

グリーンイノベーションに資する 材料の開発研究

近藤 剛弘



筑波大学 数理物質系物質工学域



筑波大学 数理物質系エネルギー物質科学研究センター




筑波大学ゼロCO₂エミッション機能性材料開発研究センター



東北大学材料科学高等研究所

Outline

1. 自己紹介

 2. カーボンニュートラルの必要性和材料開発の重要性

3. 水素製造に貢献する材料開発

4. 水素吸蔵に貢献する材料開発

5. 水素利用に貢献する材料開発

ENVIRONMENTAL RESEARCH
LETTERS

OPEN ACCESS

RECEIVED

7 June 2021

REVISED

21 September 2021

ACCEPTED FOR PUBLICATION

23 September 2021

PUBLISHED

19 October 2021

Original content from
this work may be used
under the terms of the
[Creative Commons
Attribution 4.0 licence](#).

Any further distribution
of this work must
maintain attribution to
the author(s) and the title
of the work, journal
citation and DOI.



LETTER

Greater than 99% consensus on human caused climate change
in the peer-reviewed scientific literatureMark Lynas^{1,*}, Benjamin Z Houlton² and Simon Perry³¹ Visiting Fellow, Cornell University, Global Development, Alliance for Science, B75 Mann Library, Ithaca, NY 14850, United States of America² Cornell University, Department of Ecology and Evolutionary Biology and Department of Global Development, Cornell University, Ithaca, NY 14850, United States of America³ Alliance for Science, Ithaca, NY 14850, United States of America

* Author to whom any correspondence should be addressed.

E-mail: ml866@cornell.edu**Keywords:** global warming, climate change, scientific consensusSupplementary material for this article is available [online](#)

Abstract

While controls over the Earth's climate system have undergone rigorous hypothesis-testing since the 1800s, questions over the scientific consensus of the role of human activities in modern climate change continue to arise in public settings. We update previous efforts to quantify the scientific consensus on climate change by searching the recent literature for papers sceptical of anthropogenic-caused global warming. From a dataset of 88125 climate-related papers published since 2012, when this question was last addressed comprehensively, we examine a randomized subset of 3000 such publications. We also use a second sample-weighted approach that was specifically biased with keywords to help identify any sceptical peer-reviewed papers in the whole dataset. We identify four sceptical papers out of the sub-set of 3000, as evidenced by abstracts that were rated as implicitly or explicitly sceptical of human-caused global warming. In our sample utilizing pre-identified sceptical keywords we found 28 papers that were implicitly or explicitly sceptical. We conclude with high statistical confidence that the scientific consensus on human-caused contemporary climate change—expressed as a proportion of the total publications—exceeds 99% in the peer reviewed scientific literature.

カーボンニュートラルの必要性

コーネル大学の研究者による
88125件の査読付き論文の精査：
人間が引き起こした現代の気候
変動に関する科学的コンセンサ
スは査読済学術論文の 99% を超
えていると結論

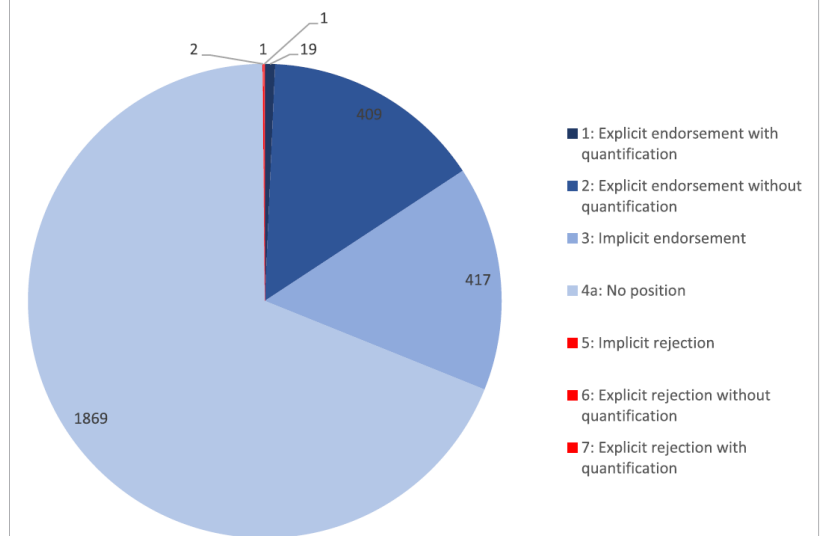
Ratings and categorizations given to 2,718 randomly-selected
climate related papers

Figure 1. Ratings and categorizations given to 2718 randomly-sampled climate abstracts.



Global Temperature

LATEST ANNUAL AVERAGE ANOMALY: 2023 ⁱ

1.17 °C | 2.11 °F

Download Data 

地球の気温の長期記録が
「地球温暖化」を示している

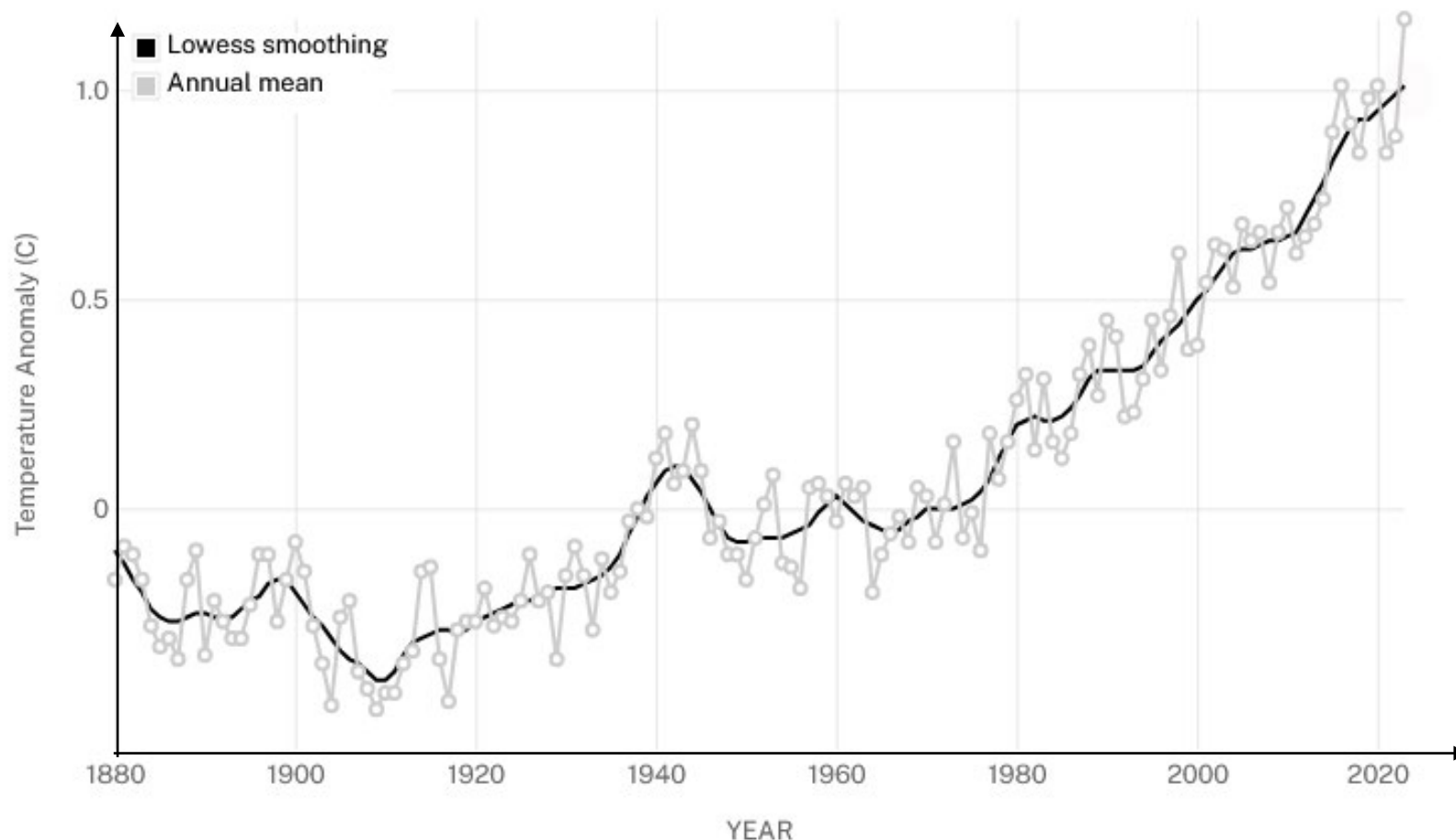
1951 年から 1980 年までの長期平均と比較した地球表面温度の変化

GLOBAL LAND-OCEAN TEMPERATURE INDEX

Data source: NASA's Goddard Institute for Space Studies (GISS). Credit: NASA/GISS

