



信州大学  
SHINSHU UNIVERSITY

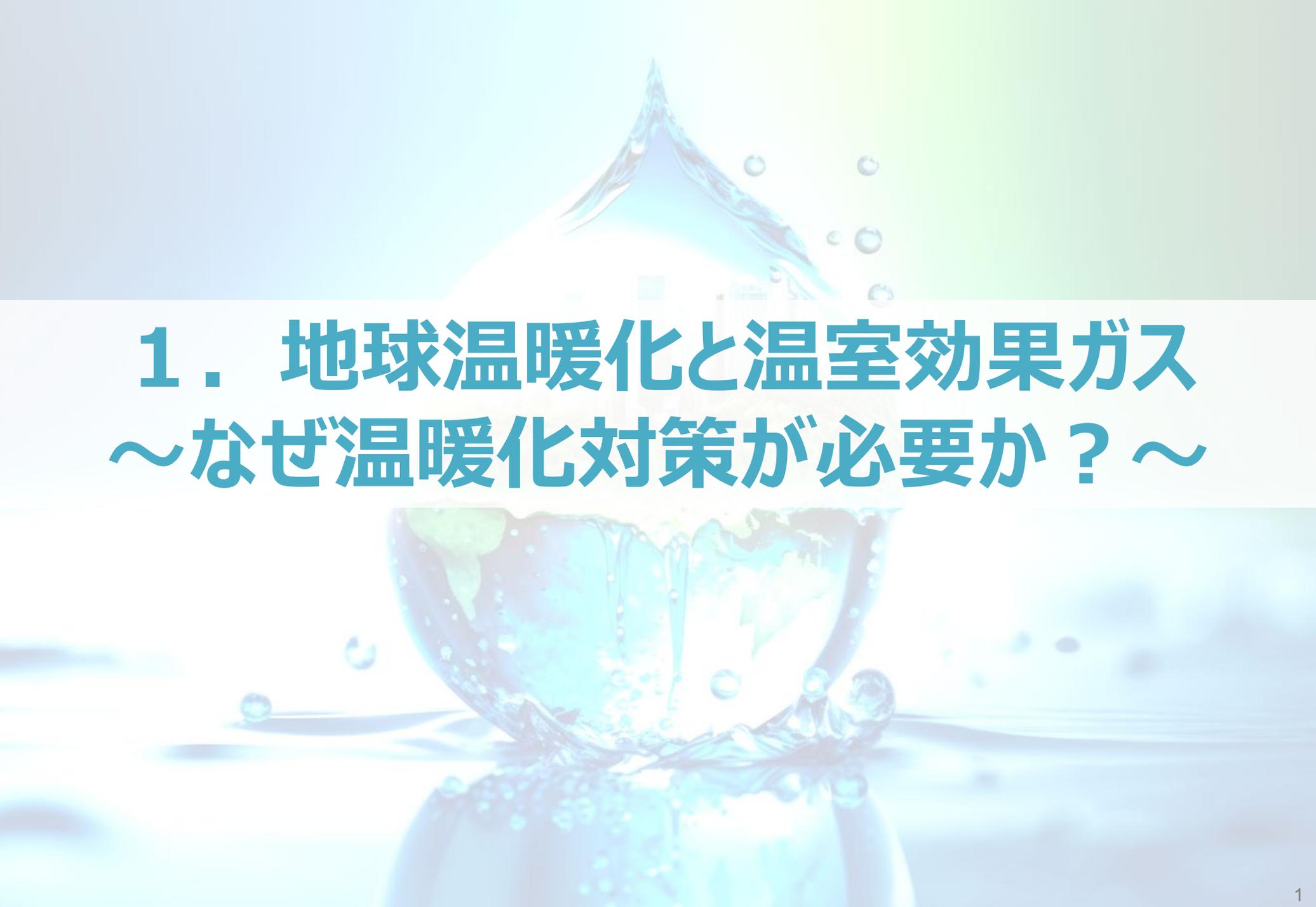
# 南信州におけるエネルギーの地産地消に 向けたグリーン水素の可能性

---

信州大学学術研究・産学官連携推進機構

宮原 大地

---

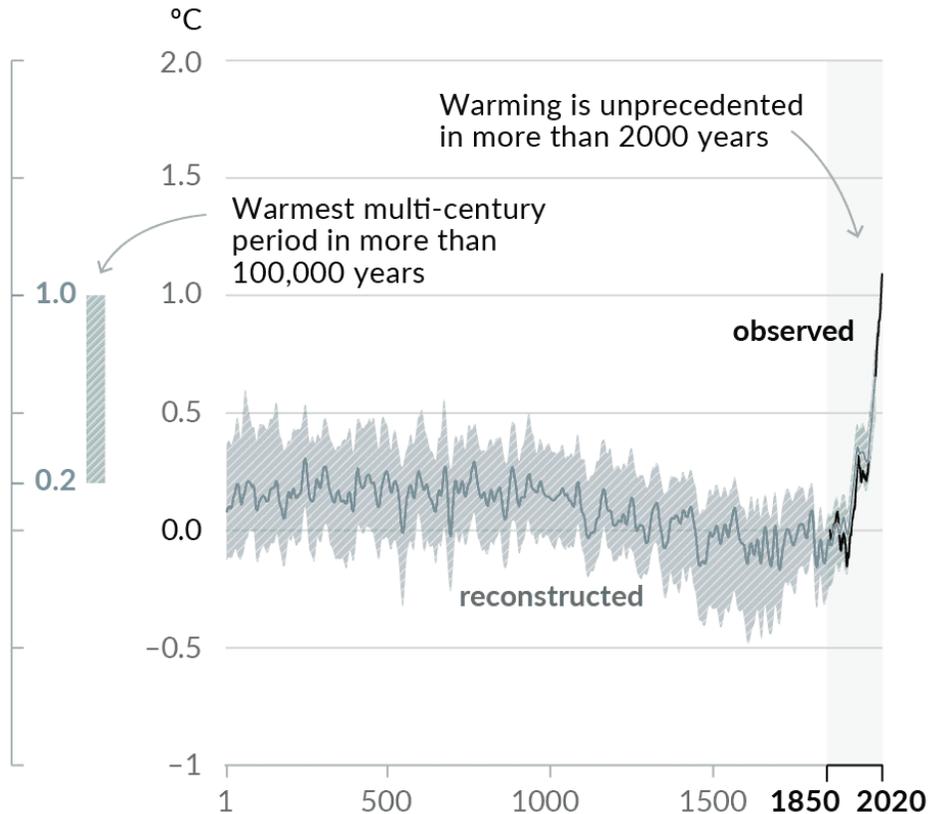


# 1. 地球温暖化と温室効果ガス ～なぜ温暖化対策が必要か？～

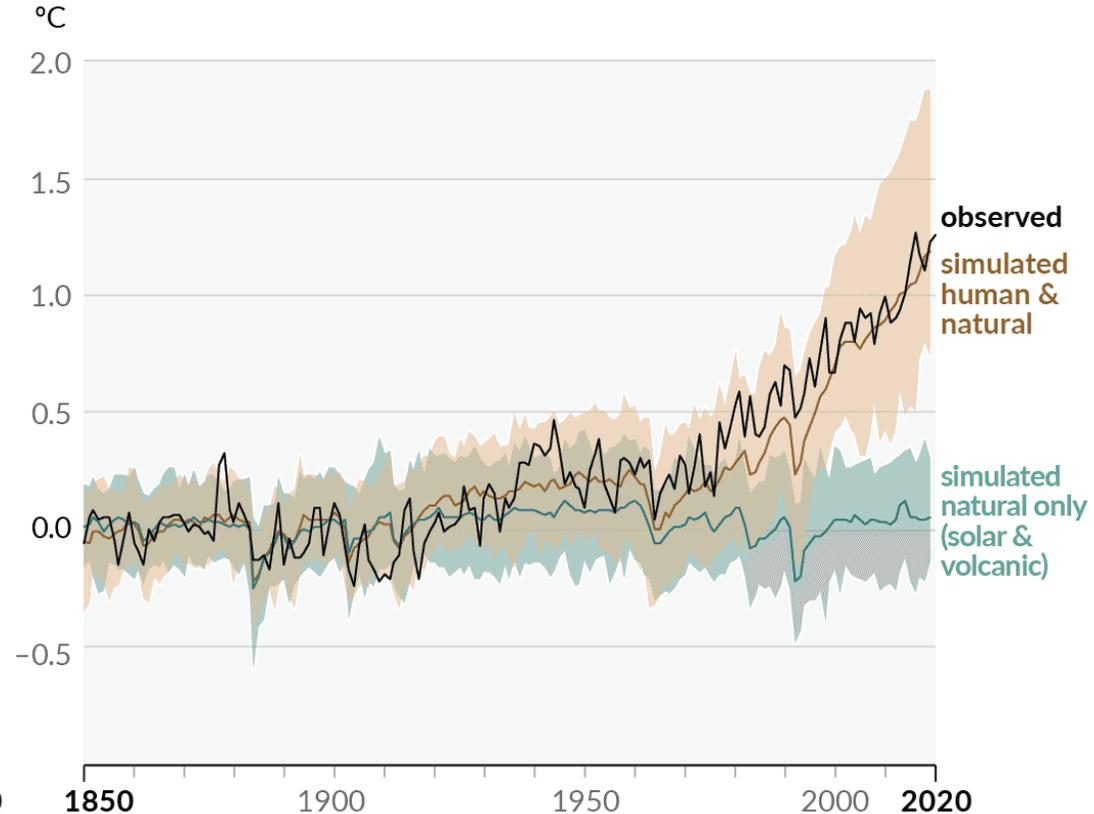
## 地球温暖化とは？

➡人の活動によって大気中の **温室効果ガス** の濃度が増加し、地球全体の地表、大気、海水の温度が追加的に上昇する現象（環境省）

(a) Change in global surface temperature (decadal average) as **reconstructed** (1–2000) and **observed** (1850–2020)



