

横浜国立大学 先端科学高等研究院

先進化学エネルギーセンター

開所記念シンポジウム

2021年12月11日(土)

「環境・

エネルギーのデザイン」

横浜国立大学

東京大学

東京理科大学

KISTEC

名誉博士

特別栄誉教授

前学長 栄誉教授

光触媒グループリーダー

藤嶋 昭

地球上のエネルギー源

太陽エネルギー

バネ車

太陽電池

水力

風力

石炭

石油

天然ガス

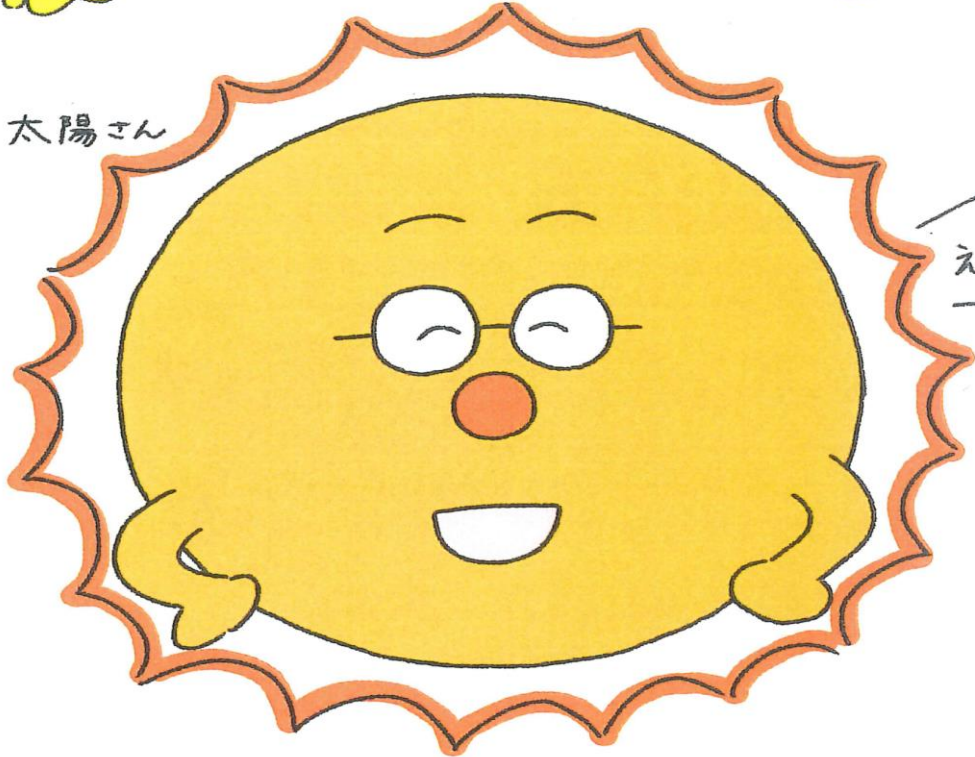
原子力
地熱
月エネルギー



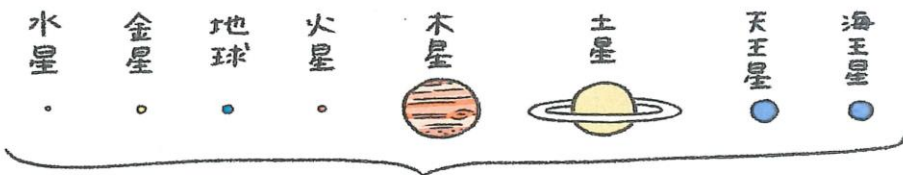
太陽系の全質量のうち
99.86%が太陽さんなんじゃ

まさに
親分だね!

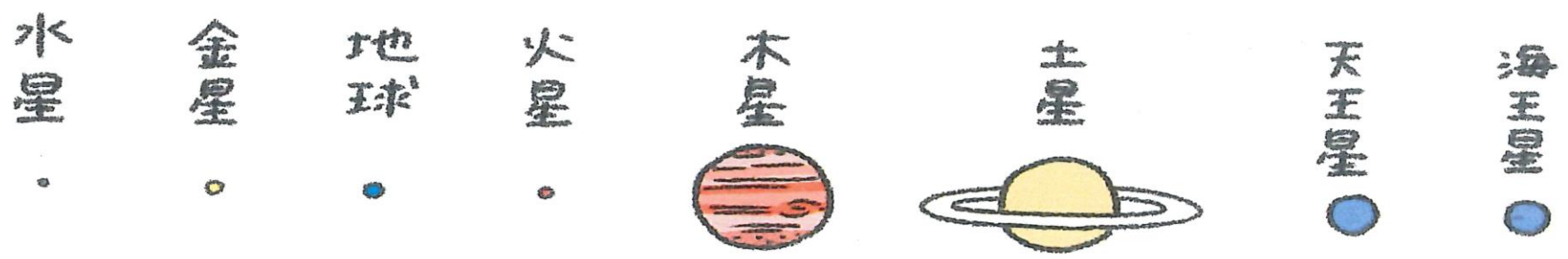
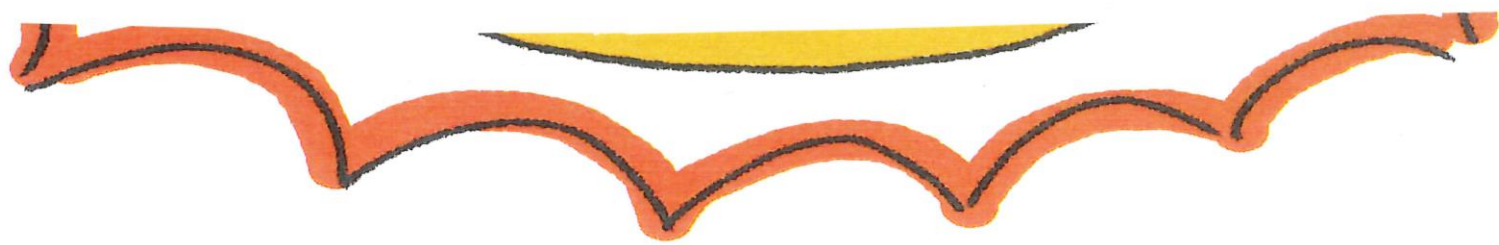
太陽さん



