

# 総合知での脱炭素・水素社会実現に向けて： 九大水素プロジェクトの取り組み

## 佐々木一成

副学長(産学官民連携・研究教育推進(エネルギー・脱炭素)担当)・主幹教授

([FS本部 脱炭素ユニット](#)、水素エネルギー国際研究センター長、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 水素政策小委員会委員長、アンモニア等脱炭素燃料政策小委員会委員長、合同会議座長)

(email) [sasaki@mech.kyushu-u.ac.jp](mailto:sasaki@mech.kyushu-u.ac.jp)

未来社会デザイン統括本部 & データ駆動イノベーション推進本部 合同シンポジウム2023  
2023年9月4日



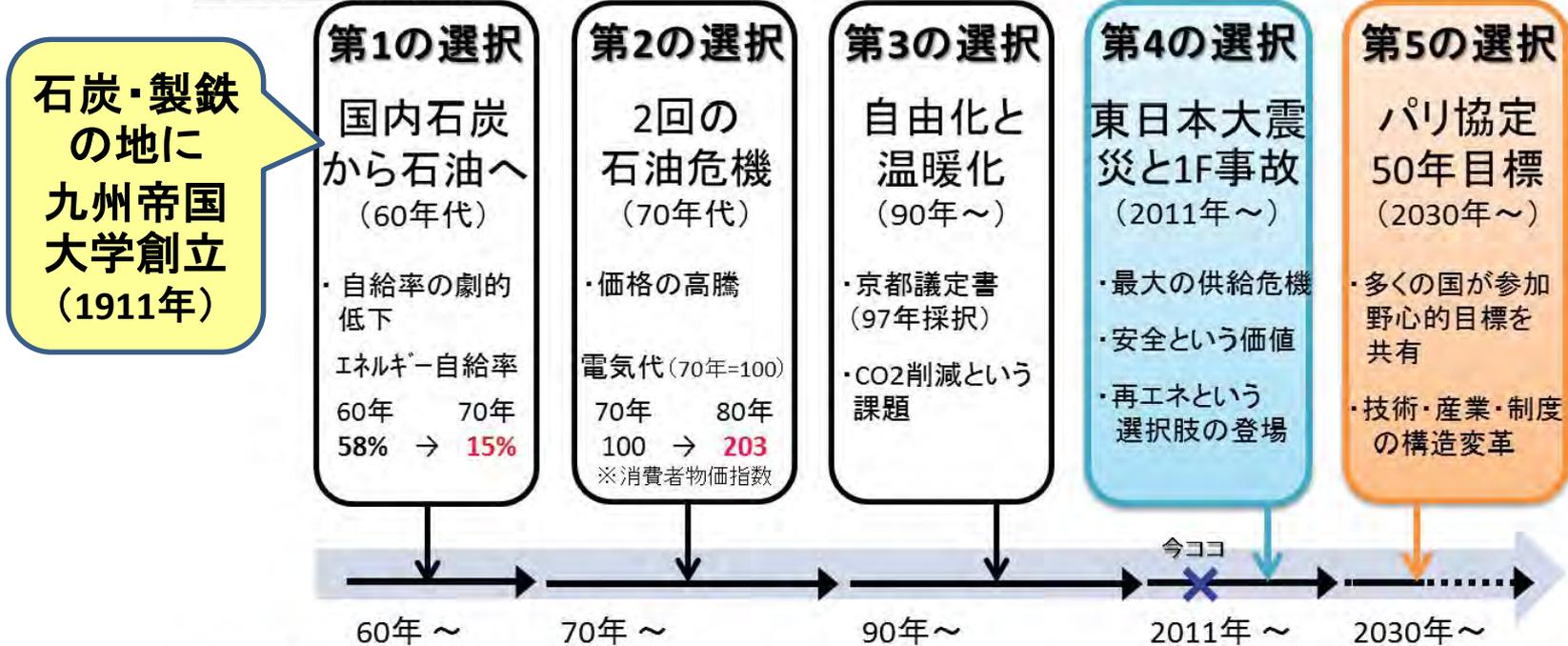
脱炭素へのグリーンイノベーションハブ



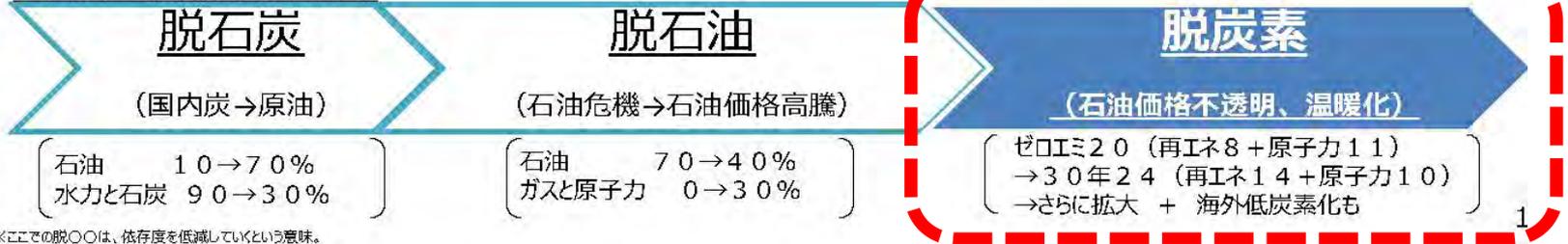
脱炭素・水素社会実現へ世界と戦う“チーム福岡”

# 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



エネルギー政策のメガトレンド



出典: 経済産業省HP (第6回 産業構造審議会 製造産業分科会資料に加筆) [https://www.meti.go.jp/shingikai/sankoshin/seizo\\_sangyo/pdf/006\\_03\\_00.pdf](https://www.meti.go.jp/shingikai/sankoshin/seizo_sangyo/pdf/006_03_00.pdf)

**炭素:水素 = 石炭 (固体)**

1:0

**石油 (液体)**

1:2

**天然ガス (気体)**

1:4

**水素 (気体)**

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

# 九大水素プロジェクト: 大学を脱炭素イノベーションハブへ

- 15000m<sup>2</sup>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
- 水素専攻10研究室の 受託研究・共同研究獲得は九大全体の約1割(過去10年間)(九大教授は700人)
- 水素研究施設の 見学者・視察者は累積で5万人超

