



FUKUSHIMA
HYDROGEN
ENERGY
RESEARCH
FIELD

福島水素エネルギー研究フィールド

Fukushima Hydrogen Energy Research Field



日本語版

ようこそFH2Rへ！

福島水素エネルギー研究フィールド



福島の復興の一翼を担うとともに、
欠かせないエネルギーインフラとして
水素が活躍する。そんな近未来への期待を、
実現するためのフラッグシップが
ここFH2R、福島水素エネルギー研究フィールド。
FH2Rでは、スペシャリストが協力し、
さらなる知見の蓄積と、その後の更なる
高度な制御システムを備えた
「Power-to-Gasシステム」の
実現を目指しています。

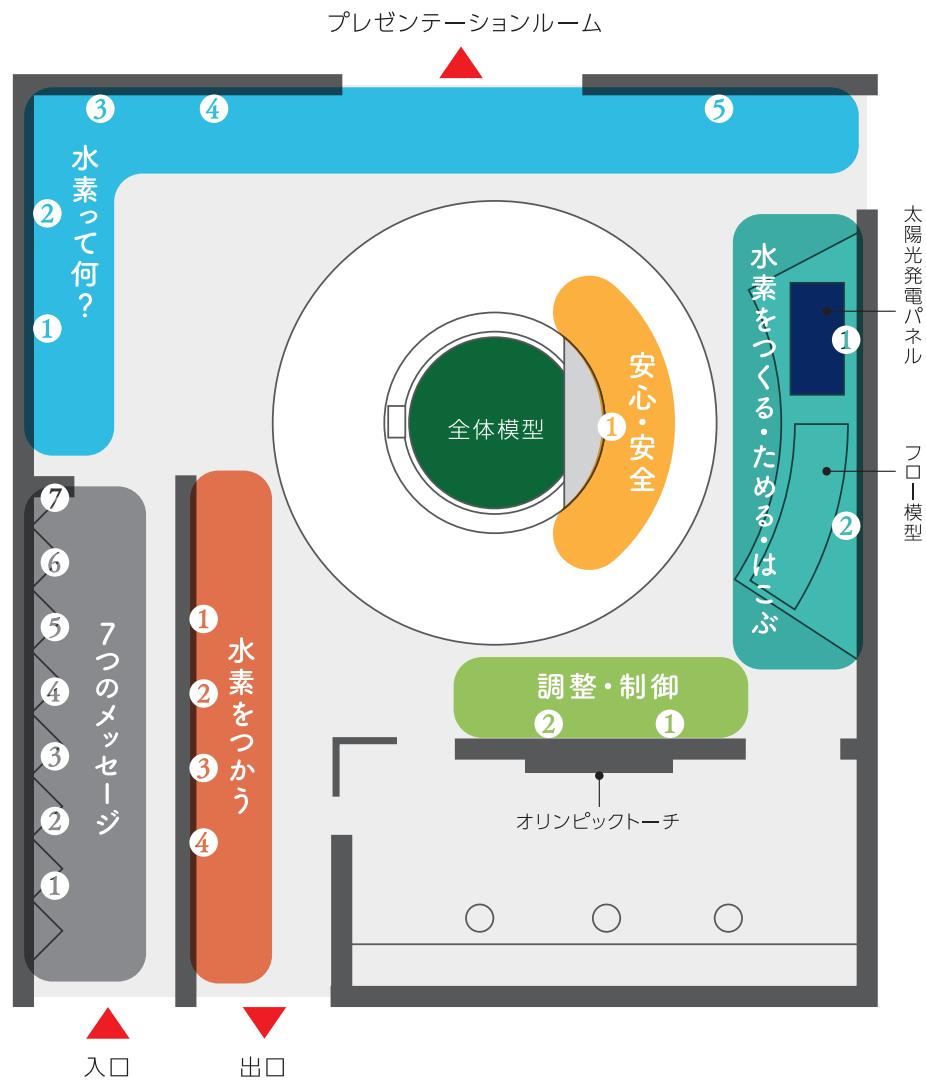


R&D CENTER 研究・開発棟

水素を実際につくりている現場の中で、
水素に関する情報発信や意見交換、
研究者が研究を実施する場として
つくられた施設です。



FLOOR MAP



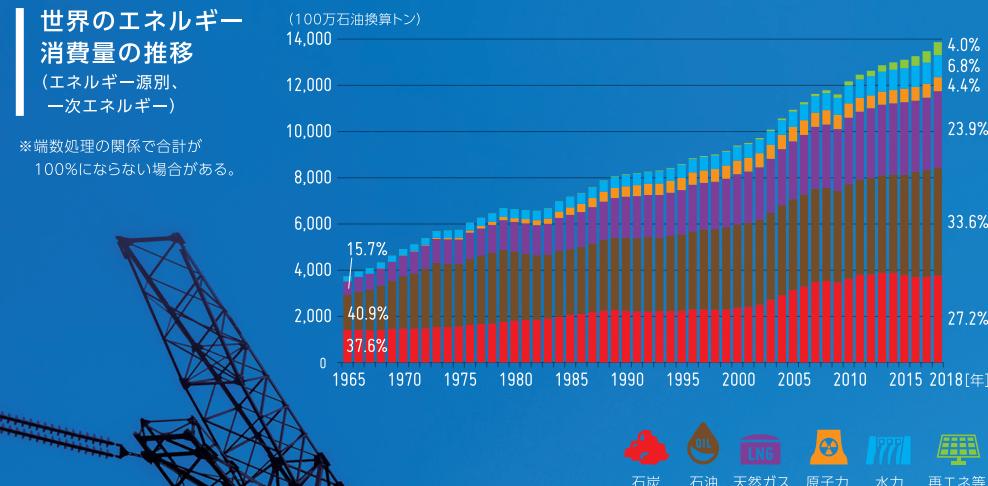
7つの メッセージ

私たちとエネルギー、そして 水素のつながりに気付く

私たちの住んでいる地球には現在、様々な問題が起きています。
どのような問題があるのか、そしてそれを解決する方法はないのか?
一緒に考えてみましょう。

エネルギーとともに 豊かになってきた私たちの暮らし

エネルギーと私たちの暮らしの豊かさは切っても切り離せません。
エネルギーがない暮らしを、皆さんは想像できますか?



