEDO)

<http://app2.infoc.nedo.go.jp/kaisetsu/evm/>

燃料電池をはじめ、地球に優しい環境技術を調べよう。

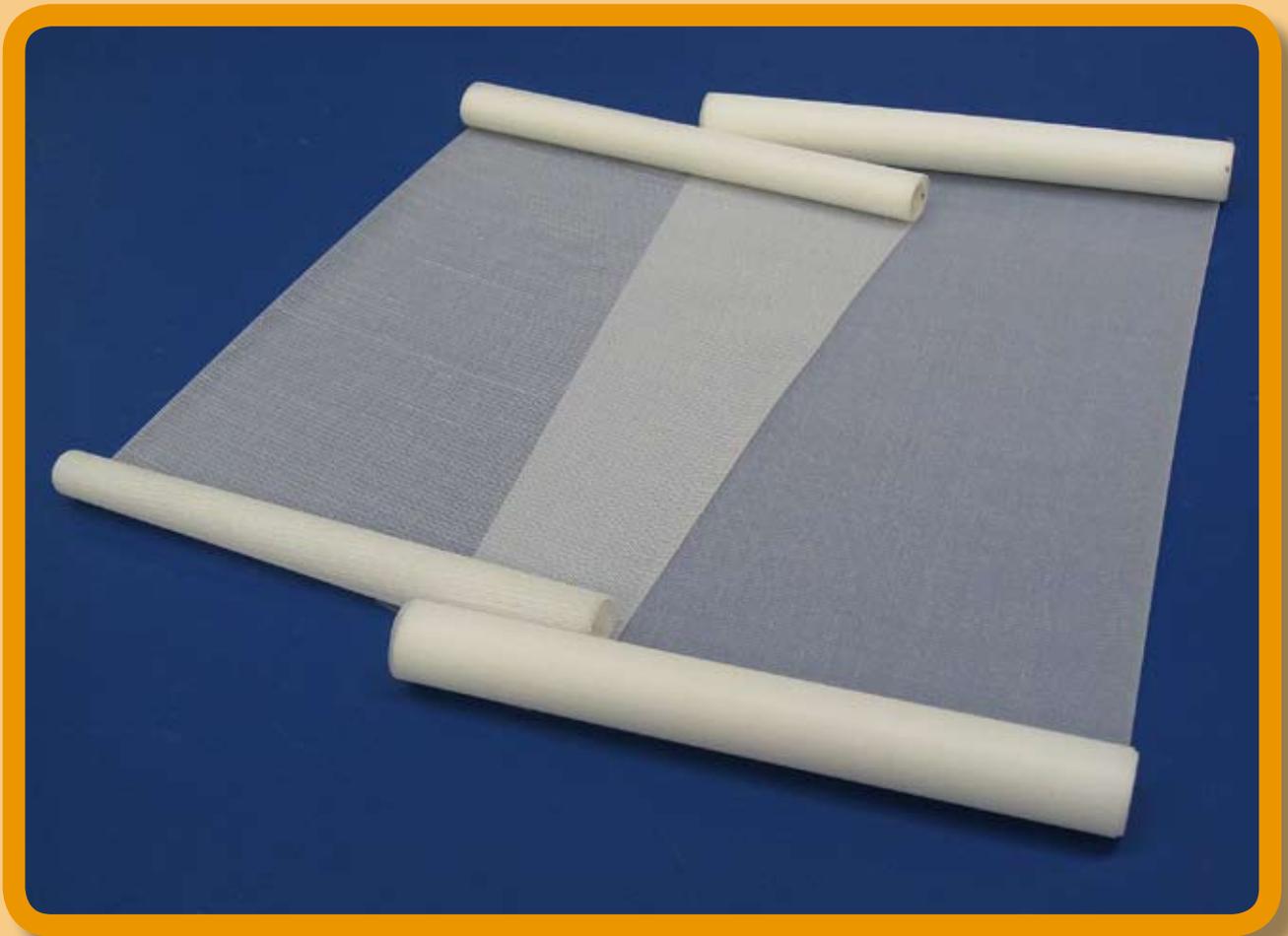
定地用燃料電池大規模実証事業 (新エネルギー財団)