(b) Change in global surface temperature (annual average) as **observed** and simulated using **human & natural** and **only natural** factors (both 1850–2020)



出典：IPCC AR6 WG1 Chapter 3 Fig. 3.2

## 中間圏界面（地上80km）までの大気組成

窒素 約78%

酸素 約21%

アルゴン 約0.93%

**二酸化炭素 約0.03%**

## 温室効果への寄与

水蒸気 (H<sub>2</sub>O) 48%

二酸化炭素 (CO<sub>2</sub>) 21%

雲 (H<sub>2</sub>O) 19%

オゾン (O<sub>3</sub>) 6%

一見するとCO<sub>2</sub>の温暖化寄与率は低いように見えるが...

・水蒸気（水）の大気滞留時間：8.9±0.4日（van der Ent and Tuinenburg, 2017）

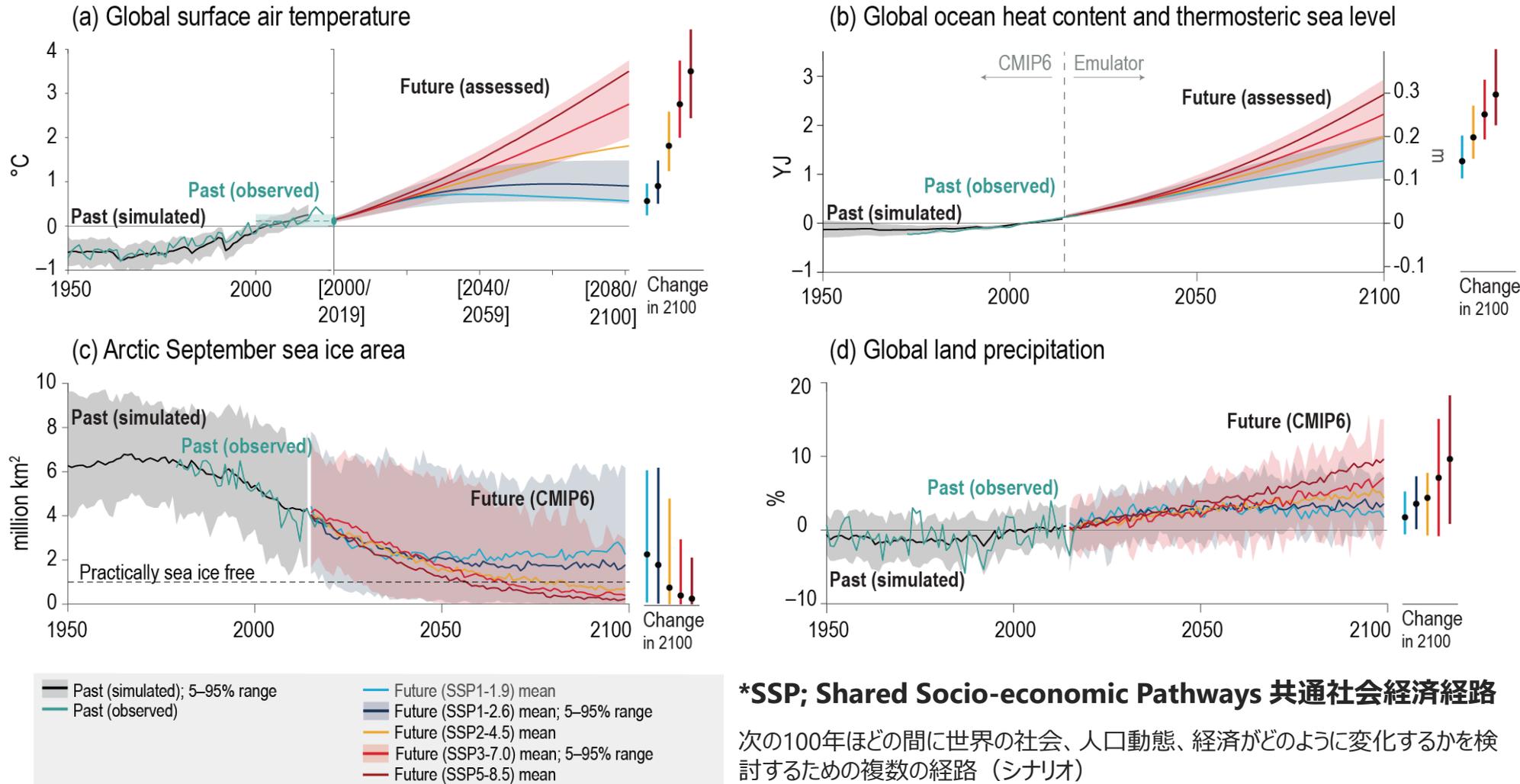
・CO<sub>2</sub>の大気滞留時間：**数千年～数万年**（NASA Global Climate Change, 2019）

➡ 水は速やかに凝結して雲や雨となり、比較的短期間で循環するのに対し、CO<sub>2</sub>は長期間に渡って大気中に残留し、温室効果をもたらし続ける。

➡ CO<sub>2</sub>等を主因とする気温上昇が更なる水蒸気の発生・大気中への滞留を引き起こし、温暖化がより進行する（温室効果の強制因子）。

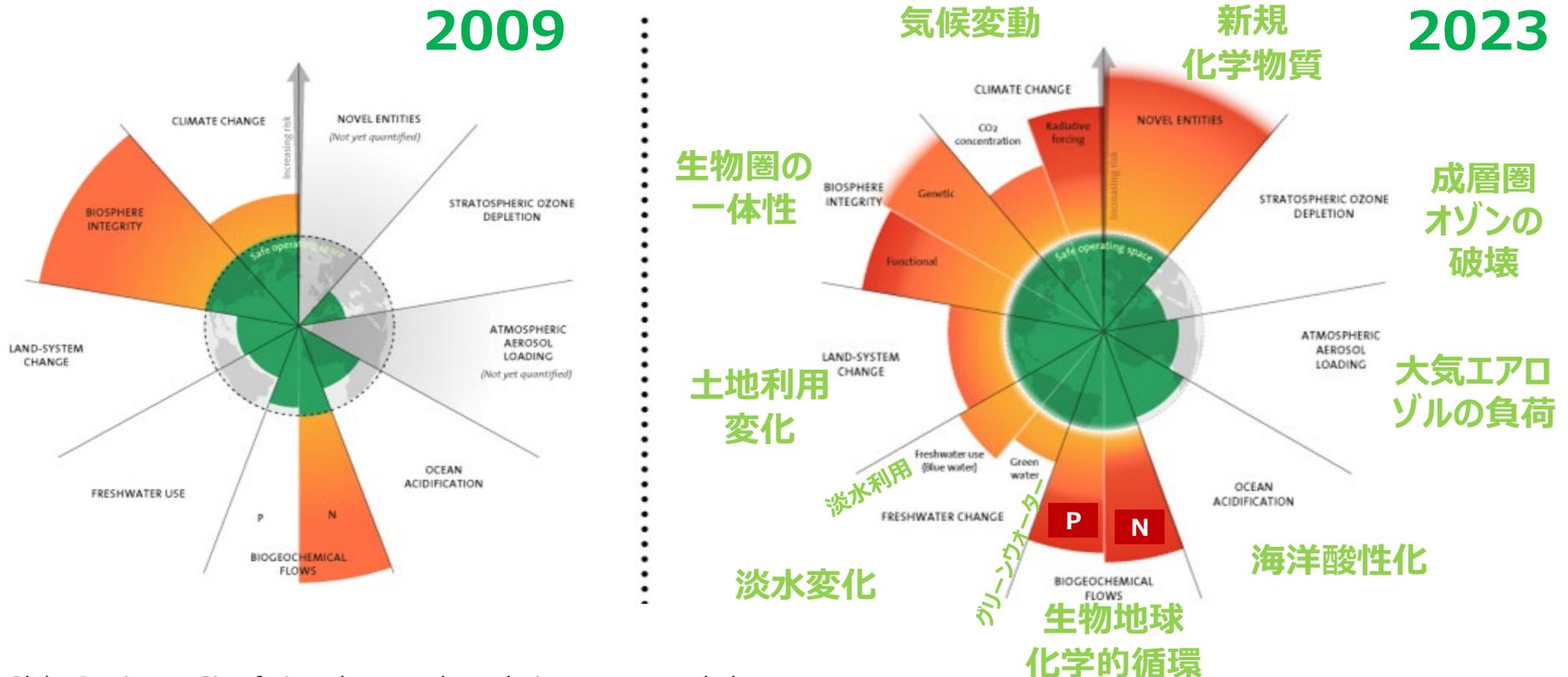
## Recent and future change of four key indicators of the climate system

Atmospheric temperature, ocean heat content, Arctic summer sea ice, and land precipitation



# 地球温暖化が進むとどうなってしまうのか？

- ✓ **プラネタリーバウンダリー**：人の活動が地球に与える影響は「限界値」を大きく超過
- ✓ 地球の限界は、私たちの生活を取り巻く環境や生態系に複雑かつ多様な影響を与え、17個のSDGsすべてに関連
- ✓ 生活や産業に普遍的に必要な「水」・「エネルギー」利用による地球への影響を**ネガティブ**から**ポジティブ**に変えることが、**地球再生**に向けた一つの解



出典：Globe Institute：Six of nine planetary boundaries now exceeded.