<https://climate.nasa.gov/vital-signs/global-temperature/?intent=121>

source: NASA/GISS

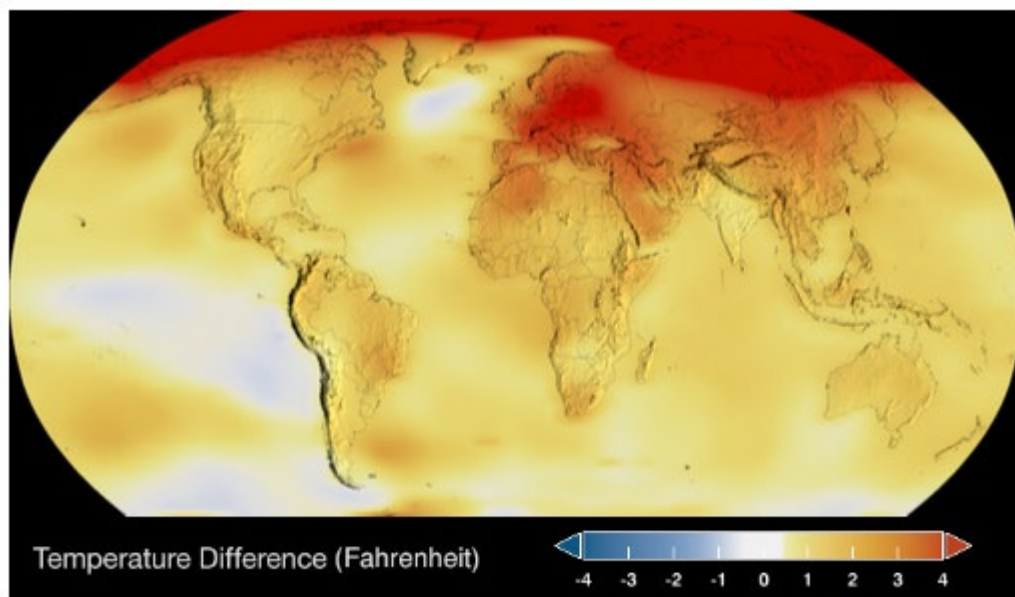
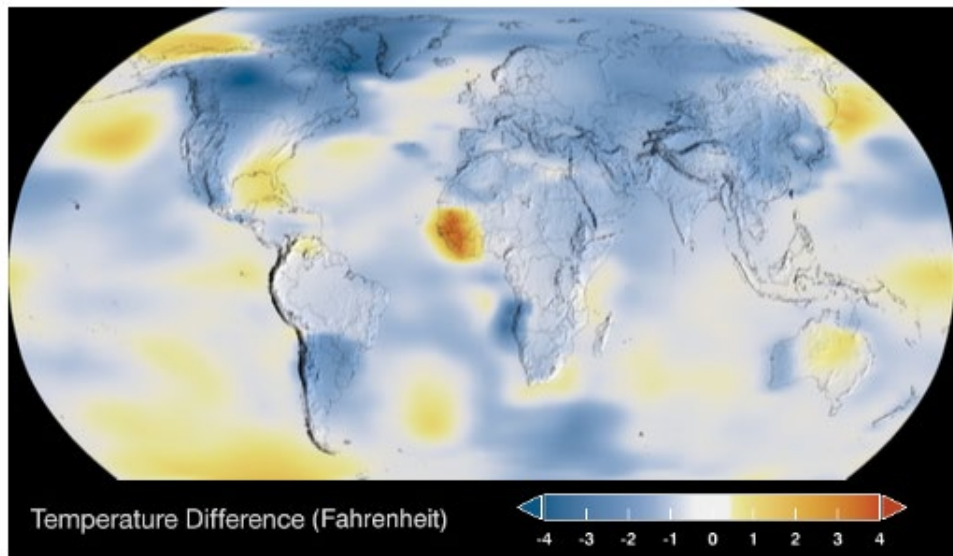