<http://happyfc.nef.or.jp/>

家庭用燃料電池の設置状況が分かる。

## Keywords

次のキーワードを組み合わせて、インターネットの検索エンジンで調べてみよう。  
電池の種類/電解質/電極/触媒/固体高分子型/ダイレクトメタノール型/  
コジェネレーション/分散型発電/水素社会/水素の貯蔵法



イオン交換膜

## イオン交換膜

# 海中の資源を 取り出して活用する

海水には塩分だけでなくさまざまな成分が溶け込んでいます。これをうまく活用することができれば、資源に乏しい日本にとって有用なものになるでしょう。日本では古くから海水から塩分を取り出して利用してきました。現在ではさまざまな物質を海水から取り出して、産業に使っています。

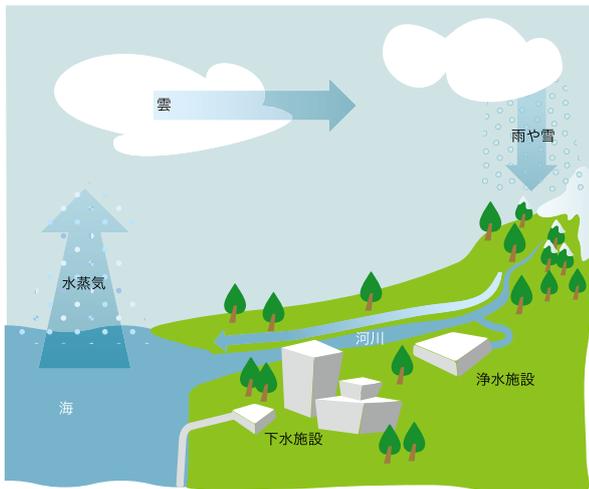
## 水の循環

地球の表面の約70%は海です。地球には14億立方kmの水があると計算されていますが、そのうち97%が海水です。

海水に溶け込んでいる塩分は、はるか昔に大気や岩石に含まれていた成分が雨に溶けて海に流れ込んだものといわれています。海水は太陽によって暖められて水蒸気となり、雲となって雨や雪を降らせ、川の水となり海に流れていきます。海水が水蒸気になるとき、水分のみが蒸発して塩分が海に残り、次第に海水が塩辛くなっていったと考えられています。

また川を流れる水には塩分のほか、上流の岩石や土から溶けだしたさまざまな成分を含んでいます。そのおかげで長い年月の間に塩素やヨウ素、ナトリウムやカルシウム、マグネシウムや鉄などが流れ込んで、海水中に溶け込んでいます。

水の循環図



海→雲→雨(雪)→山間部→河川→人の生活→河川→海

### Let's Research

海水がどのように産業に利用されているのか調べてみよう。

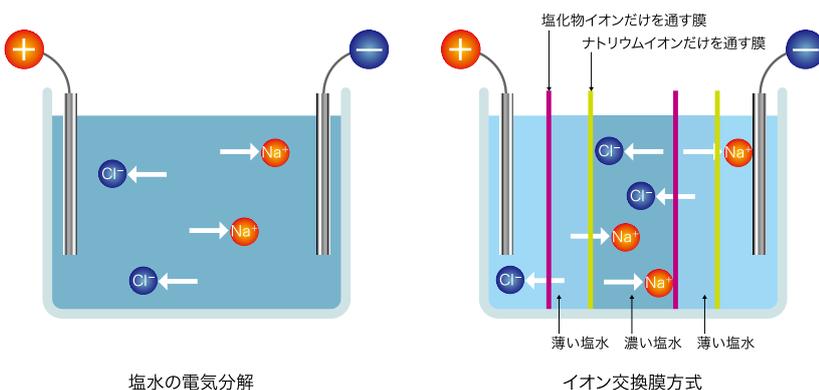
## 海水から塩を作る

家庭で利用する食塩(塩化ナトリウム)は、海水から作られています。かつては塩田と呼ばれる浅い池に海水を入れて、太陽熱で水を蒸発させていました。最近ではより効率的に海水から塩化ナトリウムを取り出すため、電流を利用した「イオン交換膜方式」が使われています。

