

大阪大学 社会人教育プログラム：第1回共通特別講義  
日時：2024年6月12日

18:00～19:30

大阪大学豊中キャンパス・文理融合型研究棟 セミナー室

グリーン・イノベーションの実現  
**社会実装を目指した人工光合成  
技術の可能性**

大阪公立大学人工光合成研究センター  
天尾 豊

SUSTAINABLE  
DEVELOPMENT  
GOALS



1

社会実装を目指した人工光合成技術の可能性

**講義概要**

カーボンニュートラルの実現が喫緊の社会課題となっています。中でも太陽光エネルギーを利用して水と二酸化炭素を原料として燃料や有機物質を作り出す人工光合成はこれらの課題を解決する技術の1つとして期待されています。この講義では様々な人工光合成技術とカーボンニュートラル社会構築に向けた人工光合成技術の社会実装の可能性について紹介します。

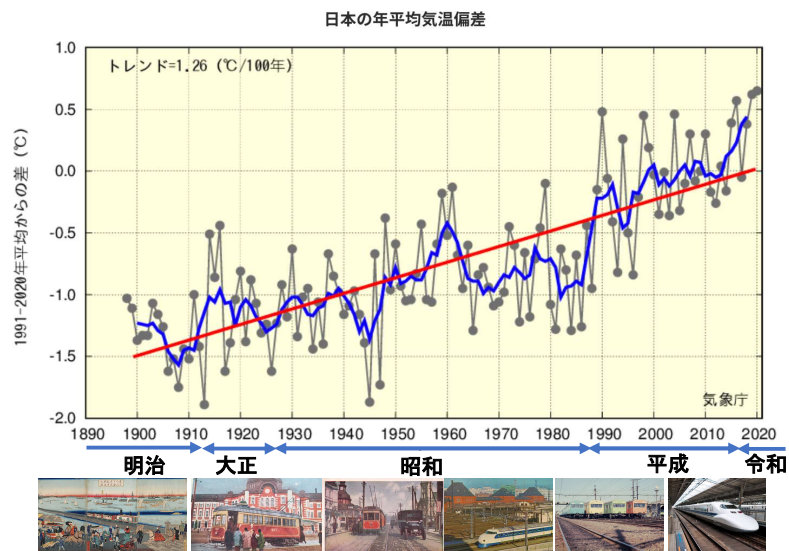
2

## 内容

1. 日本を取り巻く環境問題
2. 人工光合成技術とは（天然光合成と人工光合成の違い）
3. 次世代エネルギー創製のための人工光合成技術について

3

## 日本全体の年平均気温の推移



1890年代と比較すると日本の年平均気温も例外なく上昇している

4

## 気候変動枠組条約締約国会議の開催履歴

1. 第1回締約国会議 (COP1) 1995年 3/28 - 4/7 ドイツ ベルリン
  2. 第2回締約国会議 (COP2) 1996年 07/08 - 07/19 スイス ジュネーヴ
  3. 第3回締約国会議 (COP3) 1997年 12/01 - 12/10 **日本 京都**
  4. 第4回締約国会議 (COP4) 1998年 11/02 - 11/13 アルゼンチン ブエノスアイレス
- 「京都議定書の早期発効」のために行動すること、また2年後のCOP6を目標に詳細な運用規定で合意を形成することを目指す「ブエノスアイレス行動計画」を採択。
- ・
- ・
- ・
9. 第8回締約国会議 (COP8) 2002年 10/23 - 11/01 インド ニューデリー
- 京都議定書の未批准国に対し批准を強く求める「デリー宣言」を採択。
10. 第9回締約国会議 (COP9) 2003年 12/01 - 12/12 イタリア ミラノ
- ・
- ・
- ・
21. 第20回締約国会議 (COP20) 2014年 12/1 - 12/12 ペルー リマ
  22. 第21回締約国会議 (COP21) 2015年 11/30 - 12/11 **フランス パリ**
  23. 第22回締約国会議 (COP22) 2016年 11/7 - 11/18 モロッコ マラケシュ
  24. 第23回締約国会議 (COP23) 2017年 11/6 - 11/17 ドイツ ボン
  25. 第24回締約国会議 (COP24) 2018年 12/3 - 12/14 ポーランド カトヴィツェ
  26. 第25回締約国会議 (COP25) 2019年 12/2 - 12/15 スペイン マドリッド
  27. 第26回締約国会議 (COP26) 2021年 11/1 - 11/12 イギリス グラスゴー
  28. 第27回締約国会議 (COP27) 2022年 11/6 - 11/18 エジプト シャルムエルシェイク
  29. 第28回締約国会議 (COP28) 2023年 11/30 - 12/12 アラブ首長国連邦(UAE)・ドバイ



5

## 日本を取り巻く環境問題（温室効果ガス削減の契機）



地球温暖化防止  
京都会議とは

1997.12.1-10  
通称COP3  
(Conference of  
The Parties)  
気候変動枠組条約  
締約国会議

### 対象ガス

6種類: 二酸化炭素、メタン、亜酸化窒素、ハイドロフルオロカーボン  
(代替フロン)、パーフルオロカーボン、六フッ化硫黄

### シンク(吸収源)の取扱い

1990年以降の新規の植林、再植林及び森林減少に係る排出及び吸収を限定的に考慮する。

### 目標年/期間

**2008～2012年の5年間を第1約束期間。**

### 数量目標(QELROs)

附属書I国全体で、**二酸化炭素、メタン、亜酸化窒素**の3ガスについては、基準年を1990年とし、**ハイドロフルオロカーボン、パーフルオロカーボン、六フッ化硫黄**の3ガスについては基準年を1995年として、**二酸化炭素換算での総排出量を少なくとも5%削減**(附属書I国全体で5.2%削減、対策をとらなかった場合と比べて約30%の削減)各国は、別途定められた割当量を超過しないことを確保(**日本-6%**、米国-7%、EU-8%)。

### 発効要件

55以上の条約締約国の批准(ただし、批准した附属書I国の二酸化炭素の総排出量が1990年の総排出量の55%以上)後90日目に発効。

6

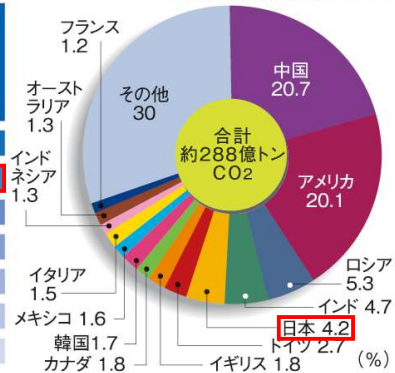
● 京都議定書の温室効果ガス削減目標と二酸化炭素排出量

温室効果ガス削減目標 (90年比、%)

|    |                                                                                                                                                           |
|----|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| -8 | EU(ドイツ、イギリス、フランス、イタリア、オランダ、ベルギー、オーストリア、デンマーク、フィンランド、スペイン、ギリシャ、アイルランド、ルクセンブルク、ポルトガル、スウェーデン)、ブルガリア、チェコ、エストニア、ラトビア、リヒテンシュタイン、リトアニア、モナコ、ルーマニア、スロバキア、スロベニア、スイス |
| -7 | アメリカ(2001年に離脱を表明)                                                                                                                                         |
| -6 | 日本、カナダ、ポーランド、ハンガリー                                                                                                                                        |
| -5 | クロアチア                                                                                                                                                     |
| 0  | ニュージーランド、ロシア連邦、ウクライナ                                                                                                                                      |
| 1  | ノルウェー                                                                                                                                                     |
| 8  | オーストラリア                                                                                                                                                   |
| 10 | アイスランド                                                                                                                                                    |