# 温室効果ガスの排出量と吸収量

森林や海はCO<sub>2</sub>を吸収するが...

森林・土壌での  
CO<sub>2</sub>吸収量 (年)  
**84億トン**  
(総排出量の20.7%)

人類活動による  
年間CO<sub>2</sub>排出量  
**406億トン**  
(2023年)

大気増加するCO<sub>2</sub>量 (年)

**216億トン** (総排出量の53.2%)

海洋での  
CO<sub>2</sub>吸収量 (年)  
**106億トン**  
(総排出量の26.1%)

人類が排出したCO<sub>2</sub>の半分以上は大気に残り続ける

A background image featuring a large, clear water droplet falling from the top center, surrounded by smaller droplets and splashes. The water is rendered with high detail, showing reflections and refractions. The overall color palette is light blue and white, with a soft gradient background.

## 2. ゼロカーボンと水素エネルギー ～水素の地産地消を進める意義～

# 温室効果ガスの排出量を減らすには？

IPCC第6次報告書では、地表面の気温上昇を工業化以前水準比1.5～2.0℃以下に抑えることを目標としている

求められる取り組み例



エネルギーシステムの転換が最重要の取り組みとなる

日本のグリーンエネルギー（再生可能エネルギー）の普及率・・・**20.3%**

➔ 2040年にはグリーンエネルギーを **全電源の40～50%** とすることが目標

主要なエネルギー代替手段



グリーンエネルギーは  
安定供給が課題



多様なグリーンエネ  
ルギーを組み合わせ  
て安定供給を実現

## 電源だけでは代替の難しい分野（難脱炭素分野）

鉄鋼の還元、化学原料の合成（プラスチック・肥料等）、長距離/重量輸送、熱源、船舶・航空機の代替燃料、エネルギーの長期貯蔵（発電・非常用電源等）



**難脱炭素分野でのエネ代替には水素の活用が現実的**

# 水素は化石燃料の代わりになれるのか？

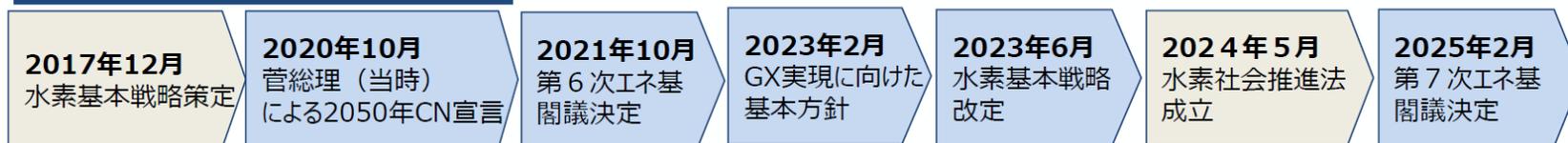
指標	水素	化石燃料 (例：ガソリン)	備考
発熱量 (質量基準)	◎ 約120 MJ/kg	○ 約44 MJ/kg	高いポテンシャル
発熱量 (体積基準)	× 約8 MJ/L (液体H <sub>2</sub> )	◎ 約32 MJ/L	水素の貯蔵・供給には圧縮等が必要
燃焼CO <sub>2</sub> 排出	◎ 0 g-CO <sub>2</sub> /MJ	× 約74 g-CO <sub>2</sub> /MJ	利用時ゼロ排出
供給コスト (2025年時点)	× 高 (約30～50円/Nm <sup>3</sup> )	◎ 安 (約10円/Nm <sup>3</sup> 相当)	政策的支援が前提
エネルギー変換効率	△ 20～35% (製造～利用)	◎ 70～90%	水分解水素の場合
脱炭素ポテンシャル	◎ (グリーン水素)	×	低コストな製造方法が鍵

代替可能性は十分あるが、製造方法や供給コストに課題がある  
 → 水素の製造・供給方法の改善が必要

## 「水素社会推進法」の成立等について

- 日本は世界で初めての水素に関する国家戦略（水素基本戦略）を2017年12月に策定。EU、ドイツ、オランダなど25カ国以上が水素の国家戦略を策定し、水素戦略策定の動きが加速化、水素関連の取組を強化。
- 2023年、6年ぶりに水素基本戦略を改定。技術の確立を主としたものから、商用段階を見据え、産業戦略と保安戦略を新たに位置づけた。
- **2024年、水素社会推進法が成立。低炭素水素等の導入拡大に向けた規制・支援一体的な制度を講じていくことに。**

### 水素等を巡るこれまでの流れ



### 導入量及びコストの目標

□ 年間導入量：発電・産業・運輸などの分野で幅広く利用

現在（約200万t） → 2030年（最大300万t）※ → 2040年（1200万t程度）※ → 2050年（2000万t程度）

※水素以外にも直接燃焼を行うアンモニア等の導入量（水素換算）も含む数字。

□ コスト：長期的には化石燃料と同等程度の水準を実現

2030年（30円/Nm<sup>3</sup>\*） → 2050年（20円/Nm<sup>3</sup>以下）

(334円/kg) (222円/kg)

※ 1Nm<sup>3</sup>≒0.09kgで換算。

※ Nm<sup>3</sup>(ノルマルリューベ)：大気圧、0℃の時の体積のこと

2023年11月のLNG価格とのパリティ：21.6円/Nm<sup>3</sup>-H<sub>2</sub>  
 2022年平均LNG価格とのパリティ：27.7円/Nm<sup>3</sup>-H<sub>2</sub>  
 2022年9月（ウクライナ侵攻後最高値）：38.4円/Nm<sup>3</sup>-H<sub>2</sub>

### 第6次エネルギー基本計画での水素・アンモニアの位置づけ

**2030年の電源構成のうち、1%程度を水素・アンモニアとすることを目指す。**

# 水素社会実現に向けた世界各国の動き

## 米国の動向

- トランプ大統領就任後、米国内のエネルギーを解放し、**世界中にシェールガスを輸出する方針**。米国内水素ハブへの資金拠出は一時停止され、**米国内のクリーンエネルギー普及の動きは失速**。
- 一方、**水素を名指しした批判はない**ことから、水素・アンモニア政策への影響は限定的との見方も。
- 2025年7月4日に、**IRA（インフレ抑制法）改正案が成立**。**CCS等の税額控除は引き続き継続**しており、**ブルー水素・アンモニアへの影響は僅少**。また、**水素の生産税額控除も2027年末までに建設開始すれば適用可能など、グリーン水素・アンモニアへの影響も限定的な見込み**。

### 国家エネルギー緊急事態宣言

- 米国の未利用のエネルギー源は、**同盟国やパートナー国との関係を強化し、国際的な平和と安全を支える**。
- 米国の不十分なエネルギー生産・輸送・精製・発電は、米国の経済、国家安保、外交政策にとって異常で並外れた脅威。**石油や天然ガスの増産**を通じてエネルギー価格を引き下げ、物価上昇を抑える。

### アメリカのエネルギーを解き放つ

- **天然ガス輸出プロジェクトの承認申請の審査再開**をエネルギー庁長官に指示。
- グリーン・ニュー・ディールは終了。全省庁はEVまたはそれに限らず**IRA（インフレ抑制法）による資金配分をレビュー期間で一時停止**。補助金やローン等を発効するための政策やプロセス等をレビューし90日以内に報告。



### アラスカの並外れた資源ポテンシャルを解き放つ

- **アラスカのLNG潜在能力の開発を優先**し、アラスカLNGプロジェクトに関連するすべての必要なパイプラインおよび輸出インフラの許可を含め、開発に伴う経済的利益および国家安全保障上の利益に十分に配慮。

## 中国の動向

- 世界の水素需要の約3割（2024年の生産・消費規模3,650万トン超え）を占める、現時点で世界最大の水素消費国※。
- トラック・バスを中心に燃料電池自動車の販売台数が急増。10年間で累積約9千台の日本に対し、韓国のペース（年間3千台）も大幅に超えて、中国は2年間で1万台を超える増加ペース。
- グリーン水素・グリーンアンモニアの大規模製造プロジェクトでは、既に稼働を開始済のものあり、急激な勢いで社会実装が進行中。

