

発表No.E-12

契約件名

水素社会構築技術開発事業／総合調査研究／

**水素エネルギー導入価値評価手法に関する調査研究  
(中間報告)**

発表者 桑島 修一郎

団体名 国立大学法人京都大学  
国立大学法人九州大学

発表日 2022年7月29日

連絡先：

- ・ 京都大学 A30gaibushikinukeire@mail2.adm.kyoto-u.ac.jp
- ・ 九州大学 jyutaku@jimu.kyushu-u.ac.jp

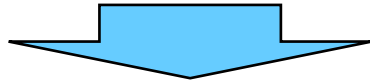
# 1. 調査の背景・目的

## 背景・目的

我が国は

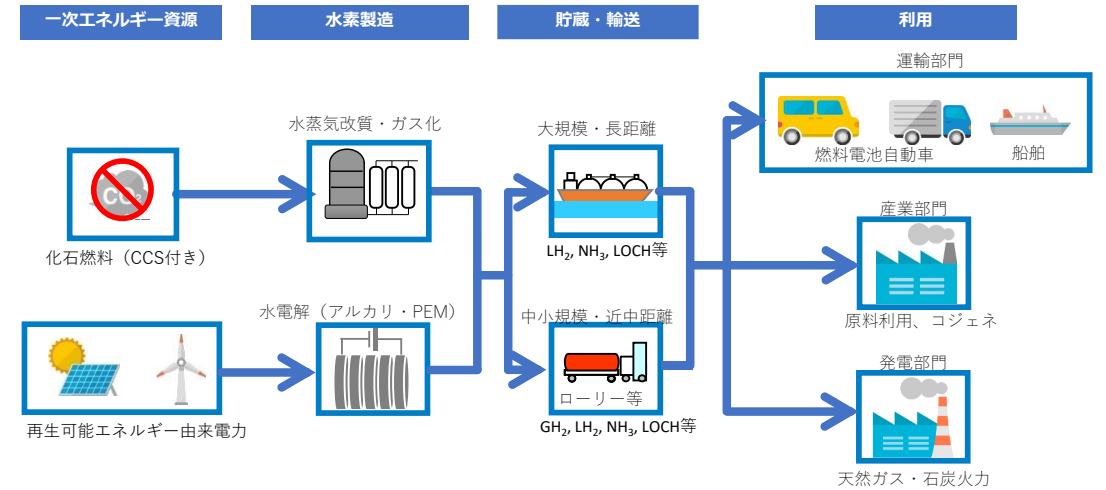
- ・水素基本戦略（2017年12月26日）
- ・第5次エネルギー基本計画（2018年7月）等に基づき産官学協働により**国際水素サプライチェーンの構築のため、多角的な技術開発・実証事業**に取り組んでいる。

一方で近年、経済性のみならず環境負荷や持続性、多様性や社会正義など、**多様な社会的側面を考慮して投資判断を行う、ESG投資**の流れが加速している。



国際的な水素サプライチェーン構築を促進するため、水素サプライチェーンの経済性評価、環境・経済・社会等の多様な価値の評価を含む、

**水素エネルギーの包括的導入価値評価手法**を確立する。



評価対象とする水素サプライチェーン

## 対象とする技術

水素製造	輸送・貯蔵 (水素キャリア)	利用 (需要)
・褐炭ガス化	・液化水素	運輸部門 ・燃料電池自動車 ・水素燃料船
・天然ガス 水蒸気改質	・MCH (メチルシクロヘキサン)	産業・民生部門 ・熱・原料利用 ・産業用コージェネ
・水電解 (アルカリ、PEM)	・アンモニア  ・メタン	発電部門 ・水素専焼発電 ・石炭混焼 (アンモニア)