**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)

**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

**水素エネルギー国際研究センター**  
 (水素技術インキュベーター)



**水素材料先端科学研究センター**  
 (水素に触れる材料に関する集中研)



**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

**福岡水素エネルギー戦略会議**  
 (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)

成長・展開



# 大学：社会に多様な価値を提供！ 九大水素拠点の例

**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）

## 技術実証

**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）



**（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⇒プログラムへ）



## 未来科学

**水素タウン**  
（世界最大規模、150台の  
燃料電池が集中設置）



## 社会実装

**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）



## 産学連携

**次世代燃料電池  
産学連携研究センター**  
（次世代燃料電池の世界初の  
本格的な産学連携集中研）



## 燃料電池

**水素エネルギー  
国際研究センター**  
（水素・燃料電池インキュベーター）



**（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）



## 水素エネ

**水素材料  
先端科学研究センター**  
（水素に触れる材料に関する集中研）



## 基盤研究

**水素ハイウェイ**  
（九大水素キャンパスから、  
全国へ展開）



## 人材育成

**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）



**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）



## 国際連携



**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**



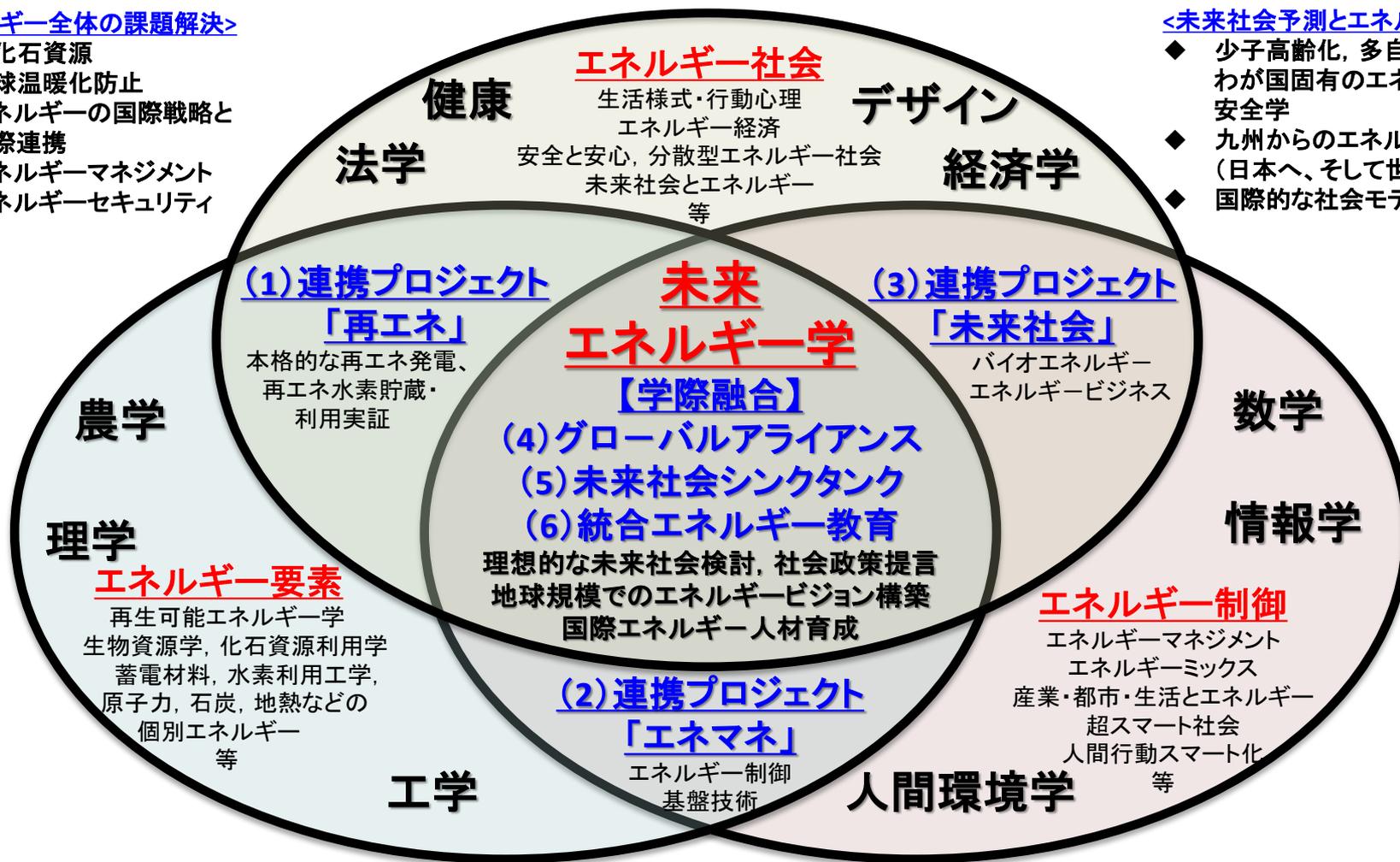