※IEA「Global Hydrogen Review 2024」及び中国 国家能源局「中国水素エネルギー発展報告（2025）」より

### 中国石油化工集団（SINOPEC）：新疆クチャ・グリーン水素実証プロジェクト

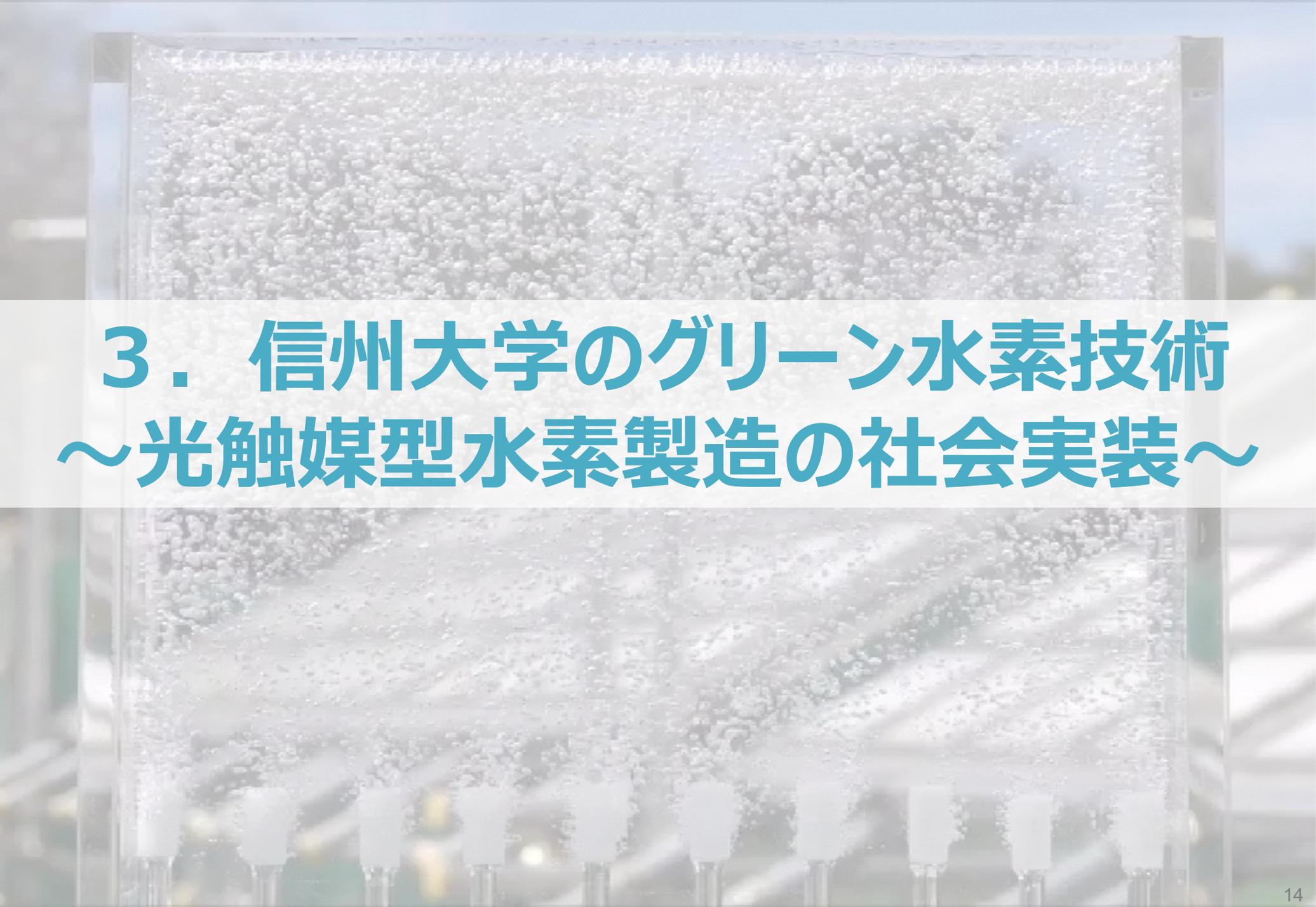
- 2023年7月、新疆ウイグル自治区クチャ（庫車）市でグリーン水素実証プロジェクトが水素製造を開始。太陽光発電、送電・変電、水電解による水素製造、水素貯蔵、水素輸送の関連施設を備えている。
- 水素製造能力は年間2万トン、水素貯蔵能力は21万m<sup>3</sup>、水素輸送能力は2万8000Nm<sup>3</sup>/h。
- 製造された水素は、Sinopec's Tahe Refining & Chemicalに供給される。



### 国家電力投資集団（SPIC）：吉林大安・グリーンアンモニア製造プロジェクト

- 世界最大規模のグリーン水素・グリーンアンモニアプロジェクト。合計800MWの太陽光・風力発電に、PEM型・アルカリ型水素製造装置を組み合わせ、年間3万2000トンのグリーン水素、年間18万トンのグリーンアンモニア製造を目標。
- 2022年10月にプロジェクト開始。総投資額は63億3,200万元（約1,267億円）。完成予定は2024年末（完成有無について公表情報なし）。





# 3. 信州大学のグリーン水素技術 ～光触媒型水素製造の社会実装～

我が国のエネルギー供給網は、主として沿岸部からの輸送に依存



燃料価格の高騰



災害等による  
エネルギー供給網  
の寸断



大容量の  
エネルギー貯蔵  
が困難

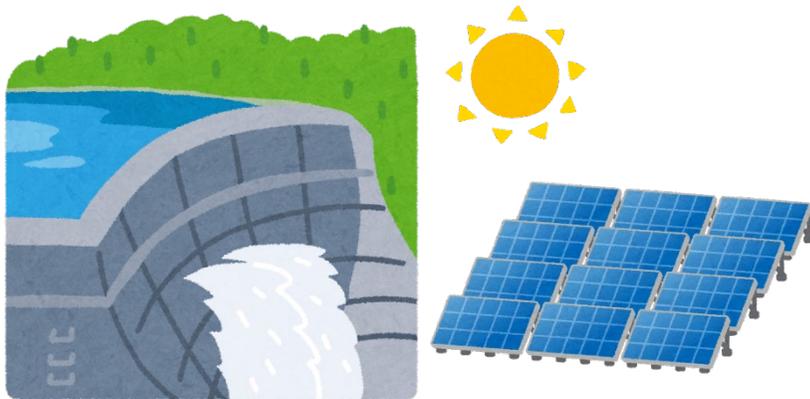
**長野県などの内陸部・山間部は特にハイリスク！**

内陸部でも安定的に生産でき、エネルギー密度も高いエネルギー源は…？



**オンサイト生産可能な水素エネルギーに注目**

## ①内陸部で自給自足が可能



## ②燃焼してもCO<sub>2</sub>排出ゼロ



燃焼時の排出物は基本的に水のみ

## ③エネルギーの貯蔵が可能



## ④長野県内でも多くの水素活用ポテンシャルを有する

毎年  
**148,000t**

- ・熱源代替
- ・燃料電池
- ・夜間電力
- ・FCV etc.

