

事業戦略ビジョン

提案プロジェクト名 : カーボンニュートラル実現へ向けた大規模P2Gシステムによるエネルギー需要転換・利用技術開発
提案者名 : 山梨県企業局（幹事企業）、代表名：山梨県公営企業管理者 中澤 宏樹

共同提案者：

山梨県企業局	(幹事企業)
東京電力ホールディングス株式会社・東京電力エナジーパートナー株式会社	(主要企業1)
東レ株式会社	(主要企業2)
日立造船株式会社	(主要企業3)
シーメンス・エナジー株式会社	
三浦工業株式会社	
株式会社加地テック	

目次

0. コンソーシアム内における各主体の役割分担

1. 事業戦略・事業計画

- (1) 産業構造変化に対する認識
- (2) 市場のセグメント・ターゲット
- (3) 提供価値・ビジネスモデル
- (4) 経営資源・ポジショニング
- (5) 事業計画の全体像
- (6) 研究開発・設備投資・マーケティング計画
- (7) 資金計画

2. 研究開発計画

- (1) 研究開発目標
- (2) 研究開発内容
- (3) 実施スケジュール
- (4) 研究開発体制
- (5) 技術的優位性
- (6) 参考資料

3. イノベーション推進体制（経営のコミットメントを示すマネジメントシート）

- (1) 組織内の事業推進体制
- (2) マネジメントチェック項目① 経営者等の事業への関与
- (3) マネジメントチェック項目② 経営戦略における事業の位置づけ
- (4) マネジメントチェック項目③ 事業推進体制の確保

4. その他

- (1) 想定されるリスク要因と対処方針

0. コンソーシアム内における各主体の役割分担

実施組織

山梨県庁がプロジェクトリーダーのもと、東京電力グループがサプライチェーン全体を俯瞰して熱需要や産業プロセス等の脱炭素化に向けた事業モデルを検討し、東レが水電解装置の核となる大型化やモジュール化・効率向上に向けた技術開発を行う体制を敷く。

この3社をサポートする体制として、日立造船とシーメンスエナジーが水電解装置のシステムアップを行い、加地テックが水素の品質を向上させ、三浦工業が水素を利用するボイラの開発を行う。

この申請7社によって「山梨ハイドロジェンエネルギーソサエティ」と称する基金事業コンソーシアムを組成する。



基金事業コンソーシアム

開発目標

カーボンニュートラル実現へ向けた大規模P2Gシステムによるエネルギー需要転換の実現させる。
水電解装置を2025年度に世界水準での普及モデルに仕上げるために3つの開発目標を設定する。

【研究開発項目】水電解装置の大型化技術等の開発、Power-to-X 大規模実証

研究開発内容〔1〕 水電解装置の大型化・モジュール化技術開発

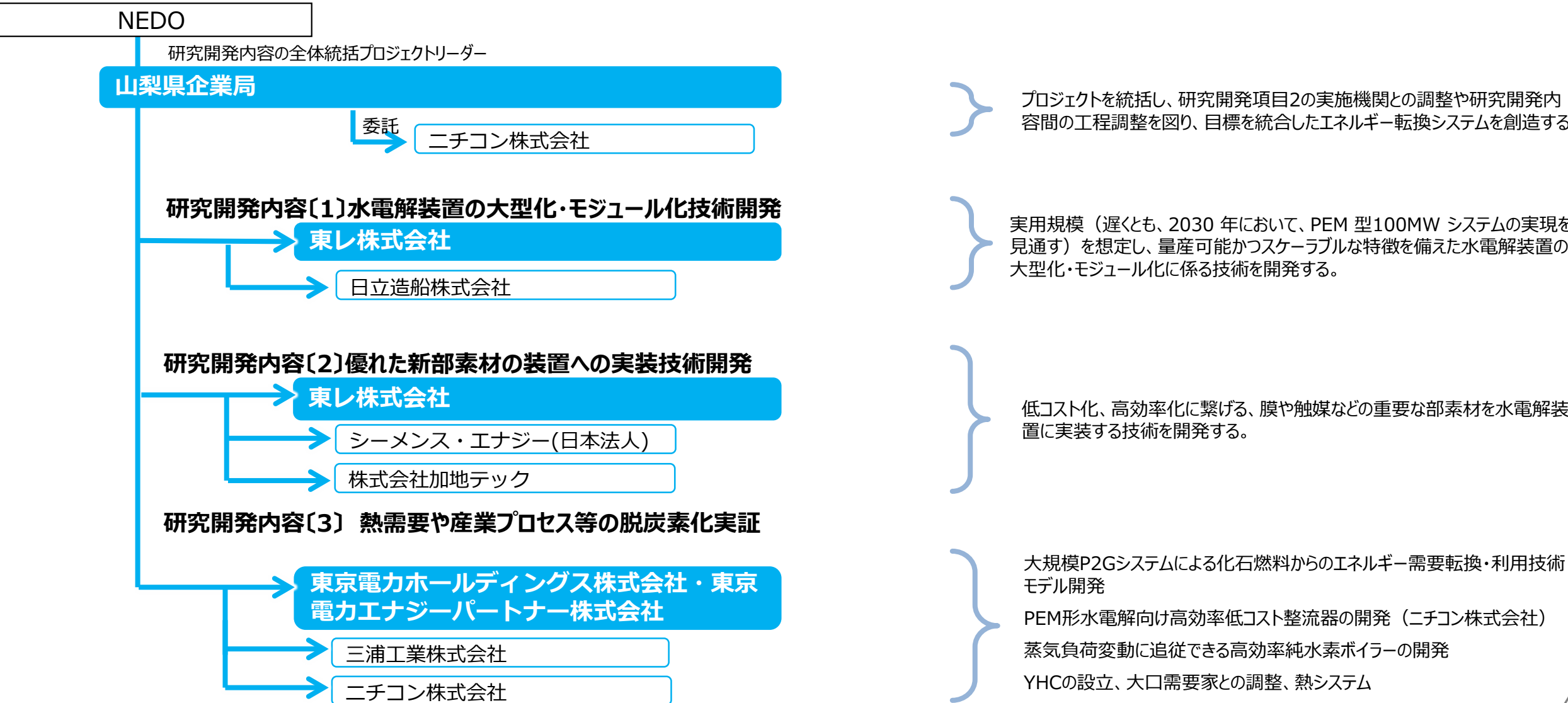
研究開発内容〔2〕 優れた新材の装置への実装技術開発

研究開発内容〔3〕 熱需要や産業プロセス等の脱炭素化実証

0. コンソーシアム内における各主体の役割分担

応募実施体制

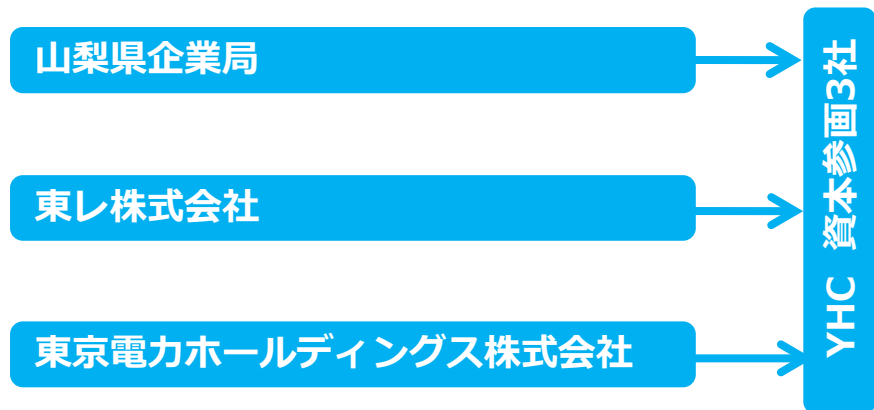
【研究開発項目】水電解装置の大型化技術等の開発、Power-to-X 大規模実証



0. コンソーシアム内における各主体の役割分担

特定目的会社の設立

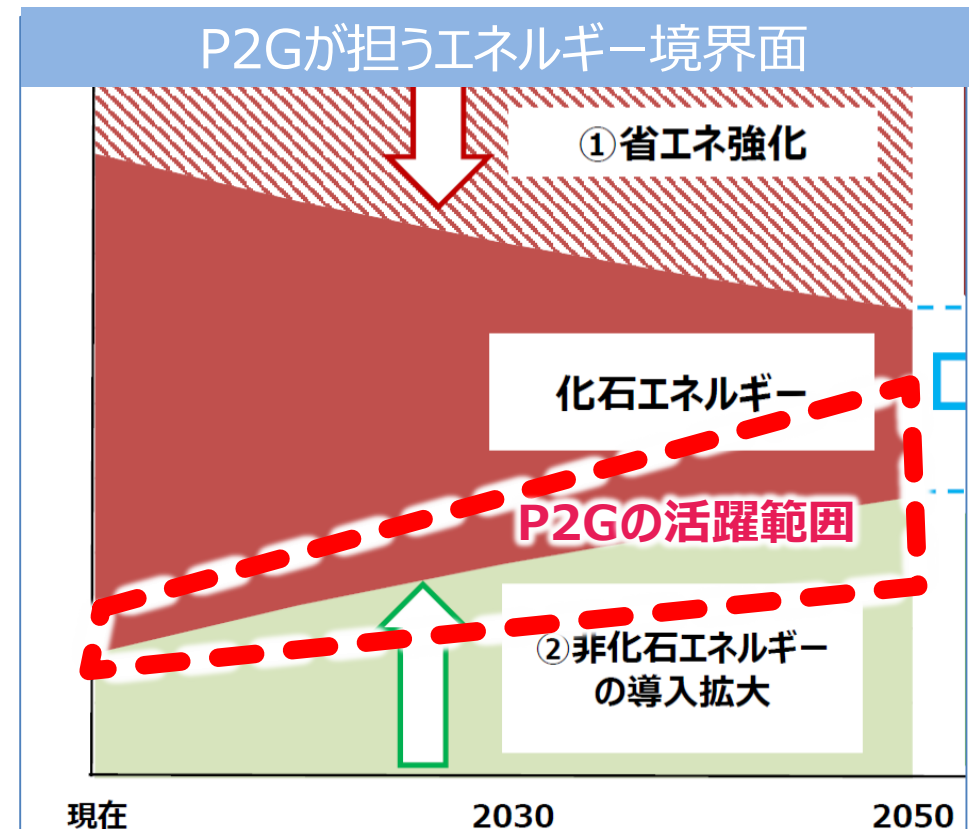
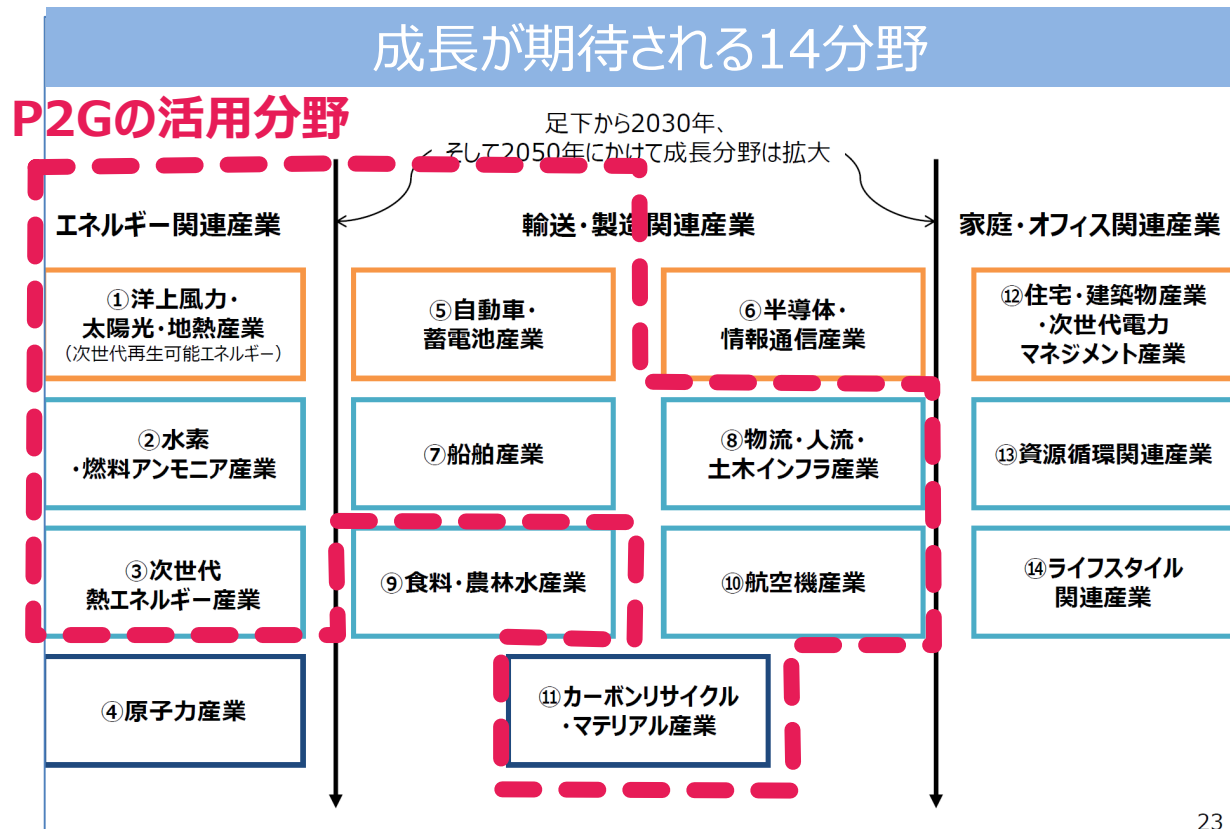
主要3社（山梨県・東京電力グループ・東レ）は我が国初のP2G事業会社である株式会社やまなしハイドロジェンカンパニー「YHC」を2022年2月28日に設立した、今後はプロジェクトの中核として活動していく。
今後コンソに参画（出資3社の事業のうち実証に関する部分を継承していく。）



0. コンソーシアム内における各主体の役割分担

2050年カーボンニュートラルに伴うグリーン成長戦略 (2021/6/18)

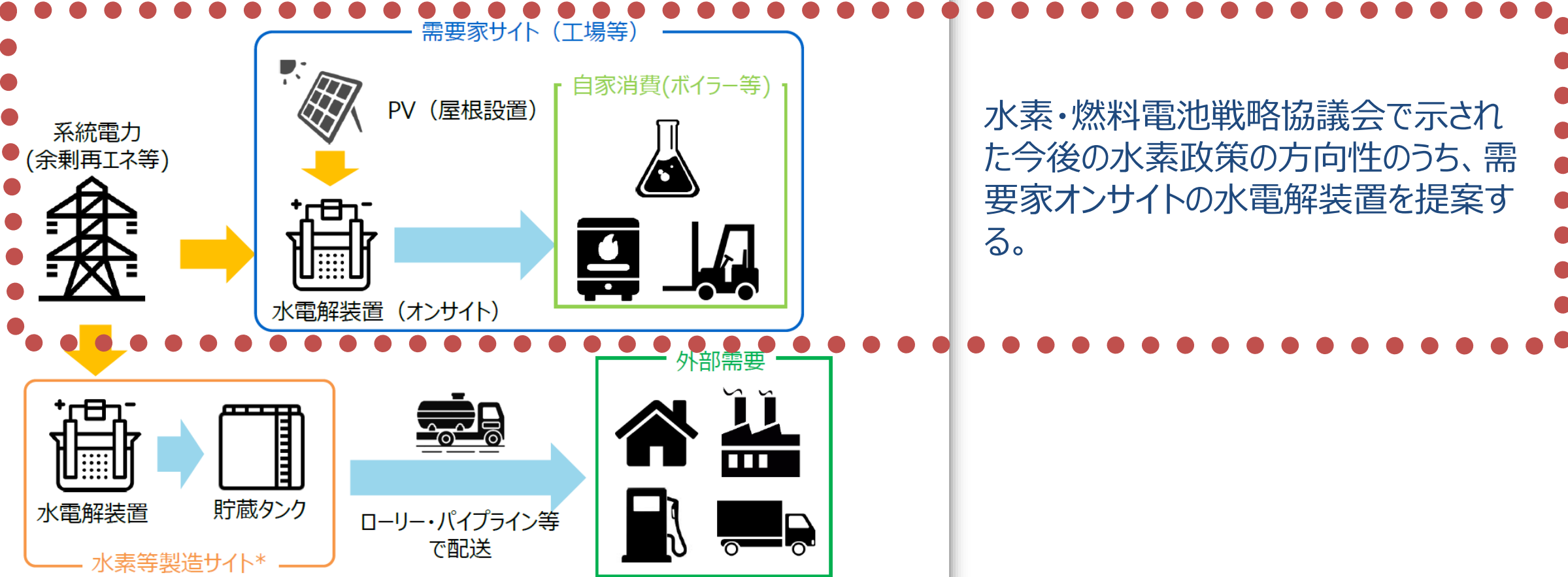
- ✓ P2Gシステムは、グリーン成長戦略において期待される成長分野のうち8つに関連
- ✓ 化石エネルギーの削減と非化石エネルギーの導入拡大の境界部分を担い、CN達成に必須の技術



0. コンソーシアム内における各主体の役割分担

水素・燃料電池戦略協議会（2021/3/22）「今後の水素政策の課題と対応の方向性中間整理」

社会実装モデル例②（水電解装置等を用いた自家消費、周辺利活用）

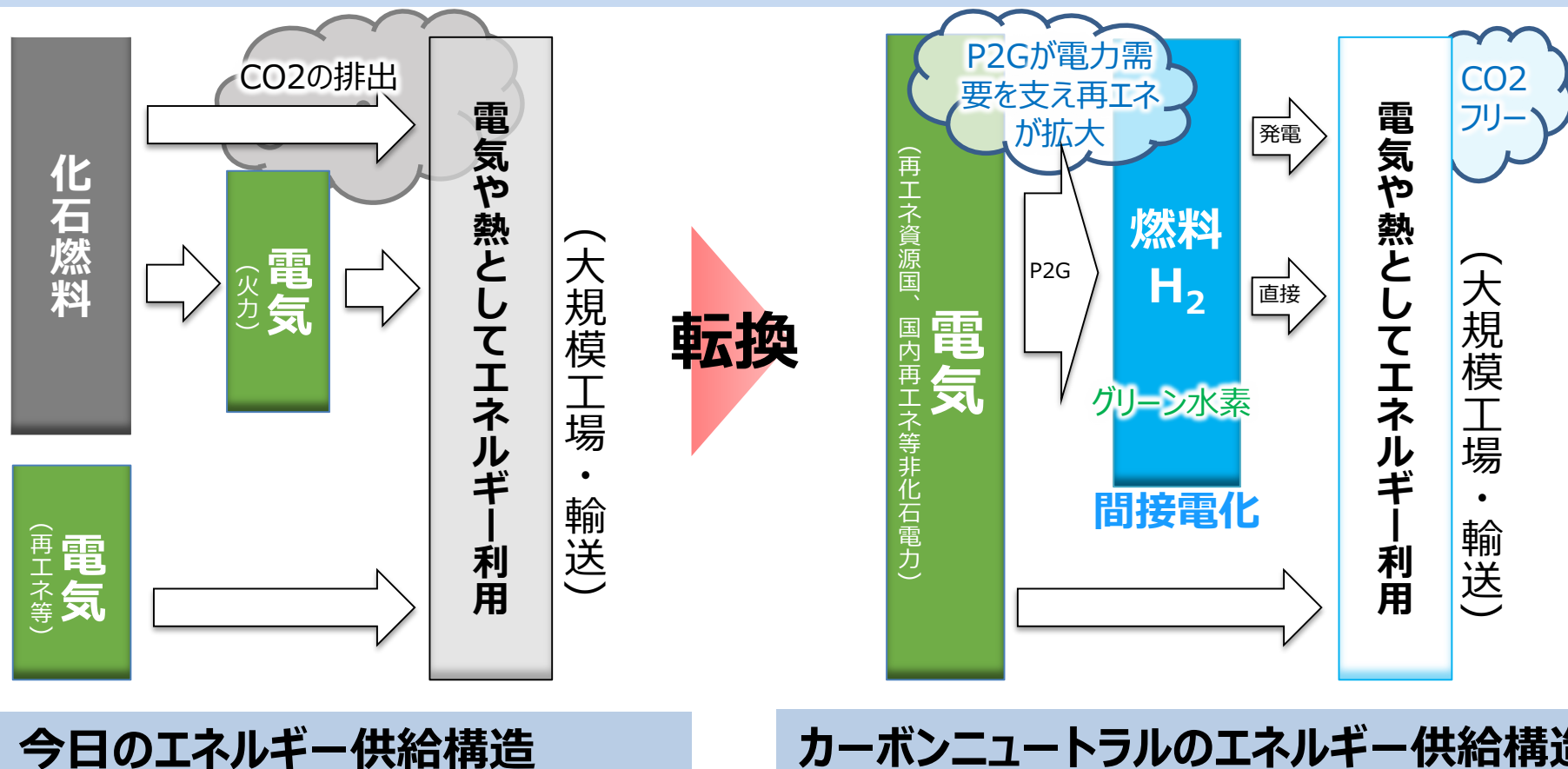


水素・燃料電池戦略協議会で示された今後の水素政策の方向性のうち、需要家オンサイトの水電解装置を提案する。

*アンモニア、メタン等の基礎化学品が水素から製造・配送される場合有

出典：第25回水素・燃料電池戦略協議会(2021/3/22)

P2Gシステムによる「カーボンニュートラルの実現」



プロジェクトの目的：カーボンニュートラル実現へ向けた大規模P2Gシステムによるエネルギー需要転換の実現

0. コンソーシアム内における各主体の役割分担

研究開発内容〔1〕～〔3〕のサマリ

【研究開発項目】水電解装置の大型化技術等の開発、Power-to-X 大規模実証

- ✓ 電力と化石燃料の両方を大量に使用する大口需要家をターゲットに、地域の再エネを吸収し、効率的かつ直接的にCO2を削減するモデルを実証

実証内容

水電解装置の大型化・モジュール化技術開発

優れた新材の装置への実装技術開発

熱需要や産業プロセス等の脱炭素化実証



0. コンソーシアム内における各主体の役割分担

研究開発内容〔1〕～〔3〕のサマリ

【研究開発項目】水電解装置の大型化技術等の開発、Power-to-X 大規模実証

研究開発内容〔1〕水電解装置の大型化・モジュール化技術開発

（実用規模（遅くとも、2030 年において、PEM 型100MW システムの実現を見通す）を想定し、量産可能かつスケーラブルな特徴を備えた水電解装置の大型化・モジュール化に係る技術を開発する。）

- ✓ 2025年にて1,050千円/Nm³/h（25万円/kW）、2030年で量産コスト272千円/Nm³/h（6.5万円/kW）を見通す
- ✓ 2025年にてシステム効率77%（4.6kWh/Nm³）、2030年にてシステム効率80%（4.4kWh/Nm³）を見通す
- ✓ 6MW級水電解装置を製作し、実用規模（遅くとも、2030 年において、PEM 型100MW システムの実現を見通す）を想定した、量産可能かつスケーラブルな特徴を備えた水電解装置の大型化・モジュール化に係る技術を開発する

研究開発内容〔2〕優れた新材の装置への実装技術開発

（低コスト化、高効率化に繋げる、膜や触媒などの重要な部素材を水電解装置に実装する技術を開発する。）

- ✓ 2025年にて1,050千円/Nm³/h（25万円/kW）、2030年で量産コスト272千円/Nm³/h（6.5万円/kW）を見通す
- ✓ 2025年にてシステム効率77%（4.6kWh/Nm³）、2030年にてシステム効率80%（4.4kWh/Nm³）を見通す
- ✓ 実用規模（遅くとも、2030 年において、PEM 型100MW システムの実現を見通す）を想定し、膜やCCMの重要な部素材を水電解装置に実装する技術を開発する。10MW級水電解装置を製作する。
- ✓ P2Gから生産されるフルウエット水素の1MPa級大規模除湿・圧縮システムの開発

研究開発内容〔3〕 熱需要や産業プロセス等の脱炭素化実証

（大規模P2Gシステムによる化石燃料からのエネルギー需要転換・利用技術モデル開発）

- ✓ 電化が困難な工場の熱需要の化石燃料代替パッケージ技術をモデルを確立させる。
- ✓ 地域の再エネ電気を有効活用するために、導入対象を地場産業に根付いた工場規模の化石燃料の使用を削減し得るモデルを実証する
- ✓ 経済合理性と再エネからのエネルギー転換を両立させる水素製造・利用のオペレーションシステムのパッケージ化

0. コンソーシアム内における各主体の役割分担

役割分担表

	日立造船	東レ	シーメンス エナジー	加地テック	山梨県企業局 (幹事会社)	東京電力HD・ EP	三浦工業
研究開発内容〔1〕 水電解装置の大型化・モジュール化技術開発	✓ 100MW システムの実現を見通す PEM形6MW級モジュール式連結水電解システム開発	✓ 2025年にてシステム効率77%、 2030年にてシステム効率80%を見通す。			✓ 大規模P2Gシステムによるエネルギー需要転換のための事業者間調整・技術インテグレーション ✓ 水素利用、貯蔵、熱コントロールシステムの設計 ✓ エネルギー需要家との調整並びにビジネスモデル検討 ✓ 共同事業体「YHC」の設立運営	✓ 電力設備、電解装置、補器、建築を総合的技術力で統合 ✓ 再エネの利用促進と水素の製造・利用における経済合理性を追求するEMSの導入	
研究開発内容〔2〕 優れた新材の装置への実装技術開発		✓ 膜やCCMの重要な部素材を10MW級の水電解装置に実装する技術を開発する。	✓ 膜やCCMの重要な部素材を10MW級の水電解装置に実装する技術を開発する。	✓ P2Gから生産されるフルウエット水素の大規模除湿・圧縮システムの開発			
研究開発内容〔3〕 熱需要や産業プロセス等の脱炭素化実証						✓ 大規模P2Gシステムによる化石燃料からのエネルギー需要転換・利用技術モデル開発	✓ 電化が困難な工場の熱需要の化石燃料代替向け水素ボイラー技術確立させる。
社会実装に向けた取り組み内容	◆ 世界市場で活躍する国産大規模水電解装置の成立	◆ 高性能・高耐久PEM形水電解材料の開発・実装、世界展開	◆ 優れた部素材の導入による我が国の電解技術の世界展開	◆ 電解槽の圧力・湿度をよる需要の非適合性の解消技術の提供	◆ P2Gのやまなしモデル構築とその展開のための事業体の転換	◆ 電化が困難な工場の熱需要の化石燃料代替パッケージ技術をモデル確立	◆ 化石燃料の併用から、水素単独へ変化してくボイラーシステムの提供