出典：BP「Statistical review of world energy 2019」を基に作成
経済産業省 資源エネルギー庁

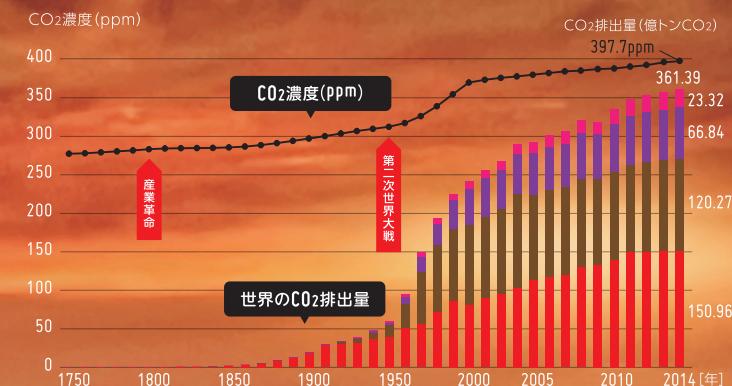
豊かな暮らしの裏で 起きていること

様々な分野(発電、運輸、熱、素材など)における化石燃料の消費が二酸化炭素(CO₂)の排出につながっています。これは、気候変動を加速させる一因になっています。



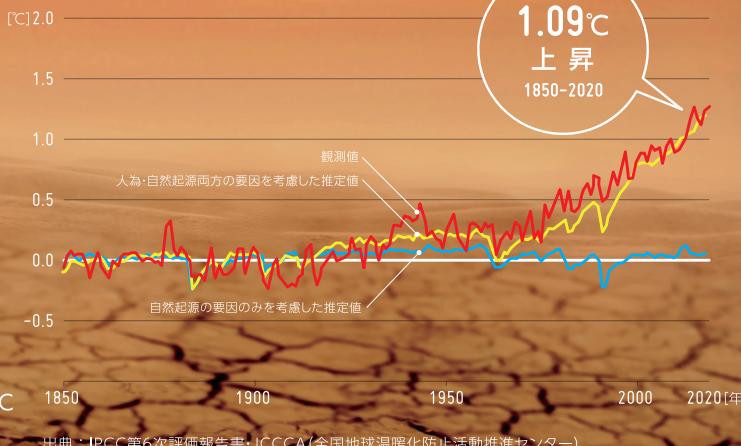
化石燃料等からのCO₂排出量と大気中のCO₂濃度の変化

※四捨五入の関係で合計値が合わない場合がある
出典：CDIAC「Global Fossil-Fuel Carbon Emissions」より抜粋
原子力・エネルギー図面集
(一般財団法人日本原子力文化財団)



世界平均気温は今までどのくらい上ったの？

世界平均気温の変化(年平均)
※観測値並びに人為・自然起源両方の要因を考慮した推定値及び自然起源の要因のみを考慮した推定値(いずれも1850～2020年)



CO₂の増加に合わせるかのように、地球の気温も上昇。過去170年間で約1.09°C上昇しています。

出典：IPCC第6次評価報告書・JCCA(全国地球温暖化防止活動推進センター)

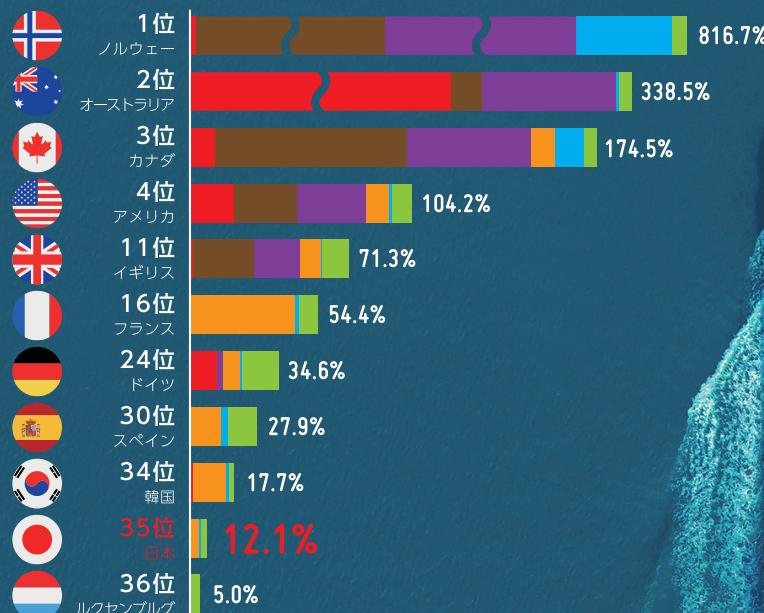
「脱炭素」「エネルギーの自給自足」が私たちの課題

甚大な自然災害、生物多様性の喪失…。

気候変動が関係する様々な地球規模の課題が私たちの目の前に迫っています。

また、エネルギーを可能な限り国内の資源で利用できるようにしておくことも必要です。

主要国的一次エネルギー自給率比較(2019年)



出典：IEA「World Energy Balances (2020 edition)」の2019年推計値

※日本のみ「総合エネルギー統計」の2019年度確報値



化石資源の利用を減らそう

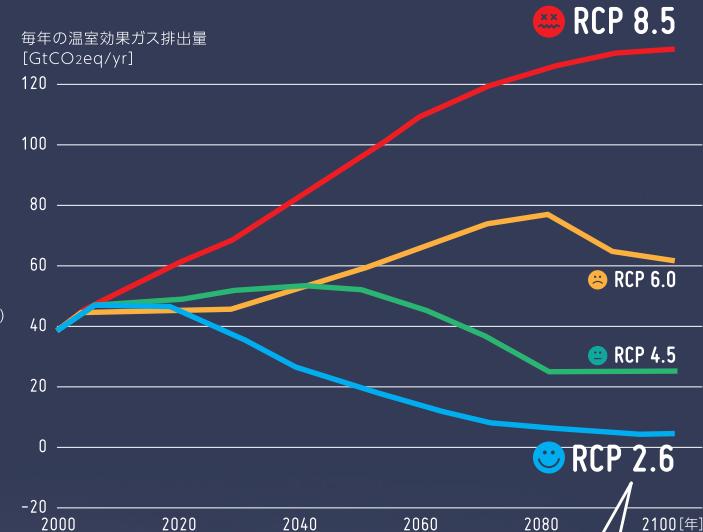
様々な分野(発電、運輸、熱、素材など)の化石資源を使用する量を減らし、二酸化炭素に代表される温室効果ガスの排出量を少なくしていくことが必要です。

今後どのくらい、
排出量を減らす
必要があるの?