塩化ナトリウムが水に溶けているとき、「塩化物イオン」と「ナトリウムイオン」という、電気を帯びた2種類の粒子に分かれています。塩化物イオンはマイナスの電気を、ナトリウムイオンはプラスの電気を帯びているため、海水に電流を流すと、プラスの電極(陽極)側に塩化物イオンが、マイナスの電極(陰極)側にナトリウムイオンが移動します。これが塩化ナトリウム水溶液の電気分解です。

このとき、二つの電極の間にプラスイオン(陽イオン)だけを通す膜とマイナスイオン(陰イオン)だけを通す膜をはさむことで、塩水を真水と濃い塩水に分けることができます。この濃い塩水を煮詰めることで食塩を製造できるので

イオン交換膜方式の模式図



## 海は資源の宝庫

海水には塩化ナトリウム以外の物質も溶け込んでいて、古くから利用されてきました。代表的なものでは「にがり」があります。にがりは海水を蒸発させて得られる粗塩から塩化ナトリウムを除いた、塩化マグネシウムや塩化カルシウムなどで、豆腐を固めるのに使用されています。

現在では、食塩やにがり以外にもさまざまな資源を海水から取り出すことに成功しています。電気分解を利用して海水から塩素と水酸化ナトリウム（苛性ソーダ）を取り出し、産業に利用しています。塩素は電子部品や合金、ビニールやプラスチックの製造などで幅広く利用されています。水酸化ナトリウムはガラスや洗剤、医薬品の製造に利用され、工業製品にとっていずれも不可欠なものです。

にがりの成分である塩化カリウムや塩化マグネシウムもさまざまな工業製品の原料になるほか、臭素やリンなどの物質も海水から取り出して産業に利用されています。

海水 1kg に含まれる主な資源

塩素	19350mg
ナトリウム	10780mg
マグネシウム	1280mg
カルシウム	412mg
カリウム	388mg
臭素	67mg
ストロンチウム	7.8mg
モリブデン	0.01mg
ウランウム	0.0032mg
マンガン	0.000002mg
金	0.00000002mg

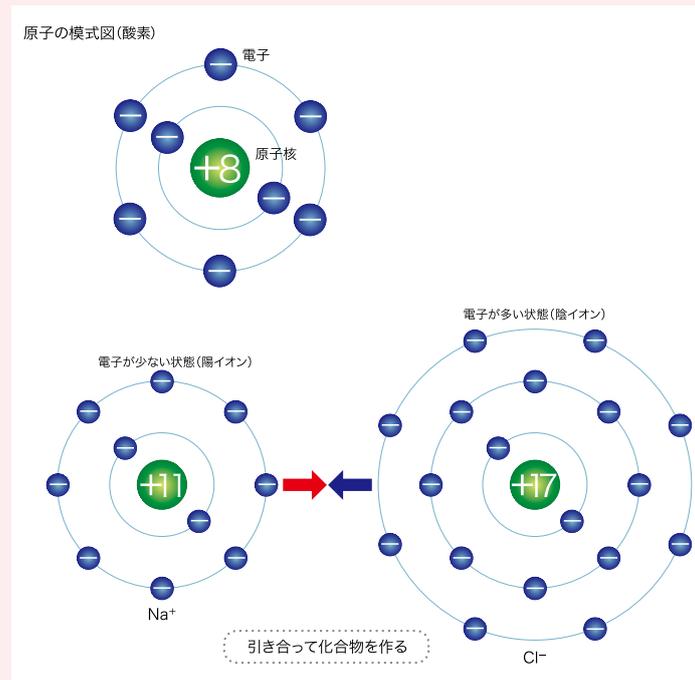
(mg は 1 ミリグラム : 1000 分の 1g)

## コラム 原子とイオン

原子は、原子核と電子というさらに小さな粒子からできています。電子はマイナスの電気を帯びており、たとえば水素原子は 1 個の電子を、酸素原子は 8 個の電子を持っています。また、原子核はその原子がもっている電子と等しい数のプラスの電気を帯びており、原子全体として電気的には中性となっています。

