

# カーボンニュートラル達成に向けた 水素利用の必要性と今後の展望

佐々木一成

九州大学 副学長・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、工学研究院主幹教授)

(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、両合同会議座長)

(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/>

九州エネルギー問題懇話会

2023年2月3日



脱炭素へのグリーンイノベーションハブ

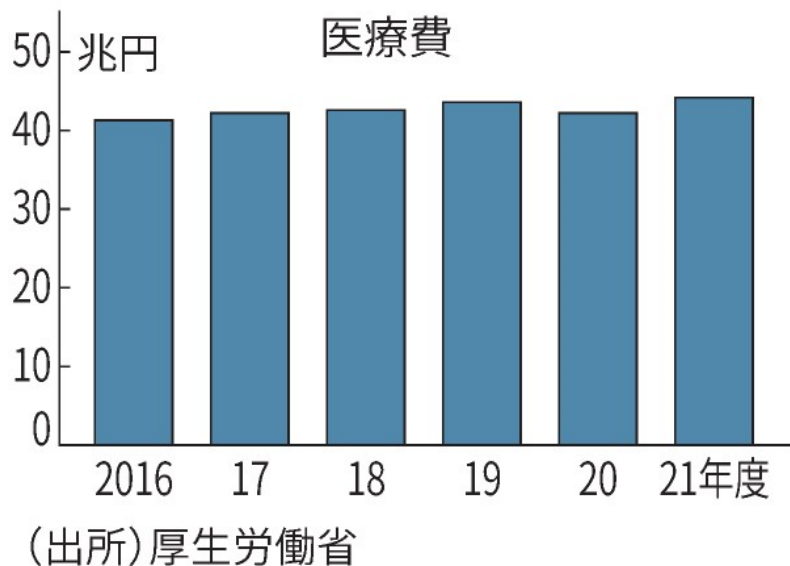


脱炭素・水素社会実現へ世界と戦う“チーム福岡”

# 日本の医療費 vs. エネルギー代金

## 【医療費】

年間44兆円(2021年度)



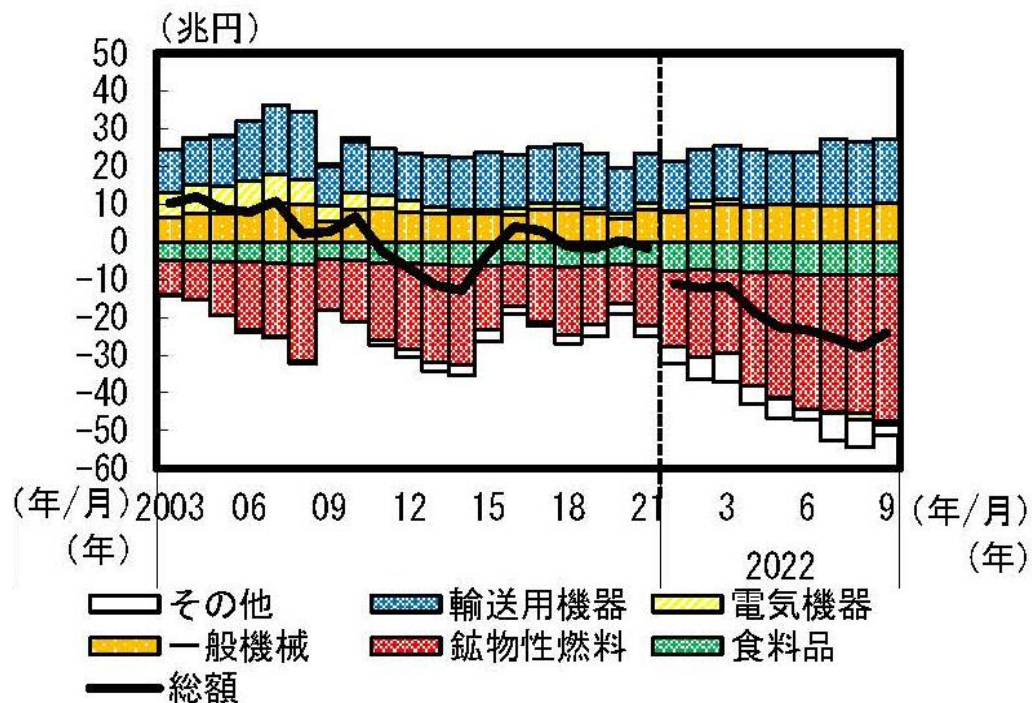
出典:

<https://www.nikkei.com/article/DGXZQQUA155KN0V10C22A9000000/>  
[https://www.mhlw.go.jp/stf/newpage\\_27965.html](https://www.mhlw.go.jp/stf/newpage_27965.html)

## 【エネルギー代金】

年換算で約20⇒50兆円に高騰中

貿易収支(貿易統計)の推移

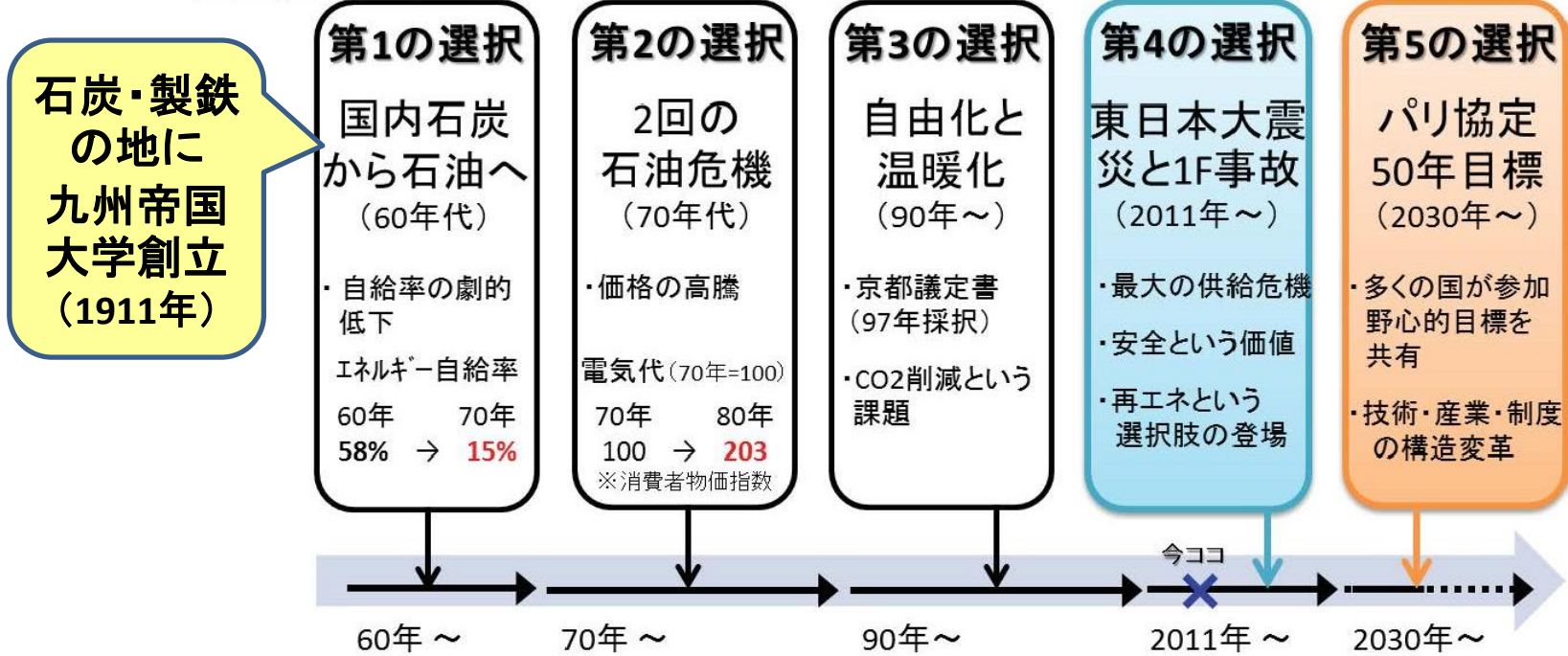


国内で使われ、国民の健康・安心へ

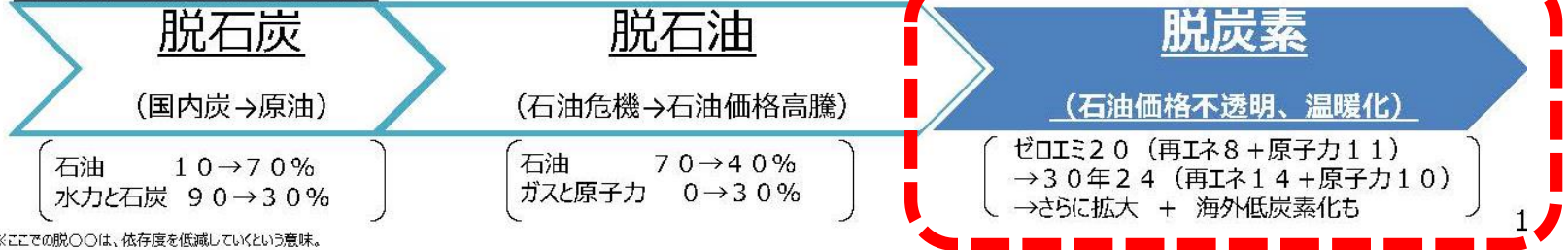
- 日本は自動車や機械等の輸出で稼ぎ、エネルギー代金を支出
- 高騰するエネルギー代金は海外へ流出 (=国富の流出)

# 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

# 脱炭素化に向けた技術イノベーションと「水素」

## 分野別CO2排出量と主な個別技術

主な要素		現状	将来
運輸 (2.1億トン)	車体・システム	内燃機関・手動運転 金属車体	電動化・自動運転 マルチマテリアル
	燃料	化石燃料	電気・ <u>水素</u> バイオ燃料
産業 (3.1億トン)	プロセス	スマート化の進展	CCUS・ <u>水素還元</u> 更なるスマート化
	製品	化石エネルギー原料	非化石エネルギー原料
民生 (1.2億トン)	熱源	石油・ガス・電気	電気・ <u>水素</u> 等
	機器	高効率機器	機器のIoT化 M2M制御
電力 (5.1億トン)	火力	石油・石炭・天然ガス	CCUS・ <u>水素発電</u> 等
	原子力	第3世代+原子炉	次世代原子炉
	再エネ	導入制約 (導入コスト、調整電源コスト・系統等)	蓄電×系統革新

イノベーション

水素  
(サプライチェーン・メタネーション)

※ ( ) 内は2015年度の排出量

(出所) 資源エネルギー庁作成 4

(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](http://www.enecho.meti.go.jp/committee/studygroup/ene_situation/007/pdf/007_008.pdf))