シナリオにもとづく
温室効果ガス排出経路

※RCP…代表濃度経路シナリオ
(Representative
Concentration Pathways)

出典：IPCC第5次評価報告書・JCCA
(全国地球温暖化防止活動推進センター)



● RCP 8.5 高位参考シナリオ
(世紀末の放射強制力 8.5w/m²)
2100年における温室効果ガス排出量の
最大排出量に相当するシナリオ

● RCP 6.0 中位安定シナリオ
(世紀末の放射強制力 6.0w/m²)

● RCP 4.5 (世紀末の放射強制力 4.5w/m²)

● RCP 2.6 低位安定化シナリオ
(世紀末の放射強制力 2.6w/m²)
将来の気温上昇を2℃以下に抑えるという
目標のもとに開発された排出量の最も低いシナリオ

将来の気温上昇を
2℃未満に抑えるためには
温室効果ガスの排出量を
2100年にはゼロまたは
マイナスにしていく
必要があります

地球に優しい電気をつくろう

エネルギーのうち電力分野では、
太陽光や水力など、自然の力を電気エネルギーに変換し、
二酸化炭素を出さないという特徴がある
『再生可能エネルギー』の導入拡大が進められています。
火力発電も二酸化炭素の排出を減らすことが
求められています。

電力需要・
電源構成

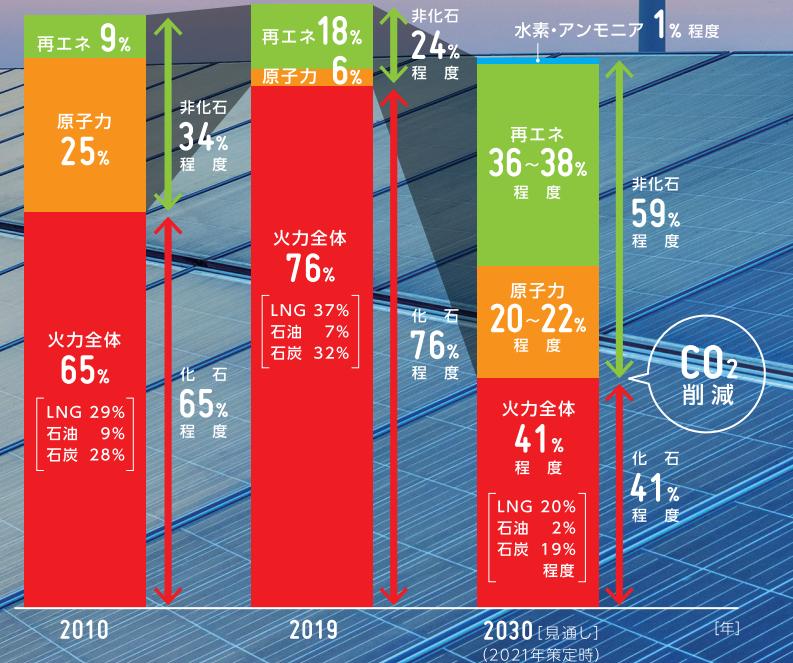
総発電電力量
10,064億
kWh程度

10,240億
kWh程度 → 9,340億
kWh程度

水素・アンモニア 1% 程度

↓CO₂

出典：2030年度における
エネルギー需要の見通し
資源エネルギー庁



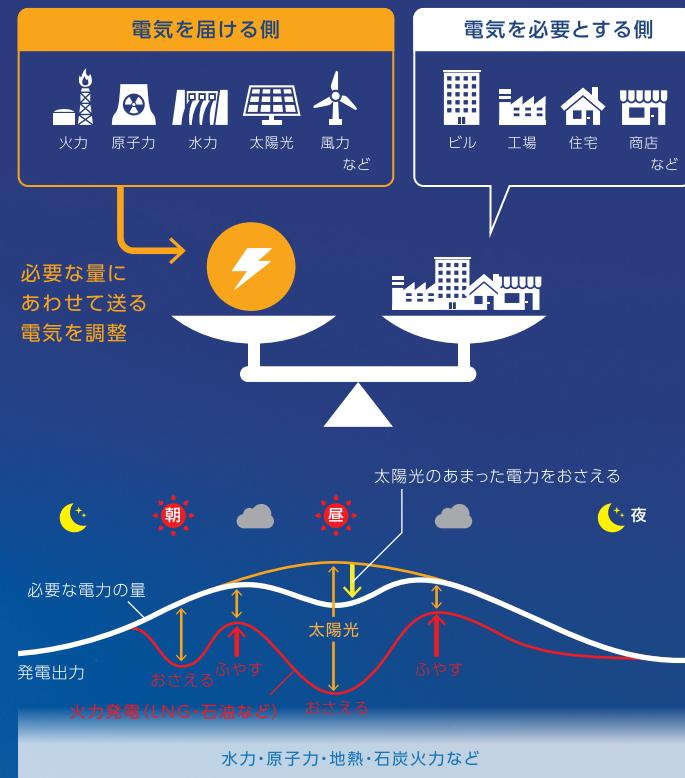
電気の需要－供給 バランスの大切さ

安定して電気を使用するため、電気は常に需要と供給のバランスを保つ必要があります。

しかし、日照や風況等により、時々刻々発電量が変化する

再生可能エネルギーの増加に伴い需要バランスの調整が難しくなります。

出典：経済産業省 資源エネルギー庁



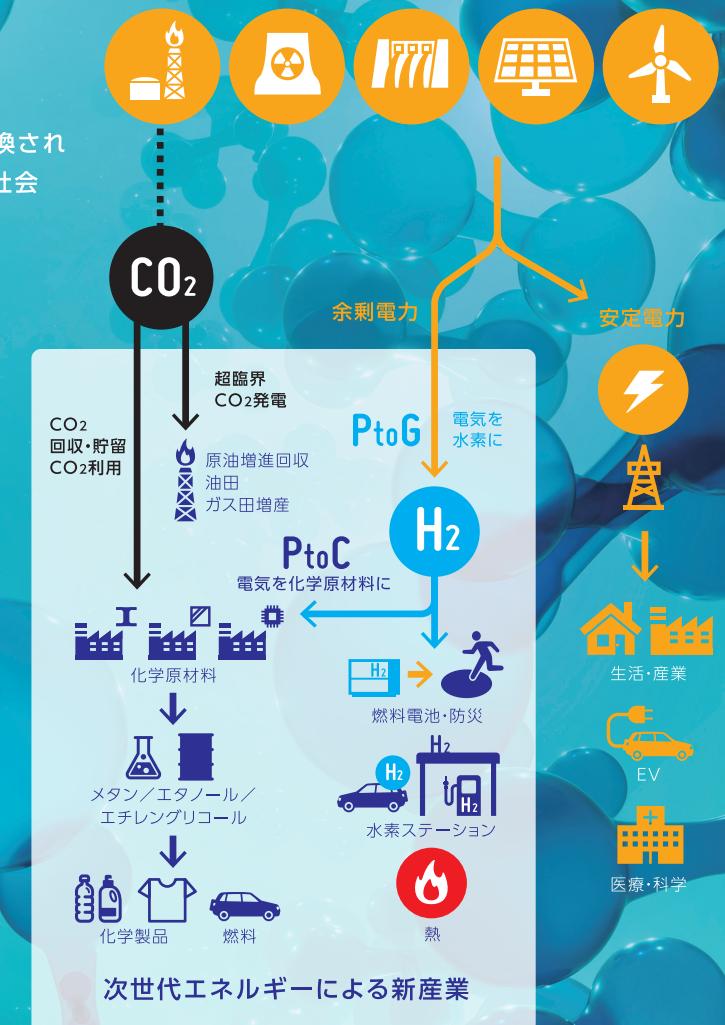
今「水素」に期待が集まっている

現在、この課題に対して期待されているのが「水素」です。

この施設では、「水素」がもっている豊かな可能性を皆さんにご紹介します。

水素を中心として、
余剰再エネやCO₂が
価値の高い物質や
新たなサービスに転換され
新産業を生む=水素社会

出典：水素エネルギーを知ろう
東芝エネルギーシステム株式会社
水素エネルギー事業統括部

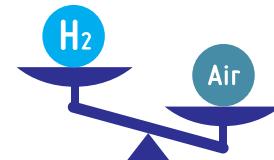


Q

水素ってなに?

A

最も軽く、
最も多い元素です



水素は、宇宙で最も軽く、最もたくさん存在する物質です。

重さは空気の約14分の1程度。元素の中で最も軽く、

単体では通常、気体の状態で存在します。



水素原子



水素分子

水素は
太陽を構成する元素の
90%以上を占めています

太陽を構成している主な元素

水素原子100万個あたりの
各原子の個数

元素	個数	元素	個数
水素 H	1,000,000	ケイ素 Si	33