GLOBAL L

Data source

/cl



=121

1884

2022

1884 2022

2022

tempe

0

1880

1900

1920

1940

1960

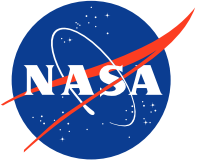
1980

2000

2020

YEAR

地球の気温の長期記録が
「地球温暖化」を示している



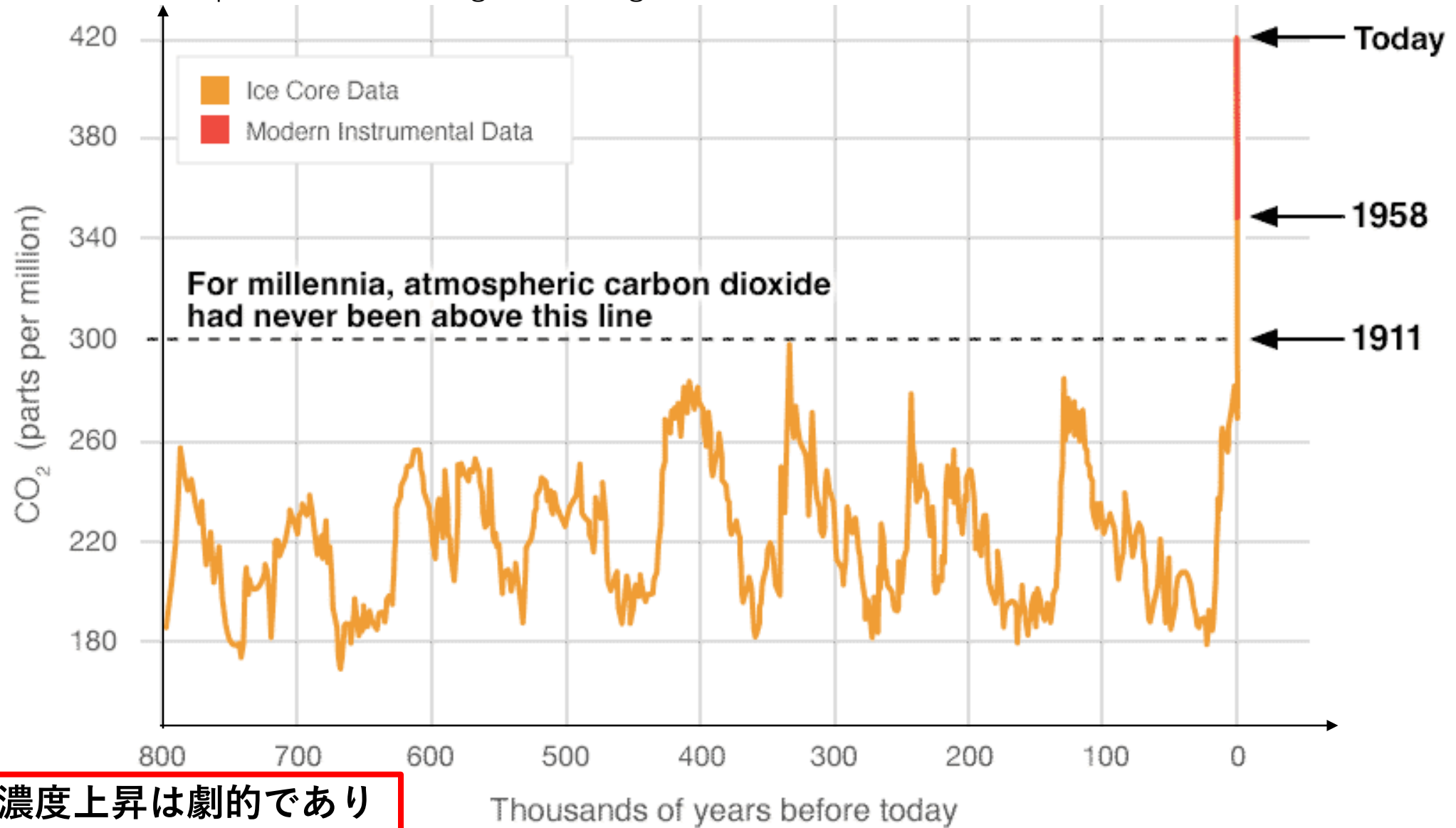
Carbon Dioxide

LATEST MEASUREMENT: July 2024

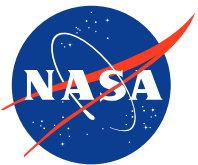
426 ppm

CO₂ levels measured by NOAA at Mauna Loa Observatory, Hawaii

<https://climate.nasa.gov/vital-signs/carbon-dioxide/?intent=121>



この100年のCO₂濃度上昇は劇的であり
過去800年で超えたことのない300ppm
を超えて40%増の426 ppm



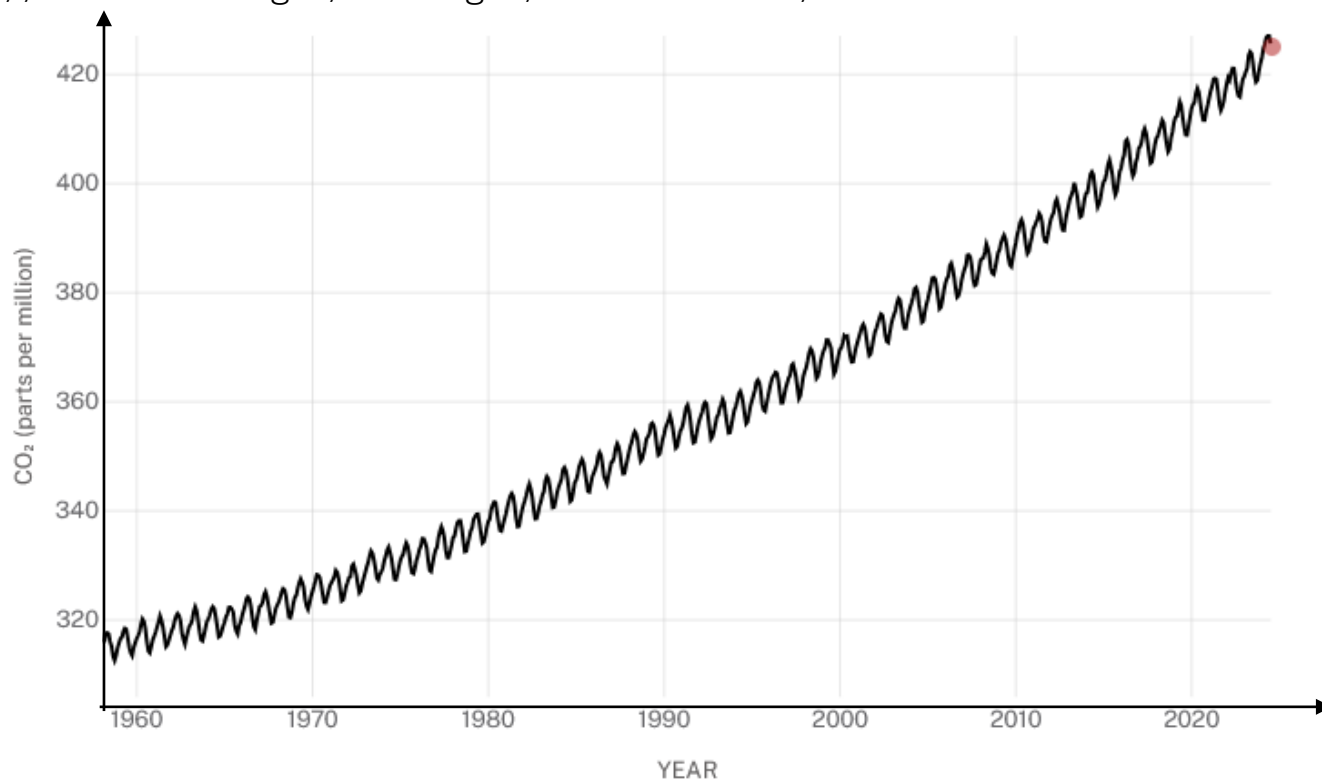
Carbon Dioxide

LATEST MEASUREMENT: July 2024

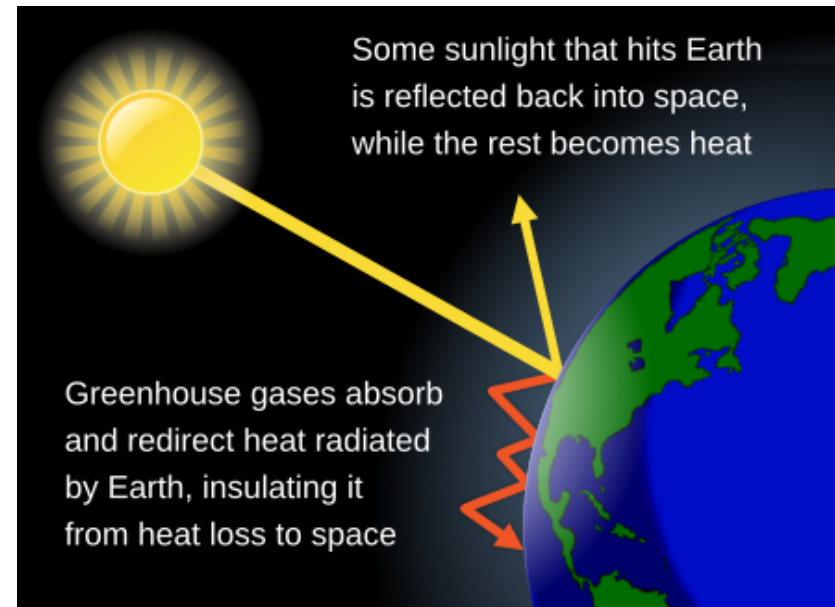
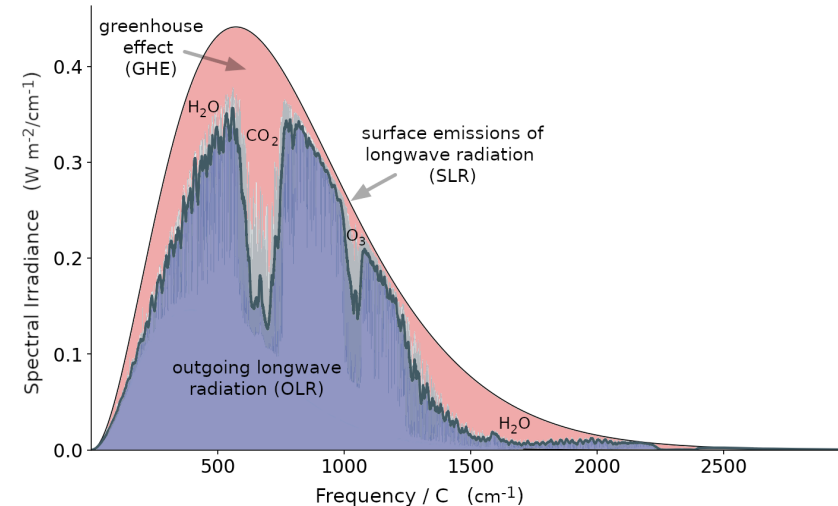
426 ppm

CO₂ levels measured by NOAA at Mauna Loa Observatory, Hawaii

<https://climate.nasa.gov/vital-signs/carbon-dioxide/?intent=121>



大気中の二酸化炭素含有量が単調に増加し続けている



https://en.wikipedia.org/wiki/Greenhouse_effect

二酸化炭素は温室効果ガスと呼ばれるガスであり
地表からの熱放出が大気中で吸収されてしまい放出され
なくなってしまうことで温暖化の原因となっている

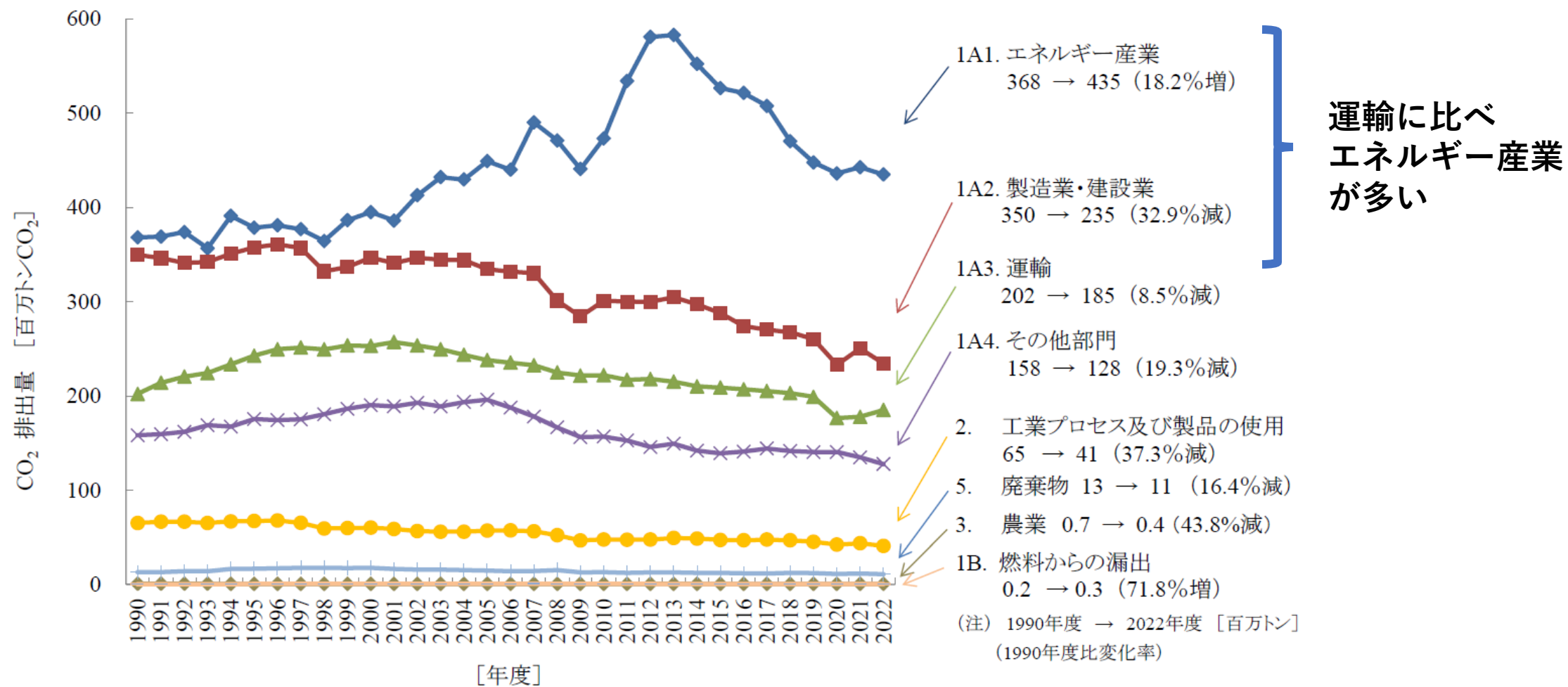
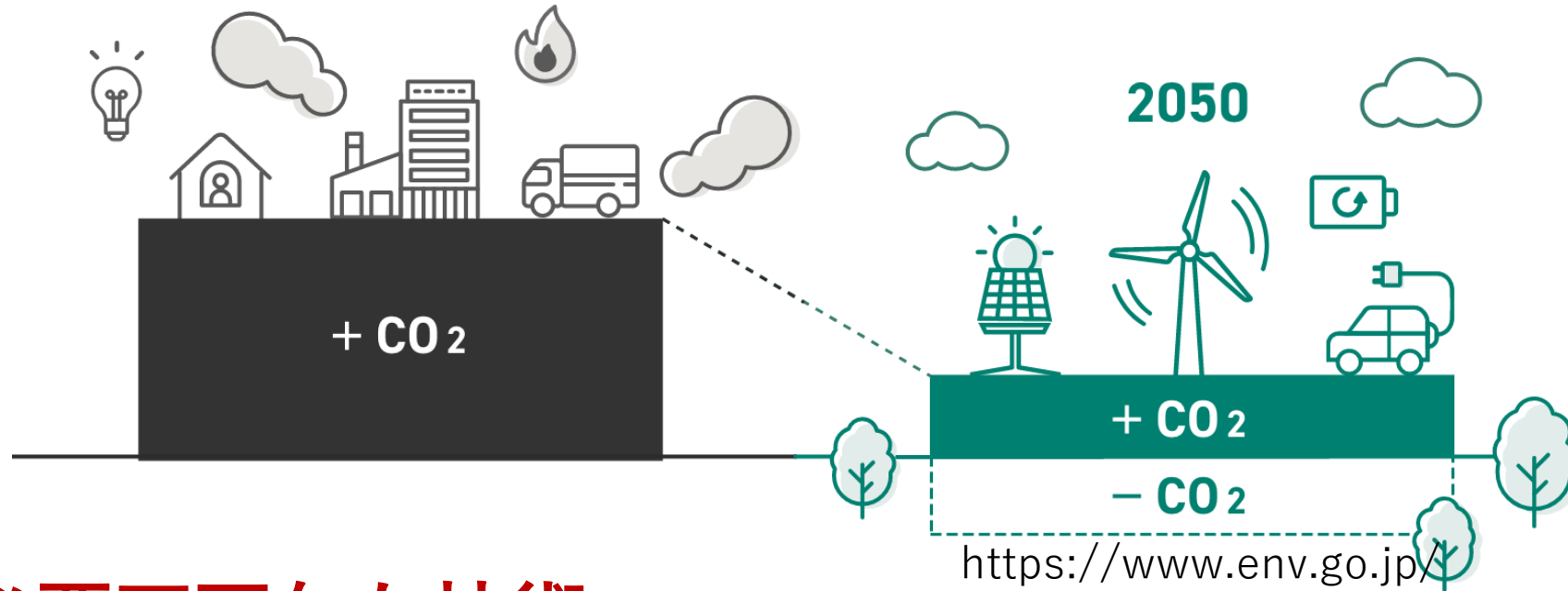