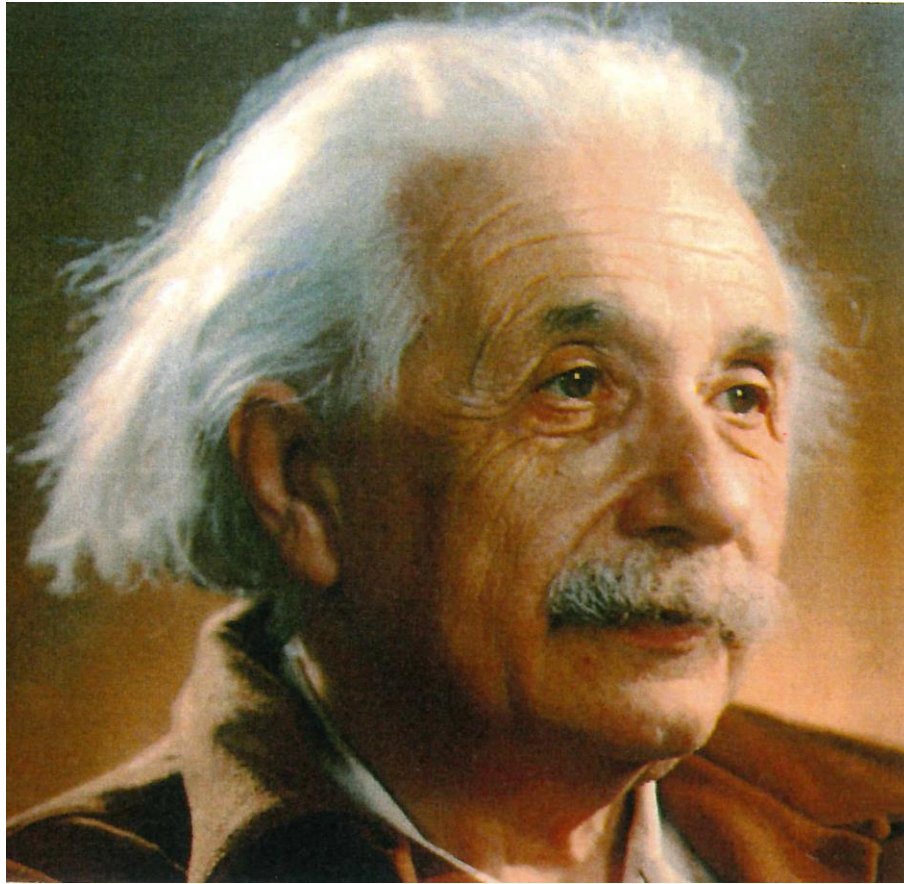
えっへん



太陽以外をすべて合わせても太陽系質量の0.14%



太陽以外をすべて合わせても太陽系質量の **0.14%**



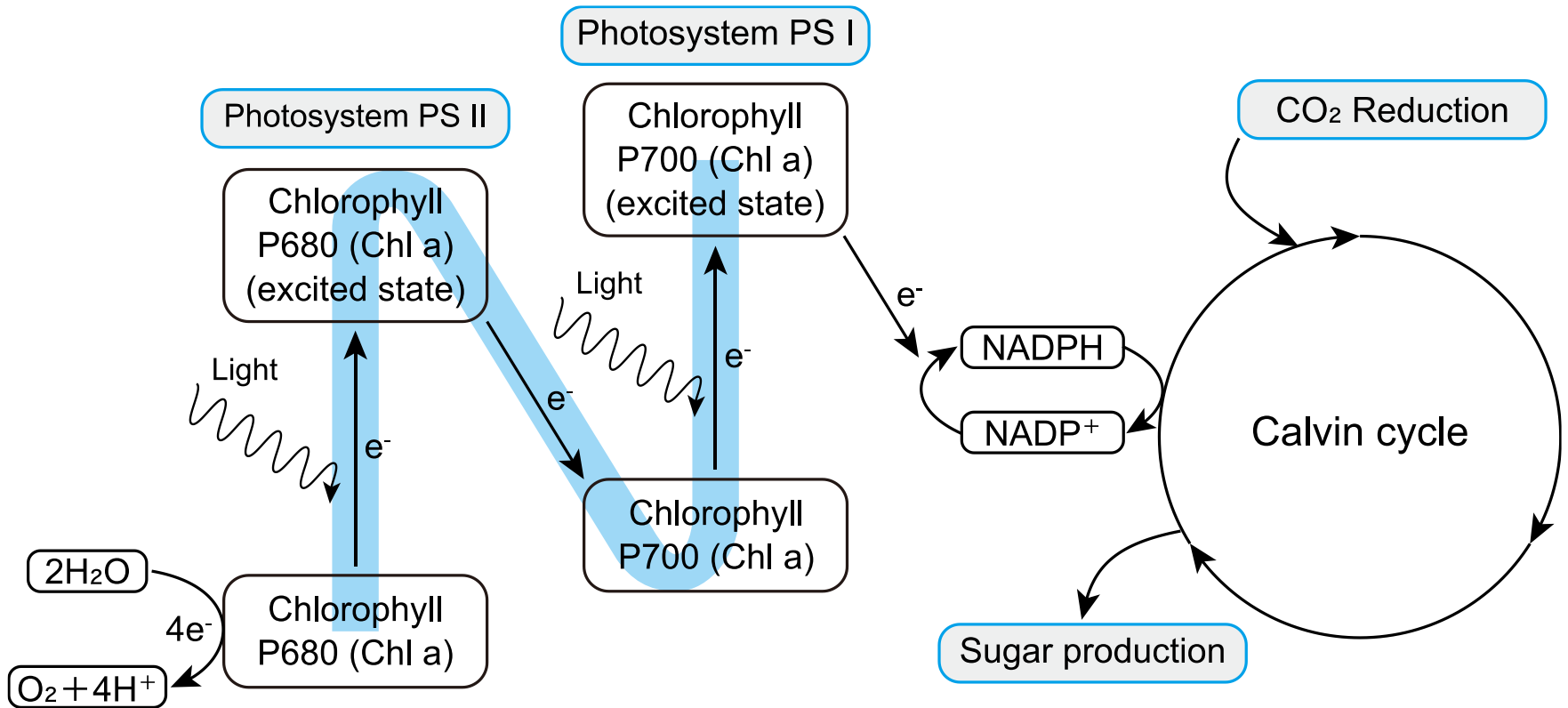
太陽のエネルギー

$$E=mc^2$$

H₂ 6億トン/sec

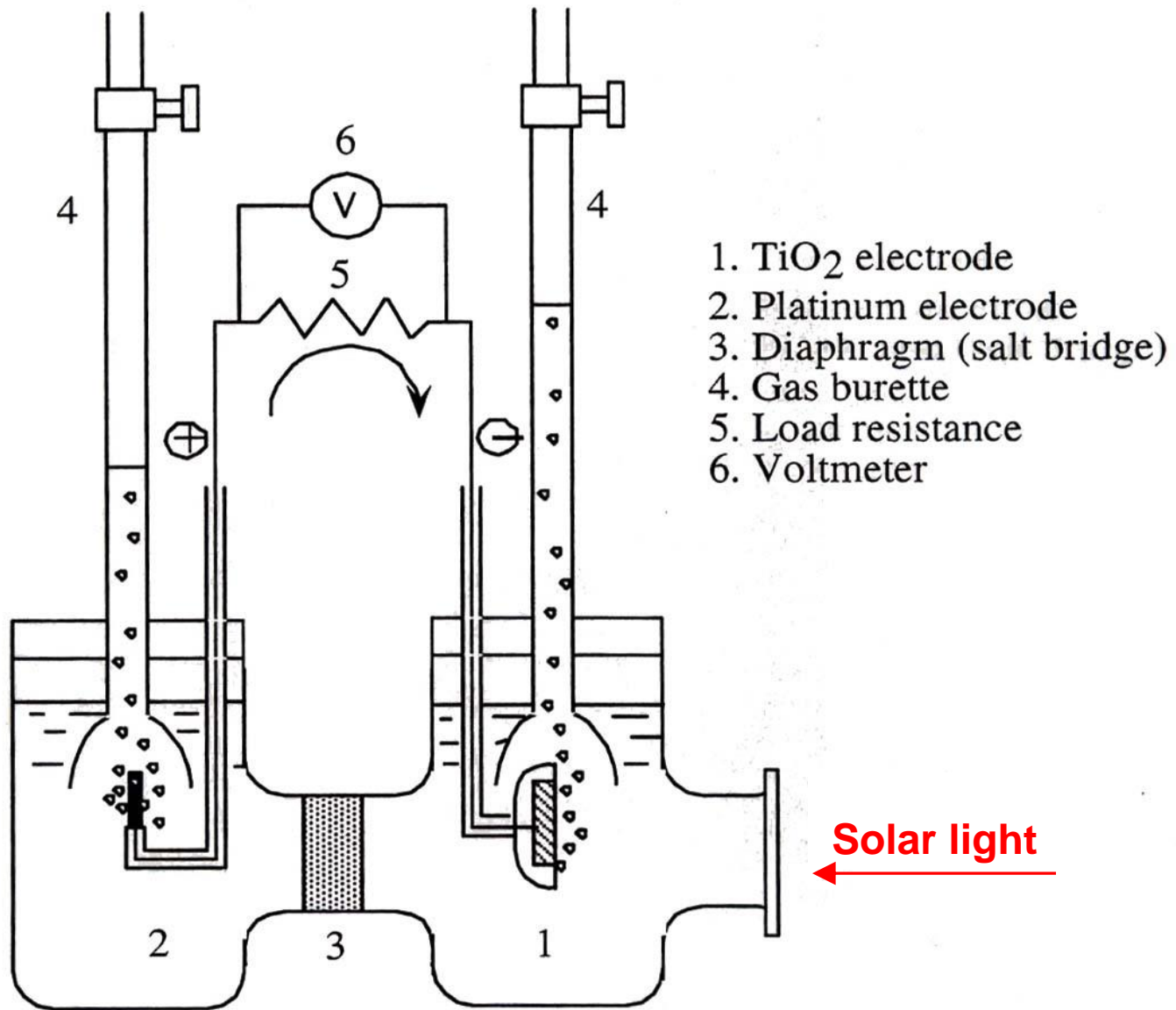
- 太陽から22億分の1が地球に!!
- 1万分の1の利用で、
エネルギー問題解決!!
あと50億年はO.K.





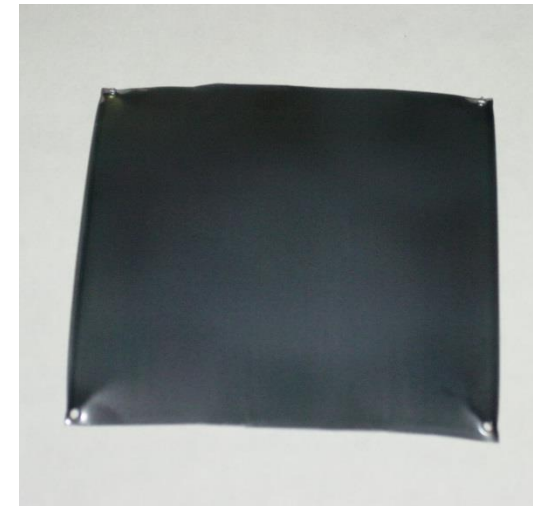
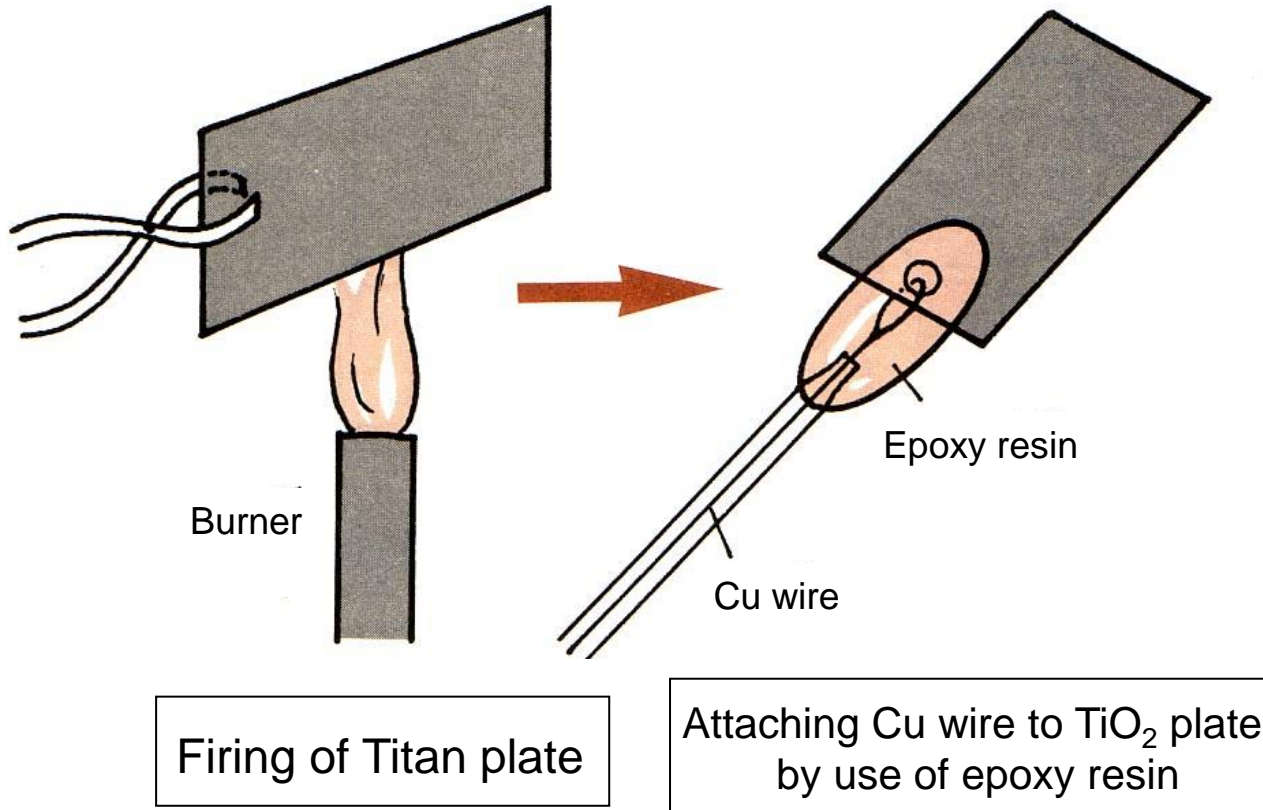
Two light-driven pumps and Calvin cycle produce sugar. Flow of electrons taken from water by light-driven pump PS I and PS II resembles the letter Z (Z-scheme). Electrons were carried to the chemical reaction cycle called Calvin cycle, where sugar is produced from CO_2 .

Z-scheme and Calvin cycle in photosynthesis

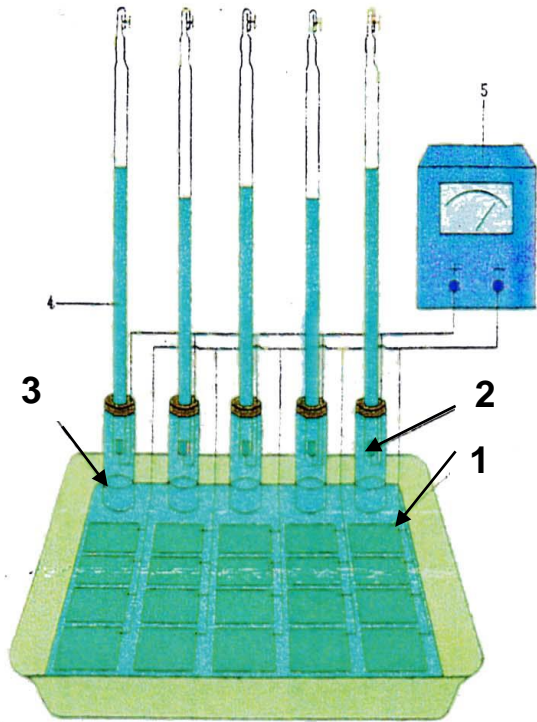


A. Fujishima, K. Honda, *Nature* (1972)

Burning of Titanium Metal Plate →TiO₂

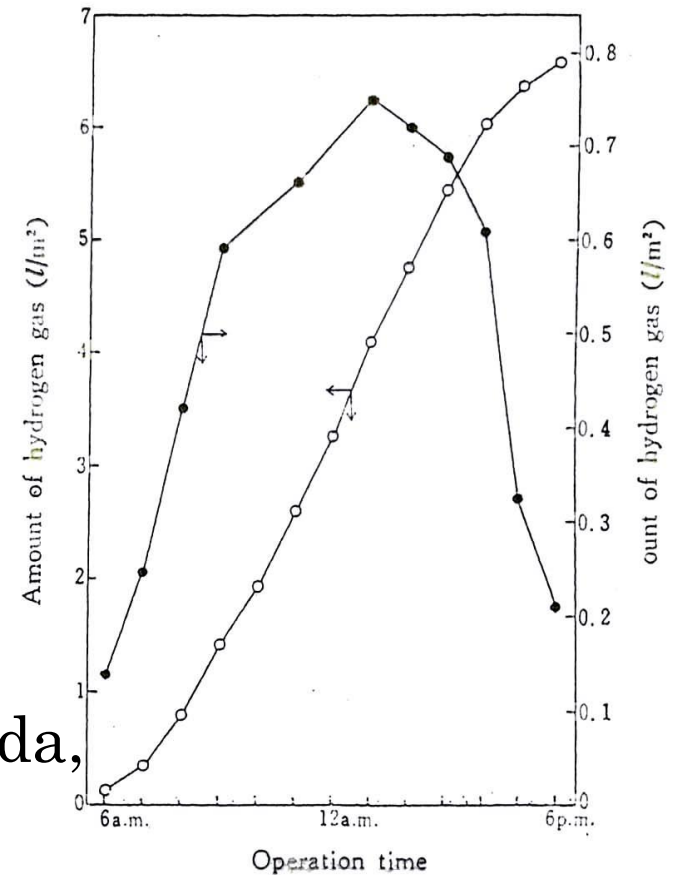


Investigation of Hydrogen Evolution under Sunlight Irradiation



Experimental

1. TiO₂ electrode
2. Pt electrode
3. Salt bridge



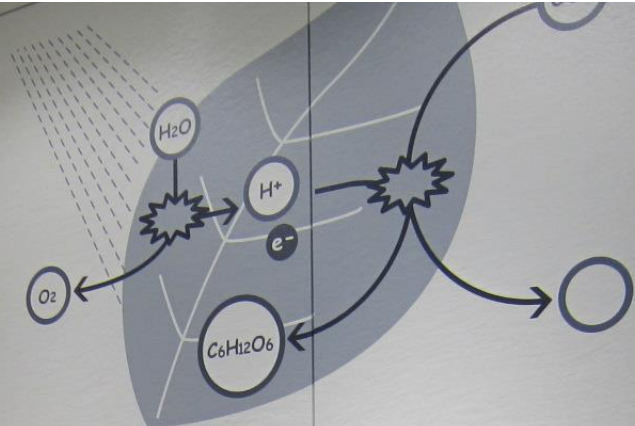
A. Fujishima, K. Kohayakawa, K. Honda,
J. Electrochem. Soc. **1975**, *122*, 1487.

