

易しい科学の話

2022/1/14 (木)

# CO<sub>2</sub> による地球温暖化と 新しいCO<sub>2</sub>の削減法

吉岡 芳夫

なぜCO<sub>2</sub>で地球が温暖化するのか？

# 地球温暖化のメカニズムとは？二酸化炭素はどのように関係している？ (gooddo.jp)

- 大気と地表は、太陽からの日射で熱せられる。
- 二酸化炭素、メタン、亜酸化窒素などの温室効果ガスは、熱せられた地表から上空に向かって放射される熱（赤外線）を吸収し、地表に再放射するため、地表も大気も温まる。
- 二酸化炭素は、石炭を燃やす火力発電所や、自動車などから大量に排出される。

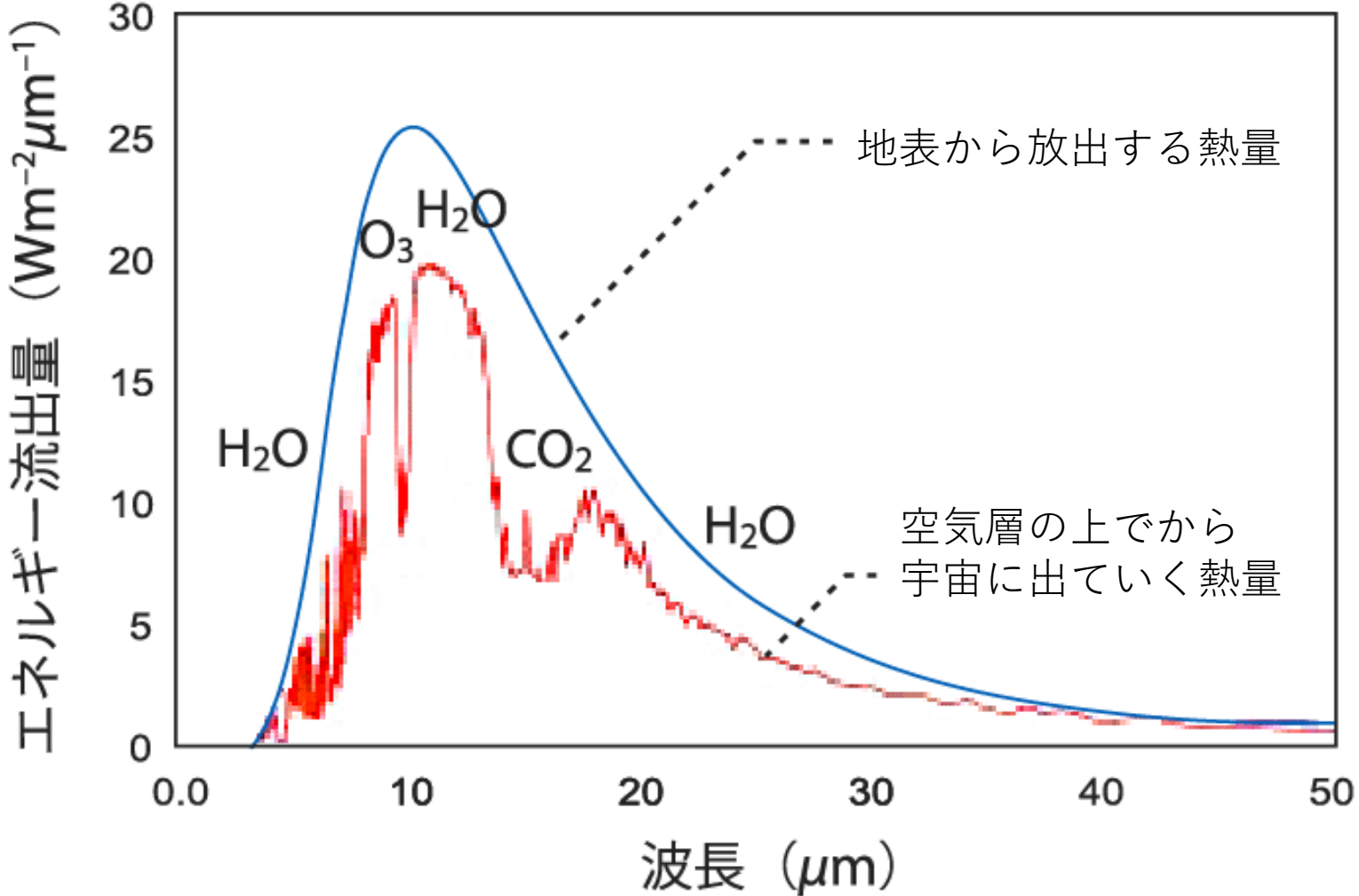


IPCC第4次評価報告書によると、温室効果ガス別の地球温暖化への寄与は二酸化炭素76.7%、メタン14.3%、一酸化二窒素7.9%、オゾン層破壊物質でもあるフロン類が1.1%となっている。

# 森林の減少や文化的な生活がCO<sub>2</sub>を増やす

- 樹木は、空気中のCO<sub>2</sub>（二酸化炭素）を使って光合成で作られる。
- 森林は、多量の二酸化炭素を吸収する。
- 人間は、森林を切り倒して燃やし、耕作や放牧に利用してきたため、森林面積が減少し二酸化炭素をふやす原因になっている。
- 文化的な生活を営むために、家庭で電気の使用量が増加した。これも、二酸化炭素を増やす原因である。