ヘリウム He	85,000	マグネシウム Mg	26
酸素 O	660	硫黄 S	16
炭素 C	330	アルゴン Ar	6.3
窒素 N	91	アルミニウム Al	2.5
ネオン Ne	83	カルシウム Ca	2.0
鉄 Fe	40	ニッケル Ni	2.0
		ナトリウム Na	1.8

Q

水素はどうやって
作られるの?

A

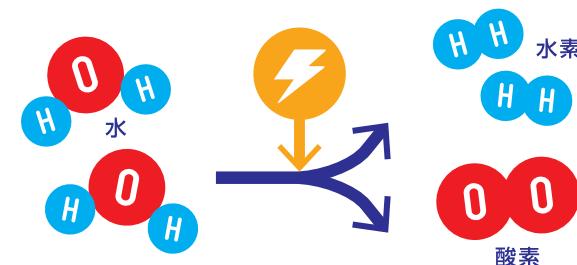
水など身近な資源から
取り出すことができます

水素は、電気を使って水から取り出すことができます。また、石油や天然ガスなどの化石燃料、バイオマス、下水汚泥、廃プラスチックなど、あらゆる資源からつくることができます。



水素の電気分解の原理

水に電気を流すと水素と酸素ができる



A close-up photograph of several water droplets on a dark, textured surface. The droplets are clear with some internal reflections and are scattered across the frame.
Q

水素はどんなことに
利用できるの?

A

熱や電気として利用できます

水素は、酸素と結びつけることで発電したり、燃焼させて熱エネルギーとして利用することができます。また、水素はエネルギー効率が高いため、大量のエネルギーが必要な口ケットの燃料としても利用されています。



Q

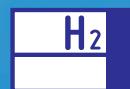
水素は
貯めておけるの?

A

水素は、
輸送や貯蔵が可能です

電気の通っていないところでも、燃料電池と水素があれば、電気をつくることができます。

燃料電池



避難所
などでも
有効です。



Q

水素はどんなことに役立つの?

A 化学プラントや、製鉄所などすでにいろいろなところで役立っています



石油精製

原油中に含まれる硫黄分を取り除く脱硫用として、また石油化学製品を作る上での添加剤として使われています。



製鉄所・ プラスチック工場

ステンレスなど鋼製品の表面をピカピカにする光輝焼鈍用に水素が添加されています。熱処理炉で金属の特性を変化させる金属冶金や、プラスチックなどの樹脂生成でも、水素は還元剤として用いられています。



ガラス工場

光ファイバーや石英ガラスといったガラス分野で酸素との混合燃焼により、曇りのないクリアなガラスを焼成しています。



半導体工場

携帯電話やパソコンに使われる半導体製造時の材料ガスには、超高純度の水素ガスが利用されています。



食品工場

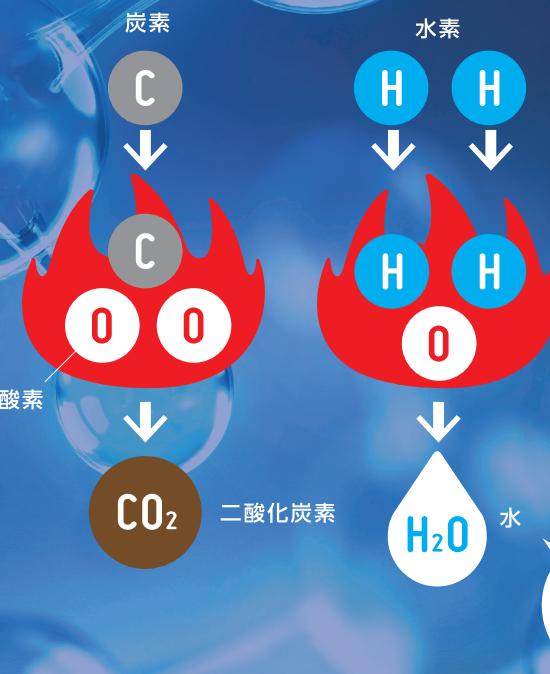
マーガリンなどの油脂は、原料に水素を添加して化学組成を変えています。

Q

Q

水素の「スゴイ!」 ところを教えて

A 燃焼時に二酸化炭素が出ないことです



石炭や石油、天然ガスなどの化石燃料は、燃焼させると二酸化炭素(CO₂)が発生します。しかし、水素は燃焼させてもCO₂が全く発生しません。この「CO₂発生量がゼロ」であることが水素の大きな特徴です。