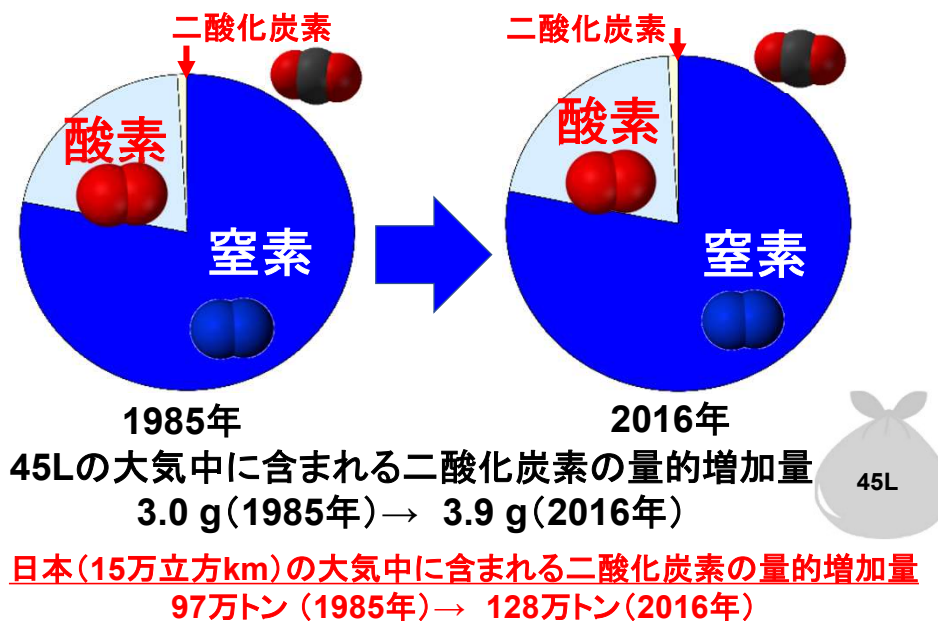
注：炭素換算トンとは二酸化炭素中の炭素の質量をトンで表したものの。約3.7倍で二酸化炭素量になる

二酸化炭素排出量(2007年)



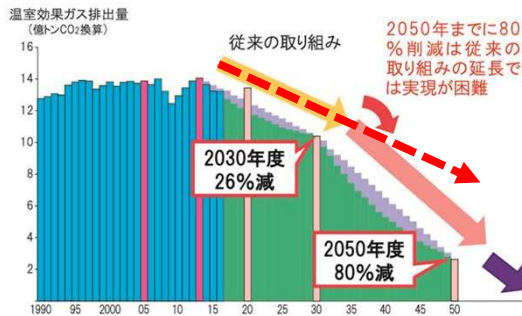
資料：日本エネルギー経済研究所「EDMCエネルギー・経済統計要覧」

大気中CO<sub>2</sub>濃度分布



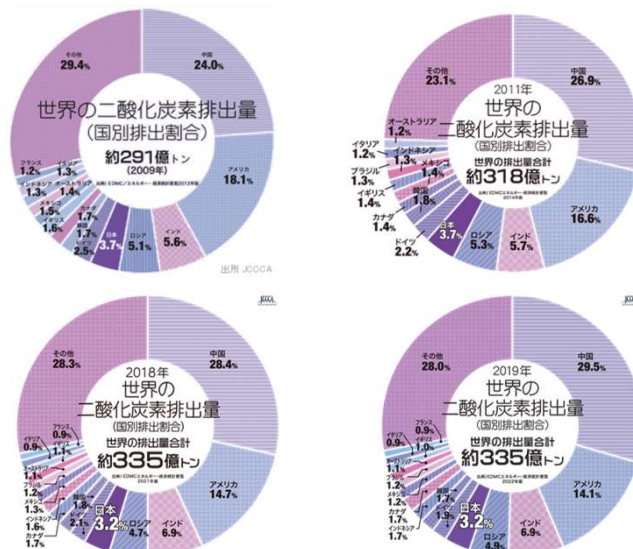
パリ協定：第21回気候変動枠組条約締約国会議（COP21）が開催されたフランス・パリにて2015年12月12日に採択

気候変動抑制に関する多国間の国際的な協定：産業革命前からの世界の平均気温上昇を「2度未満」に抑える。加えて平均気温上昇「1.5度未満」を目指す



2050年までにCO<sub>2</sub>を**実質**80%削減するためには従来の取組では不十分であり、思い切った技術革新が求められている。

世界のCO<sub>2</sub>排出量の遷移



世界全体での二酸化炭素の排出量は増えており、国別の排出量の割合も大きな変化はない

全国地球温暖化防止活動推進センターウェブサイト  
(<https://www.jccca.org/>) より引用

第21回締約国会議 (COP21)

## 各国の削減目標

国連気候変動枠組条約に提出された約束草案より抜粋

| 国名                                                                                     | 削減目標                                                                 |
|----------------------------------------------------------------------------------------|----------------------------------------------------------------------|
|  中国   | GDP当たりのCO <sub>2</sub> 排出を<br>2030年までに <b>60 - 65 %</b> 削減<br>2005年比 |
|  EU   | 2030年までに <b>40 %</b> 削減<br>1990年比                                    |
|  インド  | GDP当たりのCO <sub>2</sub> 排出を<br>2030年までに <b>33 - 35 %</b> 削減<br>2005年比 |
|  日本   | 2030年までに <b>26 %</b> 削減<br>※2005年比では25.4%削減<br>2013年比                |
|  ロシア  | 2030年までに <b>70 - 75 %</b> に抑制<br>1990年比                              |
|  アメリカ | 2025年までに <b>26 - 28 %</b> 削減<br>2005年比                               |

GDPあたりの  
CO<sub>2</sub>排出量

CO<sub>2</sub>排出量(t)

実質GDP(通貨)

CO<sub>2</sub>排出量は、インフラ整備、社会構造の変化、企業によるイノベーションなどにより、GDPが高くなってもCO<sub>2</sub>排出量が抑えられる