**部局の壁を取り去ったオール九大のプラットフォーム組織「機構」**  
**「あるべき未来社会」⇒個別要素研究⇔連携プロジェクト⇔学際融合**

<エネルギー全体の課題解決>

- ◆ 脱化石資源
- ◆ 地球温暖化防止
- ◆ エネルギーの国際戦略と国際連携
- ◆ エネルギーマネジメント
- ◆ エネルギーセキュリティ

<未来社会予測とエネルギー学>

- ◆ 少子高齢化, 多自然災害のわが国固有のエネルギー安全学
- ◆ 九州からのエネルギー転換(日本へ、そして世界へ)
- ◆ 国際的な社会モデルの発信

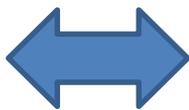


**大学全体をグリーンイノベーションのハブへ!** (初代担当副学長: 佐々木)

# 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！

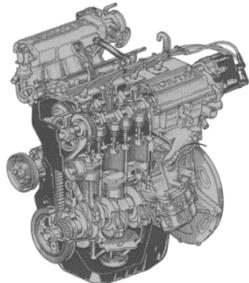
**熱エネルギー変換(燃焼)**  
(化学エネルギー⇒**熱**⇒運動⇒電気)



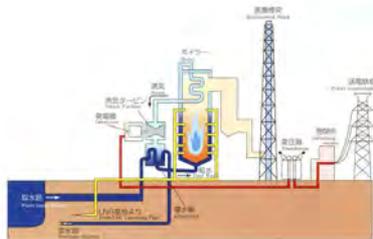
**電気化学エネルギー変換**  
(化学エネルギー⇒電気)

内燃機関(**集中型**): **量的**なCO<sub>2</sub>排出減

燃料電池(**分散型**): **質的**なCO<sub>2</sub>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)

**燃料電池**

**水素**  
を介して  
燃やさず  
に発電！



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%】



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】

# 研究：水素エネルギー工学の確立

- コアテーマは水素3センターで
- 周辺テーマは関連部局と連携で

<周辺技術>



## 脱炭素化

- ・超高効率燃料電池 + CO<sub>2</sub>回収・利用
- ・再エネ水素 + 水素貯蔵 + 燃料電池

## カーボンニュートラル化

- ・バイオ燃料作動燃料電池
- ・大型燃料電池 + CO<sub>2</sub>分離 + 貯留
- ・再エネ水電解 + 水素貯蔵 + 燃料電池

## 低炭素化

- ・超高効率燃料電池(効率60~80%)
- ・再エネ出力変動対応燃料電池

固体高分子形燃料電池  
(純水素、改質水素ガスで発電できる水素燃料電池)

