

世界および日本の水素戦略

佐々木一成

九州大学 主幹教授・水素エネルギー国際研究センター長

(副学長、次世代燃料電池産学連携研究センター長、

カーボンニュートラル・エネルギー国際研究所、工学研究院教授)

(総合資源エネルギー調査会 水素・アンモニア政策小委員会委員長)

(email) sasaki@mech.kyushu-u.ac.jp (研究室HP) <http://www.mech.kyushu-u.ac.jp/~hup/index.html>

(水素センターHP) <http://h2.kyushu-u.ac.jp/>

エネルギー問題を考える会 講演

2024年11月13日



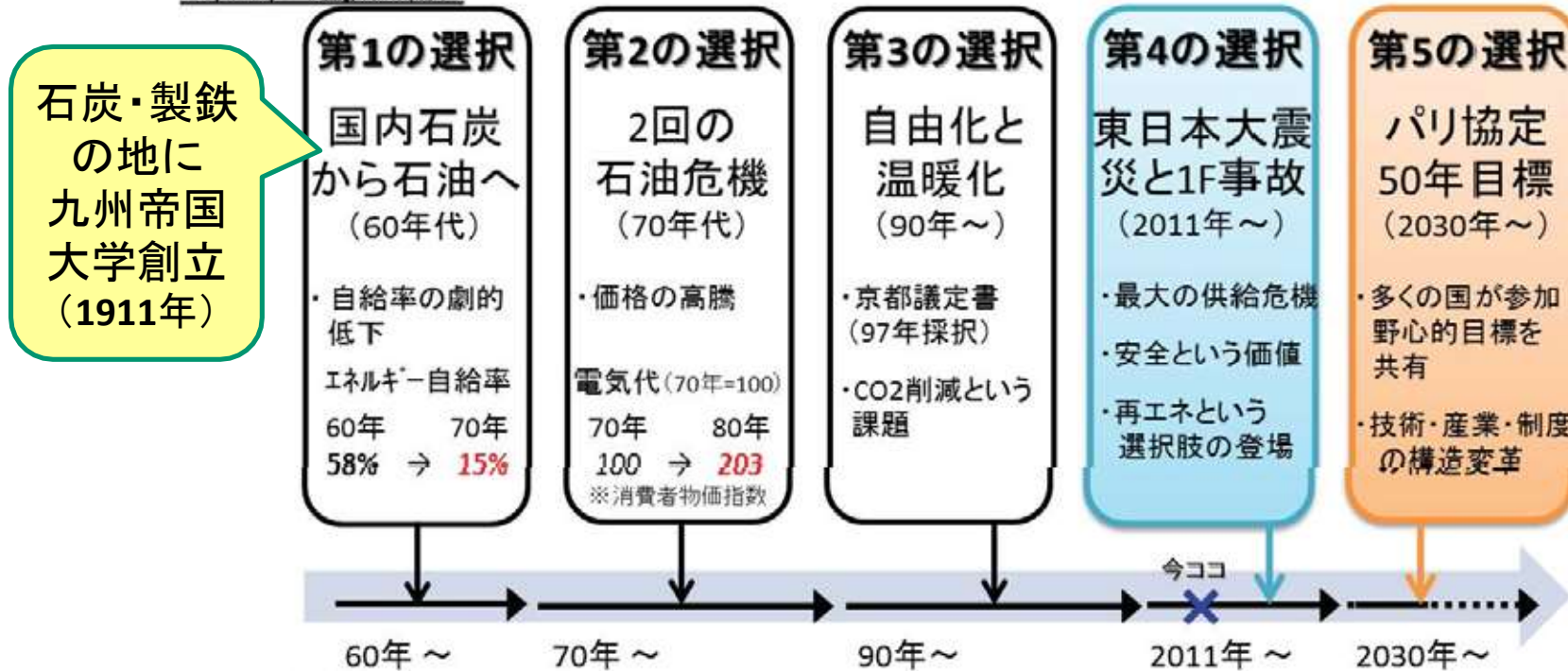
国内最大規模の“実証実験”キャンパス



脱炭素・水素社会実現へ世界と戦う“チーム福岡”

エネルギーのメガトレンド: 脱炭素へ

エネルギー選択の流れ



石炭・製鉄の地に九州帝国大学創立 (1911年)

エネルギー政策のメガトレンド



出典(一部加筆): 経済産業省HP http://www.meti.go.jp/committee/sankoushin/seizou/pdf/006_03_00.pdf

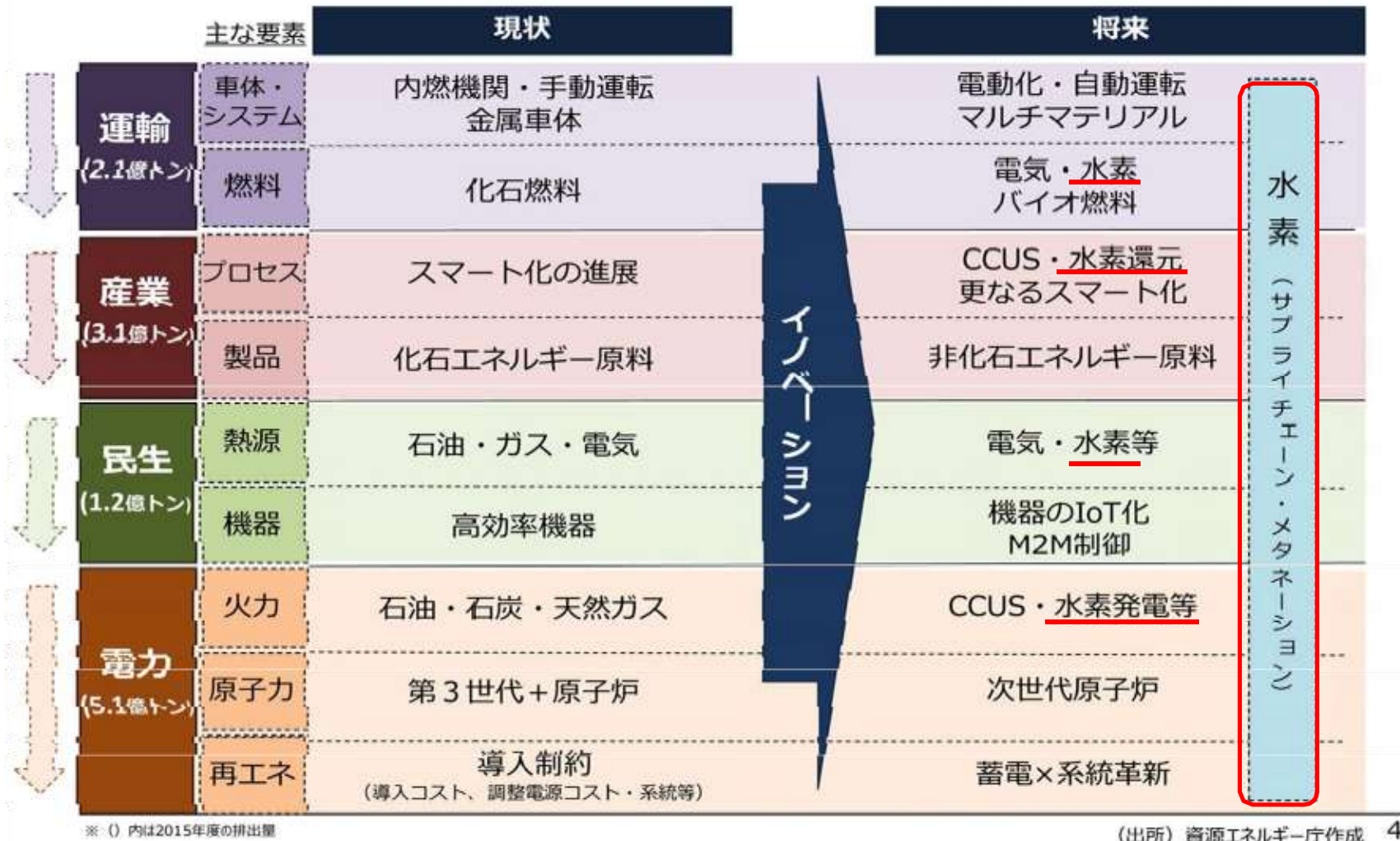
炭素:水素 = 石炭(固体) 石油(液体) 天然ガス(気体) 水素(気体)
1:0 1:2 1:4 1:∞

