

水素科学の フロンティアに触れてみよう

● 監修 高エネルギー加速器研究機構 物質構造科学研究所 教授 大友 季哉^{としや}氏
高エネルギー加速器研究機構 素粒子原子核研究所 教授 磯 暁^{さとし}氏

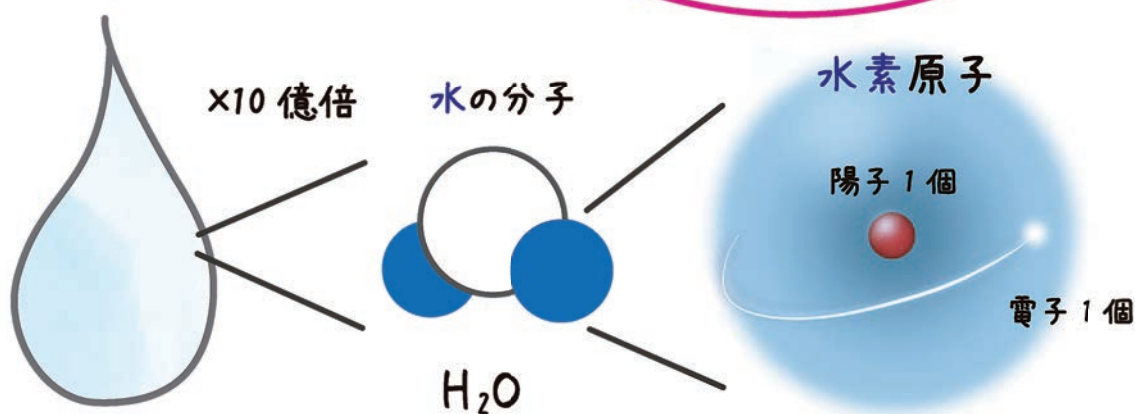
イラスト提供：大島 寛子氏・餅田 円氏

水素はふだんの生活であまりなじみがないように感じるかもしれませんが、実は宇宙も太陽も地球も、そして私たち人間も、水素なしに存在することはできません。まさに生命の源ともいえる物質です。

水素科学のフロンティアに触れ、水素社会について考えてみましょう。

水素って？
＝水の素（もと）

英語では Hydrogen
＝ラテン語の Hydrogenium
（水を生むもの）



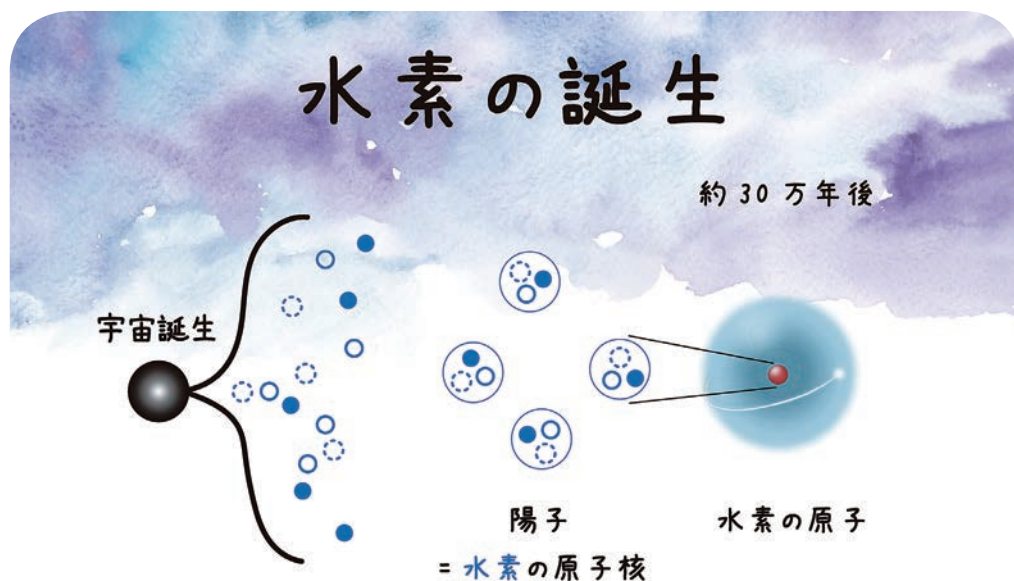
水素のキホン

水素は「水」の「素」と書き、その名のとおり、酸素と結びつくことで水になる元素です。元素記号はH。ラテン語の Hydrogenium の略で「水を生むもの」という意味を持ち、英語の Hydrogen の語源にもなっています。水素は原子核である陽子1個と電子1個で構成される最も単純な元素で、元素周期表の最初に登場することでもよく知られています。