地表から放出するエネルギーとCO<sub>2</sub>などのために宇宙へのエネルギー放出が減る原理（その差が地球をより温暖化する）



青線が地表から逃げる熱エネルギー。  
赤線が大気上端から逃げる熱エネルギー。

青線と赤線の差が、大気による赤外線吸収、すなわち温室効果の強度を表す。

図中のH<sub>2</sub>O、CO<sub>2</sub>、O<sub>3</sub>は、それらの分子による赤外線吸収が起こる波長領域を示す。

温暖化させる物質（気体）は、水蒸気などもある。

### 各温室効果物質の寄与

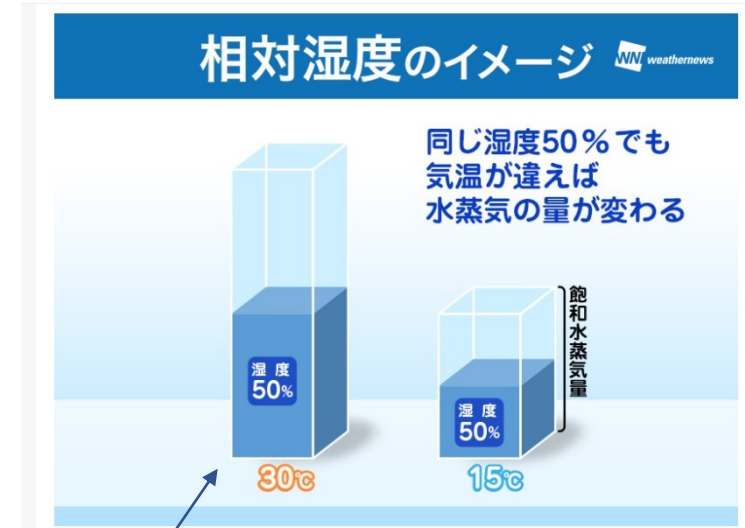
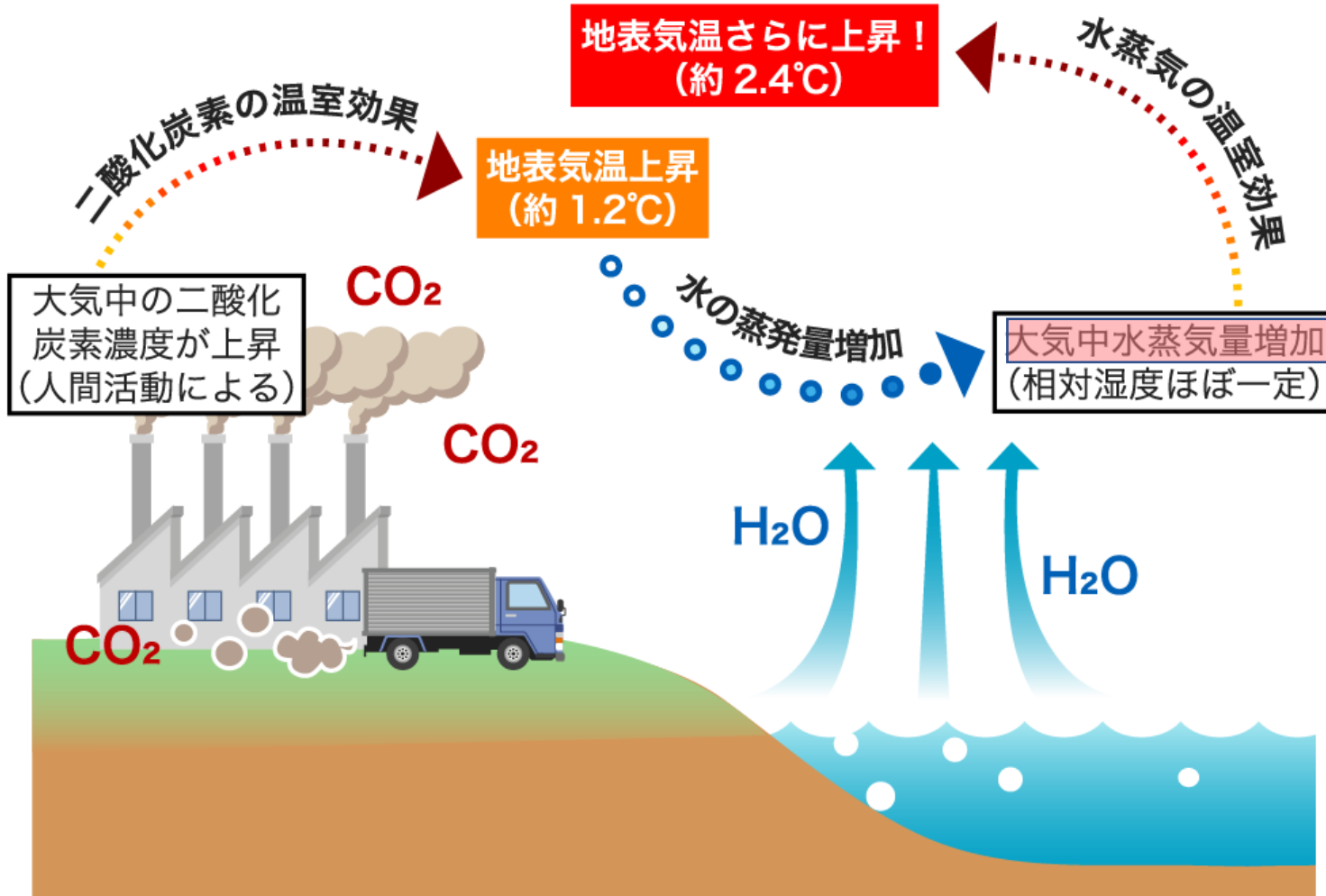
水蒸気	48% (75 Wm <sup>-2</sup> )
二酸化炭素	21% (33 Wm <sup>-2</sup> )
雲	19% (30 Wm <sup>-2</sup> )
オゾン	6% (10 Wm <sup>-2</sup> )
その他	5% (8 Wm <sup>-2</sup> )

- 「水蒸気」「二酸化炭素」「オゾン」「その他」が、晴天時（雲がない場合）の温室効果に対する寄与
- 「雲」が、雲がある場合とない場合の温室効果の差を表す。すべてを足し合わせた値が、大気の温室効果となる。

