

事業戦略ビジョン

実施プロジェクト名：人工光合成型化学原料製造事業化開発

①グリーン水素（人工光合成）等からの化学原料製造技術の開発・実証

実施者名：人工光合成化学プロセス技術研究組合（ARPCChem）、代表名：理事長 濱田 秀昭

（コンソーシアム内実施者（再委託先除く）：三菱ケミカル株式会社（幹事企業）、三菱ガス化学株式会社）

目次

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

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

1. 事業戦略・事業計画

1. 事業戦略・事業計画／（1）産業構造変化に対する認識

CN実現の不可欠な課題解決策として、化学産業においてカーボンリサイクルが急拡大すると予想

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）

- GHGインパクトニュートラルな“新・炭素社会”へに移行していく
- 化石資源の使用を大きく低減した資源循環型社会への移行していく

（経済面）

- CO₂フリーの水素がエネルギー用、産業用に広く使用されていく
- CO₂排出低減に貢献する環境価値が十分に評価されていく

（政策面）

- 国家目標として2030年CO₂排出-46%、2050年カーボンニュートラルを目指す。その達成のためのCO₂回収、CCUSが促進されていく
- 世界的なカーボンプライシングの導入

（技術面）

- 水素輸送等技術向上により、水素供給のコストが低減する
- CO₂の原料化、カーボンリサイクル技術が今後大きく進展していく

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

サーキュラーエコノミーの実現

原料調達から製品製造、使用、廃棄までのライフサイクル全体で化石資源の使用量と廃棄物の発生量を最小化する取り組みを、バリューチェーンパートナーが一体となり進めて行く

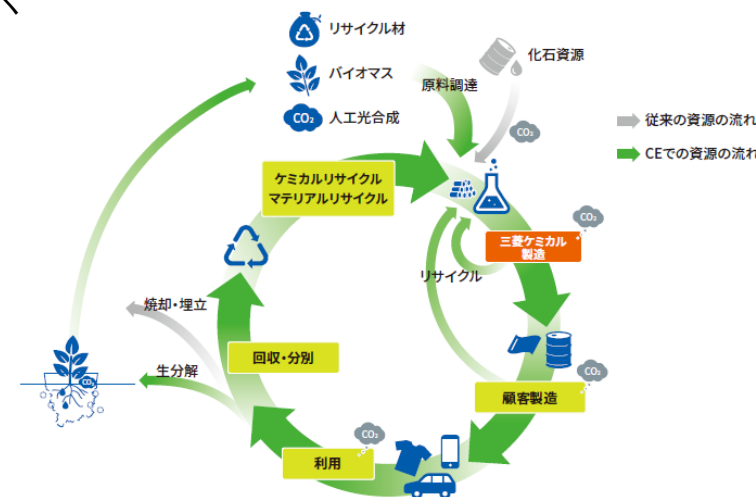
具体的取組

・CO₂回収・利活用

人工光合成による
炭素循環システムの実現・

・プラスチック循環リサイクル

・バイオプラスチックの活用



● 当該変化に対するビジョン

オレフィン原料の化石資源依存性の低減、二酸化炭素の原料化による低炭素社会の実現に貢献する。

太陽エネルギーを利用して、

- ① 光触媒によって、水を水素と酸素に分解し、
- ② 分離膜によって、水素と酸素の混合ガスから水素を安全に分離し、
- ③ 最後に、その水素と工場排ガス等から取り出した二酸化炭素を原料として、基幹化学品であるC2～C4オレフィンを製造する基盤技術を開発する。

● 本プロジェクトでは、① 光触媒開発の部分に絞って研究開発を担当する。 4

● 市場機会：

化学製品のCO₂低減のために、CO₂を有効利用し、一定期間CO₂を固定化できるカーボンリサイクルによる化学品製造の市場が形成され、大きく伸びる。また、カーボンリサイクルに必須である安価グリーンH₂の必要性の認識が広がり、需要が大きく伸びる。これら認識に変化は無い。

● 社会・顧客・国民等に与えるインパクト：

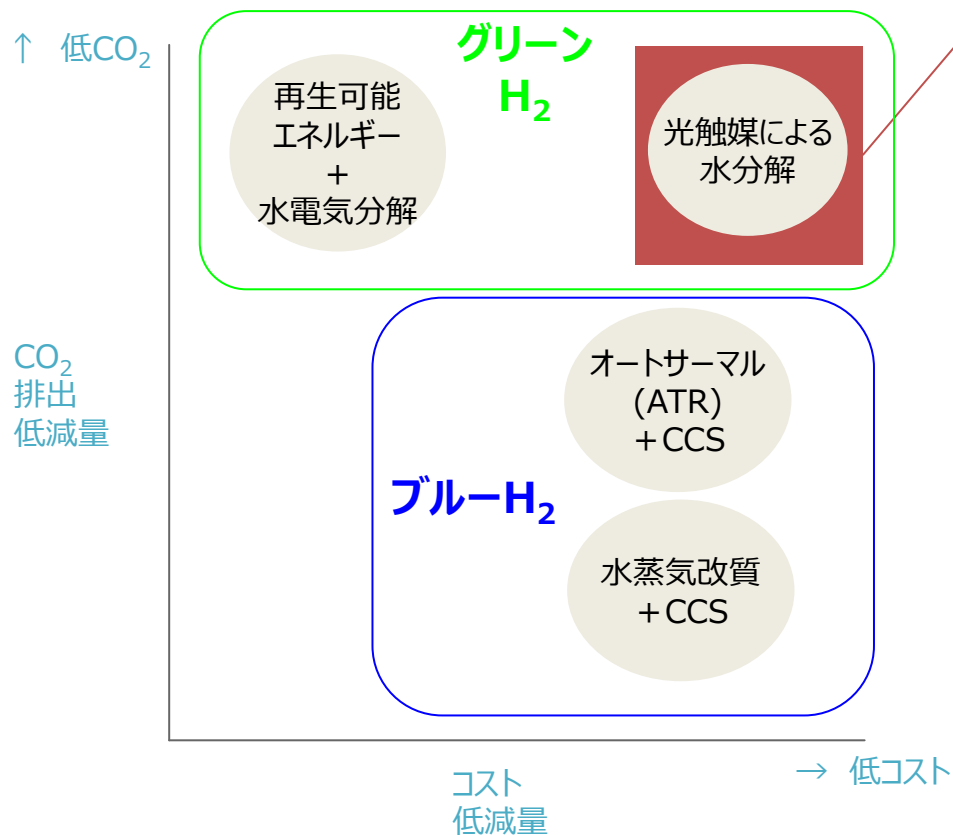
CO₂の有効利用という究極の資源循環が可能となる。

1. 事業戦略・事業計画／（2）市場のセグメント・ターゲット

H₂製造技術のうち光触媒によるH₂製造部材販売をターゲットとして想定

セグメント分析

(H₂製造部材市場のセグメンテーション)



ターゲットの概要

市場概要と目標とするシェア・時期

- 2050年までにNet Zero Emissionを到達するときの世界全体でのH₂需要予測が、2040年に約4億ton、2050年に5億ton強となっている。（1トン-H₂あたり7.3トンのCO₂の固定化（除運転エネルギー）
また、2040-2050 のH₂製造の伸びは、ほぼグリーンH₂のみである。
（IEA Global Hydrogen Review 2021）
- 光触媒による水分解の部材販売については、事業化を2040年を想定しており、2045年販売のブルーH₂用部材の10%のシェアを想定。
- ARPCChem参加の各社での事業化を想定しているが、重要技術である光触媒材料の製造以外の部材開発については、外部にライセンスを行う。

| 需要家 | 主なプレーヤー | 消費量（2019年） | 課題 | 想定ニーズ |
|-----|---------|------------------------------------|---|---|
| 海外 | 中東、豪州等 | グリーンH ₂ 消費量 実証以外ほぼなし | <ul style="list-style-type: none">砂漠等各気候に合わせた実証、最適化各国との協力 | <ul style="list-style-type: none">化学品製造（特にCO₂との組み合わせ）NH₃製造燃料、産業等に利用 |
| 国内 | | グリーンH ₂ 消費量 実証以外ほぼなし | <ul style="list-style-type: none">光触媒設置可能な安価な土地H₂製造の法整備 | <ul style="list-style-type: none">化学品製造NH₃製造燃料、産業等に利用 |

1. 事業戦略・事業計画／（3）提供価値・ビジネスモデル

光触媒技術を用いたクリーンなH₂製造のシステムを提供する事業を創出

社会・顧客に対する提供価値

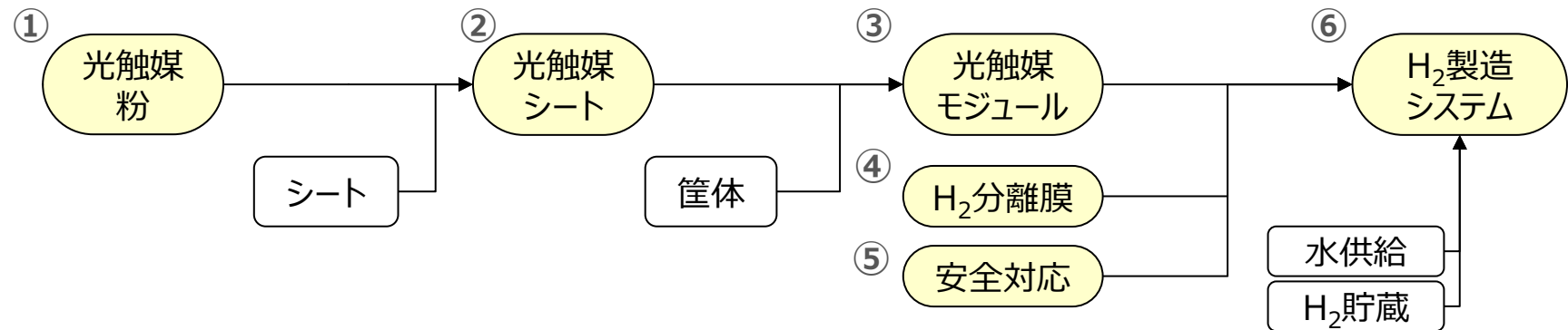
- 安価なH₂を供給することにより、CO₂原料とするカーボンリサイクルを加速する。また、燃料等エネルギー分野、鉄鋼等産業分野のカーボンニュートラルに貢献する。