GDPあたりのCO<sub>2</sub>排出量が低い場合、効率的な製造構造

平成27年10月1日現在

11

## 地球温暖化による事象

### 地球温暖化により引き起こされる事象



異常な暑さによる  
健康被害



高潮や洪水の  
発生リスクの上昇



生態系への悪影響



異常気象による  
インフラ機能の停止



乾燥



猛暑



大雨



熱中症・熱帯病など



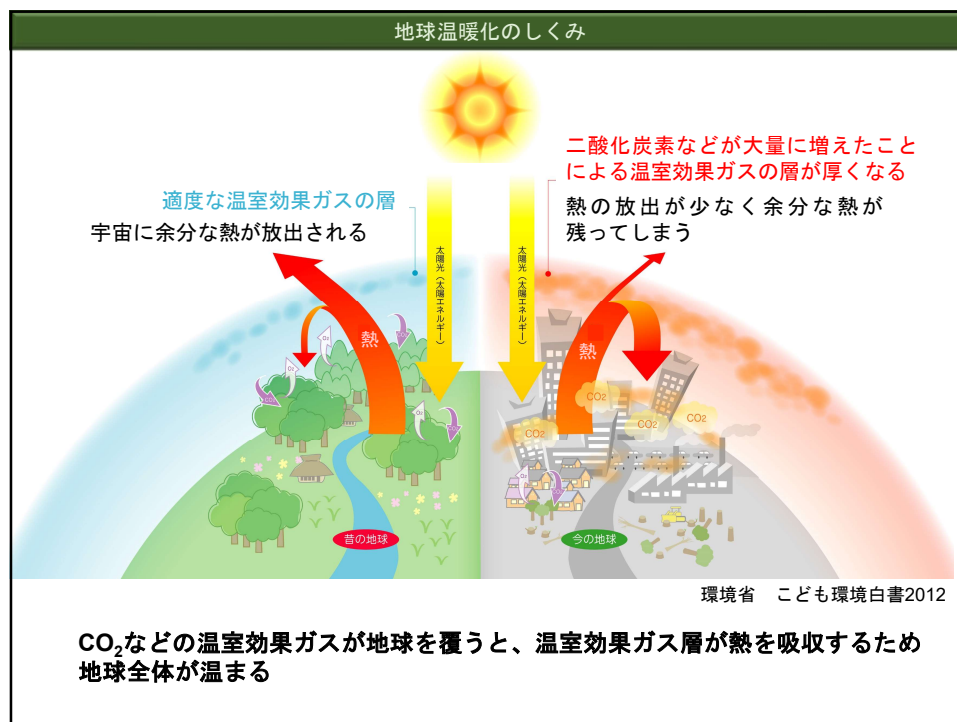
食糧不足

出典：環境省「地球温暖化/パネル」

地球温暖化とともに異常気象・生態系異常等

(地球の長い歴史の中での気候変動の可能性もある)

12



13

二酸化炭素とはどんな物質か

## 二酸化炭素とは？



- 二酸化炭素は、化学式が CO<sub>2</sub> と表される化合物である。
- 有機物を燃やすだけで生成するため、地球上で最も代表的な炭素の酸化物となっている。気体は炭酸ガス、固体はドライアイス、水溶液は炭酸水と呼ばれる。






高純度の二酸化炭素は多様な用途がある。

要するに炭水化物の燃えカスであり、これを  
元に戻すには大変な知恵がいる

14

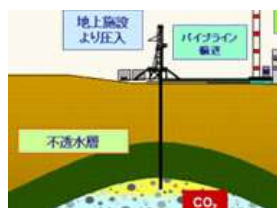
## なぜ二酸化炭素は増えるのか？



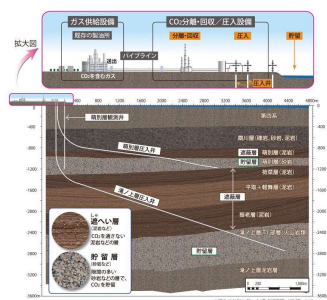
15

## 二酸化炭素地中貯留技術 (CO<sub>2</sub> Capture and Storage : CCS)

### ● 回収したCO<sub>2</sub>を地中に隔離する、CO<sub>2</sub>地中貯留に関する技術開発



CO<sub>2</sub>地中貯留とは、大規模なCO<sub>2</sub>発生源である発電所や製鉄所、セメント工場などから排出されるガス中のCO<sub>2</sub>を分離・回収して、それを地中深くのキャップロックと呼ばれる不透水層を上部に持つ帯水層に圧入し、貯留・隔離することによって大気中にCO<sub>2</sub>が放出されるのを抑制して、地球温暖化防止に役立てようとする技術 (RITEホームページより引用)



日本CCS調査株式会社から引用

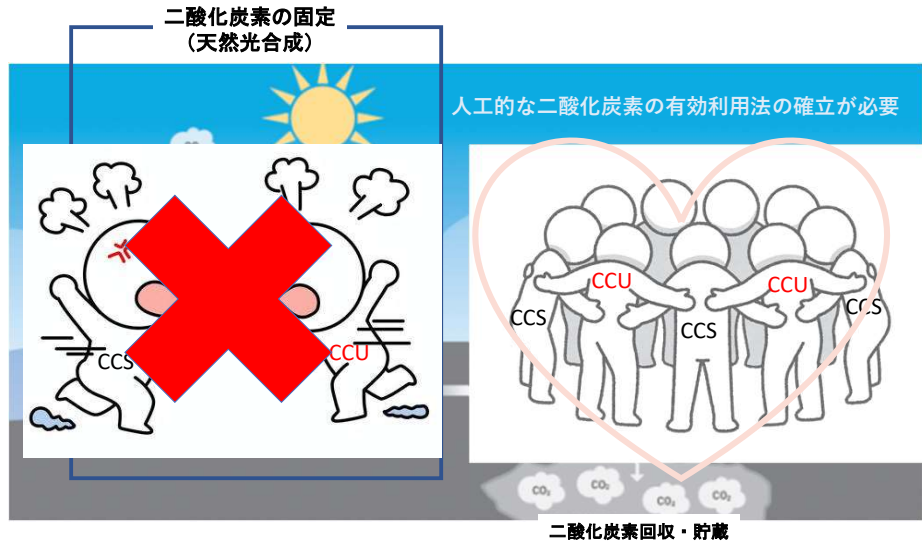
### 苫小牧におけるCCS大規模実証試験

苫小牧では、日本初となるCCSの大規模実証試験 (CO<sub>2</sub>の分離・回収、圧入、貯留、モニタリング) が国家プロジェクトとして実施

処理の方法としては安易であるが生産性は何もない。

16

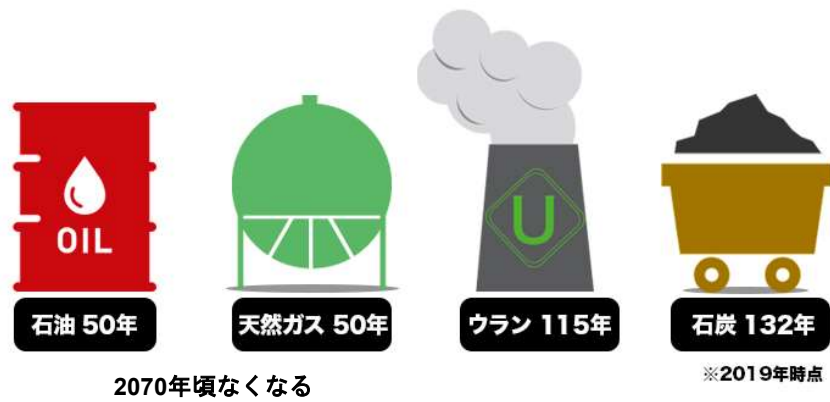
二酸化炭素回収・再利用



17

化学燃料資源の枯渇

化学燃料 寿命



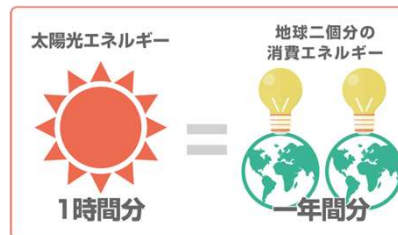
18

## 太陽エネルギー

- 地球に降り注ぐ太陽光のエネルギーは、わずか1時間で世界の全人類が1年間に消費するエネルギー量に匹敵。
- 太陽エネルギーは、二酸化炭素や有害物質を排出することなくクリーン。
- 数十億年消えることのない無尽蔵のエネルギー。