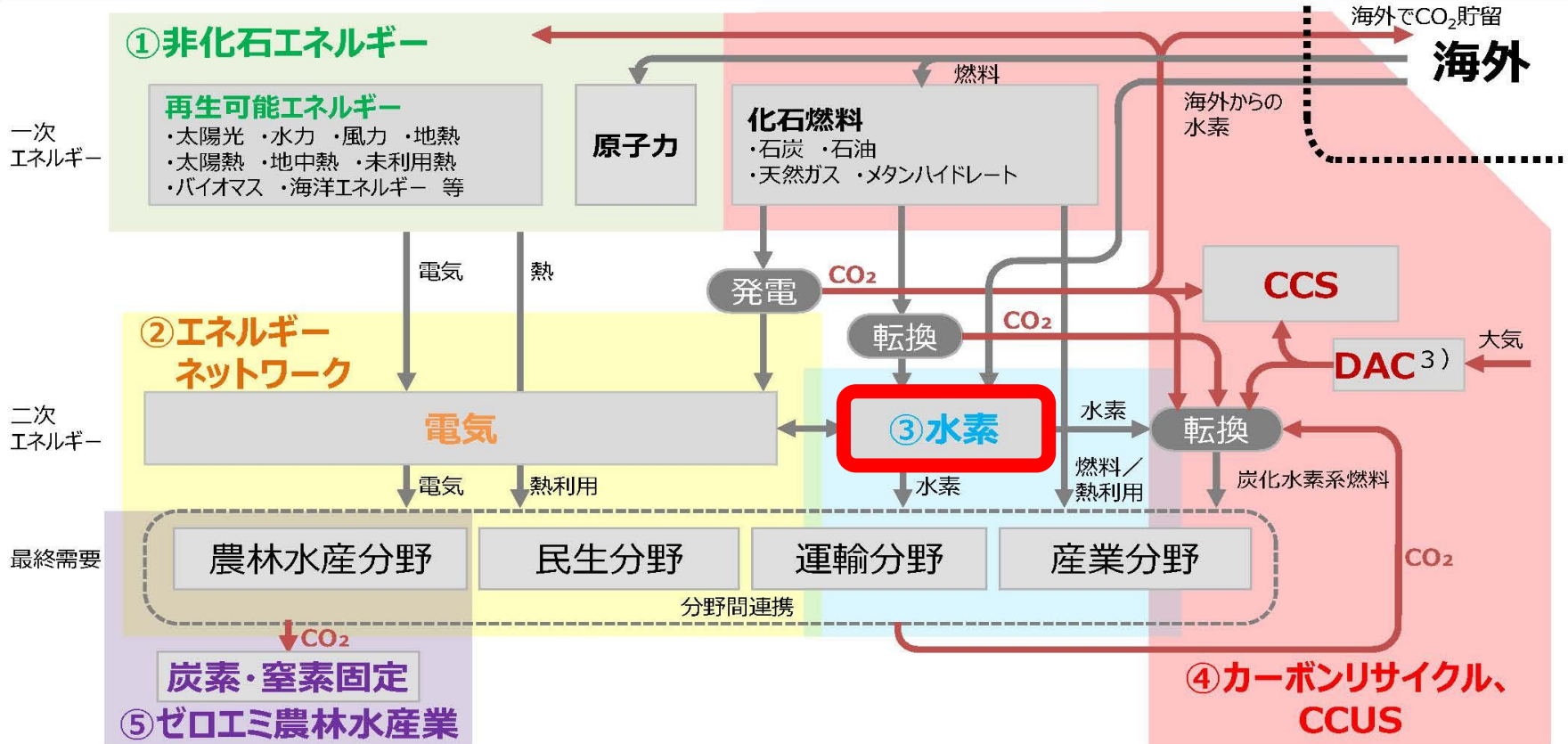
社会全体の脱炭素化へ：電化＋水素化

# 「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)<sup>5</sup>

## 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・カーボンリ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、④CO<sub>2</sub>の大幅削減に不可欠なカーボンリサイクル、CCUS<sup>1)</sup>、⑤世界GHG排出量の1/4<sup>2)</sup>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CO<sub>2</sub>分離)

<https://www.kantei.go.jp/jp/singi/tougou-innovation/pdf/kankyousenryaku2020.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CO<sub>2</sub>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

# 水素：各産業のキーテクノロジー（グリーン成長戦略、2020年12月）

## 分野毎の「実行計画」（課題と対応、工程表）

※来春のグリーン成長戦略の改定に向けて  
目標や対策の更なる深掘りを検討。  
(自動車・蓄電池産業など)

足下から2030年、  
そして2050年にかけて成長分野は拡大

### エネルギー関連産業

### 輸送・製造関連産業

### 家庭・オフィス関連産業

①洋上風力産業  
風車本体・部品・浮体式風力

⑤自動車・蓄電池産業  
EV・FCV・次世代電池

⑥半導体・情報通信産業  
データセンター・省エネ半導体  
(需要サイドの効率化)

⑫住宅・建築物産業/  
次世代型太陽光産業  
(ペロブスカイト)

②燃料アンモニア産業  
発電用バーナー  
(水素社会に向けた移行期の燃料)

⑦船舶産業  
燃料電池船・EV船・ガス燃料船等  
(水素・アンモニア等)

⑧物流・人流・  
土木インフラ産業  
スマート交通・物流用ドローン・FC建機

⑬資源循環関連産業  
バイオ素材・再生材・廃棄物発電

③水素産業  
発電タービン・水素還元製鉄・  
運搬船・水電解装置

⑨食料・農林水産業  
スマート農業・高層建築物木造化・  
ブルーカーボン

⑩航空機産業  
ハイブリット化・水素航空機

⑭ライフスタイル関連産業  
地域の脱炭素化ビジネス

④原子力産業  
SMR・水素製造原子力

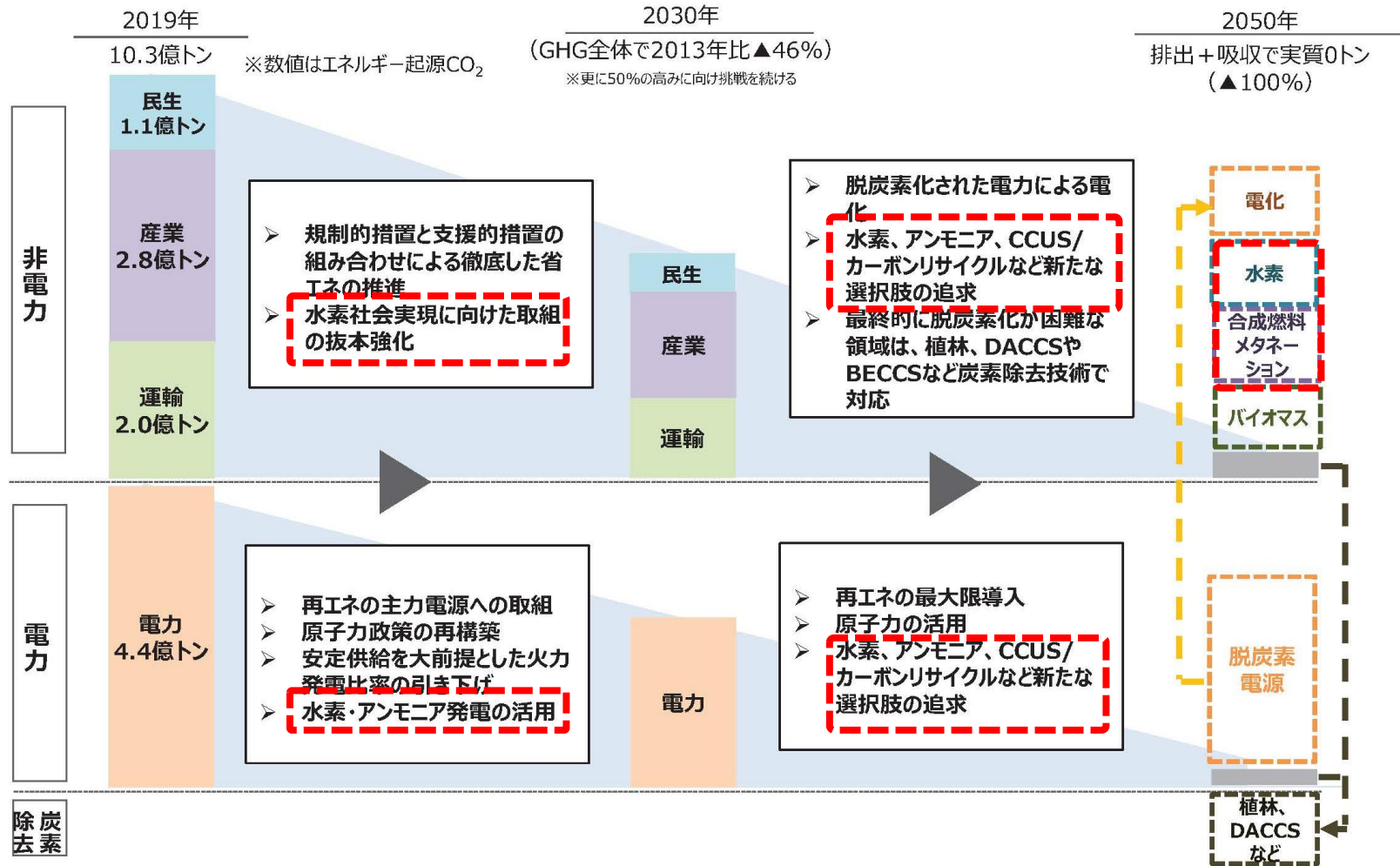
⑪カーボンリサイクル産業  
コンクリート・バイオ燃料・  
プラスチック原料

[https://www.meti.go.jp/shingikai/energy\\_environment/suiso\\_nenryo/pdf/018\\_01\\_00.pdf](https://www.meti.go.jp/shingikai/energy_environment/suiso_nenryo/pdf/018_01_00.pdf)

③水素産業のみならず②アンモニア、④原子力、⑤自動車、⑦船舶、⑧建機、⑩飛行機で水素・FC明記

# 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>7</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(+水素キャリア): 脱炭素電源の1%(2030年)、10%(2050年)、需要大幅増(2030年30→300万トン、2050年2000万トン/年(ポテンシャル: 商用車600万トン、水素発電1000万トン、水素製鉄700万トンなど))

# 水素の用途拡大(乗用車、商用車、船、航空機など)

(国・地方脱炭素実現会議、2020年12月)

## 2050年カーボンニュートラルに向けた水素等次世代エネルギーの利活用拡大 国土交通省

- 港湾・船舶分野等におけるカーボンニュートラルの実現に向け、民間事業者と連携した技術開発、実用化・導入促進を含め、水素等の次世代エネルギーの利活用拡大を図る。

### 港湾分野におけるカーボンニュートラルポートの形成

- 物流・産業の拠点である港湾において、港湾荷役機械の燃料電池化など、水素等の次世代エネルギー需要を一体的に創出
- エネルギーの大量輸入・貯蔵、利活用を図るとともに、脱炭素化に配慮した港湾機能の高度化等を通じて「カーボンニュートラルポート」を形成



### 燃料電池自動車の普及促進

- 経済産業省や環境省と連携し、燃料電池タクシーを含め、次世代自動車の事業用車両の導入補助等を実施



燃料電池自動車

### 燃料電池鉄道車両の開発

- 燃料電池鉄道車両の実用化に向け、技術基準との適合確認など、安全性の確保に係る取組を実施



燃料電池鉄道車両のイメージ

### 船舶分野におけるカーボンニュートラルの実現

- 2028年までのゼロエミッション船の商業運航実現を目指し、ガス燃料船等の開発・実用化に向けた取組を加速
- 我が国造船・海運業の国際競争力の強化と海上輸送のカーボンニュートラルを実現