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）と研究開発計画の関係性

光触媒の製造、シート、モジュール、システム等安価H₂製造の部材、システム販売を計画。ARPCHEM参加各社の技術を組み合わせ、早期に実用化に結び付ける。

要素

- | | |
|--------------------------------------|-----------------------------------|
| ① 光触媒製造 | （無機酸窒化物、酸硫化物等＋助触媒） |
| ② 光触媒シート | （高耐久な粉体のシートへの塗布・製膜） |
| ③ 光触媒モジュール | （高耐久かつ安価なモジュール設計） |
| ④ H ₂ /O ₂ 分離膜 | （H ₂ の安全、安価な分離） |
| ⑤ H ₂ 安全対応・設計 | （H ₂ の安全制御技術） |
| ⑥ H ₂ 製造システム | （水供給、H ₂ 貯蔵を含めた全体システム） |



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）

市場導入(事業化)しシェアを獲得するために、ルール形成(標準化等)を検討・実施

標準化戦略の前提となる市場導入に向けての取組方針・考え方

- **再エネ電力を用いた電気分解法では到達しえないグリーン水素の製造コスト**（≒低建設費）を事業化戦略の基本とする。
- 先行すると考えられる再エネ電力を用いた電気分解によるグリーン水素製造プラント(PV＋電解設備、etc) に対し、**入れ替え/新設/増産時に経済優位性**が出る建設費、コスト性を実現する。
- 得られるグリーン水素はカーボンnegativeであり、**Carbon-pricingの恩恵を最も大きく受けるべき対象**である。各種イニシアチブ、国際機関、業界団体に参加し、連携するとともに、バリューチェーン全体でカーボンニュートラル実現に貢献することを通じて、その**経済価値・LCA価値を最大化**する。

国内外の動向・自社のルール形成(標準化等)の取組状況

（国内外の標準化や規制の動向）

- 水素ステーション関連、水素生成装置等の水素分野につき国際標準化が進行
- 水素技術分野で国際標準作成が活発化
- グリーン水素の定義策定に向けた議論が進行
- **風力＋PV等による再エネ電力を用いた電解法の事業化が検討されているが、設備投資額が大さいという懸念がある（償却費負担が大さい）。**

（市場導入に向けた自社による標準化、知財、規制対応等に関する取組）

- 光触媒については特許出願による公知化、実施可能性国における権利化による牽制を推進。
- モジュール開発及び水素回収システムの安全設計技術等、工業化に必須となる技術はノウハウとして秘匿。

本事業期間におけるオープン戦略（標準化等）またはクローズ戦略（知財等）の具体的な取組内容（※推進体制については、3.(1)組織内の事業推進体制に記載）

（例1）標準化戦略

- **圧倒的に低い一貫プロセスCO₂排出量、及び非常に安価なグリーン水素の製造コスト**の実現を広く認知させ、光触媒法によるグリーン水素として水素技術分野の認証制度を活用する。
- 水素技術分野の国際標準化との連携を図るために、標準化の提案を必要に応じて実施する。

（例2）知財戦略

- 本事業において独自に開発する光触媒材料、光触媒シート部材、光触媒モジュール、水素回収システム等に関して特許化を行い、自社製造、及びライセンス供与を行うことにより利益を確保する。
- **光触媒材料**に関しては、特許化に加え、製造ノウハウをブラックボックス化し日本国内での製造を行う。
- **グリーン水素および水素キャリア(アンモニア、メタノール)の低コスト合成(反応分離法)、安定供給プロセスを確立し、知財権を獲得する。**

1. 事業戦略・事業計画／（４）経営資源・ポジショニング

光触媒によるH₂製造技術の強みを活かして、社会・顧客に対してCNという価値を提供

自社の強み、弱み（経営資源）

ターゲットに対する提供価値

- CO₂原料の化学品原料製造等に必要なグリーンH₂を製造する部材を光触媒技術を用いることにより、安価に提供する。
- グリーンH₂製造部材が完成すれば、燃料、産業等幅広い分野でのH₂使用に応用できる。





自社の強み

- 光触媒に関しては、日本が世界を先行しているが、その中でも最高水準の大学、研究機関、企業が集まり共同で開発を実施している。
- NEDO人工光合成プロジェクト(2012-2021)において、光触媒による安価H₂製造の基礎技術の開発を実施し、コスト優位な独自性のある技術を有する。

自社の弱み及び対応

- 本技術の実用化は1社では難しく、多くの技術を組み合わせることが必要
→ 技術組合の参加企業を増やし、各社の強みを活かし、実用化を加速する

他社に対する比較優位性

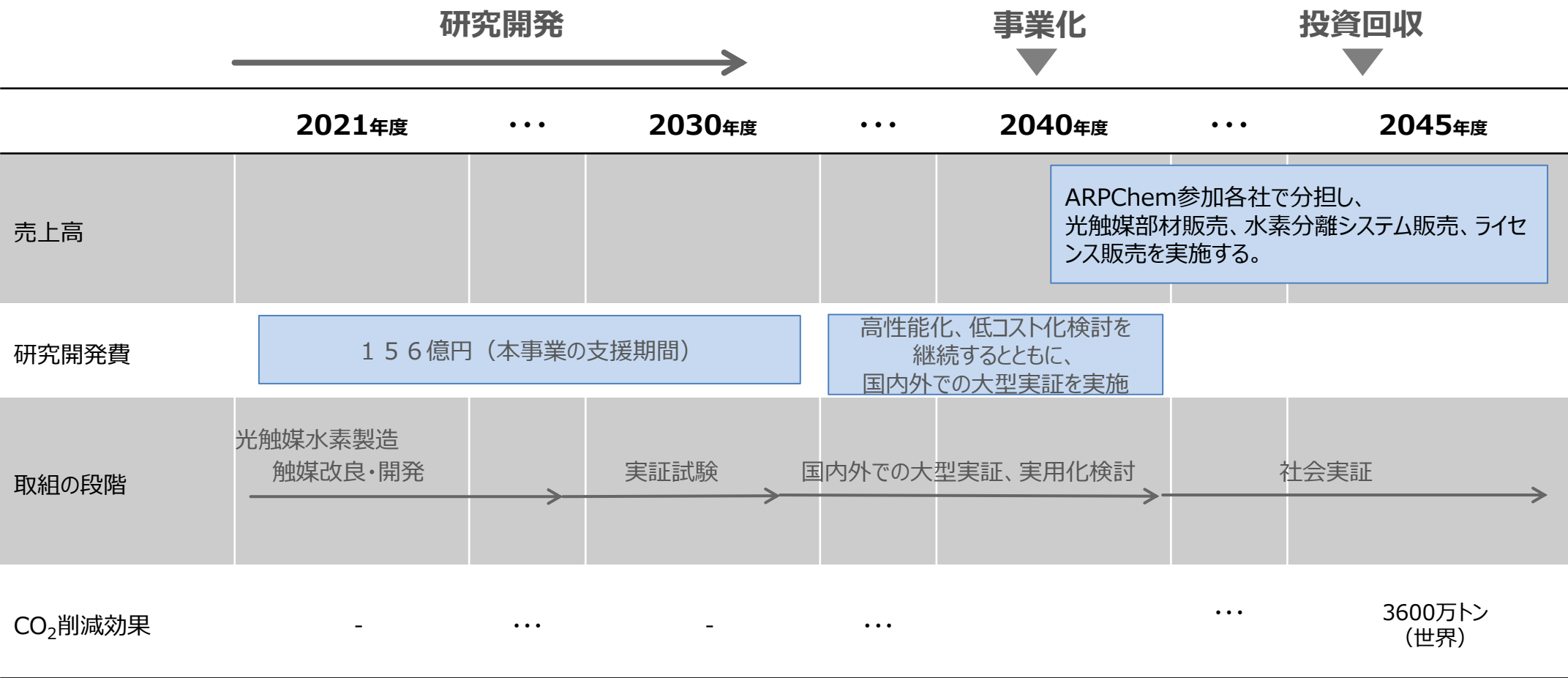
| | 技術 | 顧客基盤 | サプライチェーン | その他経営資源 |
|---------------------|--|--|---|--|
| 自社 | <ul style="list-style-type: none">(現在) 紫外光利用の100m²の実証可視光光触媒のラボでの開発  | <ul style="list-style-type: none">CO₂とH₂からの化学品製造メーカー  | <ul style="list-style-type: none">H₂部材開発と化学品製造との一体での開発  | <ul style="list-style-type: none">ARPCChemと共同実施する世界最高峰の大学、研究機関  |
| 競合ブルーH ₂ | <ul style="list-style-type: none">CO₂回収率は不十分CO₂輸送、CCSが計画通り実施できるかが課題 | <ul style="list-style-type: none">CO₂とH₂からの化学品製造メーカー燃料、産業等幅広い分野でのH₂使用 | <ul style="list-style-type: none">部材販売はまず中東、豪州等サンベルトでの実施を想定MeOHの他、水素キャリア使用との協力 | <ul style="list-style-type: none">ARPCChem参加各社との協力 |
| 競合再エネ＋水電解 | <ul style="list-style-type: none">CO₂回収率は不十分CO₂輸送、CCSが計画通り実施できるかが課題 | <ul style="list-style-type: none">天然ガスよりのH₂製造石炭・褐炭よりのH₂製造 | <ul style="list-style-type: none">GI基金等で、水素サプライチェーンの検討が実施されている | <ul style="list-style-type: none">化石燃料をいつまで使用可能かが不透明 |
| | <ul style="list-style-type: none">現状実施可能であるが、高コスト | <ul style="list-style-type: none">世界的に、国家プロジェクトの補助金を利用し実証検討中 | <ul style="list-style-type: none">サプライチェーン全体でのCO₂排出ゼロとすることが課題 | |