図 2-3 各部門の CO₂ 排出量の推移

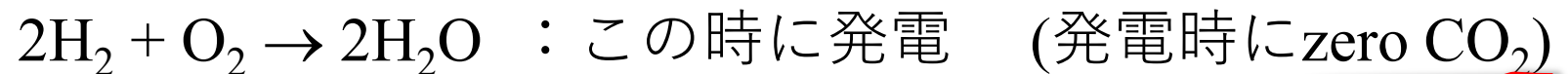
(注) 括弧内の数値は 1990 年度比

カーボンニュートラルが求められている

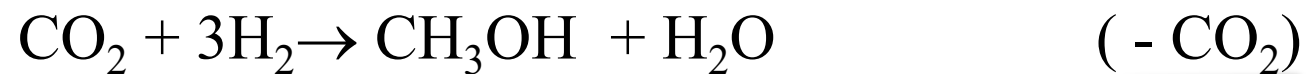


必要不可欠な技術：

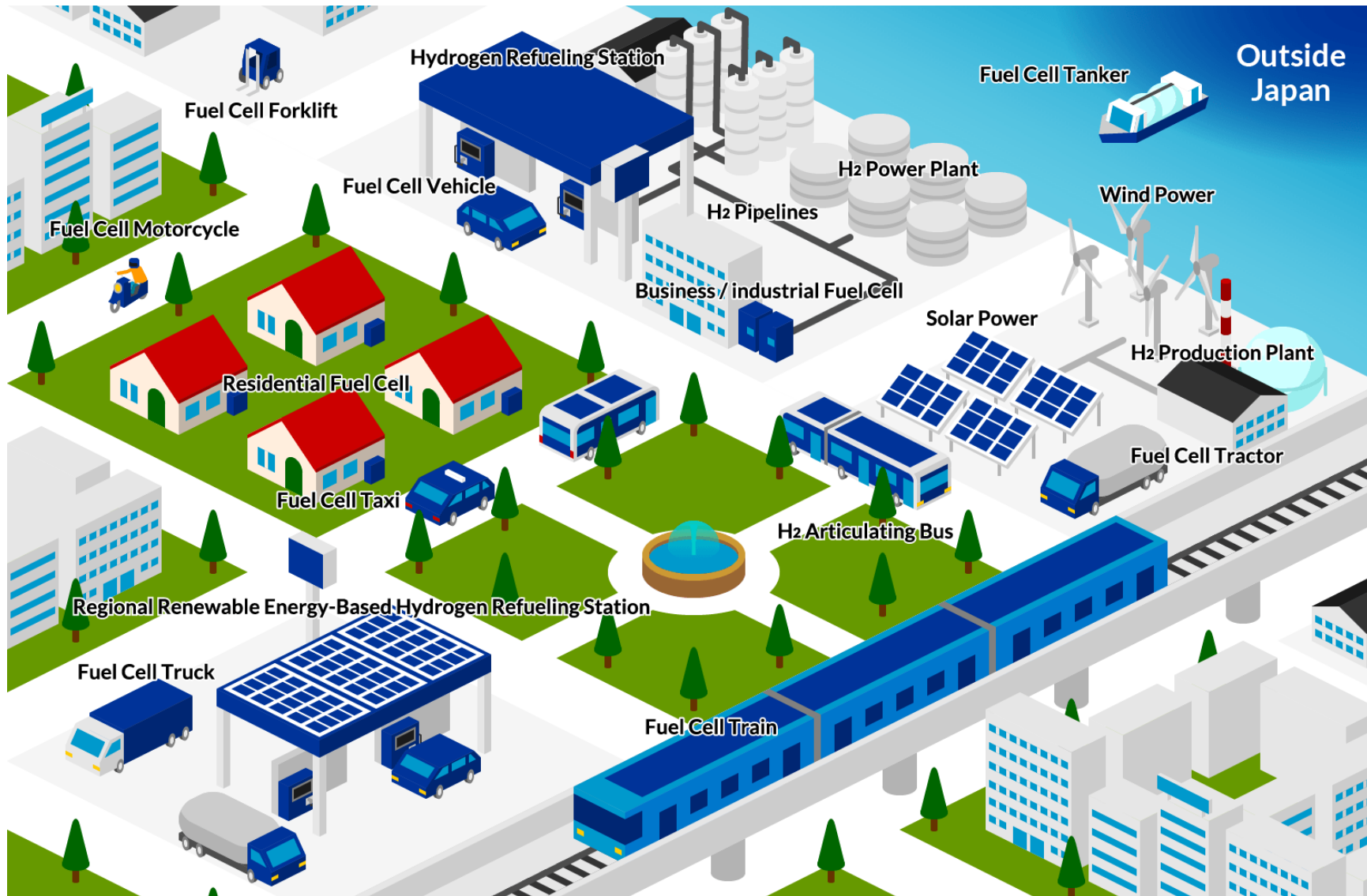
(1) 水素(H₂)を燃料として利活用する技術



(2) 二酸化炭素 (CO₂) を有用な物質に変換する技術



水素社会のイメージ



Grey hydrogen

Source: Natural gas

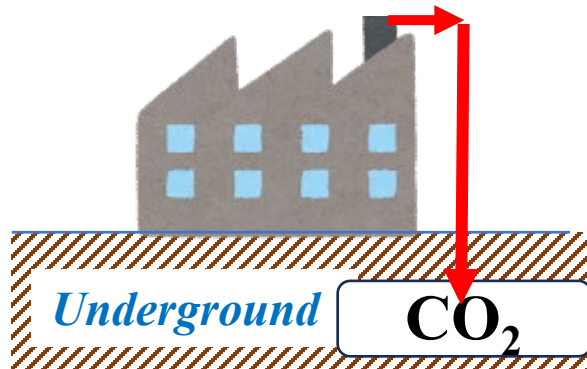
Process: steam reforming



Blue hydrogen

Source: Natural gas

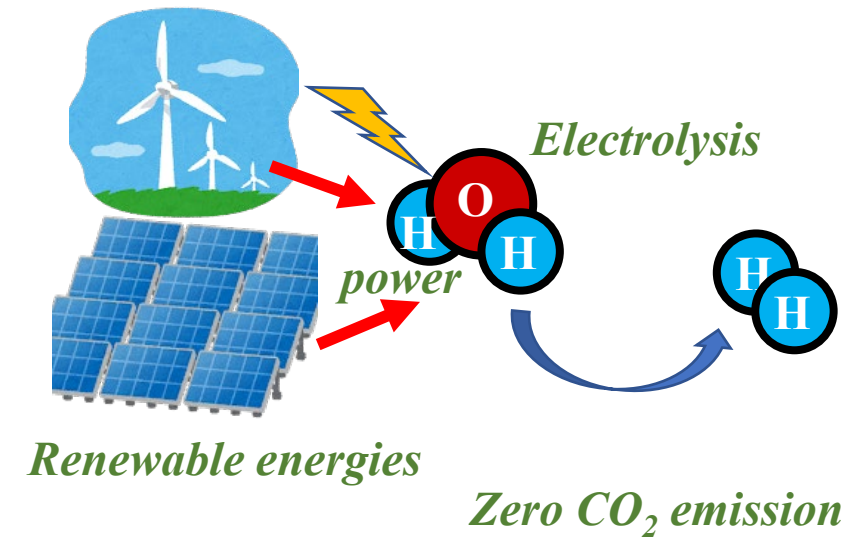
*Process: steam reforming
with carbon capture*