1. 事業戦略・事業計画

山梨県企業局

1. 事業戦略・事業計画／（1）産業構造変化に対する認識

「化石燃料」から「グリーン水素」へ移行による大規模なエネルギー転換への取り組み その1

カーボンニュートラルを踏まえたマクロトレンド認識

（社会面）

- 世界的に温室効果ガス削減に向け再生可能エネルギー等非化石エネルギーの導入が加速。特に欧州では風力発電の低価格化が進展し、民生部門ではZEBや再エネ電気による電化によりカーボンニュートラルの見通しが立ちつつあるが、エネルギー消費の過半を占める産業部門は化石燃料代替が困難であり、対策が国際競争化している。

（経済面）

- 欧州を中心にESG投資やEUタクソノミーなど投資家が企業に対してサステナビリティ意識を高めさせる資金供出手法が増えており、また企業間取引においてカーボンディスクロージャーが求められるなど商取引条件に温室効果ガス削減対策が織り込まれ始めている。

（政策面）

- IEA「Net Zero by 2050」、政府の「2050年カーボンニュートラルに伴うグリーン成長戦略」など、OECD諸国を中心にカーボンニュートラル社会に向けて電源の脱炭素化と電力需要以外は電化と水素化の推進が政策の中心になりつつある。

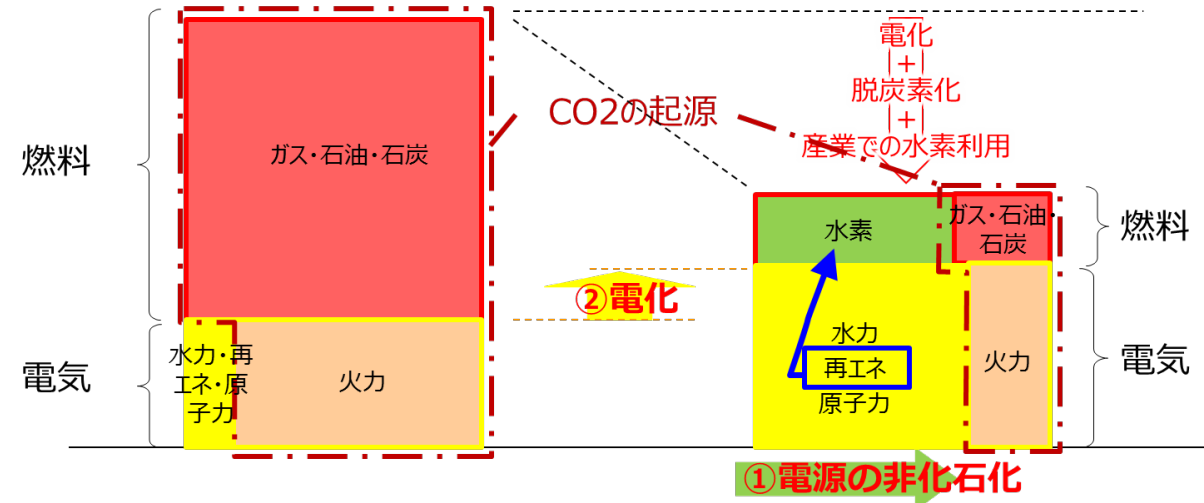
（技術面）

- 太陽光発電・風力発電をはじめ発電技術の再エネ利用は進展しているが、燃料についてはバイオ燃料や化石燃料にCCUSを組合せる等オフセット型の技術はあるものの抜本的に二酸化炭素を直接排出しない燃料（水素・アンモニア等）の開発が本格化し始めた

カーボンニュートラル社会における産業アーキテクチャ

これまで：一次エネルギーである化石燃料を利用して二次エネルギーである電気や熱エネルギーを製造し、その二次エネルギーを利用する社会。

これから：再生可能エネルギーなど非化石エネルギーから直接発電し、燃料も非化石電気による水の電気分解などから水素製造を行い、「電化」と「水素利用化」によるカーボンニュートラルがエネルギー利用の主流となる社会。



1. 事業戦略・事業計画／（1）産業構造変化に対する認識

「化石燃料」から「グリーン水素」へ移行による大規模なエネルギー転換への取り組み その2

● 市場機会：

- ✓ 水素エネルギーは化石燃料を使用せざるを得ない熱処理・蒸気分野への新たな熱サービスの提供が可能になる。
- ✓ 再エネ発電は分散型であるため地域での導入が加速している。地域での発電設備の導入はエネルギーの地産地消を可能とし、地域の工場が域内でエネルギーを調達できることから、地方の経済の活性化が期待される。
- ✓ 再生可能エネルギーの増加は余剰電力や系統混雑を引き起こし始めているため、その電力を活用して水素を作ることによって一層の再エネ発電の導入が期待される。

● 社会・顧客・国民等に与えるインパクト：

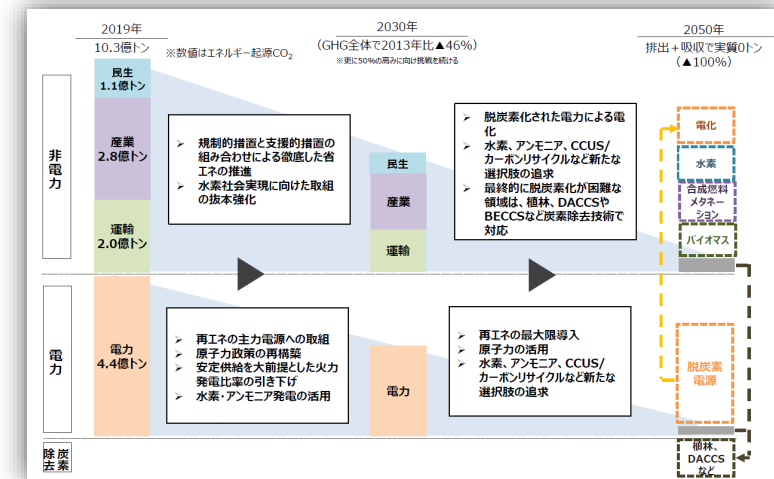
- ✓ 電化の推進による社会基盤構築へ向かうメインストリームの中で、熱分野のCO₂削減に解決策を提供
- ✓ 水素は危険物であるため、社会システムに取り込む場合は安全性の確保が最優先。ただし、安全性の確保はコスト増加要因でもあるため、危険性の少ない各界各層・各技術領域での活用モデルを作り、国民・社会へのリスクとコスト負担を減らす対策も必要



● 当該変化に対する経営ビジョン：（東京電力）

- ✓ 発電事業で養ってきたエネルギー供給の知見を活かし、お客さまとともに運輸・民生部門のさらなる電化を促進しつつ、電化ビジネスを創出することや、産業部門においては電気分解により製造する水素を活用した熱需要での非化石燃料化の開発・促進などにより、国のCO₂排出目標へ貢献するとともに、脱炭素社会をリードしていく。

参考 2050年カーボンニュートラルに伴うグリーン成長戦略



「化石燃料」から「グリーン水素」へ移行による大規模なエネルギー転換

カーボンニュートラルを踏まえたマクロトレンド認識

（社会面）

- エネルギーの転換を家庭規模で実践することは、規模のメリットから容易ではない。そこでエネルギー消費の7割を占める熱利用に焦点をあて、その中でも過半を占める産業分野での取り組みが効果的

（経済面）

- 水電解でのエネルギー転換を考えると、水電解装置のCAPEXの8割を占める電解槽のコスト縮減が重要であり、電流密度の向上によるスタック台数の減と耐久性の向上による交換頻度の減を進める。また、フッ素系のイオン交換膜は大半が海外製であり、コア技術の内製化は喫緊の課題

（政策面）

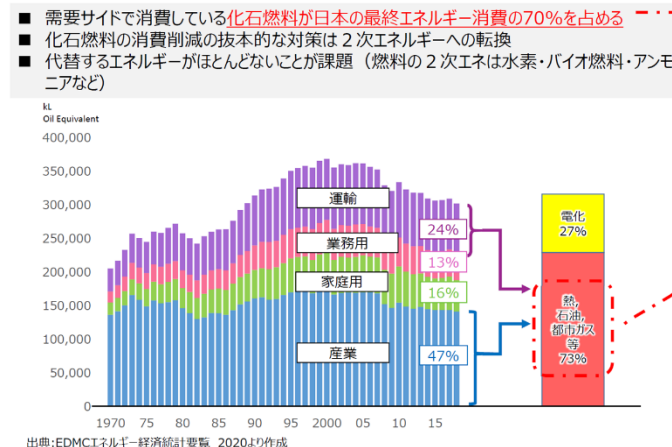
- エネルギーコストと経済成長の両立が従前のスタンスであったが、CN宣言により、エネルギーの転換そのものを産業競争力にしていこうとする大きな方針転換。

（技術面）

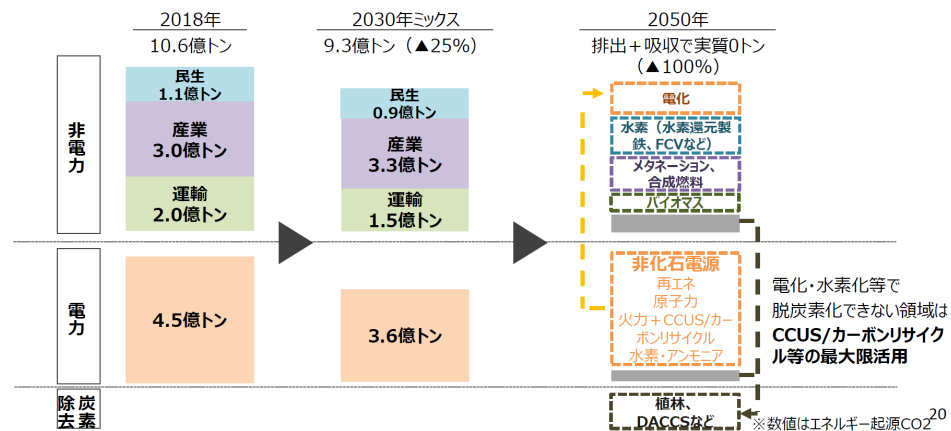
- PVが集中する配電線と今後大きく伸びる洋上風力、再エネ資源国での大規模製造に自在にストレッチできる技術が必要

自治体として地方創生と地域へのエネルギー供給を行う山梨県と水電解向け部素材の開発・製造を担う東レ、エネルギー供給事業として次世代をリードする東京電力グループは、共同してエネルギー供給媒体としての水素エネルギー社会に貢献してきたい。

カーボンニュートラル社会における産業アーキテクチャ



水素エネルギー～今後の利用と展開～
 エネルギー転換のカギを握る需要高度化～CO₂フリー水素利用と電化～2020.10.29



1. 事業戦略・事業計画／（1）産業構造変化に対する認識

「化石燃料」から「グリーン水素」へ移行による大規模なエネルギー転換への取り組み

カーボンニュートラルを踏まえたマクロトレンド認識

（社会面）

- ガス等の燃料、蒸気を使用せざるを得ない産業には電化による低炭素化ができず、カーボンニュートラル社会には非化石エネルギーの割合が高い電力からのエネルギー転換が必要

（経済面）

- 非化石電力がガス等エネルギー転換には必須となるが、再エネ賦課金は限界であり、今後は選択的な投資資金であるESG投資に再エネの拡大と水素転換の有効性を認識させる必要

（政策面）

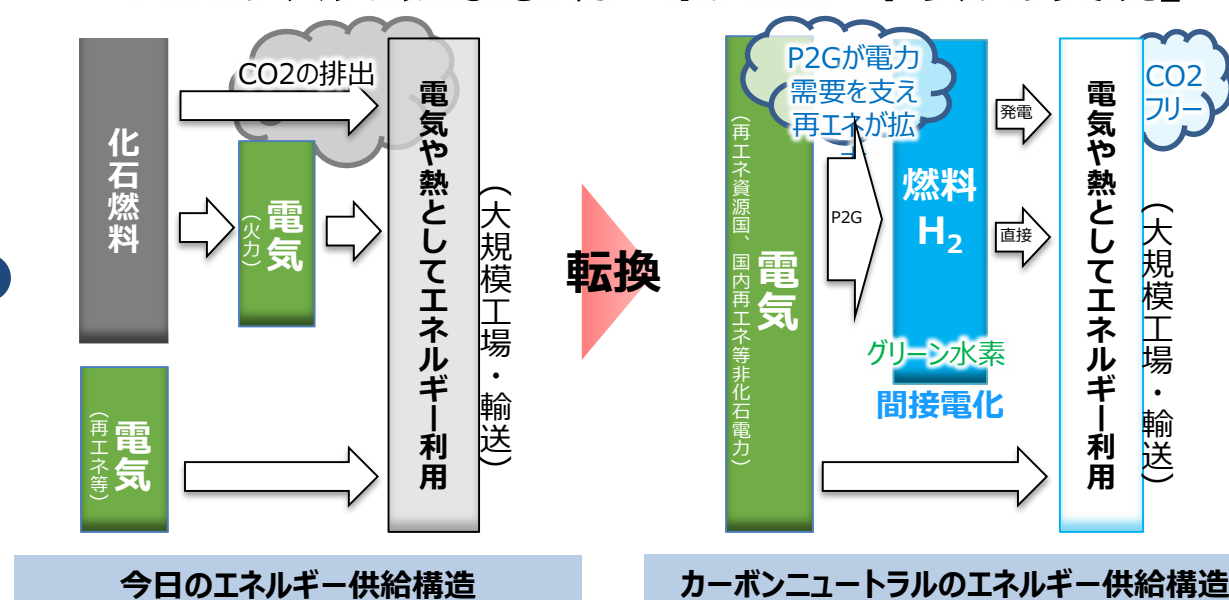
- カーボンプライシングの議論が活発化しており、最小の負担で最大の再エネ導入効果を狙ったFIT後の再エネ導入推進策が必要となっている。

（技術面）

- P2Gが担うべき部分は、地域再エネの大きな吸収力の提供と、再エネ資源国における水素製造であり、スケーラブルな電解システムが必要

カーボンニュートラル社会における産業アーキテクチャ

P2Gシステムによる「カーボンニュートラルの実現」



● 市場機会：

- ✓ 化石燃料を使用せざるを得ない熱処理・蒸気分野への新たな熱サービスの提供。
- ✓ 再エネ資源国での淡水化と水電解による新産業の創造

● 社会・顧客・国民等に与えるインパクト：

- ✓ 電化の推進により安全・高効率な社会基盤構築へ向かうメインストリームの中で、熱分野のCO₂削減に解決策を提供

● 当該変化に対する経営ビジョン：

- ✓ 水力発電で養ってきた電力に関する知見と事業利益を活かした電力貯蔵技術研究サイトでの取り組みを発展させ、水素関連の技術分野におけるグリーンイノベーションを創造し、自立分散型のエネルギー社会の構築と、経済の発展に貢献する。

カーボンニュートラル実現に向けた市場環境変化により、水素関連産業が急拡大すると予想

カーボンニュートラル実現に向けた水素関連市場環境変化

（社会面）

- 2020年は、EUやドイツ、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、2050年カーボンニュートラル実現に向けた取り組みが加速した。日本も、2020年12月に、グリーン成長戦略を発表し、カーボンニュートラルを目指す上で 不可欠な、水素、蓄電池、カーボンリサイクル、洋上風力を重要分野と位置づけた。
- 「世界のグリーン水素計画が加速、国内総電力需要を超える規模に」（日経エレクトロニクス記事、グリーン水素の大規模量産計画は、計1.62TWを超えるとの報告）

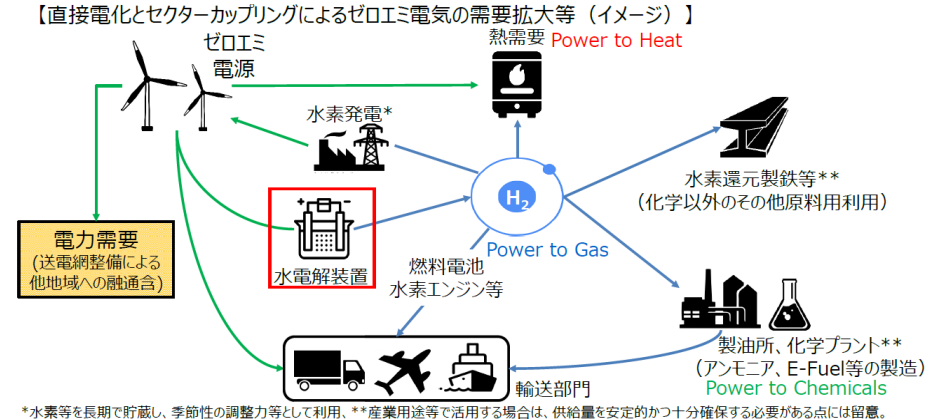
（エネルギー政策面）

- 水素は直接的に電力分野の脱炭素化に貢献するだけでなく、余剰電力を水素に変換し、貯蔵・利用することで、再エネ等のゼロエミ電源のポテンシャルを最大限活用することも可能とする。加えて、電化による脱炭素化が困難な産業部門等の脱炭素化にも貢献できる。

（経済・産業政策面）

- 日本の技術・製品を国内外の市場で普及させることは、我が国の経済成長・雇用維持に繋がつつも、世界の脱炭素化にも貢献することに繋がる。技術開発や社会実装のための制度整備など、あらゆる政策を総動員し、日本企業の産業競争力を一層強化することは、産業政策的な観点から極めて重要。

カーボンニュートラル社会における産業アーキテクチャ



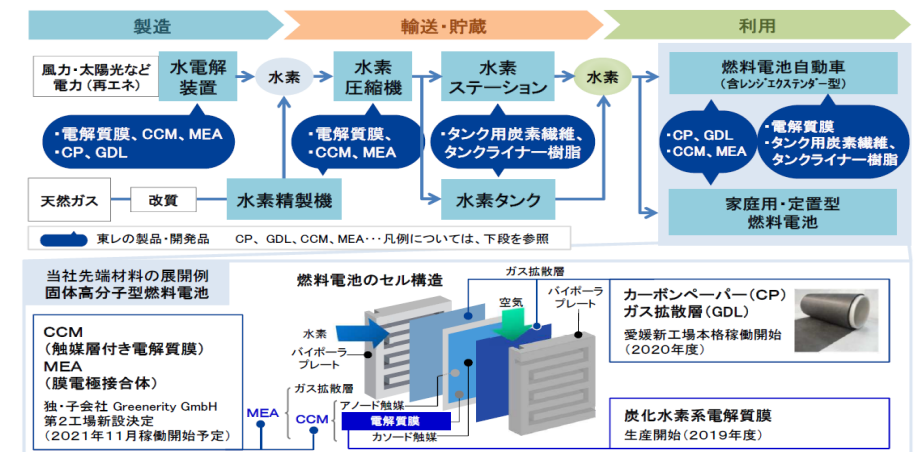
40

研究・技術開発①

水素社会実現に向けた取り組み

出典：METI

低炭素・循環型社会の実現を目指し、様々な製品の研究・技術開発を推進



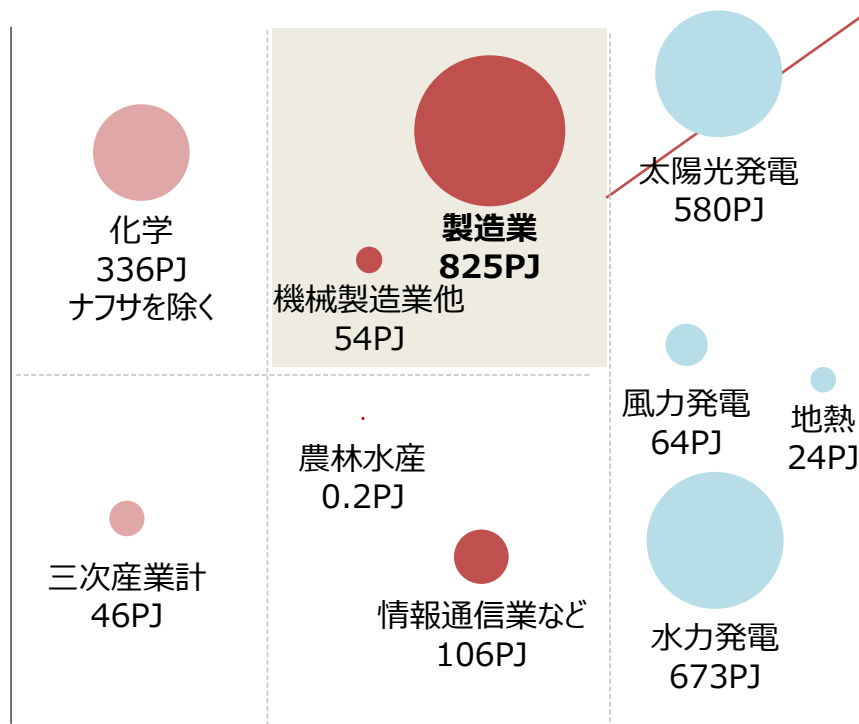
※ 1 <https://www.toray.co.jp/sustainability/vision/>

化石燃料市場のうちボイラー・バーナーをターゲットとして想定

セグメント分析

化石燃料を直接利用し、電化しがたいもので、主力は非エネルギーの化学(製造業)と蒸気(製造業)

電化しにくい燃料の直接利用領域のエネルギーセグメント



燃料の直接利用
非エネルギー

燃料の直接利用
★蒸気

参考
再エネ電力

総合エネルギー統計 本表 FY2019

ターゲットの概要

市場概要と目標とするシェア・時期

- 全国に分布する工場において、ボイラー・バーナーでの化石燃料を直接利用している需要が主な市場
- 国内で10MW級を数多く実践し、コストを下げ2025年からは再エネ資源国との連携による取り組みを加速させる。

需要家

製造業

主なプレーヤー

食品
半導体

消費量 (2019年)

・825PJのうち11PJを2030年にカーボンフリー化以後再エネに連動して拡大(P2Gを1GW導入し、利用率50%にて運転)

課題

- 2030年価格目標の30円/m3を達成してもなお、既存エネルギーの倍の価格
- 主要コストのストック価格を低減が必要
- モジュール式でスケラブルな規模での導入が必要

想定ニーズ

- 蒸気ボイラー
- バーナー(炉、熱処理、加工)
- 上記電化が難しい熱分野で利用

機械製造業

自動車、機械製造

公共調達

国、県、自治体

小規模実証でのマインド増進

- 公共調達の財政支援
- 啓発
- 社会先導

水素関連市場のうち、水電解による水素製造、特にPEM型水電解をターゲットとして想定

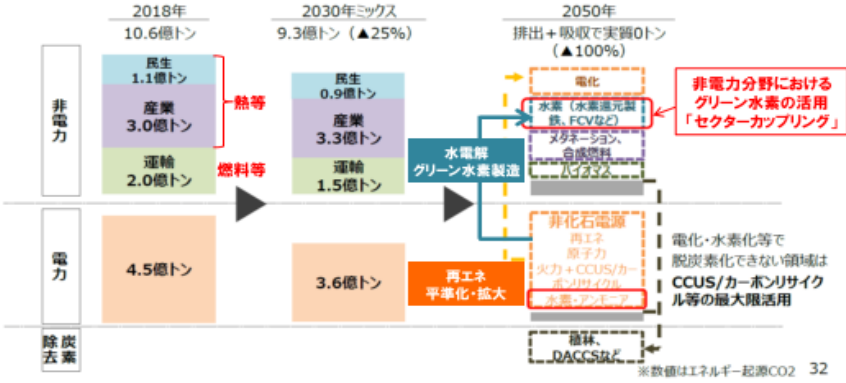
セグメント分析

2050年CNに向けたグリーン成長戦略



（参考）カーボンニュートラルへの転換イメージ 第18回水素・燃料電池戦略協議会

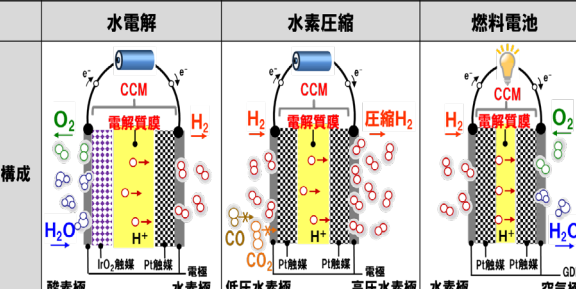
- 社会全体としてカーボンニュートラルを実現するには、電力部門では非化石電源の拡大、産業・民生・運輸（非電力）部門（燃料利用・熱利用）においては、脱炭素化された電力による電化、水素化、メタネーション、合成燃料等を通じた脱炭素化を進めることが必要。
- こうした取組を進める上では、国民負担を抑制するため既存設備を最大限活用するとともに、需要サイドにおけるエネルギー転換への受容性を高めるなど、段階的な取組が必要。



カーボンニュートラル転換に向けたコア技術は、水電解・グリーン水素製造

Copyright 2021 Toray Industries, Inc. All Rights Reserved.