雪国の冬の夜間は、表日本より暖かい。  
理由は、水蒸気（雲）が赤外線を吸収・反射させ、地表の熱を宇宙に逃がさないため。

# 温暖化のメカニズム（気候フィードバック）

CO<sub>2</sub>による温室効果で気温が上がると、海水の蒸発も増える。増えた水蒸気も温室効果を高める。



温暖化は、海水から蒸発する水蒸気を増やす。

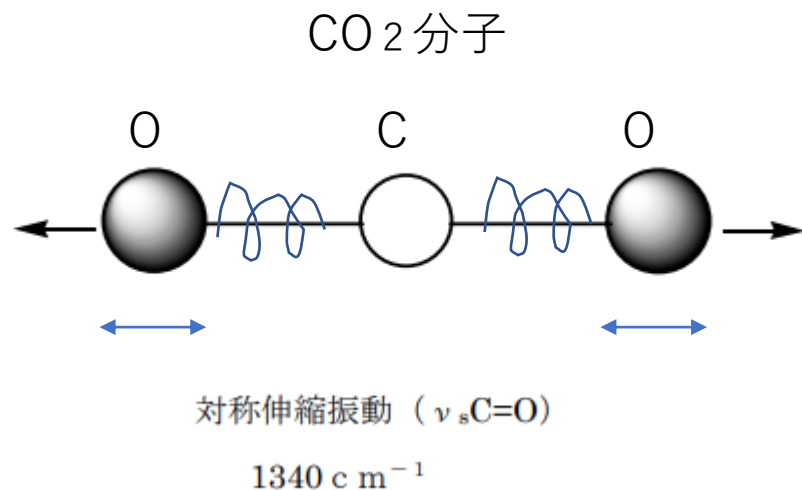
この水蒸気が、赤外線を地表に反射させる。

# CO<sub>2</sub>濃度の増加によって気温上昇が起こると、大気中の水蒸気量が増加する

- 気候モデルの予測によるとこの水蒸気量の増加によって、大気中のCO<sub>2</sub>濃度が倍増したときの気温上昇は全体で少なくとも2.4度、つまり水蒸気量の増加を考えなかった場合の2倍程度になる。（IPCC第4次評価報告書第8章）。
- このように何らかの原因によって（例：CO<sub>2</sub>濃度の増加）、大気や地表の状態が変わり（例：水蒸気量の増加）、その変化がさらなる気候変化をもたらす過程を一般に「**気候フィードバック**」と呼ぶ。
- **種々の気候フィードバックを同時に考慮した場合、大気CO<sub>2</sub>濃度の倍増による気温上昇は1.5度から4.5度の範囲である可能性が高いとされている**（IPCC第5次評価報告書）。
- **つまり、気候フィードバックによって温暖化が何倍にも増幅**されそうだということ。なお、CO<sub>2</sub>濃度を倍増させたときの気温の上昇を「気候感度」と呼んでいる。



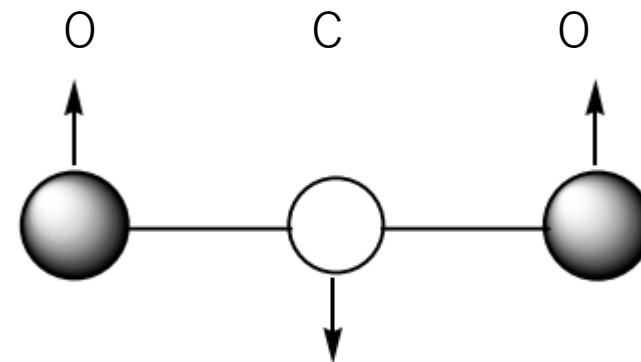
# CO<sub>2</sub>が赤外線を吸収する原理



C（炭素）原子を中心にして、2個のO（酸素）原子が伸び縮みするように振動する。

この振動と、赤外線の振動が一致すると、赤外線のエネルギーが、伸び縮みを増大させ、そのエネルギーがCO<sub>2</sub>分子（炭酸ガス）に吸収される。

ブランコの振れを大きくするには、振れの周期と合わせて力を入れる。



こんな振動もある。  
振動の周波数が異なる。

分子には分子の振動の周波数 = 赤外線の周波数のとき、自分と同じ周波数を持つ赤外線を吸収する、という性質がある。そのため、吸収された赤外線のデータを調べることで、ガス分子やその濃度を測定することができる。

# 温暖化防止の新しい動き (asahi-net.or.jp)

- 「しんかい6500」によって、**海中深いところにCO<sub>2</sub>が液状化して存在する**ことが分かった。「しんかい6500」は水深6,500mまで潜ることができる潜水調査船で現在運航中の有人潜水調査船としては世界で一番深く潜ることができる。
- この「しんかい6500」が、**沖縄海域で液体二酸化炭素の海底噴出**という「世界初の発見」をした。これが、二酸化炭素海底貯蔵のアイデアにも結びついた。
- メタンと一緒に液体CO<sub>2</sub>を海中に入れると、微生物がCO<sub>2</sub>をCHの有機体（植物のようなもの）にする可能性があることも分かった。
- 石炭火力発電所から出る大量のCO<sub>2</sub>が海中で微生物の働きで有機物に変化するとなれば、これほど、いいことはない。これは日本発の大きな温暖化防止の発見である。
- このため、にわかに**世界はCO<sub>2</sub>防止対策として、CO<sub>2</sub>の固定化が研究**の中心になっている。しかし、10年以上の研究期間が必要であり、当面は原子力発電で凌ぐしかない。

# CO<sub>2</sub>の固定化、10年で実用化を目指す

- <http://www.ecology.or.jp/w-topics/wtp11-0307.html>
- 地球温暖化の原因となるCO<sub>2</sub>を化石燃料使用時に隔離し、地中や海中に固定化する「炭素隔離技術」を共同で研究開発するため、米国を中心に日本、中国、ロシアや欧州の一部など14カ国が策定した国際憲章の内容が24日、朝日新聞が入手した憲章の最終案で明らかになった。
- CO<sub>2</sub>削減のため、今後10年でコスト削減や環境保全を踏まえた技術開発を進める。憲章は、米ワシントンで各国政府代表が署名し、即日発効する。
- 炭素隔離技術は、世界最大のCO<sub>2</sub>排出国で、排出量削減を義務づけた「京都議定書」に不支持の立場をとる米国ブッシュ政権が温暖化問題で排出削減の代替策として主導。すでに一定の技術開発が進んでいるうえ、排出量で上位5カ国の米国、中国、ロシア、日本、インドがいずれも同憲章に署名する方針。

# 日本政府

- 日本政府（代表＝西川太一郎・経済産業副大臣）は24日の閣僚級会合で、CO<sub>2</sub>固定化技術は、地球環境対策で大きな役割を担うというとして協力を表明する。地震が多く狭い日本の国土事情を考慮して、地中隔離技術だけでなく、海洋隔離技術の重要性も主張する。
- 日本は、火力発電所などから大量に発生するCO<sub>2</sub>を分離回収し海洋の中層に液体CO<sub>2</sub>を放出する技術や、地中帯水層に貯留する技術の開発を進めている。現時点では、トン当たりの処理に3000～8000円かかり、分離回収や輸送時のコスト削減が大きな課題。海洋生物への影響も指摘されており、環境への影響予測を確立する必要がある。

## < 炭素隔離技術 >

- 火力発電所などから生じる大量のCO<sub>2</sub>を化学吸収法や物理吸着法で分離・回収したうえでパイプラインなどで輸送、地中や海洋に圧入し、固定化する技術。日米、ノルウェーなどが開発を進めている。
- 今後30～40年にわたり化石燃料が主要なエネルギー源になる見込みの中、地球温暖化を防ぐ技術として期待されている。
- 京都議定書では、各国が研究開発と応用を促進すべき分野として挙げられている。環境への影響など安全性も課題になっている。

海の液体  $\text{CO}_2$  :

海底に自然のプールを確認、地球温暖化対策に期待持てる発見

- <http://plaza.rakuten.co.jp/gnetoffice/diary/200608300000/>
- 1. 始めに
- 沖縄・与那国島から北西50キロメートルの海底で、液体状の二酸化炭素 ( $\text{CO}_2$ ) がたまっている場所を発見したそう。その存在は予想されていたが、確認したのは初めてで、地球温暖化対策として深海底に  $\text{CO}_2$  を投棄する研究にはずみを付けるものとなった。