光触媒とは

光触媒は、光の照射を受けることで反応が促進される物質のことです。光触媒の反応は、光のエネルギーによって物質の表面に発生する電子と正孔の対によって行われます。この反応を利用して、空気中の汚染物質を分解したり、水の浄化や殺菌に利用されています。

What is Photocatalysis?
Photocatalysis is a reaction process with technology, which boost the reaction by using the energy of light. The photon irradiation through photocatalytic materials will be able to decompose and purify air and water molecules. Utilizing the technology, photocatalytic paint of the wall and glass is used in the light. In recent years, "artificial photosynthesis" for energy production through water splitting, hydrogen production, is expected as the alternative technology to fossil fuel and nuclear power.

- ▼ 光触媒のしくみ
- ▼ 光触媒の応用
- ▼ 光触媒の歴史
- ▼ 光触媒の未来



アノード液槽
Anode bath



カソード液槽
Cathode bath

水の光分解

光触媒研究の歴史は「光で効果」という発見からはじまった電極と白金電極を対電極面に光を当てると酸化チタン水素の泡がでます。光による光分解反応が光触媒反応の

Photocatalytic Water

The history of the photocatalytic discovery of "water decomposes" Typically, the reaction involves the surface of single crystalline hydrogen evolution at platinum under sunlight. Here, light reaction in which water is decomposed has become the basis for the



光触媒による水の光分解装置の概略図
Schematic diagram of photocatalytic water decomposition apparatus

日 2019.9.8

光触媒に光を当てると水を分解し酸素と水素の泡が発生 (堂免教授の研究室)



光触媒で人工光合成

国が2012年に始めた「人工光合成化学プロセス技術研究組合」のプロジェクトには、東京大学や三菱ケミカルなどが参加する。中核となる技術の一つが光触媒だ。日本人が見つけた発展してきた分野だ。研究を主導する堂免一成東大教授は「日本独自の技術で世界に先駆けて実現したい」と意気込む。

太陽光を使って水と二酸化炭素(CO₂)からエチレンやプロピレンなどの化学原料の合成を目標に掲げる。植物のように糖を作るのは極めて難しいが、水素とCO₂からメタノールを作り、化学原料に変える方法を研究中だ。狙った物質を効率的に作る触媒開発がカギとなる。

同プロジェクトは30年に、国内で09年に生産された量の約2割に当たる年250万トの製造を目指す。実現すればCO₂の削減量は年868万ト、17年に全国で排出されたCO₂の約0.7%に相当するといふ。

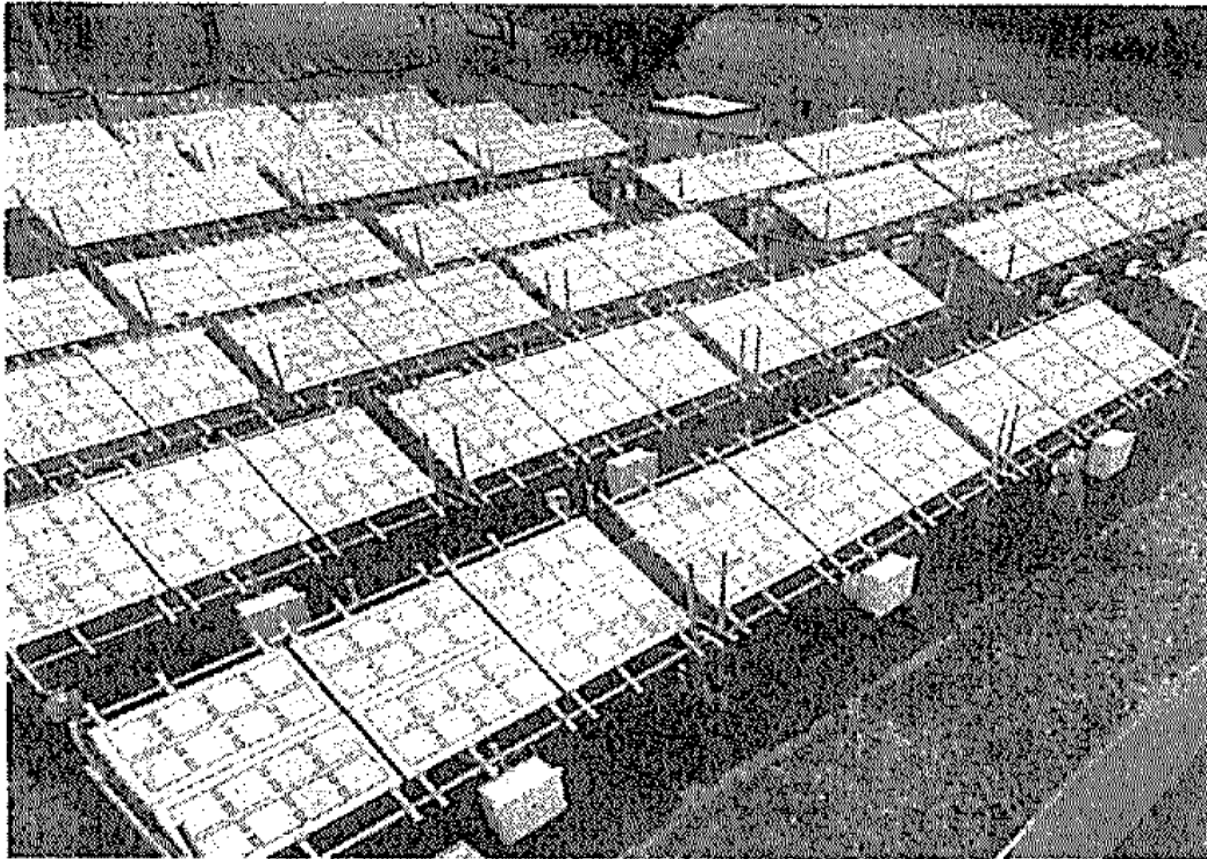
CO₂を生かす

②

水に浸した白い板に紫色の発光ダイオード(LED)を当てると、すべいばすべいと泡が発生

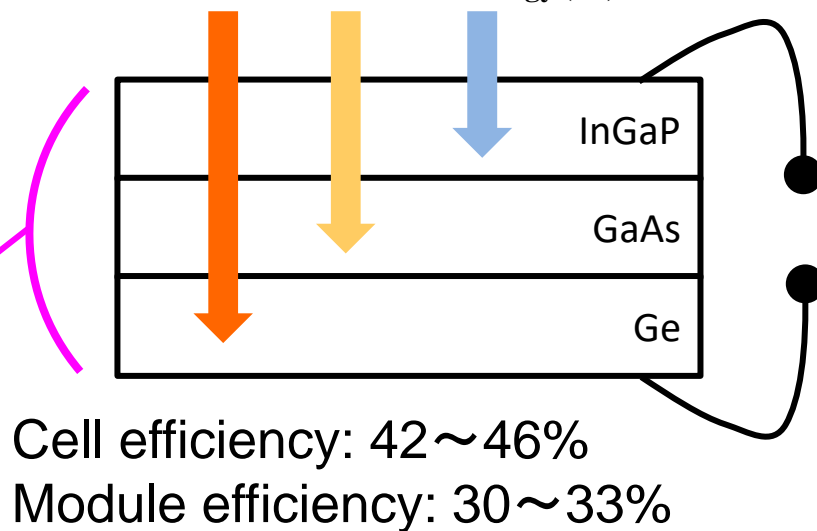
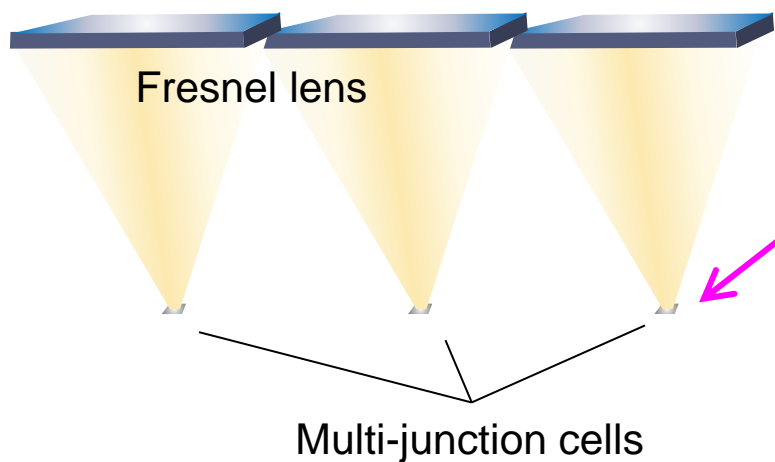
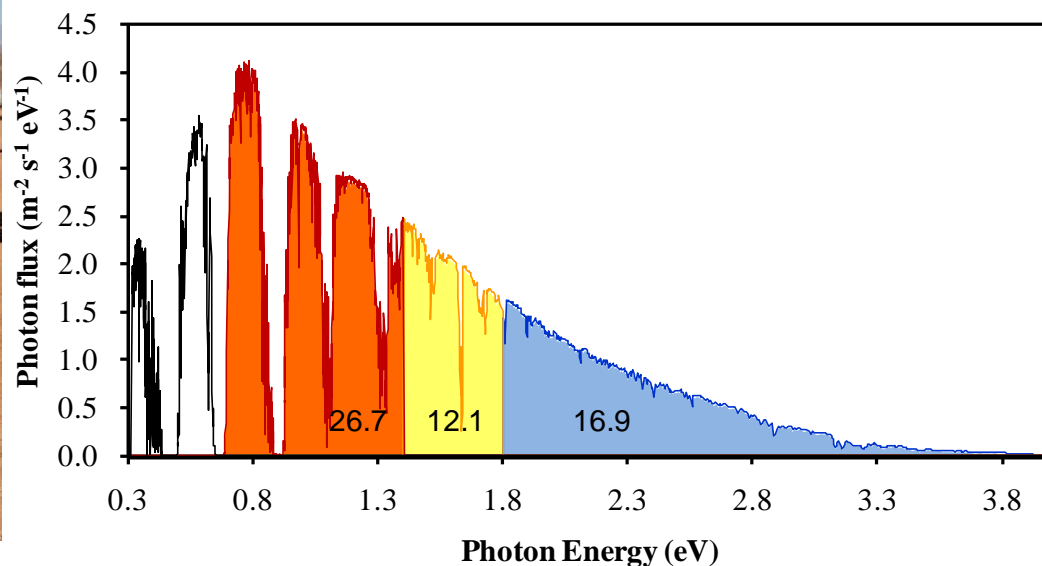
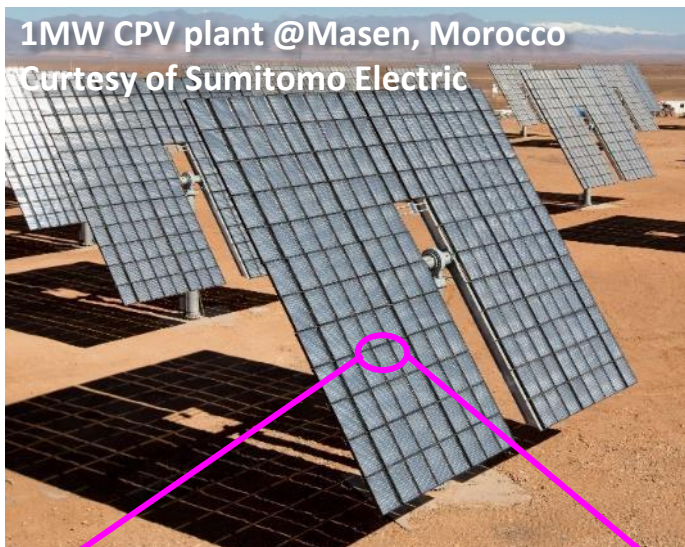
生し始めた。光のエネルギーで水を水素と酸素に分解する「光触媒」が働き始めた瞬間だ。