Q1 水素はいつ、どうやって誕生したの？

A1 ビッグバンの直後、宇宙で最初に生まれた元素です。

約138億年前のビッグバンにより宇宙が生まれ、その直後に水素原子をつくっている陽子や電子が誕生しました。さらに30万～40万年後、陽子が電子をとらえ、水素原子が誕生します。それらは水素ガスとなって宇宙空間に広がり、星間物質として現在の宇宙を構成しました。水素は全宇宙の元素のおよそ90%を占め、最も多く存在する物質です。



Q2 地球上の水素について教えてください。

A2 ほとんどが水(H₂O)として存在しています。

地球を構成する元素としては、酸素、ケイ素に次いで3番目に多いのが水素です。水素(H₂)は酸素(O₂)と結びつくことで水(H₂O)となります。水の惑星といわれる地球では、水素は気体としてではなく、酸素と結びつくことで安定した状態の水として存在しています。水素は常温常圧では非常に軽い気体であるため、地球の重力では大気中に留まらせることができません。

地球には？

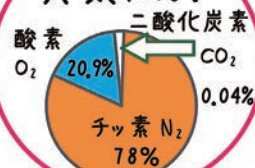
水素

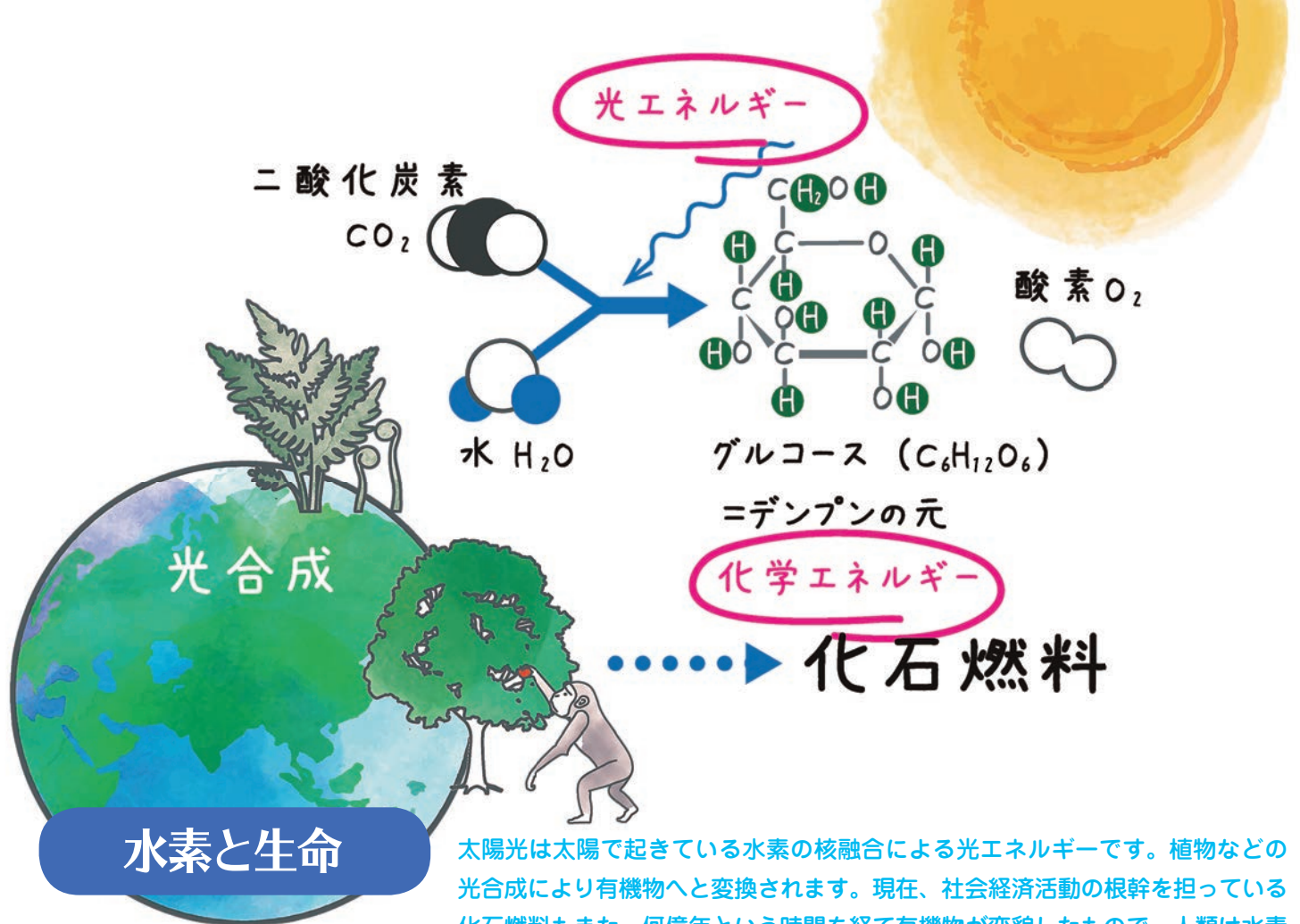
ほとんどは水として存在

H₂O