# 液体CO<sub>2</sub>の発見

## (1) 液体CO<sub>2</sub>

水深1380メートルにある熱水チムニーと呼ぶ、熱水に含まれる硫化物によって、煙突状の構造が形成されている熱水口で液体CO<sub>2</sub>を観察した。

## (2) たまり（プール）

約50メートル離れた場所に液体CO<sub>2</sub>が面積で200m<sup>2</sup>、厚みで20cm程度たまっている場所を見つけた。

## (3) ふたの存在

液体CO<sub>2</sub>は、マグマに含まれるCO<sub>2</sub>やメタンが海底表面で冷やされて液化したもので、液体でも通常は浮き上がってしまう。発見した液体CO<sub>2</sub>の“プール”は、硫黄が固まったものと液体CO<sub>2</sub>が水分子とくっついた「液体二酸化炭素ハイドレート」が上側にふたを形成していた。

## (4) メタン含有と微生物

液体CO<sub>2</sub>中にはメタンも含まれ、CO<sub>2</sub>とメタンをエネルギー源とする微生物の存在も確認した。

## (1) 地球温暖化対策

地球温暖化対策として深海底にCO<sub>2</sub>を投棄する研究が進められているが、**液体CO<sub>2</sub>は強い酸性を持ち、深海生物への影響も危惧**される。**メタンと混合して投棄すれば緩やか**ではあるが生物活動により有機物への変換が期待できるなど新たな知見を導ける可能性があるという。

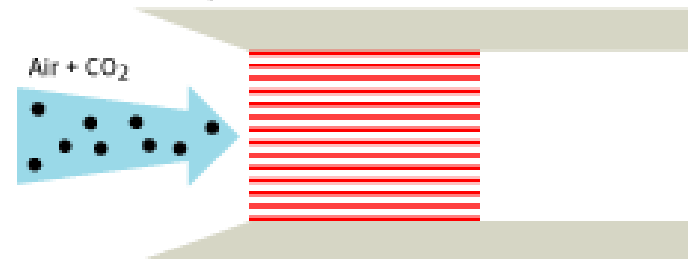
## (2) 宇宙生物への期待

高圧と高い酸度、無酸素という極限環境にある液体CO<sub>2</sub>の中で生物の存在が確認されたことは、CO<sub>2</sub>と氷が存在するということが分かった**火星に、生命が存在**するかどうかを議論するうえでも貴重な発見だという。

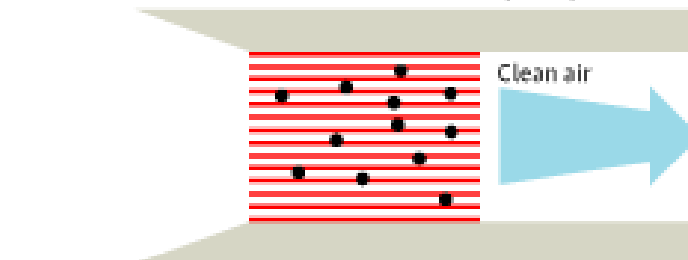


## The CO<sub>2</sub> extractor

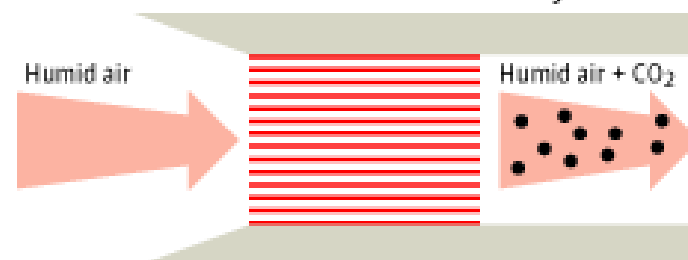
Air containing dissolved CO<sub>2</sub> pumped in



Air passes over an **ion exchange resin**. CO<sub>2</sub> sticks to the resin and clean air is pumped out



Ion exchange is washed with humid air which cleans off the CO<sub>2</sub>. CO<sub>2</sub> can now be extracted and either buried or used in other ways



CO<sub>2</sub>を含んだガスを、  
イオン交換樹脂の層に通す。

そうするとCO<sub>2</sub>は樹脂に吸着する。

イオン交換樹脂は、湿った空気で洗うと  
CO<sub>2</sub>が取り出される。

# CO<sub>2</sub>を吸収する“人工樹木

- コロンビア大学のクラウス・ラックナー氏

「Yes, We Can Afford to Remove Carbon from Air（大気中からCO<sub>2</sub>を取り除くことは十分に可能）」と題した記事を投稿。

- **同氏のチームは、大気中のCO<sub>2</sub>を取り除く特殊な吸着剤を利用した人工樹木（実際には塔）を開発。自然の植物よりも大幅に効率が優れており、CO<sub>2</sub>の吸収量は同サイズの樹木の1000倍に達するという。**

- 但し、吸収プロセスを進めるためにはエネルギーが必要だが、現行のアメリカの発電システム（50%が石炭、20%が天然ガスに依存）を利用した場合でも、吸収が排出を上回る。再生可能エネルギーを使用すれば、効果はさらに高まる。

- 昨秋、「Global Thermostat (GT)」社の実証するプラントが、カリフォルニア州メンロパークにある非営利独立研究機関「スタンフォード研究所」で稼働を開始した。
- 現在、年間700トンのCO<sub>2</sub>を吸収しており、約29万リットル分のガソリン消費を相殺する量になる。
- GT社はこのほかにも、藻を原料とするバイオ燃料開発に取り組むベンチャー企業「Algae Systems」と提携し、植物を燃料に転換するバイオリファイナリー技術の開発にも着手している。
- GT社が処理したCO<sub>2</sub>を藻が吸収して光合成を行い、再利用可能なジェット燃料やディーゼル燃料、バイオ炭（バイオマスに由来する炭）を精製する仕組みである。
- 両社は日本やインドにも合同プラントを開設する予定。
- GT社には、CO<sub>2</sub>を水から分離させた水素と反応させ、炭化水素燃料を精製するプラントの構想もある。実現すれば、コスト、再生可能性の両面で優れているという。

## • アメリカの物理学会（APS）の評価

- 大気中のCO<sub>2</sub>を取り除く技術を本当に実現できるかどうかはわからない。現在のところDACもその他の代替技術も、コスト面の見通しが立っていない。技術発展、環境への負荷削減、世間一般の賛同が今後のカギになるだろう。
- 一方、DAC開発に取り組む研究者たちは、**気候変動問題に対処する切り札**と考えている。アイゼンベルガー氏はコロンビア大学地球研究所とプリンストン大学材料研究所を設立し、数学と経済の専門家シシルニスキー氏は京都議定書の炭素市場の発案者でもある。GT社を設立した両氏は、世界的な気候変動の問題に長らく力を注いできた。
- 「我々は最初から、自分たちの技術でエネルギー・システムに変革をもたらそうと考えてきた」とシシルニスキー氏は語る。
- また、両氏の考えでは、**“CO<sub>2</sub>を排出しない”技術は大事だが**、それだけでは不十分だという。「再生可能エネルギーのプラントを増産して排出量のレベルを下げるだけではとても間に合わない。CO<sub>2</sub>濃度は既にかかなり高い水準で、今後も増加し続けると予想され、**取り除く手立てを講じる段階に来ている**」とシシルニスキー氏は述べている。