1. 事業戦略・事業計画／（5）事業計画の全体像

10年間の研究開発の後、2040年頃の事業化、2045年頃の投資回収を想定

投資計画

✓ 光触媒部材販売の販売を図り、2045年頃に投資回収できる見込み。



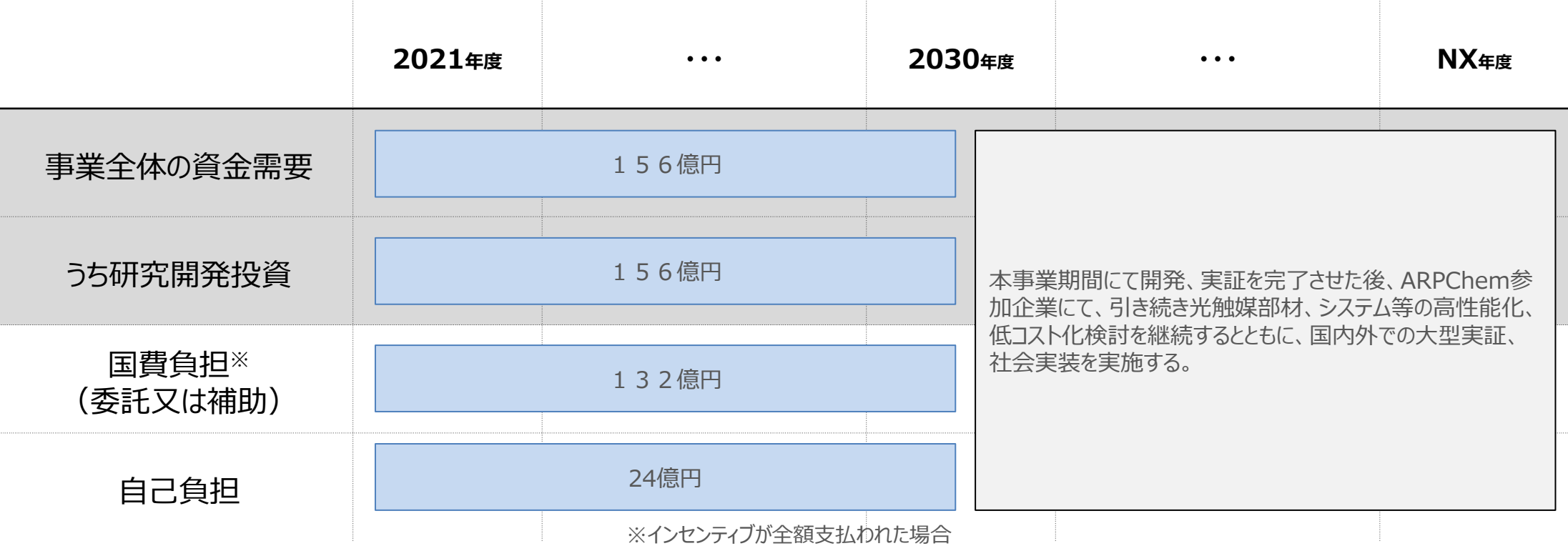
1. 事業戦略・事業計画／（6）研究開発・設備投資・マーケティング計画

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 | <ul style="list-style-type: none">光触媒H₂製造：光触媒における物性・活性相関の解析を通じ高性能光触媒の実現し、物質・用途の特許網を強化する。 Printing/coating等による安価光触媒シート及びモジュールの開発を行う。その実現の為のARPCHEM参加の異業種連携にて開発を行う。 安全なH₂分離systemを開発するとともに規制法令の整備、緩和を要望する 海外大規模実証につながる国内でのヘクトール級の実証を実施する。 | <ul style="list-style-type: none">光触媒H₂：光触媒粉体の製造に関しては、重要技術のため国内にて実施し、技術流出を防ぐ。 光触媒部材製造については、ARPCHEM参加各社の技術を組み合わせ早期に実用化する。 製造に関しては、自社にて実施するとともに、積極的にライセンスを実施する。 | <ul style="list-style-type: none">光触媒H₂：高性能光触媒を用いたH₂製造の実証により、低コスト製造をアピール。 太陽エネルギーが豊富で、土地コストも低い海外の国と協力し、実証を実施 副生O₂の利用を合わせて、用途探索する |
| 進捗状況 | <ul style="list-style-type: none">ARPCHEM参画企業及び共同実施先にて予定通り進捗。定例会議等で情報共有し、新たなアイデア創出を促進。 | <ul style="list-style-type: none">実使用条件を考慮した光触媒、光触媒パネル、分離膜の試験装置の設計及び製作着手 | <ul style="list-style-type: none">各種アウトリーチ活動を積極的に行い、光触媒によるソーラー水素製造をアピール。TV、雑誌取材への対応 |
| 国際競争上の優位性 | <ul style="list-style-type: none">NEDO人工光合成プロジェクトにて、光触媒、及びMeOH, オレフィン製造技術開発を実施しており、特に光触媒科学の研究は日本が世界最先端に位置している。 光触媒材料については、基本的な物質等の知財網を有している。H₂ / O₂の安全分離の研究について、実績あるのは日本のみである。 | <ul style="list-style-type: none">光触媒粉体製造は、硫化物・窒化物といった特殊化合物の高結晶微粒子の製造、及び助触媒の精密担持と言ったKnow-howが非常に重要となる技術であり、使用量は少ないため、日本国内で製造することで競争優位性を確保する | <ul style="list-style-type: none">中東、豪州等日本と関係が深く、会社としても海外のチャネルがある国との連携を活かし、実証、実用化に結び付ける。 |

1. 事業戦略・事業計画／（7）資金計画

国の支援に加えて、2 4 億円円規模の自己負担を予定



* 自己資金は各組合員からの賦課金で賄う

2. 研究開発計画

① グリーン水素（人工光合成）等からの化学原料製造技術の開発・実証

2. 研究開発計画／（1）研究開発目標

| 研究開発項目 | | アウトプット目標 | |
|--|--|--|---|
| 1. 光半導体水分解触媒による安全 安価なグリーン水素製造プロセス開発 | | ヘクタール級の水分解モジュールの実証運転により、好ましい立地条件において、水素製造コスト20¥/Nm ³ 以下が実現可能な基本モジュール、基本プロセスを確立する | |
| 研究開発内容 | | KPI | KPI設定の考え方 |
| ① 高活性な水分解光触媒 及び光触媒シートの開発 | | <ul style="list-style-type: none">可視光応答一段型/二段型光触媒でのSTH~10%(~2030)の達成塗布法等による光触媒シートの開発及びm²級光触媒パネル量産製造技術の確立 | <ul style="list-style-type: none">目標水素製造コストをサンベルト地域で実現する為の光触媒性能及び設置コスト試算値触媒シートとして上記目標を実現し、Numbering-up可能な触媒シートパネルの構造設計と触媒パネルとしての性能を確認する。 |
| ② 水素/酸素分離モジュールを組み込んだ水素回収システムの開発 | | <ul style="list-style-type: none">水素分離システムでのH₂濃度≥96%、H₂回収率≥90%の達成モジュール製造技術の確立及び試験設備・モジュールでの性能及び耐久性、安全性の検証 | <ul style="list-style-type: none">触媒パネルと水素/酸素分離モジュールを連結した水素製造システムの屋外設備での連続運転を実施し、パイロット用仕様の確定に必要な諸性能を確認する。ラボスケールからの段階的スケールアップを実施しNumbering-upした水素製造モジュールにて性能及び耐久性、安全性を確認する。 |
| ③ ヘクタール級屋外試験設備での目標水素コストの実現可能性検証 | | <ul style="list-style-type: none">触媒量産化時に必要な触媒製造技術の確立大規模設備での連続運転により、化学原料用純度の水素を供給できるグリーン水素ガス製造プロセスの確立 | <ul style="list-style-type: none">パイロット規模設備に供給可能な量産化技術を確立し、商用時の生産プロセスに繋げる。プロセスの安全性、設備コスト、水素製造コストの妥当性を検証し、化学原料用のグリーン水素製造法を確立する。 |