## 2. 調査事業の全体像

### 調査内容

#### 1) 国際的な水素サプライチェーンの経済性分析・評価

水素サプライチェーンの経済性を評価を行うため、水素コストや発電コストを算出し、先行研究との比較・分析を行う。

#### 2) ESGの視点に基づく新たな水素エネルギー導入価値評価モデルの開発

持続可能な開発や労働安全、国富の増大など多様な環境・社会価値を定量的かつ包括的に評価可能とする新たなモデルを開発する。

#### 3) 水素エネルギー導入価値のESG指標を活用した選好調査

水素エネルギー導入価値をESG投資の観点から評価する手法を確立するとともに、ESG投資家・一般消費者を対象に選好調査を行いESG投資のトレンドを示す。

#### 4) 新たな手法の普及に関する国際的な連携

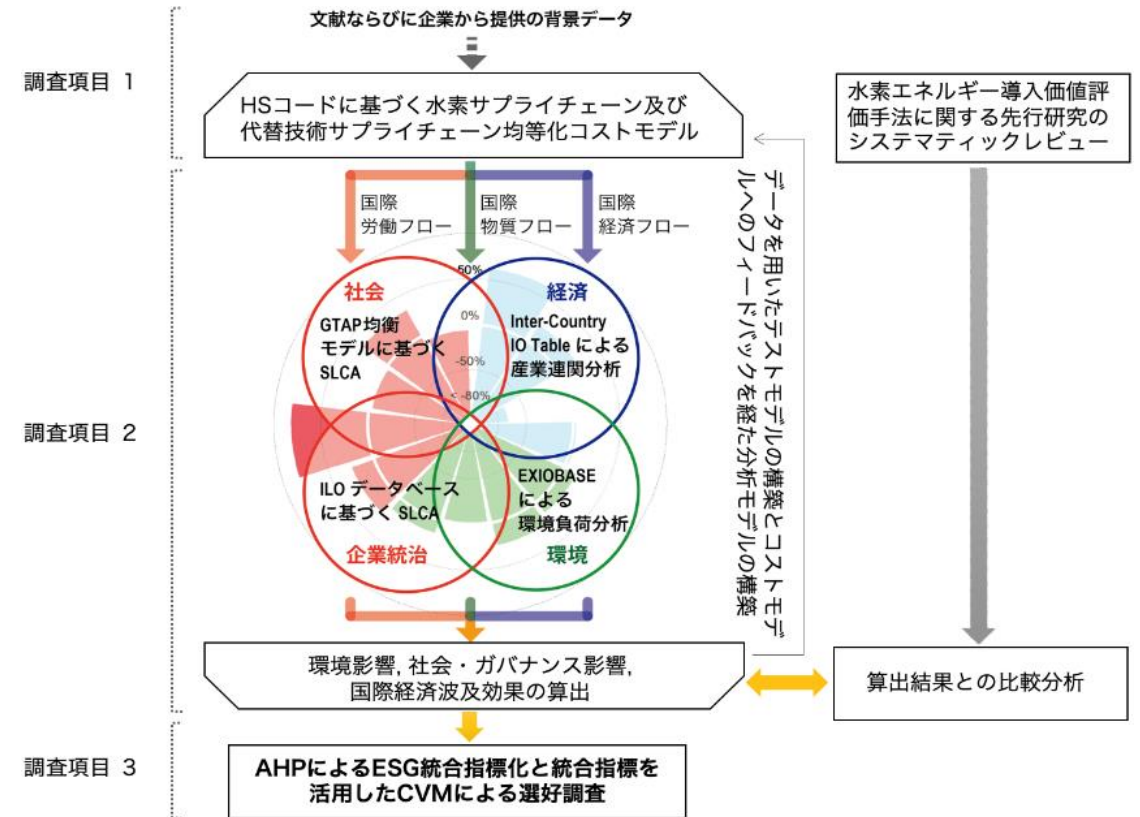
モデルの国際的な普及に向け海外研究機関・国際機関と連携する。

### 調査期間

開始 : 2021年2月  
終了(予定) : 2023年3月

### 調査体制

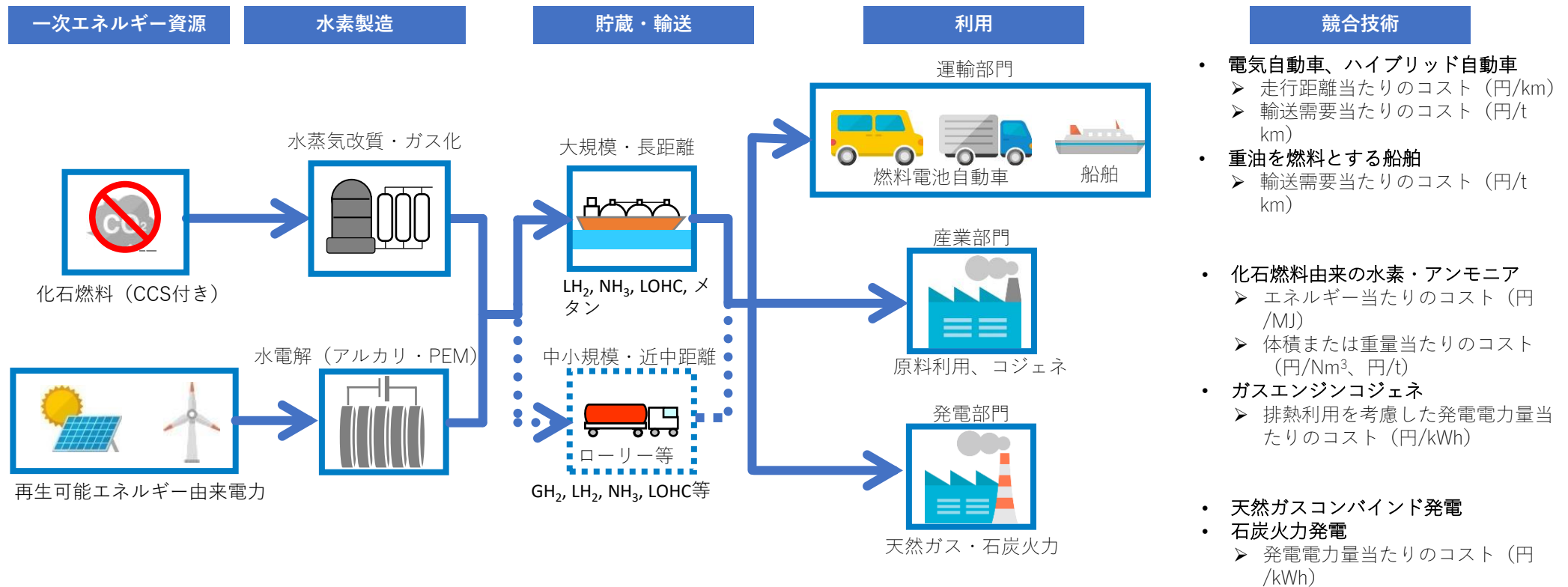
京都大学(代表)、九州大学  
京都大学担当 : 調査内容1)、2)、4)  
九州大学担当 : 調査内容3)