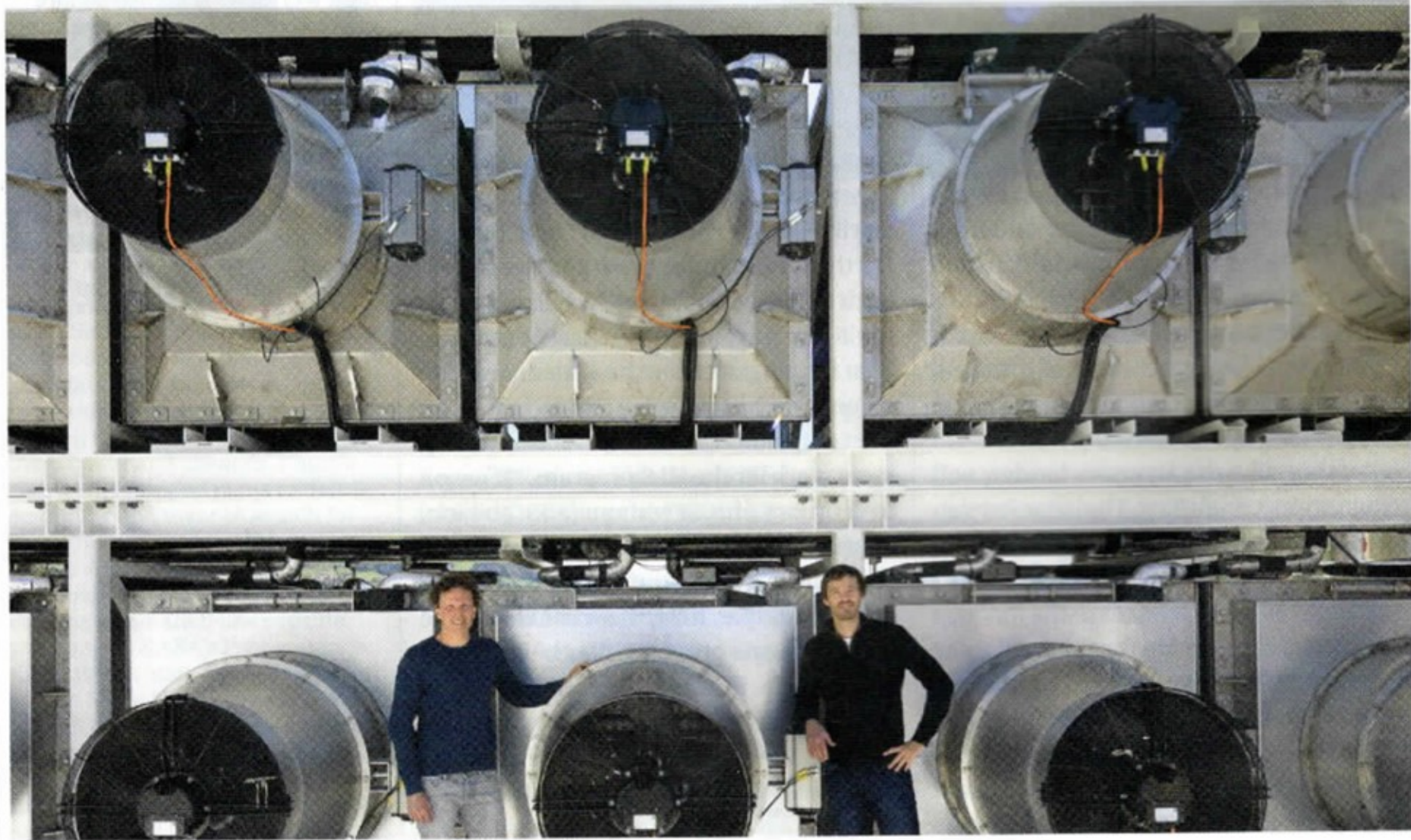
## The Carbon-Sucking Fans of West Texas



人口樹木。

1 ダースの人口樹木は、  
一日に1トンの  
CO<sub>2</sub>を吸着する。

**▲ TREE FARM:**  
This artist's  
rendering shows  
Silicon Kingdom  
Holdings'  
CO<sub>2</sub>-absorbing  
"mechanical trees."  
A dozen trees can  
capture 1 metric  
ton of carbon  
dioxide a day.



▼ **CO<sub>2</sub> TO FUEL:**  
Climeworks'  
cofounders  
Christoph Gebald  
[below left] and  
Jan Wurzbacher  
[below right] plan  
to use captured  
CO<sub>2</sub> to make  
sustainable jet  
fuel.

吸着したCO<sub>2</sub>  
からジェット燃  
料を作ろうとし  
ている。

# はい、私たちは空気から炭素を取り除く余裕があります (columbia.edu)

 COLUMBIA CLIMATE SCHOOL  
Climate, Earth, and Society

## State of the Planet



News from the Columbia Climate School

AGRICULTURE

CLIMATE

EARTH SCIENCES

ECOLOGY

ENERGY

HEALTH

SUSTAINABILITY

URBANIZATION

WATER

ABOUT

CLIMATE, EARTH SCIENCES, ENERGY


### Yes, We Can Afford to Remove Carbon from Air

BY [KLAUS LACKNER](#) | JUNE 28, 2011

    [Comments](#)

Recently, the American Physical Society (APS) released a [report on the direct capture of carbon dioxide from air](#). The report concludes that air capture could be a powerful tool for mopping up carbon dioxide emissions that otherwise would escape to the air, for providing carbon dioxide for synthetic liquid fuels in the transportation sector, and for gradually reducing the concentration of carbon dioxide in the atmosphere. The report rightly notes that air capture cannot reduce atmospheric concentrations rapidly, and thus provides no excuse for delaying action against climate change.



 As the Earth Institute, Lamont-Doherty Earth Observatory, and our centers and programs become part of the Columbia Climate School, you'll begin to see some changes.