出典：長野県水素利活用検討PT中間とりまとめ資料

# 内陸部での地産地消エネルギーとして有望

# 未来のエネルギー供給のかたち「地産地消」

地域でできたエネルギーを地域で使う「地産地消」を目指すべき  
 ➡ エネルギー輸送で不利となる内陸部ではメリットが大きい

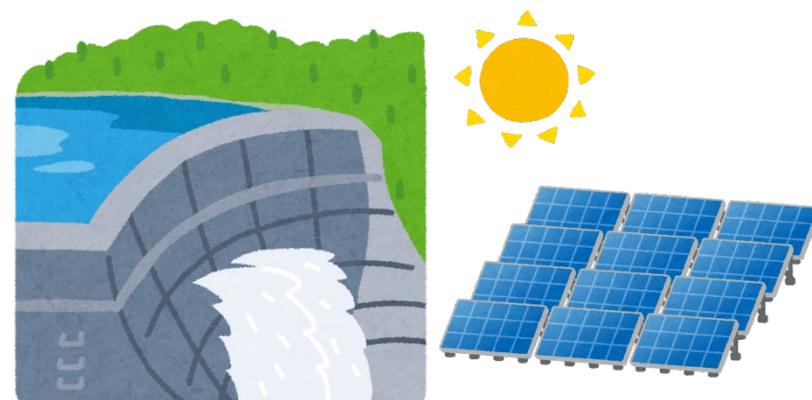
## 多様な再生可能エネルギーを組み合わせたグリーンエネルギー供給ネットワーク



太陽光と水からつくる  
グリーン水素



既存法で製造された  
水電解グリーン水素



これまでに構築された  
グリーンエネルギー供給網

環境影響評価

エネルギーミックス

地域で生み出されたエネルギーを無駄なく使い、  
エネルギー製造・供給コストを地域内で賄えるモデルづくり

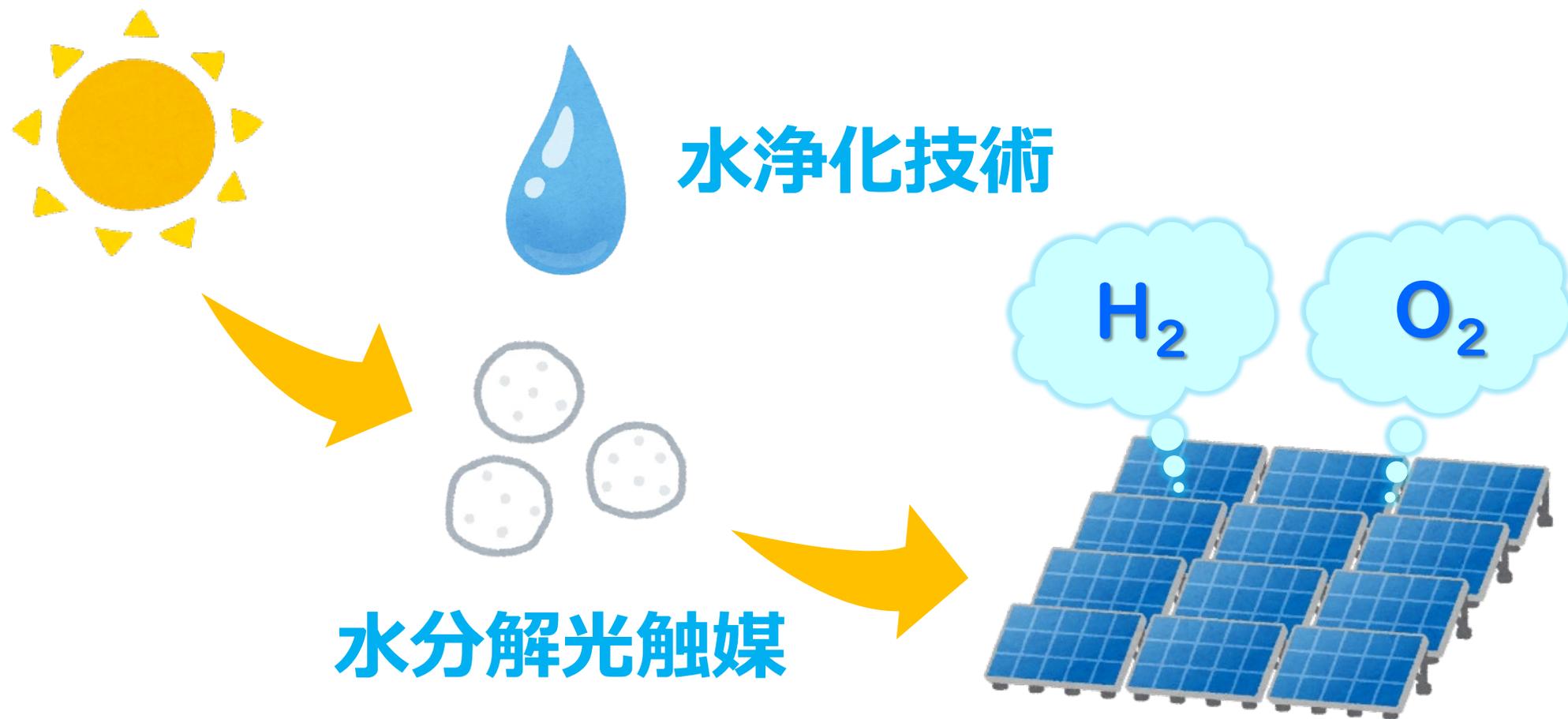
	製造方法・原料	製造コスト
ブラック水素 グレー水素	石油・石炭・天然ガス等を燃焼させて 得た水蒸気を改質して製造	USD 0.8-5.7/kg
ブルー水素	水素製造過程で生じたCO <sub>2</sub> を 貯留あるいは利用	USD 1.0-7.0/kg
ターコイズ水素	メタンを熱触媒やプラズマ等により 熱分解して製造	USD 2.4-3.2/kg*
グリーン水素	再生可能エネルギー等で 水を電気分解して製造	USD 4.0-12.0/kg