ESGの視点に基づく新たな水素エネルギー導入価値評価モデルの開発の概念図

### 3. 水素の経済性分析（1）実施概要

- 国際的な水素サプライチェーンについて、最新のデータを活用し、水素コスト、発電等の利用端コストを提示する。
- 算出した水素コスト等は、調査項目2のインプットデータの一部として活用。
- 既往研究結果との比較を行い、差異を考察する



## 4. 水素の経済性分析（2）分析方法、水素製造地等

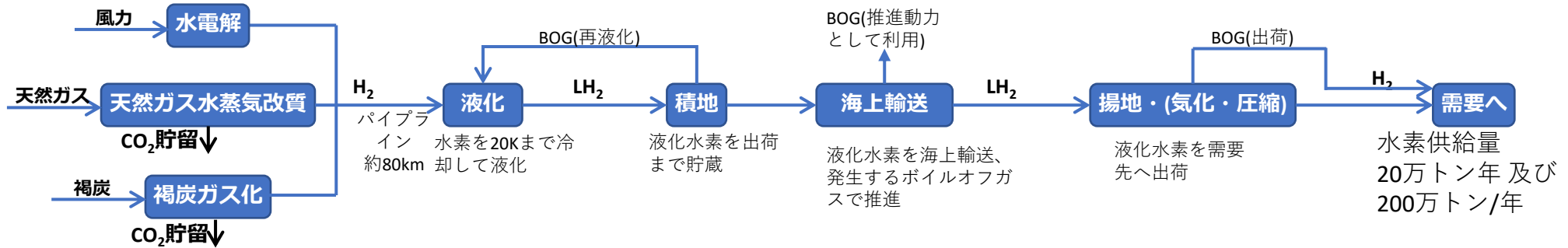
- 水素の到着量を設定し、上流側に必要な設備規模、物量を求める。
- 一次エネルギー資源：天然ガス、褐炭、風力、太陽光
- エネルギーキャリア：液化水素、MCH、アンモニア
- 水素輸送量：20, 200万t-H<sub>2</sub>/年。
- 設備費や燃料コストは、文献値に基づいた値を利用。
- 需要技術を発電技術とした結果について報告。



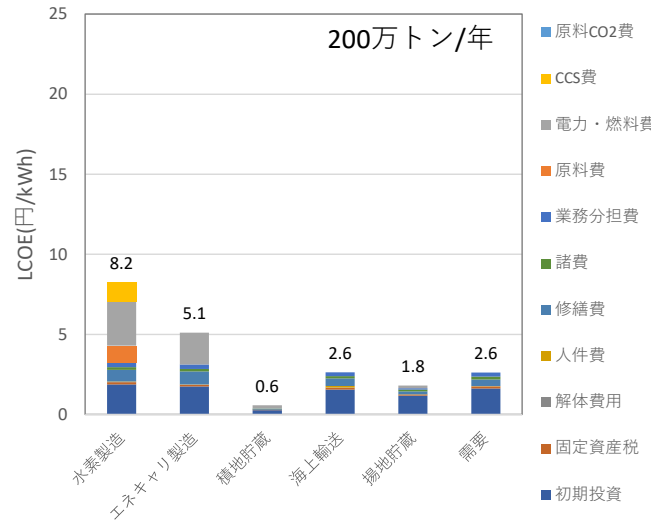
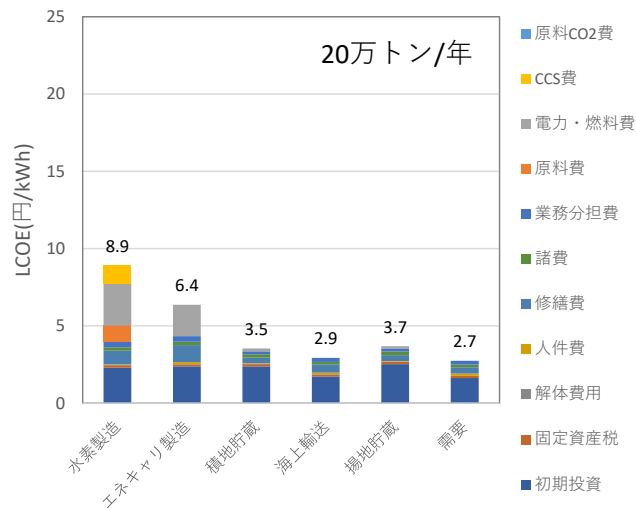
# 5. 水素の経済性分析（3）液化水素チェーン