半世紀前(1969年)にLNG輸入開始

サプライチェーン構築開始

方向性: 脱炭素イノベーションと「水素」(2018年)

分野別CO2排出量と主な個別技術



(エネルギー情勢懇談会、**2018年**、経済産業省HP http://www.enecho.meti.go.jp/committee/studygroup/ene_situation/007/pdf/007_008.pdf)

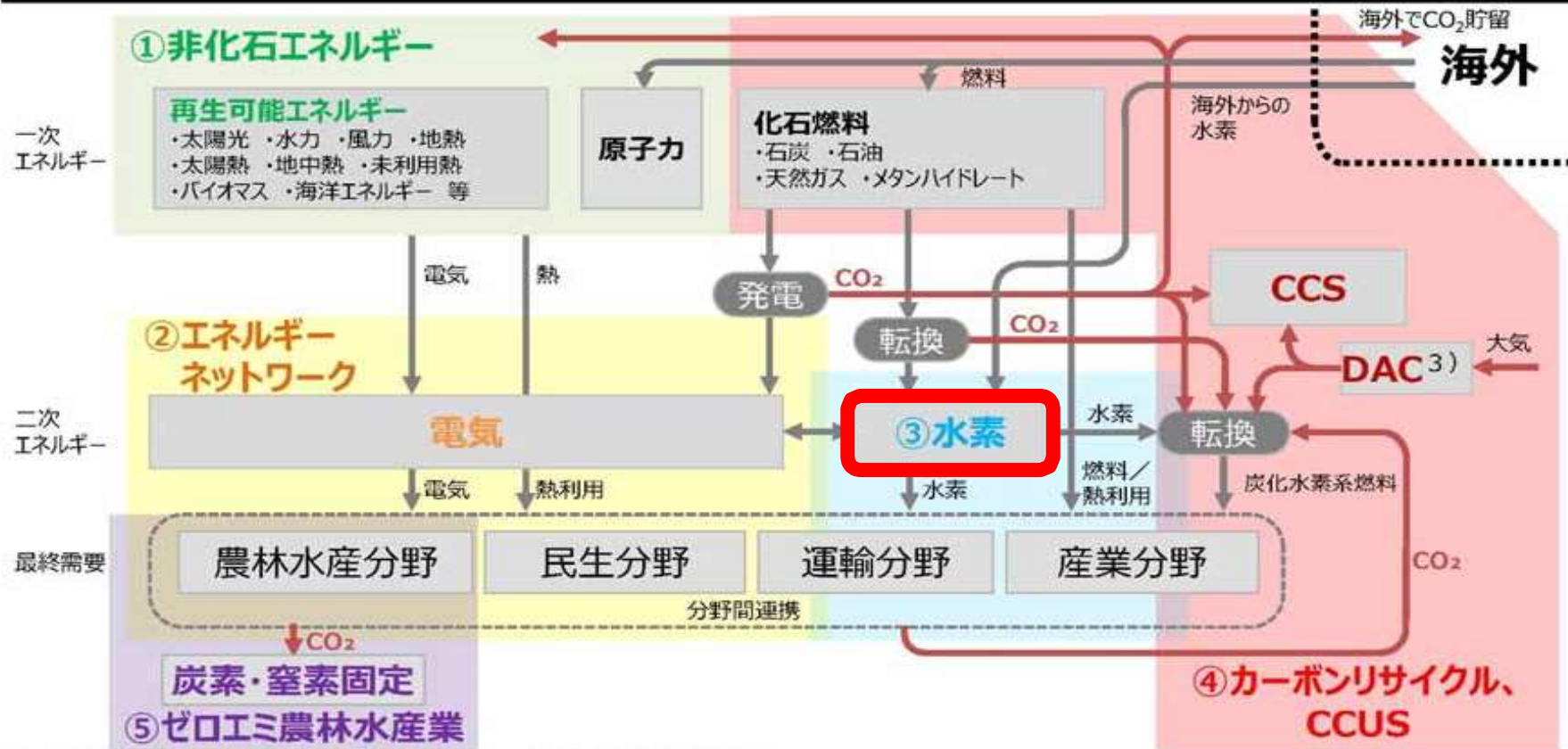
社会全体の脱炭素化へ: 電化+水素化

政策: 「水素」がカギ (革新的環境イノベーション戦略、2020年1月策定)⁴

イノベーション・アクションプランの重点領域

政府の司令塔: グリーンイノベーション戦略推進会議

技術領域で整理すると、①電力供給に加え、水素・カーボンサイクルを通じ全ての分野で貢献する非化石エネルギー、②再生可能エネルギー導入に不可欠な蓄電池を含むエネルギーネットワーク、③運輸、産業、発電など様々な分野で活用可能な水素、④CO₂の大幅削減に不可欠なカーボンサイクル、CCUS¹⁾、⑤世界GHG排出量の1/4²⁾を占める農林水産分野の5つが重点領域となる。