Green hydrogen

Source: Electrolysis

Process: Renewable energies



水素の利活用全体においてCO₂を出さないことが重要



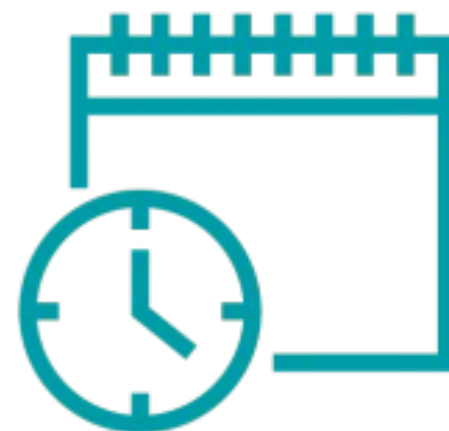
Hydrogen



1 Dollar



1 Kilogram

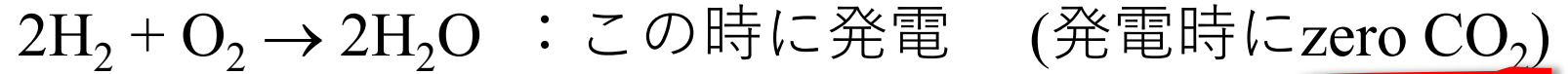


1 Decade

<https://www.energy.gov/eere/fuelcells/hydrogen-shot>

**米国エネルギー省は10年で1kgの水素を1ドルにする
1, 1, 1政策を開始**

水素(H₂)を燃料として利活用する技術



水素社会
のイメージ

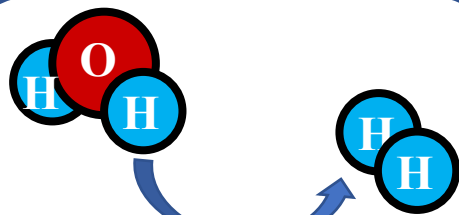


水素を作る

水素をためる

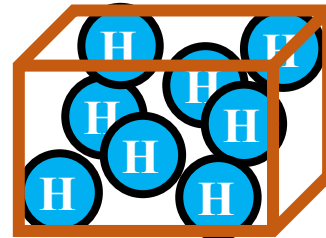
水素を使う

現状の課題



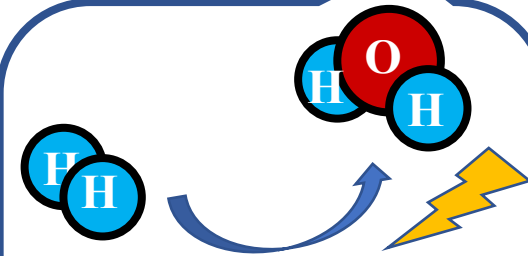
水電解：鍵は
電極触媒材料

現行の貴金属触媒は
高価で埋蔵量が少ない



水素貯蔵材料が鍵

安価で安全に高密度の
貯蔵ができる材料が必要



燃料電池：鍵は
電極触媒材料

現行の貴金属触媒は
高価で埋蔵量が少ない

鍵は材料開発！

Outline

1. 自己紹介

2. カーボンニュートラルの必要性和材料開発の重要性

 3. 水素製造に貢献する材料開発

4. 水素吸蔵に貢献する材料開発

5. 水素利用に貢献する材料開発

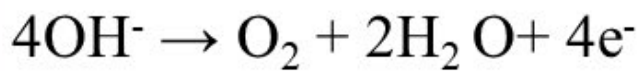
現在IrO₂ や RuO₂ を使用
(高くて地球上に少ない物質)

安くて豊富な材料で
高性能な電極触媒が必要

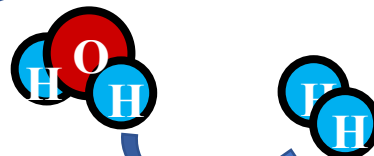
典型元素を利用することに
主眼を置いた材料である
r-BSで解決

酸素発生反応
(OER: Oxygen Evolution Reaction)

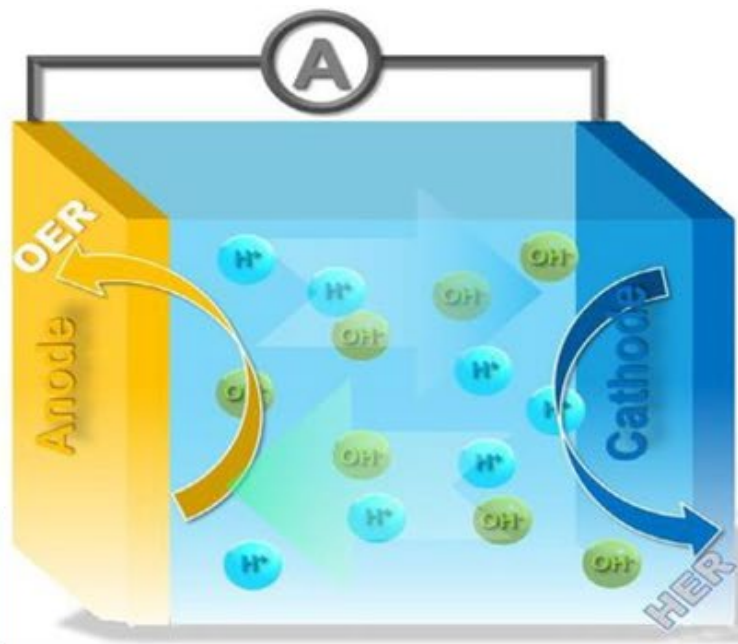
OER (alkaline)



水素生成



水電解：鍵は
電極触媒材料



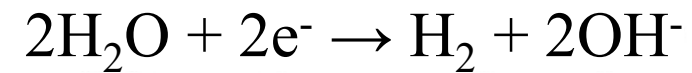
水電解装置



Dr. Li-san (Graduated at 2024)

水素発生反応
(HER: Hydrogen Evolution Reaction)

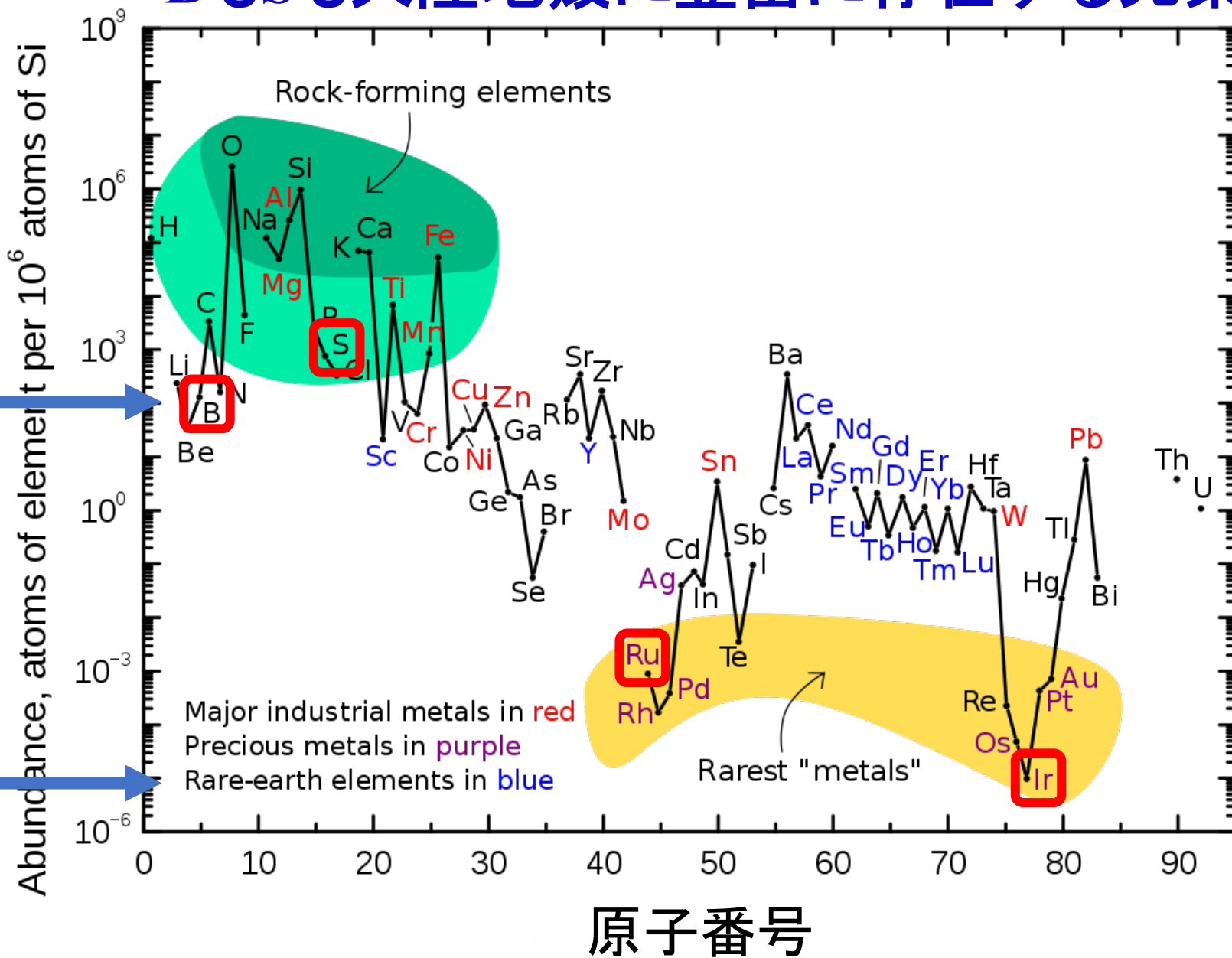
HER (alkaline)