固体酸化物形燃料電池  
(低純度水素、再エネメタン、バイオ燃料などでも発電可のオールマイティ燃料電池)

短期

中期

長期

time

目標：水素エネルギーの次世代科学技術の確立！要素技術＋システム＋社会が重要に！

# 研究(例): 不可能を可能にするチャレンジ(九大佐々木)

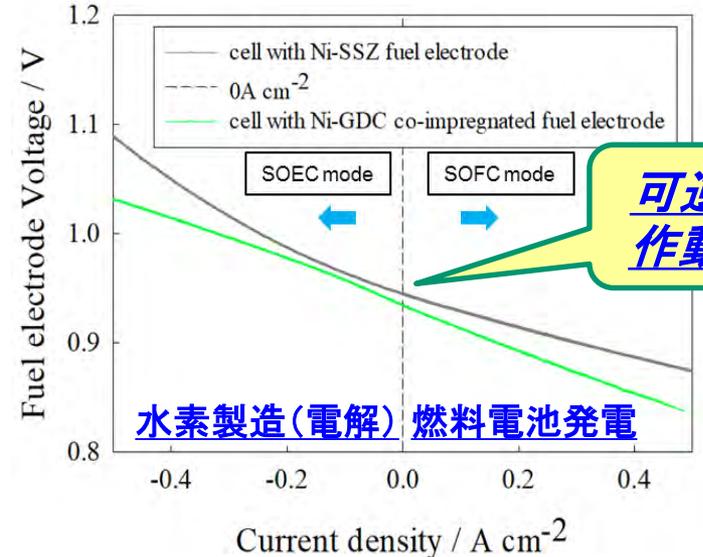
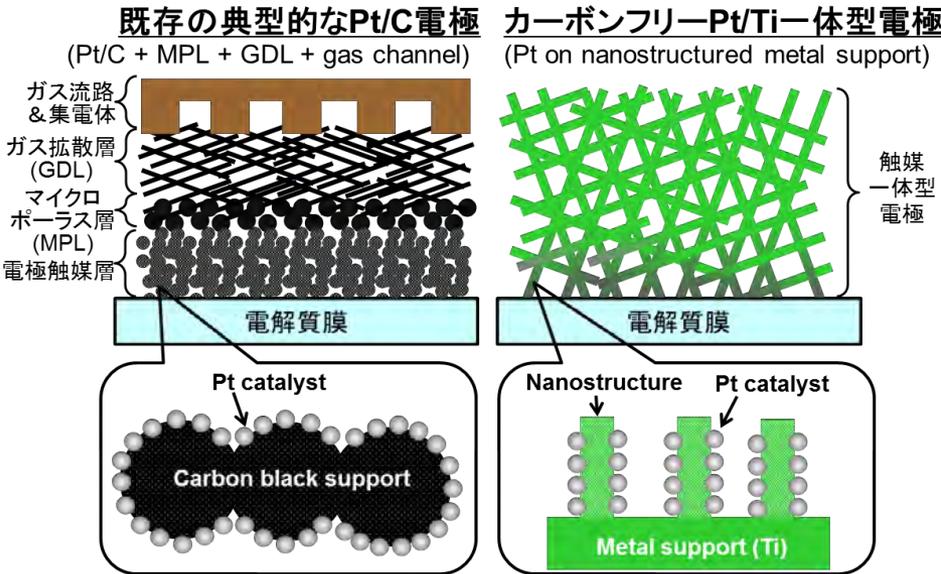
## 【2030年以降のFCV用燃料電池の創製】

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)燃料電池	<b>可逆セル</b> ("二次燃料電池")



# 大学:「水素キャンパス」@九大伊都キャンパス

**世界最大規模の  
水素エネルギー  
常設ショーケース!**

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!