[LEARN MORE](#) ▶

**SIGN UP** 

Get Updates from the Columbia Climate School

Featured Story

- 彼はまた、APSパネルは、価格を下げるために必要な改善の種類を妨げる科学的または技術的な問題を提起していませんと言いました。Lackner自身の見積もりは、彼と彼のチームが開発したプロセスのコストは1トンあたり30ドルに下がるということです。
- 天然資源コストがあります。水は、吸収し、CO2を放出する吸着剤のプロセスを活性化するために必要とされます。「材料を加熱するのではなく、湿らせませます」とLackner氏は言います。「私たちにとって、ラウンドアバウトの方法で、水は燃料として機能します。しかし、Lacknerは、彼のチームの合成木は通常の木よりも約100倍少ない水を使用すると言います。
- Lacknerのチームは現在、サンフランシスコのスタートアップ、キリマンジャロ・エナジーとデモンストレーションプラントで作業しています。彼は、Stechelと同様に、システムのコストを評価する際に考慮することが重要であると考えています。短期的にコストに対処するための戦略の1つは、捕獲されたCO2を市場に投入する(例えば、低濃度CO2の流れを評価する温室と場所を共有する)ということです。
- 「私がこれらの技術について興味深いと思ったのは、気候変動に関するコンセンサスを得る前に始めることができるという点です」とLackner氏は言います。



# 人工木は1000倍のCO<sub>2</sub>を吸収する - TBP (borgenproject.org)

- 科学者たちは、地球温暖化の影響が認められて以来、二酸化炭素排出量の削減を主張してきた。今、地球温暖化の増加との闘いをさらに支援するために、これらの科学者の中には、大気中から二酸化炭素を吸い取る方法を見つけた人もいます。この技術は、1日に最大1トンの二酸化炭素を吸収する「人工木」の形で現れます。
- これらの人工木は、実際の木のように見え、何も感じません。実際、彼らはサイズと形状の車に似ています。彼らは通常の木よりも1000倍速く空気から二酸化炭素を吸収するだけでなく、実際の木とは異なり大気中に炭素を放出しません。
- 大気から二酸化炭素を取り除いた以前の発明は、二酸化炭素が私たちが呼吸する空気のわずか0.04%を占めているので、膨大な量の空気を処理する必要があります。しかし、人工木は、単に炭酸ナトリウムでコーティングされている葉に空気から炭素を吸収します。炭酸ナトリウムが二酸化炭素に接触すると、それは無害な重炭酸塩を形成します- 重曹です。

- 1,000万本の人工木が年間36億トンの二酸化炭素を吸収する可能性があります。これは、世界の排出量の10%に相当します。1本の木は当初、米国の車の価格の周りに\$20,000の費用がかかります。しかし、これらの木の生産が増加するにつれて、価格も下落し、このイニシアチブのコストは非常に高くなります。
- 人工木によって収集された二酸化炭素はまた、いくつかの方法で使用または保存することができます。それは液体に変換され、地下に埋めることができる。あるいは、水素を加え、炭化水素燃料を作り出す。このプロセスが再生可能エネルギーを使用する限り、この燃料は新しい二酸化炭素を大気中に放出しません。さらに、ガスは、膨大な量の二酸化炭素を保持することができるペリドサイトなどの岩石に注入することができます。

道路沿いのCO<sub>2</sub>を吸収する人口樹木のイメージ図



アンモニア (NH<sub>3</sub>) は、  
新しい燃料

## アンモニア発電とは？脱炭素社会実現に向けたメリットと 問題点 | 脱炭素チャンネル ([datsutanso-ch.com](https://datsutanso-ch.com))



アンモニアは、燃焼時にCO<sub>2</sub>を出さない。

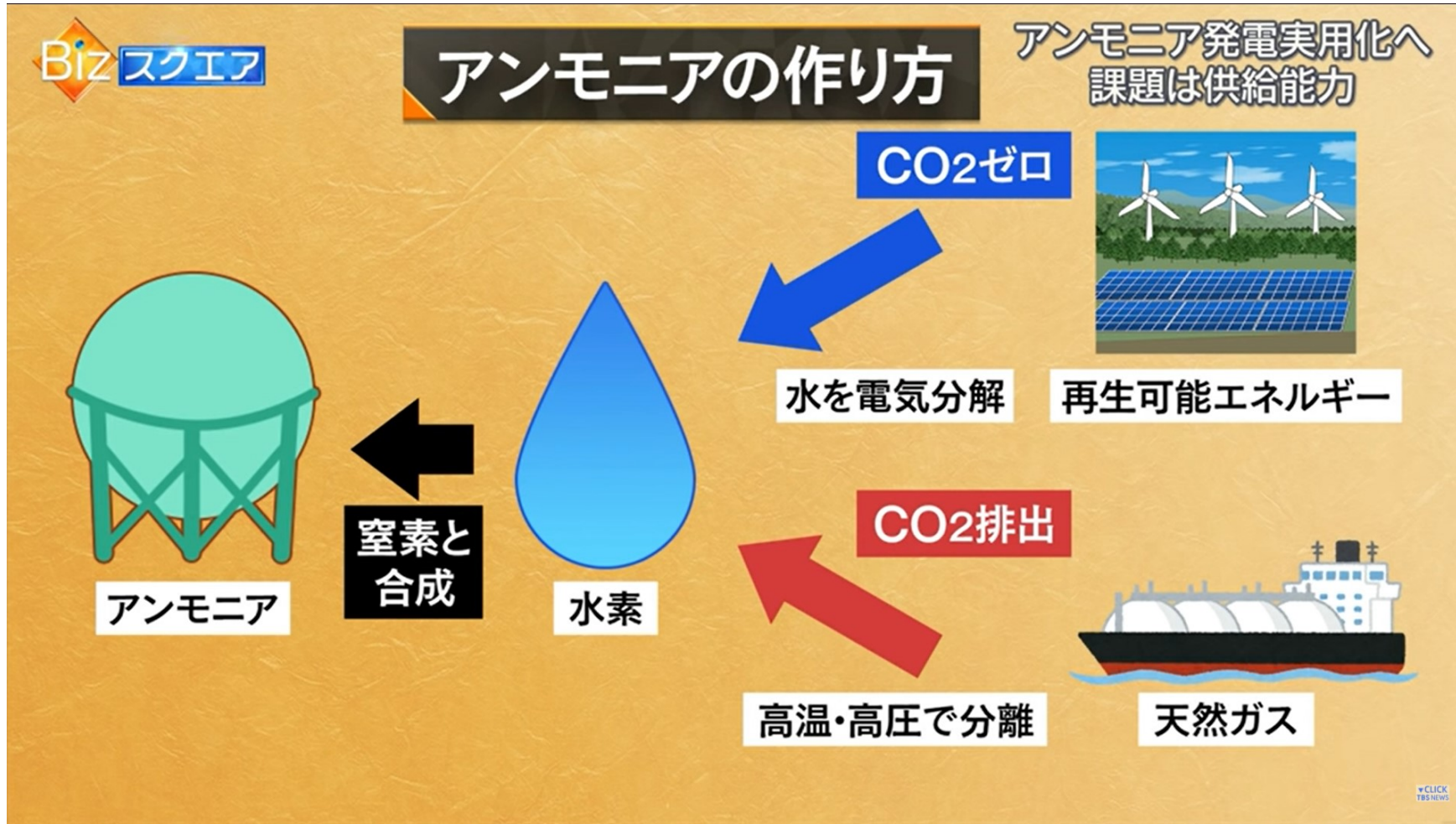
アンモニアは、水を電気分解してできた水素と窒素を反応させて作る。

天然ガスからも、水素が作れる。

しかし、両方とも電気を使うので、太陽電池などにつくった電気を使うのが良い。

# 脱炭素の切り札！ アンモニア発電の未来

【Bizスクエア】 - Bing video



# 石炭火力でアンモニア「混焼」、政府が インドネシアで脱炭素事業に参画へ

[石炭火力でアンモニア「混焼」、政府  
がインドネシアで脱炭素事業に参画へ  
\(msn.com\)](#)



