一家に1枚

水素

原子番号1番。最もシンプルな構造を持つ元素「水素」は、宇宙で最初に生まれた元素でもあります。その長い歴史に比べ、人類が水素を知ったのはわずか250年前のこと。以来、私たちは様々な場面で活躍する水素を発見し、新たな利用法を生み出してきました。未来へつながる水素の可能性を、一緒に探しにいきましょう。

元素周期表の1番!

H								He
Li	Be			B	C	N	O	F	Ne
Na	Mg			Al	Si	P	S	Cl	Ar

元素記号Hはラテン語のHydrogenium(水を生むもの)の略。日本語でも「水の素」だね。

1766年、イギリスの化学者ヘンリー・キャベンディッシュは金属と強酸の反応で、燃える気体「水素」が発生することを発見しました。2016年は水素発見から250年目の節目に当たります。

私が発見しました。

宇宙と水素

宇宙で最初にできた原子

宇宙誕生直後の約3分間、超高温の宇宙は急激に膨張しながら冷え、陽子や中性子が誕生した。陽子、つまり水素原子核の誕生である。そして宇宙誕生から30万～40万年後、陽子が電子を捉え、水素原子が誕生した。こうしてできた水素は、現在、宇宙構成元素の約90%(原子数比)を占めている。

H 90% 原子数比

水素で超伝導

木星中心部では水素そのものが超伝導になっていると予測されている。ポイントは超高圧。水素が超伝導の担い手である電子と電子のペアを作りやすくすることに加え、圧力で電子同士の距離が近づき、超伝導になっていると考えられている。

室温超伝導も夢じゃない!?

2014年、150万気圧ほどの超高圧下で、硫化水素が約-70℃で超伝導になることが発見された。この温度は高温超伝導のレコードであり、2015年現在も破られていない。

硫化水素 H_2S 常圧 → 超高圧 ?

温泉のニオイのもと

超伝導になるメカニズムを世界中の研究者が解明中。

エネルギーの源

原子数比でおよそ85%が水素で構成される太陽。その中心部では、水素の原子核からヘリウム原子核を作る核融合反応が起きている。このとき放出されるエネルギーが、地球にも光や熱として届いている。

He 14% H 85% 原子数比

水素の同位体

重さの違う水素たち

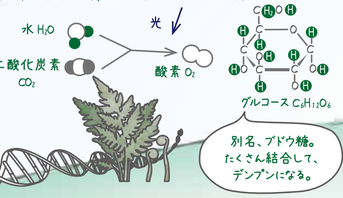
地球上に存在する水素の99.9%以上は原子核に陽子1個だけを持つ。およそ0.01%の割合で、陽子と中性子を1個ずつ原子核に持つ「重水素」が存在する。陽子1個と中性子2個を原子核に持つ「三重水素」はさらに少ない。

三重水素原子核(トリチウム)

太陽で起きている水素の核融合

光エネルギーを変換(光合成)

植物などが行う光合成は、光のエネルギーを利用して水と二酸化炭素からデンプンなどの有機物と酸素を作りだしている。この有機物は、現在も、地球上全ての動物が外部から得られる唯一のエネルギー源。



別名、ブドウ糖。たくさん結合して、デンプンになる。

水素ガスの産業利用、国内第2位!

窒素Nは植物に必要な元素。空気中の窒素分子N_2を水素と結合させて植物が使いやすい形のアンモニア(肥料)に変えている。(ハーバー・ボッシュ法)。

窒素 N_2 水素 H_2 → アンモニア NH_3

水素をアンモニアとして貯蔵。使用時にアンモニアから水素を取り出す技術も開発中。

水素と生命

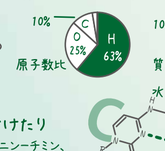
植物の葉や実からエネルギーを摂取

強い結合で結ばれている。

二重らせんの骨格は、糖と燐酸が交互に結合し、遺伝情報の文字の順番が変わったり、途切れたりしないよう

生物の中は水素だらけ

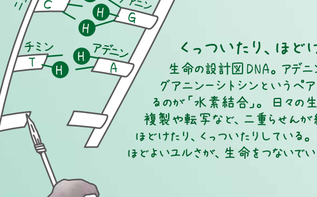
人体を構成する元素の中で、水素は原子数では1番多く、60%を超える。重量では酸素、炭素に次いで3番目。細胞の約3分の2を占める水として存在するほか、タンパク質、脂質、DNAなど、至る所に水素が存在する。