「燃える」とは光と熱を放ちながら物質と酸素が結びつくこと

Q



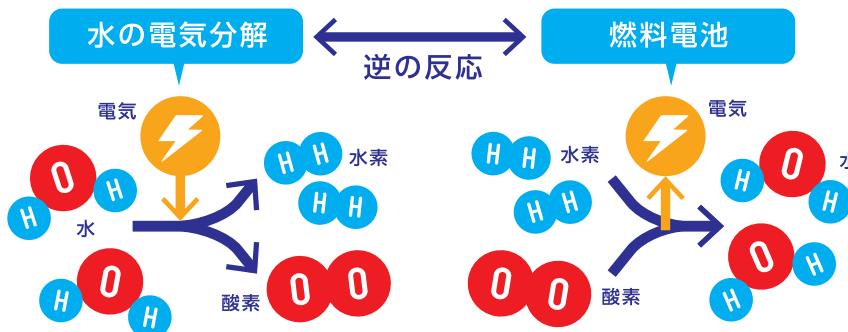
燃料電池ってなに?

A



**水素と酸素から
電気をつくる装置です**

燃料電池は、一方の電極に水素、もう一方の電極に酸素を送ることで化学反応を起こし、水と電気を発生させます。その用途は幅広く、家庭用としてだけでなく自動車やバス、船など多岐に渡って私たちの暮らしを支えています。





再生可能エネルギーから 水素をつくり、 CO₂排出量を削減



水素をつくるにあたって、必要なもののひとつが『電気』。
FH2Rでは、CO₂を出さない自然エネルギーによる
『電気』ができるだけ使いながら、水素をつくっています。
18万m²の広大な敷地に設置された太陽光パネルでは、
最大20MW(メガワット)の発電が可能です

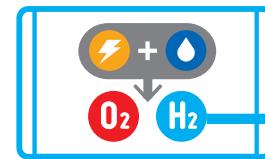


太陽光発電設備
(東京ドーム約4個分)



研究開発・
水素製造プラント
(東京ドーム約1個分)

H₂ 水素をつくる



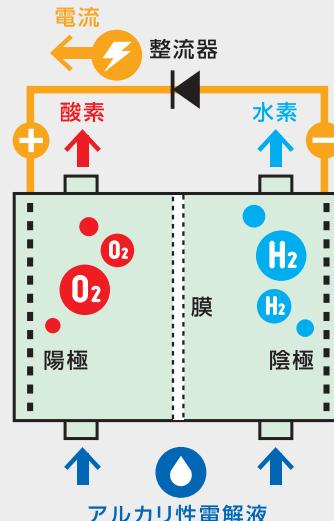
FH2Rでは、10MWの水素製造装置を使い、水を電気分解して水素をつくっています。最大毎時約2000Nm³の水素の製造が可能。

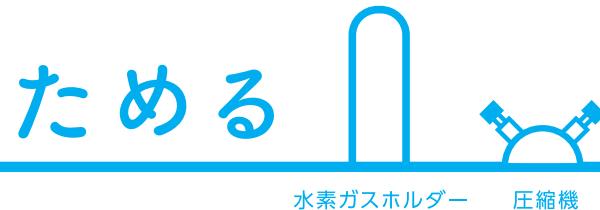
製造された水素ガスは余分な水分や不純物が取り除かれ、配管を通して水素ガスホルダーに送られます。

1日の水素製造量で、約150世帯(1ヶ月分)の電力を供給、または560台のFCVに水素を充填できる



アルカリ水電解の原理





配管を通って送られた水素は、内容量150m³の8本の**水素ガスホルダー**に保管されます。次に水素が送られる圧縮機では、一定時間に圧縮できる水素の量が決まっているため、ここにいったん、貯めることで水素の量を調整します。トレーラーやカーボルに充填する前、水素は**精製装置**を通し、水分や酸素といった余分な不純物が取り除かれます。さらにより多くの水素をためて運べるようにするため、**圧縮機**で水素ガスを大気圧の1／200の容積となる約20MPaまで圧縮します。

水素ガスホルダー



精製装置



→ 圧縮機 →



耐圧性に優れた容器に圧縮した水素を貯め、需要地に運びます。

水素ガストレーラー(12台)

大気圧の200倍となる約20MPa、1/200の容積に圧縮した水素を240kg、3,000m³まで充填することが可能。けん引するクルマとつなぎ需要地に水素を運びます。

水素ガスカーボル(300m³×15台、150m³×4台)

小型容器をまとめて固定した集合容器。300m³を充填できるタイプは約20MPaに圧縮した水素を24kg充填することが可能。その他にも、150m³を充填できるタイプがあり、トラックなどに乗せ、需要地に運びます。

水素ガスカーボル

水素ガストレーラー



安定した電気を お届けするために

わたしたちの生活の中で電気の需要は、人々の活動により常に変動します。しかし、CO₂を排出しない太陽光・風力などの再生可能エネルギーは供給も、天候などにより変動します。安定した電気をお届けするためには、常に需要と供給を一致させ、バランスを保つ必要があります。

水素を「調整力」として利用してバランスをとる (イメージ)