原子の持つ電子が通常より多い、あるいは少ない状態をイオンといい、たとえばナトリウム原子 (Na) から電子が 1 個不足した状態をナトリウムイオン ( $\text{Na}^+$ )、塩素原子 (Cl) に電子が 1 個余分にある状態を塩化物イオン ( $\text{Cl}^-$ ) といいます。塩化ナトリウム ( $\text{NaCl}$ ) が水に溶けると、ナトリウム原子この持つ電子 1 個が塩素原子に移動し、水溶液中ではそれぞれイオンの状態になって存在しているのです。

原子の構造模式図と塩化ナトリウムの模式図



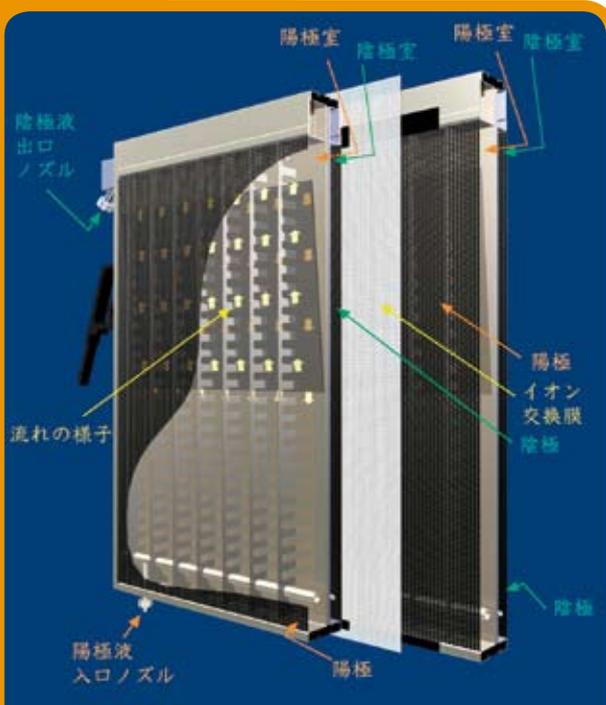
## イオン交換膜法の開発

川崎市川崎区に製造所がある旭化成ケミカルズでは、1950年代からイオン交換膜の研究開発を続けてきました。1975年にはイオン交換膜を使って海水や岩塩を水にとかしたのから水酸化ナトリウム：(NaOH)や塩素(Cl<sub>2</sub>)を製造する設備を世界で初めて稼働させました。

以前は水銀を電極として電気分解で水酸化ナトリウムや塩素を作っていました。けれども水銀は有毒で、工業排水が公害病を引き起こしたこともありました。そのため日本では国が指導をして、水銀を使わないイオン交換膜方式を開発しました。

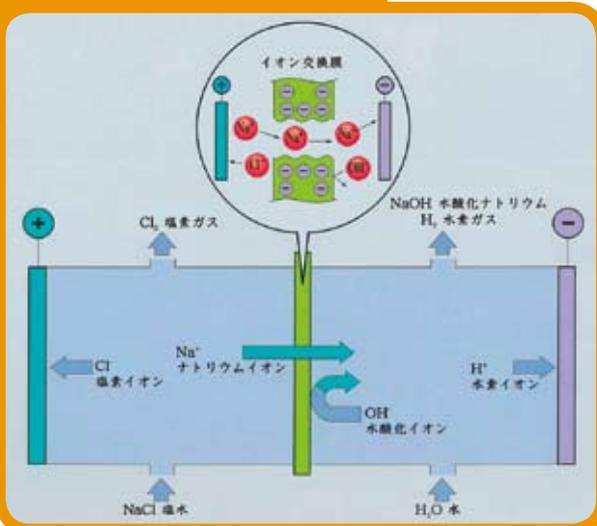
この方法はプラスイオンだけを通すイオン交換膜を使って、塩素ガスと水酸化ナトリウムを取り出しています。従来の方法に比べて省エネルギーで無公害である点が高く評価されています。