大気には？





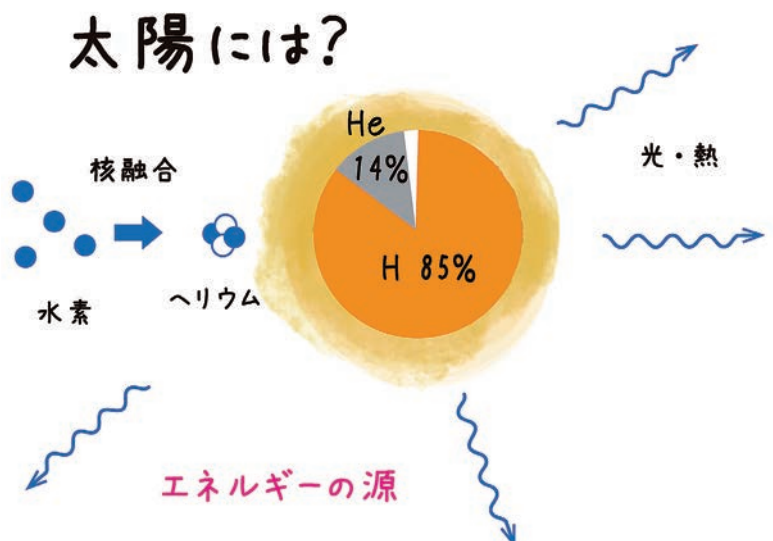
太陽光は太陽で起きている水素の核融合による光エネルギーです。植物などの光合成により有機物へと変換されます。現在、社会経済活動の根幹を担っている化石燃料もまた、何億年という時間を経て有機物の変化したもので、人類は水素を源とするエネルギーを利用することによって生活を豊かにしてきたと言えます。

Q3 水素は生命にとってどんな役割を果たしているの？

A3 太陽エネルギーの源として、地球の生命活動を支えています。

ビッグバンによって水素が生まれ、宇宙が形づくられていき、太陽のような恒星も水素ガスが高密度に集まることで誕生しました。太陽は、その85%が水素によって構成されています。水素の原子核同士による核融合反応※でエネルギーが生み出され、それが光や熱として地球に届いているのです。

太陽エネルギーは地球の生命の源です。植物は太陽の光によって光合成を行い、酸素とデンプンなどの有機物を生産しています。この有機物は地球上の動物が外部から得られる唯一のエネルギー源であり、生命活動を支えています。太陽エネルギーがなければ、つまり、水素がなければ私たち人類も存続していくことはできないのです。