- 液化水素チェーンのコストを試算。
- 褐炭ガス化を用いると、水素製造コストは半分程度に低下。
- 液化から揚地貯蔵までは、大型化によってコストが約4割改善。（スケールメリットによる設備コストの低下と積荷基地の回転率の向上による。）

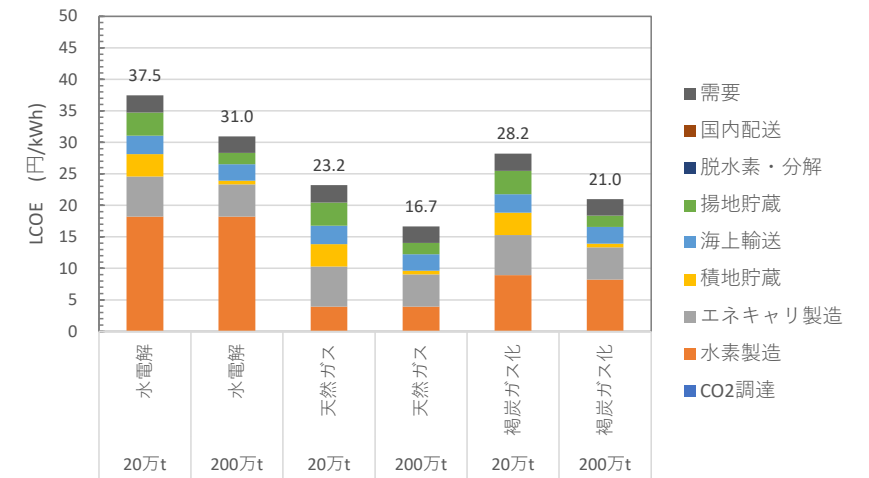
サプライチェーン概要



水素製造法：褐炭ガス化



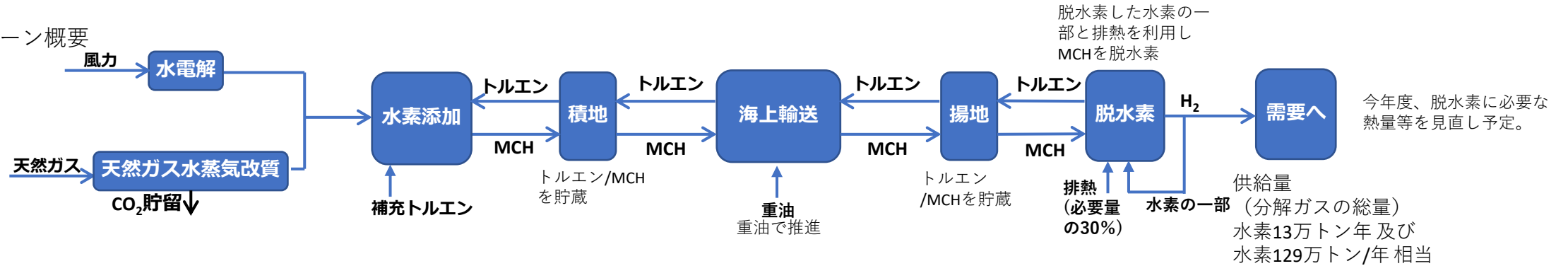
液化水素チェーンを用いた場合の均等化発電コスト（再掲）



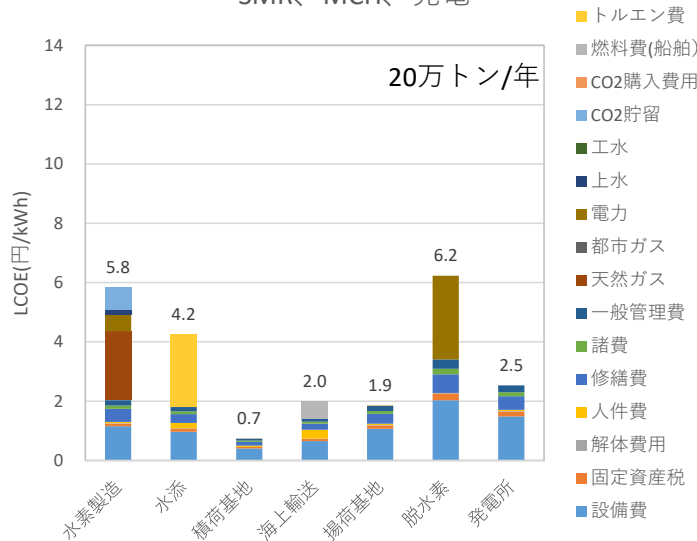
# 6. 水素の経済性分析 (4) MCHチェーン

- MCHチェーンのコストを試算。