## 石炭火力でアンモニア「混焼」、政府がインドネシアで脱炭素事業に参画へ (msn.com)

- 政府は、インドネシアでアンモニアを石炭に混ぜて燃やす石炭火力発電事業に参画する。二酸化炭素（CO<sub>2</sub>）を排出しないアンモニアとの「混焼」を東南アジアで展開し、石炭火力への国際社会の理解が広がることを目指す。
- 混焼は、インドネシア国営の電力会社 PLN のスラヤ火力発電所で、導入可能性を調べる。調査は政府が費用を負担し、PLN と三菱重工業が実施する。
- 世界的な脱炭素の流れを受けて、CO<sub>2</sub> の排出量が多い石炭火力には逆風が吹いている。昨年 11 月に開かれた国連気候変動枠組み条約第 26 回締約国会議（COP26）では、40 か国以上が全廃を目指すことで合意した。
- 日本は、短期間のうちに再生可能エネルギーに切り替えることが難しく、石炭火力は当面必要との立場だ。岸田首相は COP26 の演説で、アジアで燃料をアンモニアに切り替える事業などに 1 億ドル（約 115 億円）を投じる考えを示していた。
- ほかの東南アジアの国でも混焼を支援するほか、水素燃料の活用や、火力発電で排出した CO<sub>2</sub> を回収し、安定的に地中に封じ込める技術で協力する。



- 東京電力と中部電力の火力発電部門を統合したJERAと、重工大手のIHIは24日、**石炭火力発電所でアンモニアを混ぜて燃やす実証実験を6月に始める**と発表した。二酸化炭素

(CO<sub>2</sub>)の排出が抑えられるとされ、大型商業炉での本格的な実証実験は世界初という。

- JERAの愛知県にある碧南火力発電所の4号機(100万キロワット)で、**2024年度にアンモニアを約20%混ぜて2カ月間燃やす「混焼」をめざす**。40年代にはアンモニアだけで燃やす「専焼」を実現したいとしている。

- 今年8月から**5号機(100万キロワット)で小規模な**実験**を始める。IHIはアンモニアを安定的に燃やす技術開発などを担う。

アンモニアは水素より扱いやすい新しい燃料として**期待**されている。アンモニアは零下33度で液化できるが、水素は零下253度以下にする必要がある。政府は昨年末にまとめたグリーン成長戦略で、「世界におけるアンモニアの供給・利用産業のイニシアチブを取る」としている。