構成



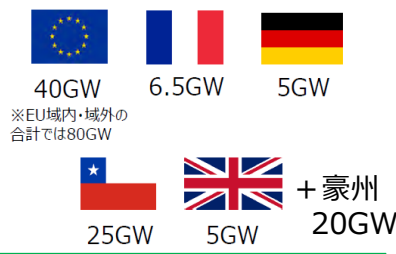
原理

水電解: 電気から水素を製造
 $H_2O \rightarrow H_2 + \frac{1}{2} O_2$

水素圧縮: 電気から水素を圧縮
 $H_2 (0.1MPa) \rightarrow H_2 (80MPa)$

燃料電池: 水素と空気から発電
 $H_2 + \frac{1}{2} O_2 \rightarrow H_2O$

各国等の導入目標(2030年時点)



IEA SDS*シナリオにおける2070年時点での導入容量は約3,300GWの見込み

*Sustainable Development Scenario

ターゲットの概要

出典：水素・燃料電池戦略協議会、IRENA、シーメンス資料

ターゲット：

- 再エネ由来の電力を活用した水電解による水素製造（P2G）、およびPEM型水電解装置電解質膜・CCMの世界市場規模（想定）：
- 膜：2030年までの累計 4200億円※1、2050年まで平均 2200億円/年（METI）※2
- CCM：2030年までの累計 8400億円※1、2050年まで平均 4400億円/年（METI）※2
- ※1 公表値130GW、2030年目標設備6.5万円/kW、膜/CCM市場を設備5/10%で試算
- ※2 30年間世界平均88GW/年、設備5万円/kW、設備4.4兆円/年、同上で試算

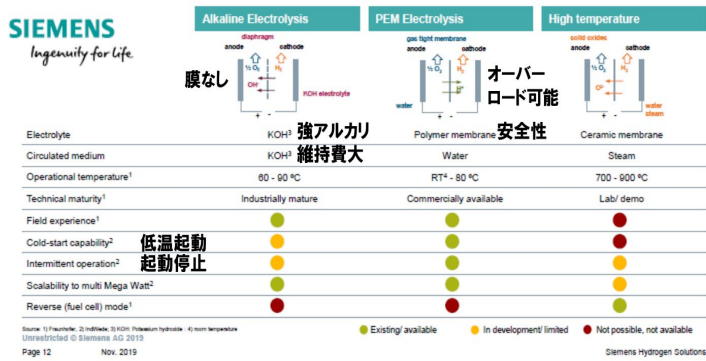
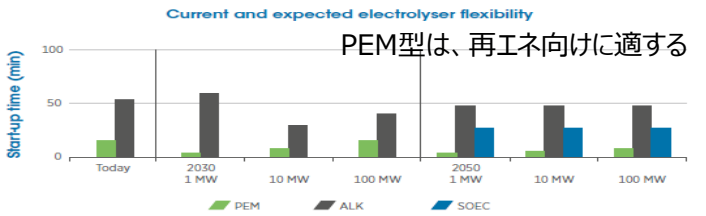


Figure 5: Start-up times for electrolyzers



（参考）水電解装置の種類と主な特徴（アルカリ形・PEM形）

- 現在実用化されているのはアルカリ形とPEM形の2種類。前者は高効率で低コスト、大型化が容易という特徴があり、後者は小型化しやすく、負荷追従性が高いため、調整力として活用が期待。

	アルカリ形	PEM形
主要製造企業	旭化成、Hydrogenics（加）、Thyssenkrupp(独)、Nel(ノルウェー)	日立造船、東レ（電解膜・MEA）、ITM Power（英）、Hydrogenics（加）、Siemens Energy（独）、Nel(ノルウェー)
NEDO実証の規模（参画企業）	10MW@福島（東芝エネルギーシステムズ、東北電力、東北電力ネットワーク、岩谷産業、旭化成）	2.3MW@山梨（山梨県企業局、東レ、東京電力ホールディングス、東光高岳）
電解効率（LHV, %）	63-70	56-60
資本コスト（USD/kW）	500-1400	1100-1800（使用する貴金属が高価）
製品寿命（時間）	60000-90000	30000-90000
電流密度（A/cm2）	-0.6	-2（セルスタックの小型化に寄与）
圧力（bar）	1-30	30-80（追加圧縮コスト低減可）
負荷追従性（調整力としての活用）	負荷変動範囲が狭い	負荷変動範囲が広い

（出典）The Future of Hydrogen, IEA等より資源エネルギー庁作成

1. 事業戦略・事業計画／（3）提供価値・ビジネスモデル

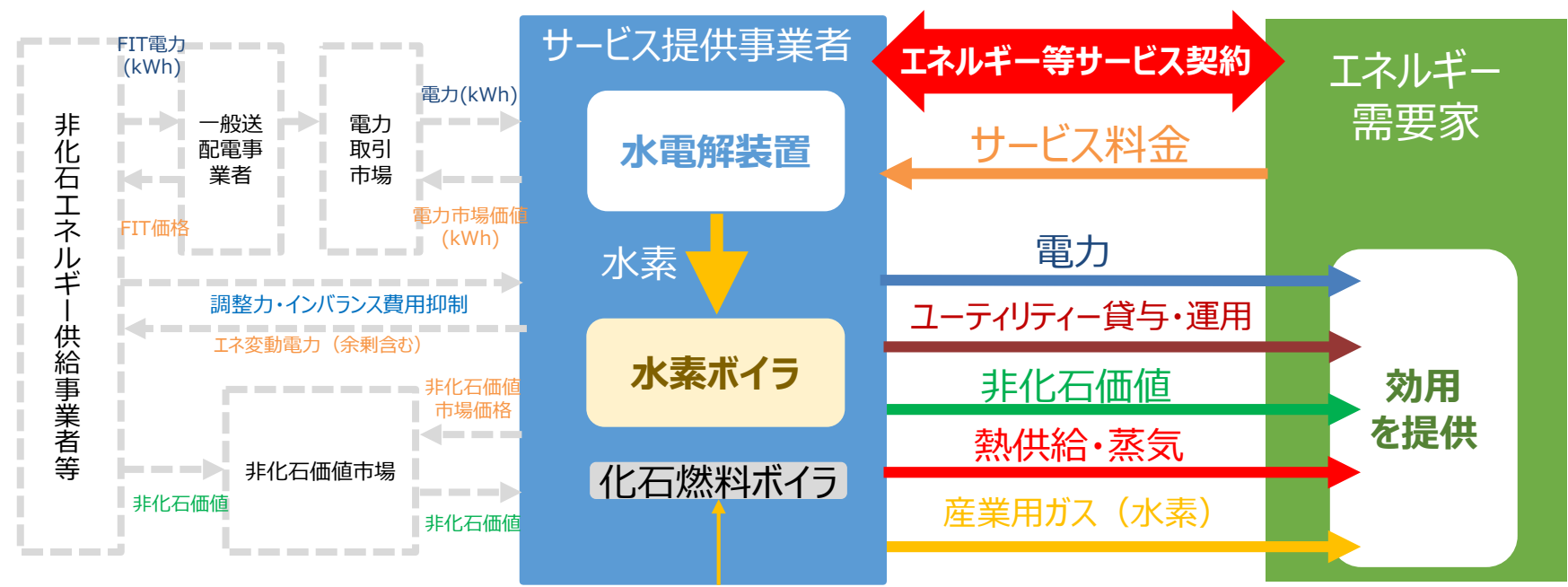
P2G技術を用いて、カーボンフリーの熱（蒸気サービス）を提供する事業を創出/拡大

社会・顧客に対する提供価値

ビジネスモデルの概要（製品、サービス、価値提供・収益化の方法）

- 水素をそのまま熱需要で利用する工場（副生ガスを利用する石化や苛性ソーダ業界を除き）はほぼ無いが、蒸気は大量に製造・利用されていることから、水素そのものではなく水素由来の蒸気を供給することで水素市場を創出する。そのために水素をエネルギー媒体として熱供給を行う役務提供事業を立ち上げる。

サードパーティーオペレーションモデル（第三者保有モデル）



発展型TPOモデル

- 水素は取扱いやオペレーションが難しいことから、パッケージ化や標準化を図り、サービス提供型で普及モデルを構築していく。
- ↓
- カーボンフリー蒸気など「効用」を売るモデル
 - LNG供給や受電設備強化など燃料やインフラのバックアップも必要のためパッケージ型で提供

1. 事業戦略・事業計画／（3）提供価値・ビジネスモデル（標準化の取組等）

需要規模と電力網のレギュレーションのポイントを掴み標準化を活用し、水素の製造から利用までのルール形成を推進

海外の標準化や規制の動向

（P2Gシステムの標準化）

- P2Gシステムは、水、電力、水素、熱の4つのエレメントからなるカップリング技術であり、各エレメントと電力と水素をつなぐ電解部分に、標準化、規格化が存在している。
- その細別は次ページ移行のページで検討

（エネルギー利用動向）

- 水素供給は、オンサイト型・オフサイト型が存在し、水素利用は、ボイラー・バーナーにより熱利用に対応でき、規模は多様であらゆる産業に渡る。
- 一方で、水素の原料となる産業向けの電力の利用は、電力網の基準により、6kV、66kVに大別され、受電できる電力の規模が大きく異なる。
- 6kVは、業務産業向けに84万件の契約が存在し、電力の60%を消費
- 66kVは、業務産業向けに1万件の契約が存在し、電力の40%を消費
- 海外の再エネ資源国では、これまでの例によらない大規模な再エネが導入される見通しであり、国内の電力網からの余剰電力を吸収するシステムとは異なる。
- 性能の評価方法は、IEC、ISOで定められており、これに基づく評価が必要
- 電力調整ツールとしてのP2Gシステムの定義・活用方法はあいまい。

標準化の取組方針

- 市場の蓋然性が高いモデルを早期に構築・モデル化しデファクト化を押し進める。
- 事業を4階建ての構造として、土台となる米倉山の評価設備の運用から、エネルギーの利用動向に合わせて、モデル化する。

（1.既存事業、2.国内事業、3.GI基金事業、4.海外事業）

- 蓋然性の高いモデル化により、利用者を拡大させ、市場ルールを形成することで、電力調整ツールの検討など、電力分野における規格化では、当方の意向を反映させていく。

標準化の取組内容（全事業期間通じて）

1.既存事業では、オフサイトP2Gシステムを活用し配送型モデルを追求

- 高圧ガス製造配送システムの国内デファクトシステムを構築すべくモデル化を推進
- 次世代の容器を多様な圧力・用途で利用可能なパッケージ化を推進
- 調整力市場の中で存在感を発揮するためのデータ取得を推進しルールメーカーと協業

2.国内事業では、6kV系システムのパンパックモデルを創造

- 6kVの電力網の規格は、アンダー2000kW
- 既存の受電設備の改変が最小であり、構内のPVとの連動性から500kWのワンパックモデルを企画、開発しインバーターからアーリーアダプターまでの需要家をターゲットとして他者へに選考する運用ノウハウをコアコンピタンスとして、市場ルールを創造

3.GI基金事業では、66kV系システムのモジュール連結モデルを創造

- 66kVの電力網の規格は、オーバー2000kW
- ボイラー運営において、資格者の要件が緩和されている小型貫流ボイラーの複数設置がスタンダードであることを踏まえ、2.0ton/hの蒸気量とマッチする2.0MW程度を単一モジュールとした連結式のモデルを創造
- 蒸気量10ton/hの工場をターゲットに、10MW規模のパッケージを確立し、カーボンフットプリントの指向の強い製品が生産される分野においてCO2フリー価値を提供することで100MWまでの市場において標準を獲得

4.海外事業では、モジュール連結モデルと我が国の電化技術を統合し提供

- 熱の電化において、P2Gはガス、石油の代替として有効であるが、直接電力を利用できる高効率のヒートポンプ熱供給を併せることで、CN時代の工場熱システムを提案・実証していく。
- 海外工場での大規模な実証を経験し、GW規模が想定される輸入燃料としての水素製造につなげていく。

1. 事業戦略・事業計画／（４）経営資源・ポジショニング

高性能な水電解の大型化技術を保有する強みを活かして、社会・顧客に対して安心して使えるカーボンニュートラルな水素と熱エネルギー価値を提供

自社の強み、弱み（経営資源）

ターゲットに対する提供価値

- 共同提案者は製造メーカーからエネルギー供給企業に加えて自治体の企業局とサプライチェーン全体をカバーしており、導入候補である工場に対してPower to Gasシステムをターンキーで提供できること

自社の強み

- 技術力
 - 大型の電解槽の開発を通じて得たアッセンブリ技術、運用技術、EMS技術、熱マネジメント技術を集約して基金事業を実施できる。
- 実施体制
 - エネルギー供給事業社である山梨県企業局と東京電力グループ、水電解技術を有する東レを中心に、水電解メーカーの日立造船とシーメンスエナジー2社と水素ボイラートップの三浦工業によるアライアンスであり、エネルギー調達から機器製造・サービス提供までをすべて共同提案者だけで可能

自社の弱み及び対応

- 公営企業の山梨県は、県外・海外での活動に限界あり
- 対策として共同事業体（YHC）の設立

他の実証チームに対する比較優位性

水素を利用する需要がほぼ無い現状では、水素を供給するだけでは事業化が困難。それを踏まえ当アライアンスは初期の段階から需要の創出を優先してサプライチェーンを構築してきた。一層の需要創出に力を入れていく。

技術	顧客基盤	サプライチェーン	その他経営資源
• 2016年に開始した現行のNEDOのP2G技術開発に取り組み大型スタックの基盤技術とその運転技術を習得した。 	• 現行NEDO事業において、P2Gの潜在的な導入希望を把握している。 	• 従来型の水素をトラック等で輸送する方式を採用し、輸送実績あり 	• 山梨県知事を筆頭とした政策部門のバックアップ 
H2-YES • スタック技術をモジュール式に高めることはもとよりEMS技術及び熱コントロール技術も含めてのパッケージ技術を確立できる。 	• 水素需要のニーズに適応可能な水素製造と需要を統合したパッケージを提供できる。 • 自治体間連携において水素の山梨モデルを展開できる。 	• 基金事業では水素を運ばず電力網を活用して工場オンサイトで製造する。 • 電力網の利用率を高めることで再生可能エネルギーのさらなる導入を促進する。 	• 各社の関連企業も動員しEPCの内製化にも着手し、施工のパッケージ化とコストダウンを図る 
競合チームの状況 • SOEC方式はまだ要素開発中、アルカリ方式は電解液に高濃度アルカリを利用する。 	• 他自治体も地域の実情に応じた水素社会実装の取り組みを実施している。 • メーカーらは顧客開拓から着手する必要がある 	• 福島FH2Rなどとの連携を図り、まずは水素需要を拡大していくことで協力し、水素を運搬して利用するモデルは基金事業では取り扱わないが規制の緩和が大きく進展する場合には再検討する可能性もあり得る。 	



1. 事業戦略・事業計画／（4）経営資源・ポジショニング

山梨県は、社会をリードする水素エネルギー事業者の強みを活かして、社会・顧客に対して非化石エネルギーによる生産活動という価値を提供

自社の強み、弱み（経営資源）

水素エネルギー社会トップランナー自治体

- 山梨県知事の強いリーダーシップのもと、県庁全体として人的・資金的リソースを積極的に投入し、水素・燃料電池を地域の成長資源としてとらえ、自治体主導にて水素サプライチェーンを構築

自社の強み

- 米倉山電力貯蔵技術研究サイト
 - 再生可能エネルギーを活用する電力貯蔵を先取りするコンセプトを持ち、需要家とともに水素の利活用を検討してきた知識・経験で他の自治体をリードする。
- 山梨県政による全面的なバックアップ
 - 「やまなし水素エネルギー社会実現ロードマップ」
 - 「やまなし水素燃料電池ネットワーク協議会」による産官学連携

自社の弱み及び対応

- 先駆者であるがゆえに、技術開発とビジネスモデル開発の両輪での取り組みが必要であり、初期コストを賄う経済的な仕組みを創造する必要がある。
- 公営企業であり、県内外での活動に限界

他社に対する比較優位性

他の自治体・公営企業において水素エネルギーサービスの開発を進めている者はなく、CNに向けた先進性、保有する技術力において、圧倒的な優位性を持つ

	技術	顧客基盤	サプライチェーン	その他経営資源
山梨県	- 米倉山では水素燃料電池の実証に10年の実績 - 現行NEDOのP2Gシステム技術開発では現場のシステム構築を担当	本業の水力発電事業では東京電力と電力販売ブランドやまなしパワーで直接的に小売りに参入	高圧ガスの輸送による水素の供給を進めており、その建設コスト、法規制並びに運用コストを十分に把握	山梨大、FC-CUBIC、HYSUTなど水素燃料電池に関する国内の研究機関は山梨に集約
	↓ これまでの実証技術と経験をシステム構築に反映させる。	↓ 各県の環境政策部門と連携し、省エネ法対象事業者への共同での働きかけ、まずは山梨モデルを県内で確立	↓ 高圧ガスの輸送に関するコストは、システムが十分に普及する将来においても高止まりすることを想定し、工場での水素製造を実施	↓ 2022年度には米倉山次世代エネルギーシステム研究開発ビレッジを整備し、基金事業の実証拠点として活用しつつ他の研究機関との連携を深める。
競合自治体	- 他の実証案件などでは100kW以下での取り組みが多く事業化を目指すものは少ない。 - 他県において水力発電と連携した水素ステーションなど事例は挙がりつつあるが、熱エネルギーサービスを目指すものではない。	- 各県の地元企業の技術あるいはビジネスをコアに地域の特色を生かしての実証を検討。 - 積極的に県外にモデルを移転しようとする姿勢で挑む本県とは異なる。	他県における実証需要先でエネルギー転換するモデルは、これまでのところ山梨県の独自の提案である。	関東圏の都県においても水素導入の気運が盛り上がっており、導入先進県として山梨モデルを積極的に輸出することで、水素社会の構築を後押しする。

1. 事業戦略・事業計画／（5）事業計画の全体像

YHCは5年間の研究開発の後、2026年頃の事業化、カーボンプライシングなどのサポートを受けて自立する

- 投資計画
- ✓ 26から30年にかけては全国累計にて1GWを目指し、YHCのシェアを56%(560MW)を目標とする。
 - ✓ 50年のCN時点において、15GWの累計導入

研究開発

→

▼ 事業化

投資回収(連続的に成長するため、投資が継続し具体的な投資回収年を算定できないため2050年を置く)

	20年度	21年度 YHC	...	25年度 YHC	...	26年度 YHC	...	30年度 YHC	30年度 まで合計	50年度 YHC	計画の考え方・取組スケジュール等
売上高	-	-	...	-	...	20億円	...	114億円	327億円	4,357億円	・26年には、まずは国内市場での導入を図り、30年度には560MW程度、その後2050において15GWの導入を想定
研究開発費	3.0	1.1	...	7.6	...	-	...	-	-	-	・研究開発費は事業化後に回収
取組の段階	会社準備	設立	...	実証完了	...	事業化	...	耐久完了		-	
CO ₂ 削減効果	-	-	...	-	...	50kトン		285kトン	821kトン	16,000 kトン	・省エネ法重油換算(69g/MJ)での計算

1. 事業戦略・事業計画／（5）事業計画の全体像

事業の自立に必要なとなる諸制度

補助制度の他に必要と思われる導入推進策

- ✓ E S G 関連の投資呼び込み
 - ✓ TCFD
 - ✓ 日本版タクソミー
 - ✓ グリーンファンド
- ✓ 熱エネルギーの証書化
 - ✓ サーティファイなど先行するグリーン水素の定義の明確化
 - ✓ トラッキングや自己託送を適用した個別CO2原単位の導入
 - ✓ カーボンフットプリントによる取引制限
- ✓ エネルギー市場の活用
 - ✓ 環境価値市場
 - ✓ 容量市場
 - ✓ 需給調整市場
 - ✓ 地産地消を促進する託送制度
- ✓ 熱FIT（エネルギー転換を進める熱エネルギー共助制度）
 - ✓ 熱エネルギー版のFIT制度の創設、カーボンプライシング
 - ✓ 再エネ電気を利用する場合は賦課金減免

1. 事業戦略・事業計画／（6）研究開発・設備投資・マーケティング計画

YHCによる研究開発段階から将来の社会実装（設備投資・マーケティング）を見据えた計画を推進

	研究開発・実証	設備投資	マーケティング
取組方針	- YHCは、現行NEDO事業で得た知見をベースにこれをさらに向上させ、国際的な産業競争力永続的なものとするため、構成メンバーである東レが中心となり10kW水電解設備、米倉山の25kW大面積ショートスタック評価設備、500kWスタック実証設備を駆使して水電解材料で世界をリードしていく。 - その中でも、500kWのスタックを3台運用できる1.5MWの実証設備では、水素の製造を通じて得られる電気的な特性の把握をTEPCOグループが中心になってより深耕し、基金事業に臨む	- 基金事業を前に設立の準備を開始したYHCは、3つの事業を社内に持ち事業を進めていく体制を想定している。 - 新技術の利用による同業のP2G事業者に対して優位性を継続的に発揮するため、電解技術は東レ、エネルギー管理システムは東電を中心に米倉山での研究を重ねていくことしており、積極的にこれまでの意研究資源を活用し基盤技術を高める取り組みを実施する。 - また、事業資産にも積極的に投資し、2030年には国内で100か所程度の需要家にサービスを提供していきたい。	- YHCのマーケティングは、実機の運営を顧客に目の当たりにしていただくことから始まる。 - メガワット級の設備により、水素を導入することへの不安や音・温度・安全性・大きさを体感していただけるよう、実証サイト内はすべてオープンエリアとして見学できるよう設計している。 - また、YHCのリテールは東京電力エナジーパートナーの幅広い顧客網を使う。長期に渡る利用によりメリットを得ていただくシステムのため、新電力やベンチャーでは持ちえない資本基盤や信用力並びに電化との棲み分けなど需要家メリットの最大化を武器とする。
進捗状況	YHCでは、技術開発部門を設置し、10kW水電解設備、米倉山の25kW大面積ショートスタック評価設備、500kWスタック実証設備を用いて水電解材料評価を開始した。	YHCのビジネスモデルはTPO（サードパーティーオペレーション）を想定しており、事業設備への投資がまさに設備投資になる。まずは、地域モデル事業で2025迄に4件程度の新規地点への投資を行いその他にも、本GI基金事業での実証先を設備投資先として、需要家と具体的な検討を進めているほか。海外案件で具体的な検討を開始した。	2025年までは技術開発予算のサポートをいただきながら、多様な需要での案件形成を急ぎ、これと平行して、2023年からは共助制度などの導入支援にしっかりついて行くべく案件形成を急いでいく。

1. 事業戦略・事業計画／（6）研究開発・設備投資・マーケティング計画

YHCによる研究開発段階から将来の社会実装（設備投資・マーケティング）を見据えた計画を推進

国際競争
上の
優位性

研究開発・実証



- ナノレベルでの材料解析・開発を行い、世界をリードしようとする東レ、電力網の管理と電力技術そのものに対して高い見識の東京電力グループ、さらに電力貯蔵技術研究サイトを全国の自治体で唯一運営し、政策を先導する山梨県のメンバーシップから生み出されるノウハウは、技術のインテグレーションとその活用に関して国際的にも高い成果をきたいできる。

設備投資



- 材料メーカーが自治体の保有する研究開発アセットを通じて技術力を向上させる例はなく、通常は契約に基づいた受注関係になる。
- YHCのメジャーであり、資本の50%以上を有する山梨県企業局は、自身の事業リスクも共有する形で研究開発にリソースを今後も提供することで、NEDO資産による便益を最大化し、世界に例のない環境を構築していく。

マーケティング



- P2G産業で国際競争力を得るためには、国内での市場を開拓しシステムの信頼性を得ることが重要であり、上記により広げる経験を国際的な優位性につなげる。

山梨県による研究開発段階から将来の社会実装（設備投資・マーケティング）を見据えた計画を推進

研究開発・実証

設備投資

マーケティング

取組方針

- P2G技術開発において、これまでに山梨県企業局が発明に関与し、特許を出願しているものが7件となっており、今後も事業遂行に伴う障害回避のため、積極的に知財の保護に取り組んでいく。
- 米倉山の電力貯蔵技術研究サイトでは、これまでに多様なエネルギーストレージの研究を推進しており、水素製造に関しても10年の実績を持っている。民間企業との共同研究を基本としており、技術間の融合に力を入れ、水素と調整力のコンビネーションにおいても世界をリードしていく。

- 実証研究を、主導することで民間企業の事業投資マインドを高め、自立分散型のエネルギー社会の構築において、他の自治体をリードすることで、研究資産を呼び込み、さらには研究機関ごとあるいは企業間の連携コーディネーターとして活躍し、経済のシナジー効果を発揮させている。
- 年間の投資予算は、1億円程度であり、近年はHysutの環境整備に1億円、電気化学式昇圧機に1.5億円、さらに本年度からはFC-Cubicに20億円の投資を予定している。

- 公営電気事業の事業外事業にて事業を推進しているため、自ら作り上げた技術を国内外に展開していくためには、民間企業との協働が不可欠である。
- 水素そのものを商品として流通させるため、東京電力EP及び巴商会と連携していく予定。
- また、電力を一次エネルギーとしてとらえる時代の到来を見越し、水素を販売するのではなく、エネルギー媒体として利用し、顧客にはCO2フリー価値の提供を行うサービスとしてのビジネスを目指し、YHCを設立する。

進捗状況

- 電力調整力市場の設計に対し、機動性の高い運転特性を持つPEM形水電解のメリットを有効に取り入れられるよう、新たな適用性実証を開始する。

- 米倉山電力貯蔵技術研究サイトにおいて、P2G実証サイトに併設させる、やまなし次世代エネルギー研究開発ビレッジ「NESRAD」を総事業費20億円の自己資金で建設を開始した。
- 水素燃料電池や、次世代のエネルギーシステムの実証プロジェクト9件を開始した。