- 天然ガスを用いた場合は、水素製造がコスト全体の約2.5割(20万トン/年)、約3割(200万トン)を占める
- MCHとトルエンの輸送・貯蔵は、成熟技術であり全体に占める積荷基地から揚荷基地までのコストの比率が小さいため、大型化によるこの部分のコストダウンの効果は限定的
- CO<sub>2</sub>削減の観点から脱水素を水素で行う想定としたため、脱水素熱源としての排熱の利用量が増加すると出荷できる水素量が増加するため、サプライチェーン全体のコストの低下に貢献する。

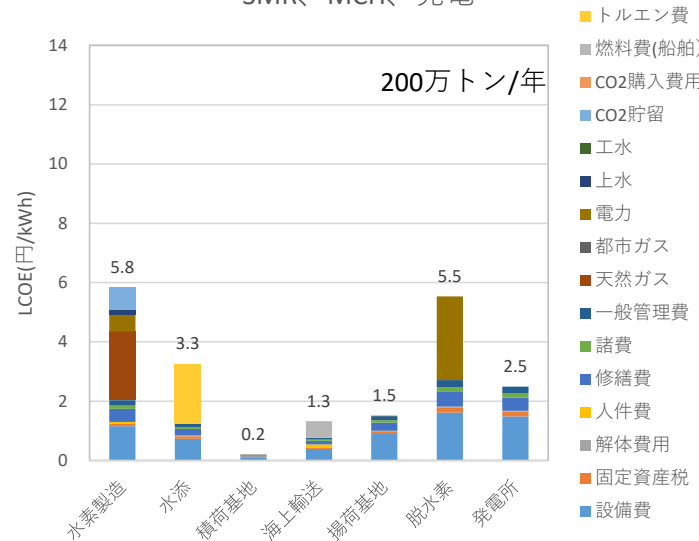
サプライチェーン概要



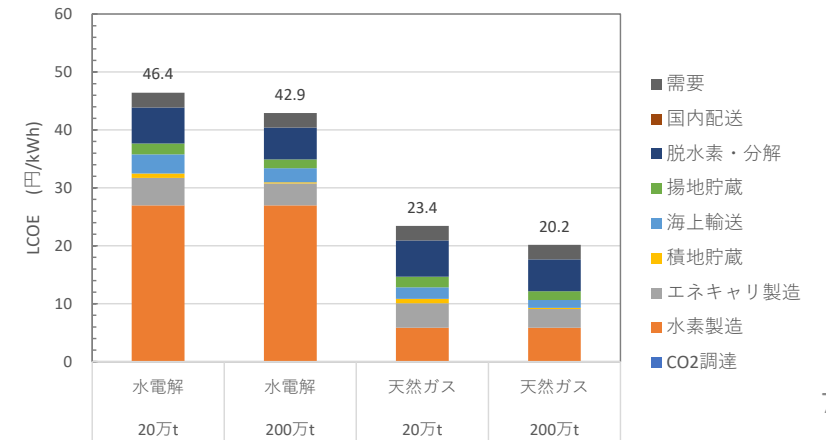
SMR、MCH、発電



SMR、MCH、発電



MCHチェーンを用いた場合の均等化発電コスト (再掲)