2. 研究開発計画／（2）研究開発内容

各KPIの目標達成に必要な解決方法を提案

| | KPI | 現状 | 達成レベル | 解決方法 | 実現可能性 (成功確率) |
|---|-------------------------------|---|---|--|-----------------|
| ① | 高活性な水分解光触媒及び光触媒シートの開発 | <ul style="list-style-type: none"> 可視光応答一段型/二段型光触媒でのSTH\sim10%(\sim2030)の達成 塗布法等による光触媒シートの開発及びm²級光触媒パネル量産製造技術の確立 | STH>1%ラボスケール (TRL3) \longleftrightarrow STH \sim 10%、m ² 級パネルスケール (TRL6) | <ul style="list-style-type: none"> 光半導体(YTOS,BTON, LTCA等)のサブミクロン粒子の高結晶性、defect-free、モルフォロジー制御 助触媒/光半導体界面設計、H₂/O₂発生サイト分離 光半導体構造活性相関解析による活性化要因の解明 m²級光触媒シートの耐久性を意識した光触媒シート化技術開発(printing、coating) 粉末触媒調製後のシート化、光半導体シート化後助触媒担持等、複数の触媒調製プロセス検討 | 80% |
| ② | 水素/酸素分離モジュールを組み込んだ水素回収システムの開発 | <ul style="list-style-type: none"> 水素分離システムでのH₂濃度\geq96%、H₂回収率\geq90%の達成 モジュール製造技術の確立及び試験設備・モジュールでの性能及び耐久性、安全性の検証 | H ₂ 濃度 \geq 96%、H ₂ 回収率 \geq 90% (TRL5限定条件) \longleftrightarrow H ₂ 濃度 \geq 96%、H ₂ 回収率 \geq 90% (TRL7) | <ul style="list-style-type: none"> 目標H₂純度を得られる分離性能、共存水蒸気の影響を考慮した安全・安価な分離システムの実証 筐体、光透過窓、支持体の耐久性評価・コスト試算 水素製造モジュールとしての寿命試験・コスト試算 | 80% |
| ③ | ヘクター級屋外試験設備での目標水素コストの実現可能性検証 | <ul style="list-style-type: none"> 触媒量産化時に必要な触媒製造技術の確立 大規模設備での連続運転により、化学原料用純度の水素を供給できるグリーン水素ガス製造プロセスの確立 | ラボスケール (TRL4) \longleftrightarrow パイロットスケール実証 (TRL7) | <ul style="list-style-type: none"> 工業的製造法として対応可能な酸窒化物合成法、酸硫化物合成法の開発：段階的なスケールアップで調整法の絞り込み、最適化を実施 化学原料用のグリーン水素を生産・供給できる水素ガス製造プロセスをパイロット規模で実証 | 70% |

2. 研究開発計画／（2）研究開発内容（これまでの取組）

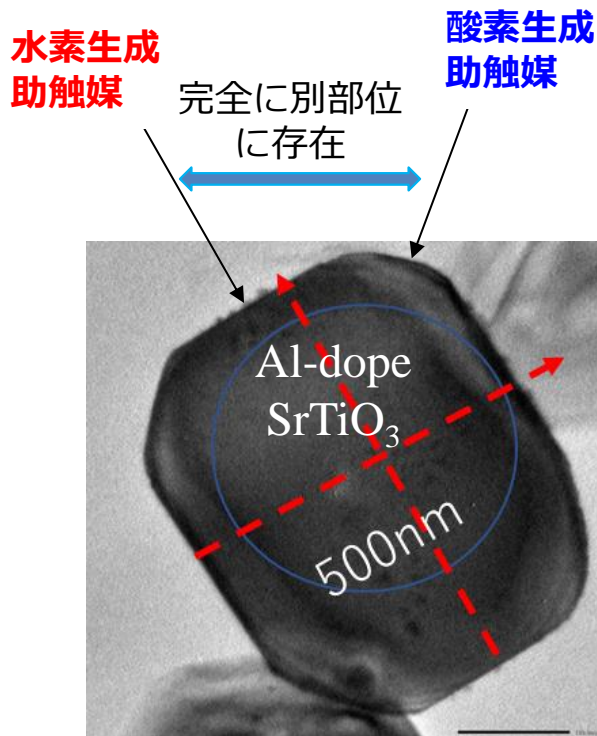
| 研究開発内容 | 直近のマイルストーン | これまでの（前回からの）開発進捗 | 進捗度 |
|---------------------------------|---|---|--------|
| ① 高活性な水分解光触媒及び光触媒シートの開発 | 2024年度 ・光触媒； STH～4% ・光触媒シート； 技術絞り込み | ・全分解、STH4%以上が達成可能な酸硫化物、酸窒化物光触媒系を開発中。 ・高い量子効率で水素生成反応を駆動する触媒と、酸素生成反応を駆動する触媒を導電材と組み合わせた二段型触媒系（Z-スキーム）を開発中。 ・量産が見込める塗布法による低コスト化光触媒シート化の検討を継続。 | 計画通り進捗 |
| ② 水素/酸素分離モジュールを組み込んだ水素回収システムの開発 | 2024年度 ・分離膜の安定性確認 ・光触媒パネル候補材の耐久性評価、コスト試算 | ・無機系分離膜で高い水素純度と回収率を達成。また、有機系分離膜ではスケールアップ製造の検討開始。 ・光触媒パネルに水素／酸素分離モジュールを組み込んだ水素回収システムの屋外分離試験と安全性評価検証を計画に基づいて検討中。 ・従来にないコンセプトを導入したモジュールの低コスト化検討を実施中。 | 計画通り進捗 |
| ③ ヘクター級屋外試験設備での目標水素コストの実現可能性検証 | 2024年 ・触媒製造技術の課題抽出 | ・活性の向上、及びシート化を検討をしている水分解光触媒の複数の候補材料について、パネル型、フィルム型等の構造の予備検討を実施、合わせて触媒製造における課題を抽出、解決策を検討中。 | 計画通り進捗 |

2. 研究開発計画／（2）研究開発内容（今後の取組）

| 研究開発内容 | 直近のマイルストーン | 残された技術課題 | 解決の見通し |
|--|---|--|--|
| 1 高活性な水分解光触媒及び光触媒シートの開発 | 2024年度 ・光触媒； STH～4% ・光触媒シート； 技術絞り込み | <ul style="list-style-type: none">・光触媒材料の欠陥密度低減と粒子サイズ・形態制御・助触媒の構造と担持サイトの制御・逆反応の抑制 ➡ 触媒設計課題を解決して電荷移動効率、反応効率を高め、STHの向上を図る <ul style="list-style-type: none">・光触媒シートの性能向上（活性、耐久性）、評価とm²級への大面積化 | <ul style="list-style-type: none">・現在検討中の高い水素発生活性を有する光触媒材料と、比較的高い酸素発生活性を有する光触媒材料の組み合わせによる二段型触媒系(Zスキーム型)で4%以上のSTHを目指す。・全分解活性が向上しない要因を解析し構造・物性と活性の関係を明らかにして一段型触媒としての性能向上を目指す。特に、①各種無機合成法を駆使した小径・高品位な光半導体の合成、②組成が均一なナノ粒子原料の合成、③助触媒担持サイトの精密設計 に注力する。・耐久性を意識した高性能光触媒シート開発に注力する。 |
| 2 水素/酸素分離モジュールを組み込んだ水素回収システムの開発 | 2024年度 ・分離膜の安定性確認 ・光触媒パネル候補材の耐久性評価、コスト試算 | <ul style="list-style-type: none">・光触媒パネル／分離膜モジュール結合ユニットを用いた屋外試験を安全に実施し、実証データを取得する。・配管部の安全性試験（爆轟、消炎試験）・変動する水素生成量を制御し、化学プロセスへの水素供給を可能にするプロセス設計。 | <ul style="list-style-type: none">・開発中の無機及び有機分離膜はいずれもさらなる性能向上が期待できる材料で、膜構造と分離機能の相関性を理解することで技術課題を解決できる見込み。長尺化の量産技術とシステムの安全な取り扱い方法を確認して、膜モジュールコスト削減に重点的に取り組む。・爆轟試験及び消炎試験により、システムの安全設計に資するデータを取得する。 |
| 3 ヘクター級屋外試験設備での目標水素コストの実現可能性検証 | 2024年 ・触媒製造技術の課題抽出 | <ul style="list-style-type: none">・ラボスケールでSTH～4%を達成可能な光触媒候補材料を用いた水素製造モジュールの基本構成の確立。それをを用い numbering-upによる大面積化。 | <ul style="list-style-type: none">・光触媒改良検討の中で得られた知見をもとに、モデル化合物をラボスケールで合成し、触媒製造に係わる課題を抽出することで目標を達成できる見込みである。 |

①高活性な水分解光触媒及び光触媒シートの開発：光触媒材料における保有技術

- ◆ 既存材料 SrTiO_3 の改良により、近紫外光下において**内部量子収率 $\approx 100\%$** を達成 (Al-dope SrTiO_3)
- ◆ 太陽光エネルギー変換効率 $\eta = 10\%$ 達成を見込める**長波長応答光触媒材料**を複数開発
⇒ 結晶性や助触媒担持法等の改良により、更なる性能向上が可能