水素・燃料電池  
実証サイト(各種  
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  
(MIRAI, Clarity)

風力発電機  
(再エネ水素  
製造用)



燃料電池足湯  
(エネファーム  
給湯)

**水素エネルギー  
国際研究センター  
(HY30棟)**

「見える化サイト」  
ディスプレイ(電気+ガス  
+水素の使用量)

● **九大水素モーター  
ショー開催(21/3/19)**



● **水素自動車(FCV)**



● **定置用燃料電池**



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)

# 法律：“エネルギーの定義”の改正

## エネルギーの使用の合理化及び非化石エネルギーへの転換等に関する法律(昭和五十四年法律第四十九号)

施行日：令和五年四月一日

(令和四年法律第四十六号による改正)



参議院インターネット中継 <https://www.webtv.sangiin.go.jp/webtv/index.php>

(定義)

第二条 この法律において「エネルギー」とは、化石燃料及び非化石燃料並びに熱(政令で定めるものを除く。以下同じ。)及び電気をいう。

2 この法律において「化石燃料」とは、原油及び揮発油、重油その他経済産業省令で定める石油製品、可燃性天然ガス並びに石炭及びコークスその他経済産業省令で定める石炭製品であつて、燃焼その他の経済産業省令で定める用途に供するものをいう。

3 この法律において「非化石燃料」とは、前項の経済産業省令で定める用途に供する物であつて**水素**その他の化石燃料以外のものをいう。

4 この法律において「非化石エネルギー」とは、**非化石燃料**並びに化石燃料を熱源とする熱に代えて使用される熱(第五条第二項第二号ロ及びハにおいて「非化石熱」という。)及び化石燃料を熱源とする熱を交換して得られる動力を変換して得られる電気に代えて使用される電気(同号ニにおいて「非化石電気」という。)をいう。

5 この法律において「非化石エネルギーへの転換」とは、使用されるエネルギーのうちを占める**非化石エネルギーの割合を向上させること**をいう。

6 この法律において「電気の需要の最適化」とは、季節又は時間帯による電気の需給の状況の変動に応じて電気の需要量の増加又は減少をさせることをいう。

# 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ーティ価格などを参考に作成)

約100円/Nm<sup>3</sup> 現状(人件費や投資を除く)

水素政策小委員会(値差支援などの制度設計中)

[https://www.meti.go.jp/shingikai/enecho/shoene\\_shinene/suiso\\_seisaku/index.html](https://www.meti.go.jp/shingikai/enecho/shoene_shinene/suiso_seisaku/index.html)

★水素乗用車【vs.ガソリン】約100円/Nm<sup>3</sup>



★水素商用車【vs.軽油】約50円/Nm<sup>3</sup>

30円/Nm<sup>3</sup>@2030年政府目標

★水素発電【vs.天然ガス】約15~30円/Nm<sup>3</sup>

≤20円/Nm<sup>3</sup>@政府将来目標

★化学工業【vs.天然ガス】約18円/Nm<sup>3</sup>

★水素還元製鉄【vs.石炭】約8円/Nm<sup>3</sup>

水素の価格

市場規模

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)

# 投資：CN・GXへの400兆円規模の官民投資（経団連）

## 6. グリーンディール、CNが実現した際の経済の姿 （概要24～26、41頁）

### 問題意識

- IEA試算をベースとするとわが国のCN実現のためには、**2050年までの累計で、400兆円程度の投資**が必要。

### とるべき施策

- 政府は、民間の継続的な投資を促すため、自ら中長期の財政支出にコミットすべき。
- 必要となる**政府負担は年平均で約2兆円程度**（財源 = **GXボンド** （注） の発行等）。
- **リスクの大きい革新的技術開発や大規模なインフラ整備**など、市場原理だけに任せては取り組みが円滑に進まない分野への投資において、政府の役割は特に重要。

### 【参考：欧米の予算措置】

	米国	EU
規模	インフラ投資計画： <b>9.4兆円</b> Build Back Better Act： <b>64.9兆円</b>	<b>71.5兆円</b> (7か年予算＋復興基金)
期間	5～10年	7年
年間	<b>8.4兆円</b> ／年	<b>10.2兆円</b> ／年

### 【参考：日米欧のCO2排出量】 (エネルギー起源CO2、2019年)

日本	米国	EU
<b>10.6億 t</b>	<b>47.4億 t</b>	<b>29.9億 t</b>

(注) CNに向けたトランジション及びイノベーションに関する技術の開発・社会実装に  
用途を限定して、GXを実現するために発行する国債。

2050年CNが実現した経済の姿 = **GDP1,000兆円経済の実現**

	2019年度 (実績)	2050年度
実質GDP	537.5兆円 (過去5年で平均0.9%成長)	<b>1,026.8兆円</b> (年平均2.1%成長)