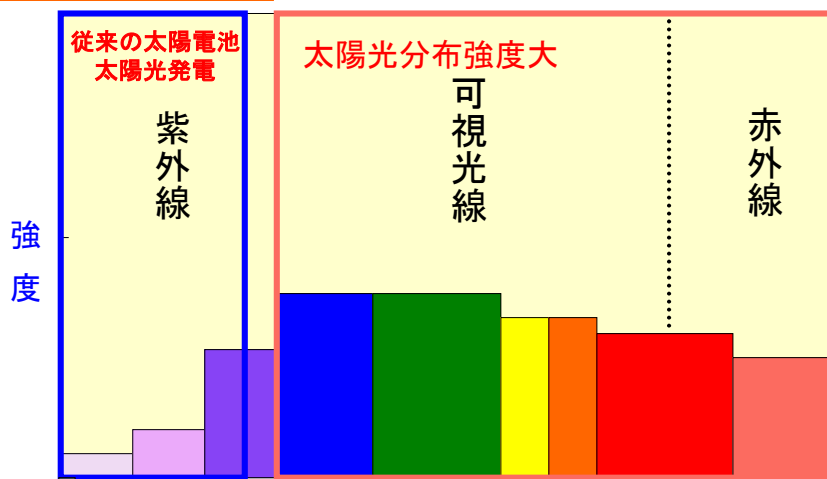
NEDOホームページより引用



株式会社九州エネコより引用

この数値は余すことなく太陽光を使った場合であることに注意

## 太陽光の分布強度



従来の太陽電池はこの部分の光しか使えていない。大部分は捨てていることになる。



## 内容

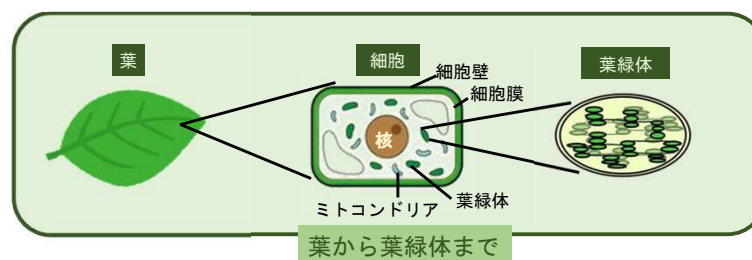
1. 日本を取り巻く環境問題
2. 人工光合成技術とは（天然光合成と人工光合成の違い）
3. 次世代エネルギーとしての人工光合成技術について

21

## 光合成が再生可能エネルギー利用技術として注目される理由

### ●自然界の光合成とは

緑色植物が太陽光のエネルギーを用いて、二酸化炭素( $\text{CO}_2$ )と水( $\text{H}_2\text{O}$ )から炭水化物(ブドウ糖 $\text{C}_6\text{H}_{12}\text{O}_6$ )を合成し、酸素( $\text{O}_2$ )を放出する



太陽光エネルギー＋二酸化炭素＝ブドウ糖(エネルギー)

→人工的に実現し太陽光と二酸化炭素から有用な物質を作る  
二酸化炭素を積極的に有用なものに変えられる

22

● 光合成の光が関わる過程（明反応）

光化学反応系およびこれと直接に関連する反応に属する部分。すなわち光による色素（クロロフィル）の励起と、励起色素による水または他の水素供与体の分解と、生じた還元力によるリン酸化（光リン酸化）の総称。明反応は葉緑体のラメラ部分で進行する。明反応で生じた還元型補酵素 NADPH とアデノシン三リン酸は、暗反応を推進する駆動力となる。

✓ CO<sub>2</sub>を原料としてブドウ糖を作るためのエネルギーや還元力を得る。

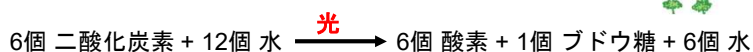
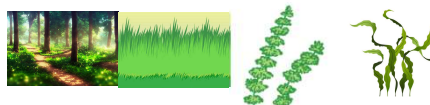
● 光合成のCO<sub>2</sub>を固定して糖などを作る過程（暗反応）

光エネルギーに直接に依存しない部分をいう。明反応において光エネルギーを受けて生成したアデノシン三リン酸 ATP および還元型補酵素 (NADPH<sub>2</sub>) を利用してCO<sub>2</sub>を固定して糖などを作る過程のこと。暗反応の反応はカルビンベンソン回路という循環的な反応経路をなしている。

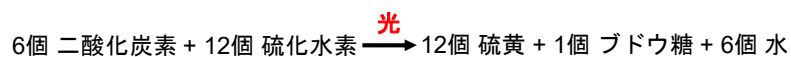
✓ CO<sub>2</sub>を原料としてブドウ糖を作るため反応経路。

多様な光合成

酸素発生型光合成（主に植物）



非酸素発生型光合成（緑色硫黄細菌・紅色非硫黄細菌）



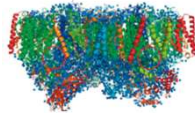
いろいろなタイプの光合成があり、必ずしも水と二酸化炭素を原料にはしていない



もう一つ大事なこと！：6個の二酸化炭素が次々に結合してブドウ糖を作っているわけではない。

## ● 人工光合成は2つの種類に大別できる

✓ 光合成反応過程を一つ一つ説明し人工的に再現する（学術的研究）



例)

- 水を分解して酸素発生させるタンパク質の構造解明

酸素発生光化学系IIの1.9 Å分解能における結晶構造  
Nature 誌  
2011年末米国科学誌サイエンス  
『2011年10大ブレイクスルー』に選出  
大阪市立大学（現大阪公立大学） 神谷信夫特別招聘教授  
ノーベル化学賞級の研究

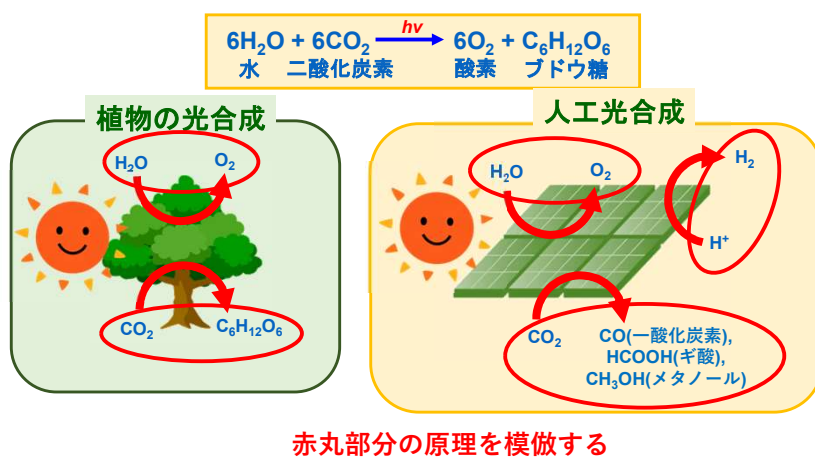
✓ 光合成反応過程の重要部分を真似して有用物を作り出す（学術的+実用化研究）



例)