2021年5月9日 日本経済新聞 1面より



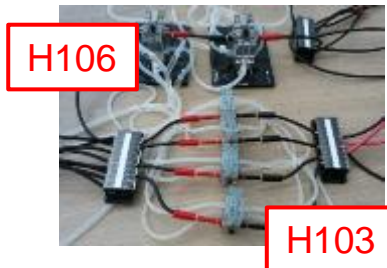
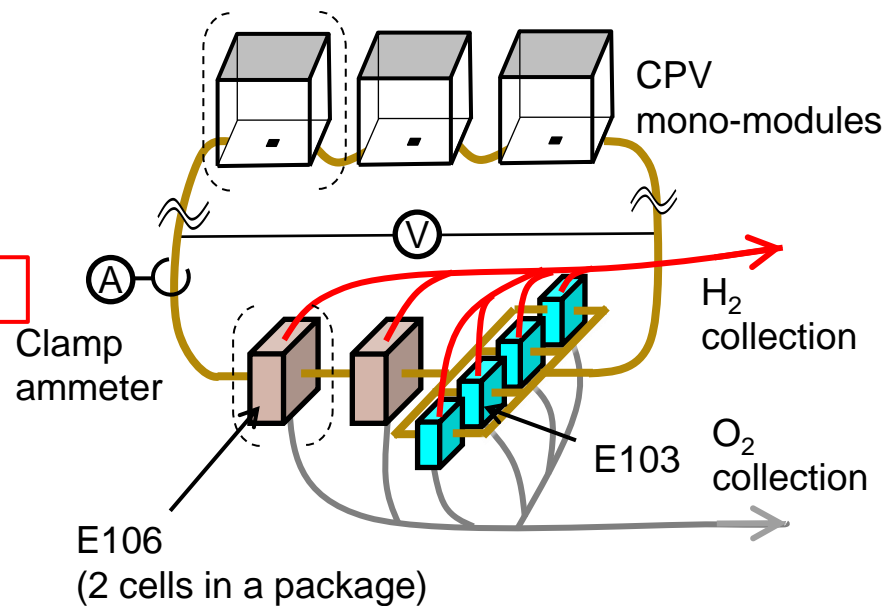
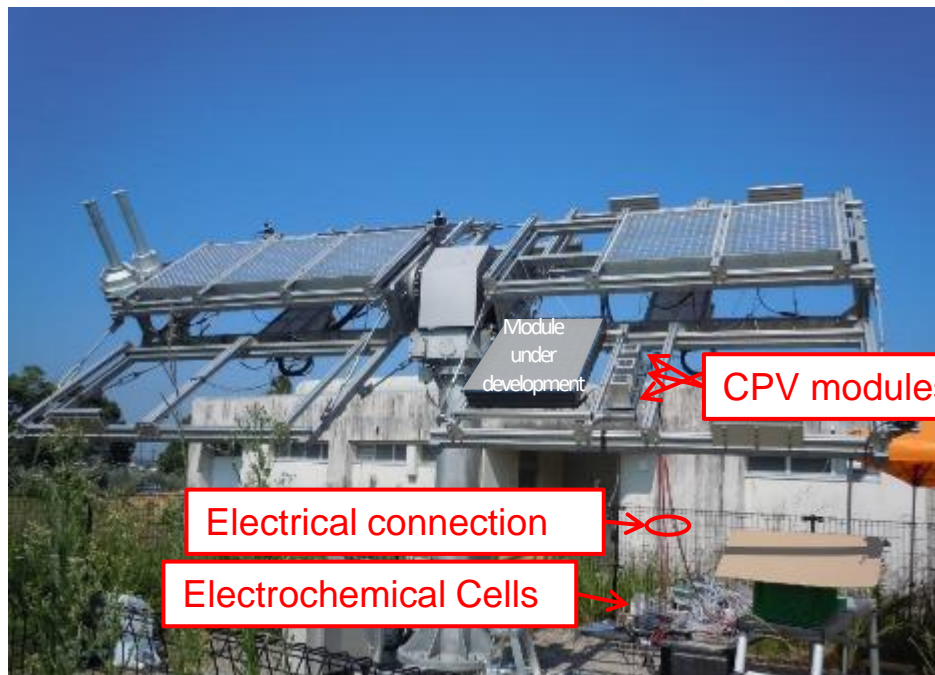
水素をつくる光触媒パネル
がズラリと並ぶ（茨城県に
ある東京大学の研究施設）

Concentrated multi-junction solar cell



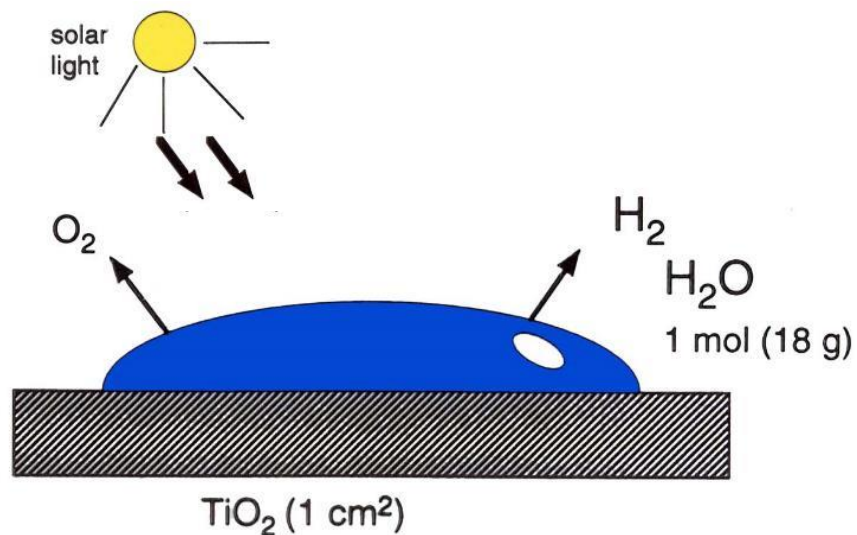
Solar light \rightarrow H₂ Maximizing energy efficiency

Direct connection of high efficiency solar cells and electrolysis cells



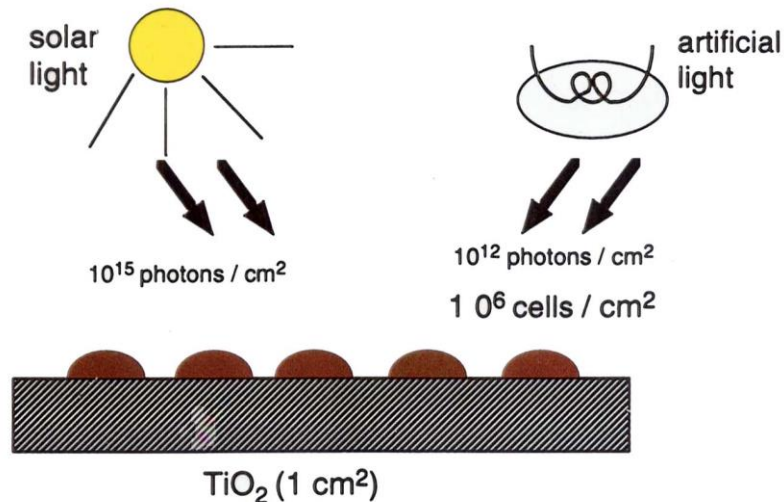
STH efficiency: 24.4%
(Demonstrated outdoors in Miyazaki)

発想の転換



1cm² のTiO₂上にある1molの水(18g)を分解して水素を発生するのに必要な光子数は 6×10^{23} 個以上

太陽光は 10^{15} photons / cm²



1cm² のTiO₂上にある大腸菌 10⁶個と比べて、実際の太陽光は非常に強い。蛍光灯でも、大腸菌の数よりも多い。


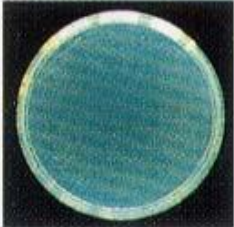
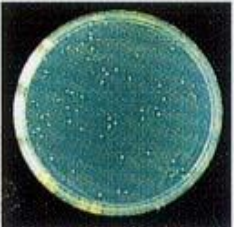
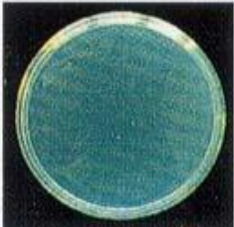

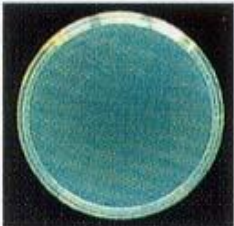


エネルギー効率を考えると、水素発生に用いるよりも、細菌などの分解に用いる方が現実的である

殺菌性能評価

Bacteria-killing Effect

Bactericidal effect

	Ordinary tile	Photocatalytic anti-bacterial tiles
	1000 lux illumination	1000 lux illumination (1 hour.)
<i>E. coli</i>		
Methicillin-resistant <i>Staph. aureus</i> (MRSA)		
<i>Pseudomonas aeruginosa</i>		

工業時代の問題から

環境改善へ

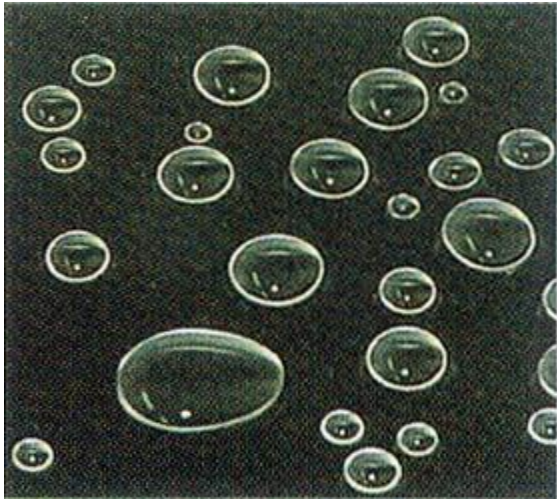


光触媒 photocatalysis



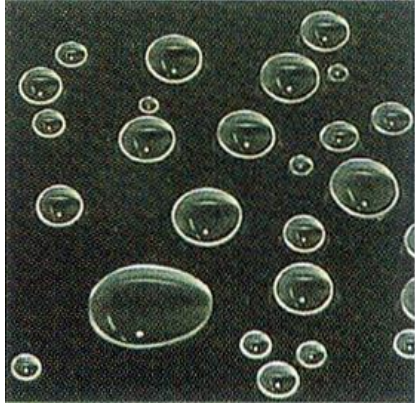


N700系喫煙ルーム 光触媒脱臭装置

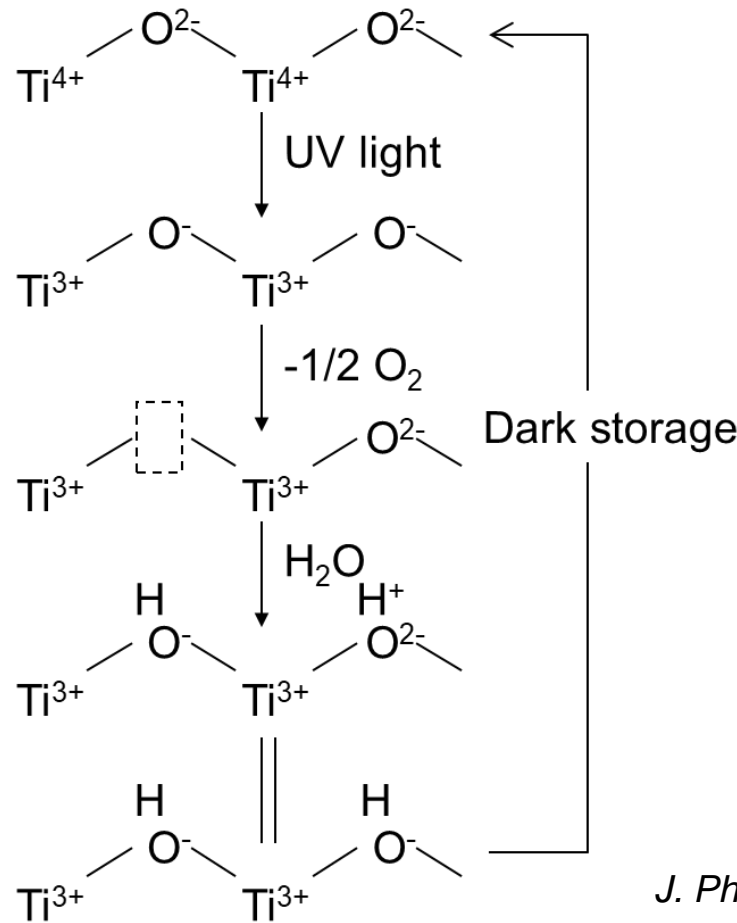


超親水性作用の発見 カガミがくもらない

疎水性TiO₂



親水性TiO₂



J. Phys. Chem. B **2001**, 105, 3023

Wang, R.; Hashimoto, K.; Fujishima, A. *Nature* **1997**, 388, 431

酸化分解力

Advanced oxidation process

超親水性

Superhydrophilicity



グランルーフ(東京駅八重洲)