- 山梨県は現行NEDO事業の大型スタック評価設備にて実証試験を継続させるためにYHCを設立し、管理を担わせる。
- 水電解実証の継続により生じる水素は、YHCが巴商会と協力して、広く社会にグリーン水素を普及させていくために利用する体制を確立した。
- 水素エンジンレーシングカーやキッツ株式会社のフォークリフト利用などで利用を開始



山梨県による研究開発段階から将来の社会実装（設備投資・マーケティング）を見据えた計画を推進

国際競争
上の
優位性

研究開発・実証



- 米倉山電力貯蔵技術研究サイトは、例えば、ドイツにおけるブラウンフォーファのラボとマインツのエネルギーパークを組み合わせたような、基礎研究から実証に至る研究開発資源をそろえており、かつ異分野技術との連携も可能である。
- オープンイノベーションを志向する企業には世界のほかにはない環境を提供できている。

設備投資



- 太陽光発電10000kW、試験用太陽光発電1000kW、水素用太陽光発電35kW、特別高圧設備、高圧設備、高圧水素設備、場内水素パイプライン、専属管理員、見学者用施設を有しており、基金事業においてもこれらの施設を存分に活用した技術開発を推進する。

マーケティング



- ローカルガバメントたる山梨県の強みを生かし各国大使館などと直接交流を図り、日ごろの人材交流を重ねることによって、再エネ資源国とも親交を深めている。

国の支援に加えて、28億円規模の自己負担を予定

山梨県企業局による資金調達方針					YHCとして記載				
	2021 年度	2022 年度	...	2025 年度	...	2030 年度	...	2036 年度	2036年度まで合計
事業全体の資金需要	3.1億円	18.1億円	...	12.1億円	...	181億円	...	1,200億円	8,700億円
うち研究開発投資	1.1億円	2.7億円	...	7.6億円	...	0億円	...	0億円	11億円
国費負担※ (委託又は補助)	0.7億円	1.8億円	...	5.1億円	...	基金事業で モジュール化 を成し、新た な事業化実 証を提案し、 世界を一気 にリードして いく。	...	-	100億円
自己負担 (A+B)	0.4億円	0.9億円	...	2.5億円	...		...	-	6.5億円
A：自己資金	0.4億円	0.9億円	...	2.5億円	...		...	-	6.5億円
B：外部調達	0円	0円	...	0億円	...		...	-	8,600億円
水素エネルギー社会構築事業費									
YHCへの出資	1.5億円	0円	...	4億円	...		...		5.5億円
運営費の負担	0.5億円	0.5億円	...	0.5億円	...		...		2.5億円
研究ビレッジの整備	0億円	15億円	...	0億円	...		...		15億円

2. 研究開発計画

コンソーシアム全社共通の内容

研究開発内容〔1〕〔2〕〔3〕のサマリ

2. 研究開発計画／（1）研究開発目標

公募内容の整理

（目標達成の評価方法）

提案者の柔軟性を確保する観点から、各目標の個別の評価方法については、現時点で特定せず、その方法についての考え方を示すのみに留め、今後案件の採択時により具体的に決定することとする。

① 水電解装置のコストについては、各実施者の事業終了年度が異なる可能性に鑑み、その時点での商用化時点で想定される生産設備で、複数のモジュールを連結させた水電解装置の製造を行う場合の単位容量当たりの設備コストを試算し、目標達成度を評価する。なお、上記コスト目標には、装置本体に加えて、変圧器や整流器の費用を含み、水素圧縮機、精製装置、建屋等に係る費用は含まないものとする。

【研究開発項目1】水電解装置の大型化技術等の開発、Power-to-X 大規模実証【補助】

➤ 目標：2030 年までにアルカリ型水電解装置の設備コスト5.2 万円/kW、PEM 型水電解装置の設備コスト6.5 万円/kW を見通せる技術の実現

➤ 研究開発内容：

① 水電解装置の大型化・モジュール化技術開発【（2/3→1/2 補助）＋（1/10 インセンティブ）】

先行する欧州等のプレイヤーは、複数のモジュール化されたスタックを並べ大型化するとともに、システムに必要な補機（整流器等）の数を増やさない設計とすることで、①組み立て工程の簡素化や、②単位容量当たりに必要な設備量の減少を通じたコスト削減を実施。その削減ポテンシャルは大きく、例えばIEA のレポート13では、PEM 型の水電解装置で0.7MW のスタックを6つ並べることで、約40%の装置コストの低減が見込まれている。しかしながら、1モジュールの大型化は水素の漏洩や生産工程による不均一性といった難題を克服する必要がある他、モジュールと補機の最適配置についても様々な工夫の余地がある。このため、本プロジェクトでは、量産可能かつスケーラブルな特徴を備えた水電解装置の大型化・モジュール化に係る技術を開発する。

NEDO公募要領の記載

アルカリ型水電解装置及びPEM 型水電解装置を対象とし、実用規模（遅くとも、2030 年においてアルカリ型100MW システム、PEM 型100MW システムの実現を見通す）を想定し、量産可能かつスケーラブルな特徴を備えた水電解装置の大型化・モジュール化に係る技術を開発する。

② 優れた新材の装置への実装技術開発【（2/3→1/2 補助）＋（1/10 インセンティブ）】

日本企業は、膜や触媒などの重要な部素材について、世界最高水準の要素技術を有しているが、大型の実機において基礎研究や小規模実証等と同程度の性能を発揮するためには、部素材メーカー及び水電解装置メーカー間等での摺り合わせも含めた、更なる技術開発を実施する必要がある。例えば、より高価な触媒利用量が少ない電極や、薄膜化などは装置コストの低減に貢献しうが、そうした部素材は単一では効果を発揮できず、膜への触媒の塗布の方（PEM型の場合）や、スタッキングの手法なども最適化することではじめて、システムの中でその性能を発揮することが可能となる。このため、本プロジェクトでは、膜や触媒などの重要な部素材を水電解装置に実装する技術を開発する。

NEDO公募要領の記載

低コスト化、高効率化に繋げる、膜や触媒などの重要な部素材を水電解装置に実装する技術を開発する。

③ 熱需要や産業プロセス等の脱炭素化実証【（2/3→1/2 補助）＋（1/10 インセンティブ）】

電化が困難な熱需要や、基礎化学品の製造を含む化学分野等、脱炭素化のハードルが高い分野では、水素の利活用が見込まれる。しかしながら、再エネ等の変動電源と水電解装置を組み合わせる場合、その後工程の最適な運用方法（定格運転を行う代わりに、水素貯蔵タンクを設ける、水素製造工程に併せて出力を変動する等）については、解決すべき技術課題が残っている。このため、本プロジェクトでは、水素の需要家と緊密に連携しながら、水電解装置を用いた、産業プロセス等における化石燃料・原料等を水素で代替する最も効率的なシステム運用方法を確立する。特に、水電解装置をオンサイトで直接需要家の工場等に設置し、当該施設内で製造した水素を消費する場合は、そのモデル性を重視し、熱の脱炭素化や基礎化学品等の製造過程で水素の過半を燃料・原料として活用するものを実証対象とする。

NEDO公募要領の記載

水素の需要家と緊密に連携しながら、水電解装置を用いた、産業プロセス等における化石燃料・原料等を水素で代替する最も効率的なシステム運用方法を確立する。特に、水電解装置をオンサイトで直接需要家の工場等に設置し、当該施設内で製造した水素を消費する場合は、そのモデル性を重視し、熱の脱炭素化や基礎化学品等の製造過程で水素の過半を燃料・原料として活用するものを実証対象とする。

なお、本事業においては、事業終了後の速やかな社会実装を進める観点から、原則、研究開発内容①から③まで一体となって取り組む企業又はコンソーシアムを公募する

2. 研究開発計画／（1）研究開発目標

アウトプット目標を達成するために必要な複数のKPIを設定

研究開発項目	アウトプット目標		
1.水電解装置の大型化技術の開発 Power-to-X 大規模実証	✓ 2030 年までにPEM 型水電解装置の設備コスト6.5 万円/kW を見通せる技術の実現 ✓ 大規模P2Gシステムによるエネルギー需要転換・利用技術開発		
研究開発内容	KPI	KPI設定の考え方	
1 水電解装置の大型化・モジュール化技術開発	25万円/kW@2025年、量産コスト6.5万円/kW@2030年、 - システム効率77%@2025年、80%@2030年、を見通す。 6MW級水電解装置を製作し、PEM 型100MW システム@2030 年の実現、を見通す。	※ 1 「FCHJU Multi - Annual Work Plan 2014 - 2020」で目標を設定。 - FCH-JUの2030 年設備コスト目標※ 1 を参考に設定 500€/kW、システム効率79%@2030 - 複数のモジュール化されたスタックを並べ大型化するとともに、システムに必要な補機（整流器等）の数を増やさないことで装置コスト削減を実施。	
2 優れた新材の装置への実装技術開発	- 膜やCCMの重要な部素材を水電解装置に実装する技術、および大規模除湿・圧縮システムを開発し、 25万円/kW@2025年、量産コスト6.5万円/kW@2030年、 - システム効率77%@2025年、80%@2030年、を見通す。 10MW級水電解装置を製作し、PEM 型100MW システム@2030年の実現を見通す。	- FCH-JUの2030 年設備コスト目標※ 1 を参考に設定 500€/kW、システム効率79%@2030 - 大型実機において小規模同等の性能を発揮するためには、部素材及び水電解装置メーカー間での摺り合わせ開発が必要。部素材単一では効果を発揮できず、膜への触媒塗布方法や、スタッキング手法など最適化することではじめて、システムの中でその性能を発揮することが可能となる。	
3 熱需要や産業プロセス等の脱炭素化実証	12MW規模の水電解装置のオンサイトモデルを構築し、水素製造・利用装置のパッケージ化をすること。 - 大規模風力発電によるオンサイト型P2Gシステムの開発をすること。 - エネルギー需要家がシステム運用をせずに効率的なシステム運用方法を電力市場や水素の需要家と緊密に連携しながら開発すること。 - 水素専焼ボイラーの多缶設置システムで、ボイラ単体効率向上と、ターンドウンレシオの拡大により実運転効率を高め、水素から熱への変換効率の高い蒸気システムを開発し実証すること。 - 電解槽のモジュール式連結システムに最適となる、変換効率とコストのトレードオフの最適点を得るPEM形水電解向けの整流器を開発すること。	- 設置コスト削減のためのパッケージ化が求められるから。 - 風力発電におけるランプ出力などを効率的に水素に変換し使用するシステムを確立することで、熱需要における化石燃料の置き換え、熱の脱炭素化につながるから。 - 既存設備からのシームレスな切り替えを進めるとともに、水素価格に直結する再エネ余剰電力を効率的に水素に変換する必要があるため。 - 従来の都市ガスボイラを置き換えていくためには、幅広い容量に対応できる蒸気システムを構築することが必要なため。 - 整流器は、変換効率の高さのみならず、電解槽の電圧や交流変圧器との最適化など専用設計でダイナミックにコストを低減する必要があるため。	

2. 研究開発計画／（2）研究開発内容①

各KPIの目標達成に必要な解決方法を提案

1 水電解装置の大型化・モジュール化技術開発

アウトプット目標

実用規模（遅くとも、2030 年においてPEM 型100MW システムの実現を見通す）を想定し、量産可能かつスケーラブルな特徴を備えた水電解装置の大型化・モジュール化に係る技術を開発する。

目標	KPI（2025年目標）	現状レベル	2025年 レベル	中間目標 2022年	中間目標 2024年	実現可能性 （成功確率）
低コスト化	2025年にて1,050千円/Nm3/h（25万円/kW）、2030年で量産コスト272千円/Nm3/h（6.5万円/kW）を見通す。	TRL3 米倉山 68万円/kW @1.5MW 、2020年	TRL8 量産コスト 6.5万円/kWを見通す	1,050千円/Nm3/hを見込む6MW装置の設計完了	1,050千円/Nm3/hを見込む6MW装置の製作完了	80%
高効率化	2025年にてシステム効率77%（4.6kWh/Nm3）、2030年にてシステム効率80%（4.4kWh/Nm3）を見通す。			中型スタック評価において、水電解性能1.75V@2A/cm2を見通す。	モジュール試運転にて、システム効率77%を見通す	80%
大型化・モジュール化	6MW級水電解装置を製作し、実用規模（遅くとも、2030 年において、PEM 型100MW システムの実現を見通す）を想定した、量産可能かつスケーラブルな特徴を備えた水電解装置の大型化・モジュール化に係る技術を開発する。			量産可能かつスケーラブルなモジュール連結式装置の設計完了	6MW級水電解装置の製作、据付、試運転完了	90%

2. 研究開発計画／（2）研究開発内容①

各KPIの目標達成に必要な解決方法を提案



Readiness level (TRL) ? Sector Technology Step in value chain Importance for net-zero emissions

8	Energy transformation > Hydrogen	Electrolysis > Polymer electrolyte membrane	Production	Very high	Details
---	----------------------------------	---	------------	-----------	-------------------------

Polymer electrolyte membrane (PEM) electrolyzers use a polymer membrane permeable to protons that are transported towards the cathode where they accept an electron and recombine as H₂. While it is currently a commercially less-developed technology than alkaline electrolyzers, its cost-reduction potential is considerably larger while presenting other advantages such as higher flexibility, higher operating pressure (lower need for compression), smaller footprint (relevant for coupling with offshore wind), faster response and lower degradation rate with load changes so they have more potential to contribute to the integration of variable renewable energy generation. PEM electrolyzers need, however, expensive electrode catalysts (platinum, iridium) and membrane materials, and their lifetime is currently shorter than that of alkaline electrolyzers.

Cross-cutting themes: [Renewable electricity](#), [Systems integration](#), [Hydrogen](#), [Electrochemistry](#)

Key countries: [United Kingdom](#), [Germany](#), [China](#), [Japan](#)

Key initiatives:

- Germany: Shell and ITM are installing a 10MW PEM electrolyser in the Rhineland Refinery in Wesseling (Germany). ITM PEM technology installed at Shell hydrogen refuelling stations for vehicles. Japan: the Fukushima Hydrogen Energy Research Field is bulding a 10MW PEM electrolyser using grid electricity, which will become operative in March 2020
- Canada: Air Liquide and Hydrogenics will build in Canada a 20 MW PEM electrolyser to generate 3,000 t H₂/year to both industry and mobility usage.

Announced development targets:

- France: 10% of low-carbon H₂ in industry by 2023 and 20-40% in 2028 (all low carbon H₂ technologies)

Announced cost reduction targets:

- FCH JU (Europe): CAPEX 500 EUR/kW, OPEX 21 EUR/(kg/d)/yr (2030) US DOE ultimate target:

2. 研究開発計画／（2）研究開発内容②

各KPIの目標達成に必要な解決方法を提案

2 優れた新部材の装置への実装技術開発

アウトプット目標

低コスト化、高効率化に繋げる、膜や触媒などの重要な部素材を水電解装置に実装する技術を開発する。

目標	KPI（2025年目標）	現状レベル	2025年 レベル	中間目標 2022年	中間目標 2024年	実現可能性 （成功確率）
低コスト化	・2025年にて1,050千円/Nm3/h（25万円/kW）、2030年で量産コスト272千円/Nm3/h（6.5万円/kW）を見通す。	TRL3 研究段階	TRL8 量産コスト 6.5万円/kWを見通す	—	—	80%
高効率化	・2025年にてシステム効率77%（4.6kWh/Nm3）、2030年にてシステム効率80%（4.4kWh/Nm3）を見通す。			・ 中型スタック評価実証設備を設計・製作する ・ 中型スタック評価において、電解電圧1.9V @2A/cm2を見通す。	・ MW級システム効率77%を見通す。	80%
社会実装	・ 実用規模（遅くとも、2030 年において、PEM 型100MW システムの実現を見通す）を想定し、膜やCCMの重要な部素材を水電解装置に実装する技術を開発する。10MW級水電解装置を製作する。			・ 実用規模を想定した電解質膜・CCM製造設備を設計・製作する。	・ 水電解装置16MW級に実装する電解質膜、およびCCM製造技術を開発する ・ 10MW級水電解装置を設計・製作する。	90%
	・ P2Gから生産されるフルウエット水素の1MPa級大規模除湿・圧縮装置を開発する。			・ 要素技術の検証および、除湿・圧縮システム設計を完了する。	・ 1MPa×1,500Nm3/h級の圧縮機、除湿システムの実証機を製作する。	90%

2. 研究開発計画／（2）研究開発内容②

各KPIの目標達成に必要な解決方法を提案

3 熱需要や産業プロセス等の脱炭素化実証			アウトプット目標	
			カーボンニュートラル実現へ向けた大規模P2Gシステムによるエネルギー需要転換・利用技術開発	
目標	KPI（2025年目標）	解決方法	実現可能性 （成功確率）	
モデル性	省エネ法一種エネルギー管理指定工場をモデルケースとし、12MW規模の水電解装置のオンサイトモデルを構築し、経済合理性と再エネ由来の水素による化石燃料からのエネルギー転換を両立させる水素製造・利用装置のパッケージ化をすること。	- 東電グループとして従来より電力供給を行ってきた需要家との関係性を活かすことで、当該規模の需要家との交渉及び選定を行う。 - 既存の電力システムを用いて再エネを需要家へ供給する技術を開発する。 1.5MWオフサイトモデルで実現した水電解装置および需要先での設備構築知見を活かし、パッケージ化に向けたコンソーシアム内での最適化を行う。	95%	
風力発電との連携	大規模風力発電のグリーン電力供給及び余剰電力利用による熱の脱炭素化を両立するエネルギー転換システムを水素の需要家と緊密に連携しながら開発すること。	オンサイトで且つ、風力特有の余剰電力の変動に連動した、水電解装置及び水素ボイラ運転が必要であり、需要家側の既存設備とも協調、連携するP2Gシステムを開発する。	80%	
運用方法	エネルギー需要家がシステム運用を必要としない効率的なシステム運用方法を開発すること。	需給調整市場、容量市場、DR、再エネ変動吸収、卸市場価格との連動、非化石市場、熱FITなどの市場等を活用して、経済性を向上させる。	80%	
	産業用蒸気ボイラの主流となる小型貫流ボイラーの多缶設置システムを想定して、ボイラ単体効率向上と、ターンダウンレシオの拡大により実運転効率を高め、水素から熱への変換効率の高い蒸気システムを開発して実証する。	- 熱需要家先で多缶設置システム実証を行う。 - 負荷追従機能、運転台数最適化制御、水素残量監視機能にて高効率運転、高ターンダウンレシオを達成する。	80%	
	電解槽のモジュール式連結システムに最適となる、変換効率とコストのトレードオフの最適点を得るPEM形水電解向けの整流器を開発すること。	- 交流電力を直流電力の接続を行う整流器に関して、電解スタックの電気的特性と効率のトレードオフ関係を把握し、変圧器と整流器並びにEMSを一体的設計しPEM形水電解に最適な電力設備を開発する。 - EMSとの連携を図り、あらゆる調整力市場へ供給できる機能を得る。	95%	

2. 研究開発計画／（2）研究開発内容（これまでの取組）

各KPIの目標達成に向けた個別の研究開発の進捗度

研究開発内容	目標	直近のマイルストーン （2022年度 中間目標）	これまでの開発進捗 （2021年度 研究開発成果）	進捗度
1 水電解装置の 大型化・モ ジュール化技 術開発	低コスト 化	1,050千円/Nm3/hを見 込む6MW装置の設計完 了	・装置を共通部とモジュール部に区分し、コストダウンする設計方針を 決定した。	○（理由） 装置のコストダウン方針を 決定した。
	高効率 化	中型スタック評価において、 水電解性能 1.75V@2A/cm2を見通 す。	・ 差圧運転対応の中型スタック評価装置の改造を完了した。 ・ 小型セル評価において、東レ開発MEATH21-3により、差圧運転 条件下での中型スタック水電解性能1.75A/cm2@2A/cm2の見 通しを得た。	○（理由） 計画通りに中型スタック評 価環境の整備完了、およ び小型セルでの性能目標 達成見通しを得た。
	大型化・ モジュ ール化	量産可能かつスケラブルなモジュール連結式装 置の設計完了	・ モジュール連結式装置のダイヤグラムフローを作成した。 ・ 安全面（対地電流、漏洩電流）および整流器との総合的なコス ト・効率面を検討し決定した。	○（理由） 単位モジュールについて仕 様を決定し、装置設計を 計画通りに進めた。

2. 研究開発計画／（2）研究開発内容（今後の取組）

個別の研究開発における技術課題と解決の見通し

研究開発内容	目標	直近のマイルストーン (2022年度 中間目標)	残された技術課題	解決の見通し
1 水電解装置の 大型化・モ ジュール化技 術開発	低コスト 化	1,050千円/Nm3/hを見 込む6MW装置の設計完 了	・ 6MW装置に即した共通部の具体的な 一体化プランの決定。 ・ 装置フローの完了、電解セル構造・部材 の最適設計。	・ 機器数量低減などのコストダウンにより目標を達 成し、6MW装置設計を完了する。 ・ 装置のフロー、電解モジュールを設計完了し、コス トダウンを見込む。
	高効率 化	中型スタック評価において、 水電解性能 1.75V@2A/cm2を見通 す。	・ 中型スタック評価において、差圧運転条 件下での水電解性能1.75A/cm2を見 通す。	・ 小型MEAセル設計をベースとした、差圧運転対 応の中型水電解セル構造・部材設計を計画通り に実施、2022年度中間目標の達成を見込む。
	大型化・ モジュ ール化	量産可能かつスケーラ ブルなモジュール連結式装 置の設計完了	・ コンパクト且つスケラブルな配置案の作 成およびインターフェンスの最適アレンジ。	・ 3Dモデリングを使用したモジュール配置案の検討、 改善レビューにより連結式装置の設計を計画通り に完了する。

2. 研究開発計画／（2）研究開発内容（これまでの取組）

各KPIの目標達成に向けた個別の研究開発の進捗度

研究開発内容	目標	直近のマイルストーン （2022年度 中間目標）	これまでの開発進捗 （2021年度 研究開発成果）	進捗度
2 優れた新部材の装置への実装技術開発	高効率化	• 中型スタック評価実証設備を設計・製作する	• 中型スタック評価実証設備を設計・発注を完了した。	○ （理由）スケジュール通り完了。
		• 中型スタック評価において、電解電圧1.9V @2A/cm2を見通す。	• シーメンス・エナジー社との摺り合わせ開発を開始した。 • 東レ小型基準セルを用いた先行検討において、中型スタックの電解性能目標1.9V@2A/cm2を達成可能な小型CCM設計の見通しを得た。	○ （理由）計画通り。東レ小型基準セルでの目標達成見通しを得た。
	社会実装	• 実用規模を想定した電解質膜・CCM製造設備を設計・製作する。	• 実用規模を想定した電解質膜・CCM製造設備を設計・発注を完了した。	○ （理由）スケジュール通り完了。
		• 要素技術の検証および、除湿・圧縮システム設計を完了する。	• 水平対向機用ノンリーク要素試験機、ヒートポンプ用圧縮機等の要素試験機計画を完了し、設計を開始した。 • ヒートポンプ用圧縮機のOリング耐冷媒性を確認した。	○ （理由）計画通り、要素試験機計画を完了した。

2. 研究開発計画／（2）研究開発内容（今後の取組）

個別の研究開発における技術課題と解決の見通し

研究開発内容	目標	直近のマイルストーン (2022年度 中間目標)	残された技術課題	解決の見通し
2 優れた新材 材の装置への実 装技術開発	高効率化	・ 中型スタック評価実証設 備を設計・製作する	・ 中型スタック評価実証設備の製作と立ち 上げ。	・ スケジュール通り実行する。
		・ 中型スタック評価におい て、電解電圧1.9V @2A/cm2を見通す。	・ 中型スタック評価において、電解電圧 1.9V@2A/cm2を見通す。	・ 計画通り、東レ小型基準セルを用いた検討結 果を中型スタック評価に反映し、2022年度中間 目標の達成に取り組む。
	社会実装	・ 実用規模を想定した電 解質膜・CCM製造設備 を設計・製作する。	・ 電解質膜・CCM製造設備の製作と立 ち上げ。	・ スケジュール通り実行する。
		・ 要素技術の検証および、 除湿・圧縮システム設計 を完了する。	・ 要素試験機（水平対向機用ノンリーク 要素試験、ヒートポンプ用圧縮機等）の 設計、製作完了	・ 計画通り、要素試験機の設計、製作を完了し、 2022年度中間目標を達成する。

2. 研究開発計画／（2）研究開発内容（これまでの取組）

各KPIの目標達成に向けた個別の研究開発の進捗度

研究開発内容	目標	直近のマイルストーン （2022年度 中間目標）	これまでの開発進捗 （2021年度 研究開発成果）	進捗度
3 熱需要や産業プロセス等の脱炭素化実証	システムモデルの構築	フィールド選定完了、詳細設計完了	➤ - 現行PJの米倉山P2Gシステムの課題の洗い出し作業を実施 - 基本構想検討（概念設計）完了 - フィールド選定では有望需要先の工場内の集中踏査を実施 - 連系制約の確認開始	○（理由） スケジュールどおり進捗。
	風力発電との連携	フィールド選定完了、詳細設計完了	➤ - 現行PJの米倉山P2Gシステムの課題の洗い出し作業を実施 - フィールド選定先の蒸気使用量状況を確認し、基本構想に織り込む。 - 基本構想検討（概念設計）完了、フィールド選定	○（理由） スケジュールどおり進捗。
	水素ボイラーの開発	ボイラ効率向上試験と燃焼範囲向上のための燃焼バーナ開発試験を開始する。	➤ - 水素ボイラの試験設備の準備が完了 - 一次試験用の機器類の手配完了	○（理由） スケジュールどおり完了。
	高性能整流器の開発	2022年度 整流器のモジュール評価を開始	➤ - 評価設備の基本設計が完了し主要部材の手配を開始 - 実証機の基本設計（トータルコストダウン手法の検討）	○（理由） 半導体の納入に若干の遅れ