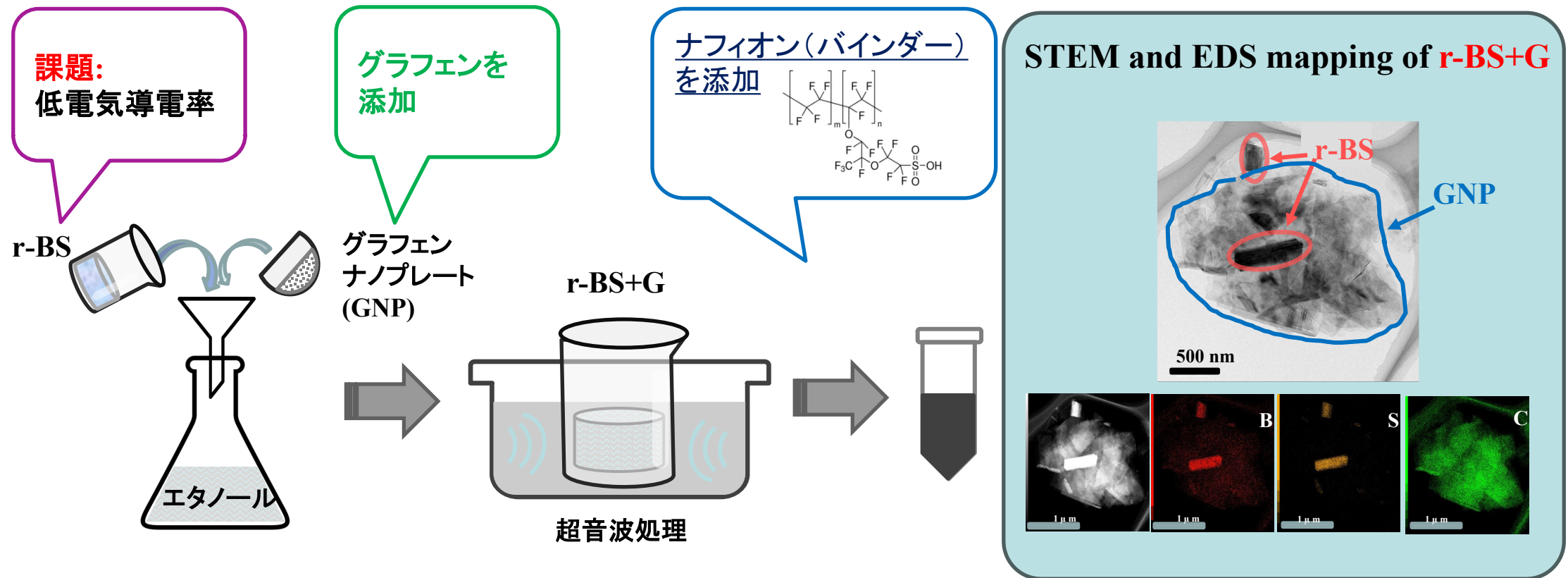
BもSも大陸地殻に豊富に存在する元素

1千万倍

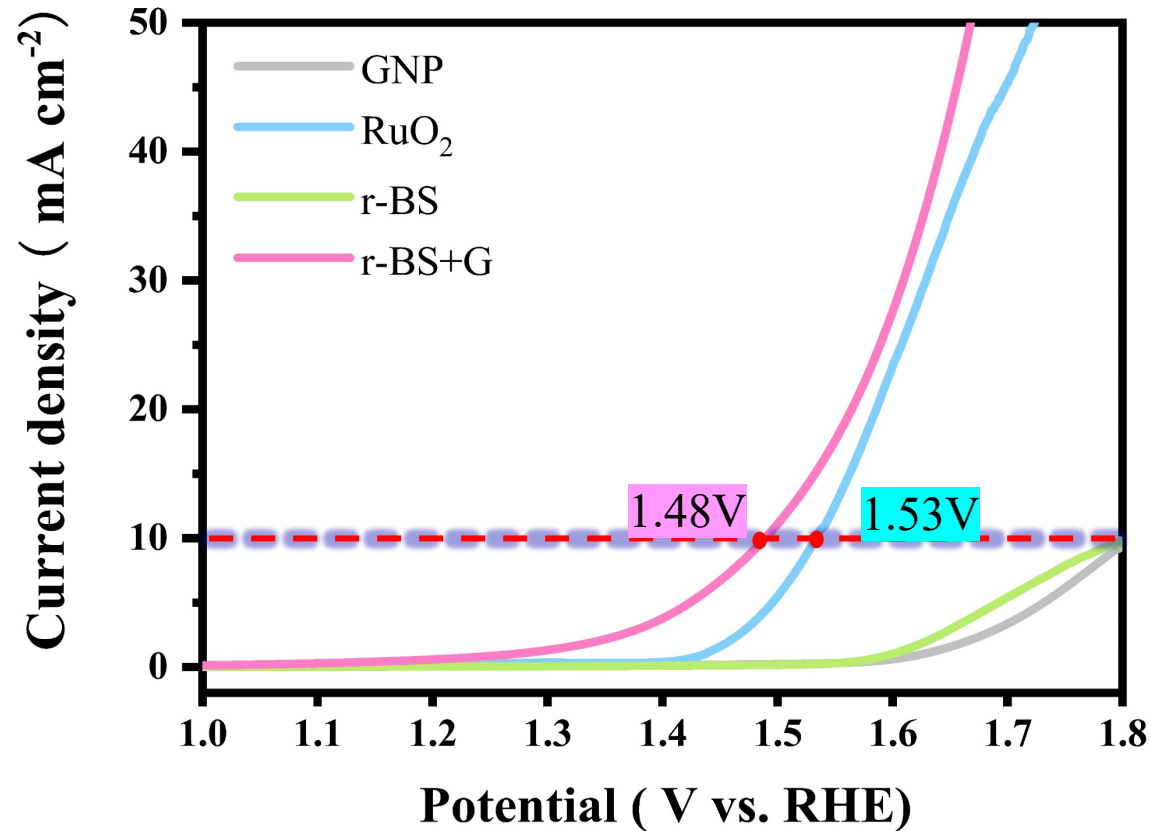
大陸地殻での元素の存在度



菱面体硫化ホウ素 (r-BS) に 電気伝導性のある グラフェンを添加した複合体 (r-BS+G) を調製

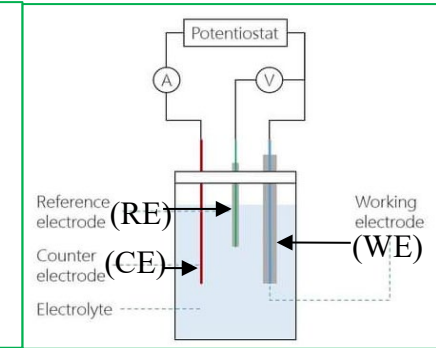


r-BS+Gの優れた酸素生成(OER)触媒特性

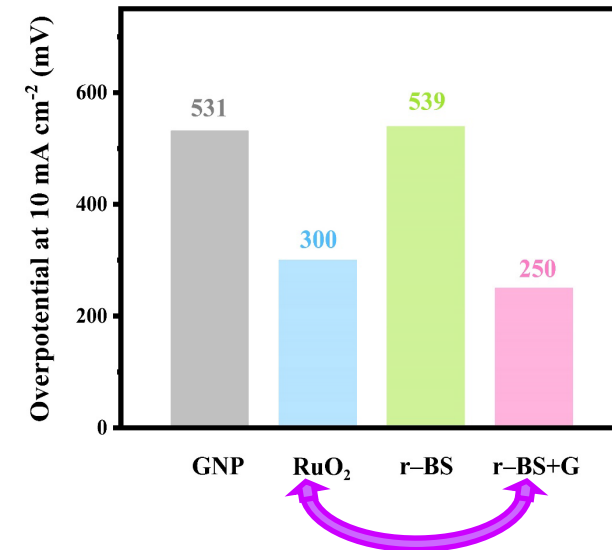


RHE: Reversible Hydrogen Electrode (可逆水素電極)

アルカリ電解質
(1M KOH) 中の
ガラス炭素電極
(GCE) の
3電極システムで
測定



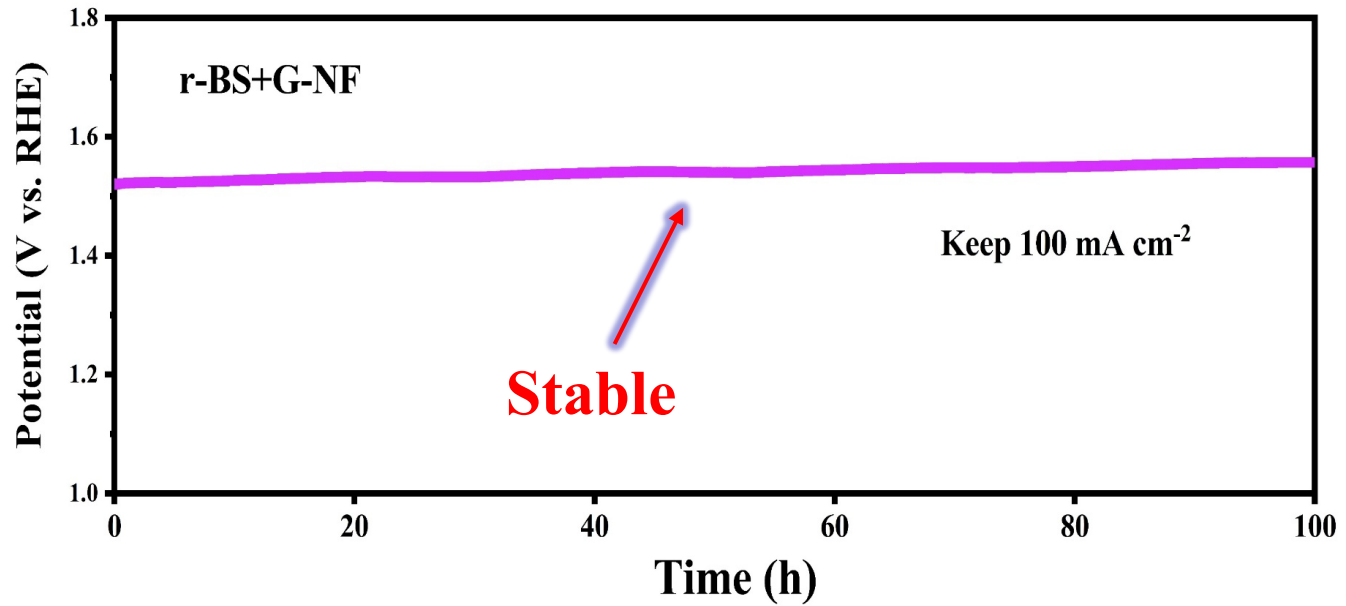
※ 過電位 (Overpotential)
= (実験電位 - 熱力学 (1.23V)) の絶対値