※ 核融合反応：水素などの軽い原子核同士が高温・高压状態で1つに融合することによって、ヘリウムなどの重い原子核をつくり、巨大なエネルギーを発生させること

Q4 水素は人体にとってはどんな存在ですか？

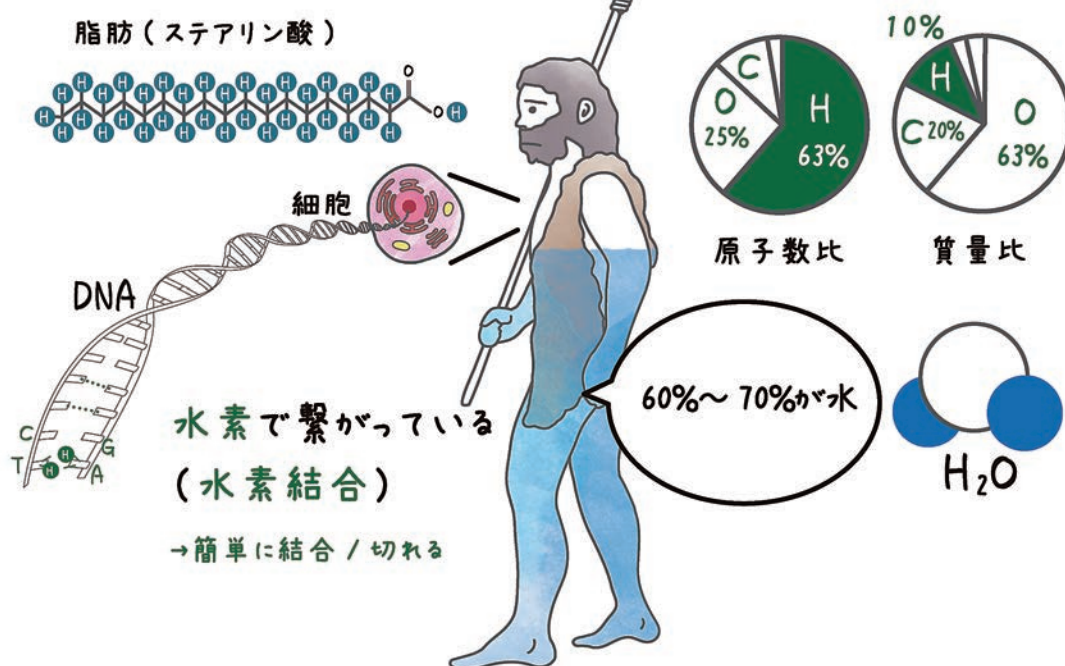
A4 タンパク質やDNA、そして水を構成し、エネルギー産生に関与するなど、必要不可欠な物質です。水素結合のほどよい「ゆるさ」は生命活動の根幹を担っています。

水素は人体を構成するうえで最も重要な元素の1つで、全体の63%を占めています(原子数比)。質量でも酸素(O)、炭素(C)に次いで3番目で(10%)、例えば体重60kgの人の場合なら約6kgが水素の重さということになります。

水素は人体のなかでそのほとんどが水として存在していますが、ほかにもタンパク質や脂質の材料として、さらに生命の設計図と呼ばれるDNAで重要な働きをするなど、まさに私たちの生命活動に欠かせない物質なのです。

DNAは、はしごをひねったような二重らせん構造となっていて、それぞれアデニン(A)とチミン(T)、グアニン(G)とシトシン(C)という塩基がペアになって結びついています。それらを結びつけているのが水素で、その結びつきは「水素結合」と呼ばれています。DNAが複製や転写を行うことで細胞分裂などの生命活動が起こります。それには塩基のペアが簡単にほどけたりくっついたりする必要があり、そのほどよい「ゆるさ」を実現しているのが水素なのです。また、細胞内ミトコンドリアでは内外の水素イオン濃度差を原動力としてエネルギー物質をつくり出しています。まさに生命の根幹です。

私たちの体には？



“燃える気体” 水素の発見

人類が発見したのはわずか250年ほど前。1766年にイギリスの化学者ヘンリー・キャベンディッシュ(1731～1810年)が、金属片と硫酸や塩酸などを反応させることで空気より軽く、燃えやすい特徴を持つ気体を発見しました。



H. Cavendish

Q5 水素はどんなふうに使われているの？

A5 産業用から家庭用まで幅広く使われています。

水素は空気よりも軽いという特徴を利用し、20世紀前半には気球や飛行船を浮かべるためのガスとして使われました。日本ではガス灯や都市ガスとしても利用されました。

現在、国内で最も水素が使われているのは石油精製分野です。ほかの分子と結びつきやすいという水素の性質を利用し、硫黄などの不純物を取り除き、ガソリンや天然ガスを製造する際に活用しています。また、農業分野で広く使われているアンモニア肥料も水素が原料です。空気中のチッ素分子と水素を結合させることでアンモニアを合成しています。このほか水素で発電する燃料電池もエネファームとして家庭に広く普及しているほか、宇宙ロケットの燃料にも液体水素が使われるなど、私たちの社会に水素は深く浸透しています。

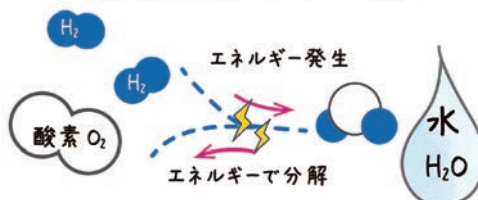
Q6 水からも水素は取り出せますか？

A6 可能ですが、社会で広く使われるためには技術開発が必要です。

地球上の水素は、そのほとんどが水として存在しています。水(H_2O)を電気分解することで、水素(H_2)と酸素(O_2)を取り出すことができますが、それには大量の電力が必要です。

