

「二酸化炭素原料化基幹化学品 製造プロセス技術開発」(中間評価)

(2014年度～2021年度 8年間)

プロジェクトの概要 (公開版)

5.1 事業の位置付け・必要性、研究開発マネジメント

NEDO 材料・ナノテクノロジー部

2019年10月2日

発表内容

I. 事業の位置づけ・必要性

- (1)事業の目的の妥当性
- (2)NEDOの事業としての妥当性

II. 研究開発マネジメント

- (1)研究開発目標の妥当性
- (2)研究開発計画の妥当性
- (3)研究開発の実施体制の妥当性
- (4)研究開発の進捗管理の妥当性
- (5)知的財産等に関する戦略の妥当性

III. 研究開発成果

- (1)研究開発目標の達成度及び研究開発成果の意義
- (2)成果の最終目標の達成可能性
- (3)成果の普及
- (4)知的財産権の確保に向けた取組

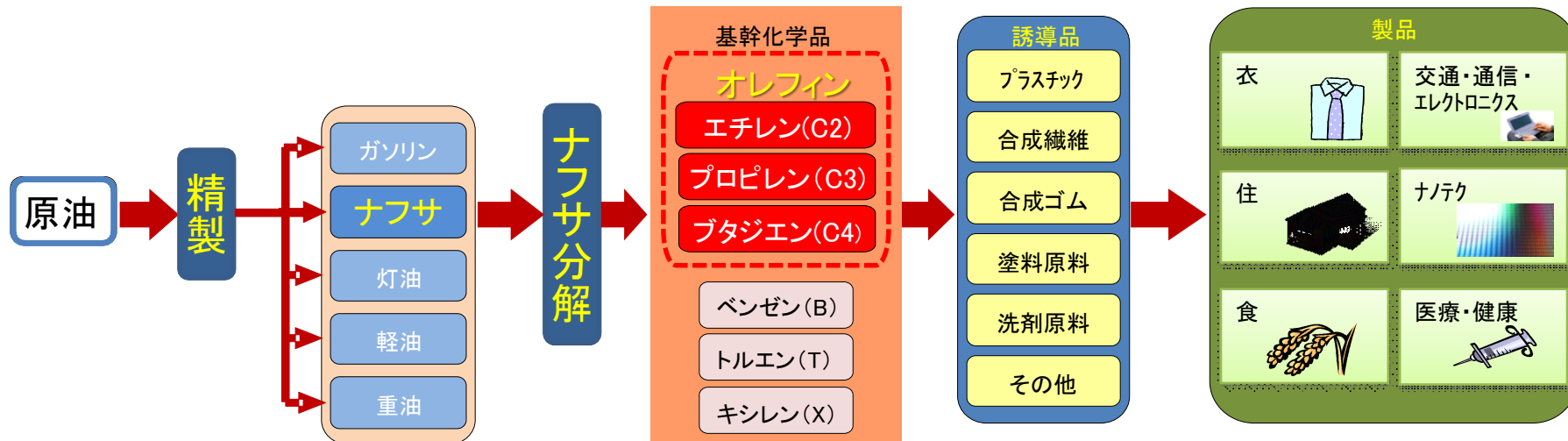
IV. 成果の実用化に向けた取組及び見通し

- (1)成果の実用化に向けた戦略
- (2)成果の実用化に向けた具体的取組
- (3)成果の実用化の見通し

1. 事業の位置付け・必要性 (1)事業の目的の妥当性

◆事業実施の背景と事業の目的

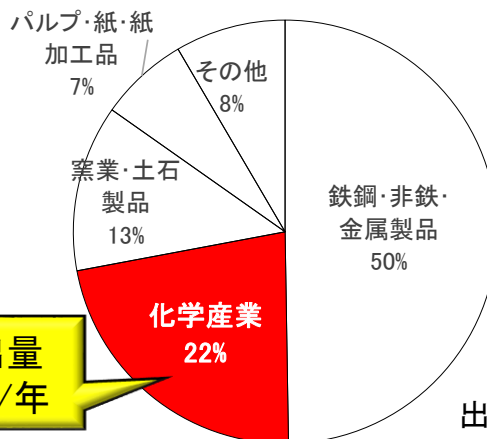
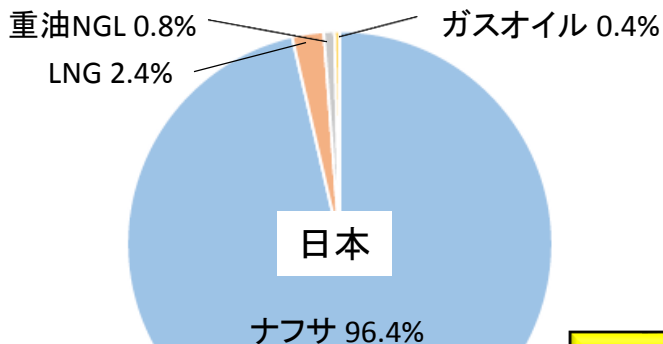
■日本の化学産業：あらゆる産業に、様々な素材を供給する基盤産業