体重60kgの人なら約6kgが水素

くっついたり、ほどけたり

生命の設計図DNA。アデニン－チミン、グアニン－シトシンというペアを結んでいるのが「水素結合」。日々の生命活動で、複製や転写など、二重らせんが絶え間なく、ほどけたり、くっついたりしている。水素結合のほどよいユルさが、生命をつないでいる。

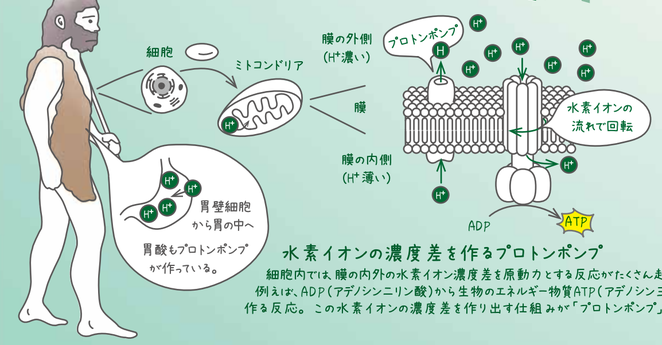


水素結合

酸素や窒素と結合している水素は、ちょっとだけプラスの性質を持っていて、酸素や窒素のようなちょっとだけマイナスの性質を持つ原子と結合を作る。

水素イオンの濃度差を作るプロトンポンプ

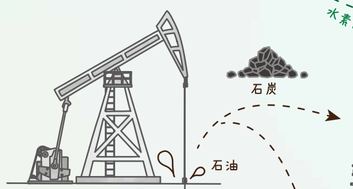
細胞内では、膜の内外の水素イオン濃度差を原動力とする反応がたくさん起きている。例えば、ADP(アデノシン二リン酸)から生物のエネルギー物質ATP(アデノシン三リン酸)を作る反応。この水素イオンの濃度差を作り出す仕組みが「プロトンポンプ」。



化石燃料も元は水素のエネルギー

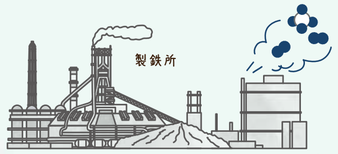
現代生活に欠かせない石油や天然ガスは、植物や動物の死がいが何万年の時を経て変化したもの。燃やすと地球温暖化の原因と言われる二酸化炭素が出ることや、将来的には枯渇してしまうことが問題視されている。

死がいが堆積、地熱と高圧力により長い年月をかけて分解、変質。

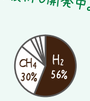


水素を作る使う

製鉄所

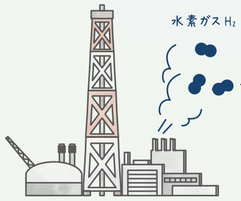


製鉄過程で、石炭を高温で熱分解するコークス炉では、副産物として水素ガスが年間80億m^3(大気圧、0℃)生成されており、水素の供給源として注目されている。



コークス炉ガスの代表的組成

精製



水素ガスの産業利用、国内第1位!