1) CCUS: Carbon Capture, Utilization and Storage (炭素の回収・利用・貯留)

2) 農業・林業・その他土地利用部門からのGHG排出量は世界の排出量の約1/4を占める (出典: IPCC AR5 第3作業部会報告書)

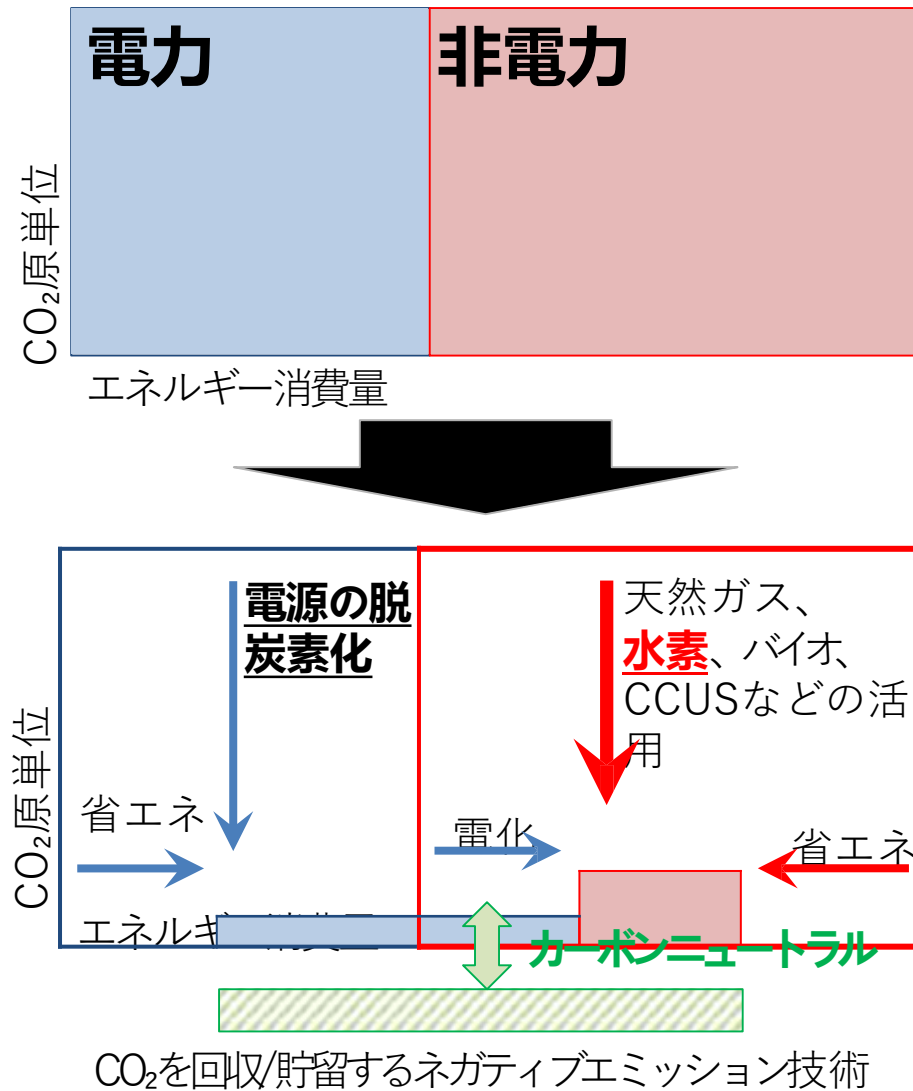
3) DAC: Direct Air Capture (大気からのCO₂分離)

<https://www.kantei.go.jp/jp/singi/tougou-innovation/pdf/kankyosenryaku2020.pdf>

「国内再エネ利用拡大 (左上)」「海外からの再エネ大量輸入 (右上)」「回収CO₂の燃料化 (右下)」
 に「水素」が不可欠: 脱炭素社会の電力+燃料+原料をまかなう化学的なエネルギー媒体

全体像:カーボンニュートラル (グリーンイノベーション戦略推進会議、2020年11月)