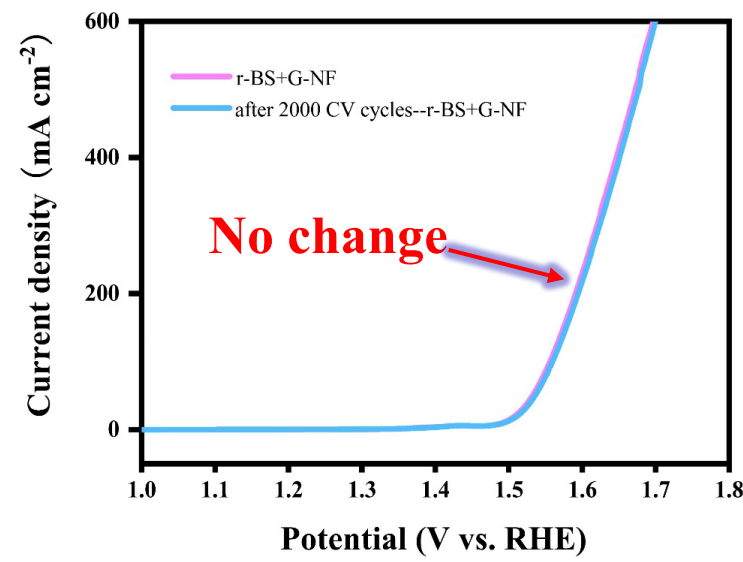
商用のRuO₂より50 mV低い

Excellent stability of r-BS+G-NF

r-BS+G-NFの
クロノポテンシオメトリー曲線
100 h at 100 mA cm⁻²




1.20 から 1.55 V の間の
2000 CV サイクル後の
r-BS+G-NF after RHEの関係



ニッケルフォーム (NF) で3次元化した
r-BS+G-NF は高い触媒安定性を示し、産業用途でさらに期待できる

Outline

1. 自己紹介
2. カーボンニュートラルの必要性和材料開発の重要性
3. 水素製造に貢献する材料開発
-  4. 水素吸蔵に貢献する材料開発
5. 水素利用に貢献する材料開発

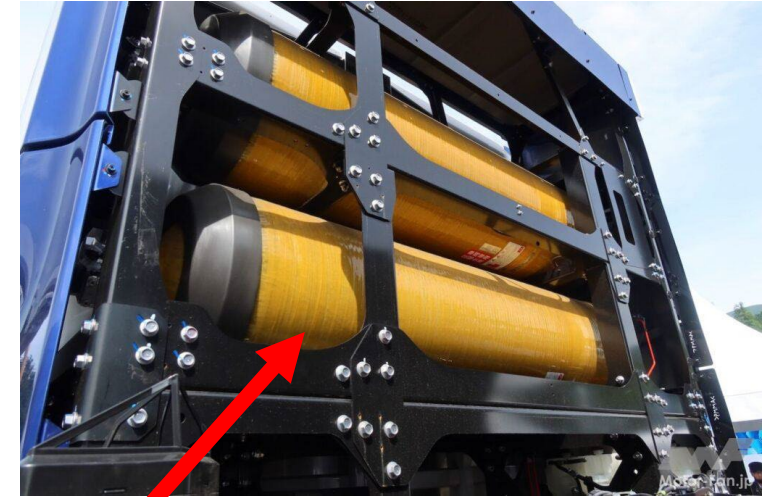
水素吸蔵

HDV (Heavy Duty Vehicles) の高圧タンク



<https://motor-fan.jp/mf/article/142385/>

トヨタと日野が共同で開発した
燃料電池大型トラック



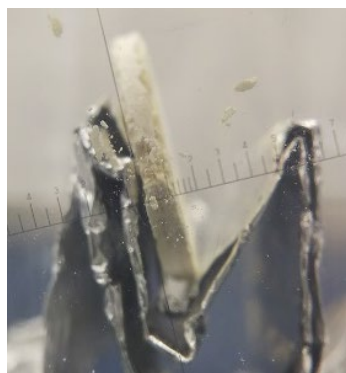
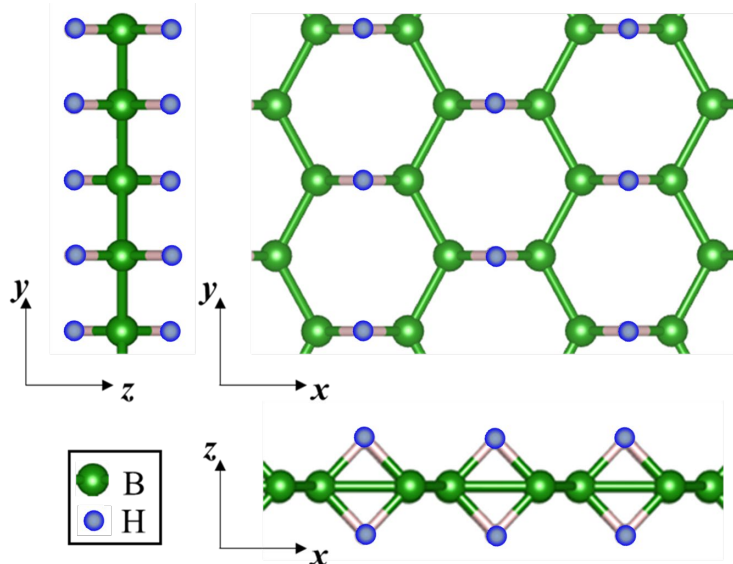
<https://motor-fan.jp/mf/article/142385/>

高圧水素タンク6本で
50kgの水素を搭載

ここにもっと水素が貯めるために
水素吸蔵材料を入れる案がある
良い水素吸蔵材料の開発が望まれている

ホウ化水素シートの外観と特徴の概略

Derived local structure



B : H = 1 : 1

- ・水に安定
- ・軽くてたくさんの水素を持つ物質

表面積(理論値)

4068 m²/g

水素重量密度(実測値)

8.5 wt%

物質の体積密度: 1.29 g/cm³

ペレットの質量: 0.1012 g

直径: 10 mm

厚さ: 1.0 mm

$0.5 \times 0.5 \times \pi \times 0.10 = 0.0785 \text{ cm}^3$

$0.1012 / 0.0785 = 1.29 \text{ g/cm}^3$

体積水素密度

$1290 \times 1 / (11.8 \times 1) = 109.3 \text{ kg/m}^3$

Outline

1. 自己紹介
2. カーボンニュートラルの必要性和材料開発の重要性
3. 水素製造に貢献する材料開発
4. 水素吸蔵に貢献する材料開発
- ➡ 5. 水素利用に貢献する材料開発

水素利用

Stationary
fuel cell



Fuel cell car

TOYOTA

MIRAI

Model 2014

進化ポイントについて

Model 2020



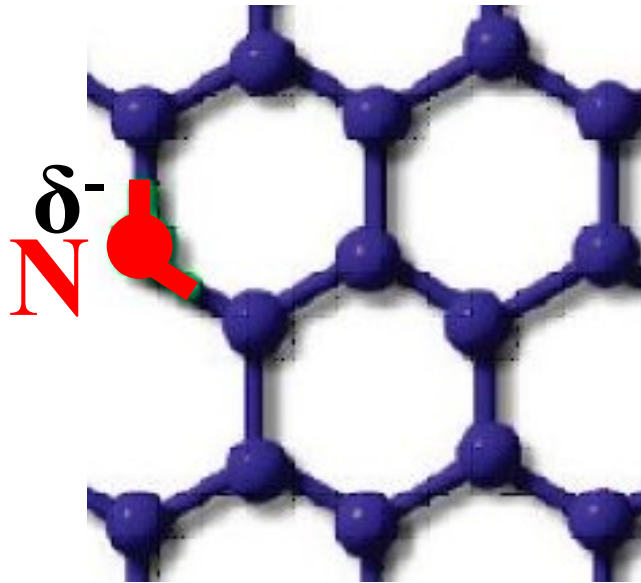
高価で希少な白金を代替する
触媒材料の開発が必要不可欠
窒素を含む炭素材料が
候補として世界中で開発競争

貴金属の白金が触媒材料として使用されている

酸素還元反応(ORR) 触媒機能に重要な部位について論争

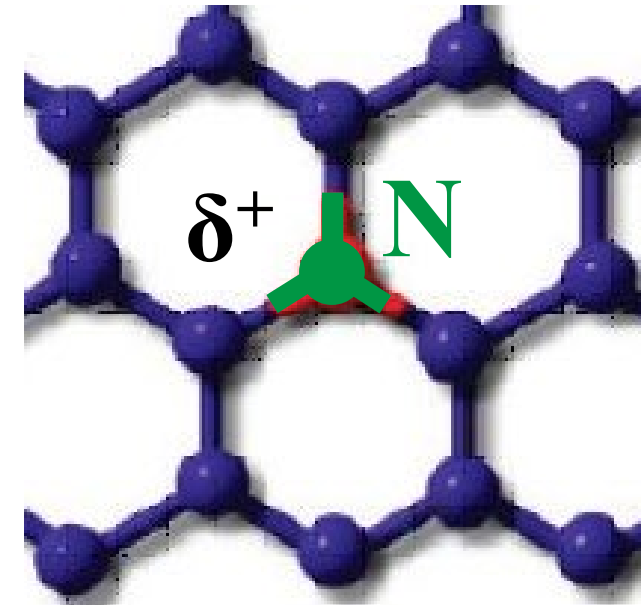
ピリジン型窒素 or グラファイト型窒素

ピリジン型窒素



N is negatively charged
(1s core level: 398.5 eV)
Lone pair and larger electronegativity