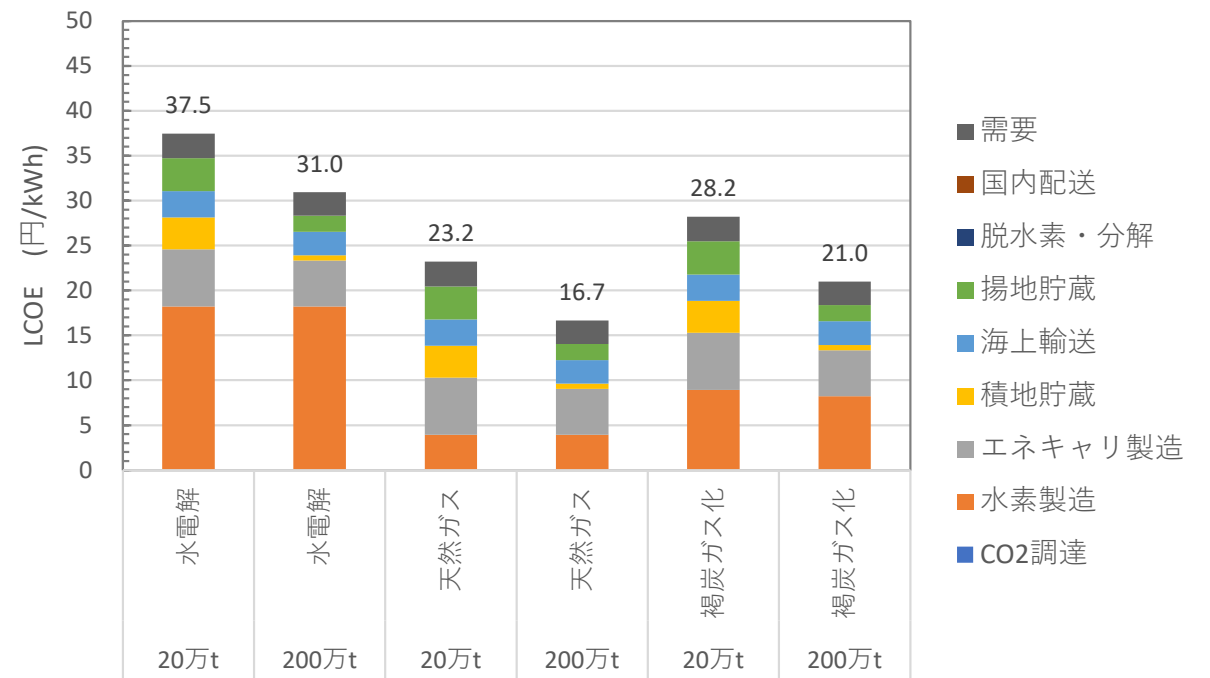
## 7. 水素の経済性分析（5）これまでの分析結果からの含意

- 再エネ水素が経済的な競争力を得るまで、**当面はブルー水素に一定程度依存する必要**が示唆された。
  - 水電解は、相当良い前提条件(2.9万円/kW, 設備利用率35%)を見込んでも、非常に安価な再エネ電力(1.6円/kWh)でなければ褐炭由来の水素と同等のコストにはならない。
- 大規模化によるスケール効果・積地の利用率の向上により、国際輸送で**大幅なコスト低減**(例：液化水素 4割)が見込めるものもある。
- 前提条件によりサプライチェーンの**競争力は変わりうる**。
  - 利用可能な一次エネルギー資源価格と量、技術進展
  - 需要技術とのマッチング：純度や排熱
  - 既設設備の有無

### 水素製造の前提条件

- 水電解: 原単位 5.27 kWh/Nm<sup>3</sup> (圧縮含む) 電力コスト 6.2JPY/kWh, 設備利用率 35% (平均風速から試算)
- 天然ガス水蒸気改質: 天然ガス価格 2 USD/MMBTU, CO<sub>2</sub> 貯留コスト 15 AUD/t-CO<sub>2</sub>
- 褐炭ガス化: 褐炭価格 12.7 USD/t-coal