- 二酸化炭素を一酸化炭素・メタノールなどの燃料に変える
- 水を光分解して水素を製造する
- 二酸化炭素を有用物質に変える

25



### 人工光合成研究のトレンド

- 水を光分解して水素を作る（水素製造）
- 二酸化炭素を還元して一酸化炭素、ギ酸、メタノールなどを作る（炭素ベース燃料生成等）

26

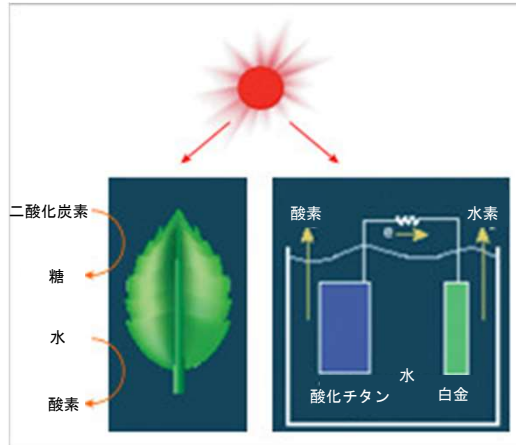
● 人工光合成研究の原点



1972年 東京大学の本多健一と藤嶋昭により、酸化チタン電極を用い、紫外線を照射することにより水を水素と酸素に分解する本多-藤嶋効果が発表



1974年1月1日朝日新聞

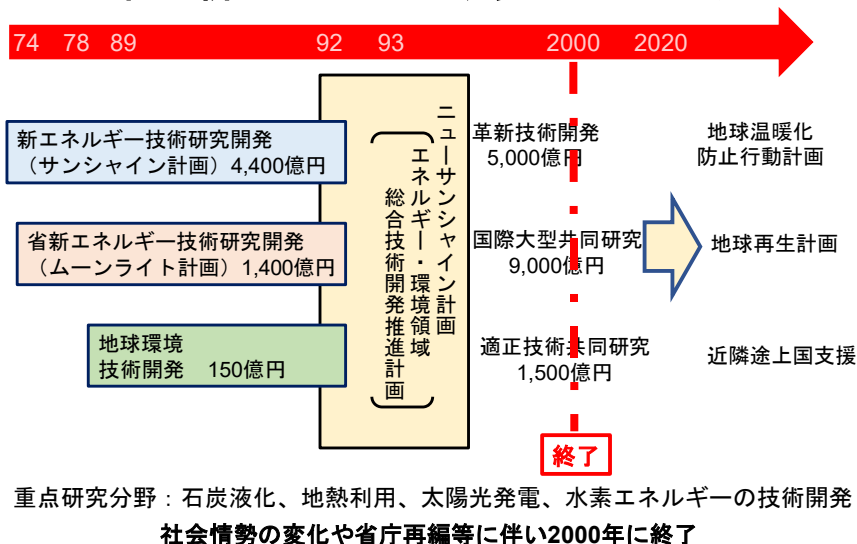


Nature 238, 37 – 38(1972)

内容

1. 日本を取り巻く環境問題
2. 人工光合成技術とは（天然光合成と人工光合成の違い）
3. 次世代エネルギー創製のための人工光合成技術について

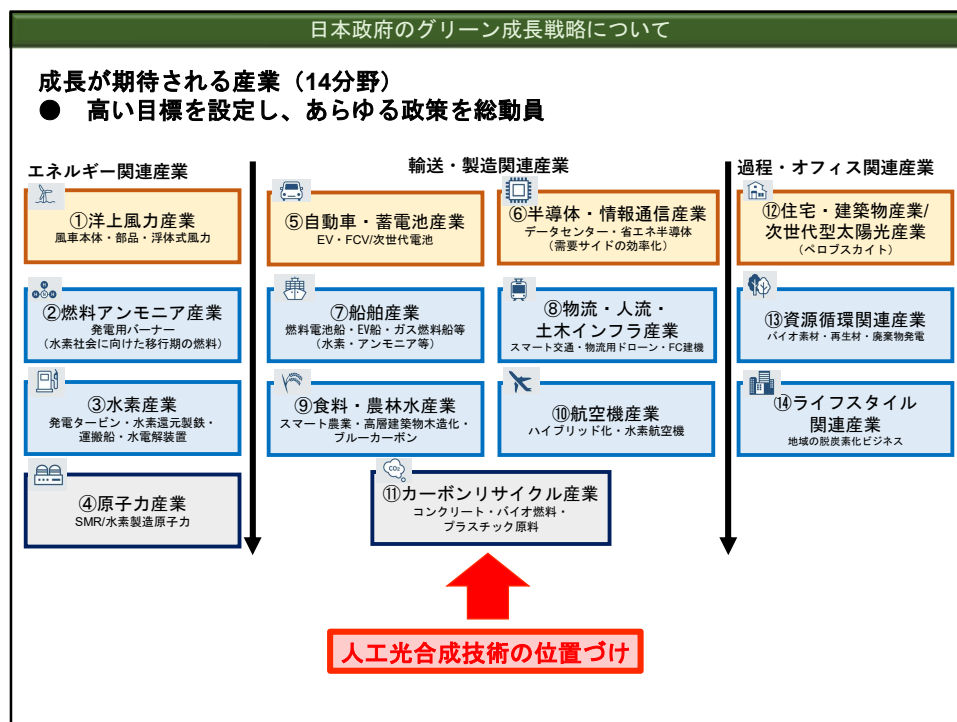
## 日本の新エネルギー研究プロジェクト



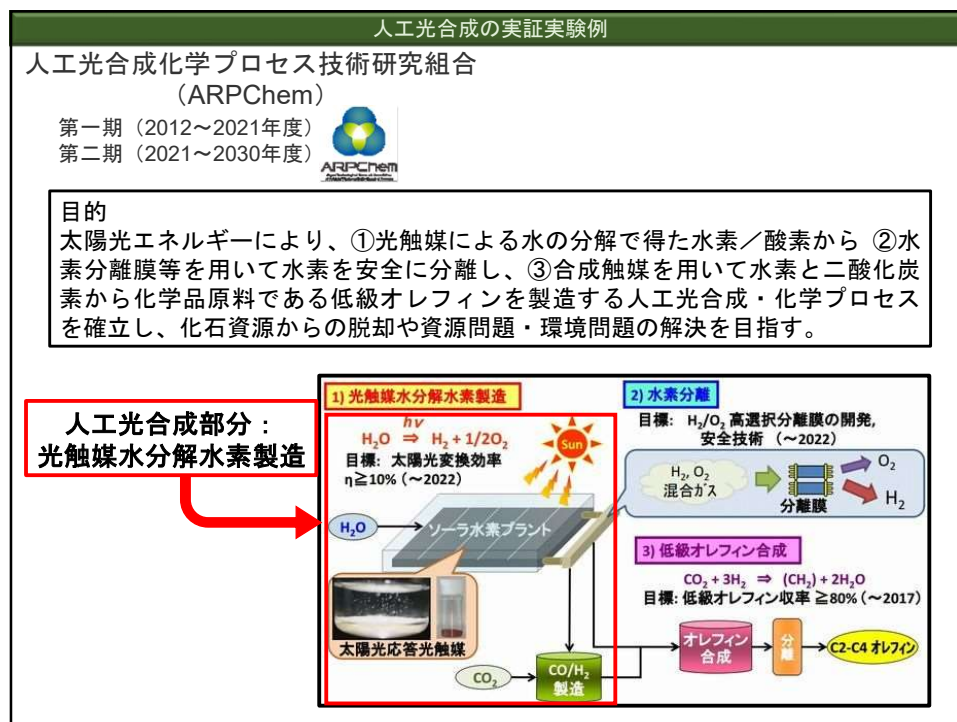
### 正式名称 2050年カーボンニュートラルに伴うグリーン成長戦略

#### 背景

- 2020年10月、日本は「2050年カーボンニュートラル」を宣言。
- 地球温暖化への対応を、経済成長の制約やコストとする時代は終わり、国際的にも、成長の機会と捉える時代に入。
- 従来の発想を転換し、積極的に対策を行うことが、産業構造や社会経済の変革をもたらす、次なる大きな成長に繋がっていく。こうした「経済と環境の好循環」を作っていく産業政策 = グリーン成長戦略
- 「発想の転換」、「変革」といった言葉を並べるのは簡単だが、実行するのは、並大抵の努力ではできない。
- 産業界には、これまでのビジネスモデルや戦略を根本的に変えていく必要がある企業が多く存在。
- 新しい時代をリードしていくチャンスの中、大胆な投資をし、イノベーションを起こすといった民間企業の前向きな挑戦を、全力で応援 = 政府の役割
- 国として、可能な限り具体的な見通しを示し、高い目標を掲げて、民間企業が挑戦しやすい環境を作る必要。
- 産業政策の観点から、成長が期待される分野・産業を見いだすためにも、前提としてまずは、2050年カーボンニュートラルを実現するためのエネルギー政策及びエネルギー需給の見通しを、議論を深めて行くに当たっての参考値として示すことが必要。