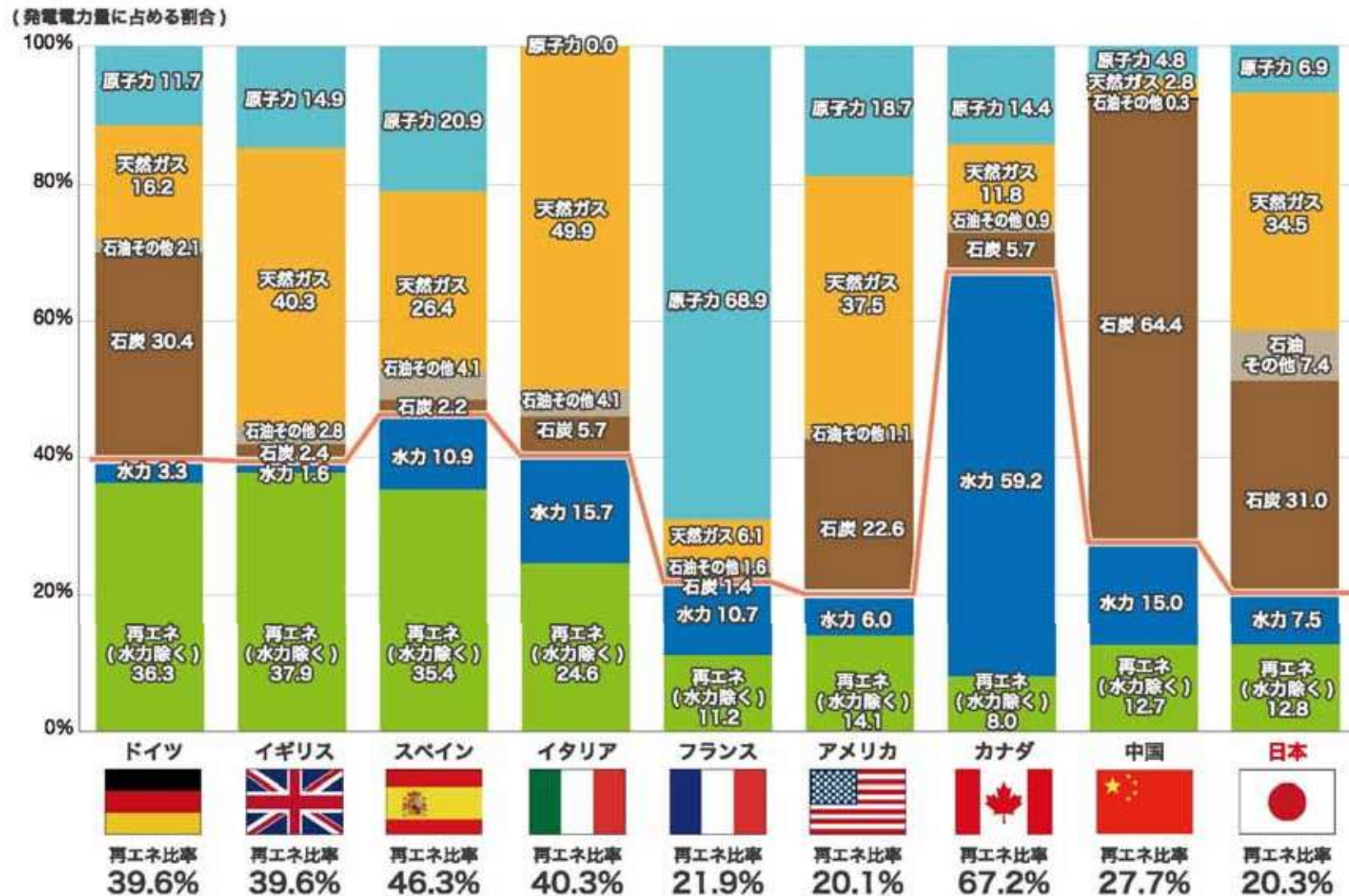
CO₂排出削減
の方向性



https://www.meti.go.jp/shingikai/energy_environment/green_innovation/pdf/gi_003_04_00.pdf

電力と非電力(燃料+原料)の両方の脱炭素化が必要

世界：主要国の電源構成



出典：IEA「Market Report Series - Renewables 2022 (各国 2021 年時点の発電量)」、IEA データベース、総合エネルギー統計 (2021 年度速報値) 等より資源エネルギー庁作成

日本のエネルギー2023(2024年2月発行) : https://www.enecho.meti.go.jp/about/pamphlet/pdf/energy_in_japan2023.pdf

再エネや原子力の比率は各国で大きな差あり。日本は、火力発電の割合が高め

世界：水素に係る海外動向（世界各国が投資急拡大）

世界各国における水素政策

欧州

- **REPowerEU（2022年3月）**
2030年より前に露の化石燃料脱却
域内製造1000万トン、輸入1000万トンを供給できる体制を目指す
- **IPCEI（2022年7月、9月）**
①官民で総額140億ユーロ超（約2.03兆円）の投資
②官民で総額120億ユーロ超（約1.74兆円）の投資
- **炭素国境調整メカニズム（CBAM）（2022年12月）**
欧州委員会（EC）は、初期的な炭素国境調整メカニズム（CBAM）の対象として、水素（アンモニア）をCBAMに追加することで合意
- **グリーンディール産業計画（2023年2月）**
欧州委員会（EC）は、グリーン水素の製造を支援するための競争的入札を2023年秋に実施予定。10年間にわたり、製造した再生可能水素1kgあたり固定されたプレミアムを補助として受け取る。今後の支援額400億ユーロ程度を想定（約5兆6千億円）。

ドイツ

- **国家水素戦略（2020年6月）**
2030年までに5GW（230万トン/年）の水素製造能力、2040年までに追加で5GW（230万トン/年）規模の水素製造能力を目指す。
- **H2Global導入（2021年6月）**
固定価格買い取り・販売制度（H2Global）を導入。初回入札を2022年12月より指導。9億ユーロ（約1,200億円）を確保しており、2036年までに補填に必要となる35億ユーロ（約4,655億円）を確保する予定。また、水素派生製品の実際の欧州・ドイツへの輸入は2024年末から始まる見込み。

米国

- **水素ショット（2022年6～9月）**
10年以内に、水素製造コストを1ドル/kg以下を目指す。水素源、最終用途、地理的な多様性を目標に、6～10の地域水素ハブに予算総額60～70億ドルで公募を実施。
- **インフレ抑制法「IRA」（2022年8月）**
グリーン水素製造に対する10年間の税額控除。最大3ドル/kgの控除を実施。
- **超党派インフラ投資雇用法（2022年11月）**
グリーン水素関連プロジェクトに対し、5年間で95億ドル（約1.34兆円）を投資

英国

- **Low Carbon Hydrogen Business Model（2022年XX月）**
2030年までに低炭素水素製造能力を10GW（約20万トン/年）確保。国内水電解事業とブルー案件を支援し、国内水電解で5GW（約10万トン/年）以上を目指す。2ラウンドを2022年、2023年実施予定。その先は予算、法律、賦課金の手段を検討。25年末までに運転開始の案件を選択予定。

インド

- **水素推進政策（2022年2月）**
グリーン水素・アンモニア用の再エネの優遇策を発表。
- **国家水素グリーンミッション（2023年1月）**
グリーン水素移行への戦略的介入プログラムとして、水電解装置の国産化とグリーン水素製造について、それぞれ異なる財政インセンティブを提供予定。