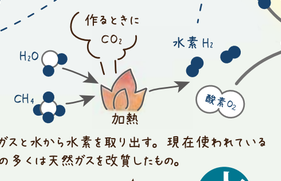
水素で不純物除去

H_2S 硫黄 NH_3 窒素

水素はくっつきやすいからね

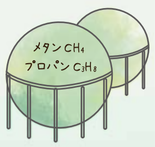
ガソリン CO_2

天然ガスから水素を取り出す



天然ガスと水から水素を取り出す。現在使われている水素の多くは天然ガスを改質したもの。

ガス



家庭用燃料電池(エネファーム)

天然ガスと燃料電池を利用

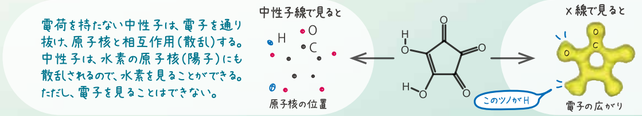
水 H_2O

水素を見る

物質中の水素を見るのは難しい

水素を見るためには、中性子線やX線などを利用した最先端の観測技術が必要になる。

電荷を持たない中性子は、電子を通り抜け、原子核と相互作用(散乱)する。中性子は、水素の原子核(陽子)にも散乱されるので、水素を見ることができる。ただし、電子を見ることはできない。



電磁波(光)の一種であるX線は、電子と相互作用する。電子が多い原子ほど見やすく、電子を1個しか持たない水素を見ることは難しい。ただし、電子を持たない水素イオン(H^+)を見ることはできない。

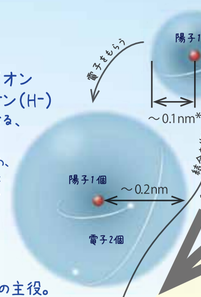
水素社会では、水素と材料が接する機会が多くなる。水素は物質中に入り込みやすく、入り込んだ水素は100万分の1(ppm)程度でも物質に大きな影響を与えることが分かってきた。こんなにもわずかな水素をどのように捉えるか、どのような仕組みで物質に影響を与えているのか。水素社会の到来とともに、私たちが考えていくべき課題の一つである。

水素のキホン

水素原子(H)

軽くて変幻自在、誰とでも仲良し。

陽子1個と電子1個から成る。電子1個の状態は不安定なので、自然界では単独で存在することはあまりない。電子を与えたりもらったりして、陽イオンにも陰イオンにもなりやすい。



水素化物イオン

別名 ヒドリドイオン(H^-)

酸素の代わりにもなる、大きな水素。

2個の電子同士が反発するため、イオン半径が大きく、他の原子に電子を与えやすい。水素化物イオンを積極的に使った超伝導体などの開発が最近注目されている。

水素イオン(H^+)溶液の性質を決める立て役者

水素イオン濃度(pH)が7より小さいと酸性になる。水溶液中では水分子とくっついてH_3O^+(オキソニウムイオン)の形で存在する。粒子プロトン(陽子)として、加速してがん治療にも。

水素分子(H_2)

最も軽い気体は、未来のエネルギーの主役。

水素原子2個が結合した分子。「水素」というと、水素分子を指すことも多い。常温常圧では、匂いも色もなく、安定な気体で、「水素ガス」ともいう。燃えても二酸化炭素を出さないエネルギー源として注目されている。

水素(H_2)って燃えやすいの?

空気に水素が4%混ざるだけで、燃えやすくなる。水素は軽く拡散しやすいため、すぐに上昇して濃度が薄くなり、横に広がらずに縦に長い炎となり短時間で燃える。逆に、空気中の水素濃度が高すぎると(75%以上)燃えない。

*水素の大きさ ボーアの水素原子モデルでは半径0.053nm。(実際には、電子は広がりを持つため、大きさの決め方には諸説ある。)

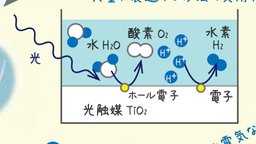
水を エネルギーに

水の惑星ともいわれる地球。地球上にある水素のほとんどは、水H_2Oとして存在する。水を利用した水素循環が理想の水素社会。

水 H_2O

水から水素を作りたい!