IEA Global Hydrogen Review 2024, \* Mizuho Short Industry Focus Vol. 219, 2023

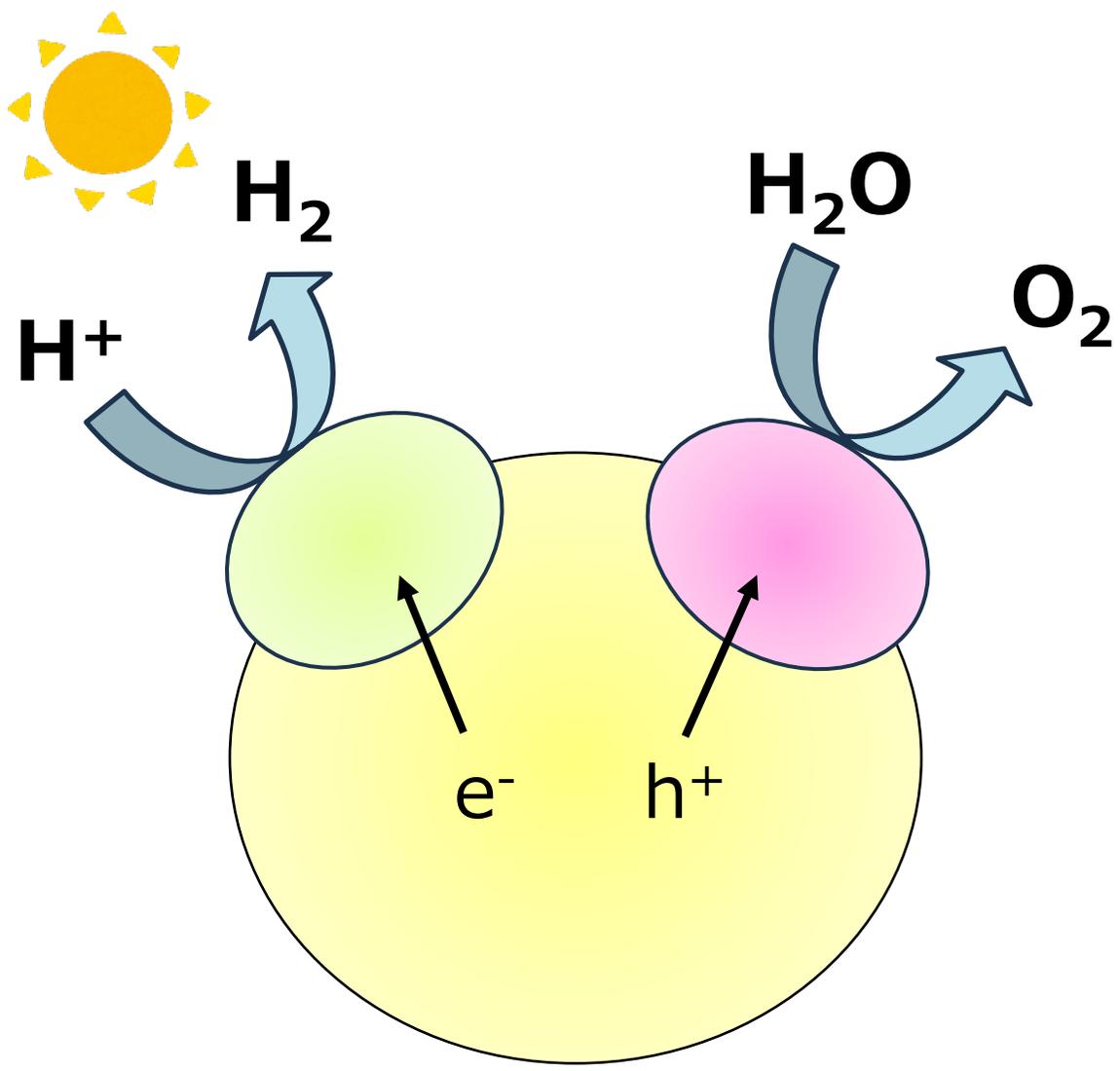
内陸部でオンサイト製造が可能な水素はグリーン水素

**グリーン水素の低コスト製造技術を確立する必要がある**

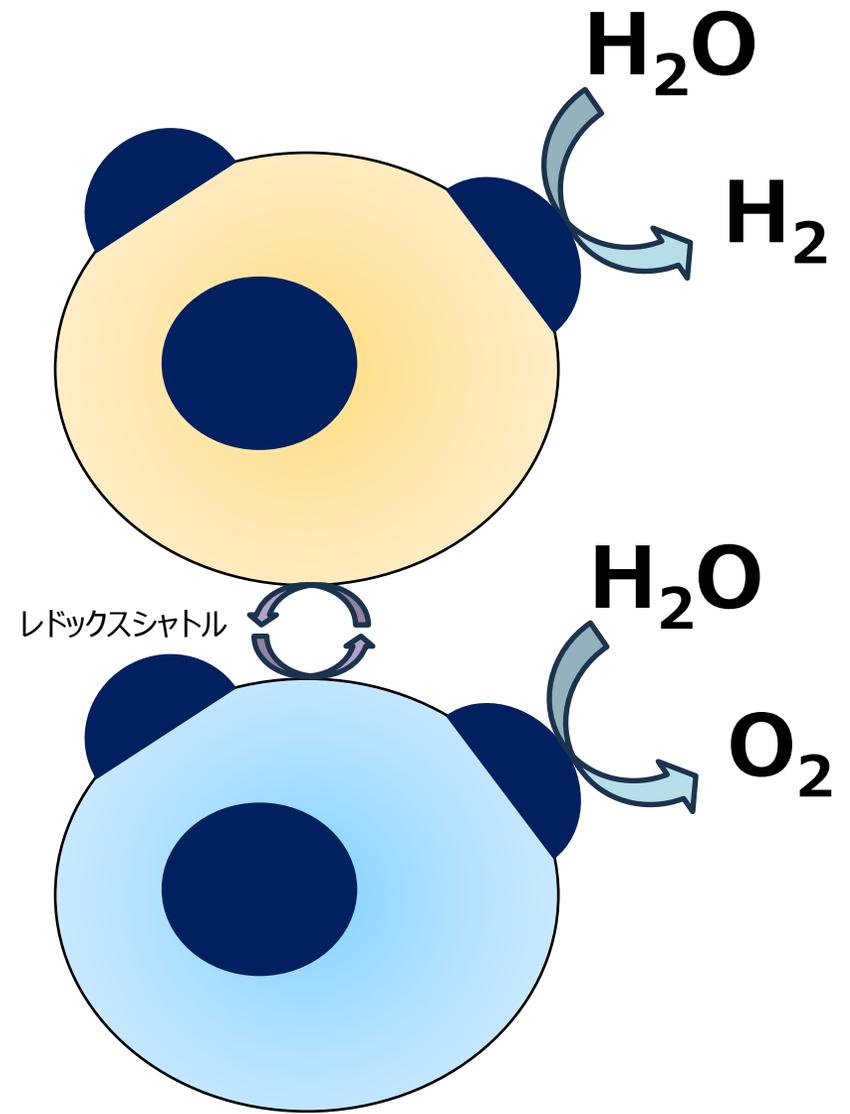
# 光触媒によって水を直接分解し、水素と酸素を得る



極めて低コストにオンサイト型水素製造が可能



一段階式触媒



二段階式触媒

(Z-スキーム)





# クラリベイト引用栄誉賞の受賞

## 信州大の堂免氏らに英社論文引用賞、ノーベル賞の登竜門

サイエンス [+ フォローする](#)

2024年9月19日 18:35



クラリベイト引用栄誉賞を受賞した信州大学の堂免一成・特別特任教授<sup>◎</sup>（19日、東京都港区）

英調査会社クラリベイトは19日、論文の引用回数が多くノーベル賞級と評価した研究者を対象とする2024年の「クラリベイト引用栄誉賞」を発表した。信州大学の堂免一成・特別特任教授ら日本出身の2人を含む世界の計22人が選ばれた。堂免氏は太陽光のエネルギーを使って水から水素を直接製造できる光触媒システムを開発した。

日本経済新聞 2024年9月19日付

## ノーベル賞が有力視される研究者に信州大学の堂免一成氏を選出

09月30日 17時32分



論文が数多く引用され、ノーベル賞の受賞が有力視される研究者に信州大学の堂免一成特別特任教授が選ばれ30日の会見で喜びや意気込みを語りました。

イギリスの学術情報サービス会社は、世界の研究者が発表したおよそ6100万本の論文の引用回数

などを分析し、毎年、ノーベル賞の受賞が有力視される研究者に「クラリベイト引用栄誉賞」を贈っています。