産業構造審議会グリーンイノベーションプロジェクト部会資料（2023年2月13日）資料：

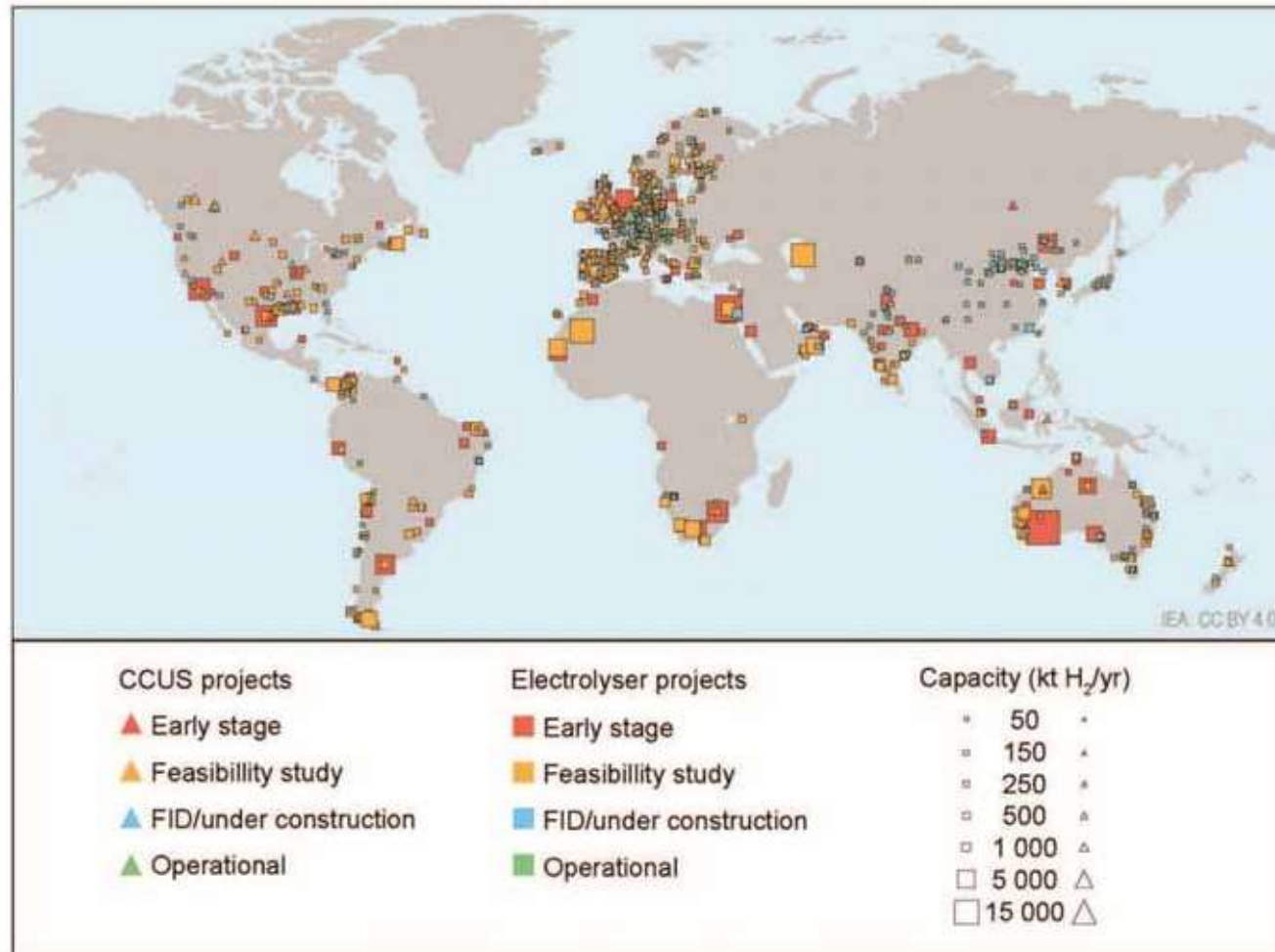
https://www.meti.go.jp/shingikai/sankoshin/green_innovation/energy_structure/pdf/014_04_00.pdf

各国が「水素」を成長産業に位置づけ、民の投資を引き出す官の投資競争が世界的に激化

世界の水素プロジェクト (IEA集計)

Source: *Global Hydrogen Review 2023*, IEA, (2023).

Figure ES.1 Map of announced low-emission hydrogen production projects



低炭素水素の製造は2030年に向けて増えると予想されるが、
本格投資決定に向けては高コストなどの課題あり

水素：使って出るのは水だけ（炭素循環⇒水素循環）！

燃料電池：“燃やさない”直接変換で高効率発電！

熱エネルギー変換（燃焼）

（化学エネルギー⇒**熱**⇒運動⇒電気）

内燃機関（**集中型**）：**量的**なCO₂排出減



ニューコメンの熱機関
（Newcomen, 1712）
【当時の効率約1%】



ガソリンエンジン
（Otto cycle, 1876）
【実運転で十数%、
最近は効率アップ、
水素エンジンも】



蒸気タービン【ガスタービン、複合発電、
水素タービンへ】（Rankin cycle, 1854）
（日本機械学会編「熱力学」より引用）



電気化学エネルギー変換

（化学エネルギー⇒電気）

燃料電池（**分散型**）：**質的**なCO₂排出減



エネファーム
（九大伊都に7台設置）
【家庭で発電効率50%
総合効率約90%超】



燃料電池車
（トヨタ製、九大所有、
世界初の大学公用車）
【車両効率約65%】

燃料電池

水素

を介して
燃やさず
に発電！



業務産業用・発電用燃料電池
（三菱日立パワーシステムズ製、九大伊都設置）
【将来、天然ガスで発電効率約70%へ】

多様な水素利用技術

水素モビリティ

(トヨタ・ホンダ@九大伊都)



家庭用燃料電池

(パナソニック・アイシン・京セラ@九大伊都)



産業用分散電源

(三菱重工@九大伊都)



水素商用車

(いすゞ@スマートエネルギーウィーク)



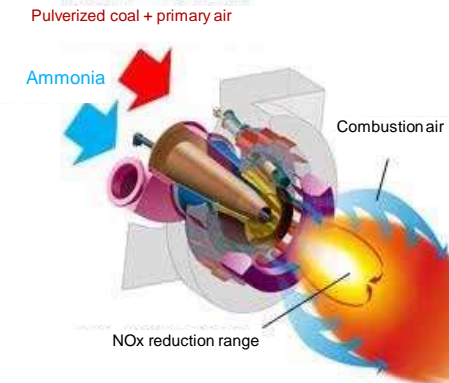
水素エンジン

(川崎重工@ジャパンモビリティショー)



水素タービン・ボイラー

(川崎重工@経産省資料)



水素トラック(日野+トヨタ)



水素トラック(いすゞ+ホンダ)



水素FCEV(BMW)



水素列車(JR東日本)



商用車に期待

(撮影:佐々木)

給食配送車(トヨタ・福岡市)



水素パッカー車(トヨタ・福岡市)



小型トラック(トヨタ・福岡県)