31



32

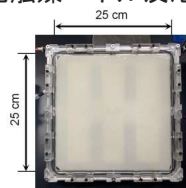
ARPCChemでの研究成果

- ✓ 人工光合成により100m<sup>2</sup>規模でソーラー水素を製造する実証試験 *Nature*, 598, 304–307 (2021)

●概要

- ✓ 光触媒パネル反応器の開発
- ✓ 100m<sup>2</sup>規模の光触媒パネル反応器の実証
- ✓ ガス分離モジュールによる混合気体からのソーラー水素の分離

光触媒パネル反応器



光触媒パネル反応器の基本単位（左）と紫外光照射時の水分解反応時の様子（右）

- ・ 上面は透明なガラス製で、中に25cm角のチタン酸ストロンチウム光触媒シートを格納。
- ・ 光触媒シートとガラス窓の間には0.1mmのわずかな隙間があり、そこへ水を供給して反応。
- ・ 用いるチタン酸ストロンチウム光触媒は、太陽光のうち紫外光しか水分解には利用できないが、量子収率ほぼ100%で水分解。
- ・ 光触媒シートは、スプレーなどを用いて光触媒を基板上に塗布するだけで、簡易に製造が可能。
- ・ 光触媒シートに実験室環境下で疑似太陽光を連続的に照射し続けて水分解活性の長期耐久性を評価、初期活性の8割以上の活性を2カ月以上維持。

ARPCChemでの研究成果

100m<sup>2</sup>規模の光触媒パネル反応器の実証



3m<sup>2</sup>規模の光触媒パネル反応器（左）と100m<sup>2</sup>規模の光触媒パネル反応器から生成した水素と酸素の混合気体（右）

- ・ 光触媒パネル反応器を連結して3m<sup>2</sup>のモジュールを組み立て、それらをプラスチックチューブで連結することで、世界最大となる100m<sup>2</sup>規模の光触媒パネル反応器を達成。
- ・ それぞれのモジュールには自動的に水の供給量を制御可能。
- ・ 光触媒パネル反応器は、屋外環境で継続して1年程度水素と酸素の混合気体が発生することを確認。
- ・ 光触媒パネル反応器から生成した混合気体が勢い良く吹き出る様子を観察することができ、夏の日照条件が良好な時期には、最大0.76%の太陽光エネルギー変換効率を達成。

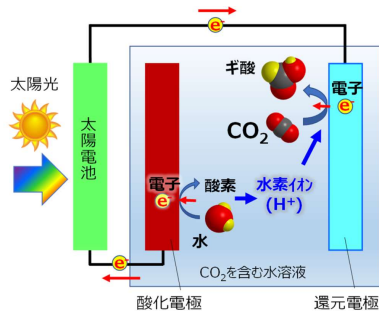
## 人工光合成の実証実験例

## 豊田中央研究所での研究成果

✓ 実用サイズの人工光合成セルで変換効率7.2%を達成 *Joule, 5, 687-705 (2021)*

## ● 成果の概要

- ✓ 光受光部にシリコンベースの太陽電池を使用
- ✓ 酸化電極に酸化イリジウム、還元電極にルテニウム錯体を使用
- ✓ 変換効率7.2%を達成



人工光合成セルの基本原理

● 2011年時点での世界初の原理実証では、太陽光変換率は0.04%だったが、2015年には1cm角サイズで、植物を大きく上回る変換効率4.6%（当時世界最高）を実現

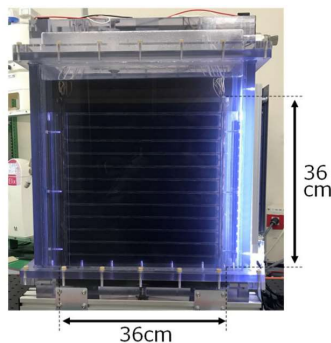
● 基本原理はそのままに、太陽電池で生成した電子量とのバランスがよいサイズに電極面積を拡張するとともに、有機酸合成に必要な電子、水素イオン、CO<sub>2</sub>を電極全面に素早く途切れることなく供給して、有機酸合成を促進できる新しいセル構造と電極を開発

35

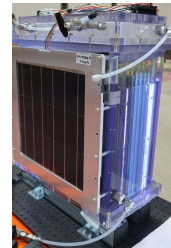
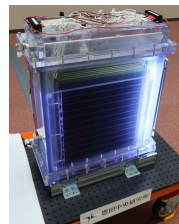
## 人工光合成の実証実験例

## 豊田中央研究所での研究成果

36cm角の人工光合成セルを用いて  
変換効率7.2%を達成



36cm角の人工光合成セル



● 光受光部にシリコンベースの太陽電池、酸化電極に酸化イリジウム、還元電極にルテニウム錯体を使用した人工光合成セルを用いることで、太陽エネルギー変換効率7.2%を達成

36

人工光合成研究のトレンド

- 水を光分解して水素を作る(水素製造)
- 二酸化炭素を還元して一酸化炭素、ギ酸、メタノールなどを作る(炭素ベース燃料生成等)

古くから人工光合成に関する基礎研究が進められてきたが、出口をどうするかが明確でないことが人工光合成技術の理解や普及の妨げになっている



人工光合成技術を使って水分解して製造した水素、二酸化炭素から製造した一酸化炭素やギ酸を一体何に使うのか？



✓ 大阪市 223 km<sup>2</sup>

✓ 1,483,413世帯

1世帯当たりの電気使用量(年間)

● 4,322 kWh

大阪市全体

● 6,411 GWh/年

✓ 住吉区(78,000世帯)

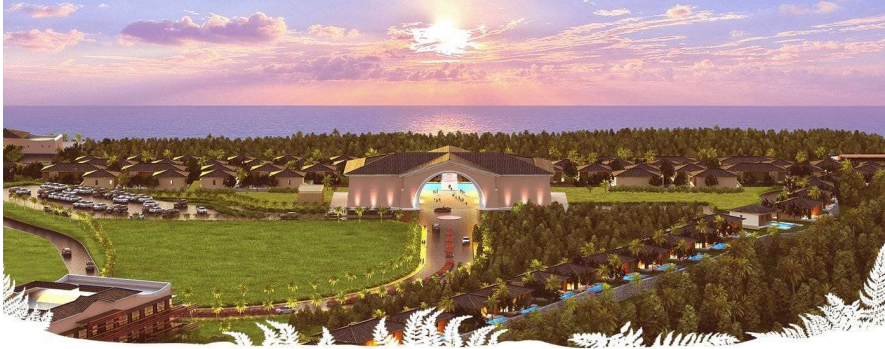
● 337 GWh/年

人工光合成技術1つだけで大阪市や区域のエネルギーを賄うことは現時点では不可能

## 人工光合成技術の実証実験

『水素エネルギー製造研究部門』と『水素エネルギー利用研究部門』

- 人工光合成で作られたギ酸・水素を使って家庭用の発電電力をまかなうための研究
- 実証試験を沖縄県宮古島に開業したヴィラの一角で開始
- 人工光合成で水素が1時間1立方メートル作れると予想して、そのための水素エンジンによる発電機をいくつか試作開発
- 一台は既に宮古島実験室に設置し水素発電の更なる性能向上や給湯連携・遠隔制御の実証予定