ことしは6か国の研究機関から22人が選ばれ、10月発表されるノーベル化学賞の有力な候補者の1人として、信州大学の堂免一成氏が選ばれました。

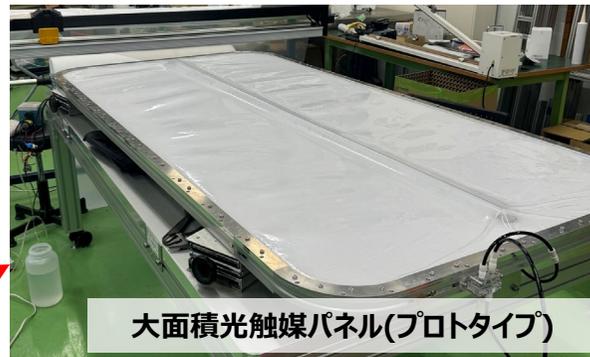
太陽の光を当てることで水を水素と酸素に分解する「光触媒」を使った「人工光合成」の研究で、水素を効率的に取り出す手法を開発したことが評価されています。堂免氏は2017年に信州大学の特別特任教授に就任し、飯田市などに「実証タウン」を設けて水素を大量に低価格で製造するための実験計画を主導しています。

30日の会見で堂免氏は、「受賞には驚いた。世界中にクリーンなエネルギーを十分供給できるようにするのが私の夢だが、早く次世代に任せられるように若い日本の研究者を育てたい」と話していました。

NHKニュースWEB 2024年9月30日付

## エス・バード（長野県飯田市座光寺）

Google Mapより引用



### 光触媒パネルの設置 (受光面積約3,000 m<sup>2</sup>)

AS舗装工事  
2025年10月末～12月末  
パネル試運転  
2026年初～2026年3月頃  
**大面積パネル設置**  
**2026年夏頃～2027年3月末**

※工期は変更の可能性あり

### 光触媒パネル開発研究室の設置 (2025年6月施工完了)

大面積光触媒パネルの改良  
リアクターの遠隔監視  
耐久性・安全性試験等の実施  
太陽光-水素変換効率の分析

### 実証実験に参画する本学研究者



信州大学  
ARG機構  
特別荣誉教授  
堂免 一成



信州大学  
ARG機構  
卓越教授  
久富 隆史

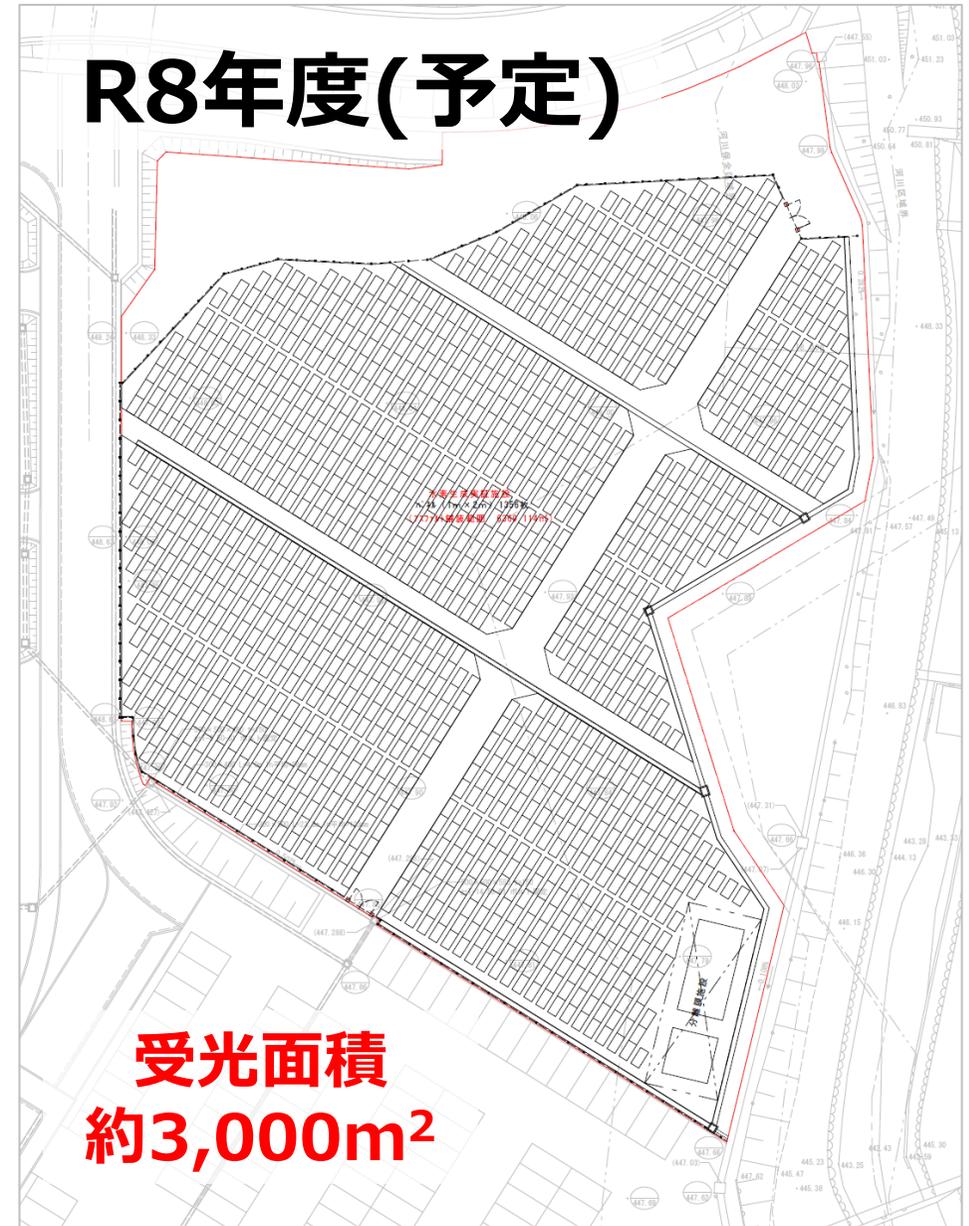
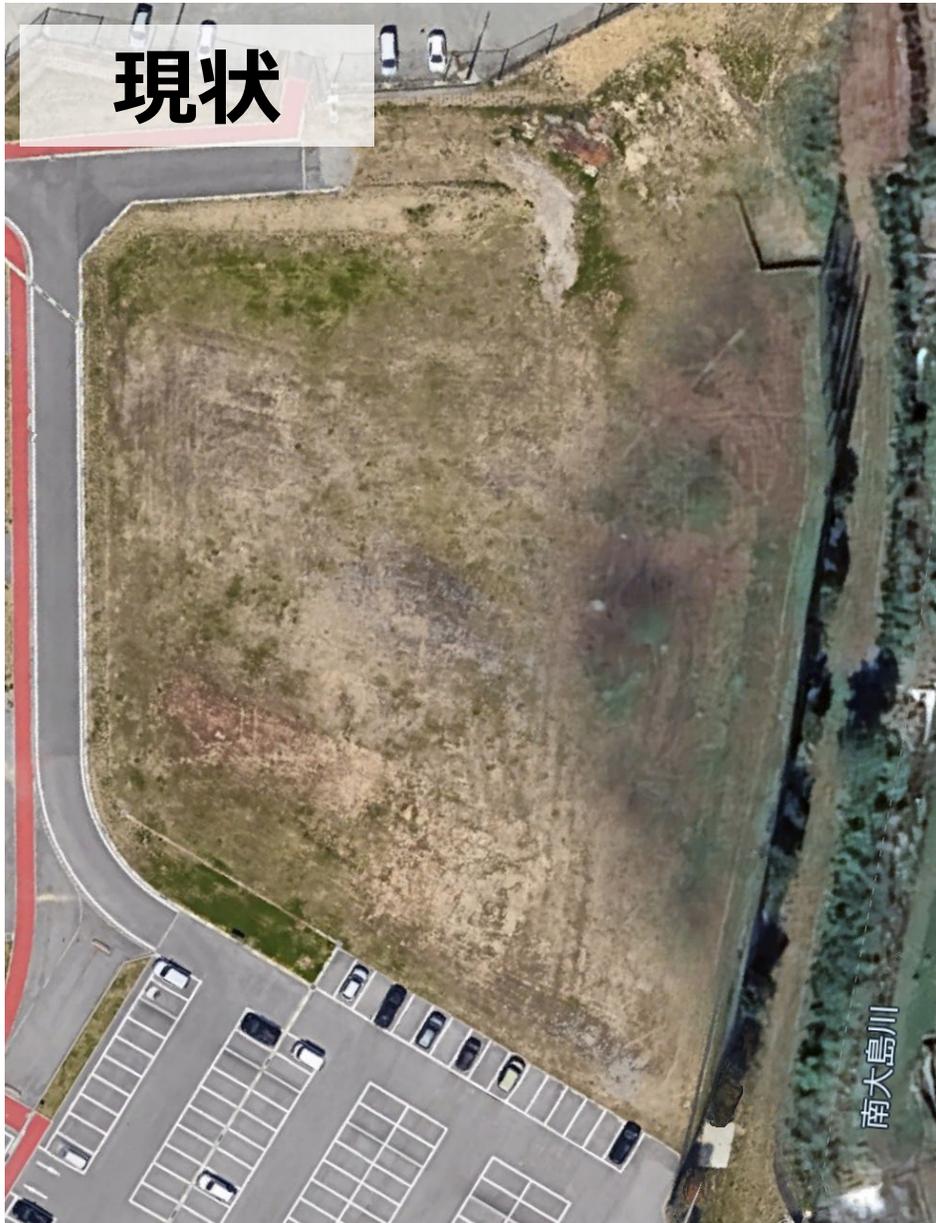