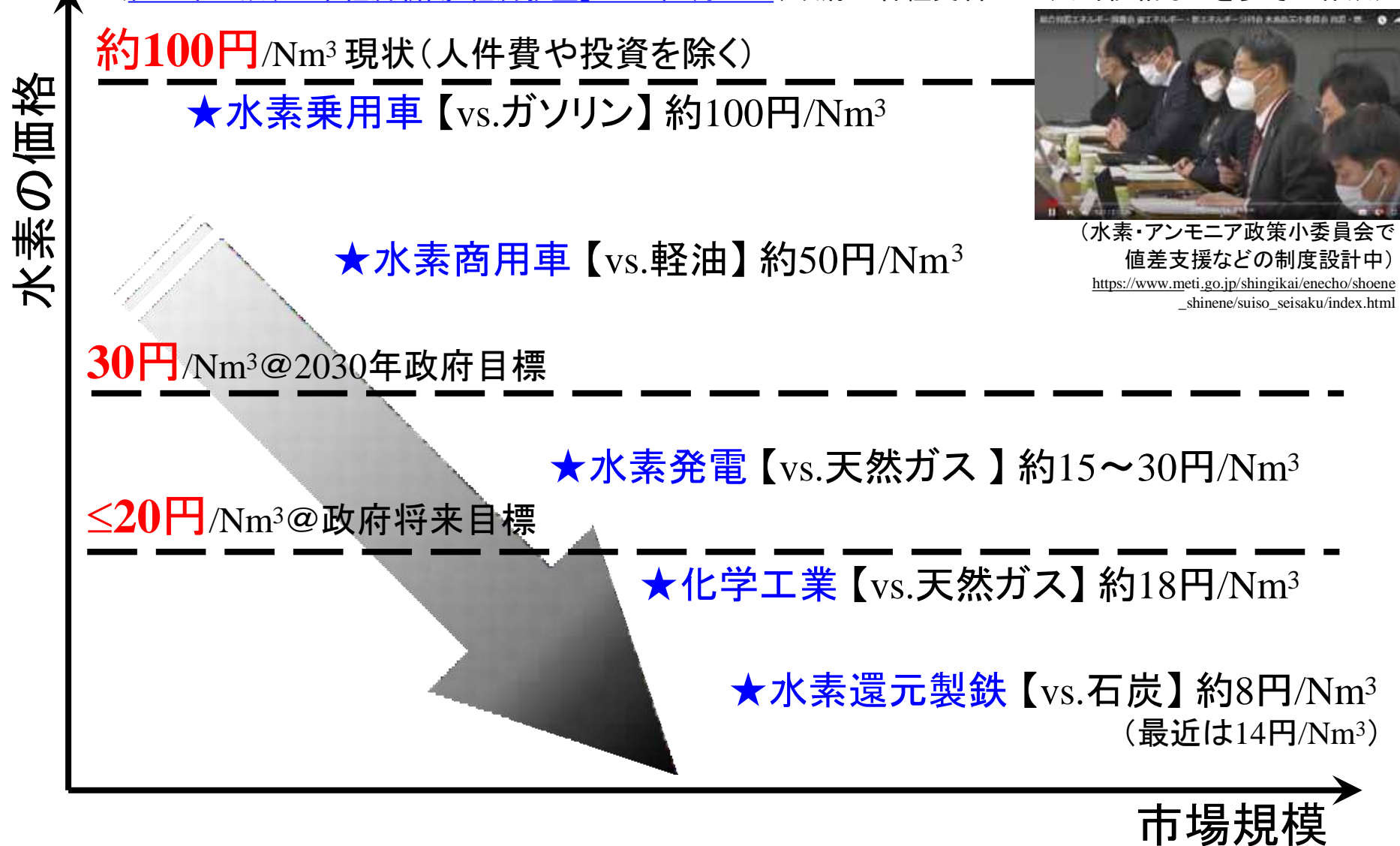


多様な商用車に横展開

(撮影:佐々木)

経済：水素価格と用途拡大（輸送⇒発電⇒化学⇒製鉄）

（佐々木一成、日本経済新聞「経済教室」2023年5月30日、政府の各種資料のパリティ価格などを参考に作成）



水素価格低下に伴い用途拡大。環境価値もマネタイズして回収（カーボンプライシング等）

法律：水素社会推進法（推進＋規制）



衆議院・経済産業委員会（2024年3月29日）

<本法律> 「夢の燃料＝水素」実装への国のルール

●「15年支援＋10年継続」で「脱炭素燃料」導入
の2050年までのルールを引く法律

●脱炭素燃料導入での「鶏と卵」の課題に対し、事業者・地域の背中を押す法律

- ① 値差支援（天然ガス⇒水素、石炭⇒アンモニアへ転換する差額支援（3兆円））
⇒始めは高い「脱炭素燃料」を、既存の化石燃料に近い価格にして使いやすく
- ② 拠点整備（各拠点で可能性調査（FS）や詳細設計を行って、拠点構想を具体化）
⇒コンビナートなどの脱炭素化で、地域の雇用確保と産業の脱炭素転換へ
- ③ グリーン化（国際的にそんな色ないCO₂排出削減効果の低炭素水素等を導入）
⇒燃料・原料のグリーン化で事業者がカーボンニュートラル製品を世界で販売
- ④ 国が保安を主導（安全・安心を自治体任せにせず、国が審査・検査）
⇒革新的なシステムは県などの自治体での審査が困難で、国が自ら汗をか

<今後の課題>

- 水素は、国内外の再エネを使いやすくできる。グリーン化とエネルギー安全保障の両面で、国産水素を増やすべき
- 国際競争が激化する中で、スピード感とスケール感を持って取り組むべき
- 「安全」はもちろん、「安心」のための社会受容性向上を不断に進めるべき
- ファイナンスがついて本格投資がスタート。「バンカブルな水素」にできるか？

経済産業省HP（2024年2月13日）：<https://www.meti.go.jp/press/2023/02/20240213002/20240213002.html> などを参考に、佐々木作成

九州の高い再エネポテンシャル

九州本土の再生可能エネルギーの接続・申込状況(注:再エネは低稼働率)

●再エネ電力接続検討申込まで⇒約3000万kW (vs.電力需要:1000万kW前後)

●接続済は「太陽光発電>風力発電」、接続検討申込は「風力>太陽光」

九州本土(離島除く)の再生可能エネルギーの接続・申込状況(2024年9月末時点)

(単位:万kW)	太陽光	風力	バイオマス	水力 (揚水除く)	地熱	合計
接続検討申込み	54	266	8	15	2	346
接続契約申込み	15	346	2	0	0	364
承諾済	190	360	40	18	4	612
接続契約申込及 び承諾済(再掲)	205 【179】	706 【658】	42	18	5	976
接続済	1,224 【452】	64 【4】	167	185	25	1,663
合計	1,483	1,036	216	218	32	2,985