逆に水素は酸素と結びつくことで電気を発生させます。その性質を利用したのが燃料電池です。家庭用燃料電池として広まっているエネファームは、都市ガスやプロパンガスから水素を取り出し、酸素と結合させて発電させる仕組みです。また、燃料電池を搭載した燃料電池自動車は、電気自動車と並ぶ次世代のクルマとして普及が期待されています。現在、燃料である水素をクルマに供給するための水素ステーションの整備が各地で進められています。

水素をエネルギー源に



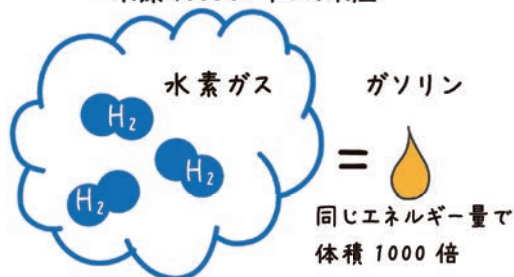
Q7 水素はどうやって貯めておくの？

A7 圧縮してタンクに貯蔵するほか、金属内部に貯蔵する研究も進められています。

水素は常温常圧では気体なので、かさばる物質です。燃料電池自動車の場合、ガソリン車並みの航続距離500kmを達成するには5kgの水素が必要です。クルマに載せるには水素ガスを1,000分の1程度に圧縮した状態にしなければなりません。現在の燃料電池自動車は700気圧の高圧水素タンクを搭載していますが、これがほぼ限界です。水素量を圧力だけで大きく増やすことはできないからです。

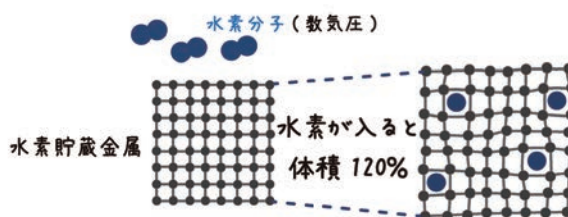
そこで現在、材料内部に水素を貯蔵する技術が開発されています。ランタン、チタン、ジルコニウムといった金属の場合、水素が原子として内部に入ると安定する性質があります。それらを利用して水素の出し入れが可能な水素貯蔵金属をつくることができます。より軽量で大量に水素を貯蔵できる材料の研究が進められています。