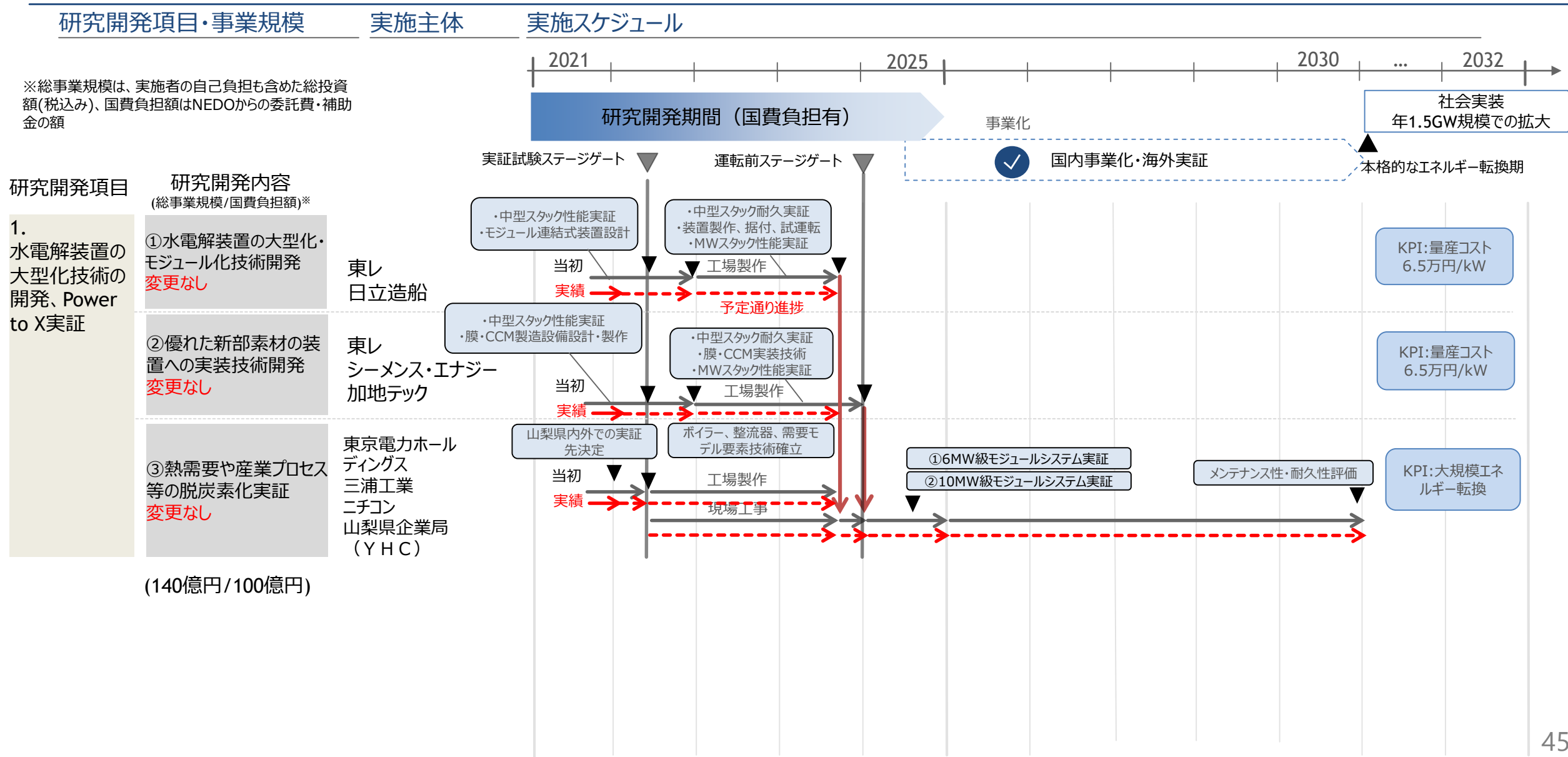
2. 研究開発計画／（2）研究開発内容（今後の取組）

個別の研究開発における技術課題と解決の見通し

研究開発内容	目標	直近のマイルストーン (2022年度 中間目標)	残された技術課題	解決の見通し
3 熱需要や産業プロセス等の脱炭素化実証	システムモデルの構築	フィールド選定完了、詳細設計完了	12MW規模装置に即したパッケージ化、共通部の具体的な一体化プランの決定 - フィールド選定先の既存設備との連携 - 工事工程策定	1.5MWオフサイトモデルでの知見を活かし、フィールド先の熱需要に適した機器容量を決定し、共有部の一体化を図る。 - フィールド先の現地調査やヒヤリング等により、既存設備との適切な連携方法を決定する。 - フィールド先と連携を図り工程を決定
	風力発電との連携		- 風力特有の余剰電力の変動把握 - フィールド選定先の既存設備との連携 - 設備製作、工事工程策定 - 工事工程策定	- フィールド近郊の風力実績より、変動特性を把握する。 - フィールド先の現地調査やヒヤリング等により、既存設備との適切な連携方法を決定する。 - フィールド先と連携を図り工程を決定。
	水素ボイラーの開発	ボイラ効率向上試験と燃焼範囲向上のための燃焼バーナ開発試験を開始する。	性能と燃料性向上に関する評価と改善策の検討	- 熱交換器設計により最適設計を行う - 燃料試験を元にバーナの改良設計を行う
	高性能整流器の開発	2022年度 整流器のモジュール評価を開始	- 評価設備向け納期的ボトルネックのSiC半導体の入手 - 水電解メーカーとの連携した設計	- SiC半導体は9月～順次入手可能な見通しとなり、順次設備稼働 - 電解メーカー及びプラントエンジニアリングとパッケージ設計を進める。

2. 研究開発計画／（3）実施スケジュール

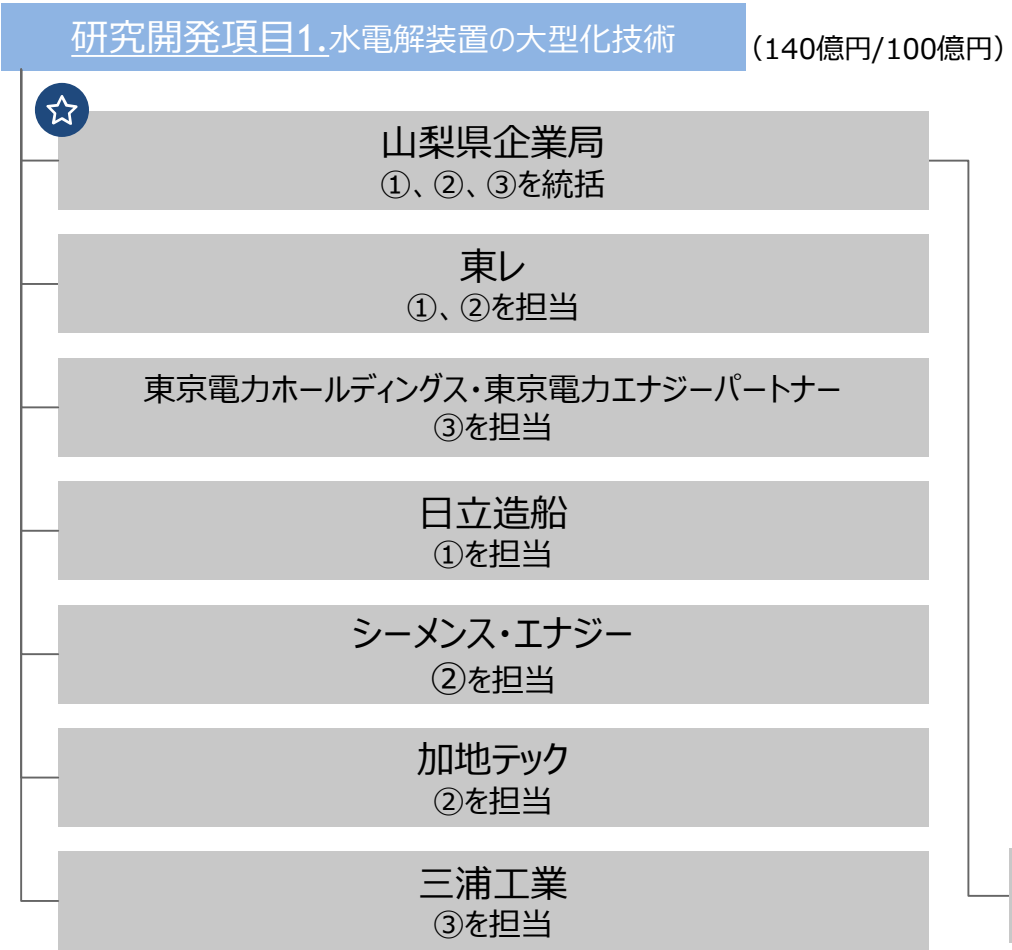
複数の研究開発を効率的に連携させるためのスケジュールを計画



2. 研究開発計画／（４）研究開発体制

各主体の特長を生かせる研究開発実施体制と役割分担を構築

実施体制図 ※金額は、総事業費/国費負担額



①研究開発内容〔1〕 水電解装置の大型化・モジュール化技術開発
②研究開発内容〔2〕 優れた新部素材の装置への実装技術開発
③研究開発内容〔3〕 熱需要や産業プロセス等の脱炭素化実証

各主体の役割と連携方法

各主体の役割

- 研究開発項目 1 全体の取りまとめは、山梨県企業局が行う
- 東レは、①水電解装置の大型化・モジュール化技術開発、②優れた新部素材の装置への実装技術開発のリーダーを担当する。
- 東京電力ホールディングス・東京電力エナジーパートナーは、③熱需要や産業プロセス等の脱炭素化実証のリーダーを担当する
- 日立造船は、①水電解装置の大型化・モジュール化技術開発を担当する。
- シーメンス・エナジーは、②優れた新部素材の装置への実装技術開発を担当する。
- 加地テックは、②優れた新部素材の装置への実装技術開発を担当する。
- 三浦工業は、③熱需要や産業プロセス等の脱炭素化実証を担当する。

研究開発における連携方法

- コンソーシアム「H2-YES」の設置
- 水素事業体「YHC」の設立
- 米倉山次世代エネルギーシステム研究開発ビレッジにて特設オフィスを開設

委託先 ニチコン
①、③を担当

2. 研究開発計画／（5）技術的優位性

国際的な競争の中においても技術等における優位性を保有

研究開発項目	研究開発内容	活用可能な技術等	競合他社に対する優位性・リスク
1. 水電解装置の大型化技術の開発、Power-to-X大規模実証	1 水電解装置の大型化・モジュール化技術開発	- 日立造船のMW級PEM型水電解装置技術 https://www.meti.go.jp/shingikai/energy_environment/suiso_nenryo/022.html - 東レの炭化水素系電解質膜・触媒・CCM技術 https://www.meti.go.jp/shingikai/energy_environment/suiso_nenryo/022.html - シーメンス・エナジーの10MW級PEM型水電解装置技術 https://www.siemens-energy.com/global/en/offerings/renewableenergy/hydrogen-solutions.html#Portfolio - 加地テックの水素圧縮装置技術 http://www.kajitech.com/pdf/04/etc_20210331_02.pdf https://www.mes.co.jp/solution/img/TR3-12.pdf	- PEM型優位性：再エネ負荷変動に強い、高い稼働率、高い安全性、低メンテナンス費 - 日立造船 優位性：国内初のMW級実績、再エネ向け納入実績。海外拠点・ネットワーク。 - 日立造船 リスク：将来コスト、10MW超実績無し - 東レ優位性：独自膜技術による高効率化、高電流密度化、安全性の向上 - 東レリスク：膜・CCMの製造能力、量産品質 - SE優位性：10MW超級実績・高い世界シェア、世界販売・メンテナンス網 - SEリスク：将来コスト - 加地テック優位性：水素ステーション向け水素圧縮装置の国内トップシェア、水素圧縮に関する高い技術力 - 加地テックリスク：将来コスト、国際的知名度
	2 優れた新部素材の装置への実装技術開発		
	3 熱需要や産業プロセス等の脱炭素化実証	- 山梨県企業局の電力貯蔵技術研究サイトの知見を活用できる。 https://www.pref.yamanashi.jp/newenesys/index.html https://www.pref.yamanashi.jp/newenesys/powre_to_gas_system.html https://www.pref.yamanashi.jp/newenesys/fly_wheels_system.html https://www.pref.yamanashi.jp/newenesys/hybrid_h2_system.html https://www.pref.yamanashi.jp/newenesys/yumesolar_yamanashi.html - 東京電力グループの火力発電所の建設運用や需要家へのエネルギーサービスならびに電力網の運用に関する高い知見は、P2Gシステムの導入に活用できる。 https://www.tepco.co.jp/corporateinfo/company/rd/superconduct/DR.html - 三浦工業の水素ボイラの技術 https://www.miuraz.co.jp/news/newsrelease/2017/831.php - ニチコンの電力変換技術ならびに再エネ追従制御の知見を活用できる	- H2-YESの優位性：1.5MW規模での実証試験での経験 - 山梨県の優位性：電気事業の経験による質量共に豊富なリソース - 東電優位性：グループ内で発電から需要までをカバー - 東電リスク：料金メニューの自由度、自由化と規制分野での行為規制 - 三浦工業の優位性：小型貫流ボイラの分野で業界トップシェア、貫流型ボイラでの水素燃料蒸気ボイラを業界に先駆けて商品化 - ニチコン優位性：PEM型水電解用MW級高効率整流器で先行 - ニチコンリスク：将来コスト

研究開発内容〔1〕

水電解装置の大型化・モジュール化技術開発・POWER to X

2. 研究開発計画／（6）提案の詳細に関する参考資料

各KPIの目標達成に必要な解決方法を提案

1

水電解装置の大型化・モジュール化技術開発

KPI

2025年にて1,050千円/Nm3/h（25万円/kW）、2030年で量産コスト272千円/Nm3/h（6.5万円/kW）達成を見通す。

現状	達成レベル	解決方法(アクションプラン)	実現可能性（成功確率）
米倉山1.5MW 比例計算にて 68万円 (TRL3)	2030年で量産 コスト280千円 /Nm3/h（6.5 万円/kW）達 成を見通す。 (TRL8)	最終ユーザーであるYHCの視点においてメーカーと協働して次の技術開発をステップにて実施 - 基金事業にてモジュール式の構成を習得し、17.4億円/6MWベース 2022年に1,050千円/Nm3/hを見込む6MW装置の設計完了 2024年に1,050千円/Nm3/hを見込む6MW装置の製作完了 2025年までに15億円(25万円/kW)を見通す 標準構成:高圧変圧器、整流器、電解槽、純水製造設備、水電解制御装置	これまでの開発において大面積セルの技術を獲得しつつあるため、細別のステップ確認条件を設け実証を進めることで高い確率で成功できる。なお、定置FCなど経験特性から2030年の量産コスト4億円に向けて15億円は適切なベンチマークである。(経験・量産効果など) (80%) - 変圧器や整流器、純水製造、ガス処理、制御の費用を含む設計か(車上渡し条件) - 変圧器・整流器のコスト分担は適切か。

2. 研究開発計画／（6）提案の詳細に関する参考資料

各KPIの目標達成に必要な解決方法を提案

1 水電解装置の大型化・モジュール化技術開発

KPI

2025年にてシステム効率77% (4.6kWh/Nm³)、2030年にてシステム効率80%(4.4kWh/Nm³)を見通す。

現状	達成レベル	解決方法(アクションプラン)	実現可能性 (成功確率)
米倉山実証にて大面積化システム効率74%を越える水準の技術 (TRL3)	2025年にてシステム効率77%、2030年にてシステム効率80%(4.4kWh/Nm ³)を見通す。 (TRL8)	最終ユーザーであるYHCの視点においてメーカーと協働して次の技術開発をステップにて実施 - 補機・整流器の損失の見通しを明らかにし、スタックに必要な効率水準を明らかにする。 - ステップごとにスタックメーカーとの摺り合わせ作業を東レ・メーカーともに技術を提供していく。 2022年に中型スタック評価において、電解電圧1.75V@2A/cm²を見通す 2024年にモジュール試運転にて、システム効率77%を見通す - 四季を通じたEMS連動運転により、実践環境での性能確認	これまでの開発において大面積セルの技術を獲得しつつあるため、細別のステップ確認条件を設け実証を進めることで高い確率で成功できる。(80%) - 効率の計算において重要となる水素量の計測は電荷量にて導くものとし、(整流器の電荷量(水素量)(Ah))/ (低圧交流のトータルインプット(kWh)) = 77% 以上とする。 - 中型スタックにおける基本性能は設計を満たすものか。 - 単一モジュールでの性能は設計を満たすものか。 - 連結モジュールでの性能は設計を満たすものか。

2. 研究開発計画／（6）提案の詳細に関する参考資料

各KPIの目標達成に必要な解決方法を提案

1 水電解装置の大型化・モジュール化技術開発

KPI

6MW級水電解装置を製作し、実用規模（遅くとも、2030 年において、PEM 型100MW システムの実現を見通す）を想定した、量産可能かつスケーラブルな特徴を備えた水電解装置の大型化・モジュール化に係る技術を開発する

現状	達成レベル	解決方法(アクションプラン)	実現可能性（成功確率）
500kW(max 750kW)シングルスタック (TRL3)	1～2MWモジュール×3 (TRL8)	最終ユーザーであるYHCの視点においてメーカーと協働して次の技術開発をステップにて実施 2022年モジュール基本設計完了 2024年度の装置制作、据付工事完了、試運転開始 2025年度から6MW級モジュールシステム実証開始 - インフラ設備にふさわしい高い可用性の保持を実証	これまでの開発において大面積セルの技術を獲得しつつあるため、細別のステップ確認条件を設け実証を進めることで高い確率で成功できる。（90%） - 整流器とのトレードオフ条件を加味したものか。 - 水素・酸素・純水の配送管路は必要量に適応しているか。 - 騒音、振動は想定基準内か。 - 電源喪失時に安全停止を実現できるか。 100MWまでを見通すことが可能なスケーラブルな連結方式を見据え、モジュールごとの部品点数および故障につながる駆動部を減らし、モジュールごとの停止点検が可能な可用性の高いシステムか - 単一モジュールでの動作は設計を満たすものか。 - 連結モジュールでの動作は設計を満たすものか。

2. 研究開発計画／（6）提案の詳細に関する参考資料

研究開発内容〔1〕 水電解装置の大型化・モジュール化技術開発

KPI

低コスト化：2025年にて1,050千円/Nm3/h（25万円/kW）、2030年で量産コスト272千円/Nm3/h（6.5万円/kW）を見通す。

大型化・モジュール化：6MW級水電解装置を製作し、実用規模（遅くとも、2030 年において、PEM 型100MW システムの実現を見通す）を想定した、量産可能かつスケラブルな特徴を備えた水電解装置の大型化・モジュール化に係る技術を開発する

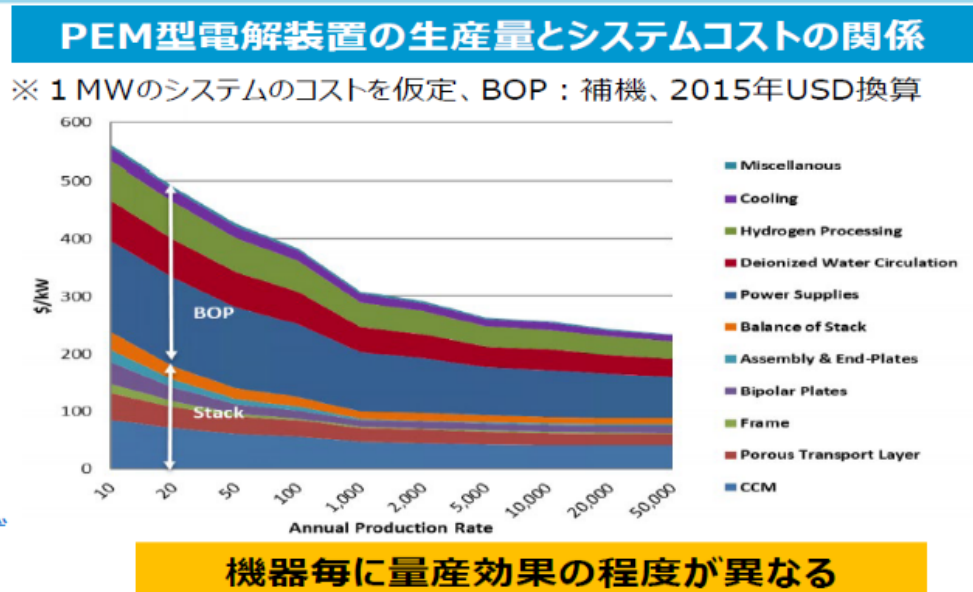
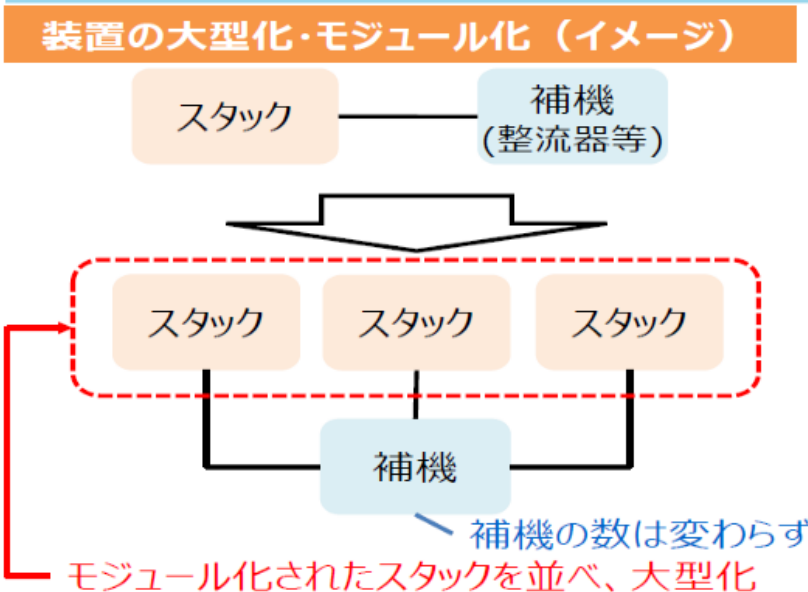
Table 2.2. State-of-the-art and future targets for hydrogen production from renewable electricity for energy storage and grid balancing using PEM electrolyzers

		Unit	State of the art		FCH 2 JU target		
No.	Parameter		2012	2017	2020	2024	2030
Generic system							
1	Electricity consumption @nominal capacity	kWh/kg	60	58	55	52	50
2	Capital cost	€/kg/d (€/kW)	8,000 (~3,000)	2,900 (1,200)	2,000 (900)	1,500 (700)	1,000 (500)
3	O&M cost	€/kg/d/yr	160	58	41	30	21

FCHJUでは
500€/KW@2030年、を目標値として設定。

（出典）FCHJU Multi – Annual Work Plan 2014 – 2020

- 先行する欧州等のプレイヤーは、複数のモジュール化されたスタックを並べ大型化するとともに、システムに必要な補機（整流器等）の数を増やさないことで、①組み立て工程の簡素化や、②単位容量あたりに必要な設備量の減少を通じて、装置コストを削減。
- 更に長期的には大量生産を通じ、更なる装置コストの低減が見込まれるため、量産効果を高める観点からも、今後の需要増大も見越し、日本の水電解装置メーカーの大型化・モジュール化の取組を支援することは重要。



（出典）NREL, Manufacturing Cost Analysis for Proton Exchange Membrane Water Electrolyzers

2. 研究開発計画／（6）提案の詳細に関する参考資料

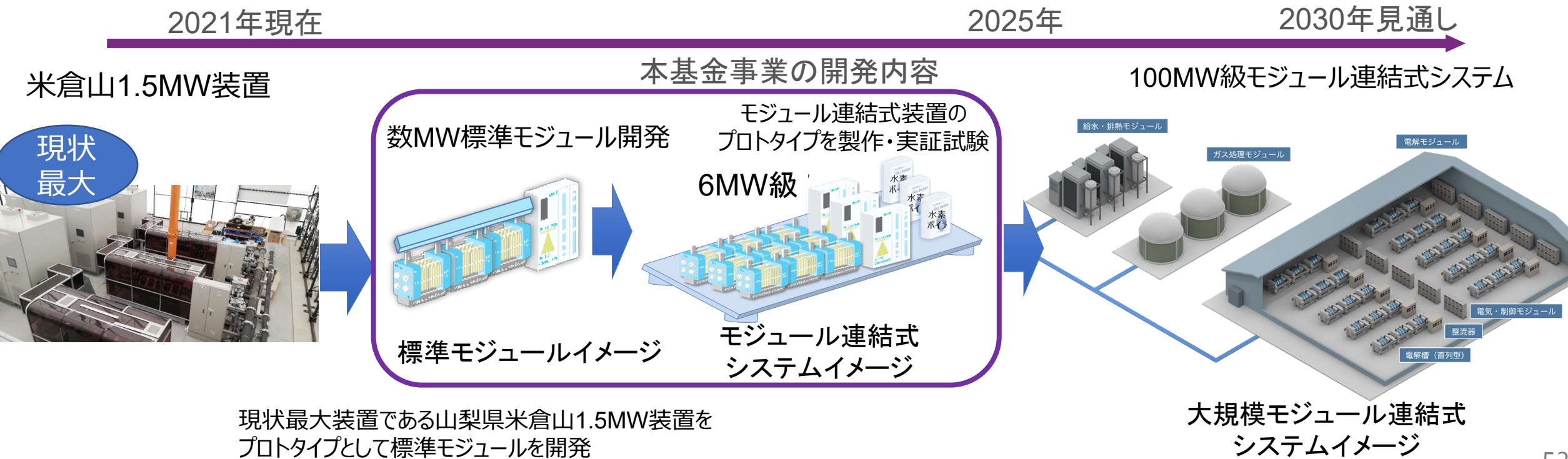
研究開発内容〔1〕 水電解装置の大型化・モジュール化技術開発

KPI

100MW システムの実現を見通す量産可能かつスケーラブルな特徴を備えた水電解装置の大型化・モジュール化

先行する欧州等のプレイヤーは、複数のモジュール化されたスタックを並べ大型化するとともに、システムに必要な補機（整流器等）の数を増やさない設計とすることで、①組み立て工程の簡素化や、②単位容量当たりに必要な設備量の減少を通じたコスト削減を実施。1モジュールの大型化は水素の漏洩や生産工程による不均一性といった難題を克服し、モジュールと補機の最適配置についても様々な工夫することで量産可能かつスケーラブルな特徴を備えた水電解装置の大型化・モジュール化に係る技術を開発する。