※合計は四捨五入の関係で合わないことがある
 ※【】は無制限無補償ルールにおける出力制御対象
 分

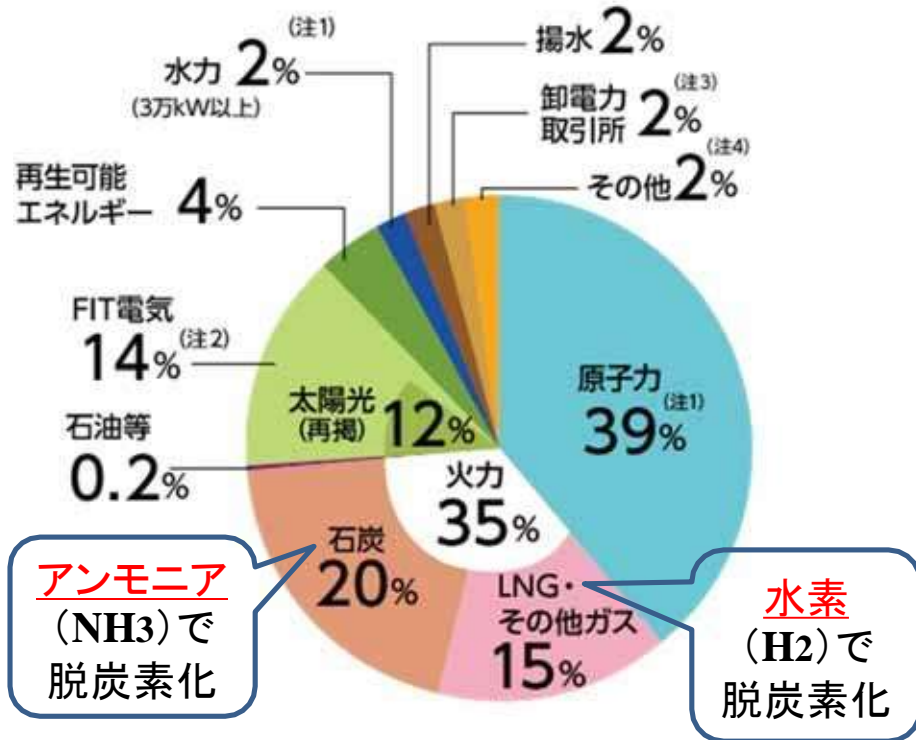
九州電力送配電ホームページ

(https://www.kyuden.co.jp/td_renewable-energy_application_index)

地域：脱炭素化への水素の貢献(九州)

脱炭素へ(61%⇒100%)

九州電力の電源構成(2023年度実績)



(出典:九州電力ホームページ
http://www.kyuden.co.jp/rate_adj_power_composition_co2.html)

(再エネ(揚水を含む)22%+原子力39%=61%)

九州:CO₂フリー電源比率61%@2023
(政府の2030年目標を達成済!)

脱炭素地域の実現に向けて (九州の例)

●九州は脱炭素化を国内最速で実現できるポテンシャルあり!「水素」は脱炭素化を可能にする戦略的なエネルギー媒体(脱炭素燃料)

★「電力」の脱炭素化は再エネ+原子力+水素発電で可能!(アンモニア⇒石炭火力、水素⇒天然ガス火力、余剰再エネは水素へ)

★「非電力」の脱炭素化は再エネ余剰電力や海外からのCO₂フリー水素で!(モビリティ・熱・原料・半導体製造への供給)

●今後増える再エネグリーン電力を企業誘致の強みに!(地域の電力の半分強は、すでにカーボンニュートラル)

●電化と水素化のグリーン投資を地域へ。カーボンニュートラルを国際金融都市への転換や脱炭素イノベーションの好循環へ

●そのための「シンクタンク」が九大!
(エネルギー研究教育機構協力教員約250名)

大学を脱炭素イノベーションハブへ(九大)

- **1万m²超の実験研究スペース**で、院生も含む**200名超**が最先端の燃料電池・水素エネルギー関連研究に従事
- 水素研究施設の見学者・視察者は**累積で6万人超**

**世界トップレベル研究拠点
「カーボンニュートラル・
エネルギー国際研究所」**
(英語が公用語の
世界トップレベル国際研究所)



**次世代燃料電池産学連携研究
センター
(NEXT-FC)**
(次世代燃料電池
の世界初の
本格的な
産学連携
集中研)

成長・展開

水素先端世界フォーラム
(最先端成果を世界に
発信する国際会議
⇒九大エネルギーウィークへ)

水素タウン
(世界最大規模、**150台**の
燃料電池が集中設置)

水素ハイウェイ
(九大水素キャンパスから、
全国へ展開)

**水素エネルギーシステム専
攻**
(世界初。工学府に平成22年度新設)

センターオブイノベーション
(社会実装のための
イノベーション拠点)

福岡水素
利用技術
研究開発
特区

**水素エネルギー 水素材料先端科学研究センター(稲盛フロンティア
国際研究センター)**
(水素に触れる材料に関する集中研)

**水素エネルギー 水素材料先端科学研究センター(稲盛フロンティア
研究センター)**
(世のため、人のための未来科学研究)

次世代エネルギー実証施設
(大学発技術を
キャンパス内で実証)

**(公財)水素エネルギー製
品研究試験センター(福岡県)**
(伊都近郊に立地。産業化を支援)

21世紀COEプログラム:
水素機械システム
の統合技術

福岡県水素グリーン成長戦略会議
(企業・機関**800超**⇒**世界最大規模**)
・福岡水素戦略
(国際的な「IPHE優秀リーダーシップ賞」受賞)



大学：社会に多様な価値を提供！ 九大水素関連の取組

エネルギー研究教育機構（総長が機構長。オール九大で今世紀後半のエネルギー社会を提案）



産学官地域連携：基礎基盤研究から産学共創、そして本格普及へ

研究：燃料電池・水素エネルギーの研究開発

経産省環境省など

文科省など

社会実装



【将来のあるべき姿へ】

ゼロエミッションモビリティ
超高効率エネルギーシステム
「脱炭素・水素社会」実現

技術実証

- 定置用高効率燃料電池システム
- 移動体用燃料電池システム
- 再エネ水素エネルギーシステム

中核技術

- 燃料電池高効率化・高出力化・高耐久化
- 可逆燃料電池（発電+水電解）

要素技術

- 電極触媒・電解質材料・周辺材料
- 革新的コンセプト・社会モデル

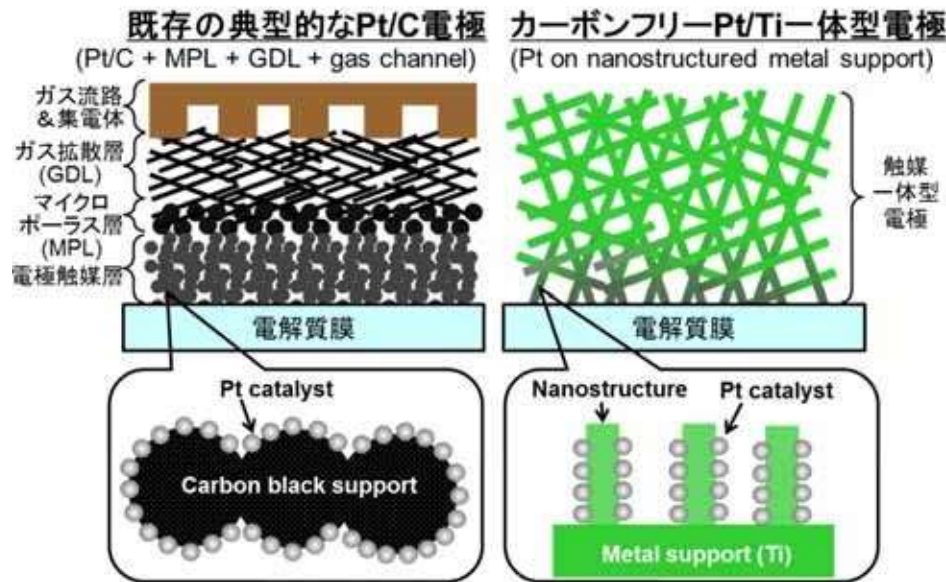
基盤工学

- 原子～デバイス～システムレベルの可視化など

研究(例): 不可能を可能にするチャレンジ (九大佐々木)