### 航空分野におけるカーボンニュートラルの実現

- 持続可能な航空燃料の導入促進、エコエアポートの推進等を通じて、航空分野におけるカーボンニュートラルを実現

本邦航空会社による持続可能な航空燃料を使用した商用運航



燃料電池フォークリフト

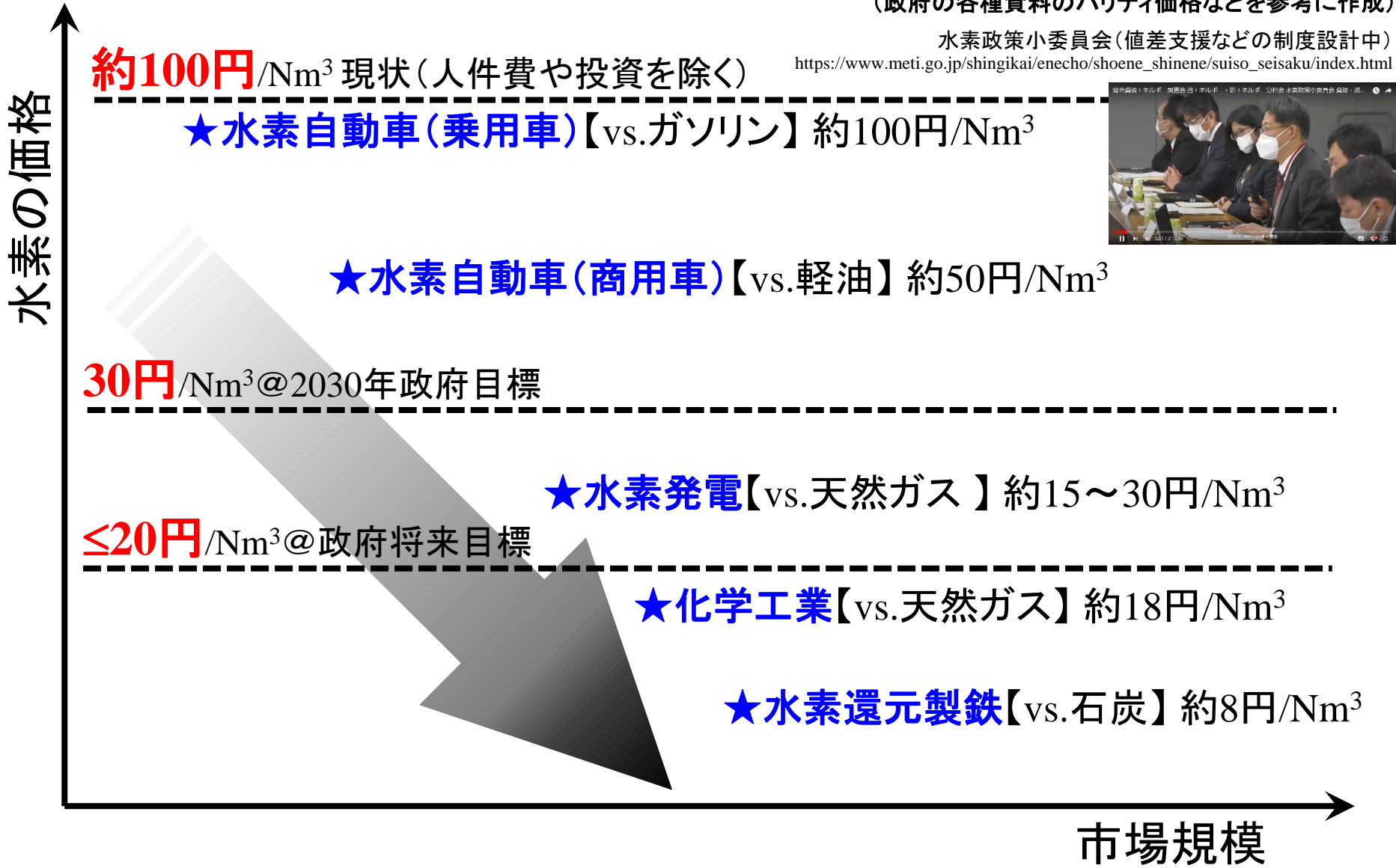


# 経済：水素価格と用途拡大(輸送⇒発電⇒化学⇒製鉄)

(政府の各種資料のパリティ価格などを参考に作成)

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)



水素価格低下に伴って用途拡大。環境価値等は今後変動

# 供給：水素キャリア（液化水素、有機ハイドライド、アンモニア、メタン）

（第25回 水素・燃料電池戦略協議会、2021年3月）

水素を極低温（20K）で液化して船等で運搬

トルエンに水素を化合させたメチルシクロヘキサン（MCH）をケミカルタンカーで運搬

石炭火力発電所の排ガス浄化で使っているアンモニア（NH<sub>3</sub>）を燃料として使用

CO<sub>2</sub>フリー水素と回収CO<sub>2</sub>からのCNメタンを作って、既存の都市ガスインフラ活用

キャリア	液化水素	MCH	アンモニア	メタネーション
体積(対常圧水素)	約1/800	約1/500	約1/1300	約1/600
液体となる条件、毒性	-253℃、常圧 無毒	常温常圧 トルエンは毒性有	-33℃、常圧等 毒性、腐食性有	-162℃、常圧 無毒
直接利用の可否	N.A.(化学特性変化無)	現状不可	可（石炭火力混焼等）	可（都市ガス代替）
高純度化のための追加設備	不要	必要（脱水素時）		
特性変化等のエネルギーロス	現在:25-35% 将来:18%	現在:35-40% 将来:25%	水素化:7-18% 脱水素:20%以下	現在: -32%
既存インフラ活用可否	国際輸送は不可（要新設）。国内配送は可	可（ケミカルタンカー等）	可（ケミカルタンカー等）	可（LNGタンカー、都市ガス管等）
技術的課題等	大型海上輸送技術（大型液化器、運搬船等）の開発が必要	エネルギーロスの更なる削減が必要	直接利用先拡大のための技術開発、脱水素設備の技術開発が必要	製造地における競争的な再エネ由来水素、CO <sub>2</sub> 供給が不可欠

出典：IEA, the Future of Hydrogen等に基づき、資源エネルギー庁作成

[https://www.meti.go.jp/shingikai/energy\\_environment/suiso\\_nenryo/pdf/025\\_01\\_00.pdf](https://www.meti.go.jp/shingikai/energy_environment/suiso_nenryo/pdf/025_01_00.pdf)

35

産業用ガス会社！

石油会社！

電力会社！

ガス会社！

各水素キャリアのメリットと課題を踏まえて、並行して技術開発を進め、適材適所で利活用

# 化石資源価格高騰 vs. 再エネ価格低下 (ENEOS)

## 実現に向けた課題

## グリーン水素とブルー水素の将来コスト想定

- 足元ではグリーン水素よりブルー水素が相対的に安価だが、近い将来、**再エネ電力の低コスト化**や**技術革新**（水電解装置コストダウン・電解効率向上等）に伴い、**グリーン水素がコスト優位**となる見込み。
- ブルー水素は原料となる化石資源の価格高騰リスク**があり、**適正価格での安定供給に懸念**がある。
- 諸外国は、**有望なグリーン水素源の確保を狙っており**、**日本も早期に参入する必要**がある。

### <水素資源国における水素製造コスト見通し<sup>1)</sup>>

水素コスト増減要因	
グリーン水素	電力単価の低減
	水電解装置コストの低減
	水電解効率の向上
ブルー水素	天然ガス価格変動

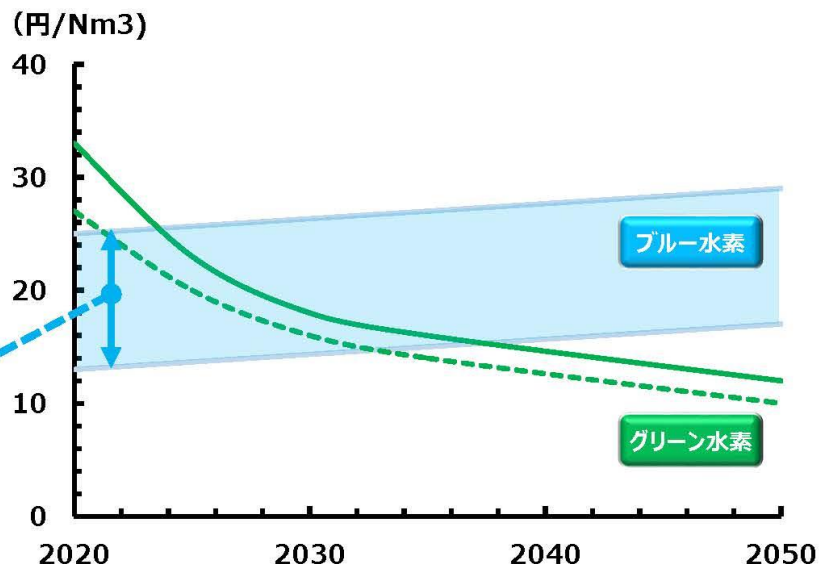
天然ガス価格変動<sup>2)</sup>(2015年～2020年)

→ 2~5\$/mmBtuの変動

→ ブルー水素コスト換算で、10円/Nm<sup>3</sup>-H<sub>2</sub>変動

1) IRENA\_Global\_Renewables\_Outlook\_2020を参考

2) Natural gas, U.S.



**化石資源**: 脱炭素で投資減少、ウクライナ情勢で化石資源価格が高騰・供給不足  
**再エネ**: ESG投資増加、技術革新で価格は着実に低下

# 水素に係る海外動向（世界各国が投資急拡大・日本を猛追）

- EUやドイツやオランダ、豪州など多くの国で**水素の国家戦略が策定**されるなど、世界中で取組が本格化。
- 脱炭素化が困難な**商用車（HDV）**や**産業分野での水素利用**や、**水素発電の導入**、**水素輸入に向けたサプライチェーンの検討**等の動きが進展。

## ドイツ

- **2020年6月に国家水素戦略を策定。国内再エネ水素製造能力の目標を設定**（2030年5GW等）。
- 2020年6月3日に採択した経済対策において、国内の水素技術の市場創出に70億ユーロ、国際パートナーシップ構築に20億ユーロの助成を予定。
- 水電解による水素製造設備に対して、**再エネ賦課金を免除**。加えて、**再エネ由来水素等の大規模輸入に向けたサプライチェーン構築事業（H2 Global）**を実施予定。
- **大型FCトラック**向けの水素充填インフラ構築を支援。

## 米国

- 新車販売の一定割合をZEVとする規制の下、**カリフォルニア中心にFCVの導入が進展（8000台超）**。2024年からは**商用車もZEV規制適用**開始。
- ユタ州のでグリーン水素を活用した**大型水素発電プロジェクト**を計画。2025年に水素混焼率30%、2045年に100%専焼運転を目指す。（三菱重工がガスタービン設備を受注）
- ロサンゼルス港の**ゼロエミッション化**に向けた構想の一環で、大型輸送セクターでの水素利用の検討が進む。
- DOEは**大型FCトラック**の開発を支援。
- 2022年2月に**地域クリーン水素ハブ**や、**クリーン水電解プログラム**などに**総額約100億ドル**を拠出することを発表



## EU

- **2020年7月に水素戦略を発表**。
- 2030年までに**電解水素の製造能力を40GW**を目指す。
- 暫定的に、低炭素水素(化石+CCUS)も活用を志向するが、長期的には再エネ水素のみを「**グリーン水素**」と定義。
- **水素パイプラインの整備に必要な制度改革**に着手。
- 官民連携による**グリーン水素アライアンス**を立ち上げ。
- 輸送分野では、**HDVでの水素利用**を重視。

## フランス

- **2020年9月に水素戦略を改訂**。
- 2030年までに**電解装置6.5GW**の設置を目指す。
- 水素の生産に使用する電力としては、**再生可能エネルギー**および**原子力発電**由来の電力を想定。
- 産業に加え、**FCトラック**が水素活用先の優先項目に。