2030 年における100MW システムの実現を見通すため、2025年までに数MW級の標準モジュール開発およびこれを用いた6MW級での実証を行ない、数10MW規模に展開可能な技術確立する。



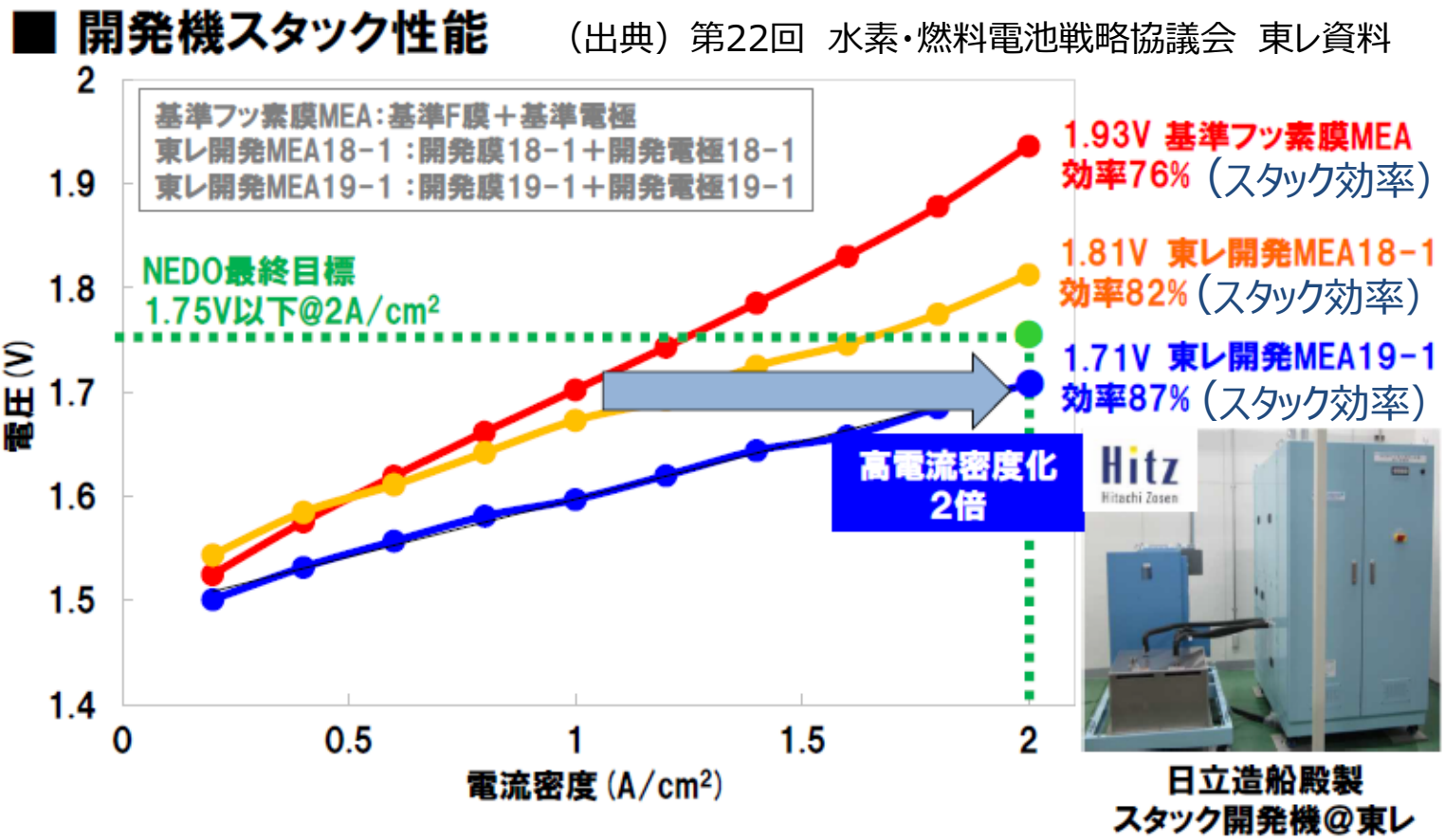
2. 研究開発計画／（6）提案の詳細に関する参考資料

研究開発内容〔1〕 水電解装置の大型化・モジュール化技術開発

KPI

低コスト化：2025年にて1,050千円/Nm3/h（25万円/kW）、2030年で量産コスト272千円/Nm3/h（6.5万円/kW）を見通す。

高効率化：2025年にてシステム効率77%（4.6kWh/Nm3）、2030年にてシステム効率80%(4.4kWh/Nm3)を見通す。



水電解10kW開発機において、東レ開発MEA19-1により、低ガス透過性を維持しながら、水電解電圧1.71Vを確認し、2020年度NEDOプロジェクト最終目標を達成した

研究開発内容〔2〕

優れた新部材の装置への実装技術開発

2. 研究開発計画／（6）提案の詳細に関する参考資料

各KPIの目標達成に必要な解決方法を提案

2 優れた新部素材の装置への実装技術開発

KPI

・実用規模（遅くとも、2030 年において、PEM 型100MW システムの実現を見通す）を想定し、膜やCCMの重要な部素材を水電解装置に実装する技術を開発する。10MW級水電解装置を製作する。

現状	達成レベル	解決方法(アクションプラン)	実現可能性（成功確率）
パイロット生産（TRL3）	2025年にて電解質膜、およびCCM製造技術を開発（TRL8）	最終ユーザーであるYHCの視点においてメーカーと協働して次の技術開発をステップにて実施 2022年に実用規模を想定した電解質膜・CCM製造設備を設計・製作する - セルのアッセンブリの影響(材料と構造の接続領域の技術)の擦り合わせ開発を実施する。 2024年度のスタッキング開始 2024年度の据付工事完了、試運転開始 2024年に水電解装置16MW級に実装する、電解質膜、およびCCM製造技術を開発する。 2025年から10MW級モジュールシステム実証開始	米倉山実証にて大面積化の技術を得た。モジュール連結式のシステム向けに、東レはより量産に近い生産技術を導入しつつ、スタックメーカーとの擦り合わせ作業を実施し品質の均一化とコストの低減を図る。小ロットではできる技術であるので、細別のステップ確認条件を設け実証を進めることで高い確率で成功できる。（90%） - 部素材メーカー及び水電解装置メーカー間等での擦り合わせも含めた実施体制を構築 - 膜への触媒の塗布等MEAの製造製造工程は適切か。 - 材料にマッチしたスタッキングの手法なども最適化されているか。

2. 研究開発計画／（6）提案の詳細に関する参考資料

各KPIの目標達成に必要な解決方法を提案

2 優れた新部素材の装置への実装技術開発

KPI

2025年にてシステム効率77% (4.6kWh/Nm3)、2030年にてシステム効率80%(4.4kWh/Nm3)を見通す。

現状	達成レベル	解決方法(アクションプラン)	実現可能性 (成功確率)
研究段階 (TRL3)	2025年にてシステム効率77%、 2030年システム効率80%(4.4kWh/Nm3)を見通す。 (TRL8)	最終ユーザーであるYHCの視点においてメーカーと協働して次の技術開発をステップにて実施 - 補機・整流器の損失の見通しを明らかにし、スタックに必要な効率水準を明らかにする。 - ステップごとにスタックメーカーとの摺り合わせ作業を東レ・メーカーともに技術を提供していく。 2022年に中型スタック評価実証設備を設計・製作する 2022年に中型スタック評価において、電解電圧1.9V@2A/cm2を見通す 2024年にMW級システム効率77%を見通す - 四季を通じたEMS連動運転により、実践環境での性能確認	これまでの開発において大面積セルの技術を獲得しつつあるため、細別のステップ確認条件を設け実証を進めることで高い確率で成功できる。(80%) - 効率の計算において重要となる水素量の計測は電荷量にて導くものとし、(整流器電の電荷量(水素量)(Ah))/ (低圧交流のトータルインプット(kWh)) = 77% 以上とする。 - 小規模での基本性能は設計を満たすものか。 - 中規模での基本性能は設計を満たすものか。 - 実用スタック性能は設計を満たすものか。

2. 研究開発計画／（6）提案の詳細に関する参考資料

各KPIの目標達成に必要な解決方法を提案

2 優れた新部素材の装置への実装技術開発

KPI

P2Gから生産されるフルウエット水素の1MPa級大規模除湿・圧縮装置の開発

現状	達成レベル	解決方法	実現可能性（成功確率）
ドライ水素の圧縮装置の製造。ドライヤーが必要な場合は購入。	フルウエット水素 1MPa×1,500Nm ³ /h級大規模 除湿・圧縮装置の製造	最終ユーザーであるYHCの視点においてメーカーと協働して次の技術開発をステップにて実施 - ユーザーにより異なる水素圧力、残留水分を総合的に調整するため、除湿・圧縮技術開発を行う。 - 国内においては2025年に大気圧の露点30℃の水素1,500Nm³/hを、0.8MPaに圧縮し、露点-20℃に調整する技術開発を実施する。 研究開発内容 2021-2022年度要素開発完了 2022-2023年度詳細設計完了 2024年度実証機製作 2025年度実証試験	開発課題に対しては、各々要素開発を行った上で実証機を設計するため、高い確率で成功できる。（90%） - 大容量除湿・圧縮システム（90%） - 機器コストおよび全体効率に優れた除湿・圧縮技術 - 水素圧縮の省エネ化（80%） - 大流量水素圧縮機では適用が困難であったベントフリー技術を開発し、ノンリーク構造を確立 - 国際的な競争の中において優位性を向上させる技術（90%） - 消耗部品の長寿命化技術（ピストンリング、ロッドパッキンなど） - 圧縮水素の高品質技術（サルファーフリーリングなど）

2. 研究開発計画／（6）提案の詳細に関する参考資料

研究開発内容〔2〕優れた新材の装置への実装技術開発

- 研究開発内容：
東レは、膜や触媒などの重要な部素材について、世界最高水準の要素技術を有しているが、大型の実機において基礎研究や小規模実証等と同程度の性能を発揮するためには、部素材メーカー及び水電解装置メーカー間等での摺り合わせも含めた、更なる技術開発を実施する必要がある。例えば、より高価な触媒利用量が少ない電極や、薄膜化などは装置コストの低減に貢献するが、そうした部素材は単一では効果を発揮できず、膜への触媒の塗布の方法（PEM型の場合）や、スタッキングの手法なども最適化することではじめて、システムの中でその性能を発揮する

- KPI
低コスト化：2025年にて1,050千円/Nm3/h（25万円/kW）、2030年で量産コスト272千円/Nm3/h（6.5万円/kW）を見通す。
高効率化：2025年にてシステム効率77%（4.6kWh/Nm3）、2030年にてシステム効率80%（4.4kWh/Nm3）を見通す。
実装：実用規模（遅くとも2030年において、PEM型100MWシステムの実現を見通す）を想定し、膜やCCMの重要な部素材を水電解装置に実装する技術を開発する。
10MW級水電解装置を製作する。

（出典）経産省「水素関連プロジェクトの研究開発・社会実装の方向性」

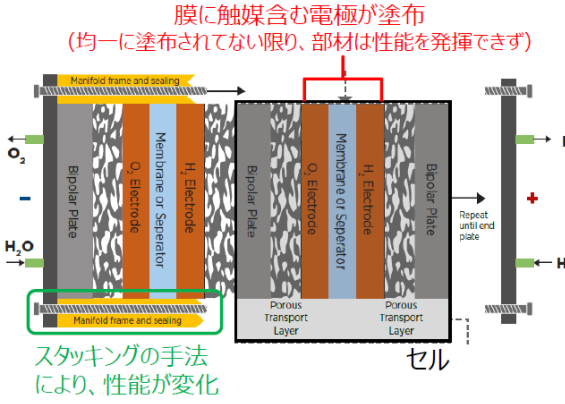
優れた新材の装置への実装技術開発

- 膜や触媒などの要素技術の改良は、**電解効率向上等を通じたコスト削減**などにも寄与。
- そのため、日本の部素材メーカー等の要素技術の基礎研究だけでなく、**水電解装置への実装に向けたすり合わせも含めた技術開発から実証等までを支援**していくことが重要。

要素技術開発の例（PEM型の場合）

- 電極等における触媒量の低減
→ 電極等で触媒等として使われる希少金属（Pt, Ir等）の使用量を電解効率等を維持して低減できれば、装置コスト削減に繋がる
- 膜の薄膜化
→ 耐久性やガス透過性を維持しつつ、膜を薄くすることができれば、抵抗を少なくすることで、高電流密度を効率良く実現することができる。結果、必要な設備量の減少を通じ、装置コスト削減に繋がる

PEM型スタックの構造と擦り合わせの例

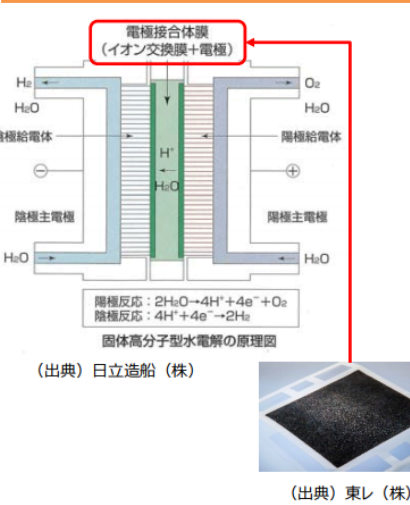


どれだけ優れた要素技術でも単一では効果を発揮することができず、各種部材等との擦り合わせを通じて、はじめてシステムの中でその性能を発揮することが可能

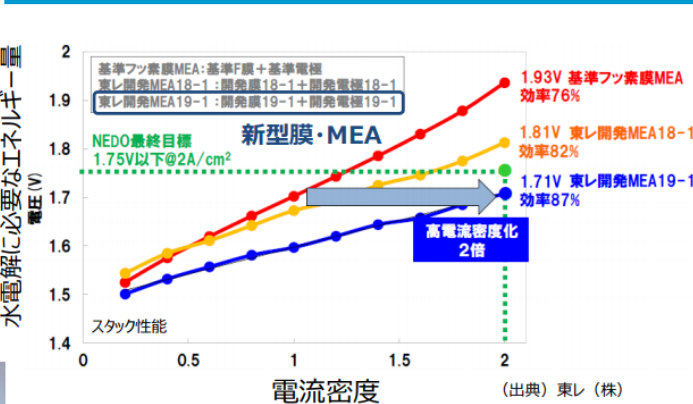
電解水素の製造コスト削減に向けた取組②(要素技術の開発・実装等)

- 膜や触媒などの要素技術の改良は、**電解効率向上等を通じたコスト削減**などにも寄与。
- そのため、日本の部素材メーカー等の要素技術の基礎研究だけでなく、**水電解装置への実装に向けた技術開発から実証等までを評価基盤の整備も含めて支援**していくことが重要。

PEM型の水電解装置の構造



異なる電解質膜・MEAによる電圧と電流密度の関係



電圧が低い程、抵抗が小さく電解効率が高い

2. 研究開発計画／（6）提案の詳細に関する参考資料

研究開発内容〔2〕優れた新材の装置への実装技術開発

KPI 高効率化：2025年にてシステム効率77%（4.6kWh/Nm3）、2030年にてシステム効率80%(4.4kWh/Nm3)を見通す。

提案基金事業の目標値の妥当性

	METI目標		提案基金事業	
	2020年 目標	2030年 目標	2025年 目標	2030年 目標
システム効率 [%]	71 (4.9kWh /Nm3)	79 (4.5kWh /Nm3)	77	80
耐久性 [%/1000h]	0.19	0.12	0.15	-

目標値として妥当と考える

○固体高分子(PEM)形水電解装置				
項目		単位	2020 年	2030 年
システム	エネルギー消費量	kWh/Nm3	4.9	4.5
	設備コスト	万円/Nm3/h (万円/kW)	57.5 (11.7)	29.0 (6.5)
	メンテナンスコスト	円/(Nm3/h)/年	11,400	5,900
スタック	劣化率	%/1000 時間	0.19	0.12
	電流密度	A/cm2	2.2	2.5
	触媒貴金属量(PGM※1)	mg/W	2.7	0.4
	触媒貴金属量(白金)	mg/W	0.7	0.1
その他	ホットスタート※2	秒	2	1
	コールドスタート※3	秒	30	10
	設置面積	m2/MW	100	45
※1 PGM (Platinum Group Metals)：白金族金属				
※2 即時に起動できる準備状態から、公称出力に達するまでの時間。外気温 15℃で測定。				
※3 外気温-20℃で起動し、公称出力に達するまでの時間				
「FCHJU Multi - Annual Work Plan 2014 - 2020」を参考に作成				
1 ユーロ=130 円で計算				

(出典) 水素・燃料電池戦略ロードマップ 2019年3月12日

2. 研究開発計画／（6）提案の詳細に関する参考資料

研究開発内容〔2〕優れた新材の装置への実装技術開発

KPI

P2Gから生産されるフルウエット水素の1MPa級大規模除湿・圧縮システムを開発する

- 水電解の水素は、原料が純水であるため、用途によっては除湿することが必要であり、1.0MPaの標準タンクならば大気圧下露点換算-20℃、MHタンクは-40℃、FCV向けは-66℃まで除湿する必要がある。国内外の低压ガス水準、パイプラインの必要圧力を得て、かつ除湿を行うシステムを構築する必要がある。
- ユーザーにより異なる水素圧力、残留水分を総合的に調整するため、除湿・圧縮技術開発を行う。国内においては2025年に大気圧の露点30℃の水素1,500Nm³/hを、0.8MPaに圧縮し、露点-20℃に調整する技術開発を実施する。

<開発課題>

- 大容量除湿・圧縮システム
 - 機器コストおよび全体効率に優れた除湿・圧縮技術
- 水素圧縮の省エネ化
 - 大流量水素圧縮機では適用が困難であったベントフリー技術を開発し、ノンリーク構造を確立
- 国際的な競争の中において優位性を向上させる技術
 - 消耗部品の長寿命化技術（ピストンリング、ロッドパッキンなど）
 - 圧縮水素の高品質技術（サルファーフリーリングなど）



参考写真：中流量圧縮機

研究開発内容〔3〕

熱需要や産業プロセス等の脱炭素化実証

2. 研究開発計画／（6）提案の詳細に関する参考資料

各KPIの目標達成に必要な解決方法を提案

3 熱需要や産業プロセス等の脱炭素化実証

KPI

省エネ法一種エネルギー管理指定工場をモデルケースとし、12MW規模の水電解装置のオンサイトモデルを構築し、経済合理性と再エネ由来の水素による化石燃料からのエネルギー転換を両立させる水素製造・利用装置のパッケージ化をすること。

現状	達成レベル	解決方法	実現可能性（成功確率）
1.5MW オフサイト 水電解装置は パッケージ化され ていない。	12MW規模 オンサイト 水電解装置の パッケージ化する。	➡ ・東電グループと需要家との関係性を活かすことで、当該規模の需要家との交渉及び選定を行う。 ・既存の電力系統を用いて再エネを需要家へ供給する技術を開発する。 ・1.5MWオフサイトモデルで実現した水電解装置および需要先での設備構築知見を活かし、パッケージ化に向けたコンソーシアム内での最適化を行う。 2021年度 基本構想検討完了、フィールド選定 2022年度 フィールド選定完了、詳細設計完了 2023年度 工場制作及び据付工事開始 2024年度 据付工事完了、試運転開始 四季を通じた運転 ループとして従来より電力供給を行ってきた	・多くの需要場所との関係性を持つ東京電力としての強みがあり、実証に最適なフィールドを選定することが十分可能である。（95%） ・多くの再エネを取り扱っている東電Gの強みや関係Gの電力系統に係る技術力を活かし、再エネを効率よくオンサイト（水素製造・利用場所）に供給する手法の開発が可能。（95%） ・1.5MWでの実証の知見を活用できることと、全ての主要機器の技術開発を並行して行うため、共通部分の共有化など、単独では難しいシステム一体で無駄を最小限にした設計開発を行うことが可能である。（95%）

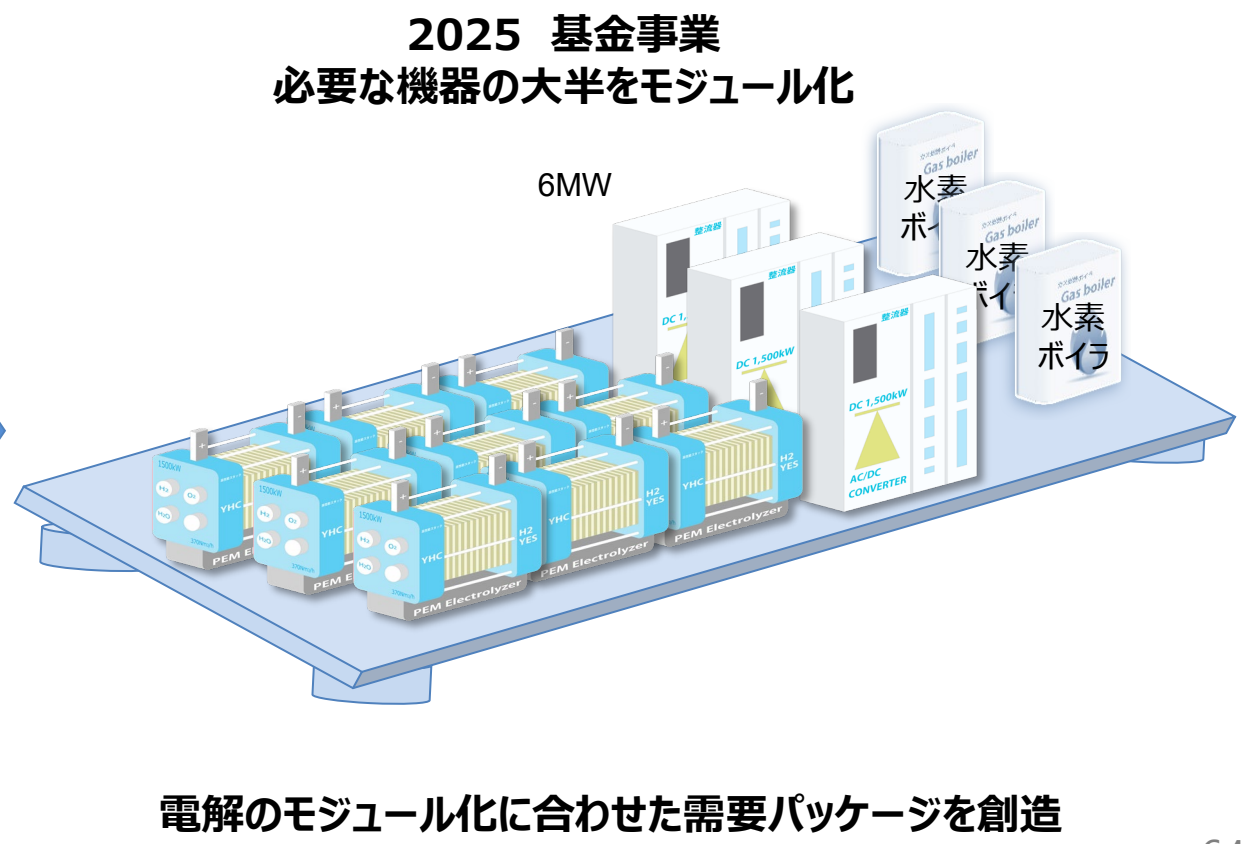
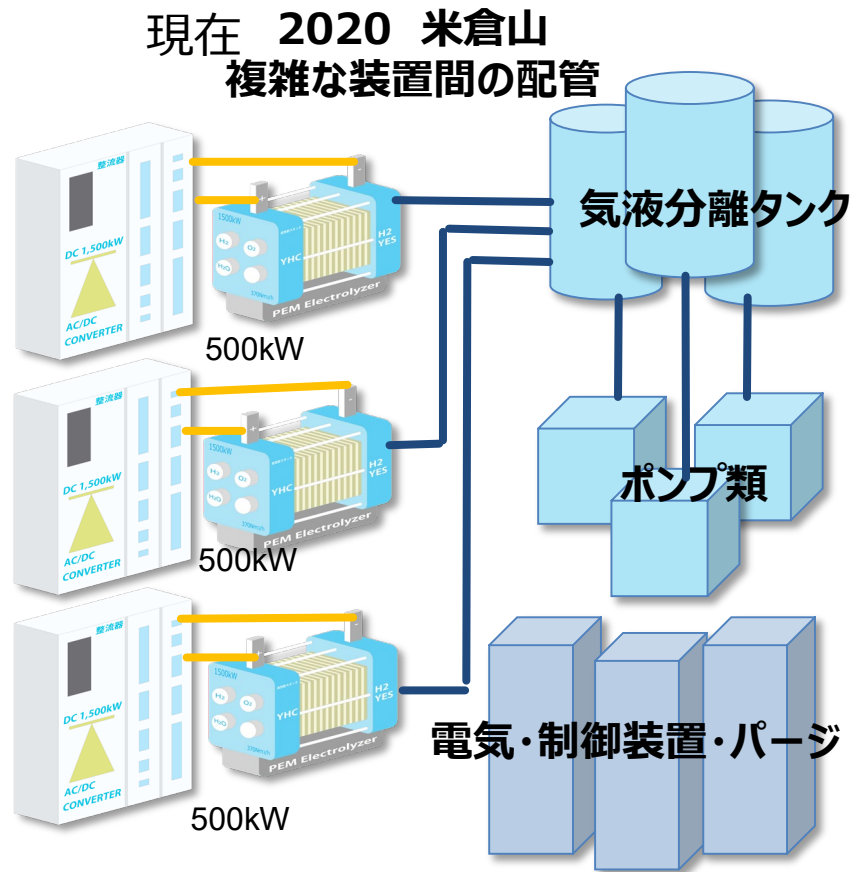
2. 研究開発計画／（6）提案の詳細に関する参考資料