【2030年以降のFCV用 燃電池の創製】

2030年やその先の産業界目標を達成する「**タフな燃料電池**」を創製し、乗用車のみならず、更なる高耐久化が欠かせない**商用車(トラック、バス、船舶、列車)**などへの用途拡大と本格普及につなげる。(NEDO事業実施中)

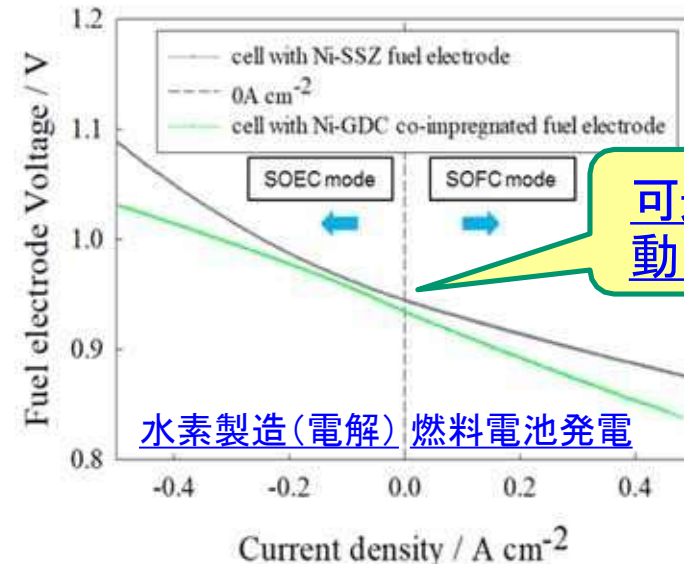


【電気も水素も作れる可 逆セルの創製】

オリジナルの電極材料で、**水蒸気電解**での水素製造と**高効率燃料電池**発電が両方でき、**再エネ変動も調整**。

(MITとのNEDO国際事業⇒JST事業実施中)

	給電	給電+蓄エネ
電池	乾電池(一次電池)	蓄電池(二次電池)
燃料電池	(通常の)燃料電池	可逆セル ("二次燃料電池")



化石資源由来vs.再エネ由来:水素ステーション

都市ガス改質型 水素ステーション

(大阪ガス、国内初、2002～2003年)



再エネ電力による水電解 型水素ステーション

(九州大学・伊都キャンパス、2005年～)



水素エネルギー国際研究センター：水素キャンパス具現化

伊都キャンパス＝10年後、20年後の未来社会が見える「タイムマシン」！学生は日々未来を夢見て勉強して社会へ！

世界最大規模の水素エネルギー常設ショーケース！

水素・燃料電池 実証サイト (エネファーム設置) 水素社会 ショールーム

太陽電池パネル (再エネ水素製造用) 水素ステーション (2005年設置) FCV駐車場

風力発電機 (再エネ水素製造用)



● 九大水素モーターショー開催 (21/)



● 水素自動車(FCV)



● 定置用燃料電池



燃料電池足湯 (エネファーム)

水素エネルギー国際研究センター(HY30)

「見える化サイ集」 (電気+ガス+水 量)

未来の「水素社会」を延べ5万人超が視察・見学⇒環境大臣表彰(2019年12月)
現在は、6万8千人超に到達⇒“水素社会について一緒に考える聖地”

九州大学「水素エネルギーシステム専攻」教育全体像

九州大学が世界に先駆けて2010年度に発足させた世界オンリーワンの水素分野の大学院専攻！

- 学部：工学部・機械航空工学科生への徹底的な機械系基礎教育（四力学中心）
- 修士課程：院試で厳選した修士学生への視野を広げる教育（電気化学、機能材料学、政策論など）
- 修士+博士課程：水素エネルギー・燃料電池に関する最先端研究に従事
- グローバルに活躍できる研究者・技術者の育成（国際会議積極派遣、英語公用語化、留学支援等）

材料・プロセス・システムを理解する機械系人材の輩

出

低炭素エネルギー学

政策論

エネルギー政策、社会受容性

マネジメント

研究開発マネジメント、普及戦略

エネルギー工学

製造・輸送・貯蔵・利用、風力、太陽光、原子力、再生可能技術

水素エネルギー工学

電気化学

燃料電池、触媒

機能材料学

金属、高分子、セラミックス

安全工学

保安技術、脆化、燃焼

熱力学・熱工学

材料力学・強度学

機械系基礎科目

国際性を高める教育

海外インターンシップ(留学)、外国人教授陣と英語講義の充実、国際会議発表機会提供

実学教育・産学連携

企業インターンシップ、戦略会議との連携、産業界技術者との交流、産業界向け発表機会提供

社会にとって「水素」とは？（脱炭素社会を回せる燃料！）

佐々木一成、日本経済新聞「経済教室」2015年4月20日

Kazunari Sasaki, Nikkei Asian Review, pp. 60-61, May 18-24, 2015

【エネルギー・環境へのメリット】

- エネルギーを無駄なく使える社会へ
- 消費者がエネルギーを選べる時代へ
- 原油（中東、国際政治）に過度に依存しない社会へ
- 排気ガスがない社会へ
- 炭素循環社会から水素循環社会へ

【経済・社会へのメリット】

- 貿易赤字要因（エネルギー輸入代金）の削減へ
- 集中型から分散型の社会へ
- 地産地消の社会へ
- 個人や地域が自立した社会へ

【課題・リスク】

- 更なる低コスト化
- 長期にわたる技術開発と普及戦略
- 社会受容性

水素・アンモニア政策 小委員会 / 脱炭素燃料政策小委員会 / 水素保安小委員会 合同会議

（生中継・録画）

- 第1回 22年3月29日
- 第2回 4月18日
- 第3回 4月27日
- 第4回 8月26日
- 第5回 10月7日
- 第6回 11月16日
- 第7回 12月13日
- 第8回 23年5月17日
- 第9回 10月4日
- 第10回 10月25日
- 第11回 11月14日
- 第12回 11月28日
- 第13回 12月6日
- 第14回 24年6月7日

- 日本：水素は輸入と国産が両方可能！
⇒ エネルギー安全保障に貢献！
- 世界：水素は再エネを世界商品に！
- 本格普及には官民の長期投資が不可欠
（値差支援3兆円は一過性。持続的なスキームは？）