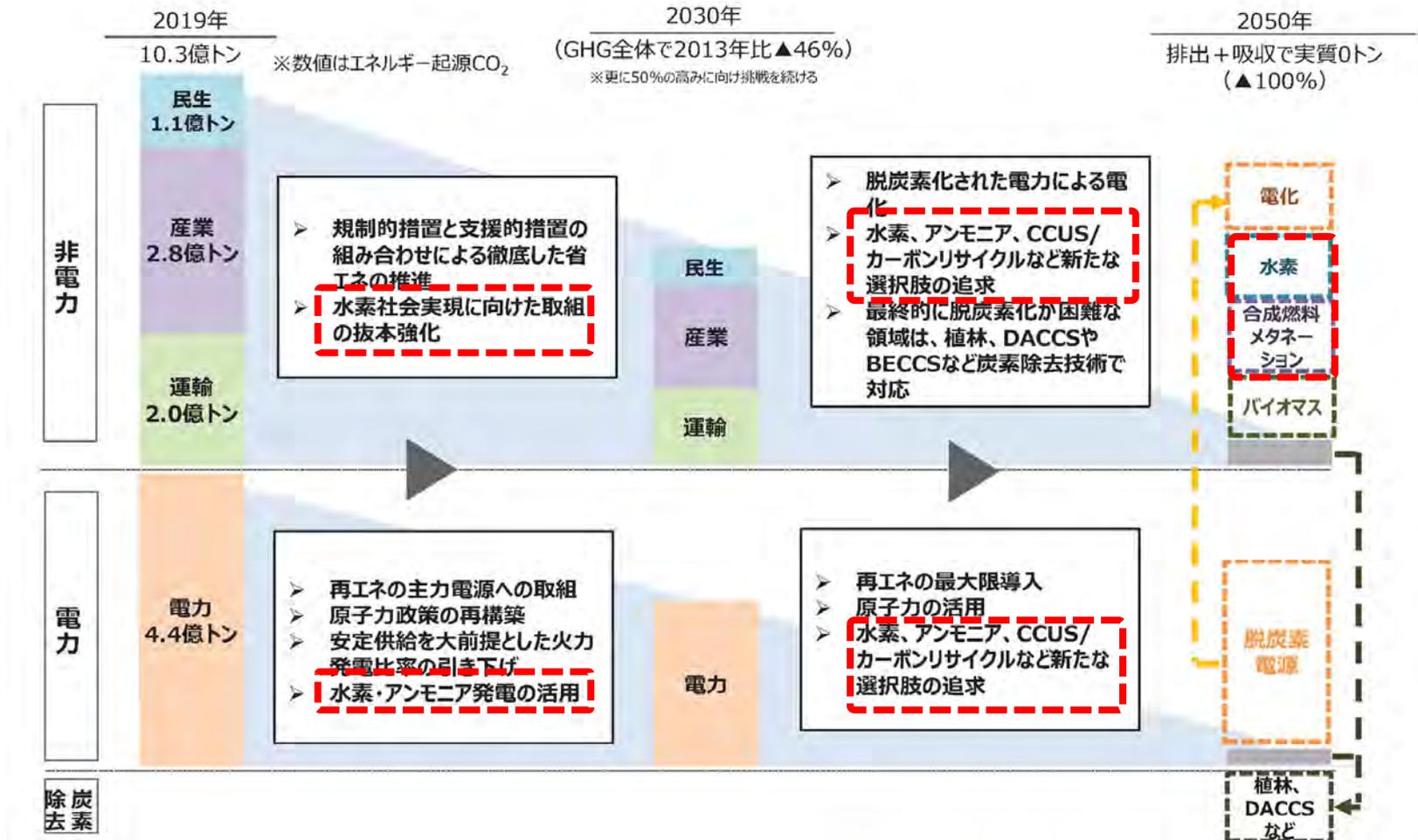
9

日本経済連合会HP「グリーントランスフォーメーション(GX)に向けて」2022年5月17日、<https://www.keidanren.or.jp/policy/2022/043.html>

数十年前：**総括原価方式**で投資コストを料金に転嫁 ⇒ 現在(自由化後)：**投資を引き出す政策**が不可欠

# 電化+水素化+CO<sub>2</sub>回収 (グリーン成長戦略改訂版、2021年6月)<sup>13</sup>

## 2050年カーボンニュートラルの実現



<https://www.meti.go.jp/press/2021/06/20210618005/20210618005.html>

水素(キャリア): 脱炭素電源の1%(2030年)、10%(2050年)、需要増(2030年: 30→300万トン、2050年: 水素2000万トン/年=熱量換算でLNG5000万トン/年に相当(LNG現輸入量は7500万トン/年))  
(ポテンシャル: 商用車600万トン、水素発電500~1000万トン、水素製鉄700万トンなど)