700 気圧のガスボンベ
= 水深 7000 メートルの水圧



ガスボンベの圧力は、ほぼ限界

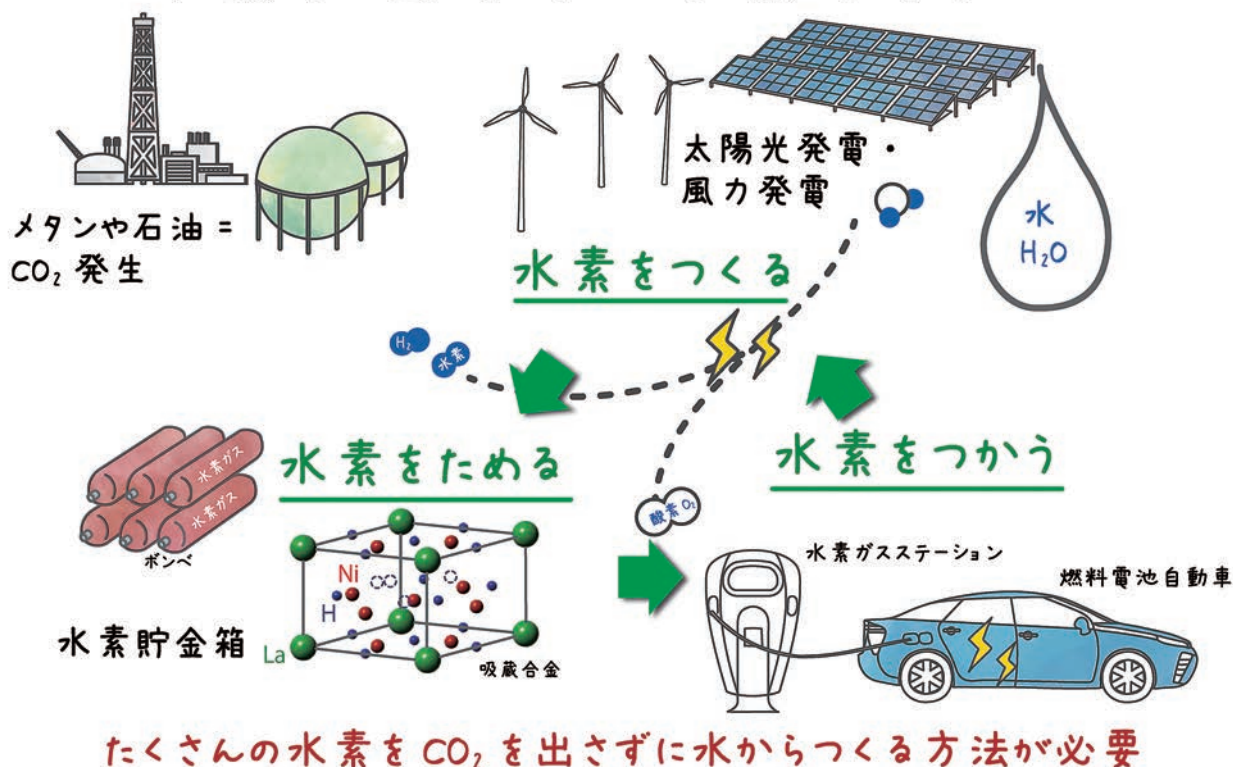
→ 新しいH貯金箱が必要



金属に水素を吸わせる貯金箱を開発中

水素社会という言葉が広まり、クリーンエネルギーを担うエネルギー媒体としての水素が注目されるようになりました。水をベースとした水素サイクルの実現に向け、さまざまな技術の開発が進んでおり、水素社会が確実に身近になりつつあります。

水素社会：水-水素サイクル



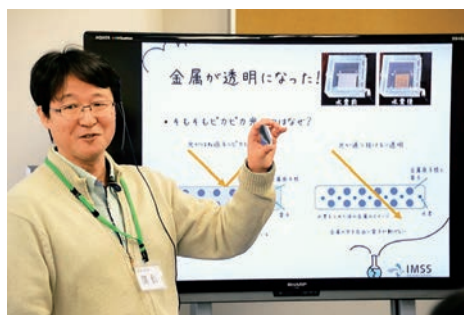
Q8 水素の未来について教えてください。

A8 水素エネルギーを活用した水素社会の到来が望まれています。

水素は地球に大量に存在し、エネルギーとして使っても水が排出されるだけで、二酸化炭素(CO₂)は発生しません。水素によってできた水は水蒸気となって大気に放出され、ふたたび雨となって地球を潤し、その水からまた水素を取り出せばエネルギーとして再利用できます。ただし、水素をつくるために CO₂ を大量に排出すれば、意味がありません。水素を産業や生活により良く活用し、環境にやさしいエネルギーサイクルを実現させた社会を水素社会と呼び、その実現に向けて官民を挙げた取り組みが行われています。

Profile

物質の構造と機能を探究する KEK 物構研



写真提供：KEK

「水素」を読み解くサイエンスカフェで解説する大友季哉教授

大学共同利用機関法人高エネルギー加速器研究機構(KEK)は、加速器を用いて物質の根源・構造・機能を解明するため、国内外の研究者の共同利用・共同研究のために設立された研究機関です。KEKの1機関である物質構造科学研究所(物構研)は、放射光、中性子、ミュオン、低速陽電子を活用し、原子レベルから高分子、生体分子レベルに至る幅広いスケールの物質構造と機能を総合的に研究し、利用技術などの開発研究を通して物質科学の発展に貢献しています。

KEK 物構研の大友季哉教授は、中性子を活用して物質の機能に及ぼす水素の役割を研究しています。大友教授、企画広報室の宇佐美徳子講師および餅田円氏(現・東京大学 物性研究所)と大島寛子氏から成るチームは、水素をテーマにして文部科学省の「一家に1枚」シリーズポスターを企画・制作しました。完成したポスターは2016年度の科学技術週間に全国の小中高学校、協力科学館などに約24万枚配布され、好評を博しました。本誌では個々の素粒子の背後にある真空や時空の性質を探究しているKEK 素粒子原子核研究所の磯崎教授ご協力の下、水素ポスターの内容に基づいて大友教授に解説していただきました。