信州大学  
ARG機構  
教授  
西山 洋

ヘクター規模の  
パネル開発

内陸部における  
I-NetG<sup>®</sup>-製造実証

南信州地域  
産業等への波及





## 人工光合成の社会実装ロードマップ<sup>o</sup>（要素技術：②光触媒系）

**社会実装の対象技術**  
 > 個別技術ごとの社会実装時の性能目標値

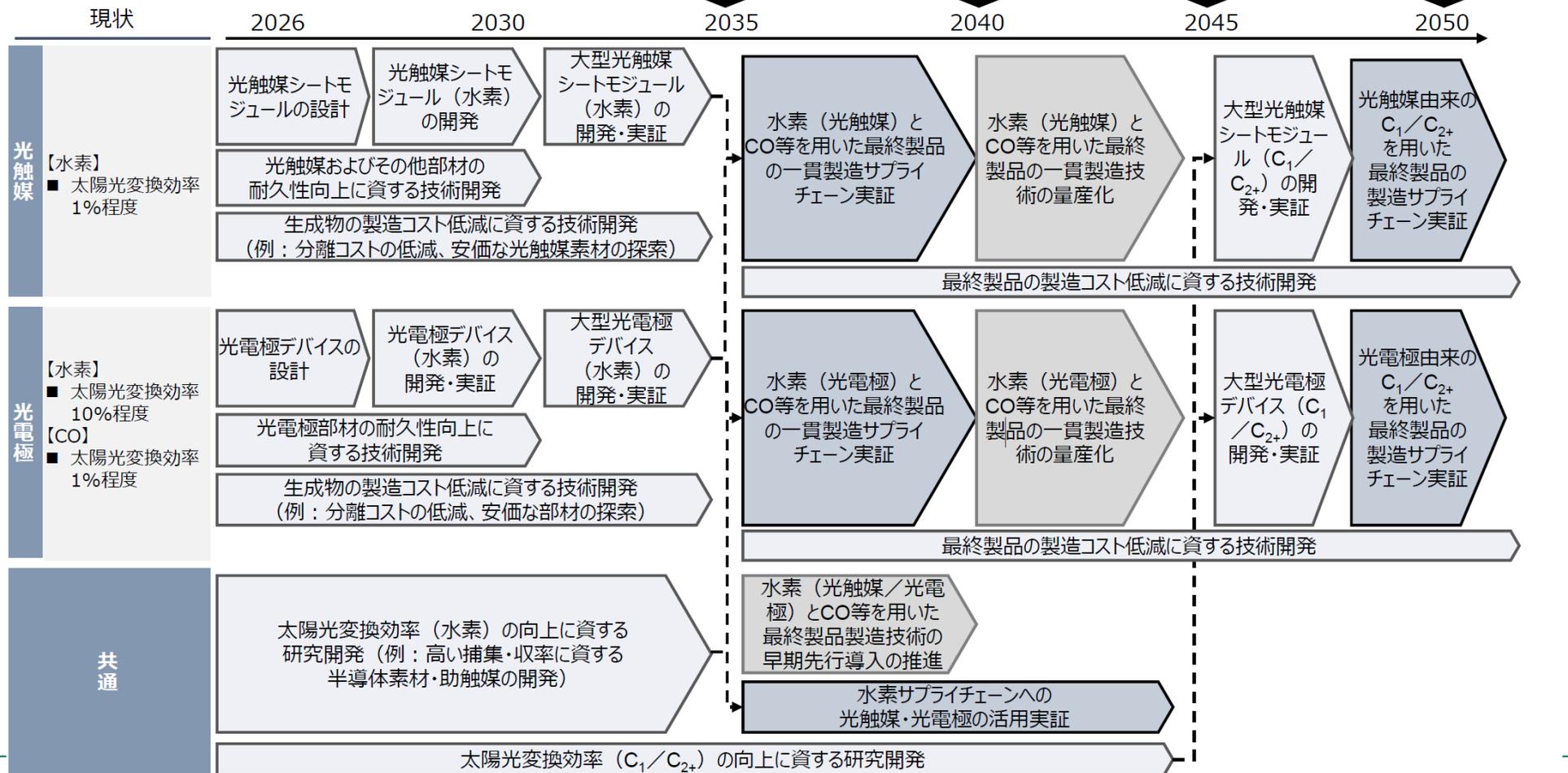
**光触媒**  
 > 太陽光変換効率10%（水素）

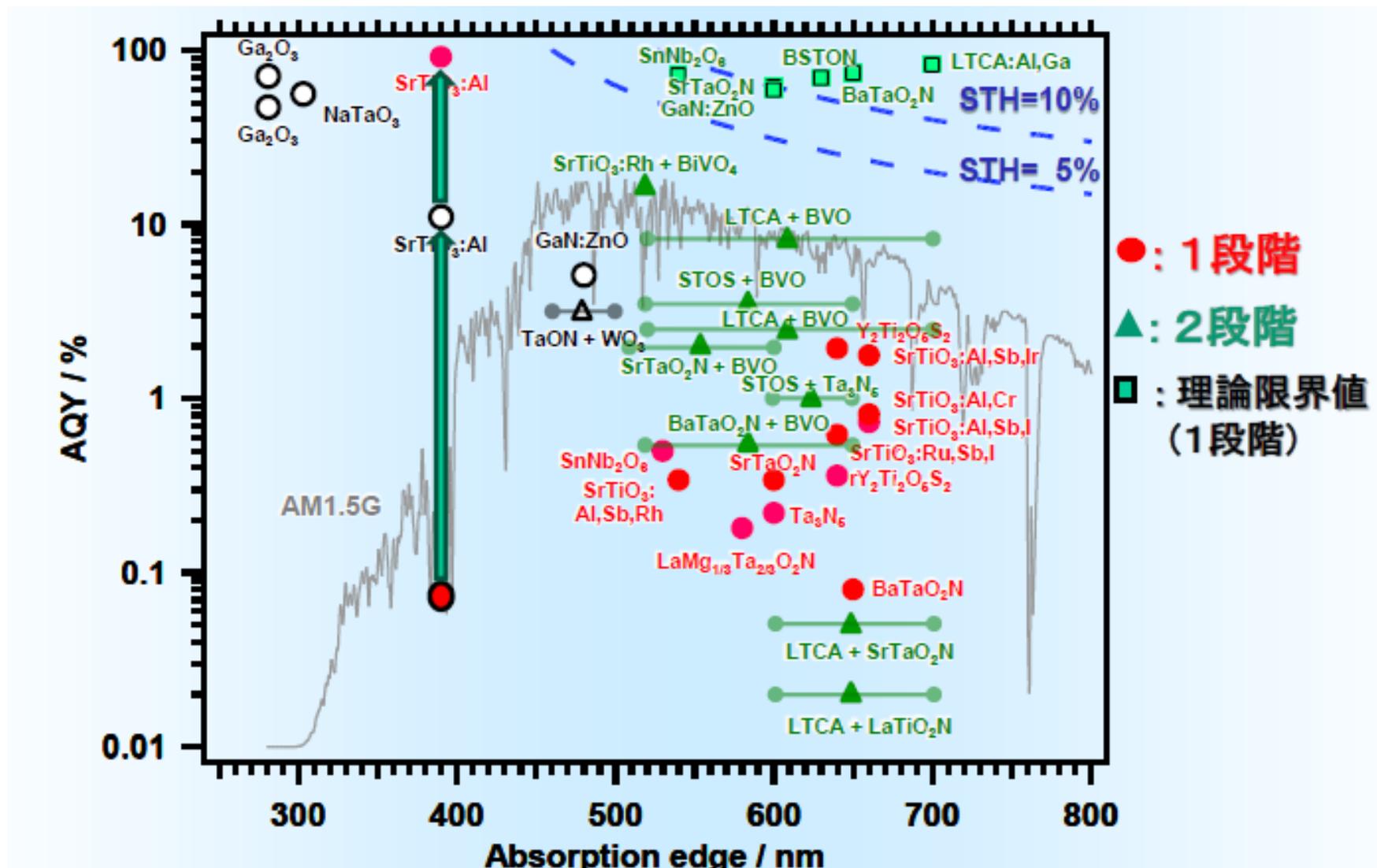
光触媒・光電極由来の水素とCO等による最終製品製造

光触媒・光電極によるC<sub>1</sub>/C<sub>2+</sub>の直接製造

光触媒・光電極由来のC<sub>1</sub>/C<sub>2+</sub>による最終製品製造

**光電極**  
 > 太陽光変換効率25%（水素）



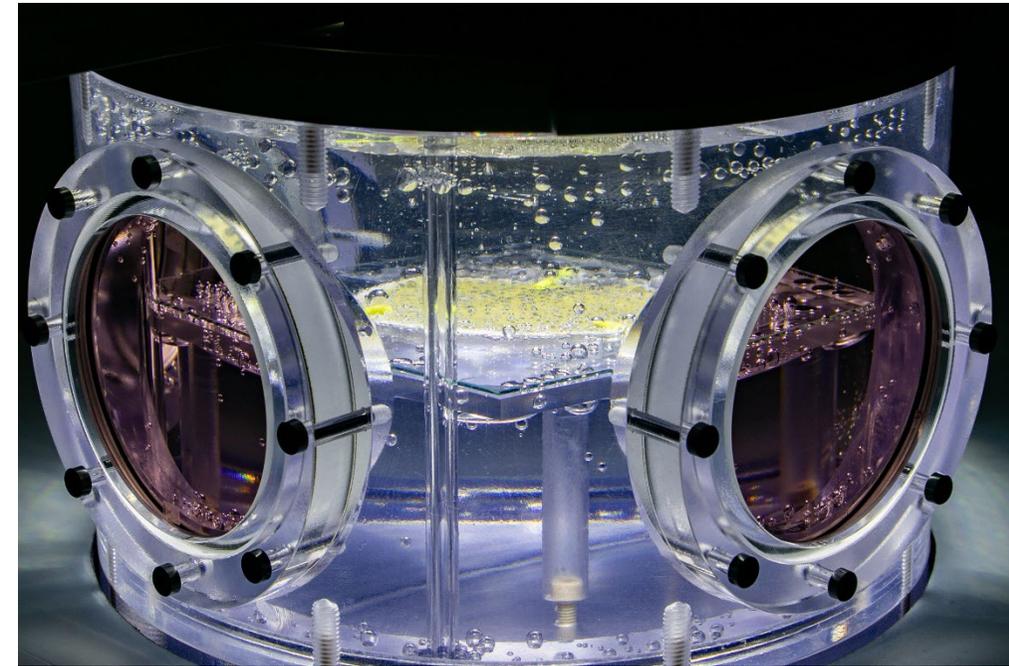


太陽光-水素変換効率 (STH) を今後数年で 1% → 5% へ!

## 紫外線応答型触媒 (STO:Al)



## 可視光応答型触媒 (STOS:BVO)



- ・粉末光触媒の高効率化（今後数年でSTH = 5%以上）
- ・世界最大級のソーラー水素発生実験 ➡ **エス・バードにて実施**
- ・光触媒パネルの性能試験、量産化開発 ➡ **エス・バードにて実施**



ソーラー水素



水電解水素  
+ 地域産グリーン電力

## 地域と協力して水素ステーションを設置し、南信州地域に水素を供給

### 次世代グリーンエネルギー

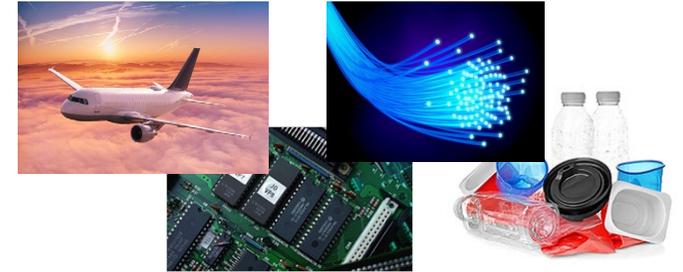


FCV・エネファーム・燃料電池等での利用  
(事業用・家庭向け代替エネルギー確保)



バイオエタノール×グリーン水素  
によるバイオプロパン製造

### グリーンなものづくり



金属材料加工・半導体/エレクトロニクス  
グリーンプラスチック材料 etc.

## 内陸部で自給自足できるエネルギー源の確保・供給モデル構築

# 水素があるとできること (難脱炭素分野の代替)

南信地域を新たなグリーン産業の中核拠点とし、  
地域から全国へと展開する事業モデルを創出



バイオマス資源



グリーン水素で駆動する  
農機等の開発拠点

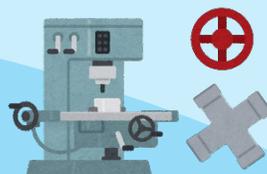


豊かな水・山林資源の活用

水素パネル・触媒大量生産拠点の設置  
(国内大手化学メーカー等の参入)



水素関連インフラ  
部材開発・供給  
(地域内中小企業、SU等)



工場等での熱源代替  
(製造業・食品メーカー等)



新たなバイオマス  
エネルギー作物栽培



バイオエタノール  
バイオプロパン



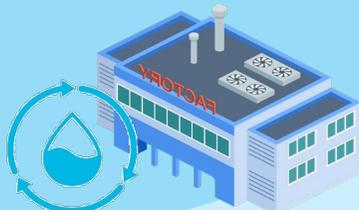
水素による肥料製造・  
排水からの肥料回収



水素航空機等の  
開発・実証



水・エネルギーの完全循環を  
実現する新規生産拠点の設置



水素・酸素を活用  
した陸上養殖



水素ステーション設置  
水素供給事業



モビリティのグリーン水素化



県外企業等の誘致・  
新産業の創出

地域産業等  
での活用

核となる取組

ソーラー水素パ 初設置



低コスト/高効率  
ガス分離技術



家庭での純水素型  
燃料電池の活用



H<sub>2</sub>

水素供給

### ものづくりのゼロカーボン化



### 住民生活での水素活用



### 地域農林業のエネルギー変革



### 水素を活かした地域おこし



- ほかにも…
- 水素専用部材の開発/供給
  - 水素と水循環技術による陸上養殖
  - バイオプロパン活用
  - 燃料コストの低減
  - etc.

グリーン水素産業振興やゼロカーボン推進で地域が豊かになるモデルを創造



**地域の自然環境・都市構造・住民生活等との調和**  
**最新の環境技術が当たり前が存在する『実証タウン』構築**

# アクア・リジェネレーションの理念・目標

水とエネルギーの無限循環・地産地消システムを開発し  
経済成長とサステナビリティが両立する**CN社会の実現**を目指す



みずから、はじめる。

From Water, From Myself.

地球は約40億年前に「水の惑星」として誕生

地球のはじまりは水、生命のはじまりも水

地球誕生から現在に至るまで、巡り続ける生命の根源・水

我々が使用している水は、はるか昔の人も使用していた同じ水

この先も地球・生命が巡り続けるために、深く考えたい、「みず」からはじめる

これこそ、信州大学が提案する循環型社会 “アクア・リジェネレーション”