研究開発内容〔3〕 P2Gの水素需要モデル

KPI

省エネ法一種エネルギー管理指定工場をモデルケースとし、12MW規模の水電解装置のオンサイトモデルを構築し、経済合理性と再エネ由来の水素による化石燃料からのエネルギー転換を両立させる水素製造・利用装置のパッケージ化をすること。

モジュール化によってスケーラブルになる電解装置に合わせた、整流器やトランス、補器、建築などモジュール化のメリットを最大限発揮するパッケージ技術に関して、火力発電所の系列設計の技能を投入することによりあらゆる規模のプラント設計を一元化を提案



2. 研究開発計画／（6）提案の詳細に関する参考資料

各KPIの目標達成に必要な解決方法を提案

3

熱需要や産業プロセス等の脱炭素化実証

KPI

大規模風力発電のグリーン電力供給及び余剰電力利用による熱の脱炭素化を両立するエネルギー転換システムを水素の需要家と緊密に連携しながら開発すること。

現状	達成レベル	解決方法	実現可能性（成功確率）
・化石燃料のみの蒸気供給	・水素と化石燃料による蒸気供給 ・風力発電の再エネ余剰によるオンサイト水素製造	・オンサイトで且つ、風力特有の余剰電力の変動に連動した、水電解装置及び水素ボイラ運転が必要であり、需要家側の既存設備とも協調、連携するP2Gシステムを開発していく必要がある。 2021年度 基本構想検討完了、フィールド選定 2022年度 フィールド選定完了、詳細設計開始 2023年度 詳細設計完了、工場制作及び据付工事開始 2024年度 据付工事 2025年度 据付工事完了、試運転開始 四季を通じた運転	・1.5MWの実証においては太陽光発電での変動に対して水電解装置を制御した実績と、オフサイトなため安定した水素であるが需要家設備との連携をシームレスに行うシステムを実現しており、それぞれの技術を統合制御することで実現は可能である。（80%）

2. 研究開発計画／（6）提案の詳細に関する参考資料

研究開発内容〔3〕 風力発電連携大規模P2Gシステム技術開発

KPI

大規模風力発電のグリーン電力供給及び余剰電力利用による熱の脱炭素化を両立するエネルギー転換システムを確立する。

拡大する風力発電との連携技術を早期に獲得

風力発電の固有の事象に対応するP2Gシステム技術の開発

- 電気的特性
- 運用技術

PVより穏やかな出力変動(余剰がある程度長時間動く)とランプ変動によるカットオフ

PVとの組み合わせと比較して高稼働運転が想定される水電解システム耐久性

大規模化が進行する風力において系統連系する前の生電気を切出しと系統電力の切り分け

無人での運用と地域の工場での生産工程とのマッチング

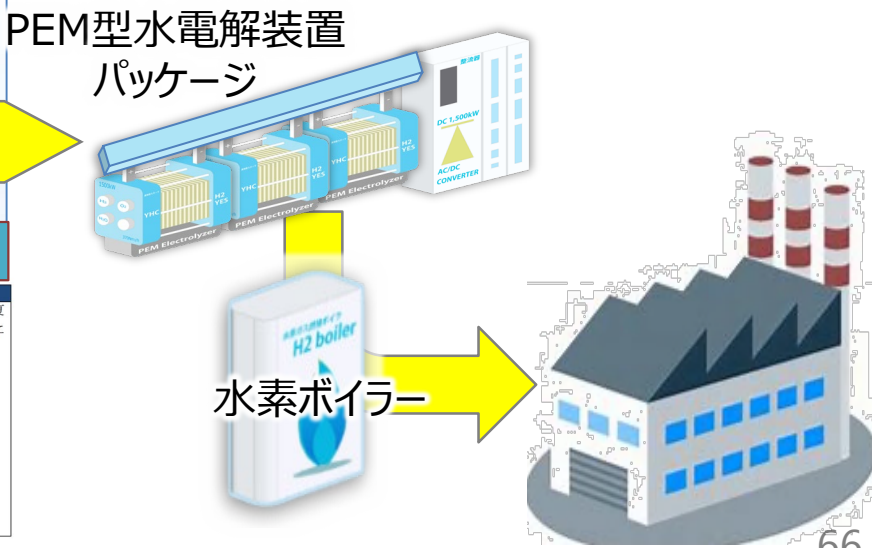
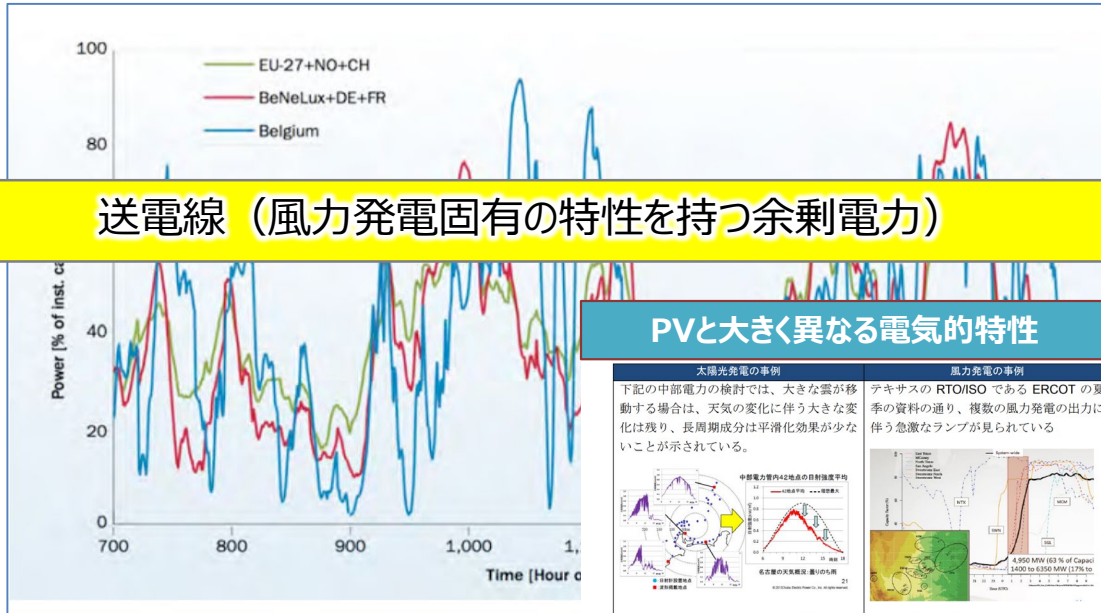
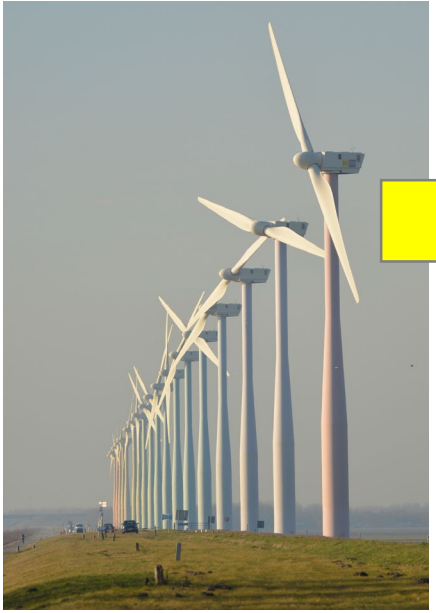
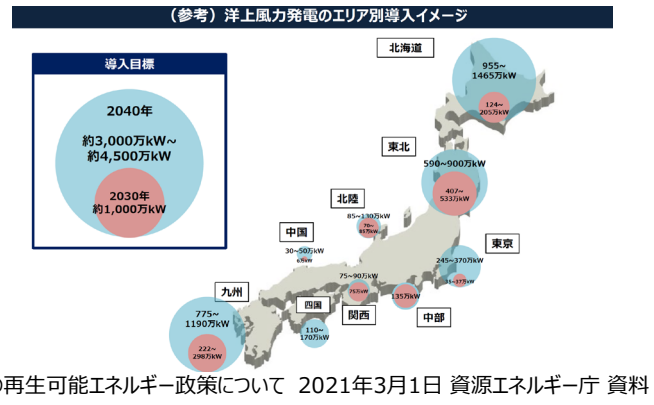


図 2-13 ならし効果の長周期上の課題
出所) 中部電力資料、及び ERCOT 資料より作成

2. 研究開発計画／（6）提案の詳細に関する参考資料

各KPIの目標達成に必要な解決方法を提案

3

熱需要や産業プロセス等の脱炭素化実証

KPI

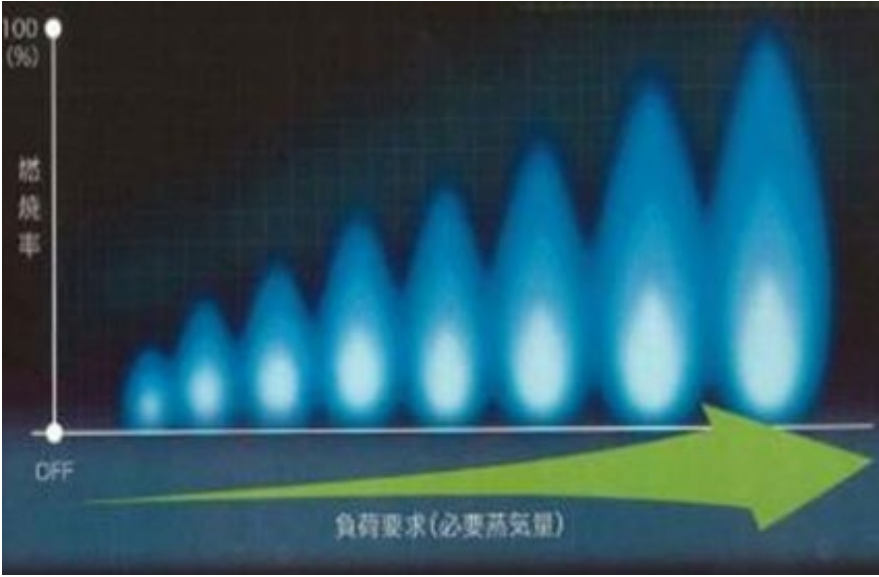
エネルギー需要家がシステム運用を必要としない効率的なシステム運用方法を電力市場や水素の需要家と緊密に連携しながら開発すること。

現状	達成レベル	解決方法	実現可能性（成功確率）
PV発電量に合わせたEMS	経済性を視野に入れたグリーン水素による熱利用	電力システム改革の進展により、電力は従来のkWh価値に加えて様々な機能に応じた価値にてそれぞれ取引することが可能となりつつある。下記の市場等を活用して、経済性を向上させる。 また、需要家の熱需要に合わせた電力需給と熱利用を俯瞰するグリーン水素による熱利用システムの構築	東京電力においては、これらほとんどの市場等においてそれぞれを個々に活用する技術的なノウハウを持ち合わせており、経済的な観点で統合制御していく上では知見を活用できる優位性がある。また、熱利用の部分においても高い経験値から実現可能性は高い。（80%） ただし、市場価格など外部起因による不確実性あり。

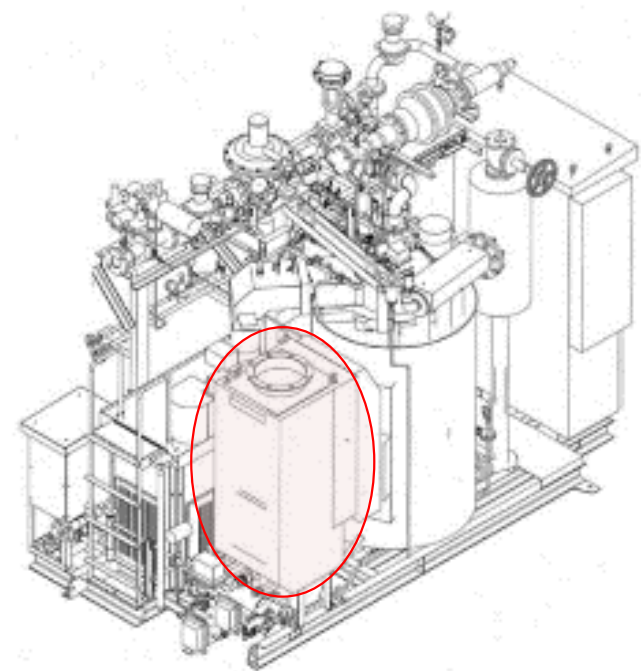
研究開発内容〔3〕 ボイラーシステムに関する技術開発

KPI

産業用蒸気ボイラの主流となる小型貫流ボイラーの多缶設置システムを想定して、ボイラ単体効率向上と、ターンダウンレシオの拡大により実運転効率を高め、水素から熱への変換効率の高い蒸気システムを開発して実証する。



ターンダウンレシオの拡大
広い運転領域において連続的に運用ができる水素バーナの開発



ボイラ単体効率の向上
潜熱回収効率を向上させるエコマイザーの開発

2. 研究開発計画／（6）提案の詳細に関する参考資料

研究開発内容〔3〕 産業プロセス等における化石燃料・原料等を水素で代替

KPI

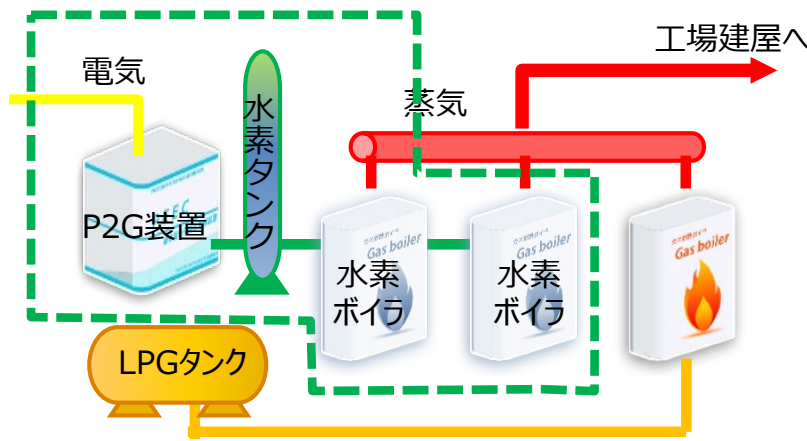
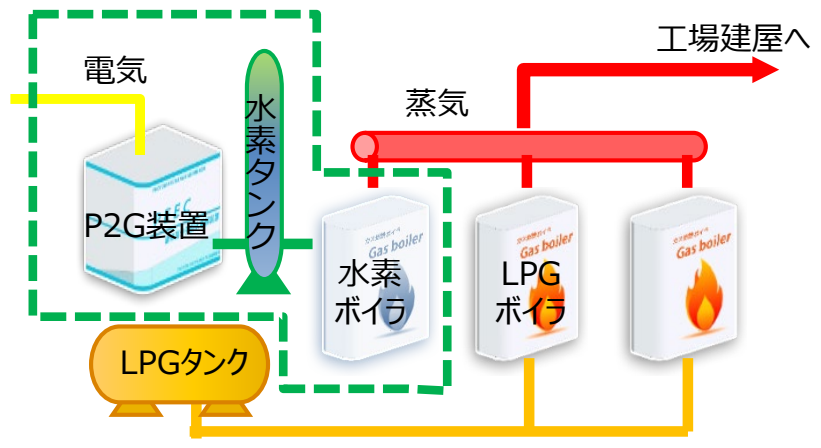
- 産業用蒸気ボイラの主流となる小型貫流ボイラーの多缶設置システムを想定して、ボイラ単体効率向上と、ターンダウンレシオの拡大により実運転効率を高め、水素から熱への変換効率の高い蒸気システムを開発して実証する。

従来（LPG）モデル

ベース運転モデル

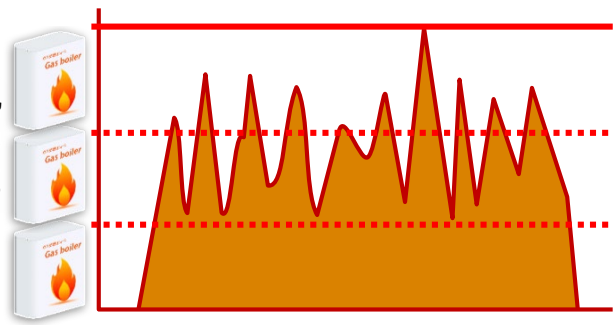
ターンダウンモデル

システム構成

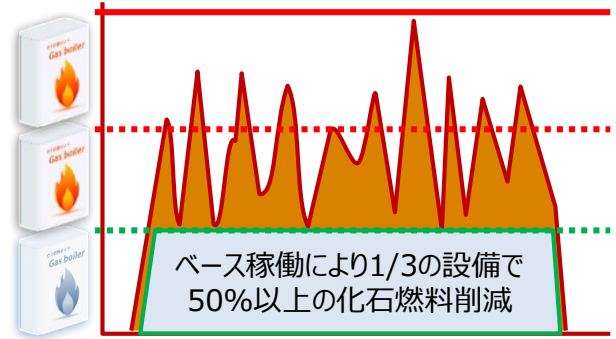


運用

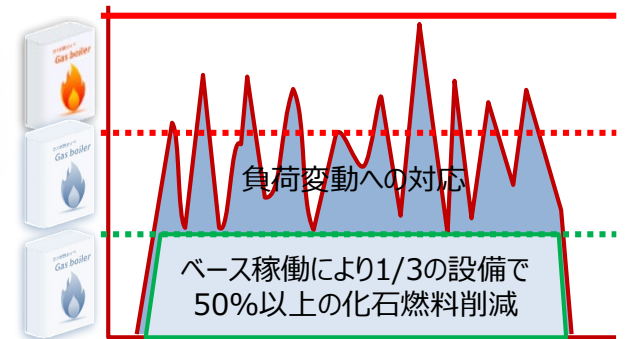
熱需要



熱需要



熱需要



2. 研究開発計画／（6）提案の詳細に関する参考資料

各KPIの目標達成に必要な解決方法を提案

3-1 熱需要や産業プロセス等の脱炭素化実証

KPI

電解槽のモジュール式連結システムに最適となる、変換効率とコストのトレードオフの最適点を得るPEM形水電解向けの整流器を開発する。

現状	達成レベル	解決方法	実現可能性（成功確率）
変換効率 96% コスト 1.7億円／ 2250kW	変換効率 97.5% コスト 2.5億円／ 6MWを見通す	最終ユーザーであるYHCの視点においてメーカーと協働して次の技術開発をステップにて実施 - 交流電力を直流電力の接続を行う整流器に関して、電解スタックの電気的特性と効率のトレードオフ関係を把握し、変圧器と整流器並びにEMSを一体的設計しPEM形水電解に最適な電力設備を開発する。 - EMSとの連携を図り、あらゆる調整力市場へ便益を供給できる機能を持たせる。 アクションプラン 2021年度：基本設計・モジュール試作 2022年度：モジュール評価・設備設計開始 2023年度：設備設計完了・製作開始 2024年度：設備製作完了・据付・試運転 2025年度：実証試験開始	これまでの開発において大面積セルの技術を獲得しつつあるため、細別のステップ確認条件を設け実証を進めることで高い確率で成功できる。（80%） - 電解スタックの電気的特性と効率のトレードオフ関係を把握し、変圧器と整流器並びにEMSを一体的に設計 - PEM形水電解向けに高圧変圧器と整流器を一体的に設計し、変換効率97.5%を得る。 2025年において2.5億円/6MW(システム構成価格の17%以内)のコストを達成し、2030年においては、1.0億円/6MWを見通す。

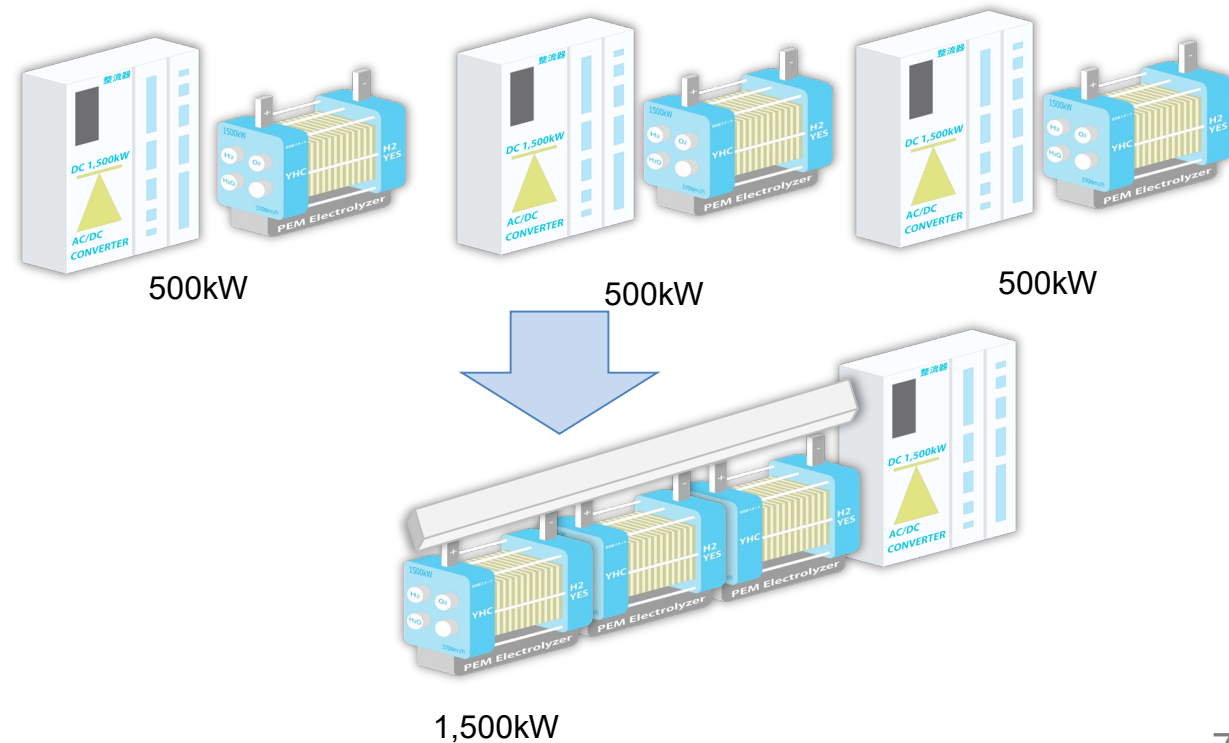
2. 研究開発計画／（6）提案の詳細に関する参考資料

研究開発内容〔3〕 PEM形水電解向け高効率低コスト整流器の開発

KPI

電解槽のモジュール式連結システムに最適となる、変換効率とコストのトレードオフの最適点を得るPEM形水電解向けの整流器を開発する。

- PEM形水電解向けに高圧変圧器と整流器を一体的に設計し、変換効率97.5%（変圧器二次側から直流出力までの効率）を得る。
- 電解槽のモジュール式連結システムに最適となる、変換効率とコストのトレードオフの最適点を得るPEM形水電解向けの整流器を開発する。
- EMSとの連携を図り、あらゆる調整力市場へ便益を供給できる機能を持たせる。
- 2025年において2.5億円/6MWのコストを達成し、2030年においては、1.0億円/6MWを見通す。



研究開発内容〔1〕〔2〕〔3〕

共通事項

2. 研究開発計画／（6）提案の詳細に関する参考資料

現行NEDO事業での技術開発状況

- ✓ 1.5MWの大規模電解装置を用いて、太陽光発電と連動した水素製造・貯蔵・輸送及び利用技術を実証
- ✓ 2021年6月から試運転を開始し、大型スタックに関する技術と運用に関わる要素技術を取得



電力貯蔵技術研究サイト全景



750kW×3列大型スタック
評価設備



25kW大面積
セルスタック評価設備



10kW中規模
スタック評価設備



水素出荷設備 19.6MPa 400Nm3/h



水素トレーラー 2800Nm3



水素ボイラー 250kg/h
純水素燃料電池 5kW



開閉式実証棟
300m2



統合型熱コントロールシステム



MHタンクシステム
3500Nm3



大型スタック
500kW(Max750kW)

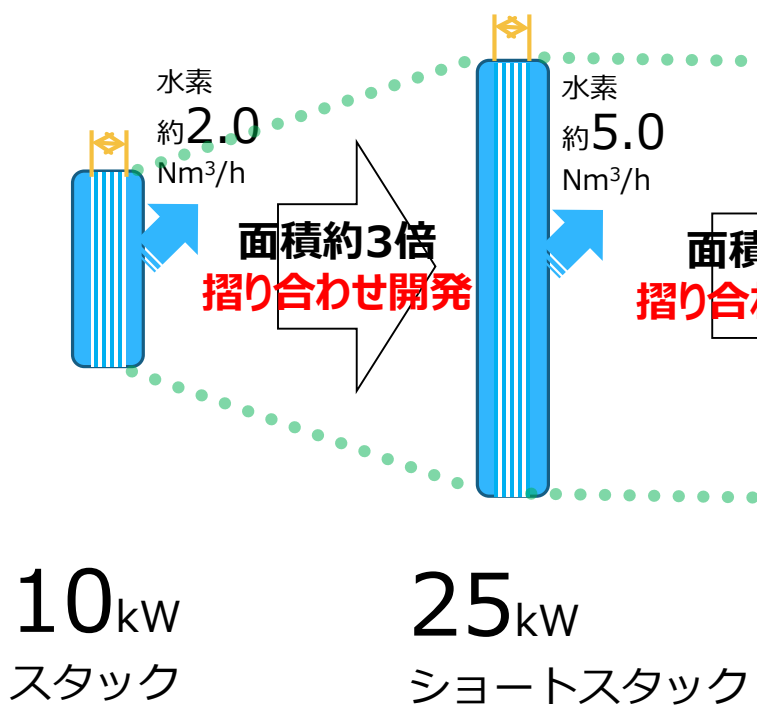
2. 研究開発計画／（6）提案の詳細に関する参考資料

現行NEDO事業での技術開発状況

- ✓ メーカーと一体となった摺り合わせの技術開発により当初の目的の効率を達成
- ✓ モジュール式では、MEAの量産技術と中規模セルと大面積セルの間の変化も踏まえての開発に焦点が当たる。