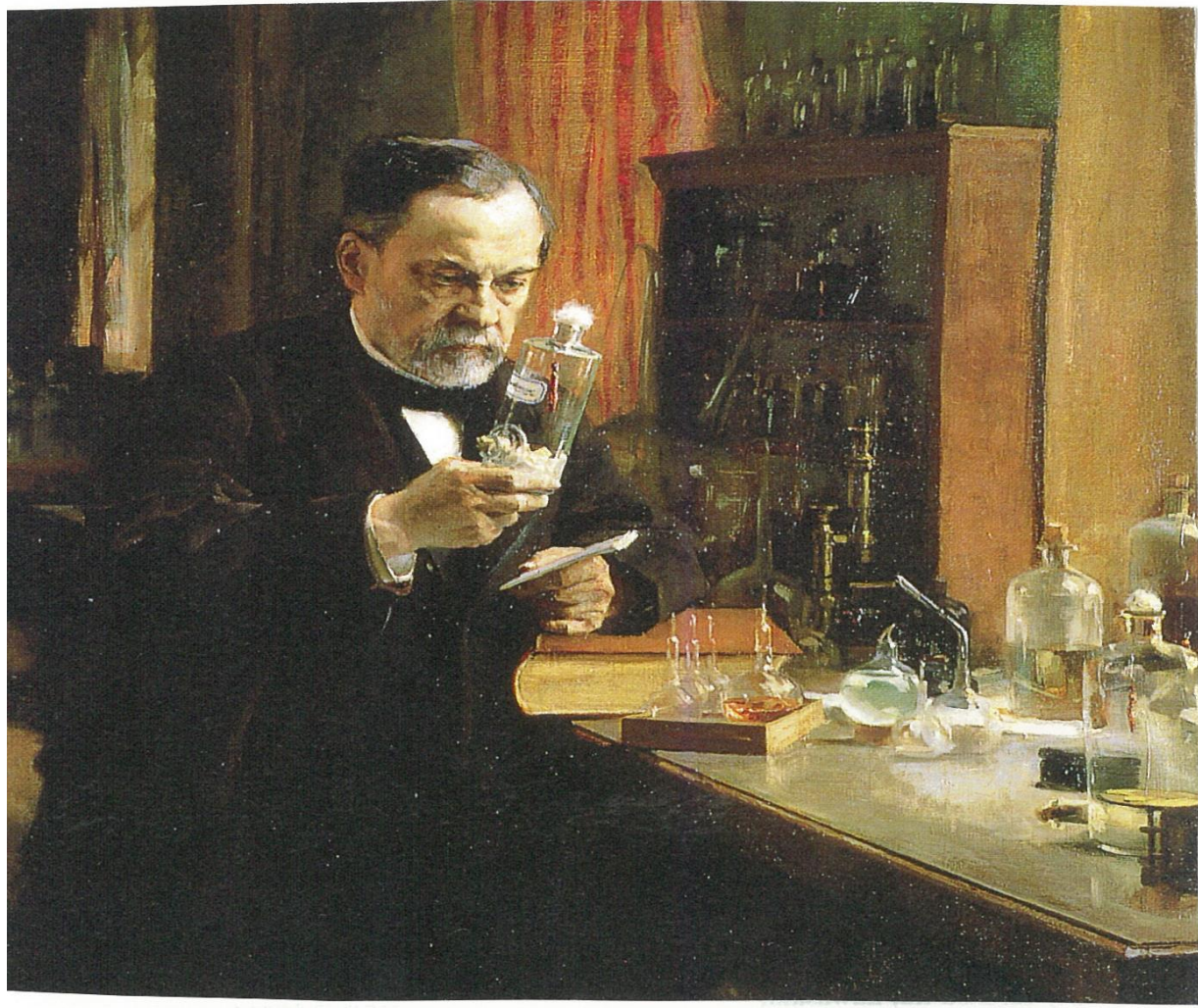


フランス



The Louvre Pyramid

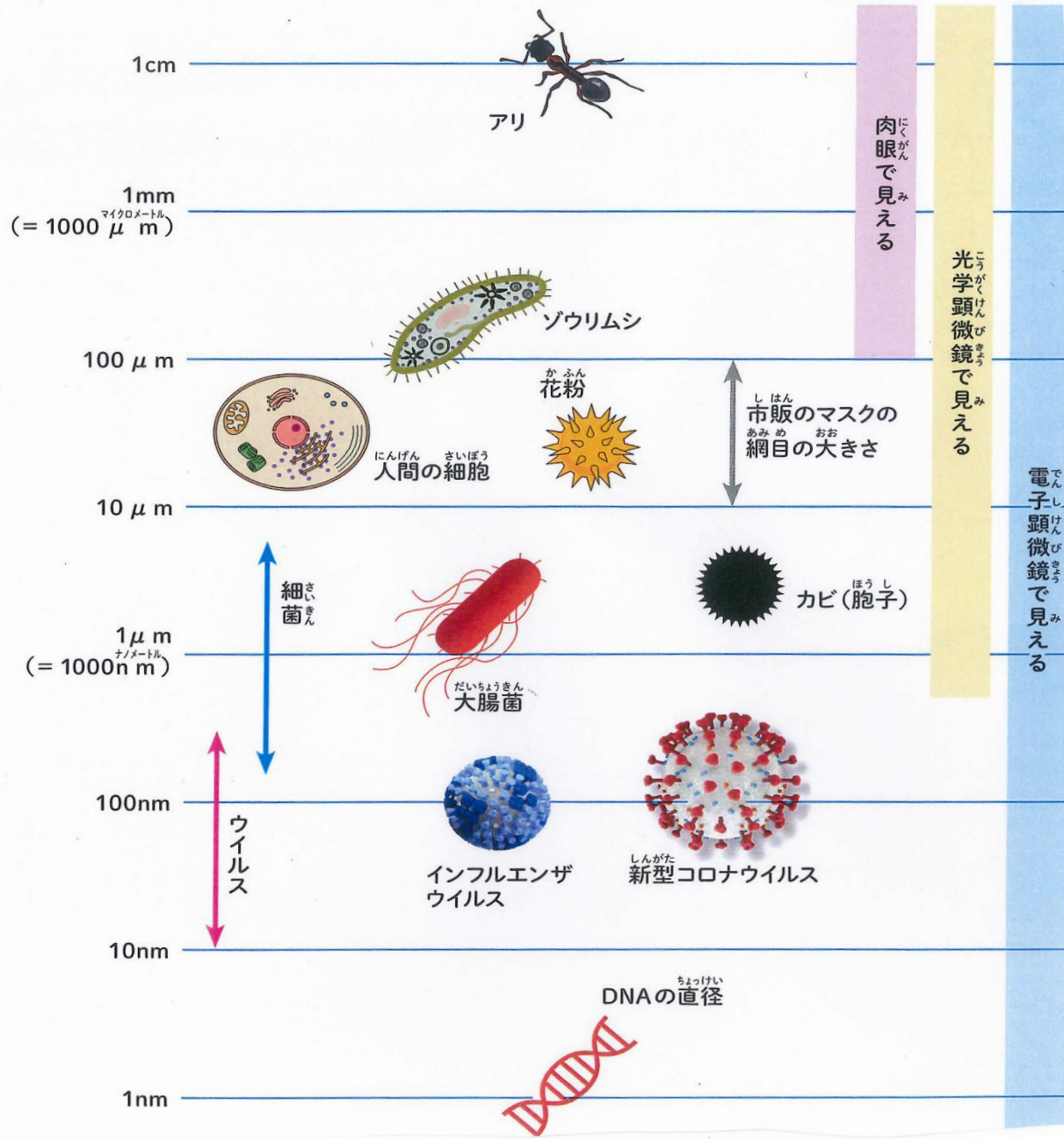
基礎から応用まで
ルイ・パスツール(1822-1895)