発電会社Jパワー(電源開発)も24日、アンモニアの混焼に向けた研究開発を始めると発表した。(新田哲史

朝日新聞デジタル > 石炭とアンモニア混焼し発電 大型商業炉で初実証へ > 写真・図版

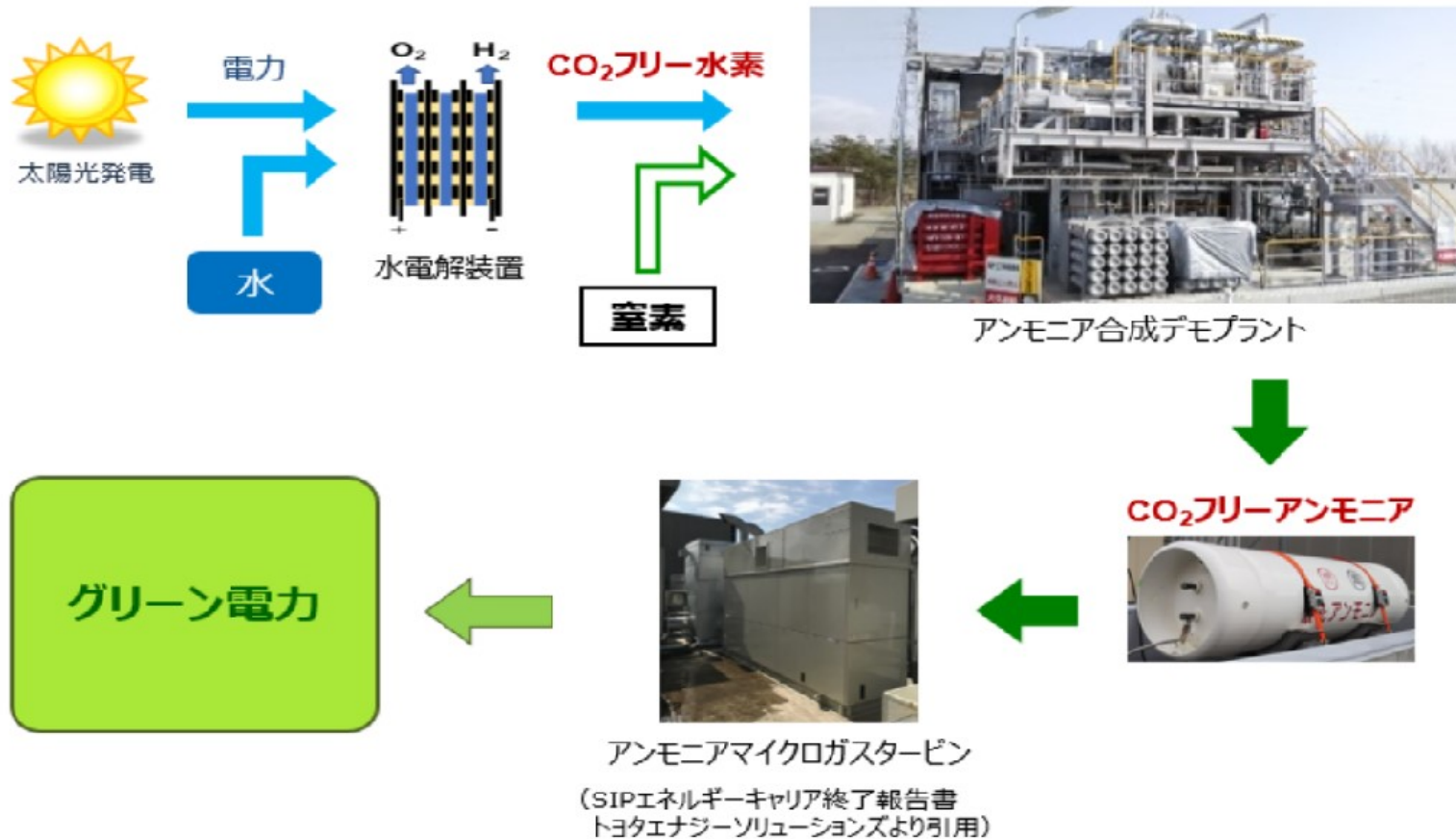


JERAがアンモニアの混焼実験を始める碧南火力発電所=愛知県碧南市、同社提供

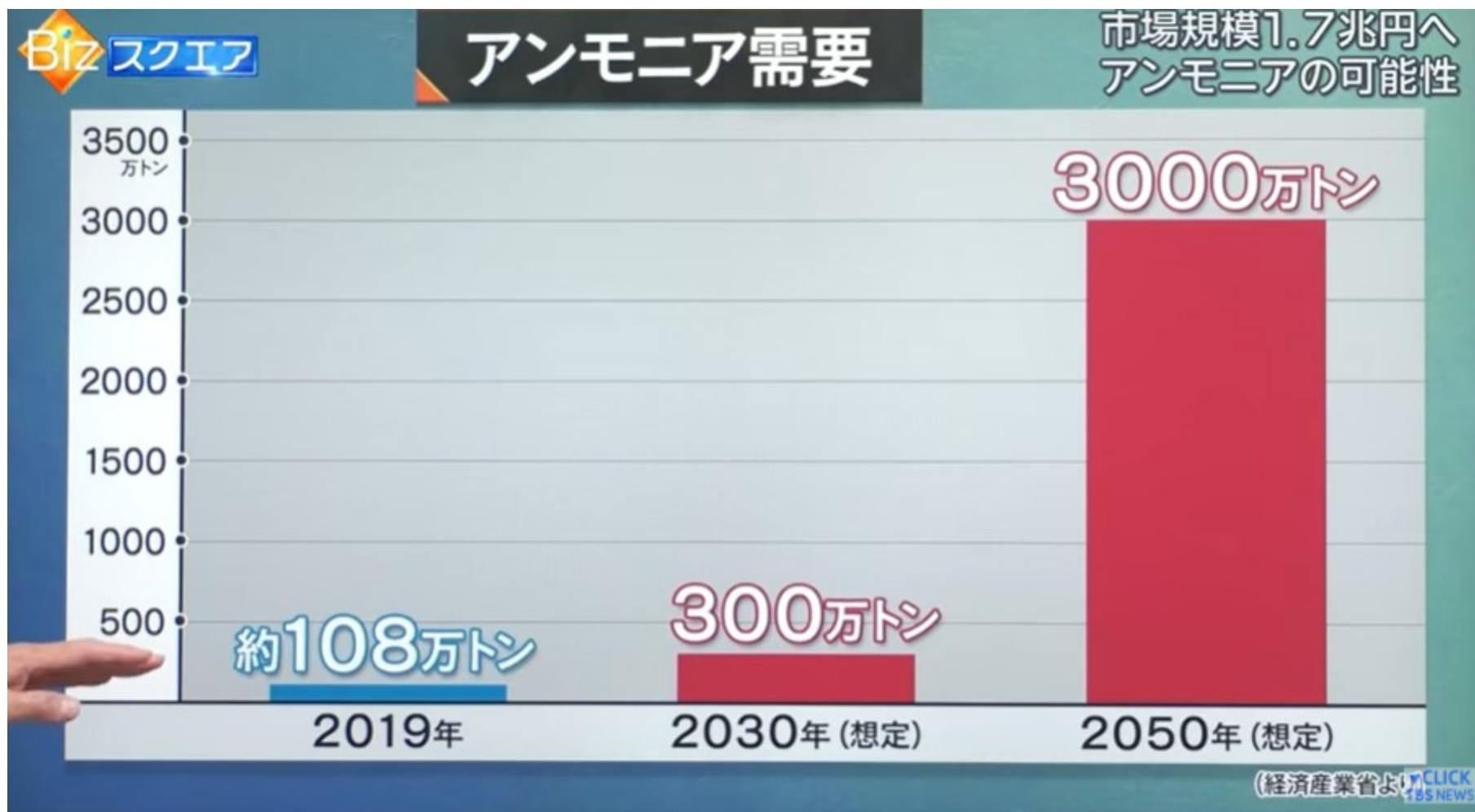
# CO<sub>2</sub> 排出減少の効果

ケース	20%混焼 (※1)	50%混焼 (※1)	専焼 (※1)	(参考) 1基20%混焼
CO <sub>2</sub> 排出削減量 (※2)	約4,000万トン	約1億トン	約2億トン	約100万トン
アンモニア 需要量	<u>約2,000万トン</u>	約5,000万トン	約1億トン	約50万トン

## アンモニアを燃やしてガスタービン発電に利用





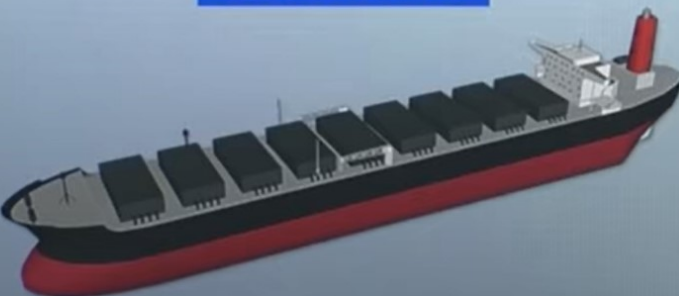
アンモニアの需要は、30年後には、30倍に



# アンモニアの今後の活用例

TBS NEWS Bizスクエア 脱炭素の切り札！アンモニア発電の未来【Bizスクエア】アンモニアの今後の活用事例 全画面表示を終了するには Esc キーを押してください

市場規模1.7兆円へ  
アンモニアの可能性 後で見る 共有

<h3>火力発電</h3> 	<h3>工業炉用燃料</h3> 
<h3>船用燃料</h3> 	<h3>燃料電池</h3> <p><math>2\text{H}_2 + \text{O}_2 \rightarrow \text{電気} + 2\text{H}_2\text{O}</math></p>

CLICK TBS NEWS

10:08 / 10:21 YouTube

易しい科学の話

2022/1/14 (木)

# CO<sub>2</sub> による地球温暖化と 新しいCO<sub>2</sub>の削減法

おわり

吉岡 芳夫