グラファイト型窒素



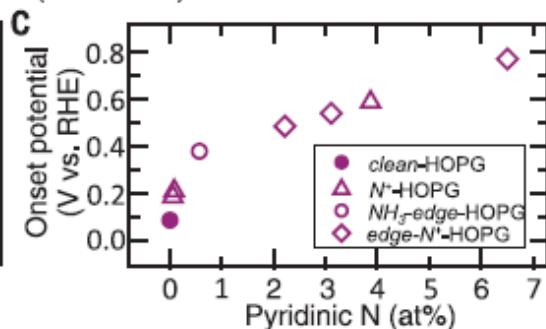
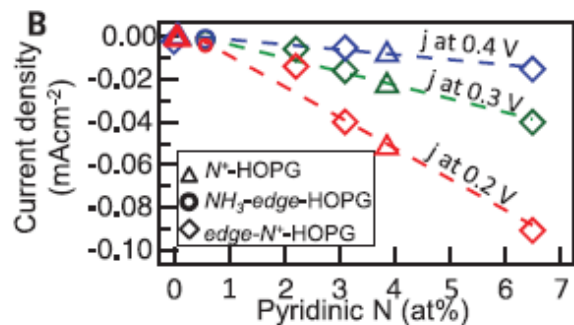
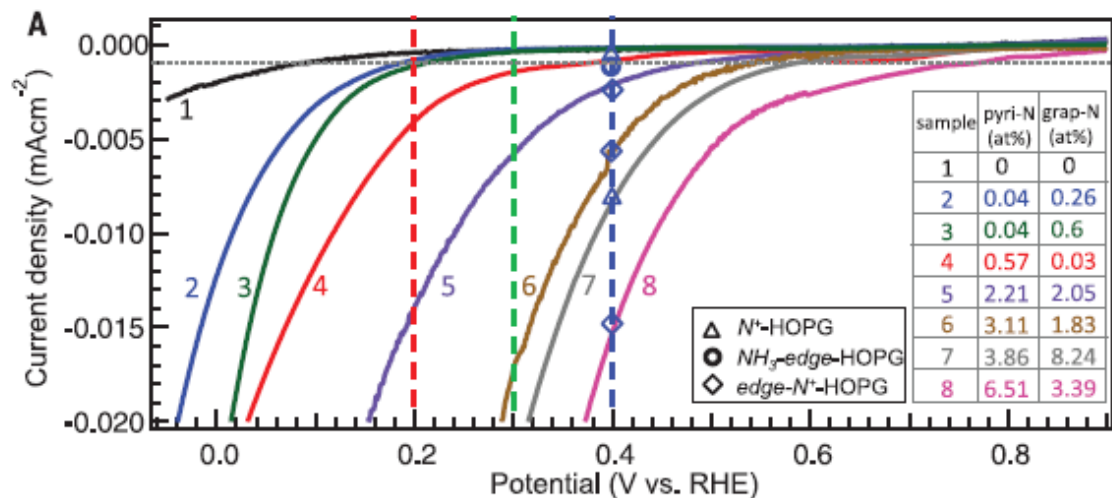
N is positively charged
(1s core level: 401.3 eV)
A valence electron flows into stable π -system

Our work: **ピリジン型窒素** が重要な部位であることを特定

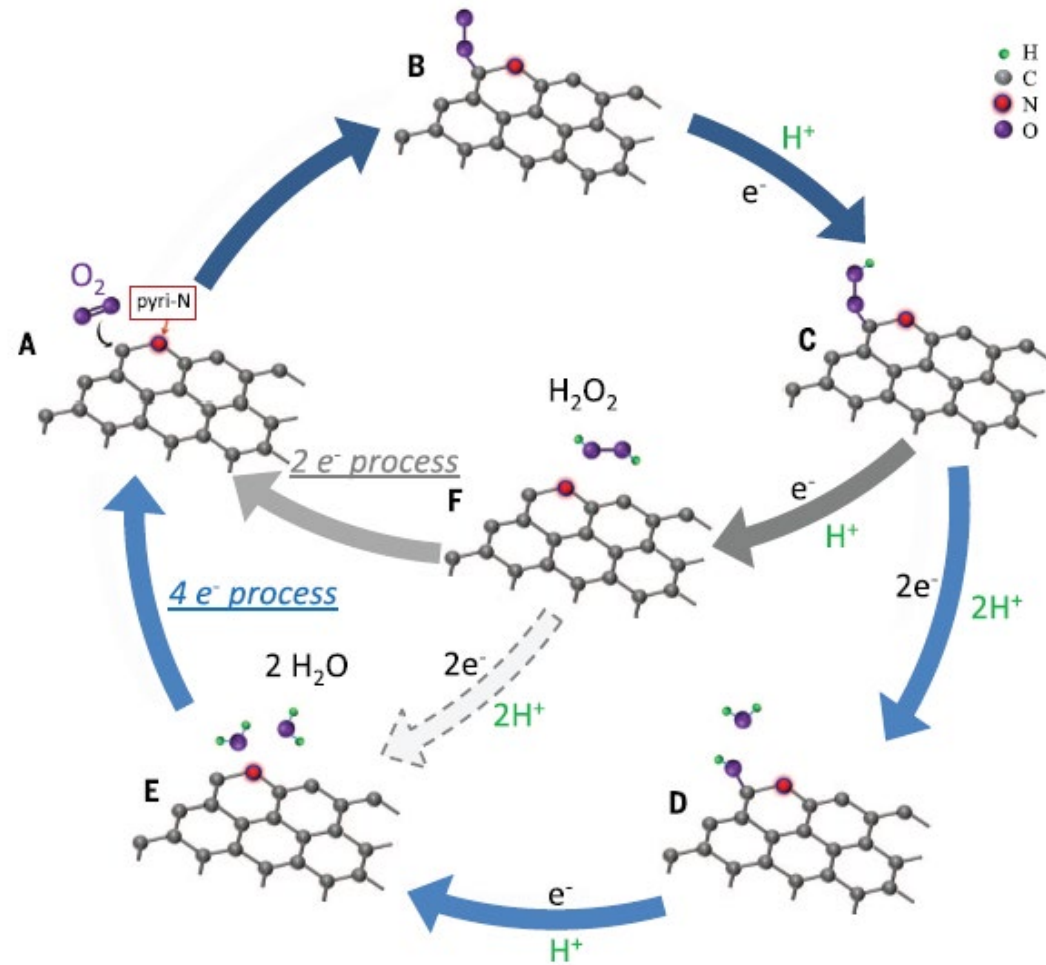
ELECTROCHEMISTRY

Active sites of nitrogen-doped carbon materials for oxygen reduction reaction clarified using model catalysts

Donghui Guo,¹ Riku Shibuya,² Chisato Akiba,² Shunsuke Saji,²
Takahiro Kondo,^{1*} Junji Nakamura^{1*}



論争に終止符を打った



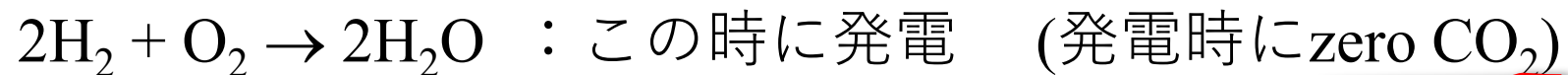
D. Guo, R. Shibuya, C. Akiba, S. Saji, T. Kondo*, J. Nakamura*

*:corresponding authors

Science 351 (2016) 361-365.

まとめ

水素(H₂)を燃料として利活用する技術



水素社会
のイメージ

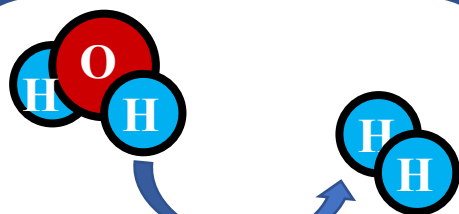


水素を作る

水素をためる

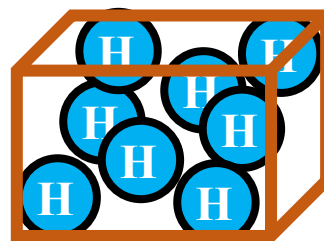
水素を使う

現状の課題



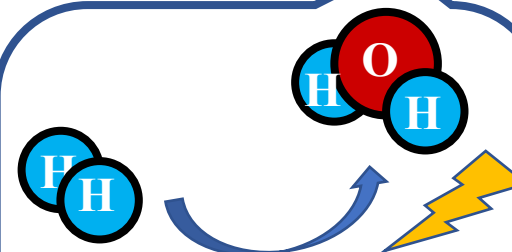
水電解：鍵は
電極触媒材料

現行の貴金属触媒は
高価で埋蔵量が少ない



水素貯蔵材料が鍵

安価で安全に高密度の
貯蔵ができる材料が必要



燃料電池：鍵は
電極触媒材料

現行の貴金属触媒は
高価で埋蔵量が少ない

鍵は材料開発！