FH2Rを稼働／出力増加させて、
電力需要を増やしてバランスをとります。

FH2Rを停止／出力低下させて、
電力需要を減らしてバランスをとります。



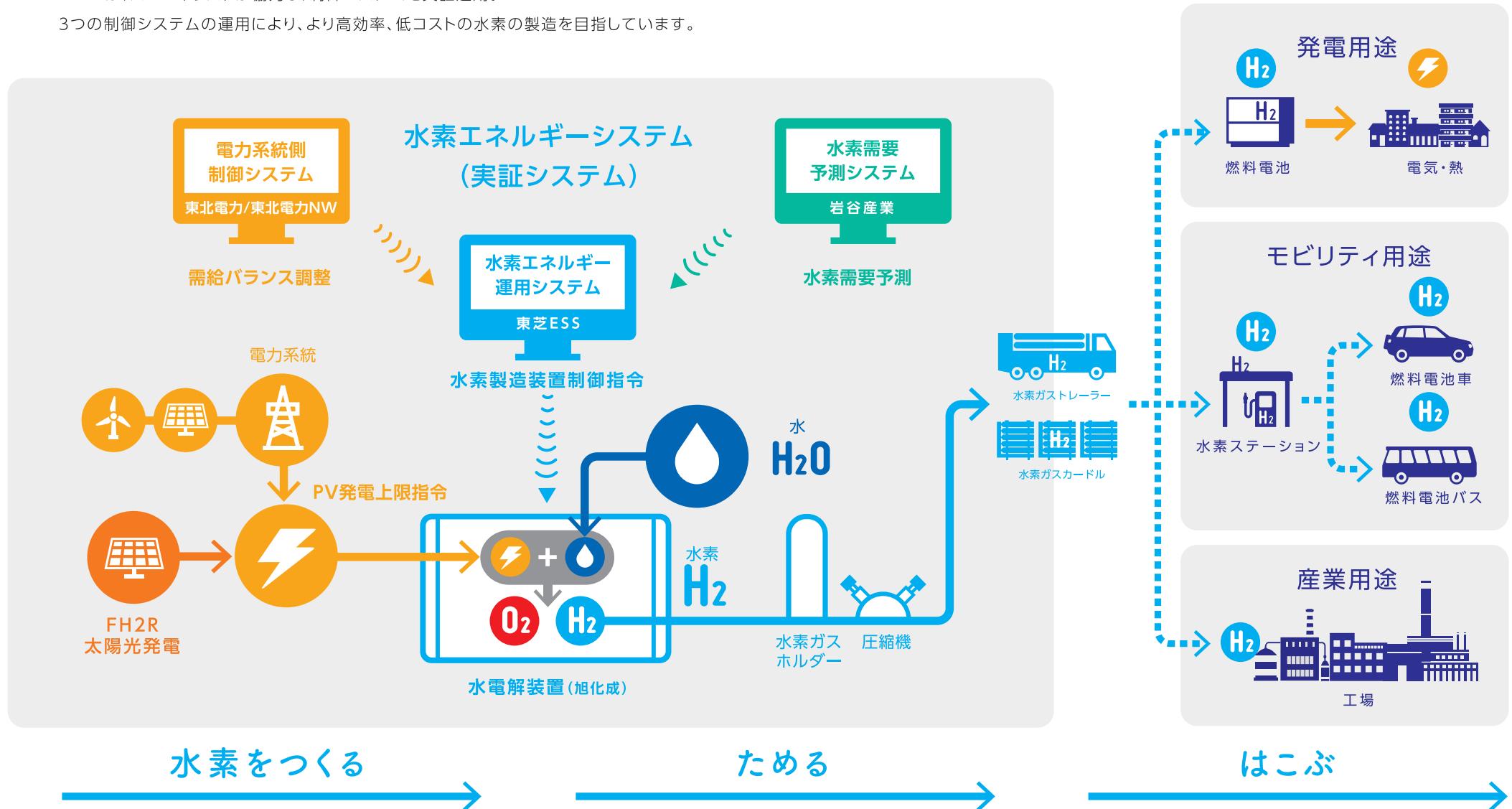
水素を「調整力」として利用する

このバランスを取るため、水素を「調整力」として利用する。

これを検証し、経済的な水素製造技術の確立を目指すことが、FH2Rの目的です。

FH2Rは、スペシャリストが協力し、制御システムを実証運用。

3つの制御システムの運用により、より高効率、低成本の水素の製造を目指しています。



水素の性質と安全対策

水素はとても軽い気体で、空気中に出るとすぐに拡散するという性質を持ちます。また無色、無臭で着火しやすく燃焼可能濃度範囲が広いという特徴があります。このような水素の性質を理解し、適切に管理することで、安全に利用することができます。基本的には以下の4つを大原則にして安全対策が行われています。

	水素 H ₂	メタンCH ₄ *	水素の性質	リスク比較
外観・臭い	無色・無臭	無色・無臭	検知し難い	リスク要因
ガス比重(空気=1)	0.07	0.55	最も軽い気体で 拡散し易い	リスク軽減
拡散係数[cm ² /s](空気中)	0.61	0.16		
爆発範囲[vol.%]	4-75	5-15	燃焼可能濃度範囲が広い	リスク要因
最小着火エネルギー[mJ]	0.02	0.33	着火し易い	リスク要因

* 都市ガス等の主成分



漏らさない

法規に基き、適切な設計・施工を厳守し、水素の漏れを防ぎます。また、有資格者が保安管理を行います。



【容器・配管のフランジ締結部】



検知したら 止める

検知器を設置し、水素を検知した場合には、機器単体とプラント全体の両面で、安全停止を即座に行います。

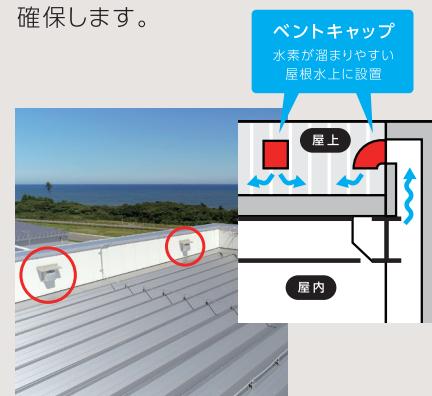


【防爆型水素ガス検知器】



万が一漏れても 溜めない

水素設備の設置エリアは水素が溜まらない構造にし、必要となる換気風量を確保します。



【ベントキャップ】



着火させない

床材では、導電性の高い素材を使用し、適切にアースを接地し、着火の原因になる静電気を溜めません。



【水電解装置建屋床材】

FH2Rの耐震性能

水素を安全に扱うために、一般的な建物よりも
高い耐震性を確保するよう設計されています。

※右の表は、「官庁施設の総合耐震基準による耐震安全性の分類」に基づき作成しています。

I類 | 耐震性
かなり高い

水素を扱う建物であり、最も高い耐震性をもつ

建築基準法で
想定する地震力の
1.5倍

水電解装置建屋、カーボル庫、
受変電・ユーティリティ設備建屋
水素貯蔵・供給建屋

FH2R

FH2R

目標レベル

大地震動後、継続使用可能。

該当する建物の例

災害時拠点となる官庁施設(庁舎・病院など)