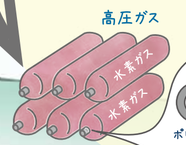
太陽光エネルギーを利用して水から水素を発生させる光触媒など、二酸化炭素を出さずに水素を大量に製造する方法の実用化が待たれる。



水素を貯める!

水素は常温常圧で気体なので、とても「かさばる」燃料。燃料として車に載せるには、水素を1,000分の1程度に圧縮する必要がある。

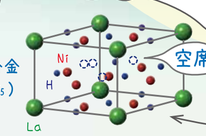
高圧ガス



水素タンクのシール材

ポリマー分子の隙間に入った水素ガスが膨張して破裂する恐れがある。

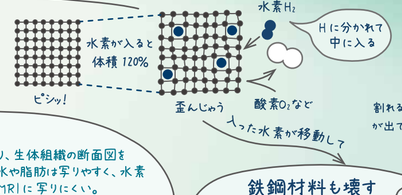
貯蔵合金($LaNi_5$)



ランタン、チタン、ジルコニウムなどの金属では、分子(H_2)の形より、原子(H)に分かれて中に入った方が安定する。このような性質を利用して、水素の出し入れをコントロールする貯蔵合金が開発されている。ただし、水素同士の距離が近すぎるとスペースがあっても入らず、空席になる。

どこにでも入り込む水素

水素は最も小さい原子であるため、様々な材料の分子や原子の隙間に入り込む。



水素で発電して使う

燃料電池のしくみ

光や電気などのエネルギーで分解

酸素を結びつけて、水に電気ができる(=燃える)

燃料電池自動車

水素のまま燃やして使う

水素エンジン自動車

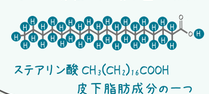
液体水素ロケット

雨になって陸・海へ

水蒸気になって大気へ放出

水素で医療診断

MRIは水素の核磁気共鳴により、生体組織の断面図を得ている。水素をたくさん含む水や脂肪は写りやすく、水素がほとんど存在しない骨や歯はMRIに写りにくい。



ステアリン酸 $CH_3(CH_2)_{16}COOH$ 皮下脂肪成分の一つ

©NASA

鉄鋼材料も壊す

物質中の水素は、粒界など境目に集まりやすい。そこから脆くなり、割れたり、亀裂が生じたりすることもある。これを水素脆性という。

結晶粒

水素を作る使う

水素で不純物除去

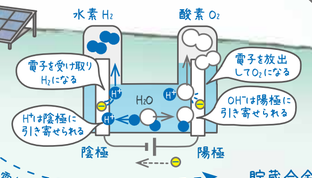
H_2S 硫黄 NH_3 窒素

水素はくっつきやすいからね

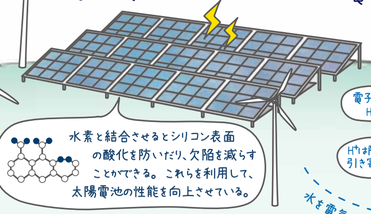
水素と結合させるとシリコン表面の酸化を防いだり、欠陥を減らすことができる。これらを利用して、太陽電池の性能を向上させている。

水を電気分解し、水素に変換。

電気エネルギーを水素の持つ化学エネルギーに変換



光エネルギーを電気エネルギーに変換



製作・著作:文部科学省 企画・制作:大友 季哉、宇佐美 徳子、餅田 円、大島 寛子(高エネルギー加速器研究機構 物質構造科学研究所)
監修:折茂 慎一(東北大学WPI-AIMR/金属材料研究所)、阿部 仁、池田 一貴、岩野 薫、木村 正雄、熊井 玲児、千田 俊哉、山田 和芳(高エネルギー加速器研究機構 物質構造科学研究所)
編集・デザイン・イラスト:サイテックコミュニケーションズ、高田事務所、大島 寛子
科学技術週間
http://stw.mext.go.jp/