## 中国

- 2020年に業界団体(中国汽車工程学会)が、野心的なFCVの普及目標を策定(2030年100万台)。
- **商用車中心に、約9000台が導入済**(21年末)。また、水素ステーション数は世界最大の178箇所(22年1月)
- **燃料電池等のサプライチェーン整備**を目的とし、中央政府がモデル都市(5都市群)を選定し、**FCV等の技術開発・普及状況に応じて奨励金を与える政策**を実施中

水素政策小委員会(2022年3月29日)資料: [https://www.meti.go.jp/shingikai/enecho/shoene\\_shinene/suiso\\_seisaku/pdf/001\\_03\\_00.pdf](https://www.meti.go.jp/shingikai/enecho/shoene_shinene/suiso_seisaku/pdf/001_03_00.pdf)

①**国家戦略策定**、②**大型公的支援**、③**水電解**、④**商用車(HDV)**

# 法律上の“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)



- (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。

# 安定的なエネルギー需給構造の確立を図るための エネルギーの使用の合理化等に関する法律等<sup>(※)</sup>の一部を改正する法律の概要

(2022年5月13日可決成立、14  
2023年4月施行)

※エネルギーの使用の合理化等に関する法律、エネルギー供給構造高度化法（高度化法）、JOGMEC法、鉱業法、電気事業法

## 背景

- ✓ 第6次エネルギー基本計画（2021年10月閣議決定）を踏まえ、「**2050年カーボンニュートラル**」や**2030年度の野心的な温室効果ガス削減目標の実現に向け、日本のエネルギー需給構造の転換を後押し**すると同時に、**安定的なエネルギー供給を確保**するための制度整備が必要。

## 法律の概要

- ✓ **省エネの対象範囲の見直しや非化石エネルギーへの転換促進、脱炭素燃料や技術への支援強化、電源休廃止時の事前届出制の導入や蓄電池の発電事業への位置付け**等の措置を講ずることで、①需要構造の転換、②供給構造の転換、③安定的なエネルギー供給の確保を同時に進める。

### (1) 需要構造の転換（エネルギーの使用の合理化等に関する法律）

- ① **非化石エネルギーを含むエネルギー全体の使用の合理化**
  - 非化石エネルギーの普及拡大により、供給側の非化石化が進展。これを踏まえ、**エネルギー使用の合理化（エネルギー消費原単位の改善）の対象に、非化石エネルギーを追加**。化石エネルギーに留まらず、エネルギー全体の使用を合理化
- ② **非化石エネルギーへの転換の促進**
  - 工場等で使用するエネルギーについて、**化石エネルギーから非化石エネルギーへの転換（非化石エネルギーの使用割合の向上）を求め**る
  - 一定規模以上の事業者に対して、**非化石エネルギーへの転換に関する中長期的な計画の作成を求め**る
- ③ **ダイヤモンドリスポンス等の電気の需要の最適化**
  - 再エネ出力制御時への需要シフトや、需給逼迫時の需要減少を促すため、**「電気需要平準化」を「電気需要最適化」に見直し**
  - 電気事業者に対し、**電気需要最適化に資するための措置に関する計画（電気需要最適化を促す電気料金の整備等に関する計画）の作成等を求め**る

### (2) 供給構造の転換（高度化法、JOGMEC法、鉱業法）

- ① **再生可能エネルギーの導入促進**
  - JOGMECの業務に、**洋上風力発電のための地質構造調査等**を追加
  - JOGMECの出資業務の対象に、**海外の大規模地熱発電等の探査事業（経済産業大臣の認可が必要）**を追加
- ② **水素・アンモニア等の脱炭素燃料の利用促進**
  - 位置づけが不明瞭であった**水素・アンモニアを高度化法上の非化石エネルギー源として位置付け**、それら脱炭素燃料の利用を促進（高度化法）
  - JOGMECの出資・債務保証業務の対象に、**水素・アンモニア等の製造・液化等や貯蔵等**を追加
- ③ **CCS<sup>※</sup>の利用促進**
  - JOGMECの出資・債務保証業務等の対象に**CCS事業及びそのための地層探査**を追加
  - 火力発電であってもCCSを備えたもの（CCS付き火力）は高度化法上に位置付け**、その利用を促進（高度化法）
- ④ **レアアース・レアメタル等の権益確保**
  - レアアースを鉱業法上の鉱業権の付与対象に追加**し、経済産業大臣の許可がなければ採掘等できないこととする（鉱業法）
  - JOGMECの出資・債務保証業務の対象に、**国内におけるレアメタル等の選鉱・製錬**を追加

※Carbon dioxide Capture and Storage(二酸化炭素を回収・貯蔵すること)

### (3) 安定的なエネルギー供給の確保（電気事業法）

- ① **必要な供給力（電源）の確保**
  - 発電所の休廃止が増加し、安定供給へのリスクが顕在化している状況を踏まえ、発電所の休廃止について事前に把握・管理し、必要な供給力確保策を講ずる時間を確保するため、**発電所の休廃止について、「事後届出制」を「事前届出制」に改める**
  - 脱炭素化社会での電力の安定供給の実現に向けて、**経済産業大臣と広域的運営推進機関（広域機関）が連携し、国全体の供給力を管理する体制を強化**
- ② **電力システムの柔軟性向上**
  - 脱炭素化された供給力・調整力として導入が期待される「**大型蓄電池**」を電気事業法上の「**発電事業**」に位置付け、**系統への接続環境を整備**

※上記のほか、JOGMECによる事業者に対する情報提供や石油精製プロセスの脱炭素化などの措置を講ずる。

経済産業省HP <https://www.meti.go.jp/press/2021/03/20220301002/20220301002.html>

## ①水素・アンモニア等の脱炭素燃料の利用促進

- 水素やアンモニアの利用等を発電や輸送・産業分野で拡大するためには、国内での製造を促進するとともに、LNGと同様、製造・液化等・輸送・貯蔵等に至る国際バリューチェーンの構築が必要。民間企業による海外での操業リスク低減を図るため、**JOGMECが水素やアンモニア等の製造・液化等や貯蔵等への出資・債務保証を行う。**
- エネルギー供給事業者に対して**水素・アンモニア**の利用を促進するため、それらを高度化法上の**非化石エネルギー源として位置付け、エネルギー供給事業者に水素・アンモニアを含めた非化石エネルギー源の利用に関する計画の作成を求める。**
- 石油精製業者に対して環境負荷の低減に配慮した取組を促進するため、化石エネルギー原料の有効な利用の定義を改め、**精製プロセスへの水素の導入やアンモニア混焼といった脱炭素燃料の使用を含めた計画の作成を求める。**

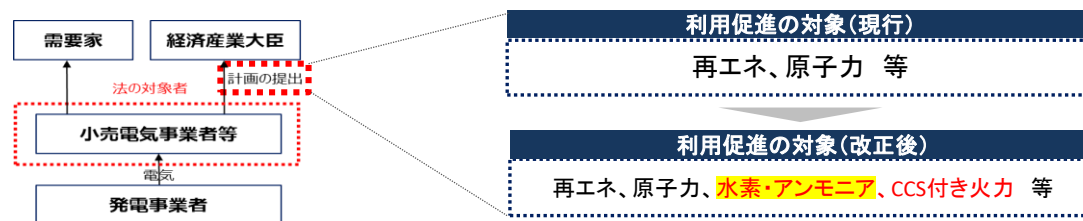
## ②CCSの利用促進

- CCS事業については、正確な貯留量の把握が困難といった地下リスクがあるため、**JOGMECがCO<sub>2</sub>の貯蔵及びそのための地層探査への出資・債務保証等を行う。**
- 電気事業者に対してCCS付き火力発電の利用を促進するため、高度化法上、**電気事業者が作成することが義務づけられている計画にCCS付き火力発電の利用を記載できることとする。**

### 水素等の製造、CCS事業支援の業務追加（国内事業も支援対象）



### 高度化法のスキーム（例：電気事業者）



# 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）



# 商用サプライチェーン構築に向けた主要な論点と基本的な方向性（案）

論点	基本的な方向性案
①政策的位置づけ・役割	<ul style="list-style-type: none"> <li>他脱炭素技術（ゼロエミ電源、CCUS等）と比した水素・アンモニアの競争力には注視しつつも、<b>2030年に最大300万トン/年の水素供給量、水素・アンモニアで電源構成1%を目指し、新規のサプライチェーンの構築を支援することとし、自主的な市場の形成が進んでいるか、コスト低減の状況などを定期的に検証するとともに、状況変化に応じて必要な見直しを行う。</b></li> </ul>
②支援対象の水素等	<ul style="list-style-type: none"> <li>水素・アンモニアの<b>供給関連技術の技術的な成熟度に留意し、その中で費用対効果最大化の観点から競争を促しつつも、製造源・調達先を限定せず支援する。</b></li> <li>また、<b>需要断面では水素の由来を問わず利活用を推奨するものの、新たに構築を支援するサプライチェーンには、何らかのCO2排出量の閾値等を設定する方向で、国際情勢等も踏まえつつ、詳細検討（※）を行う。</b> ※CO2閾値そのものだけでなく、その測定方法、いつから各事業に閾値の達成を求めるかなども含めて検討予定</li> </ul>
③支援方法	<ul style="list-style-type: none"> <li>水素・アンモニアの<b>用途先を原則制限しない方向で検討を行う。</b>ただし、各分野における水素等の優位性や、事業者のコミットメントなどに十分留意すべく、必要に応じて、<b>様々な脱炭素手段から、費用対効果を見極めて技術を選択する需要側からもヒアリング</b>を行いながら、今後の詳細検討を進める。</li> </ul>
④考慮すべきリスク	<ul style="list-style-type: none"> <li>水素供給事業に付随する<b>販売価格が供給コストを下回り(価格リスク)、かつ販売量も少ない(量的リスク)</b>というリスクを軽減し、<b>事業の予見性・安定性を確保するための長期契約等の仕組みを検討する。</b></li> <li>長期契約に基づき、<b>事業者が負うリスクに対して過剰なレントが生じることを防ぐ観点からも、官民でのリスクシェアのあるべき姿を、英・独などの先行検討事例を踏まえつつ、今後詳細を検討する。</b></li> </ul>
⑤事業者等による供給コスト等の低減	<ul style="list-style-type: none"> <li>商用サプライチェーン構築のための支援に際しては、前項論点④の適切な官民でのリスクシェアの在り方にも留意しつつも、<b>事業者等に継続的な供給コストの低減を促すメカニズムを導入する。</b></li> <li>ただし、<b>その手法（目標価格・上限価格の設定、競争入札の実施等）は市場の成熟度合や想定される事業者数などを見極めつつ、詳細を検討する。</b></li> </ul>
⑥他政策との関係	<ul style="list-style-type: none"> <li>製造から輸送・貯蔵、利用に至るバリューチェーン構築のためには、<b>他政策との重複性・補完性を意識しつつ、それらとの適切な棲み分け図り、相乗効果を最大限図る。</b></li> </ul>
⑦開始時期	<ul style="list-style-type: none"> <li><b>事業者の大規模投資決断時期に必要な予見性を確保するための詳細設計を完了し、出来るだけ早期に支援を開始</b>することを旨とする。</li> </ul>