飯田グループホールディングスとの共同研究

39

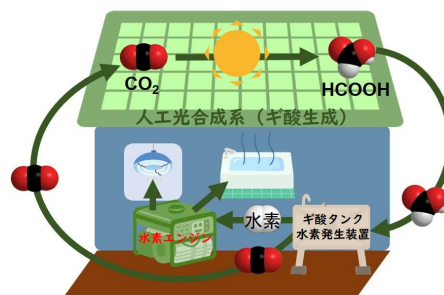
## 人工光合成技術の実証実験

### 「水素自立型エネルギー社会実証実験」

沖縄県宮古島に設置



パーフェクトエコハウスイメージ



40

# 「水素自立型エネルギー社会実証実験」

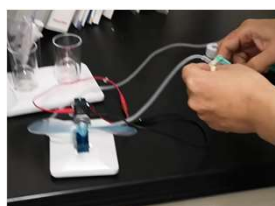


- ① 人工光合成によるギ酸生成
- ② ギ酸をタンクで貯蔵
- ③ 必要な時にギ酸から水素生成( $\text{HCOOH} \rightarrow \text{H}_2 + \text{CO}_2$ )
- ④ 水素を活用して発電、発電時の熱を利用して貯湯

必要な水素量：

- 一般的な計算で燃料電池を使った場合 5 人家族の一軒家で 1 時間に 600～1000L 必要
- ギ酸に換算すると 1.2～2.1kg の相当

## 高分子分散型白金微粒子によるギ酸分解に基づく水素製造

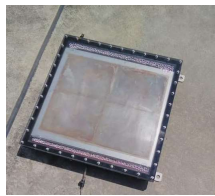


*Sustainable Energy Fuels*, 2020, 4, 3458

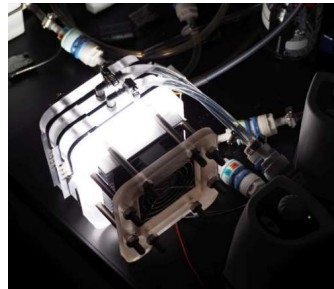
- ギ酸水溶液に白金微粒子を加えるだけで水素が製造できる

必要な水素量：

- 一般的な計算で燃料電池を使った場合 5 人家族の一軒家で 1 時間に 600～1000L 必要
- ギ酸に換算すると 1.2～2.1kg の相当



ギ酸生成パネルの試作品



人工光合成系（ $\text{H}_2\text{O} + \text{CO}_2 \rightarrow \text{HCOOH} + 1/2 \text{O}_2$ ）の試算

- 太陽光エネルギー変換効率7.2%でパネル1cm<sup>2</sup>あたり1時間で44.2 mgのギ酸が生成。
- この効率から1時間に1.2 kgのギ酸を作るためにはおよそ272000倍、つまり27200cm<sup>2</sup>必要。
- およそ5メートル四方のパネルが必要