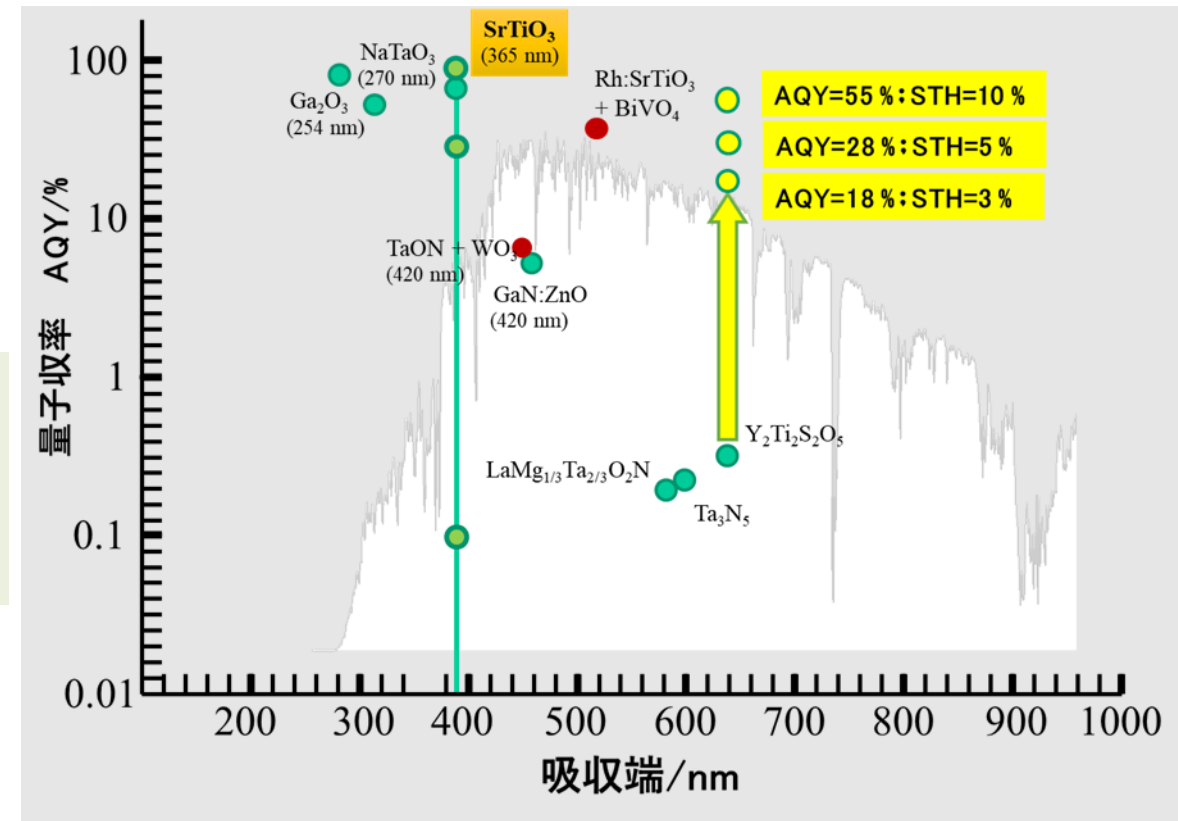
Nature (2020)

◆ 触媒改良方針

- ・ 欠陥量低減
- ・ 結晶面の制御
- ・ 精密な助触媒担持

◆ 最終候補光半導体材料

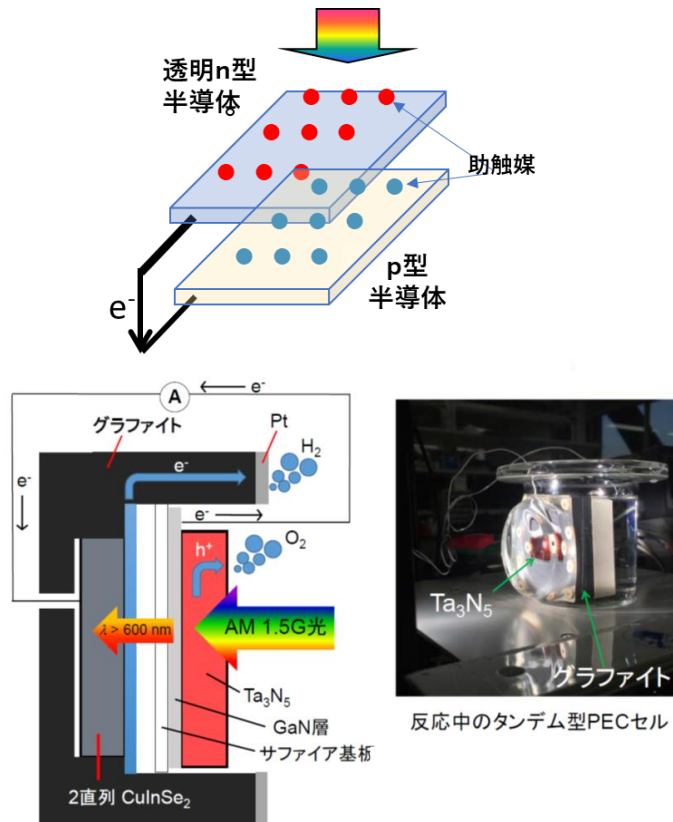
- 候補材料A(640nm)
- 候補材料B(600nm)
- 候補材料C(650nm)
- 候補材料C+ BiVO_4 (>1.3% 達成)



①高活性な水分解光触媒及び光触媒シートの開発: タンデム型、シート型の比較

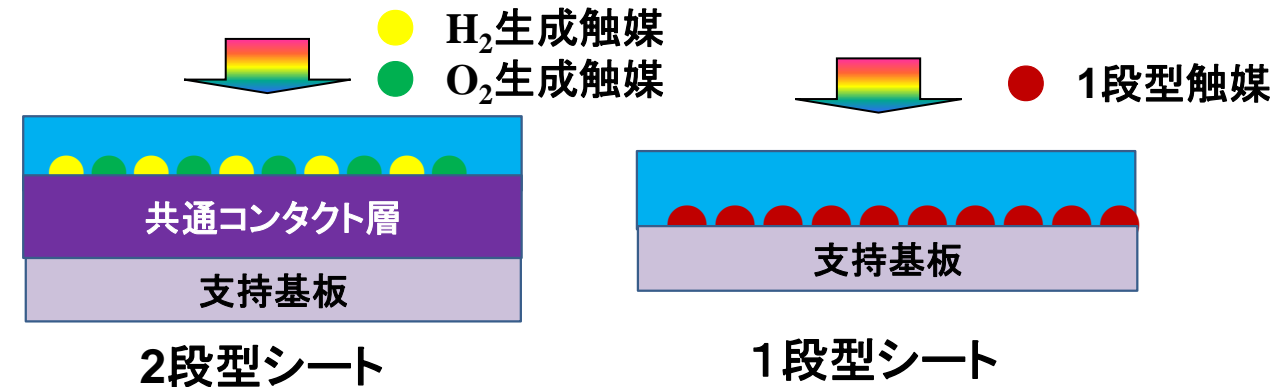
本研究開発では、低コスト化+スケールアップ容易なシート型光触媒での実用化を目指す。

タンデム型光触媒



- H₂とO₂は別サイトで発生
- × 高活性は出しやすいが大面積化と低コスト化は困難

シート型光触媒



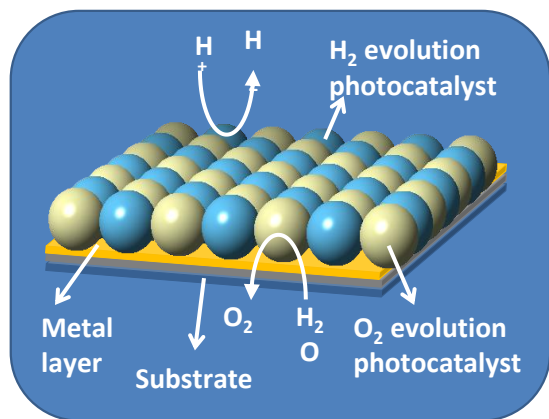
- H₂/O₂分離が必要だが低コスト化の可能性
- 塗布法によりスケールアップが容易

①高活性な水分分解光触媒及び光触媒シートの開発: シート化技術開発における課題および解決法

保有技術

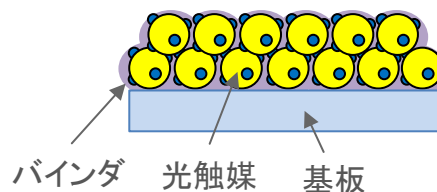
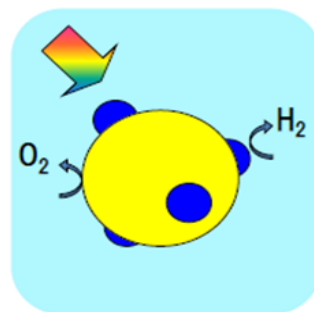
光触媒の種類に応じた2種類のシート化技術を保有

◆ 2段型光触媒シート



数cm²スケール

◆ 1 段型光触媒シート



100 m²プロトタイプ水分解パネル(東京大学柿岡研究施設)

25cm角モジュールのナンバリングアップ

| | 技術的課題 | 解決方法 |
|-----------|---|---|
| 1段型光触媒シート | <ul style="list-style-type: none">懸濁系に比較して低活性光触媒剥離助触媒の溶出による活性低下 | <ul style="list-style-type: none">光触媒反応を阻害しない固定化技術開発剥離耐久性向上検討助触媒安定化、助触媒再生技術開発 |
| 2段型光触媒シート | <ul style="list-style-type: none">常圧条件で低活性大面積化 | <ul style="list-style-type: none">助触媒担持技術開発による活性向上検討プリンティング、コーティングの量産技術の適用検討 |