II類 | 耐震性
高い

一般的な建物より高い耐震性もつ

建築基準法で
想定する地震力の
1.25倍

管理棟、研究開発棟



III類 | 耐震性
一般的

一般的な建築物

建築基準法で
想定する地震力の
1.0倍

該当なし

大地震動後、部分的な補修のみで使用可能。

大地震動後、損傷は許容するが、倒壊には至らない。

学校・社会福祉施設など

一般的な建築物



地震が起きた時には

FH2Rは、大きな地震が発生しても安全な状態で自動的に停止します。
万が一、地震の影響により水素配管の破損などが発生しても、建屋外へ
速やかに排出し、安全な状態になるように設計しています。

水素は軽く拡散しやすい性質があり、無害ですので、建屋内に充満させる
より屋外に放出し拡散してしまった方が安全です。

期待される水素の利用

水素を利用したエネルギーが今、着実に広がってきています。

現在、期待されている水素の利用先には、以下の様なものがあげられます。

燃料電池自動車(FCV)

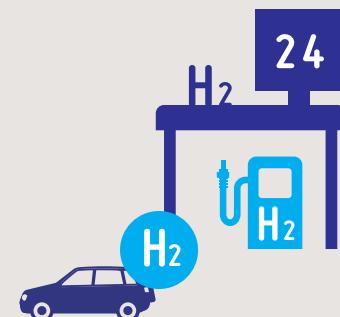
燃料電池バス(FCバス)

搭載されている「燃料電池」で水素を使って電気をつくり、自動車の動力に利用するもので、乗用車や貨物車の低炭素化を図ることができます。また、フォークリフトなどの産業用車両での水素利用もすでに始まっています。



燃料電池自動車普及に不可欠な水素ステーション

速やかに整備・拡充するため、国による包括的な規制の再点検が実施され、規制緩和が進められています。例えば、従来は認められなかったガソリンスタンド併設型水素ステーションや充填圧力70MPaの水素ステーションが市街地に建設されるようになり、液化水素貯槽の設置も可能になりました。今後、規制緩和への取り組みのさらなる進展が期待されます。



燃料電池

燃料電池は運輸分野以外でも使われています。

皆さんにもおなじみの家庭用燃料電池「エネファーム」もそのひとつです。これは、ガスから水素を取り出して、酸素と化学反応を起こして効率よく電気をつくり、その時生まれる熱(排熱)も利用するしくみです。エネルギーを有効活用することで、一般家庭では25%の省エネと40%のCO₂削減を実現します。

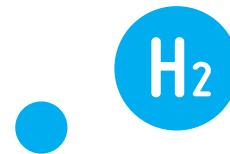
「道の駅なみえ」純水素燃料電池システム

燃料電池は、皆さんの身近な公共施設などでも使われています。「道の駅なみえ」でも使われており、発電した電力は照明や空調など、施設の一部で利用されています。発電の過程で発生する熱はお湯として手洗い水などに有効活用されています。



国を挙げた取り組み

水素は利用時にCO₂を排出しないだけでなく、再生可能エネルギーなどと組み合わせることにより、温室効果ガスの排出を全体としてゼロにするカーボンニュートラルなエネルギーとなる可能性を秘めています。また、さまざまな資源からつくることができるため、エネルギー調達先の多様化や自給率アップへの貢献が期待されています。わが国では、そんな水素に関わる政策として、2017年12月26日に「水素基本戦略」が策定されました。



水素 基本戦略 とは

「水素基本戦略」は、2050年を視野にいれた、将来目指すべきビジョンを示すとともに、水素の生産から利用まで、規制の改革、技術開発、インフラ整備などの政策群を、同じ目標の下に統合したものです。

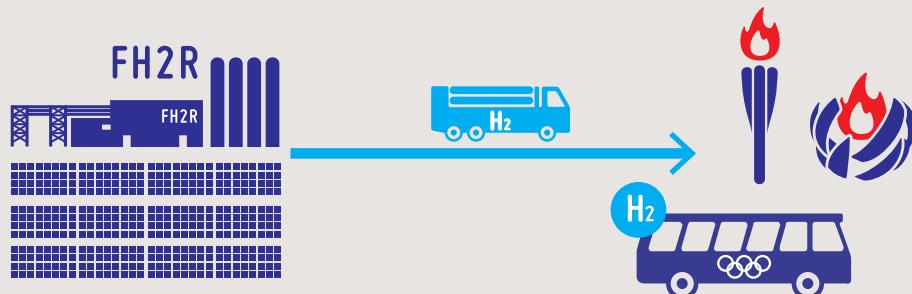
水素を再生可能エネルギー(再エネ)と並び、新しいエネルギーの選択肢として示し、水素社会の実現に向け、水素のコストをガソリンやLNGなど従来エネルギーと同じ程度のコストにすることを目標として掲げています。

世界の最先端を行く日本の水素技術を展開することで、世界のカーボンニュートラル化を引っ張っていくという決意が示されています。

再エネから水素をつくる…FH2R

その様な国を挙げた取り組みの中で、発電しすぎた再エネの余剰電力を使って水素をつくることも検討されています。これは、カーボンニュートラル化ができるという水素のメリットはもちろん、余剰再エネを有効に活用できるというメリットもあります。

FH2Rではその先駆けとして、再エネから水素を製造し、経済的な水素製造技術の確立を目指す実証がおこなわれています。



東京オリンピック・ パラリンピックでの 利用

FH2Rで作った水素は、2021年に開催された「東京オリンピック・パラリンピック」でも活用されました。未来のエネルギーとして期待される水素が、開閉会式の聖火台や水素トーチの燃料、また大会関係車両としての燃料電池自動車でも利用されました。

水素トーチ

2021年に開催された東京オリンピック・パラリンピックの聖火リレーで使用されたこのトーチは、日本を代表する花である桜をモチーフとしています。

東日本大震災からの『復興五輪』の象徴として、素材の一部に復興仮設住宅のアルミ建築素材が再利用され、一部の燃料として、ここ福島でつくられた『水素』が使用されました。