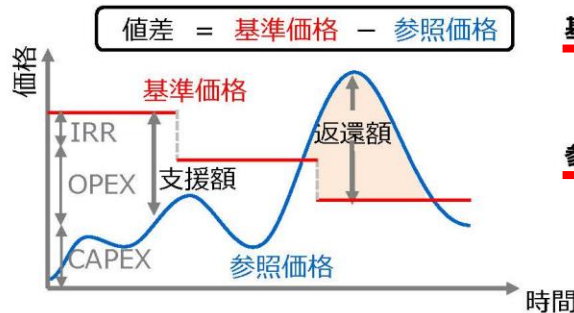
# 1. 強靱な大規模サプライチェーン構築に向けた支援制度

## 強靱な大規模サプライチェーン構築に向けた基本的な考え方

- 本制度では、現在供給コストが高価である水素・アンモニアに対し、**市場型の支援策**を講じることで、強靱な大規模サプライチェーンの構築を通じ、水素・アンモニアの**自立した市場の形成**を目指す。
- 第6次エネルギー基本計画において、**S+3E**を原則とした**エネルギー政策の重要性**が確認されたところ、我が国の次世代エネルギーである水素・アンモニアサプライチェーンの構築に向けた基本的な考え方もこれに則り、**安全性、安定供給、環境性、経済性を前提とした制度**とする。
- 水素・アンモニアをとりまく将来の見通しが不透明な状況においても、他の事業者に先立って自らリスクを取り投資を行い、**2030年頃までに水素・アンモニア供給を開始する予定である事業者（ファーストムーバー）をS+3Eの観点から選定し、優先して後押し**していく。彼らの**事業の予見性を高め、大規模な投資を促す**。

## 支援制度イメージ

- 事業者が供給する水素に対し、**基準価格と参照価格の差額**（の一部または全部）を支援。また、一定年数経過時点ごと**基準価格を実績と見通しに合わせて見直す機会**（例：5年）を設ける。

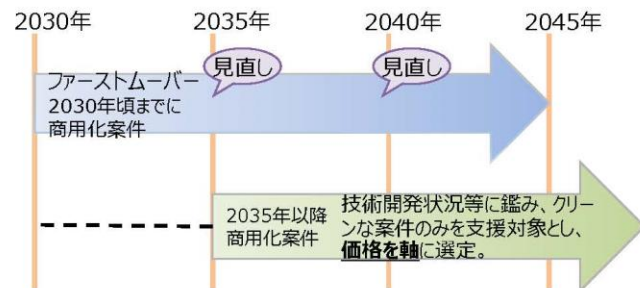


**基準価格**：単位販売量あたりの対価として、その水準での収入があれば**事業継続に要するコストを合理的に回収でき、かつ適正な収益を得ることが期待される価格**。

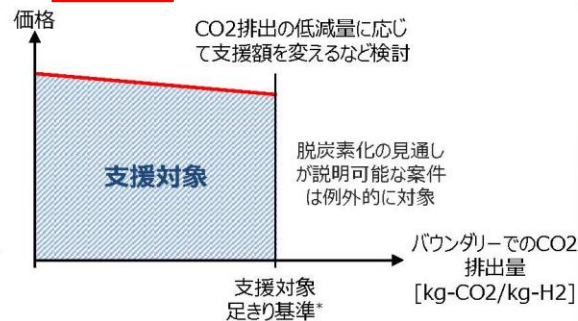
**参照価格**：既存燃料のバリエーション価格\*を基礎として設定される価格。**水素はLNG価格、アンモニアは石炭価格をそれぞれ参照する。**

\*バリエーション価格：水素等と比較して、同じ熱量もしくは仕事を得るのに必要な燃料の市場価格

- 選定されたファーストムーバーについて、**支援期間は15年**（状況に応じて20年）とする。



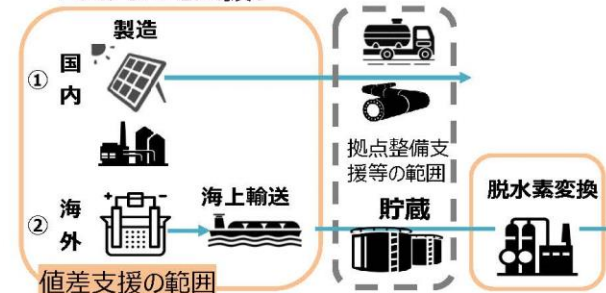
- 原則として**クリーンな水素・アンモニアが支援の対象**。



\*国際的に遜色のない基準を求めていく。

## 支援範囲

- ①国内製造、②海外製造・海上輸送に加え、国内貯蔵後の脱水素設備等での変換コストまでを支援。



## 案件の選定

- ファーストムーバーの選定に際しては、**中立性、透明性が担保される環境で、S+3Eを前提とした総合的な評価軸のもと、戦略的に案件の選定を行う**。

### 国内事業の支援

- **エネルギー安全保障の観点から、国内においても大規模にサプライチェーンを構築し、価格低減が見込まれる案件については、自治体等のコミットを要件とした上で、優先して支援することとする**。

## 2. 効率的な水素・アンモニア供給インフラの整備支援制度

### 基本的な考え方

- カーボンニュートラル実現に向けて、燃料や原料として利用される水素・アンモニアの安定・安価な供給を可能にする**大規模な需要創出と効率的なサプライチェーン構築**を実現するため、**国際競争力ある産業集積を促す拠点を整備**

＜今後10年間程度で整備する拠点数＞

**大規模拠点**：大都市圏を中心に**3か所程度**

**中規模拠点**：地域に分散して**5か所程度**

#### 大規模発電利用型

大規模なガス/石炭火力が単独で存在



#### 多産業集積型

石油精製・化学、製鉄等の産業集積



#### 地域再エネ生産型

再エネから水素・アンモニア製造



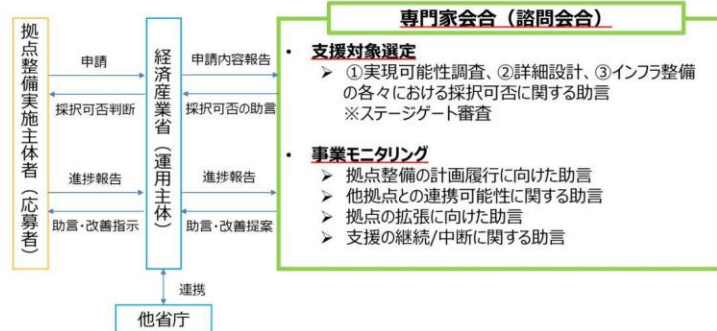
### 支援制度イメージ

- ①拠点整備の**事業性調査 (FS)** ②**詳細設計 (FEED)** ③**インフラ整備**の3段階に分けて支援。GI基金の例を参考に、**ステージゲート**を設け、**有望な地点を重点的に支援**
- 利用される技術の**技術成熟度レベル (TRL)**が**実装段階を超えてから一定の期間内に③インフラ整備の支援を行うもの**とし、それ以前に④FS支援、②詳細設計支援の期間を用意



### 制度運用

- モニタリングや審査の際に専門性、中立性が必要となるため、**政府が主体を担いつつ専門家の意見を反映させる仕組み**を検討



### 支援範囲

- 多数の事業者の水素・アンモニア利用に資する**タンク、パイプライン等の共用インフラ**を中心に支援

＜支援対象例＞



### 案件選定

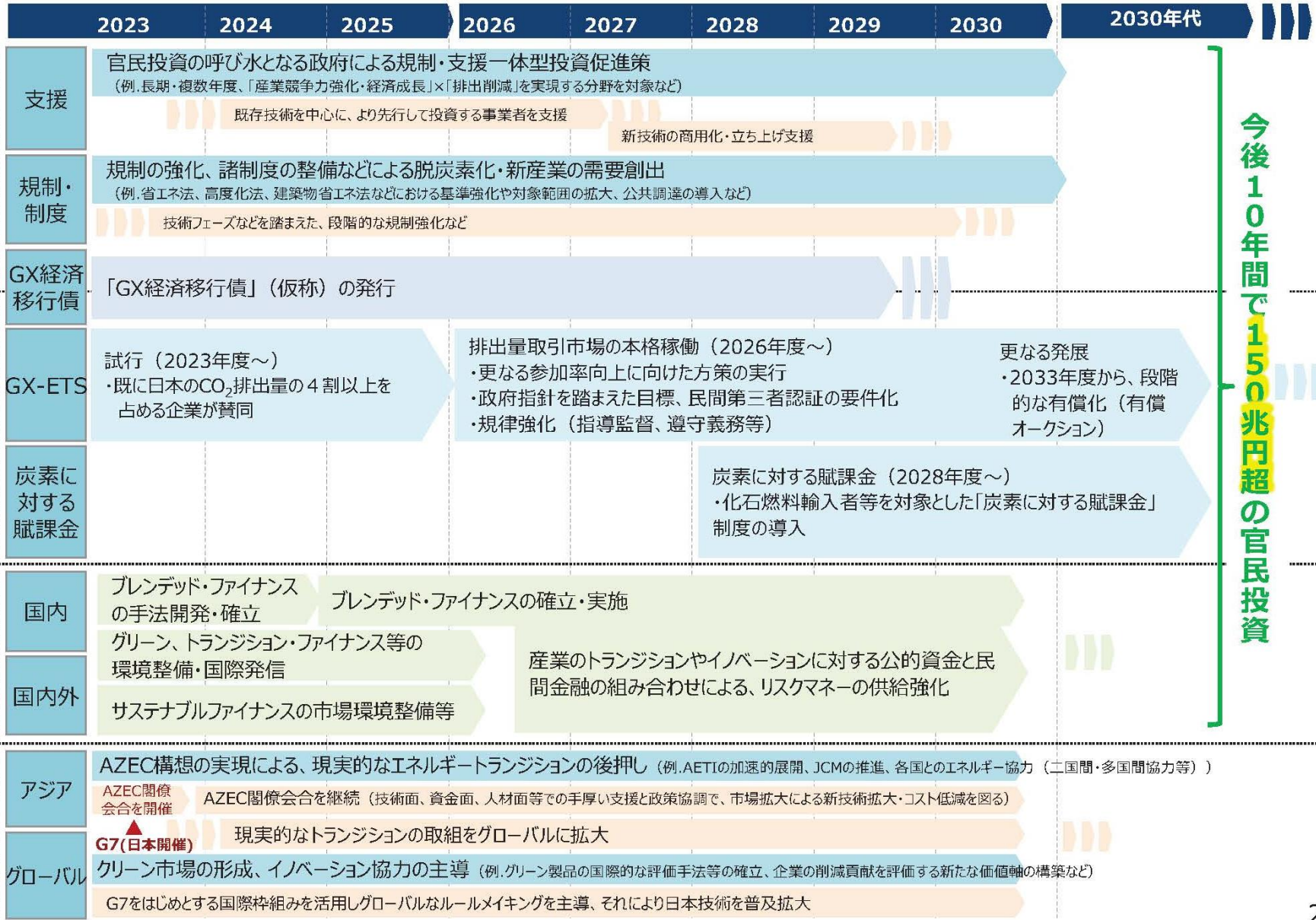
- 拠点の採択やステージゲートの審査にあたっては、**実現可能性や地域の産業構造転換・地域経済への貢献度合い、水素・アンモニア取扱量（見込み含む）、CO2削減量、イノベーション性**などの項目を中心に評価

### 他制度との連携

- 水素・アンモニアの**大規模な商用サプライチェーン構築**のためには、**サプライチェーン構築支援から拠点整備支援まで連携して支援を行うことが効果的**。そのため**拠点整備を活用する際には、サプライチェーン構築支援においても優遇**するなど、制度間の連携を図る。
- 国交省で推進する**カーボンニュートラルポート**や、GX実行会議において検討されている**製造業の燃料転換**等の支援策とも連携し、水素・アンモニアの**サプライチェーン構築**に向け、切れ目のない支援を実現する。