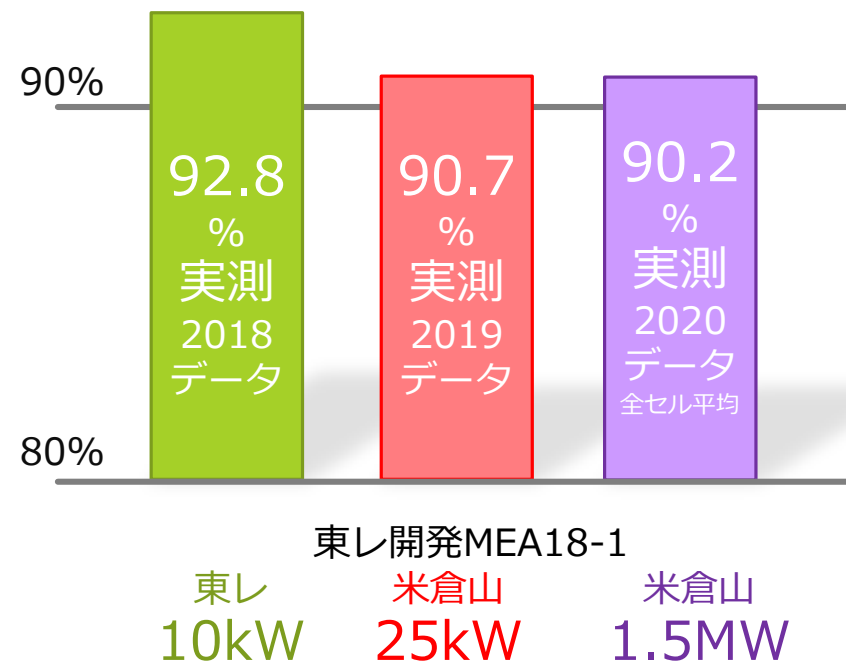
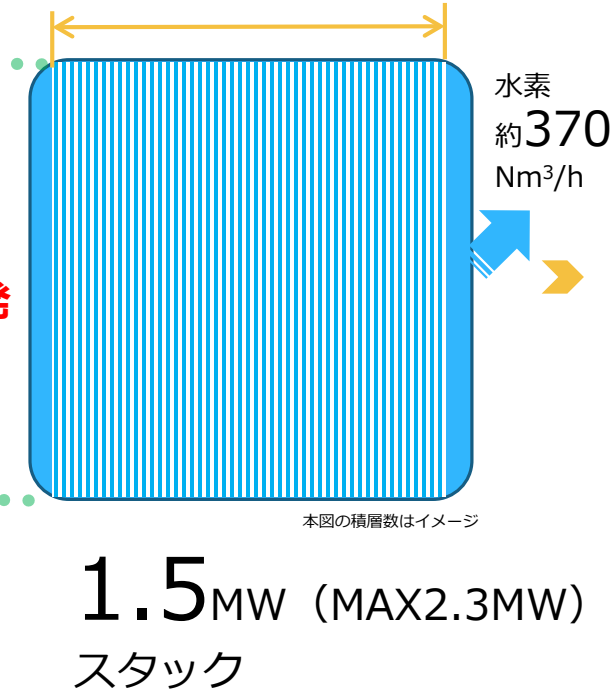
2018年度～

電圧 = 10V以下
(数セル)



2020年度～

電圧 = 約210V
フルスタック×3



2. 研究開発計画／（6）提案の詳細に関する参考資料

実証のバージョンアップの必要性

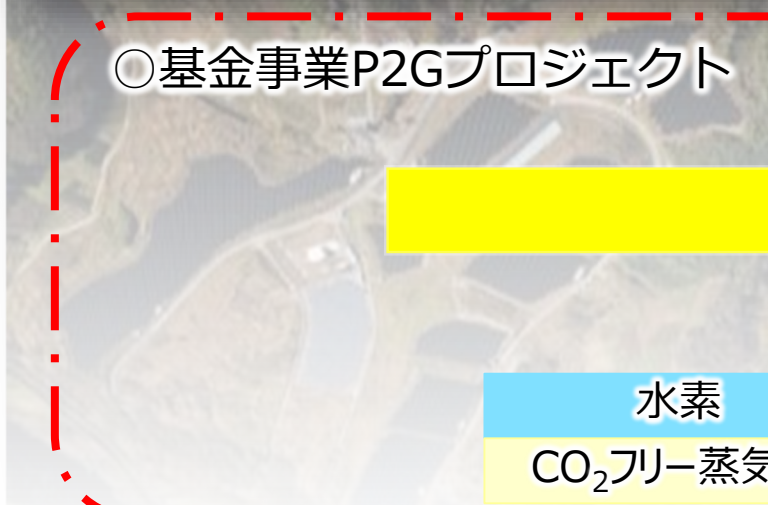


2. 研究開発計画／（6）提案の詳細に関する参考資料

研究開発内容〔3〕 運搬システムによるコストの課題の解決



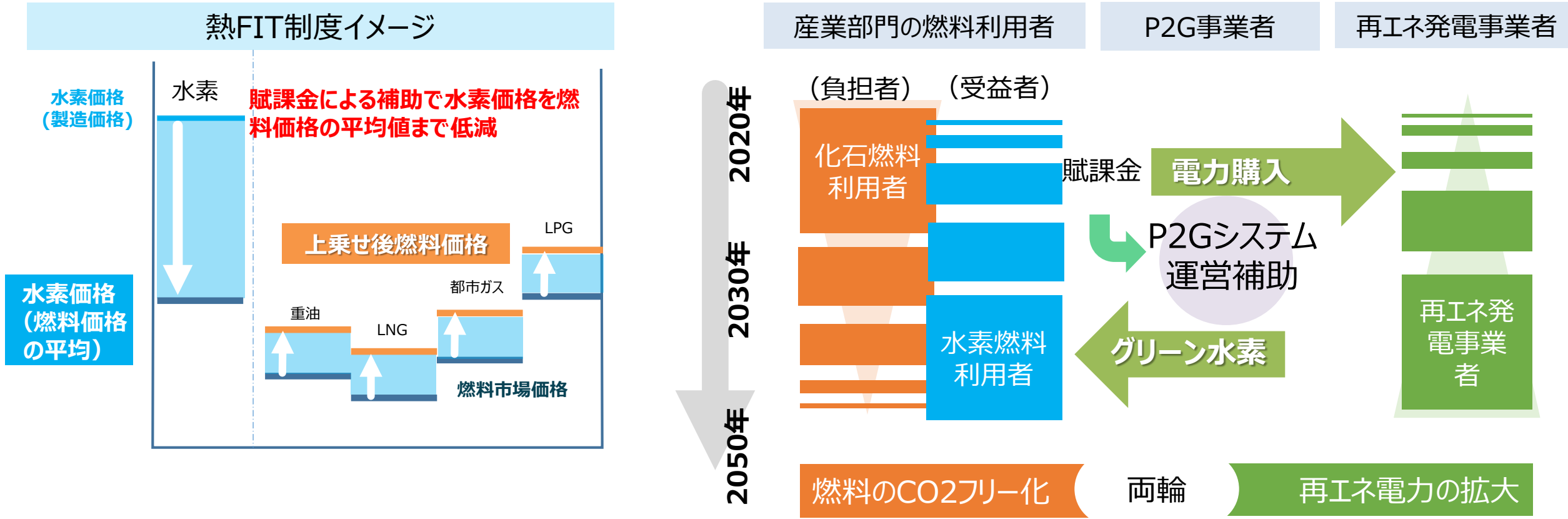
- ✓ 「運ぶ」から「工場で作る」への転換
- ✓ 地域の再エネを送配電網から大きく吸収



2. 研究開発計画／（6）提案の詳細に関する参考資料

共助制度の提案

- 1. エネルギーの脱炭素化加速に向け化石燃料直接消費需要家から広く遍く賦課金を徴収し水素利用需要家の導入支援に引き当てる熱FITを創設
- 2. ポイントは、P2Gの運営補助に充てる点。これにより、電力調達を通じて、市場の値崩れを防ぐとともに再エネ電力事業に資金を提供でき、再エネの拡大と、燃料の脱炭素化を同時に実現

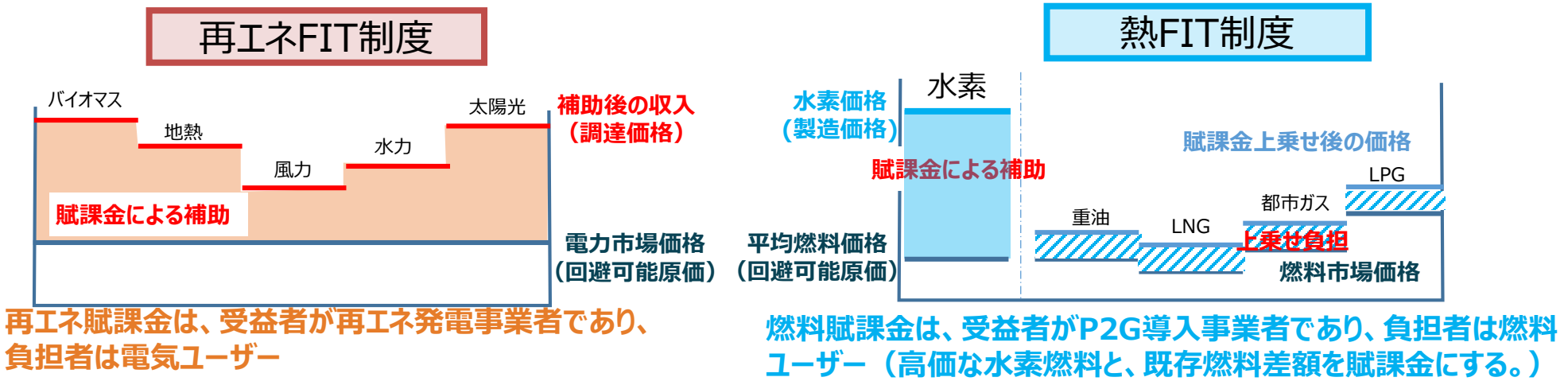


2. 研究開発計画／（6）提案の詳細に関する参考資料

政策・制度上の課題

- 1. ガス体エネルギーの脱炭素化加速に向け化石燃料直接消費需要家から広く遍く賦課金を徴収し水素利用需要家の導入支援に引き当てる熱FITを創設
- 2. 省エネ法では同じ水素でも製造場所・供給方法によって評価が異なっている。

○ 熱FITイメージ



○ 省エネルギー法ではシステムを活用した再エネ電気によるP2Gは評価されない

	原料	製造	輸送	製造	需要家	省エネ法の評価
グリーン水素	再エネ	—	送配電網	電気 → 水電解	工場事業所	✗ 消費電力がすべて火力発電とみなされてしまう
グレー・ブルー水素	化石等	改質・副生	トラック 水素配管	水素 → —	工場事業所	○

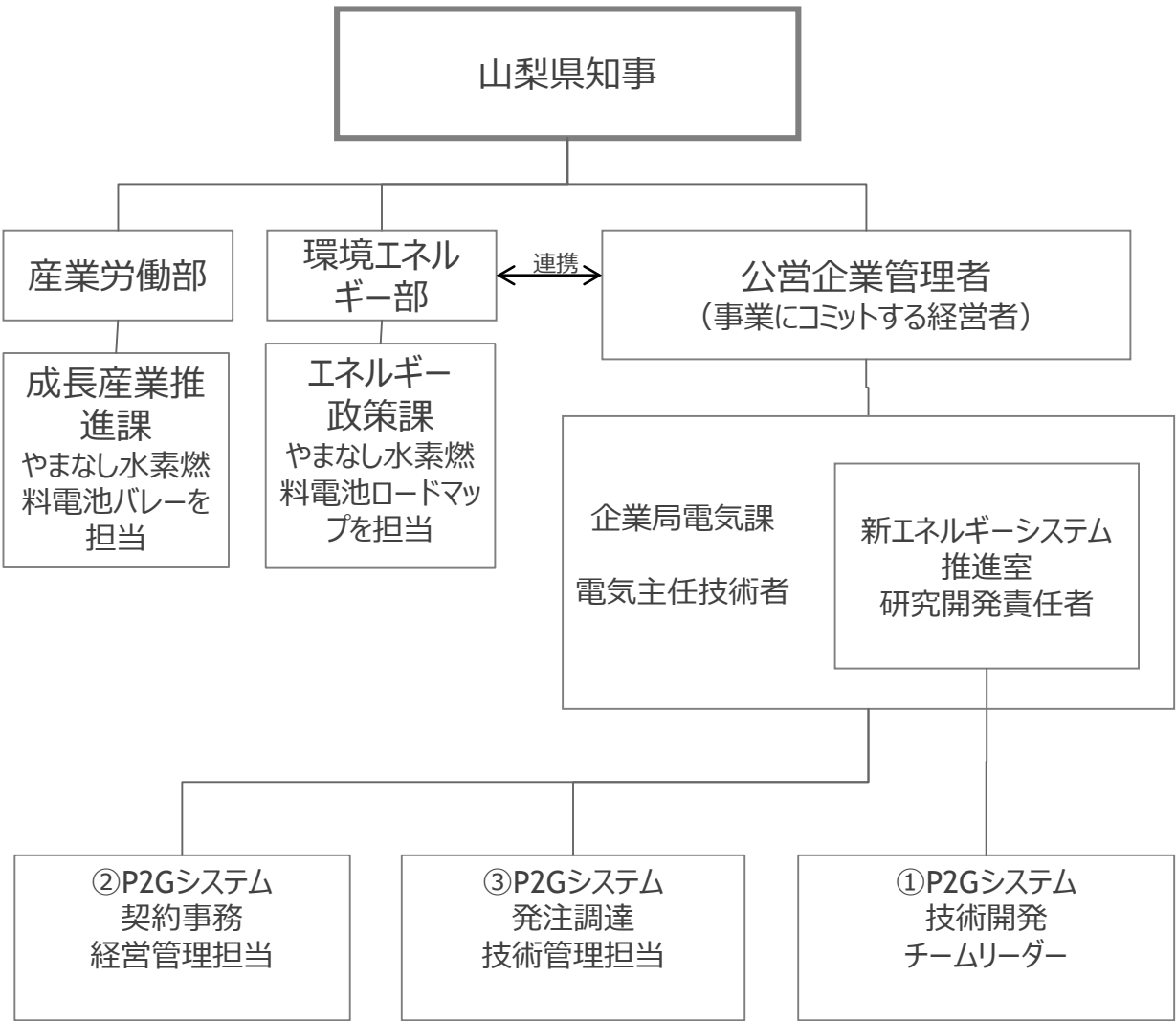
3. イノベーション推進体制

(経営のコミットメントを示すマネジメントシート)

3. イノベーション推進体制／（1）組織内の事業推進体制

経営者のコミットメントの下、専門部署に複数チームを設置

組織内体制図



組織内の役割分担

研究開発責任者と担当部署

- 研究開発責任者
 - 新エネルギーシステム推進室 リーダー
- 担当チーム
 - ①P2Gシステム技術開発（専任4人規模）
- チームリーダー
 - チームリーダー

部門間の連携

- 山梨県の電気事業は県が運営する公営企業であり、水力発電所の建設・管理運営を行っている。
- 公営企業管理者は、電気事業など3つの公営企業会計を運営するために企業局を設置し、事務に当たらせており、電気事業は電気課に統括主任技術者を置いて事業を遂行している。
- 次世代エネルギーシステム関連は、電気課の研究開発担当にて所掌していたが、2021年4月から、新たに新エネルギーシステム推進室を組織して管理職を配置し、権限を集約させている。
- 発注、調達は電気課、経理は総務課にて分業している。
- 政策分野では、地域経済・山梨大学・FC-Cubic・Hysutなど県内水素関連機関との連携を産業労働部、水素エネルギー社会の推進を環境エネルギー部にて所掌し連携した取り組みを推進している。
- 課室では、週に一回の工程会議、局内は2週に一回の局議、部局連携は、やまなし水素燃料電池ネットワーク協議会を組織し、大学なども含めて月に1度のミーティングを実施している。

3. イノベーション推進体制／（2）マネジメントチェック項目① 経営者等の事業への関与

経営者等によるP2G事業への関与の方針

山梨県知事による具体的な施策・活動方針

- 山梨県総合計画
 - 総合計画は、県政全体の運営方針であり政策ガバナンスの最上位の方針。この中の「戦略4 安心「やまなし」充実戦略」において、CO2フリー水素利活用を明記し、県内で研究、開発された技術を活用し、水素を安価で安定的に供給できる体制を築のための2022年からの社会実証開始に具体的に言及
- やまなし水素エネルギー社会実現ロードマップ
 - 水素エネルギー社会の実現に向けて目指すべき方向性の中でCO2フリー水素サプライチェーンの構築を掲げ、企業局が地域資源を活用したエネルギーの供給力の強化のため実証事業を推進することを明示
- 山梨県議会による事業のモニタリング・管理
 - 予算の編成方針、事業の運営方針を審議。企業局の事業は下部組織である、農政産業環境労働委員会(委員10名)にて、事業の各局面において審査を経る。また、下の監査委員にも議会から委員2名が派遣されている。
- 山梨県監査委員
 - 予算の執行、決算を審査
- 包括外部監査
 - 外部監査委員による監査を不定期に実施

経営者等の評価・報酬への反映

- 公営企業管理者報酬
 - 山梨県公営企業の報酬は一般の職員と異なり、「山梨県の管理者の給料及び旅費に関する条例」により山梨県知事と同様に山梨県議会による議決を経て執行される特別職の給料である。

事業の継続性確保の取組

- 公営企業管理者の人選
 - 公営企業管理者は、山梨県の部長・局長級の職を経験し、県政の総合計画を熟知し、エネルギー政策・環境政策・産業政策に長けた者の中から、企業経営に相応しいと判断された者が、独自の予算の執行権を与えられた上で、4年の任期にて着任する。
このため、継続性の確保はもちろん、大組織の長として十分な経験をもったマネジメント能力の高い組織運営がなされている。
- 電気技術職員の経営の参画
 - 研究開発の中心は、電気事業技術系職員であるが、経営能力向上と経営ガバナンスにも携わるため、企画・経理部門にも配属させ、事業全体を俯瞰できる視点を持った技術系職員がP2G事業に当たっている。

※ISO56002、IEC62853等の国際標準、経済産業省による「[ガバナンスイノベーション](#)」「[ガバナンスイノベーションVer2](#)」「[日本企業における価値創造マネジメントに関する行動指針](#)」等が参考になる。

3. イノベーション推進体制／（3）マネジメントチェック項目② 経営戦略における事業の位置づけ

経営戦略の中核においてP2G事業を位置づけ、広く情報発信

山梨県企業局経営戦略

- カーボンニュートラルに向けた全社戦略
 - 山梨県企業局経営戦略
 - 10年を1スパンとした中長期的な経営戦略(平成31年度改定)。経営基盤の強化と財政マネジメントの向上を図る。
 - この中で、グリーンイノベーションの推進として、水素エネルギーの活用に向けた研究により、脱炭素社会の実現や自立・分散型エネルギー社会の構築の推進を明記
- 事業戦略・事業計画の決議・変更
 - 山梨県企業局経営戦略の改定
 - 2050のカーボンニュートラル宣言や県の総合計画の改定にあわせて、企業局の経営戦略の見直しを5月から開始。P2Gシステムに関しては、これまでの技術開発と社会実証の推進から、一步前進させ、これまでに構築してきた技術の県内外への展開についても言及していく方向。
 - 経営戦略は逐次アップデートしており、経営責任者である公営企業管理者のもと、概ね2年ごとに実施。都度、プロジェクトチームを編成し、議論を深め管理者が決定
 - 経営戦略は、県のホームページ上に公開
- 経営戦略と研究開発計画の関係
 - 経営戦略において、研究開発の方向性を記載

ステークホルダーに対する公表・説明

- 情報開示の方法
 - 山梨県企業局経営戦略
ホームページにて全文を公開
 - 予算の編成
県議会の審議資料として、議案とそれに基づく説明資料を公開
 - 決算審査
決算の概要及び監査状況の全体を県HP及び監査委員会HP並びに県の公報にて公開
 - 県の広聴広報部門と連携した記者発表
重要な協定、契約に関しては、公然にて実施することが基本
- ステークホルダーへの説明
 - 事業予算の公開
県議会の審議資料として、議案とそれに基づく説明資料を公開
年間の発注見通しを年度当初に公開
 - 山梨県議会本会議での審議
P2G事業に関する目向きな方針は、県議会の本会議において複数回言及。県民の代表たる県議会の合意のもと事業を進めている。
 - 継続費もしくは債務負担予算の編成
基金事業の実施に際し、県政の時事の動向により事業継続性が失われぬ様、県予算として、長期に渡る債務の負担を受け入れるため、5年間に渡る執行予算を、採択後直近の議会に提出し、同時に説明責任を果たす。

3. イノベーション推進体制／（4）マネジメントチェック項目③ 事業推進体制の確保

機動的に経営資源を投入し、着実に社会実装まで繋げられる組織体制を整備

経営資源の投入方針

- 実施体制の柔軟性の確保
 - 気事業全体としてのバックアップを確約。電気事業の主力業務である水力発電には、約70名の電力関連の技術者を有しており、特に、電気課には新規開発、経営戦略を担う機能が集約されており、ここに所属する10名の技術者はオンデマンドでのバックアップが可能である。
- 人材・設備・資金の投入方針
 - 人員は、新エネルギーシステム推進室の4～5名を専属で配置
 - 2016-2021にて山梨県米倉山の電力貯蔵技術研究サイトにて実施している現行のNEDO委託事業資産を用いて、2022年以降も独自に運用を継続することとしており、この運営・設備のリソースも全面的に活用して、セルおよびのモジュール連結式水電解装置の開発にフィードバックする。
 - 補助金の裏負担額である1/3、決定済みのYHCへの出資金、米倉山の研究開発拠点の整備により、24億円となる。
 - 経営戦略に基づく連続的な資金投入のため、電気事業の利益を、地域文化振興環境保全積立金に積み立て、研究開発資金として計画的に投入

専門部署の設置

- 新エネルギーシステム推進室の設置
 - 水素社会の実現に向けた具体的な取り組みとして、全国の公営電気事業の中で唯一の研究開発担当を組織し、さらに本年4月からは新エネルギーシステム推進室を発足させ、研究開発体制の執行権限を集約
- やまなしハイドロジェンカンパニー(仮)の設立
 - 山梨県の公営企業としての経済活動には当然に限界あり。
 - 作り上げたP2Gモデルを国内外に展開するためには、より民間に近い事業組織が必要となる。
 - このため、山梨県知事と東京電力ホールディングス常務、東レ副社長をサイナーとして、2021年4月15日に、P2Gによるエネルギー供給を主業務とする事業体の準備に入るべく、公開にて協定を締結した。
 - 山梨県企業局は、YHCを2021年度内に設立すべく、当初予算において1.5億円の出資金を計上し、議決承認を得ている。
- 若手人材の育成
 - プロジェクトリーダーには、現行P2G技術開発事業と同様に40代中盤の職員を充て、サポートにはより若い技術者をセクションする。
 - 米倉山電力貯蔵技術研究サイトには、多様なエネルギーストレージやその他周辺技術の実証の場となっており、P2Gとの組み合わせにより、多くの経済的なメリットを創造できる技術もあることから、ベンチャーの活用も含め連携をしていく方針

4. その他

4. その他／（１）想定されるリスク要因と対処方針

安全の維持ができない等の事態に陥った場合には事業中止も検討

研究開発（技術）におけるリスクと対応	社会実装（経済社会）におけるリスクと対応	その他（自然災害等）のリスクと対応
- 技術開発設備設計の設計不具合 → 社内の設計照査を複数人で実施 → 施工部門や運転部門を担う社による承諾 - 技術開発工程の遅れ → やや目標に達しなくても全体システムとして実証可能な、安定技術を得た後に、高い目標の技術開発へ移行する。 → 進捗状況の報告会の実施	- 資金調達不能 → 複数のプレイヤーの参加によるリスクの分担 - 競合技術の進展 → P2G技術を応用し競合技術へ移行 - 騒音問題 → 有圧換気扇の採用、ポンプ類の防音 - 化石燃料からの転換マインド欠如 → 安価な化石燃料に水素が価格面で競争力を持つことは当面難しく、勇気を持って水素利用する需要家をバックアップする制度の必要性を訴える。	- 大規模地震 → べた基礎、軽量建屋の採用による被害の軽減 - 落雷被害 → 放散経路へのアレスタの設置 - 暴風雨被害 → 土砂崩れ危険地域、ハザードマップの確認
▼ 事業中止の判断基準：PEM形水電解装置の基盤技術において、安全の維持に不可欠であるが解決できない課題が生じた場合 ：急激なインフレ等により、資金の調達ができなくなった場合。 ：再エネ資源国からの輸入も含め、電化技術の著しい発展により、輸送、貯蔵、利用のすべてにおいて電化によりエネルギー需要を満たせる技術が生じた場合。		