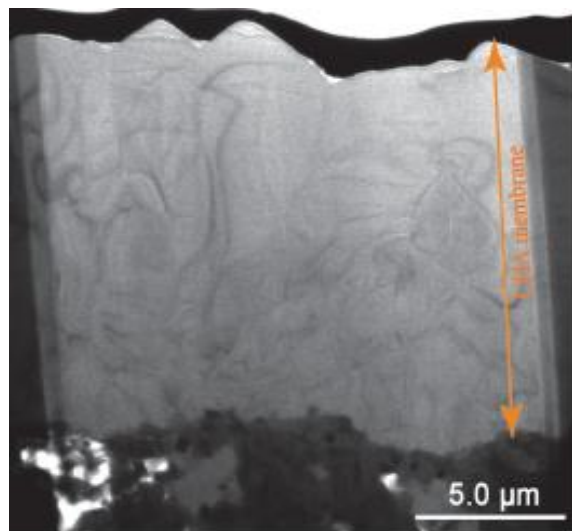
②水素/酸素分離モジュールを組み込んだ水素回収システムの開発； 分離膜

<分離膜を用いた気体分離技術>

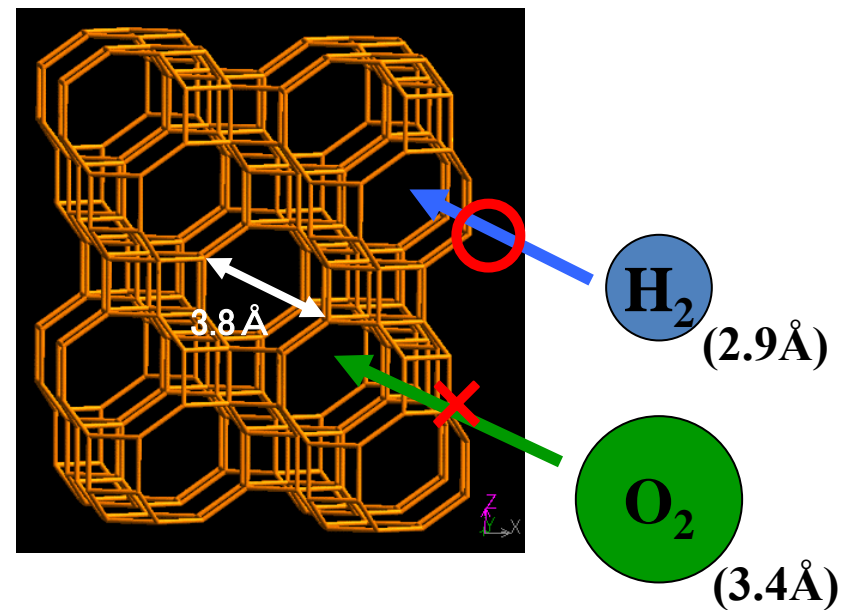
- ◆ 円筒支持体上に結晶性多孔質材料を形成した気体分離膜（ゼオライト層を表面に製膜）



- ◆ ゼオライト膜断面の透過電子顕微鏡像



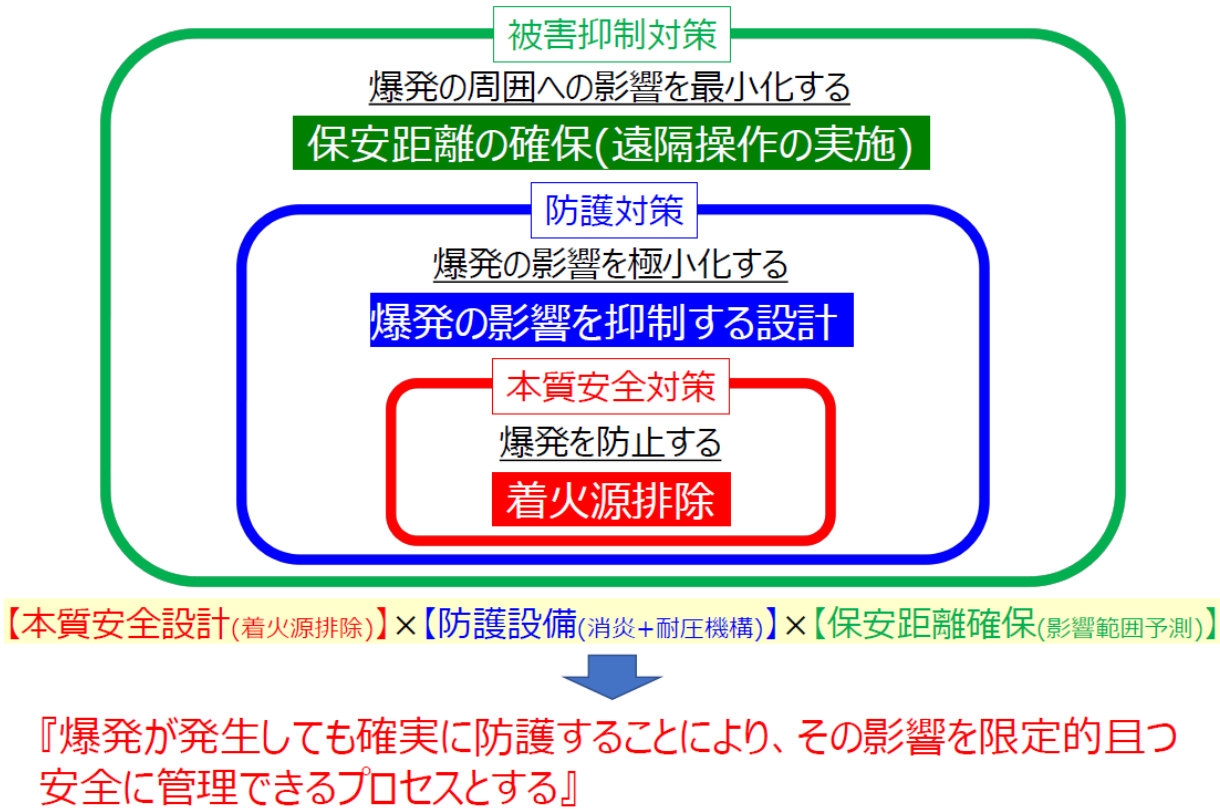
- ◆ CHA型ゼオライトによる水素/酸素分離のイメージ
→ 気体の動的分子径の違いによる「分子ふるい」効果を活用



○ ゼオライト8員環の細孔径 (3.8 Å) と水素分子径 (2.9 Å)、酸素分子径 (3.4 Å) が近接しているため、高選択的な水素/酸素分離を達成するために、表面修飾法によるゼオライト膜の分離性能向上を検討