ジョゼフ・メイ
ステルにワクチ
ンをうつ助手を
見まもるパスト
ール。

微生物などの大きさを比べてみよう



これが新型コロナウイルスの姿だ

エンベロープ

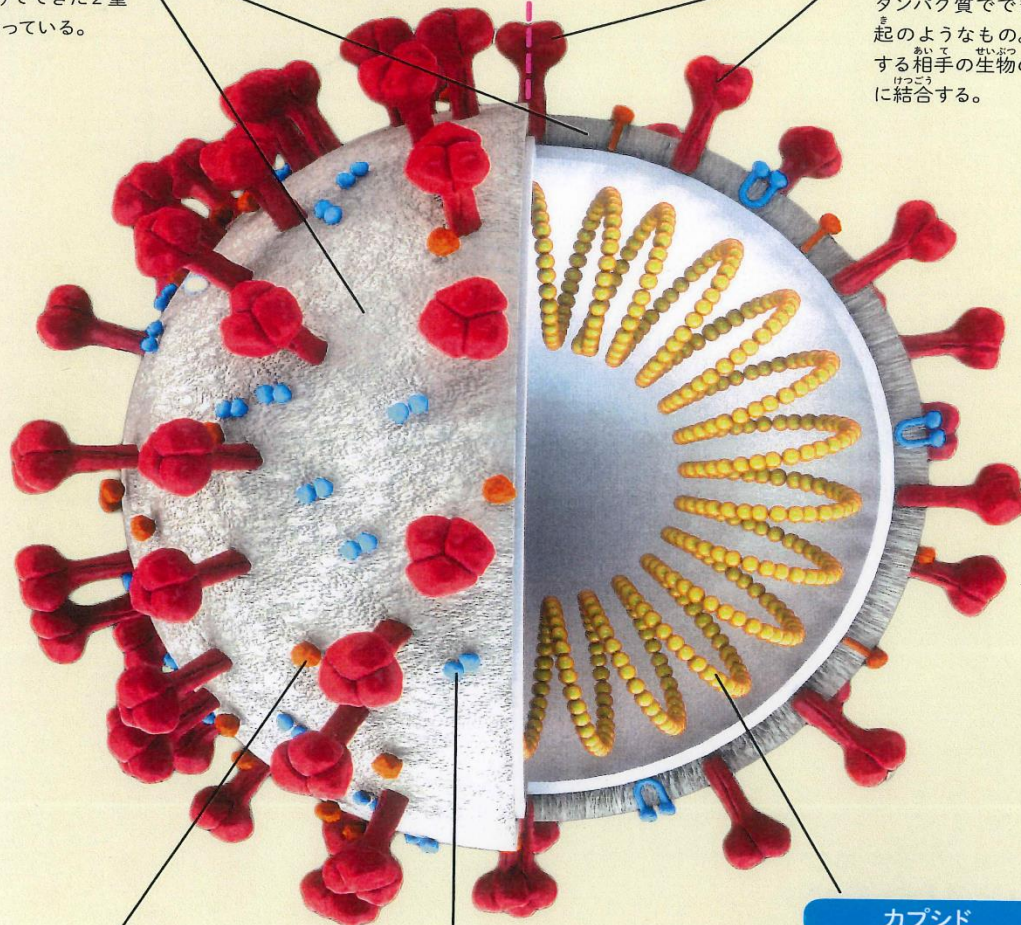
脂質(油)でできた2重の膜になっている。

外部

内部

スパイク

タンパク質でできた突起のようなもの。侵入する相手の生物の細胞に結合する。



エンベロープタンパク質

新しいウイルスの形成などに関係する。

膜タンパク質

ウイルスの構造をまとめる役割を持つ。

カプシド

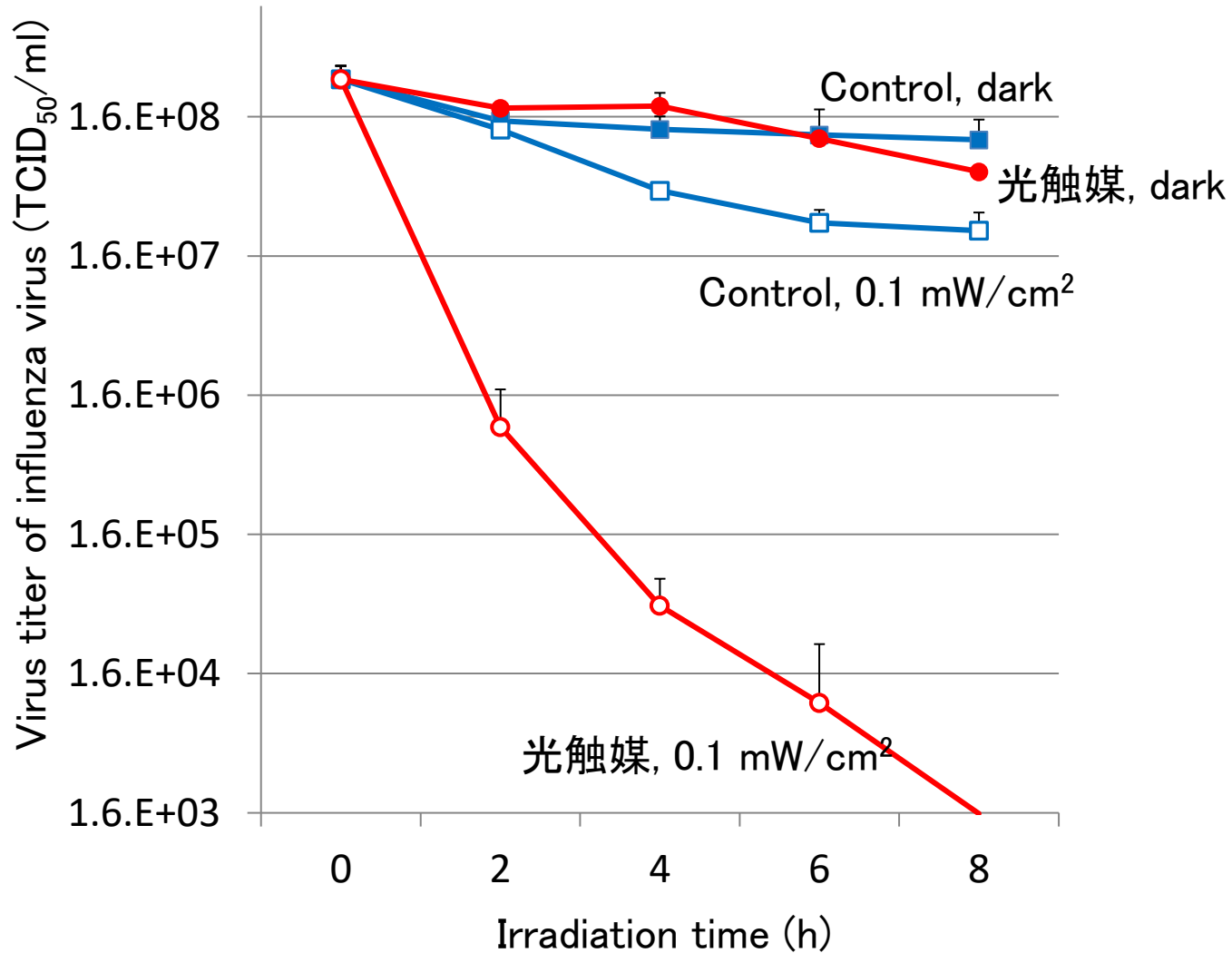
タンパク質がらせん状にならなっていて、らせんの内側のくぼみ部分には核酸(ウイルスの遺伝子)が配置されている。※この図では核酸は描かれていない。

コロナウイルス

コロナとは 王冠(クラウン)の意
ギリック語でコロナといふ。

新型コロナウイルスの意を
COVID-19とも言う。

光触媒反応特異的なインフルエンザウイルスの感染価の減少



光触媒を塗布していないコントロール及び暗所では、インフルエンザウイルスの感染価の減少が確認されなかったことから、インフルエンザウイルスの不活化は光触媒反応によるものである。

東京新聞 2021年4月10日

光触媒技術を活用 空気清浄機 市に5台寄付

光触媒空気清浄機を川崎市に寄付したワイエイシイホールディングスの百瀬武文社長（左から2人目）ら市役所で



東京・昭島のメーカー

川崎市は9日、光触媒を使ったフィルターに紫外線（UV）の光を照射し、新型コロナウイルスを分解する仕組みの光触媒空気清浄機5台の寄付を受けた。来月始まる新型コロナワクチンの集団接種会場に設置するという。

寄付したのは、産業機械メーカーのワイエイシイホールディングス（東京都昭島市）。「ブルーゼ」の商品名で、メーカー希望小売価格は

ワクチン集団接種会場に設置へ

1台26万円（税別）。適用床面積の目安は最大約40畳（約72平方メートル）。

同社によると、光触媒フィルターに高出力の紫外線発光ダイオード（LED）ランプを照射し、活性酸素を発生させることで、新型コロナウイルスが不活化するとされる。奈良県立医科大学の試験で、同社の光触媒フィルターとUV照射で不活化が認められたという。

市役所でこの日あった感謝状贈呈式で、同社の百瀬武文社長は「光触媒の発見者は、川崎市名誉市民の藤嶋昭先生。その縁で、川崎市に寄付します」と説明。同席した藤嶋さんは「本当に光栄」と語った。

（石川修巳）

藤嶋 昭

Akira Fujishima

日本語著書

2017.11 発行

第一人者が
明かす

光触媒のすべて

Photocatalysis

A to Z

by the leading expert

2017年度「文化勲章」受章！
ノーベル化学賞候補がぜんぶ書きおろした

発見50周年の

永久保存版

基本から
最新事例まで
完全図解

ダイヤモンド社

最新情報をやさしく解説

光触媒実験法

藤嶋昭

寺島千晶
鈴木孝宗
角田勝則
石黒斉
落合剛
濱田健香
鶴見桃子
青木智子

只金芳
金鐘鎬
Henrik
Jensen
Keiko
Alberts
František
Peterka

北野書店

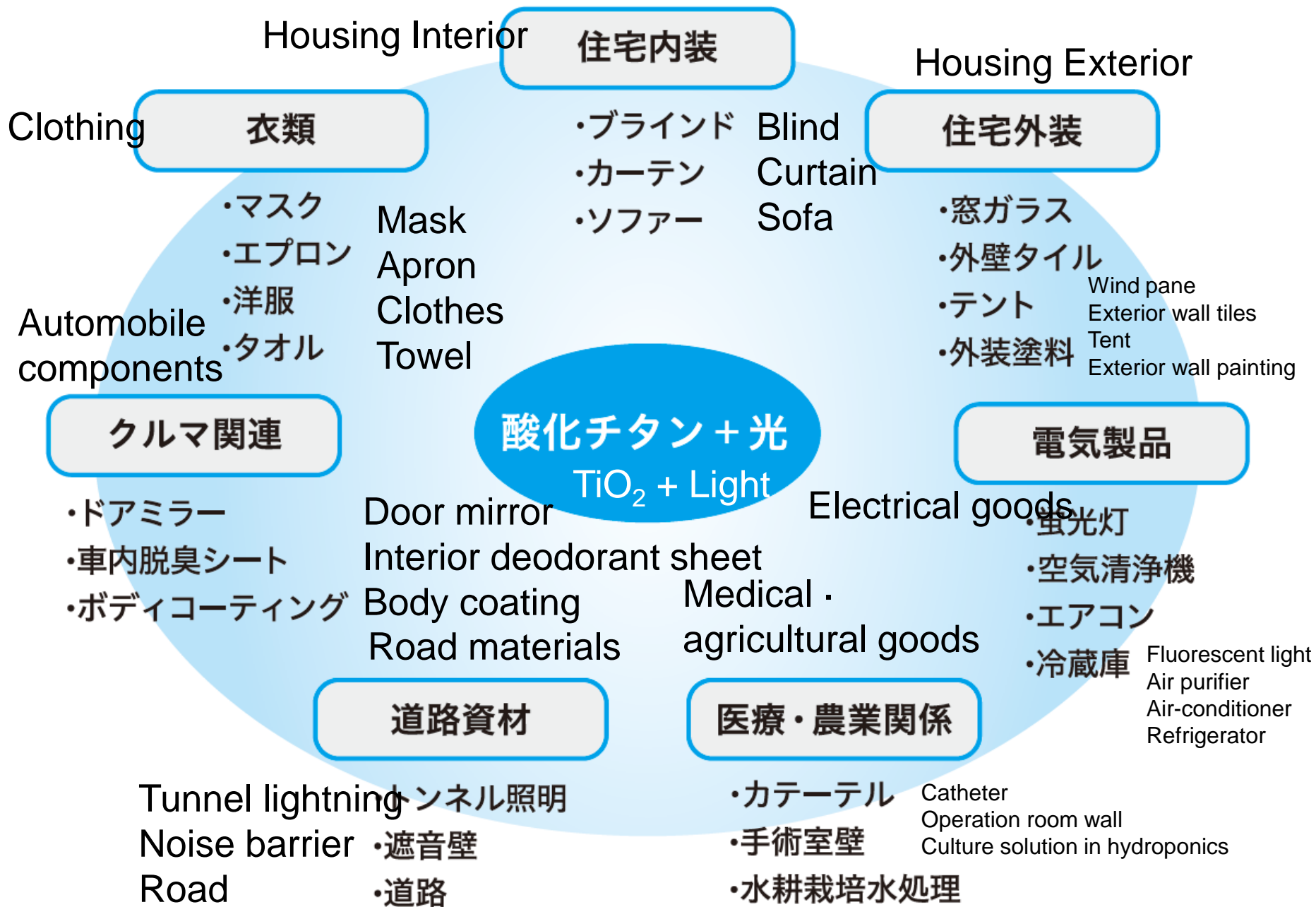
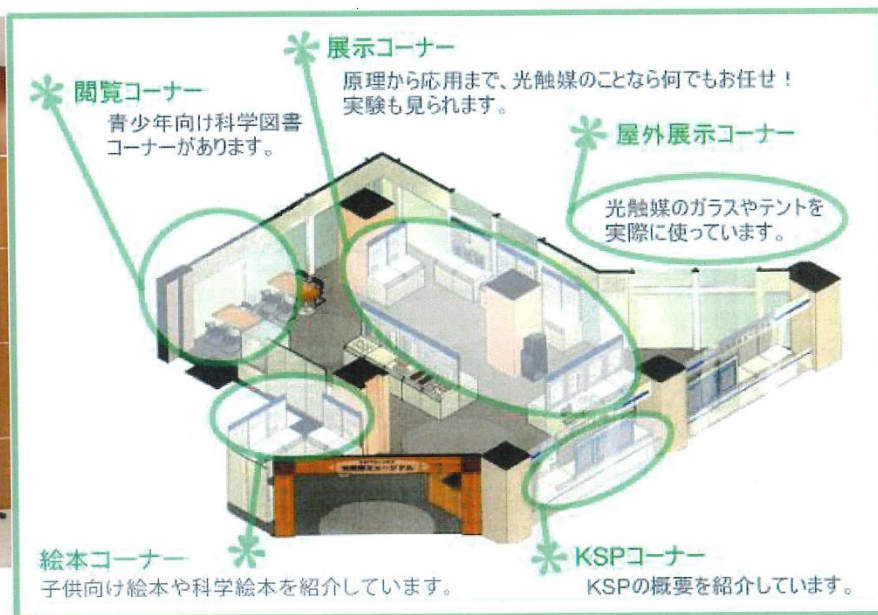


図 4-19 各ジャンルで活躍する光触媒効果 Photocatalytic effect utilized in various areas

国内唯一の「光触媒ミュージアム」 ～原理から応用製品まで幅広く展示、実験で実感～



2017年、入館者数10万人達成！

- 開設場所：かながわサイエンスパーク(川崎市高津区坂戸3-2-1) 西棟1階ロビー
- 開設時間：土日祝日、年末年始を除く 月～金曜日 10:00～17:00
- 入場無料
- 館長：藤嶋 昭 (KISTEC最高顧問・実用化実証事業室長、東京理科大学栄誉教授)

【問い合わせ先】

- 光触媒ミュージアム TEL/FAX : 044-814-5096 E-mail: museum@newkast.or.jp
- KISTEC事務局 TEL : 044-819-2034 E-mail: res@newkast.or.jp