2015年の研究スタート時

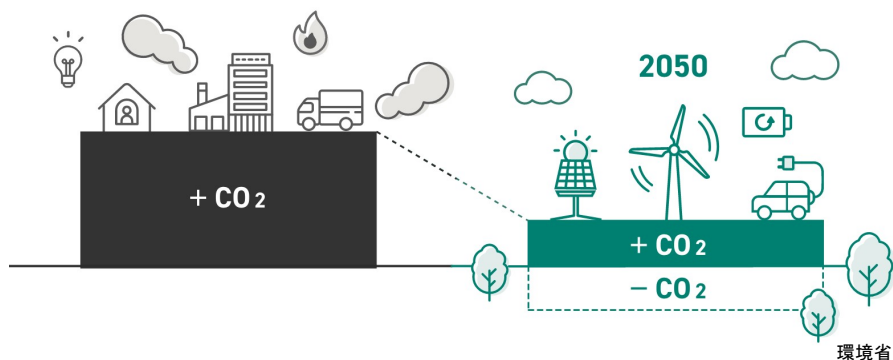


× 15~16枚

現在

## カーボンニュートラルとは？

温室効果ガスの排出量と吸収量を均衡させる



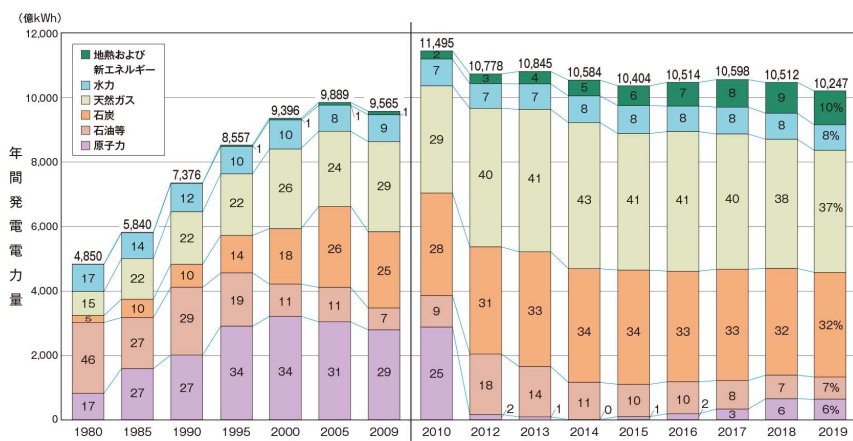
排出した二酸化炭素と同等量を再利用あるいは固定する

● 再生可能エネルギーの代表例



45

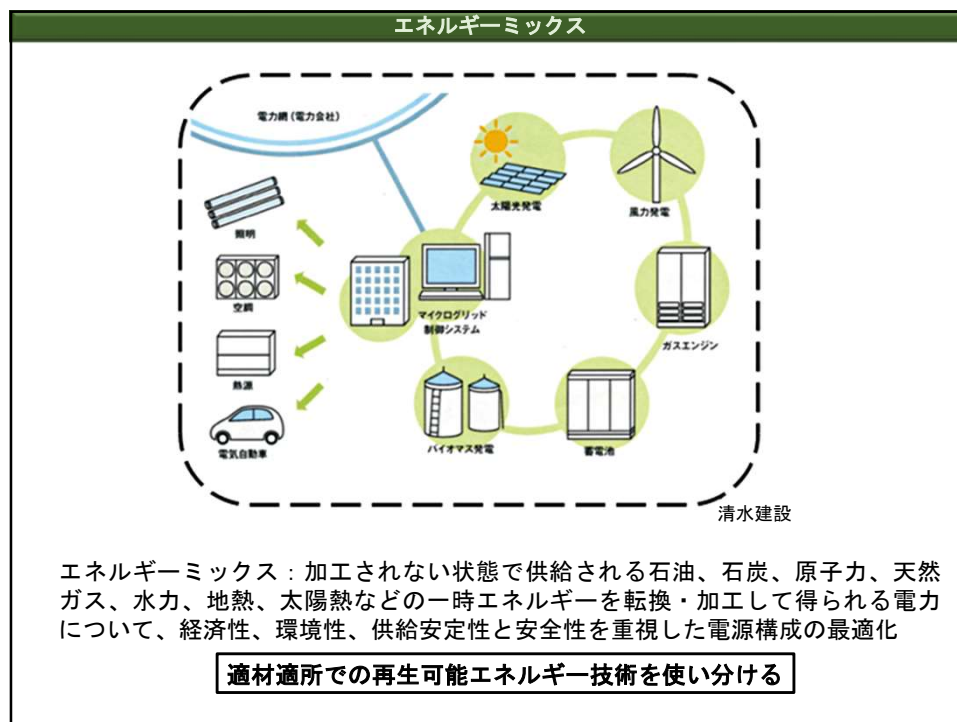
電源別発電電力量の推移



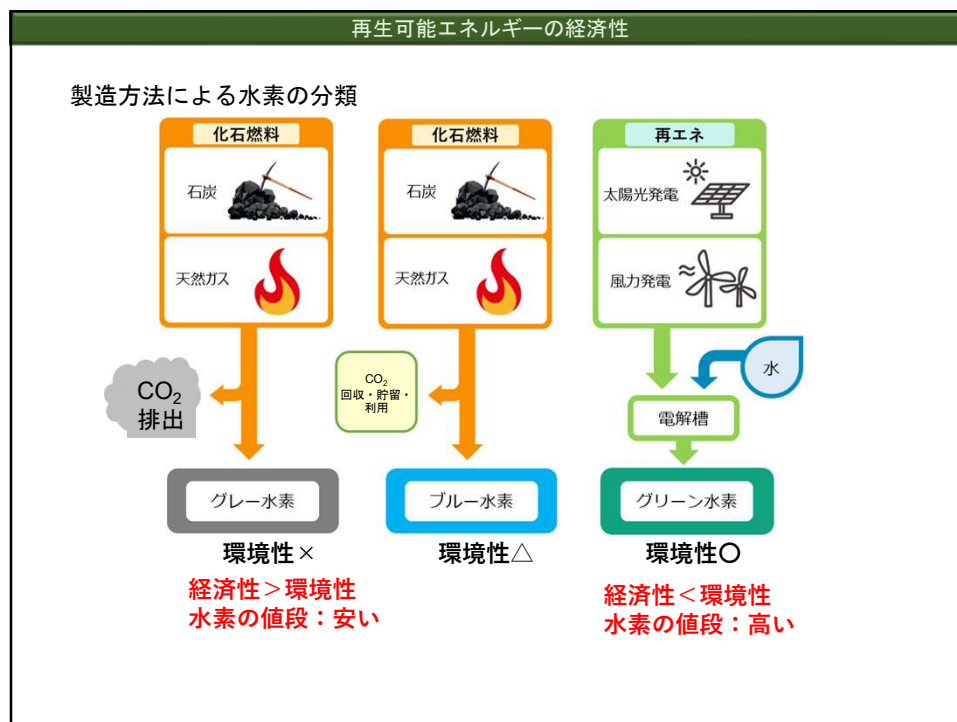
資源エネルギー庁

石油(7%)よりも天然ガスと石炭の占める割合が70%  
再生可能エネルギーはおよそ18%に過ぎない

46



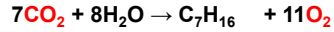
47



48

## 二酸化炭素利用を目的とした技術の難しさ

仮に光エネルギーを使って二酸化炭素と水からヘプタン（ガソリン）が製造できる人工光合成が達成できたとする



ヘプタン 60 L（比重0.7 41.4kg）を作るために二酸化炭素は**65000 L（128 kg相当）**必要

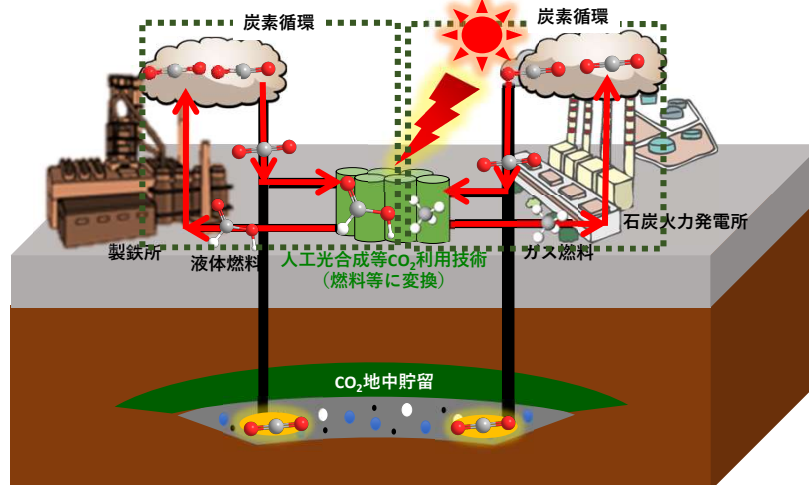
大気中の二酸化炭素濃度は0.04%程度：約1625000 Lの大気をかき集める必要がある。



→ 45 Lゴミ袋250袋でかき集めても全く足りない・・・・・・  
しかもかき集めた非常に希薄な二酸化炭素を含む気体を濃縮しない限り設備が巨大化しすぎてこの技術の適用は難しい

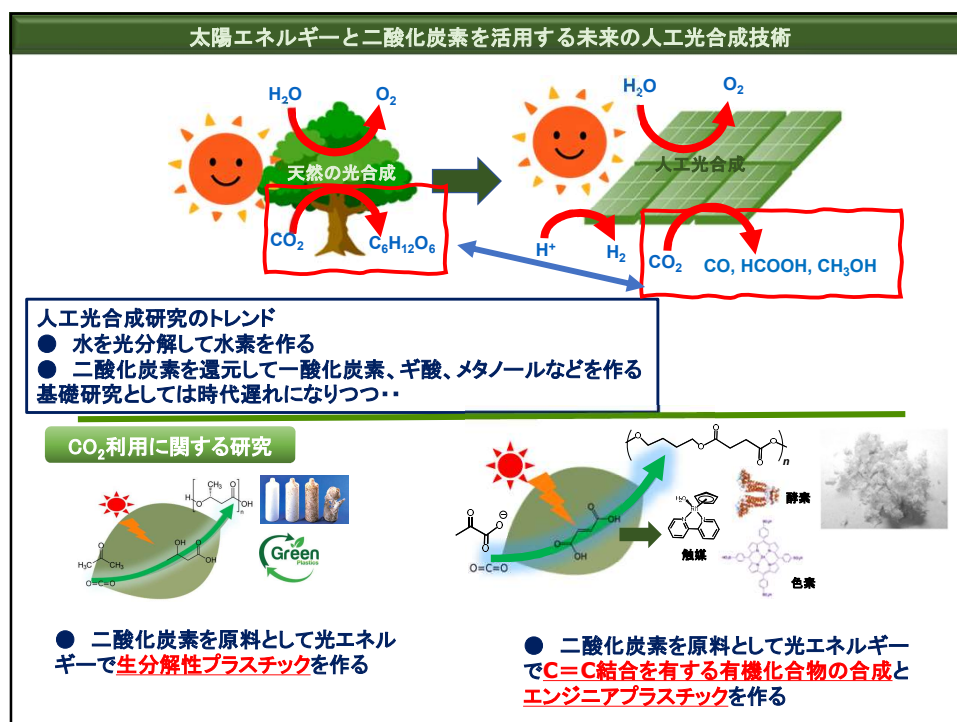
通常の生活圏での二酸化炭素の捕集は現実的ではない

## CO<sub>2</sub>再利用技術駆使した循環型社会像への提案



~CO<sub>2</sub>を地産地消しながら循環させる~

- ✓ 人工光合成を含めた二酸化炭素利用技術を事業所に併設
- ✓ 回収した二酸化炭素をCCSを使い事業所で使える燃料等に変換
- ✓ 少なくとも事業所内で二酸化炭素のリサイクルをすることでゼロエミッションを達成



51

**まとめ**

**カーボンニュートラル社会の必要性**

- ◎今後の地球環境やエネルギー問題を解決するためには脱化石資源社会を構築して行かなくてはならない。
- ◎再生可能エネルギーは様々であり、一つに的を絞ることをせず、用途に応じて併用することが必要である。
- ◎二酸化炭素の排出をゼロにすることは事実上不可能であり、排出量を削減するような科学技術が必要である。
- ◎排出量を削減するような科学技術を駆使し、二酸化炭素の排出と回収・利用のバランスをとり実質ゼロを達成する必要がある。
- ◎経済性をとるか地球環境をとるかは各々の立ち位置によって違う。この点は文系・理系の観点から議論すべき課題である。

52