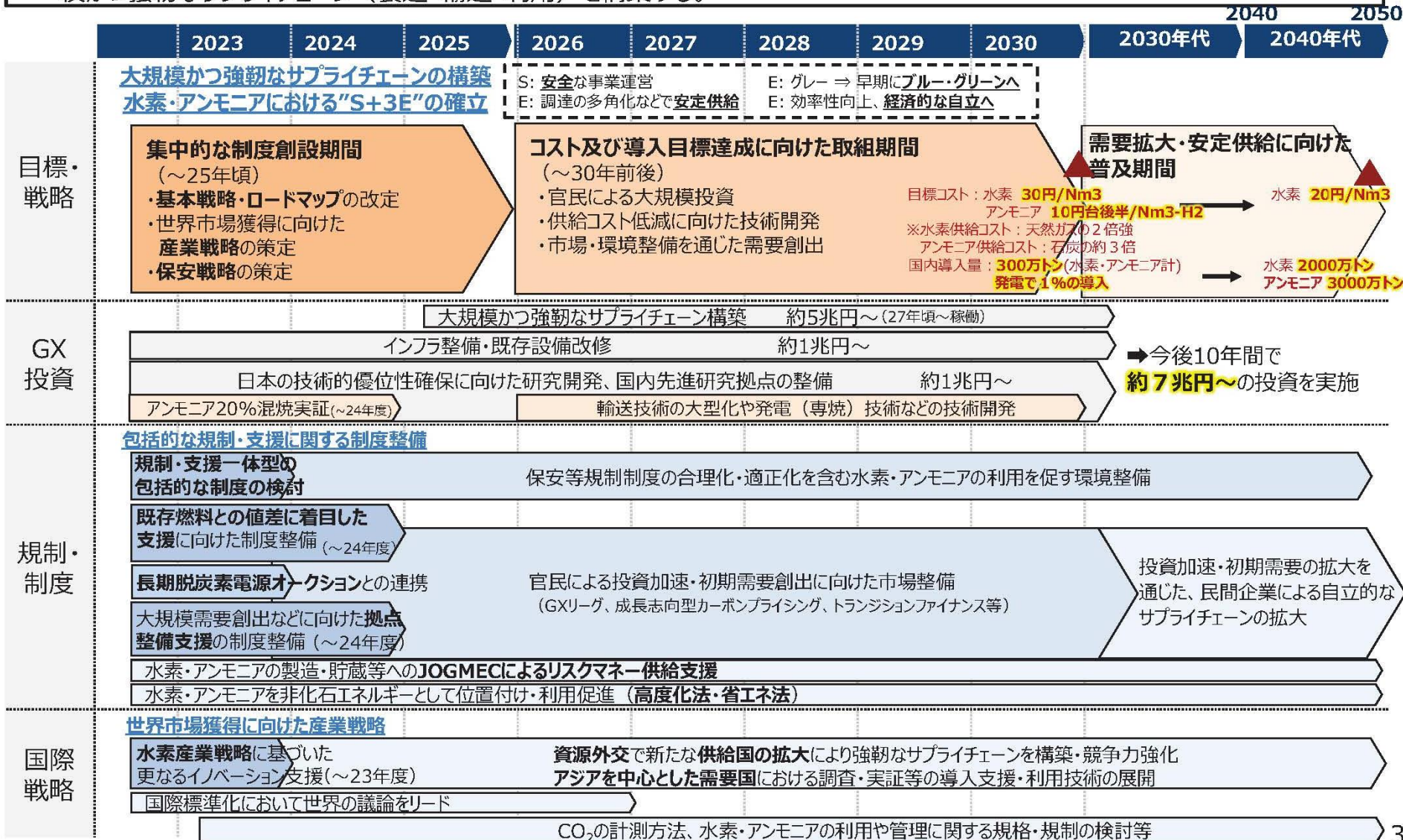
# 今後10年を見据えたロードマップの全体像

今後10年間で150兆円超の官民投資



# 【今後の道行き】 事例1：水素・アンモニア

■ 水素・アンモニアの国内導入量2030年水素300万トン・アンモニア300万トン（アンモニア換算）、2050年水素2000万トン・アンモニア3000万トン（アンモニア換算）に向け、今後10年でサプライチェーン構築支援制度や拠点整備支援制度を通じて、大規模かつ強靱なサプライチェーン（製造・輸送・利用）を構築する。



# 社会にとって「水素」とは？（産業・社会のパラダイムシフト）

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

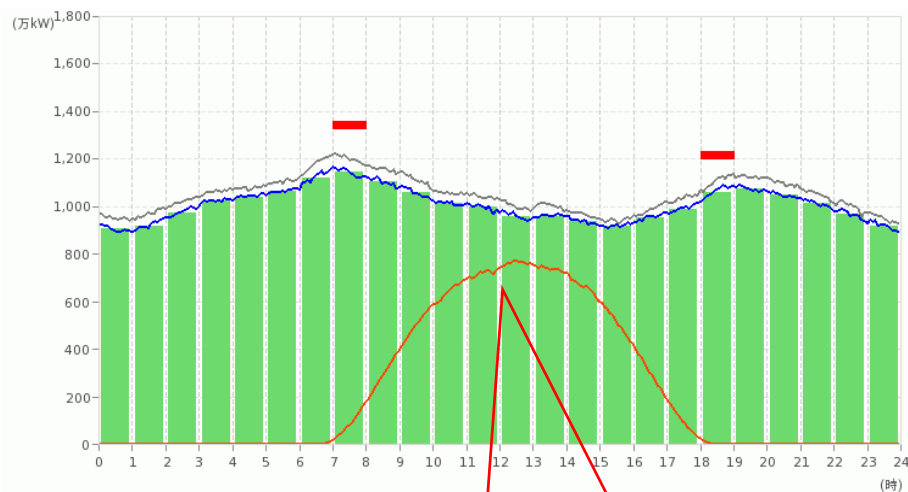
### 「水素政策小委員会・アンモニア等 脱炭素燃料政策小委員会 合同会議」

- |             |              |
|-------------|--------------|
| ● 第1回 3月29日 | ● 第4回 10月7日  |
| ● 第2回 4月18日 | ● 第5回 11月16日 |
| ● 第3回 4月27日 | ● 第6回 12月13日 |

- 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も貢献！
- 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

# 地域：再エネ導入増で電気が余る時代に(九州)

## 九州の電力需要(棒グラフ)と 太陽光発電(赤線) (2022年3月9日水曜日)

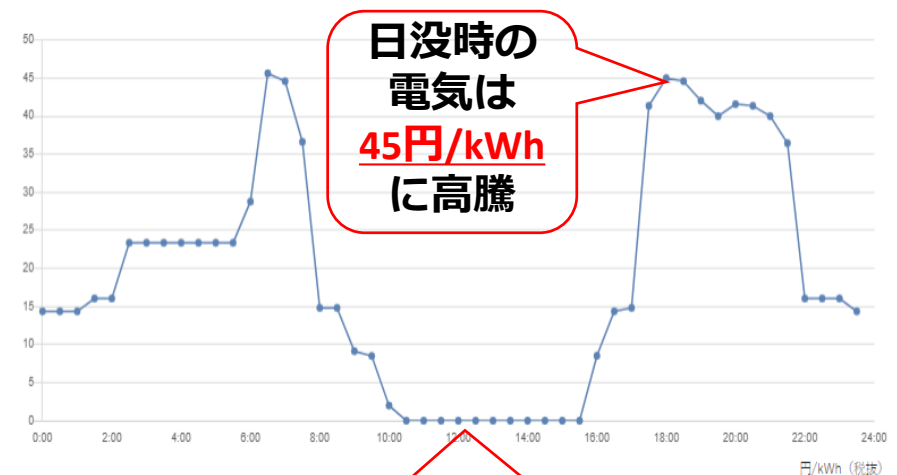


九州全体の昼間の電気の  
約 **8割** は **太陽光発電** の  
電気！

## 日本卸電力取引所: 九州エリアプライス (2022年3月9日水曜日)

< 前日 > 2022年3月9日(水) 翌日 > □ 上限値の固定: 5 ▼ □ インバランス料金を表示

全時間帯の平均単価	19.10 円/kWh	8~22時の平均単価	16.41 円/kWh	最安単価	10:30+	0.01 円/kWh
		13~16時の平均単価	0.01 円/kWh	最貴単価	6:30	45.62 円/kWh



日没時の  
電気は  
**45円/kWh**  
に高騰

昼間の数時間  
(10:30-15:30) の電気は  
**0.01円/kWh**

# 地域：九州の再エネポテンシャル

例：九州本土の再生可能エネルギーの接続・申込状況

- 接続可能な再生可能電力量(太陽光:817万kW、風力:180万kW)を超える再エネ電力接続検討申込⇒計3458万kW (vs.最大電力需要:1000万kW前後)
- 太陽光発電のみならず、最近では昼夜に発電する風力発電の接続検討が増加

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(2022年11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	920	20	1	1	996
接続契約申込み	21	311	4	4	1	341
承諾済	248	220	69	13	4	553
接続契約申込及び承諾済(再掲)	269 【238】	531 【475】	72	18	5	894
接続済	1,139 【375】	63 【0.87】	154	187	24	1,567
合計	<u>1,462</u>	<u>1,514</u>	246	206	29	<u>3,458</u>

※合計は四捨五入の関係で合わないことがある

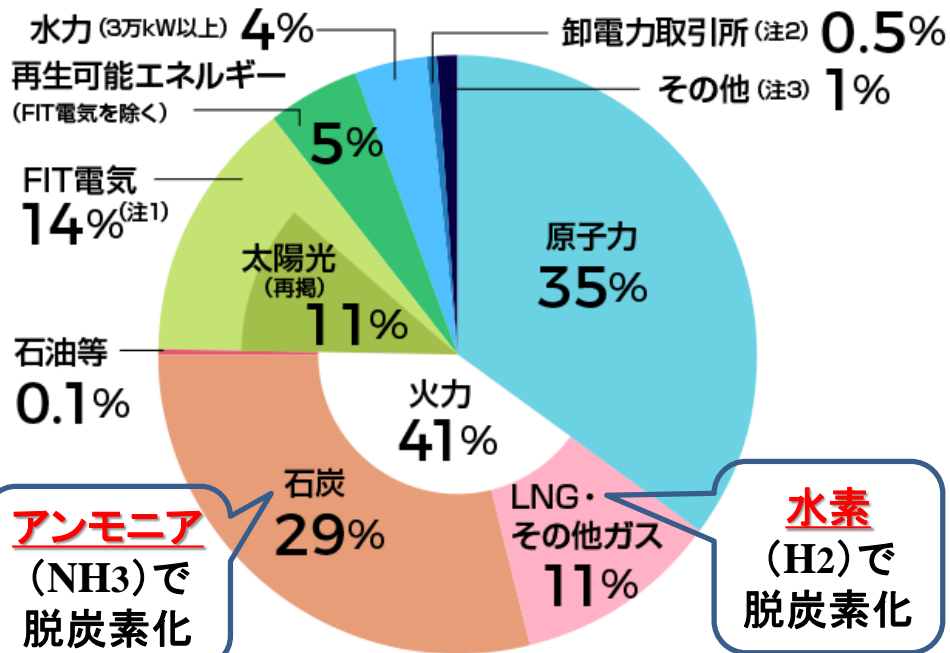
※【 】は、指定ルールにおける出力制御対象分 九州電力送配電ホームページ([https://www.kyuden.co.jp/td\\_renewable-energy\\_application\\_index](https://www.kyuden.co.jp/td_renewable-energy_application_index))



# 地域：脱炭素化への水素の貢献(九州)

脱炭素へ(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年新目標を達成済!)