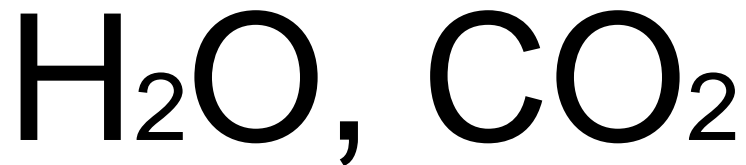
空気清浄機 等の製品展示

人工光合成によるカーボンリサイクルの鍵



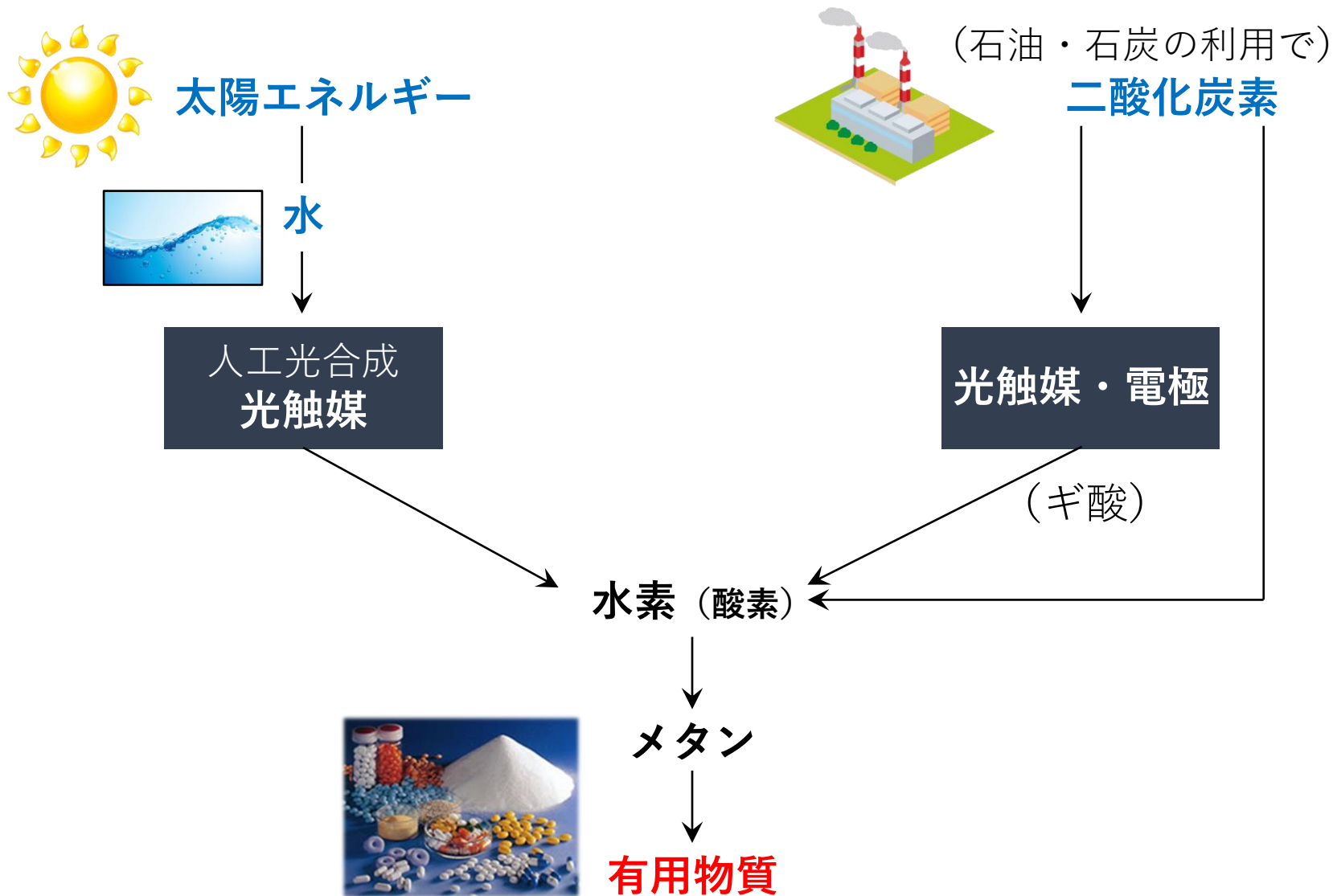
(人工光合成)

メタネーション

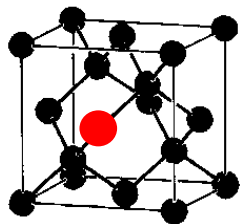


効率良く可能か？

提言【概要】

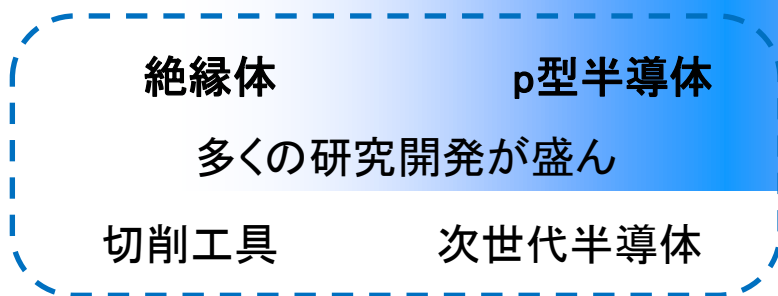
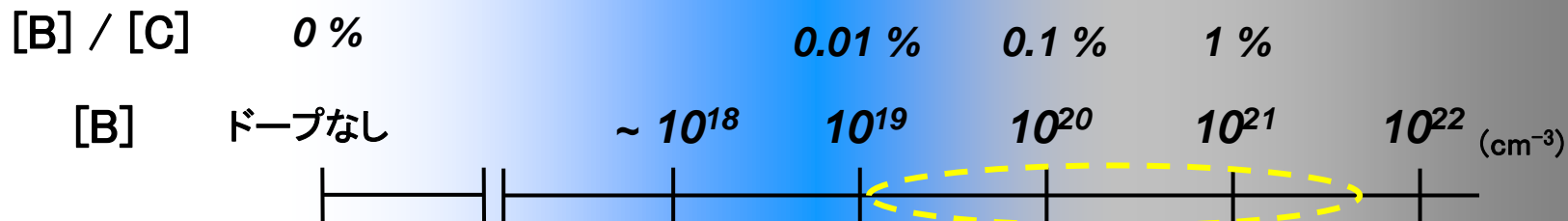


ダイヤモンド電極



●炭素(C)
●ホウ素(B)

Boron-doped Diamond (BDD)

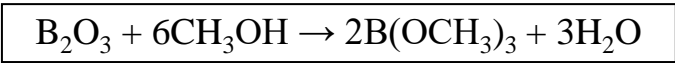
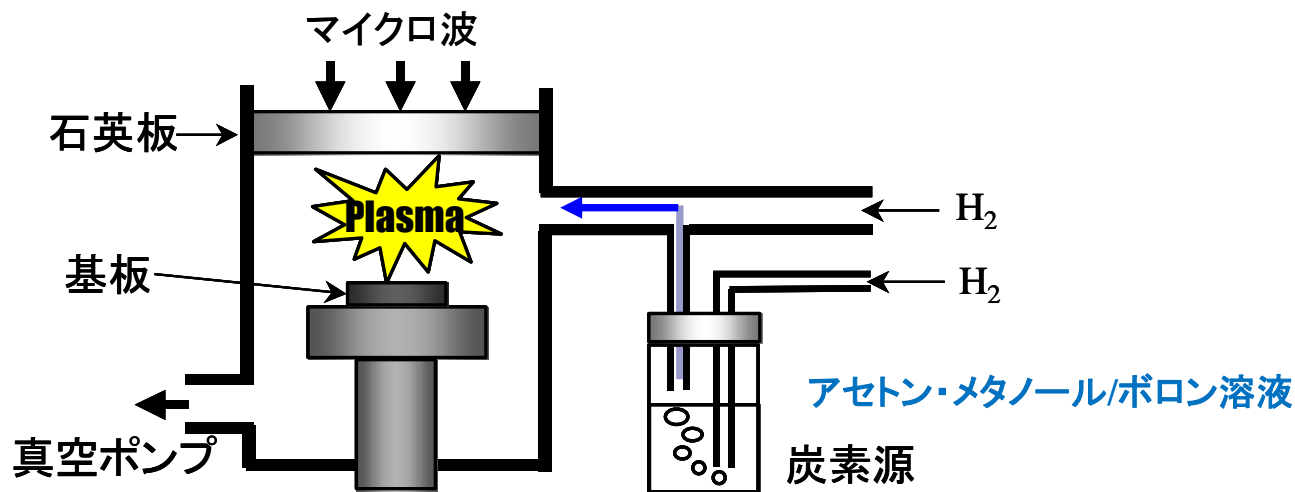