# 日本：水素基本戦略改定 (2023年6月6日、再生可能エネルギー・水素等関係閣僚会議)

## 「水素基本戦略」の改定のポイントについて (案)

資料 1-1

**水素基本戦略** (アンモニア等を含む) を改定し、関係府省庁が一体となって水素社会の実現に向けた取組を加速する。

- ①2030年の水素等導入目標300万トンに加え、**2040年目標を1200万トン**、2050年目標は2000万トン程度と設定 (コスト目標として、現在の100円/Nm<sup>3</sup>と2030年30円/Nm<sup>3</sup>、2050年20円/Nm<sup>3</sup>とする) ②2030年までに国内外における日本関連企業の水電解装置の導入目標を**15GW程度**と設定 ③**サプライチェーン構築・供給インフラ整備に向けた支援制度を整備** ④**G7で炭素集約度に合意、低炭素水素等への移行**

### 水素産業戦略 ～ 「我が国水素コア技術が国内外の水素ビジネスで活用される社会」実現 ～

- ① **「技術で勝ってビジネスでも勝つ」となるよう、早期の量産化・産業化を図る。**  
 ② **国内市場に閉じず、国内外のあらゆる水素ビジネスで、我が国の水素コア技術 (燃料電池・水電解・発電・輸送・部素材等) が活用される世界を目指す。**  
 →脱炭素、エネルギー安定供給、経済成長の「一石三鳥」を狙い、大規模な投資を支援。(官民合わせて**15年間で15兆円**のサプライチェーン投資計画を検討中)

#### つくる

- 水電解装置
- 電解膜、触媒などの部素材
- 効率的なアンモニア合成技術

・A社 (素材) は、国内外大手と連携、水電解装置による国内外の大規模グリーン水素製造プロジェクトに参画。  
 ・B社 (自動車) は、燃料電池の技術力をベースに多くの共通技術を活かす水電解装置を開発・実装。  
 ・C社 (ベンチャー) は、GI基金を通じアンモニア製造の新技術を開発・実証。

#### はこぶ

- 海上輸送技術 (液化水素、MCH等)

・D社 (重工) は、世界初の液化水素運搬技術を確立し、G7でも各国閣僚から高い関心。  
 ・E社 (エンジニアリング) は、欧州でのMCHによる輸送プロジェクトの事業化調査に着手。

#### つかう

- 燃料電池技術
- 水素・アンモニア発電技術
- 革新技術 (水素還元製鉄、CCUS等)

・F社 (自動車) は、燃料電池の海外での需要をみこして多用途展開を促し、コア技術としての普及を目指す。  
 ・G社 (重工) は、大型水素発電の実証・実装で世界を先行。  
 ・H社 (発電) は、アンモニア混焼の2020年代後半の商用運転開始に向け、実証試験を実施。

### 水素保安戦略 ～ 水素の大規模利用に向け、安全の確保を前提としたタイムリーかつ経済的に合理的・適正な環境整備 ～

#### 供給

- 既存燃料との価格差に着目した大規模サプライチェーン構築支援
  - S+3Eの観点からプロジェクト評価
  - ブレンデッド・ファイナンスの活用
- 効率的な供給インフラ整備支援 -国際競争力ある産業集積を促す拠点を整備
- 低炭素水素への移行に向けた誘導的規制の検討
- 保安を含む法令の適用関係を整理・明確化
- 上流権益への関与や市場ルール形成による安定したサプライチェーンの確保

#### 規制・支援一体型の制度を、供給の両面から措置、水素普及の加速化

#### 需要

- 需要創出に向けた省エネ法の活用
  - 工場、輸送事業者・荷主等の非化石転換を進め、将来的に水素の炭素集約度等に応じて評価。
  - トップランナー制度を発展させ、機器メーカーに水素仕様対応等を求めることを検討。
- 燃料電池ビジネスの産業化 (セパレーター等の裾野産業育成)
  - 国内外のモビリティ、港湾等の燃料電池の需要を一体で獲得することでコストダウン・普及拡大
  - 港湾等における「塊の需要」や意欲ある物流事業者等による先行取組への重点的支援
  - 地域での水素製造・利活用と自治体連携※、国民理解 ※特に「福島新エネルギー社会構想」の取組加速

#### 世界市場の獲得

#### 拡大する欧米市場で初期需要を獲得、将来のアジア市場を見越し先行投資

- 規模・スピードで負けないよう大胆な民間の設備投資を促す政策支援
- 大規模サプライチェーン構築支援の有効活用
- 海外政府・パートナー企業との戦略的連携、トップセールスによる海外大規模プロジェクトへの参画
- 『アジア・ゼロエミッション共同体 (AZEC)』構想等の枠組みを活用したアジア連携
- 日本の水素ビジネスを支える国際的な知財・標準化の取組 (GI基金等も活用)
- 人材育成の強化・革新技術の開発