(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)

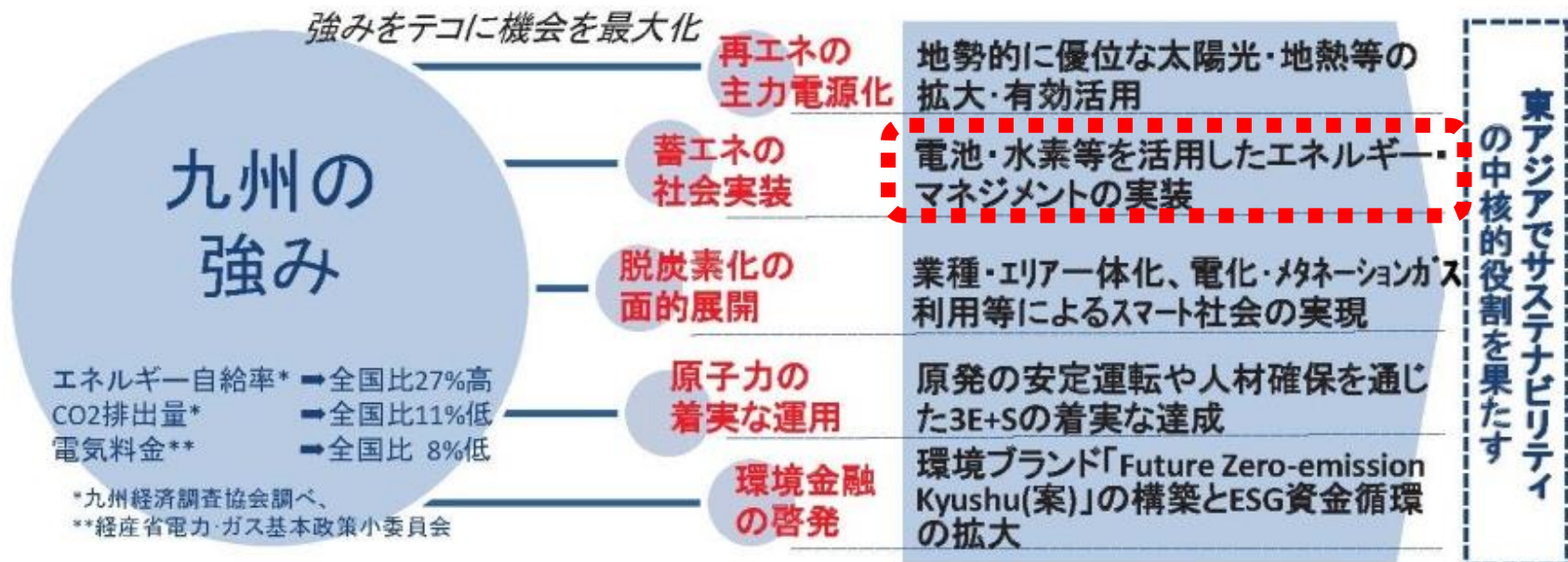
●電化と水素化のグリーン投資を地域へ。カーボンニュートラルを国際金融都市への転換や脱炭素イノベーションの好循環へ

●そのための「シンクタンク」が九大!

# 地域：脱炭素が九州の成長戦略へ（九州経済連合会）

## 九州の未来のエネルギーへの提言

世界が今世紀後半の早い段階でのカーボンニュートラル化を目指す中で、経済の根幹であるエネルギー分野において、3E+Sを着実に実施しながら、ゼロエミッション化、イノベーションの牽引、地域活性化、世界展開を九州が先導することで、日本の経済発展につなげるべき。



（出典：九州経済連合会、「九州の未来のエネルギーに関する提言書」、2020年3月4日、（一社）九州経済連合会ホームページ  
<https://www.kyukeiren.or.jp/report/index.php?category=suggestion&id=3148>）

- 九経連・麻生会長名で発出。九大(佐々木)がWG座長として本提言とりまとめに貢献。
- **脱炭素が九州の成長戦略** (九州のCO<sub>2</sub>フリー電源比率は58%。CO<sub>2</sub>フリー電力購入容易、九州での立地・生産でCO<sub>2</sub>排出を自動削減、世界的なCO<sub>2</sub>フリー調達・ESG投資に対応可)
- **政府宣言の「脱炭素化」を、九州が最速で実現可能！国内外企業の誘致の追い風**
- 九大を九州・日本の「脱炭素化シンクタンク」へ(「日本の1割経済」の牽引役！)

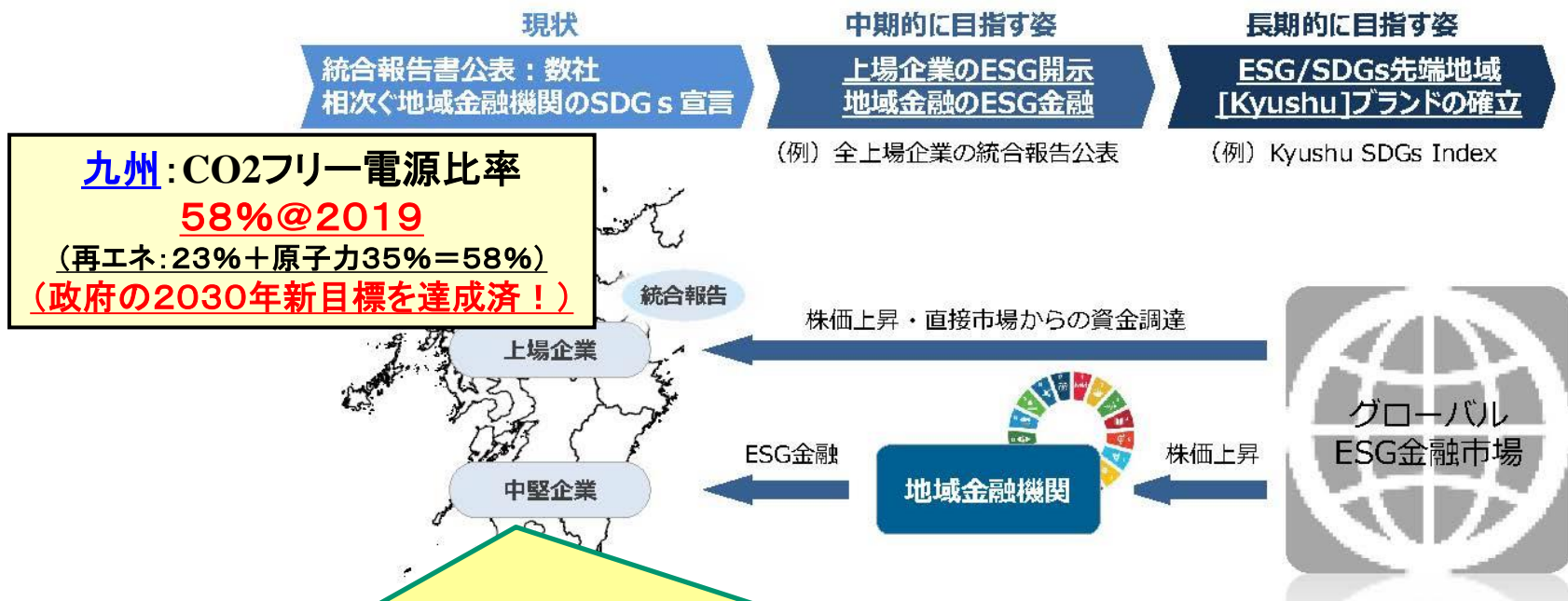
# 環境金融(例):九州経済連合会「九州の未来のエネルギーへの提言」

【戦略実行アプローチ例】

一般社団法人  
九州経済連合会

九州上場企業のESG開示を促すとともに、地域金融機関によるESG金融を進展させ、グローバル金融市場においてESG/SDGs先端地域「Future Zero-emission Kyushu(案)」ブランドを確立。

## ⑤環境金融の啓発



### “Future Zero-emission Kyushu”

- 九州での事業・生産は自動的に低炭素・脱炭素へ！(国内外からの企業誘致加速)
- 九州立地企業に国内外からESG投資が集まる！(Kyushu ESG/SDGs Index?)
- 福岡を「カーボンニュートラル国際金融都市」へ！(九大箱崎キャンパス跡地などを利活用)

# 九大水素プロジェクトの発展・展開

- **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(稲盛フロンティア研究センター)**  
 (水素に触れる材料に関する集中研)  
 (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