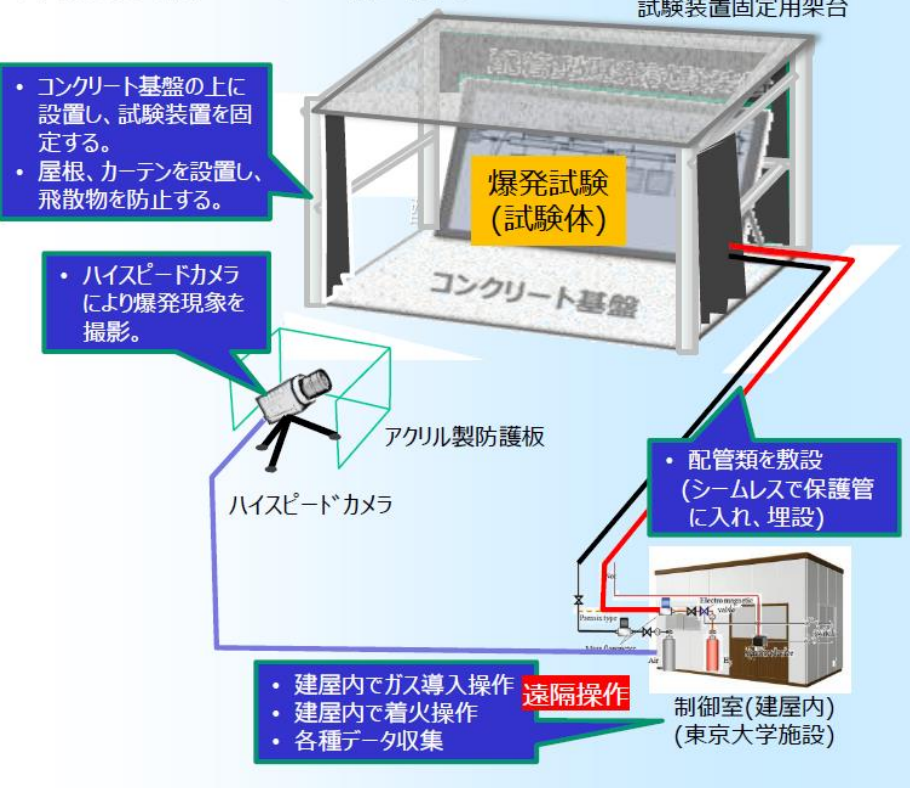
②水素/酸素分離モジュールを組み込んだ水素回収システムの開発； 安全性検討

<プロセス安全性の基本的な考え方>



<安全性検討のための屋外試験設備>

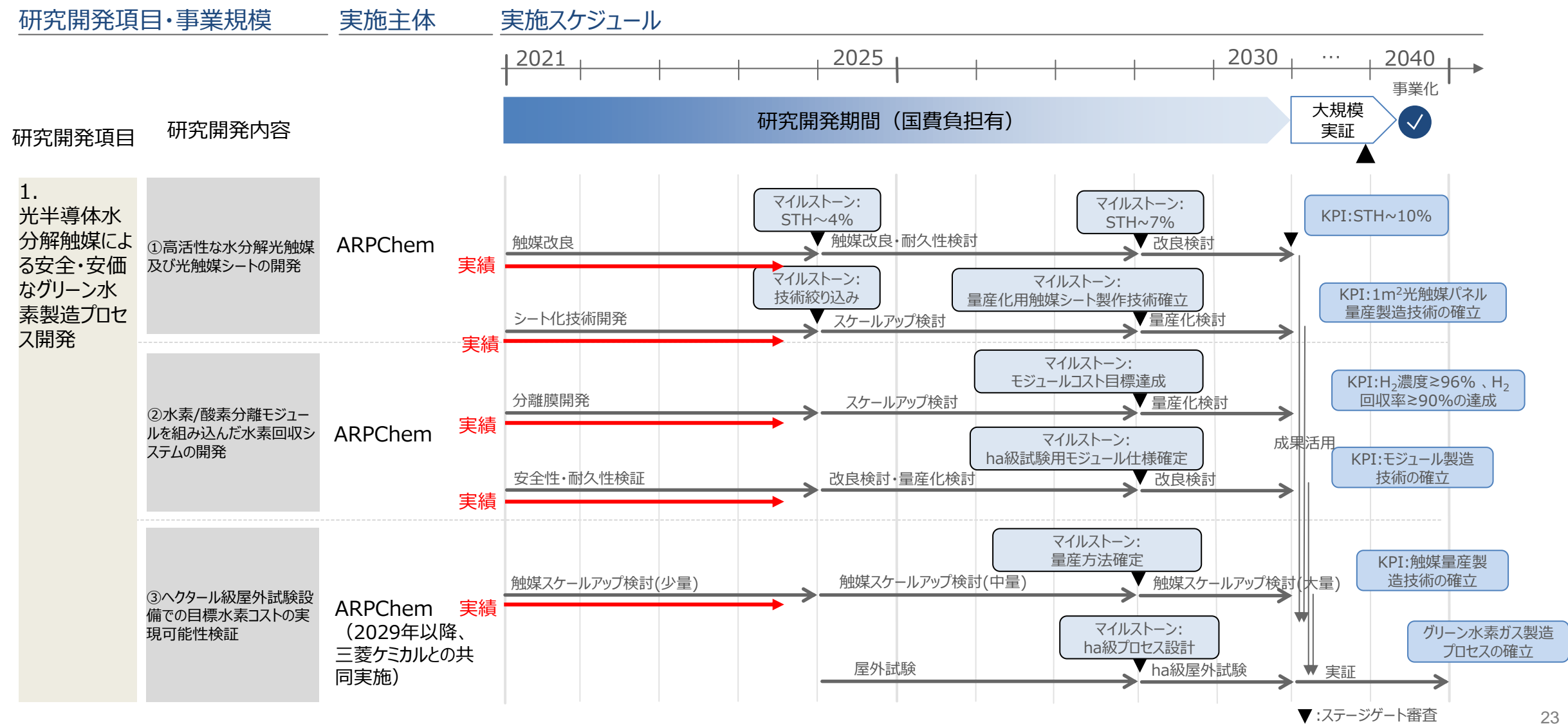
◆爆発試験システム概略図



人工光合成プロセスの各工程「水分解→H₂/O₂混合気輸送→脱湿→H₂/O₂分離」の危険性を抽出し、定量的な安全性データから本質的に安全なプロセスを構築する。

2. 研究開発計画／（3）実施スケジュール

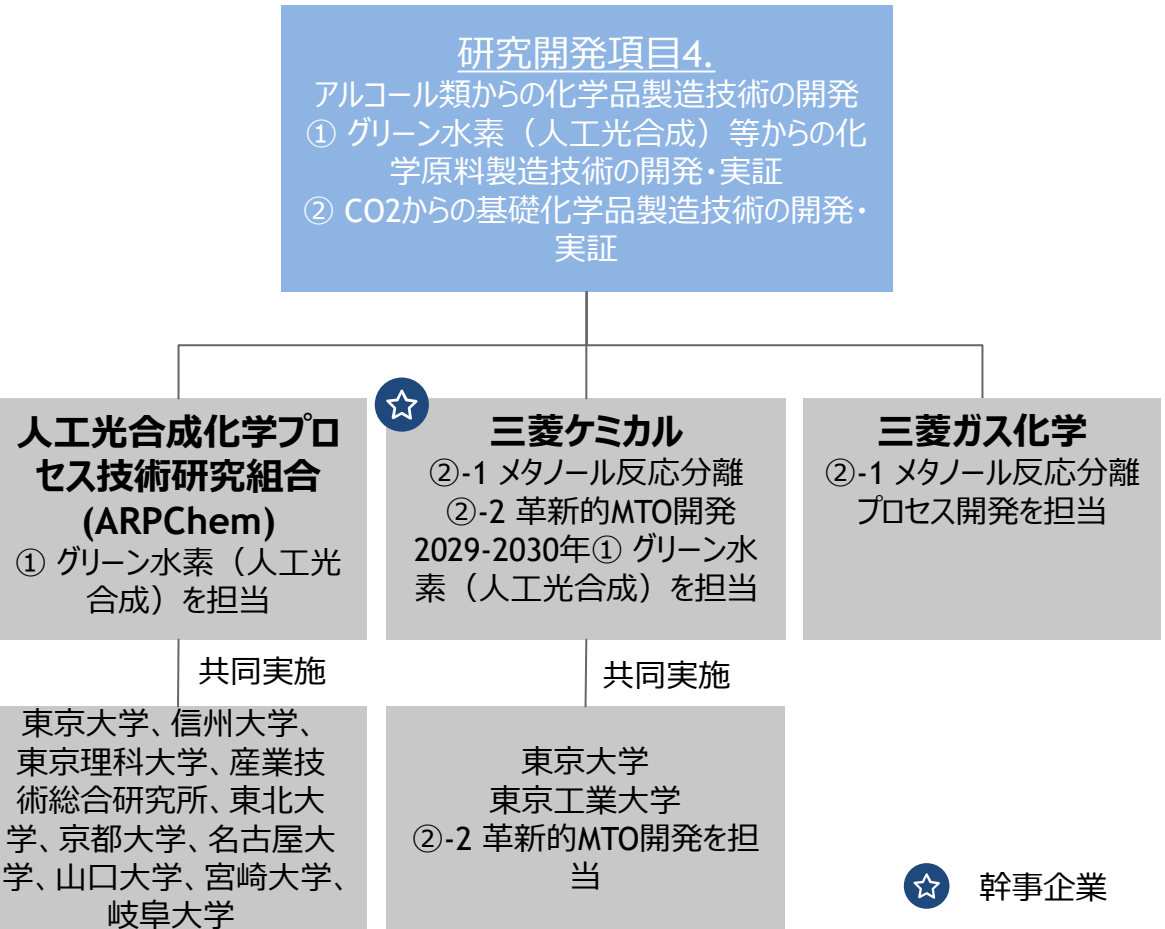
複数の研究開発を効率的に連携させるためのスケジュールを計画



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



人工光合成化学プロセス技術研究組合 プロジェクト参画企業
INPEX、JX金属、大日本印刷、デクセリアルズ、東レ、トヨタ自動車、日本製鉄、
フルヤ金属、三井化学、三菱ケミカル、京セラ

各主体の役割と連携方法

各主体の役割

- 研究開発項目 4 全体の取りまとめは、三菱ケミカルが行う
- 人工光合成化学プロセス技術研究組合（ARPCChem）は① グリーン水素（人工光合成）等からの化学原料製造技術の開発・実証を担当する
- ① グリーン水素（人工光合成）等からの化学原料製造技術の開発・実証のうち光触媒の開発等を共同実施にて、東京大学、信州大学、東京理科大学、産業技術総合研究所、東北大学、京都大学、名古屋大学、山口大学、宮崎大学、岐阜大学が担当する
- 三菱ケミカルは、② CO2からの基礎化学品製造技術の開発・実証（②-1 メタノール反応分離プロセス開発、②-2 革新的MTO開発）を担当する
また、2029-30はARPCChemと共同で①グリーン水素の屋外大規模実証を担当する
- ②-2 革新的MTO開発のうち、触媒の研究開発等を共同実施にて、東京大学、東京工業大学が担当する
- 三菱ガス化学は、② CO2からの基礎化学品製造技術の開発・実証のうち、②-1 メタノール反応分離プロセス開発を三菱ケミカルと共同で担当する

研究開発における連携方法

ARPCChem

- 全体会議を1回/年開催する。
- テーマ別定例会議を開催する（1回/1.5月）
酸窒化物、酸硫化物、パネル（分離膜、安全性検討）、共同実施先メタノール反応分離

- 三菱ケミカルと三菱ガス化学において、4回/年の技術会議を開催する。

MTO開発

- 三菱ケミカル－東工大－東大にて3回/年の技術会議を開催する

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. 光半導体水分解触媒による安全・安価なグリーン水素製造プロセス開発 | 1 高活性な水分解光触媒及び光触媒シートの開発 | <ul style="list-style-type: none">• ARPCChemで開発された光触媒材料に関する知財・ノウハウ• 触媒・無機材料に関する解析・シミュレーション技術• ARPCChemで開発された光触媒シートの作成技術・ノウハウ | <ul style="list-style-type: none">→ 光触媒材料に関する知財・ノウハウを保有→ 無機材料の工業化実績→ 光触媒シートの作成技術・ノウハウを保有 |
| | 2 水素/酸素分離モジュールを組み込んだ水素回収システムの開発 | <ul style="list-style-type: none">• ARPCChemで開発されたH₂/O₂分離可能なゼオライト膜、高分子膜、H₂/O₂混合気の消炎技術• 筐体、光透過窓等に利用可能な樹脂材料 | <ul style="list-style-type: none">→ H₂/O₂分離膜の事業化→ 各種樹脂材料製品を保有 |
| | 3 ヘクター級屋外試験設備での目標水素コストの実現可能性検証 | <ul style="list-style-type: none">• 触媒・無機材料等の量産製造技術• 可燃性ガスを扱う化学プロセスの設計、運転ノウハウ• 爆発試験設備(東大柿岡、産総研) 、各種の安全対策検討結果 | <ul style="list-style-type: none">→ 無機材料の工業化実績→ 可燃性ガスを扱う化学プロセスの設計、運転ノウハウを保有→ 爆発試験設備(東大柿岡、産総研)での効率的な安全検証実験実施可能 |