米国：インフレ削減法(IRA)により、低炭素水素製造に10年間で最大3ドル/kgの税額控除を実施予定 (約50兆円規模 ※水素以外も含む)  
 欧州：グリーンディール産業計画で、グリーン投資基金の設立や水素銀行構想を発表 (約5.6兆円規模 ※水素以外も含む)  
 英国：国内低炭素水素製造案件について15年間の値差支援や、拠点整備支援を実施予定 (第一弾として約5,400億円規模)

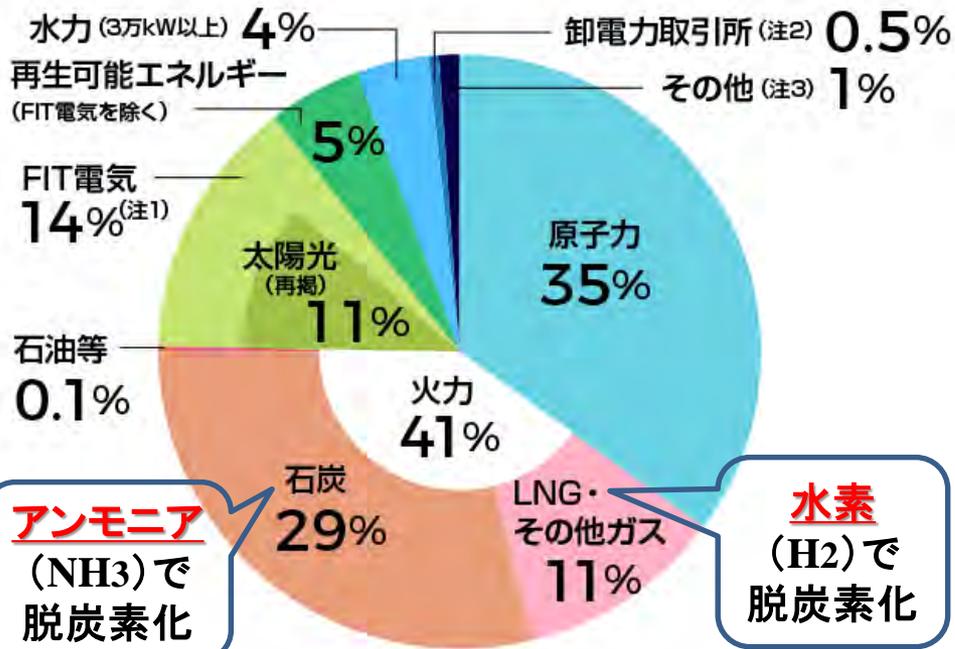
再生可能エネルギー・水素等関係閣僚会議 (2023年6月6日) : [https://www.cas.go.jp/jp/seisaku/saisei\\_energy/index.html](https://www.cas.go.jp/jp/seisaku/saisei_energy/index.html)

技術で勝って**ビジネスでも勝つ** / 日本の強みで**世界市場獲得** / **脱炭素+エネルギー安定供給+経済成長**の一石三鳥

# 地域：脱炭素化への水素の貢献(九州の例)

脱炭素へ (58% ⇒ 100%)

九州電力の2019年度の電源構成(実績)



(再エネ:23%+原子力35%=58%)

九州:CO<sub>2</sub>フリー電源比率58%@2019  
(政府の2030年新目標をすでに達成済!)

(図の出典:九州電力ホームページ

[http://www.kyuden.co.jp/rate\\_adj\\_power\\_composition\\_co2.html](http://www.kyuden.co.jp/rate_adj_power_composition_co2.html))

## 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CO<sub>2</sub>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!(地域の電力の半分超は、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の目玉、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!

# 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

### 「水素政策小委員会・アンモニア等 脱炭素燃料政策小委員会 合同会議」

- |       |          |             |          |
|-------|----------|-------------|----------|
| ● 第1回 | 22年3月29日 | ● 第5回       | 11月16日   |
| ● 第2回 | 4月18日    | ● 第6回       | 12月13日   |
| ● 第3回 | 4月27日    | ● 第7回       | 23年5月17日 |
| ● 第4回 | 10月7日    | （会議は生中継・録画） |          |

- 法改正：非化石エネルギーへ位置付け！
- 日本：水素は、輸入と国産の両方が可能！ = 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