### 電解層の構造



イオン交換膜をはさんで2つの電極が配置されている。

### イオン交換膜の基本的な役割と機能



## コラム 海水から飲み水を作る

海水から塩を取り出すということは、塩分と真水（淡水）に分けることでもあります。海水から淡水を作ることができれば、雨や河川が少ない地域でも海があれば真水が得られます。中東の砂漠地帯や大きな河川のない離島などでは、さまざまな方法で海水から飲み水を作り出しています。火力発電所などの余熱を利用して海水を蒸発させる方式や、水は通すものの塩分などは通さない特殊なる過膜を使う方式が代表的ですが、イオン交換膜を利用した方式も使われています。



伊豆大島の海水淡水化装置  
毎日 4500m<sup>3</sup> の飲料水を供給しています。

イオン交換膜にもさまざまな種類があります。旭化成ケミカルズも以前は海水等から食塩を取り出し淡水化するタイプの膜や、血液の老廃物をこし取る医療用の膜も開発していました。現在それらは同じグループの関連会社で事業が行われています。

### Let's Research

イオン交換膜が特定のイオンだけを通すしくみを調べてみよう。

## 川崎発の技術が世界のトップに

現在、旭化成ケミカルズは水酸化ナトリウムを生産するためのイオン交換膜を主に製造していますが、膜だけでなく電極や電解槽などを含めた装置全般についても、長年の経験から得た技術の蓄積があります。

世界で製造されるイオン交換膜の約50%、イオン交換膜を利用した塩素や水酸化ナトリウムの製造設備の約30%を占め、いずれも世界一の規模となっています。

イオン交換膜法の製造装置



ドイツ BASF 社で稼働中の苛性ソーダ生産設備。

## インタビュー まだまだ進化するイオン交換膜

数十年前の話ですが、海水でイオン交換を行うと海水中のナトリウムイオンと同様にカルシウムイオンも電極に引っ張られてイオン交換膜に貼りついてしまい、効率が落ちるという問題がありました。ところが川崎事業所では、この問題がなぜか起きないのです。これは当時評価に使った海水にごく微量の洗剤などに使われている成分が含まれていて、それが膜に付着して、カルシウムイオンをはじくような作用をしていたためです。今ではこの技術はイオン交換膜で普通に使われています。

関係のない成分が混じってしまったのは理科の実験で言えば失敗ですが、失敗を分析することで新しい技術が見つかりました。こういった物質を選択的に通す



旭化成ケミカルズ株式会社 川崎製造所 交換膜製造部 部長 片寄 満さん

イオン交換膜技術はいつか金やウランのような資源を海から集めるために使われるかもしれません。

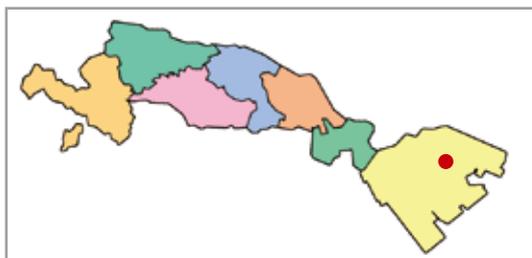
私は 25 年間イオン交換膜の開発と製造にたずさわってきましたが、まったく飽きません。まだまだ技術的にやることが残っていると思います。

# 旭化成ケミカルズ株式会社 川崎製造所

場所：〒210-0863 川崎市川崎区夜光 1-3-1

<http://www.asahi-kasei.co.jp/chemicals/>

問い合わせ先：044-271-2021



## More Information

世界の塩・日本の塩 (たばこと塩の博物館)

<http://www.jti.co.jp/Culture/museum/sio/>

スーパーマーケットでさがせ！ 塩のひみつ (たばこと塩の博物館)

<http://www.jti.co.jp/Culture/museum/tokubetu/eventJuly06/>

塩についていろいろ調べてみよう。

日本原子力研究開発機構・高崎研究所

<http://www.jaea.go.jp/jaeri/jpn/publish/01/ff/ff43/topics.html>

海水からウランを取り出す技術を調べてみよう。

## Keywords

次のキーワードを組み合わせ、インターネットの検索エンジンで調べてみよう。

海水の淡水化／海水中の資源／イオン交換膜／カチオン膜／アニオン膜／ソーダ工業／酸とアルカリ／再結晶