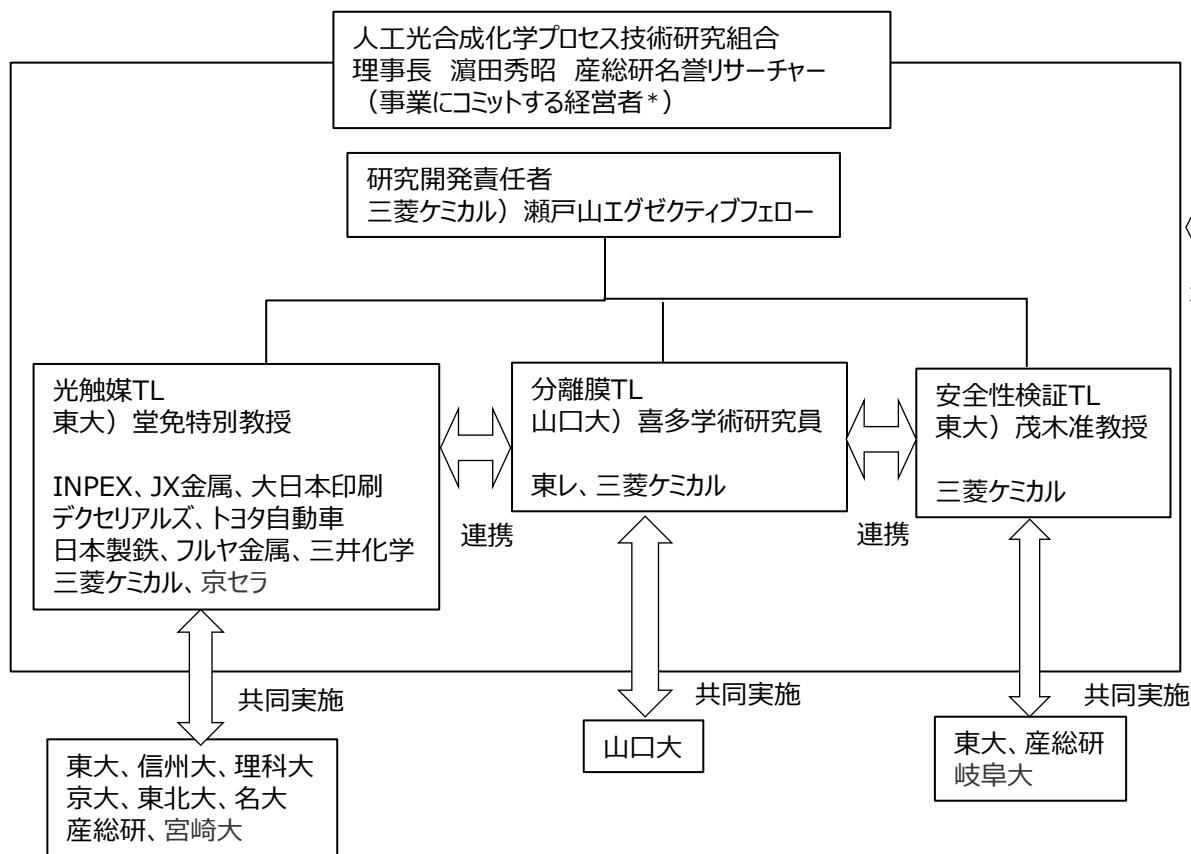
3. イノベーション推進体制

(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

人工光合成によるグリーン水素創出の実施体制

組織内体制図



* 本委託事業責任者

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
瀬戸山 亨：プロジェクト全体の計画・連携

・担当チーム

光触媒チーム：太陽エネルギーを用いて水素を製造する光触媒の開発及び光触媒モジュールの開発

- ・触媒開発担当：JX金属、デクセリアルズ、トヨタ自動車、日本製鉄、フルヤ金属、三井化学、三菱ケミカル、京セラ（東大、信州大、理科大、京大、東北大、名大、産総研、宮崎大）
- ・触媒コーティング技術開発：大日本印刷
- ・モジュール開発：I N P E X、三菱ケミカル（東大）

分離膜チーム：水分解により発生する水素と酸素を安全かつ高効率で分離する分離膜モジュールの開発

- ・分離膜及びモジュール開発：東レ、三菱ケミカル（山口大）

安全性検証チーム：光触媒モジュール及び分離膜モジュールを含めたソーラー水素製造システムの安全性検証

- ・安全性検証：三菱ケミカル（東大、産総研、岐阜大）

・標準化担当

三菱ケミカルグループ サステナビリティ所管

部門間の連携方法

- ・テーマ別定例会議、全体会議にて進捗状況を報告、情報の共有化を図る。

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

人工光合成化学プロセス技術研究組合(ARPCChem)説明

事業のモニタリング・管理

- ・技術・社会実装推進委員会
外部有識者で構成される技術・社会実装推進委員会（2回/年）において得られる技術評価及び助言を事業計画に反映させ、社会実装を目指して開発を加速する。
- ・中間評価
中間目標を定め、中間評価において事業の位置付け、研究開発マネジメント、研究開発成果、成果の実用化等の項目で目標に対する評価を行い、課題並びに改善点を明確にした。本プロジェクトにおいても同様にマイルストーンを定め、課題を明確にして開発を加速する。

事業の継続性確保の取組

- 成果の社会実装化を目的とし、以下知財方針を基本的に継続する。
- ・プロジェクト期間中の成果として発生した知財は、技術研究組合及びプロジェクト参加組合員に帰属させる。
他のプロジェクト参加組合員への実施許諾については、試験研究段階においては、無償で使用可能、事業化段階においては実施許諾を行う。
既存/新規参画 組合員の知財権について、平等化をベースに規約を調整中。
 - ・特許出願の可否については、組合員で構成される知財運営員会にて判断する。技術によっては知財化するのではなくknow howとして維持管理する選択を行うこともある。
 - ・他のプロジェクト参加組合員への実施許諾の条件は、第三者より有利な条件とする。
 - ・今後、社会実装に向けて知財網をさらに強化、差異化してゆく。
 - * 出願状況（前PJ分を含む）
2012～2023実績（2024年 3月現在）
国内出願：180件、登録：67件
外国出願：61件、登録：32件

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

人工光合成によるグリーン水素事業の位置付けと情報発信

事業計画の議論

- 事業計画の議論
NEDO実施方針、実施計画に基づき、事業計画を策定し、組合運営委員会並びに理事会での審議を行い、最終的に総会でその事業計画の承認を得る。計画は主務大臣（経産省大臣）に届け出る。
- 社会実装に向けた議論
理事会等の場で社会実装について協議してゆく。

（理事会）

- 協議事項：組合の業務に執行を決議する。決議内容は総会にて最終承認を受ける。
- 構成：理事長、専務理事、理事（1名/組合員）
- 開催頻度：必要に応じて招集

（運営委員会）

- 協議事項：組合の運営に関する事項を協議し、理事会へ諮問する。
- 構成：専務理事、運営委員（1名/組合員）、管理部長、研究知財部長
- 開催頻度：1回/月

情報発信

以下のアウトリーチにより積極的に成果の発信に努める

○ 前PJ（2012 - 2021年度）

| | |
|----------|-------|
| －論文発表 | 115報 |
| －学会発表 | 367件 |
| －報道等 | 約400件 |
| －プレスリリース | 11件 |

○ 新PJ（2022.3.- 2024.3）

| | |
|----------|------|
| －論文発表 | 42報 |
| －学会発表 | 121件 |
| －報道等 | 約30件 |
| －プレスリリース | 2件 |
| －受賞等 | 8件 |
| －特許 | 5件 |

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

機動的に資源を投入し、着実に社会実装を目指す

経営資源の投入方針

- 実施体制の柔軟性の確保
実施体制
研究の進捗に応じて、実施体制の見直し並びに強化等、柔軟に対応する。
外部リソース
社会実装に向けて、必要に応じ外部リソースを柔軟に活用する。
プロトタイプ
光触媒製造システムのプロトタイプを示すことにより、フィードバックを得て、改良を進め、社会実装の早期化を目指す。
- 人材・設備・資金の投入方針
研究の進捗に応じて、人材・設備・資金の投入について柔軟に対応する。

人材育成

- 若手人材の育成
組合参加企業の研究者とプロジェクトに参加する大学・研究機関との交流を活発にすることにより、若手人材の育成を図る。
- プロジェクトに参加する組合員企業からの研究者は各企業にて研究開発を進めるほか、企業からの研究者の一部は集中研（東大）に常駐し、大学メンバーと共同で研究開発を進める。
- チームリーダーの下、参加企業の研究者、大学・研究機関の研究者が定期的に研究進捗状況の報告を行い、議論を深めながら研究開発を進める。

4. その他

4. その他／（１）想定されるリスク要因と対処方針

リスクに対して十分な対策を講じるが、想定外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 |
|---|---|--|
| <ul style="list-style-type: none">研究開発目標大幅未達によるリスク →研究の進捗管理を行い、状況に応じて外部を含めたリソースの配分を検討する。 →最新技術の情報収集、及び最新技術の導入を検討する。当該技術よりコスト競争力のある新規競合技術が出現するリスク →競合技術の競争力について検討し、必要に応じて開発目標を変更する。 | <ul style="list-style-type: none">化石原料由来の水素に比べて、光触媒によるグリーン水素が高コストとなり、市場が立ち上がらないリスク →環境価値、カーボンニュートラルへの貢献をアピールし、その制度を整備する。グリーン水素の普及が進まず、当該技術による化学品原料製造が市場で受け入れられないリスク →化学品原料以外の水素から生成されるメタン、アンモニア等への展開を進め、当該技術によるグリーン水素の市場開拓を検討する。水素・酸素混合気のハンドリング安全性に対する社会受容性が得られないリスク →トラブルが起きたとしても影響を最小化するシステムとロジックを構築する。 →地域の選択、必要に応じて法整備を図る | <ul style="list-style-type: none">大規模地震、風水害等により研究開発が遅延するリスク →災害リスクを考慮した試験設備の設置を検討する。 |



- 事業中止の判断基準：
研究開発目標が大幅に未達の場合
当該技術よりもコスト競争力のある新規競合技術が出現した場合
想定していた状況が変わり、競合技術に対して十分な優位性を発現できないことが判明した場合