液化水素チェーンを用いた場合の均等化発電コスト（再掲）





## 8. 水素の経済性分析（6）分析結果から想定される経済性改善の方策

### 水電解

輸出を意図した大規模製造の場合

- 大型化のスケール効果による設備費の低減
- 日照・風況の良い地域の選択や過積載による設備利用率の向上

### 褐炭ガス化

- 電力コストの低減
- 1系列当たりの処理能力の増加

### 液化水素チェーン

- サプライチェーンの輸送量の大規模化（回転率の向上）
- 液化機、貯槽等設備の大型化（スケール効果によるコスト低下）
- 輸送船の最適化（速度、BOG、容量）

### MCHチェーン

- 脱水素用の熱源への排熱利用の増加（出荷水素の増加）
- 低温化（排熱利用範囲の拡大）
- 大型化（スケール効果によるコスト低下）

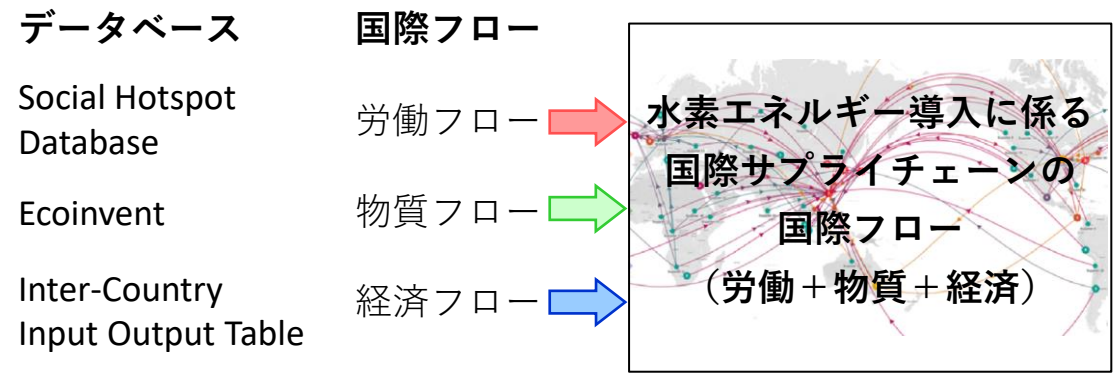
### NH<sub>3</sub>チェーン

- アンモニア分解の熱源の排熱利用の増加（排熱利用範囲の拡大）
- 大型化（スケール効果によるコスト低下）

# 9. 新たな水素エネルギー導入価値評価モデルの開発

**目標** 水素サプライチェーン技術の有する価値を幅広い観点から定量評価する  
 新手法を開発、評価モデルを構築し経済性分析結果を用いて試算する。

**手法** HSコードに基づく単一モデルから、ライフサイクルアセスメントに基づき  
 新しいエネルギー技術導入の3国際フロー(社会・経済・環境)を同時試算



EXIOBASEに基づくMREEIOに加え、GTAP国際貿易一般均衡モデルに基づいた社会LCAによる国際サプライチェーンを考慮した人権影響評価を同時に行うことで環境・経済・社会影響評価を同時に行う手法を確立  
 影響評価項目の一覧は右記のとおり

## 成果・予定

- ・社会・経済・環境の影響を同時に評価する新手法を確立した。
- ・これに経済性分析で得たコストデータを適用することで、各水素サプライチェーンの特徴を試算することが可能となる。試算結果を2022年度中にまとめる。  
 (但し各影響評価項目は独立した指標であり、評価結果をもって水素サプライチェーンの総合的な優劣を論じるものではないことに留意)

## 社会ライフサイクルアセスメント法 (SLCA法)

下記の5大カテゴリー(傘下に22小カテゴリー)ごとに“各国の労働者が人権リスクに晒されて労働する時間”をRisk Hoursとして評価する手法を確立

各国・地域における影響評価項目 [単位: Risk Hours]

ガバナンスへの影響	ガバナンス
人権への影響	労働者の人権
労働者の安全	労働者の健康・安全
労働環境・条件	公正な労働条件
コミュニティインフラ	適切な地域インフラの整備

## 多国間国際産業連関分析

国際産業連関表により、水素エネルギーにかかる経済効果を地域ごとに算出する手法を開発

影響評価項目 [単位: USD]

エネルギーコスト	均等化エネルギーコスト
正味エネルギーコスト	経済波及効果を考慮した単位エネルギー当たりの国富流出
世界経済波及効果	単位エネルギー当たりの世界的な経済波及効果の総計
国内経済波及効果	国・地域ごとの単位エネルギー当たりの経済効果

## 環境に拡張された多地域間需要・消費連関分析

国際産業連関表の環境拡張EXIOBASEにより、水素エネルギーにかかる環境負荷を国・地域ごとに算出する手法を開発

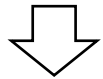
各国・地域ごとの影響評価項目

温室効果ガス排出量	各種温室効果ガスの排出量 (単位: kg-CO2相当量)
水資源環境負荷	淡水資源消費量 (単位: m <sup>3</sup> 消費)
土地環境負荷	森林、耕作地、草原等の喪失面積 (単位: km <sup>2</sup> 喪失)
天然資源環境負荷	各種天然資源の加重平均消費量 (単位: RMCインジケータ)