金属性導体
 $10^{-2} \Omega \text{ cm}$

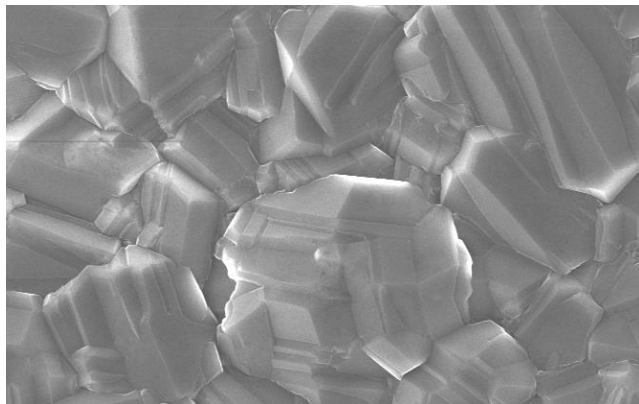
ダイヤモンド電極



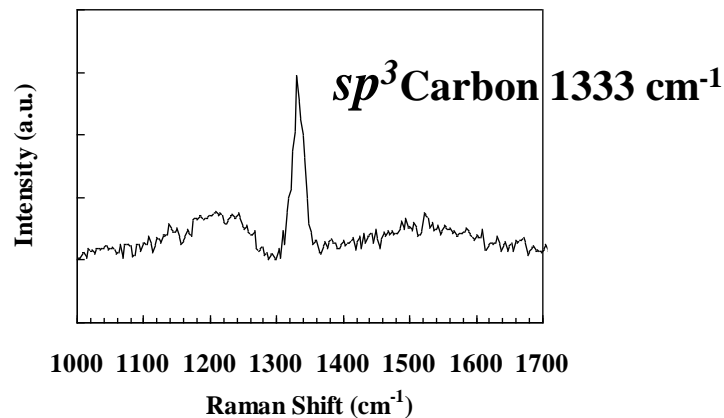
プラズマCVD法によるダイヤモンド合成



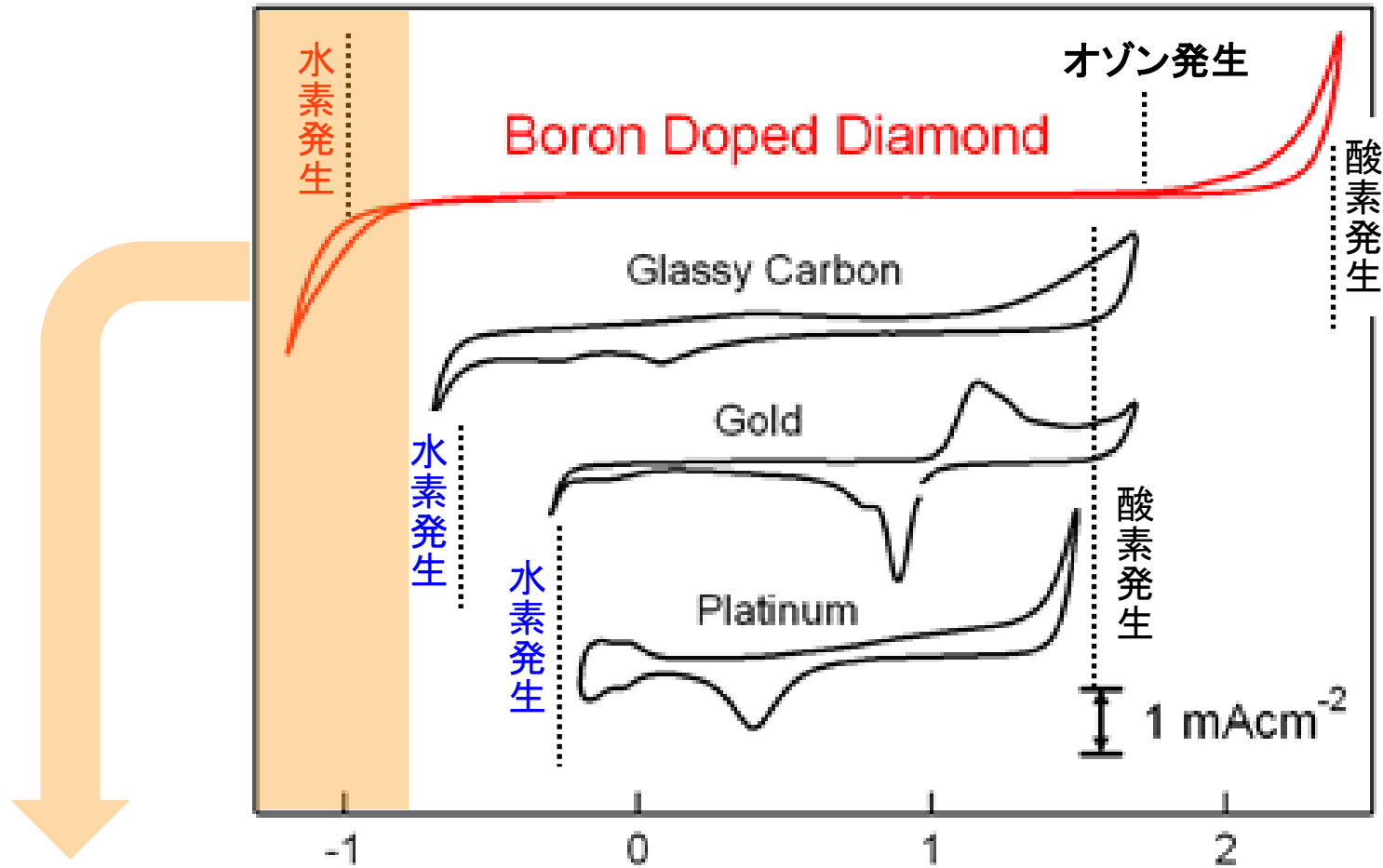
SEM像



ラマンスペクトル



ダイヤモンド電極の広い還元領域を利用

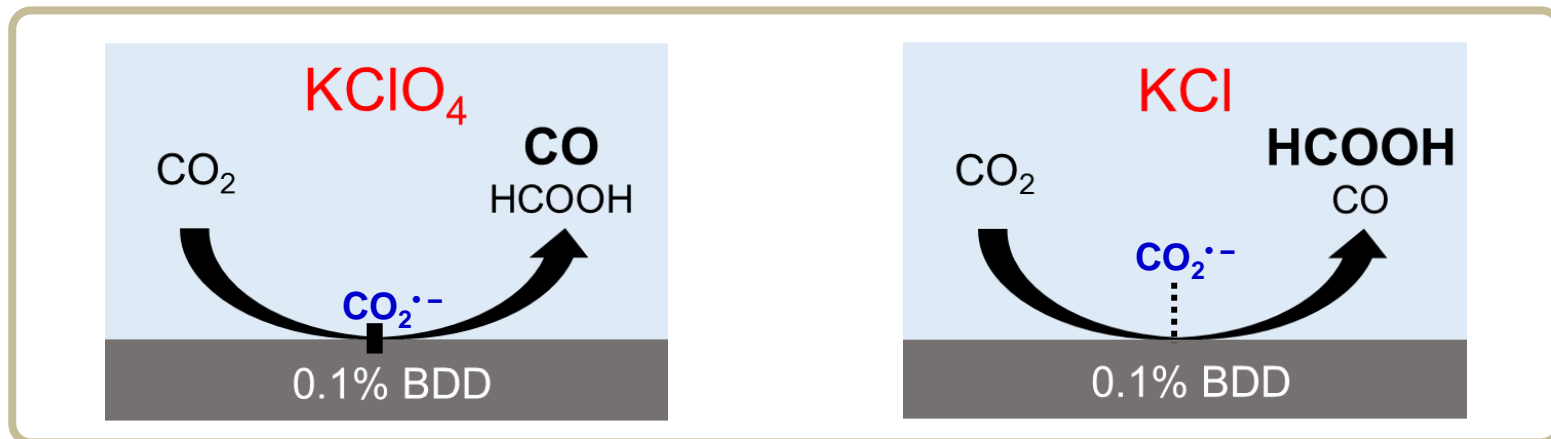


**CO₂の直接電解による
選択的な還元が可能**

Potential / V vs. Ag/AgCl

ダイヤモンドによるCO₂還元

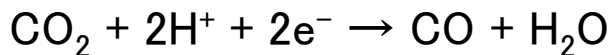
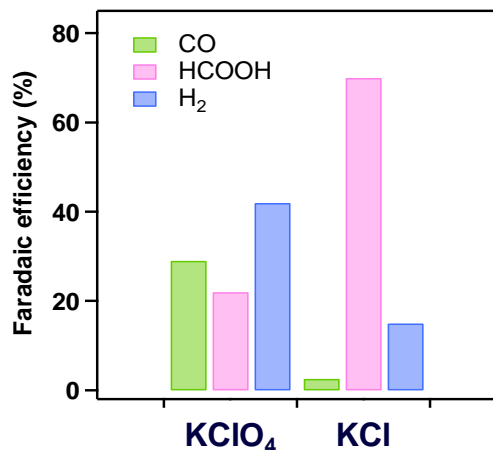
●電解質の変更によりCO生成を実現



CO(一酸化炭素)

(-2.1 V vs. Ag/AgCl)

HCOOH(ギ酸)

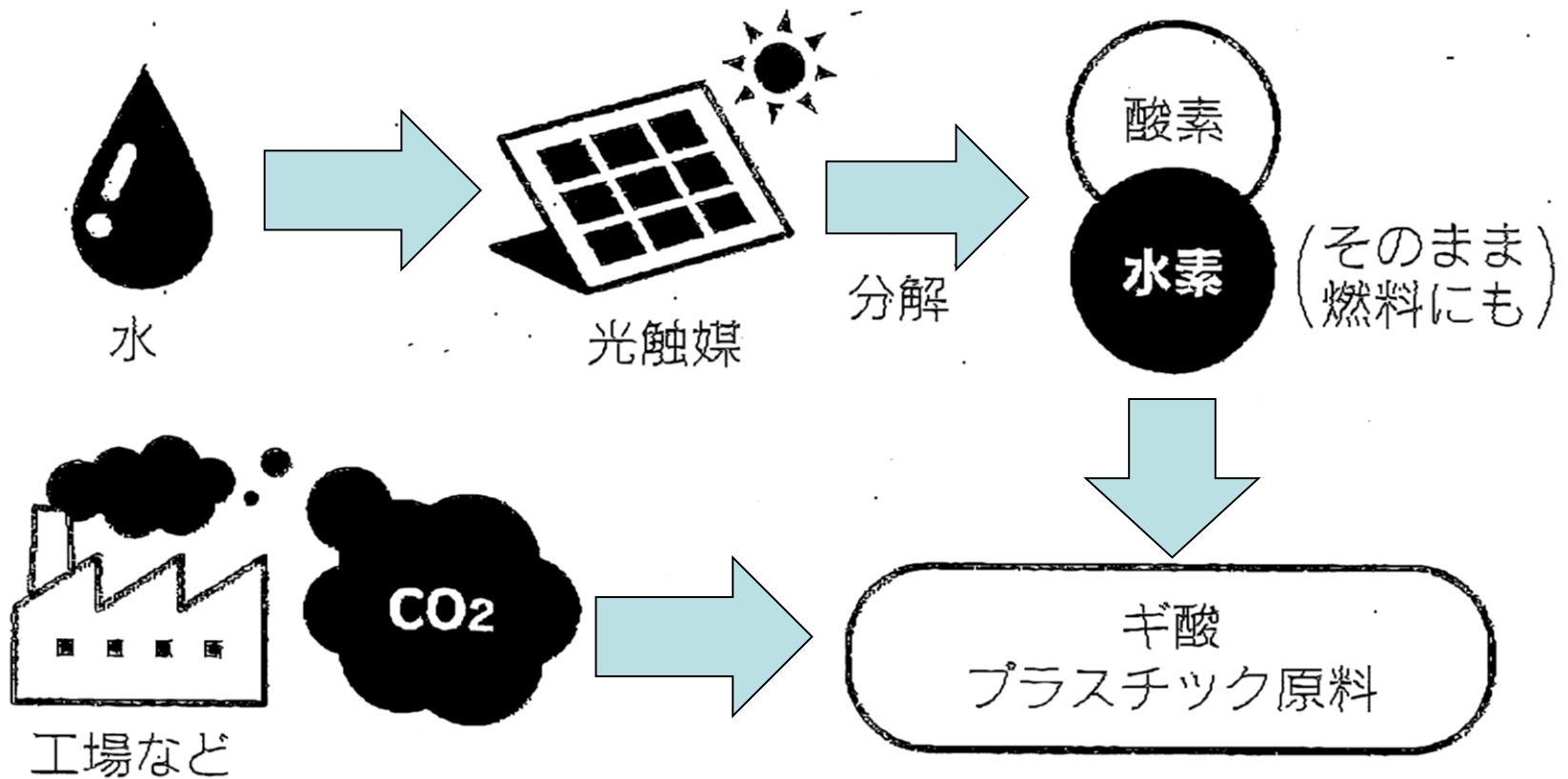


J. Am. Chem. Soc., 141, 7414 (2019).

現在:

フロー系による物質供給の制御でCO生成の**ファラデー効率70%**まで達成

太陽光と光触媒で水を分解し水素を取り出す 光触媒方式



日本経済新聞 2021.10.1

Artificial Photosynthesis Changes CO₂ into Energy

Fuel can be produced by combining the hydrogen produced from solar energy with greenhouse gases emitted by humans. A method to convert CO₂ into energy has been proposed by Dr. FUJISHIMA Akira, the discoverer of photocatalysis.

It is not widely known that the glass pyramid in the courtyard of the Louvre Museum in Paris has a transparent coating that exhibits an antifouling effect upon exposure to natural light. Dr. FUJISHIMA Akira, a Japanese researcher, pioneered the discovery of that photocatalysis reaction, which involves the principle of breaking down dirt without using any energy or incurring any cost. Although photocatalysis has been widely developed and put into practical use in the areas of antifouling and antifogging, research on artificial photosynthesis—the process of extracting hydrogen through photocatalysis—has also been garnering significant attention in recent years as a technology with the potential to contribute to a decarbonized society.

Fujishima (left) conducting an experiment with Dr. Honda in 1967. Initially, nobody believed the pair's findings, namely, that water could be broken down with light energy alone.



It was in 1967, while he was at a graduate school under the supervision of the late Dr. HONDA Kenichi, that Dr. Fujishima, alongside his supervisor, discovered the photocatalysis reaction. This phenomenon produces hydrogen and oxygen when titanium oxide is exposed to light under water, in effect

reproducing the redox (or oxidation-reduction) reaction similar to that of photosynthesis in plants. So excited was Dr. Fujishima with his discovery—the knowledge that oxygen could be extracted simply through exposure to light—that he was unable to sleep for some time.

Dr. Fujishima's paper, written jointly with Dr. Honda, was published in the journal *Nature* in 1972, following which the photocatalysis reaction became known as the Honda-Fujishima effect. Ever since the oil crisis of the 1970s, the process of being able to extract hydrogen through photocatalysis has been greatly anticipated as a source of alternative energy to replace oil, and researchers around the world have been working on an efficient means to extract hydrogen via artificial photosynthesis using that principle.

With the United Nations



Photocatalysis acts as an antifouling and antifogging effect simply by the irradiation of light. It has also been used in the glass covering the pyramid-shaped entrance of the Louvre Museum. The glass maintains its transparent beauty by decomposing dirt.

Sustainable Development Goals (SDGs) aiming to reduce greenhouse gases, research on artificial photosynthesis has been increasingly gaining pace, though many challenges still remain. Dr. Fujishima says, "To achieve the practical applications of hydrogen production using artificial photosynthesis, the high efficiency of hydrogen extraction is, of course, the basic key factor. However, the other key factors are whether we can find a catalyst that satisfies the remaining various conditions; this includes whether the materials used as catalysts can be easily obtained, whether a large surface area photocatalyst can be manufactured, and whether any harmful substances are contained in the material. We are waiting for a breakthrough for those things in the future."

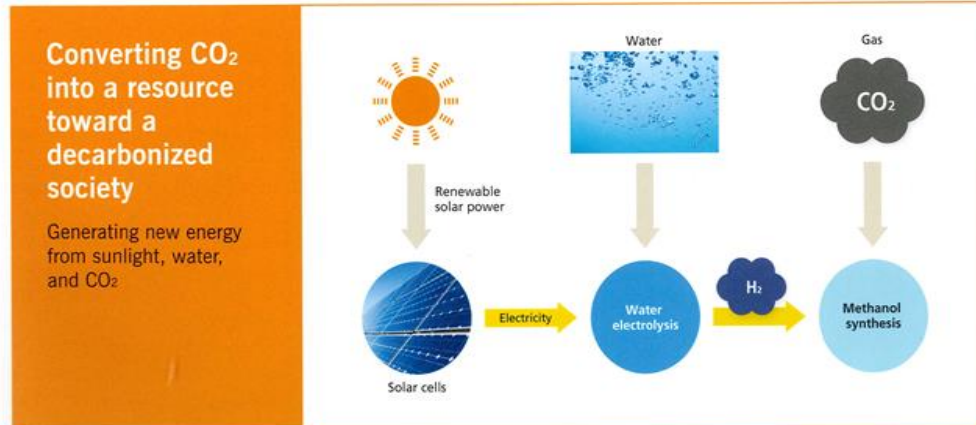
Along with the shift to replace fossil fuels with renewable energies such as hydrogen, another important measure to achieving a decarbonized society is carbon recycling, effectively using CO₂ as a resource. In consideration of that viewpoint, Dr. Fujishima has proposed the

following method; first, extract hydrogen through water electrolysis using the electricity produced from highly efficient solar cells. Next, combine the extracted hydrogen with the CO₂ emitted from power plants and factories to produce methanol, which can be used as an energy source. If this process is realized, gases containing carbon, such as CO₂, will no longer contribute to the greenhouse effect. Rather, those gases will become "resources" to

replace oil and natural gas.

Dr. Fujishima currently heads the Photocatalysis International Research Center at the Tokyo University of Science, where he is leading research on further progress of photocatalysis in the fields of the environment and energy. "I think it's important for science to contribute to the world," he says. Based on his discovery, a decarbonized society, where even CO₂ is used as a resource, will soon be realized. ✨

Dr. FUJISHIMA Akira is the director of the Photocatalysis International Research Center at the Tokyo University of Science. He discovered photocatalysis reaction using titanium oxide while enrolled at the University of Tokyo Graduate School. That discovery was later called the Honda-Fujishima effect, with research on artificial photosynthesis then being initiated around the world.



**ご清聴いただき
ありがとうございました**