## 社会実装

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



**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）



**水素ハイウェイ**  
（九大水素キャンパスから、  
全国へ展開）



## 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）



**（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）



## 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）



## 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

## 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）

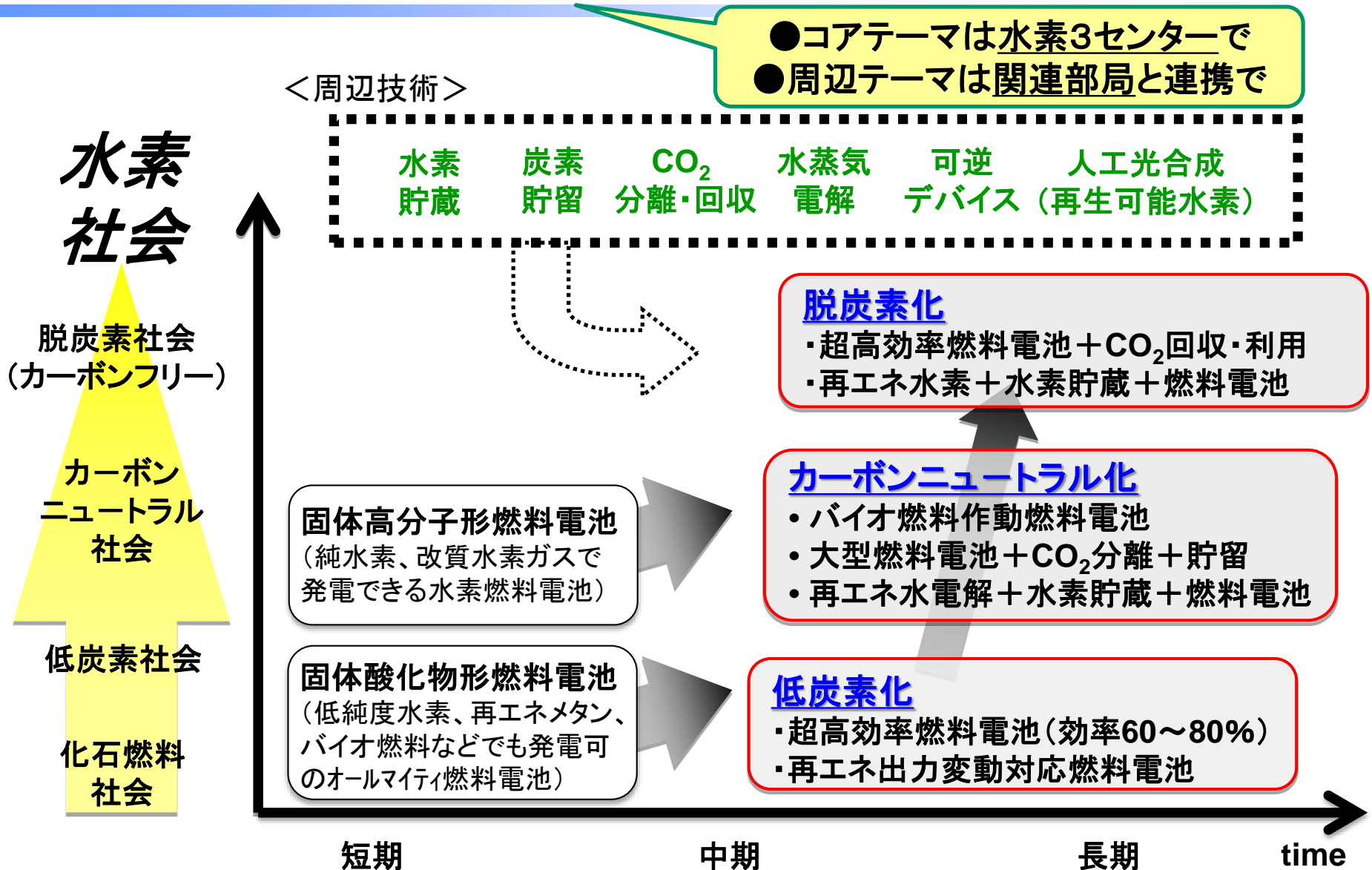


## 国際連携



**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**

# 研究：水素エネルギー工学の確立



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！



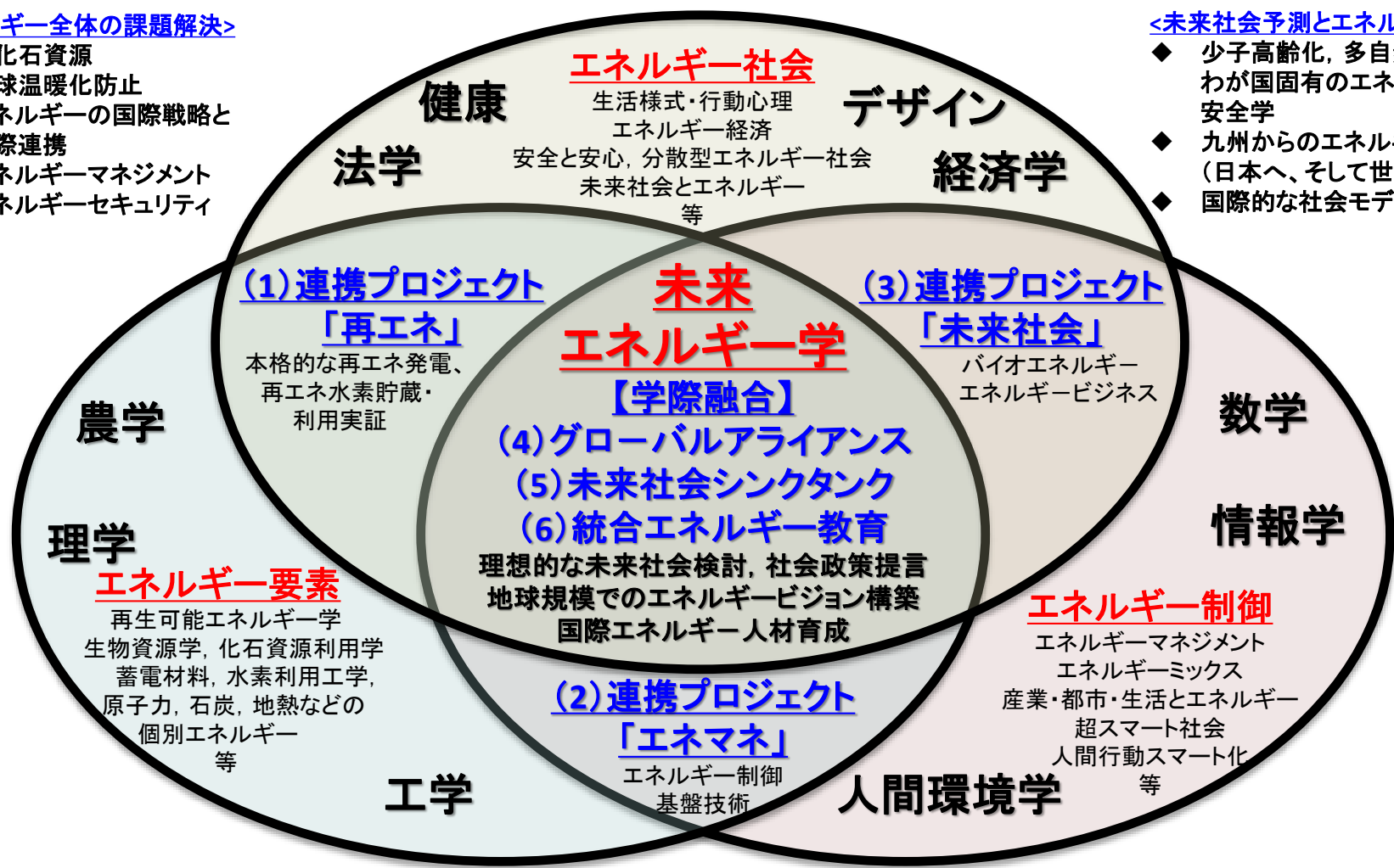
**部局の壁を取り去ったオール九大のプラットフォーム組織「機構」**  
**「あるべき未来社会」⇒個別要素研究⇔連携プロジェクト⇔学際融合**

<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)

# 大学にできること: Stanford大学の例 (世界は、はるか先へ)

- Stanford大学起源の企業群の年間売上高は約2.7 trillionドル  
(約300兆円 = 日本のGDPの半分を1大学が創生、世界10位国家規模)
- 1930年代以降、540万人の新規雇用創出と新規企業39,900社創業
- 1955～65年のTermanプロボストの戦略が「シリコンバレー」へ結実

## “Stanford Facts 2017”

A 2012 study estimates that companies formed by Stanford entrepreneurs generate world revenues of \$2.7 trillion annually and have created 5.4 million jobs since the 1930s. Stanford alumni and faculty have created 39,900 companies since the 1930s, which, if gathered collectively into an independent nation, would constitute the world's 10th largest economy. Frederick Terman, provost from 1955 to 1965, is called the “academic architect” of the high-technology region known as Silicon Valley.

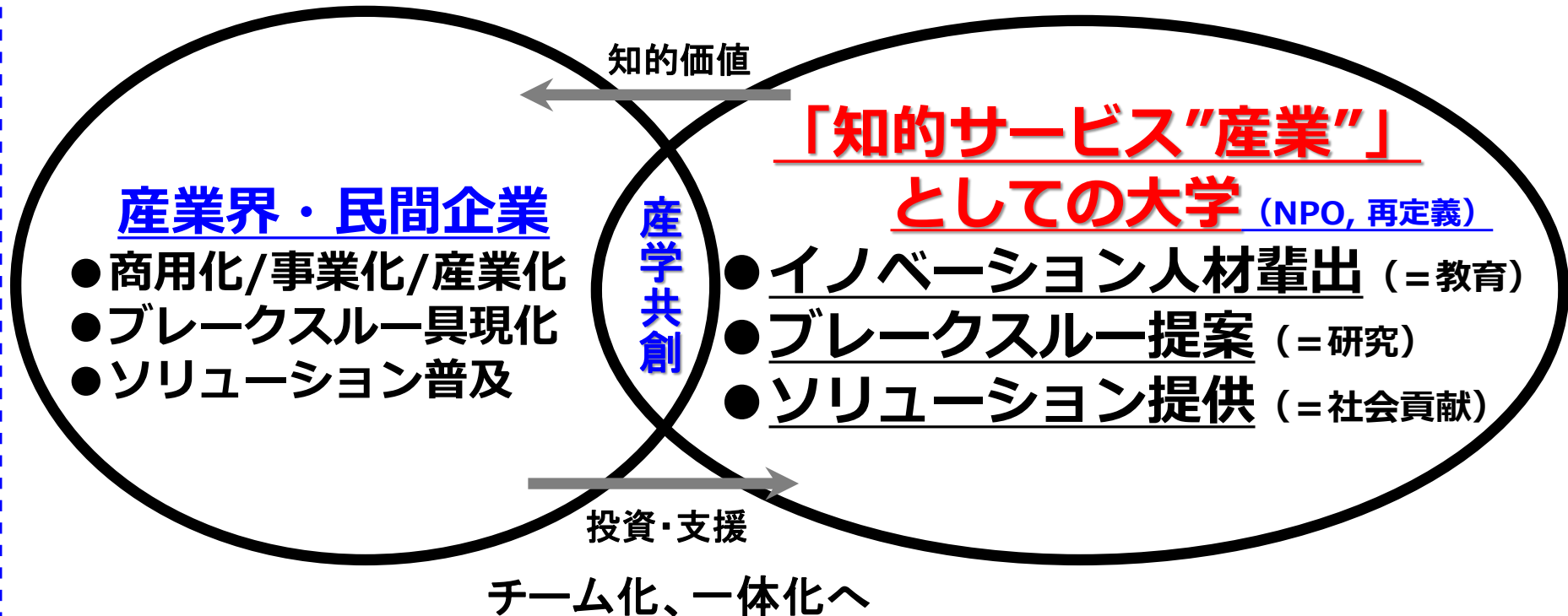
Among the companies Stanford faculty and alumni have helped create: *Atheros Communications, Charles Schwab & Company, Cisco Systems, Cypress Semiconductor, Dolby Laboratories, eBay, E\*Trade, Electronic Arts, Gap, Goodreads, Google, Hewlett-Packard Company, IDEO, Instagram, Intuit, Intuitive Surgical, Kiva, LinkedIn, Logistech, MIPS Technologies, Netflix, Nike, NVIDIA, Odwalla, One Kings Lane, Orbitz, Rambus, Silicon Graphics, StubHub, Sun Microsystems, SunPower Corp., Taiwan Semiconductors, Tesla Motors, Trader Joe's, Varian, VMware, Whole Earth Catalog, Yahoo, Zillow.*





# 展望：大学を学校から知的価値創造プラットフォームへ

世界は大学を核に成長！



- 各研究室は“研究開発会社”、“コンサル”、“人材育成サービス会社(全世代向け)”
- “産学ジョイントベンチャー”が価値・サービスを具現化(大学、国・地域、企業が投資)

「学校」⇒大学は**最高の成長産業**！社会の中で挑戦して失敗しても許される場所！  
社会・世界に開かれた**イノベーションハブ・インキュベーター・シンクタンク**へ！  
(我が国の大学：高ステータス、自己実現可能、若者の宝庫、シニアでも活躍可！)

# (個人的な)展望:九州を東アジアのスイスに!

## スイス

面積: 41,290 km<sup>2</sup>、人口: 859万人

- ♥ 永世中立
- ♥ 欧州の中心、交通の要所
- ♥ 貧しい地域(傭兵が主産業)  
⇒観光業⇒金融業⇒国際国家へ
- ♥ 最高の景観・食文化(仏伊独)
- ♥ 名目GDP/人82,484ドル(世界2位)
- × 物価は高い



## 九州

面積: 42,231 km<sup>2</sup>、人口: 1275万人

- ♥ 政治的に安定 (vs. 香港、韓国)
- ♥ 東アジアの中心、交易の玄関口
- ♥ 都から離れた地⇒工業・半導体  
⇒観光業⇒脱炭素地域???
- ♥ 快適な環境・食文化(肉、魚..)
- ♥ 日本の1割経済(日本のGDP/人は40,256ドル、世界25位@2019)
- ♥ 物価も安い