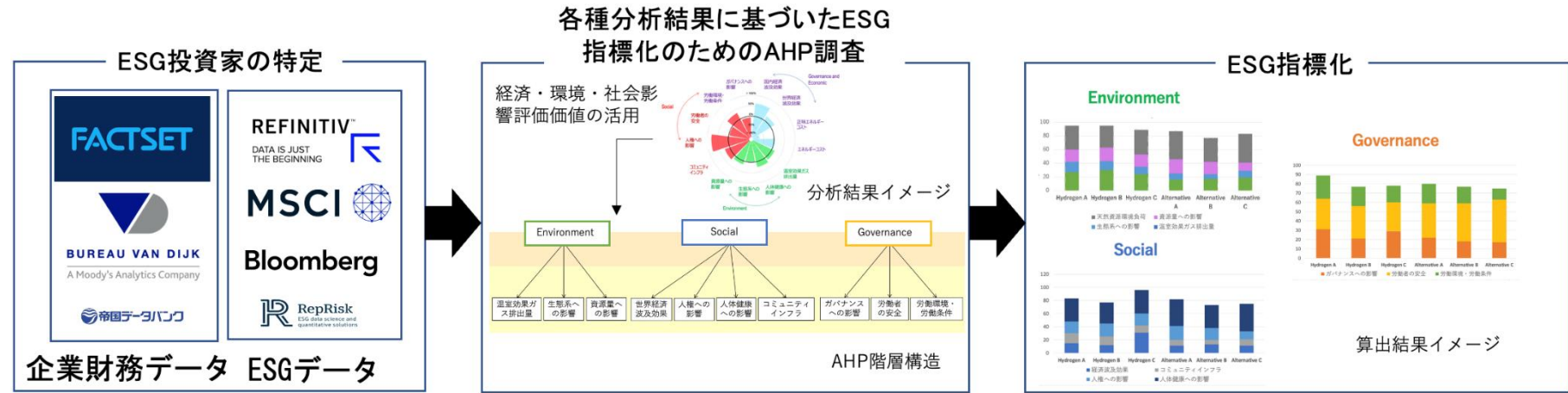
# 10. ESG指標を活用した選好調査

## 調査の概要

1) 単位の異なる複雑な価値指標をESG投資の観点からそれぞれE（環境影響）、S（社会影響）、G（ガバナンス影響）指標として評価（右図）。

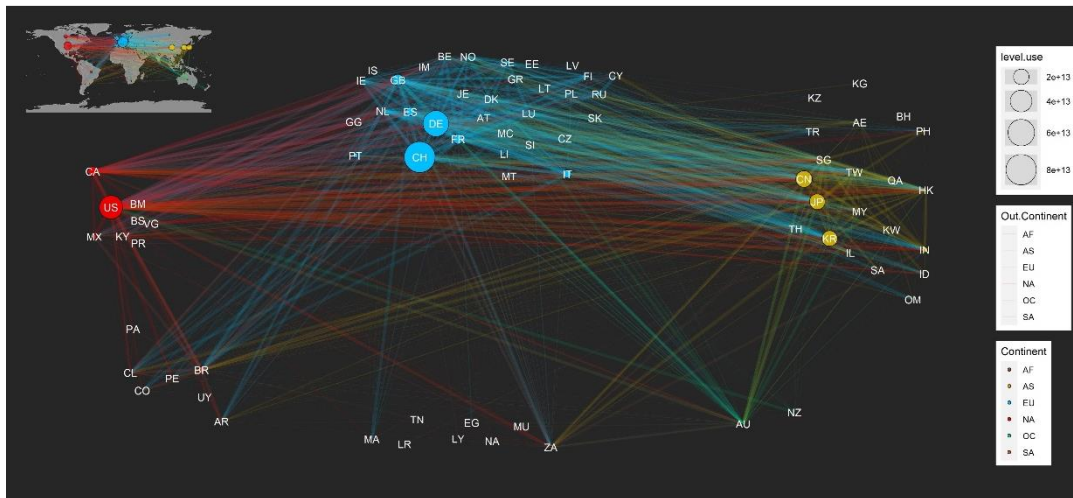


2) E, S, G指標を活用して一般投資家を対象に選好調査を実施。



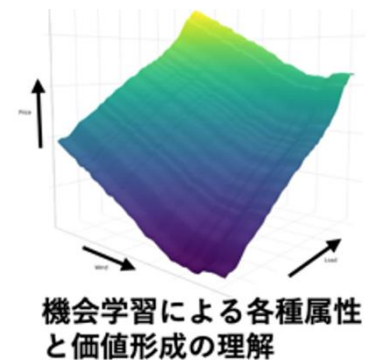
## 調査の成果と意義

直接的, 間接的なオーナーシップを考慮したESG投資家の特定を実施（世界約8,000機関対象）：**スイス、ドイツ、アメリカ等に上位機関が集中**（下図）。特定された上位機関を対象にAHP\*調査を実施中。



\*Analytic Hierarchy Process：階層分析法

E,S,G指標を活用して一般投資家を対象に選好調査を実施することで、代表的な水素サプライチェーン技術及び代替技術について**年齢や世帯年収、地域等属性毎の選好の違い**を明らかにする：各種属性と価値形成メカニズムの理解（右図）



# 1 1. 今後の課題・見通しについて

## 1) 水素の経済性分析

以下の分析を行い、政策目標到達に資するための経済性改善の方策を考察する。

- ・ 先行研究との比較
- ・ 既存技術・代替技術との比較、及び水素製造、エネルギーキャリアの技術間比較
- ・ 感度の高い前提条件についての感度分析

## 2) 新たな水素エネルギー導入価値評価モデルの開発

- ・ 開発した新手法に経済性分析で得たコストデータを適用し、各水素サプライチェーンの特徴を試算

## 3) ESG指標を活用した選好調査

- ・ ESG投資家の分析結果を基に、特定された上位機関を対象にAHP調査を実施
- ・ E,S,G指標を活用して一般投資家を対象に選好調査を実施  
⇒ 代表的な水素サプライチェーン技術及び代替技術について、属性毎の選好の違いを明確化

## 4) 新たな手法の普及に関する国際的な連携

- ・ Quad(日米豪印)の枠組みの下、2022年12月9日に京都で国際ワークショップを開催