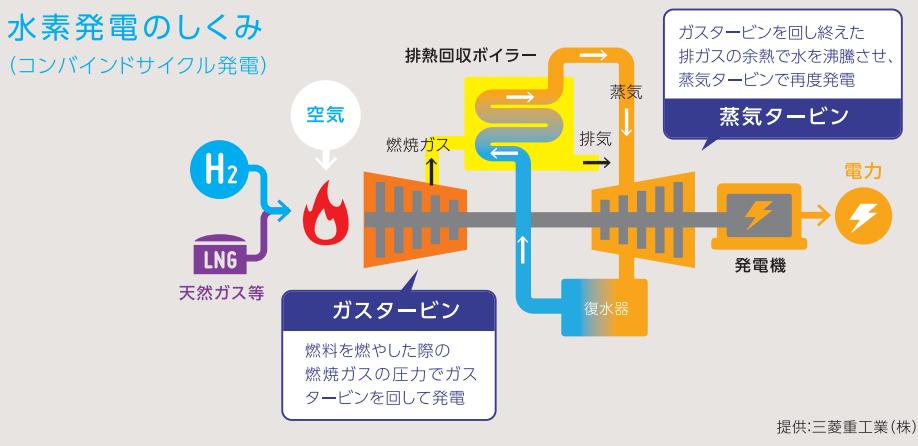
期待される水素発電

水素基本戦略において、水素製造・輸送、利用(燃料電池や燃料電池自動車など)だけではなく、利用(水素発電)も大きな目標の一つとなっています。

水素発電とは

水素を燃料に用いた発電の方法としては、燃料電池を用いるものなどの他に、水素または、水素+他の燃料をガスタービンにて燃焼させ回転力を得て、発電機を駆動し発電する「ガスタービン発電」というものがあります。

大型発電ではガスタービン単独ではなく、ガスタービンと蒸気タービンを組み合わせ、発生する熱エネルギーを無駄なく使う「コンバインドサイクル発電方式」が使われています。



ガスタービンを用いた水素発電の意義

CO₂を排出せず、多様なエネルギー源から製造可能な水素によるガスタービン発電は従来のガスタービン発電と同様に、大規模かつ安定的で低環境負荷な電源となる可能性があります。そのためには、まず安定・安価・低環境負荷な水素の供給が前提となります。また、既存の火力発電設備に比べて効率が高いわけではないため、高効率の水素ガスタービンの技術開発が必要になります。

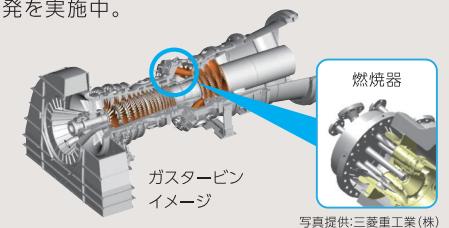
水素発電の現状

技術力で先行している日本は、世界の水素発電実用化に向けた取り組みに貢献しています。現在おこなわれている二つの技術開発・実証についてご紹介します。

①大規模火力発電(500MW級)の技術開発

既存大規模火力発電所における水素混焼のための
技術開発を実施中。

2020年より、**水素専焼発電**の
技術開発を実施中。



②地域における熱電供給のコジェネ発電(1MW級)の技術開発

水素を天然ガスに0~100%まで自在に混焼可能な技術を開発。2018年には**水素専焼**による市街地への熱電供給を世界で初めて達成。

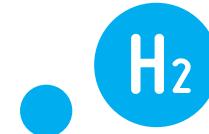
2019年より、高効率な**水素専焼発電**の技術開発を実施中。



グローバルに進む水素利用

日本では、世界に先駆けて「水素社会」を実現するべく、国やさまざまな企業が官民あわせての実証実験などを進めています。

2021年現在、いよいよ実現が間近にせまっているものや、その全貌がだんだんと見えてきた、水素エネルギー利活用の姿をご紹介します。

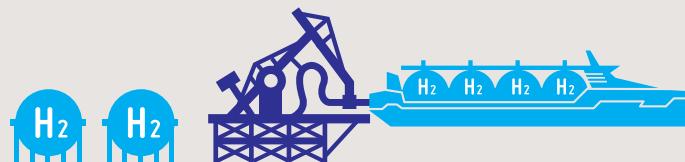


世界初！「液化水素運搬船」

さまざまな資源からつくることのできる水素。

たとえば廃棄物や、品質が低いなどの理由で利用されず埋蔵されたままのエネルギー燃料から大量につくることができれば、コストを抑えながらエネルギーを安定的に確保できるというメリットが得られます。

現在、輸送がむずかしいことから利用先が限定されている低品質な石炭である「褐炭」を活用し、オーストラリアで水素を製造して日本へ運ぶことを目指した「褐炭水素プロジェクト」(未利用褐炭由来水素大規模海上輸送サプライチェーン構築実証事業)が進められています。

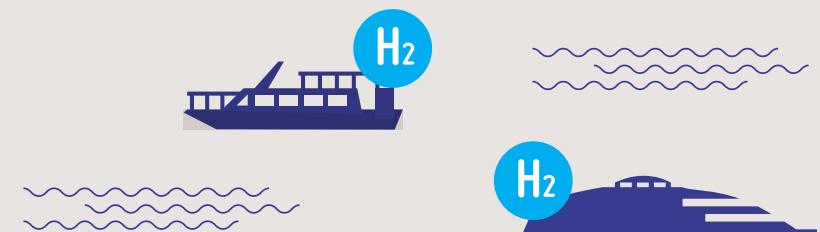


海上輸送分野にも水素の利用

車だけではなく、船舶などにもゼロカーボン化を目指した水素の利用が進められています。

日本では2025年大阪・関西万博に向け、水素燃料電池船を走らせるプロジェクトが動き始めています。その他、オランダなど世界各国でも水素燃料の船舶の開発が進められています。

船舶は、常に水の抵抗を受けるため航行に多くのエネルギーが必要になり、なかなかカーボンニュートラル化が難しい分野ですが、国際海事機関(IMO)は2050年までに国際海運に関するCO₂排出量を半減させ、21世紀中にはゼロにする目標を示しており、海上輸送分野もカーボンニュートラル化が進んでいくと予想されます。



日本だけではなく世界各国でも、カーボンニュートラル化を目指したさまざまな水素の利用・研究が進められています