■課題 (Issues)

- 原料の96%を原油(ナフサ)に依存
- 二酸化炭素の排出量大

- 化石資源への依存度の低減
- 原料の多様化への対応
- 低炭素社会の実現に貢献可能な新規化学品製造技術



CO₂排出量 7,400万t/年

分野別CO₂排出量 (2015年)

出典 国立環境研究所 2

エチレン原料 構成比 (2017年)

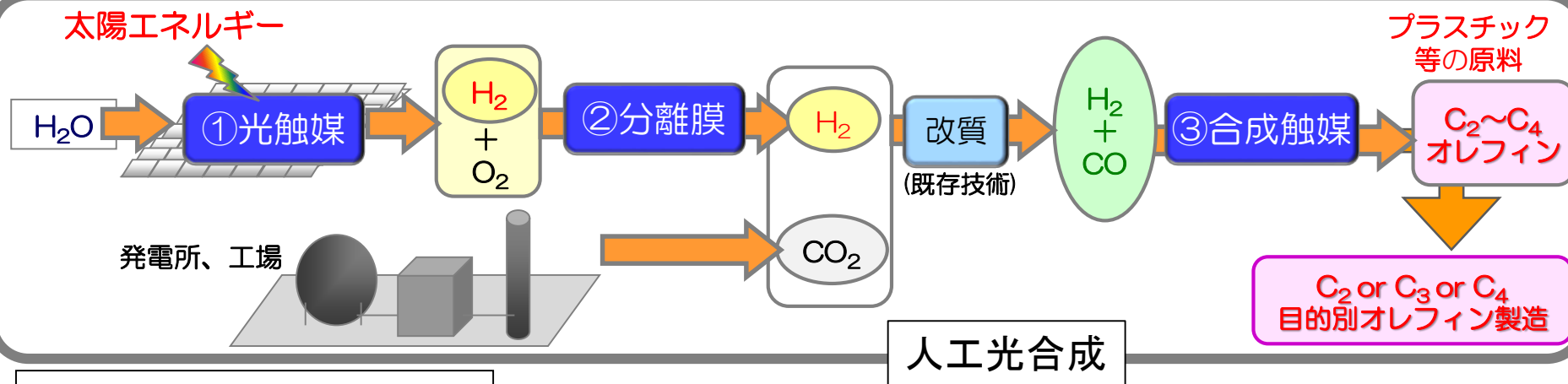
出典 経済産業省 石油化学工業協会

■プロジェクトの位置づけ

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 次に、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。

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。



◆政策的位置付け

- 科学技術イノベーション総合戦略2017(内閣府総合科学技術・イノベーション会議 2017年6月2日)
⇒ エネルギーシステム全体を横断して各分野の機能を維持・向上し、大幅な省エネルギーへ貢献する技術として位置づけ。
- エネルギー・環境イノベーション戦略(2016年4月19日 総合科学技術 イノベーション会議)
⇒ 二酸化炭素固定化・有効利用のために必要な技術として位置づけ。

◆政策的位置付け

2016年5月13日閣議決定

「地球温暖化対策計画」内閣官房 環境省 経済産業省

パリ協定長期成長戦略のポイント	
第1章：基本的な考え方（ビジョン） > 最終到達点としての「脱炭素社会」を掲げ、それを野心的に今世紀後半のできるだけ早期に実現することを目指すとともに、2050年までに80%の削減に大胆に取り組む ※積み上げではない、有未来「あるべき姿」 ※1.5℃努力目標を高め/削減目標の長期目標の達成にも貢献 > ビジネス主導の非連続なイノベーションを通じて「環境と成長の好循環」の実現、取組を今から迅速に実施、世界への貢献、将来に希望の持てる明るい社会を描き行動を起こす [背景：SDGs達成、共創、Society5.0、地域連携共生圏、課題解決先進国]	
第2章：各分野のビジョンと対策・施策の方向性 第1節：排出削減対策・施策 1.エネルギー：エネルギー転換・脱炭素化を進めるため、あらゆる選択肢を追求 ・再エネの主力電源化 ・火力はパリ協定の長期目標と整合的CO ₂ 排出削減 ・CCS・CCU/カーボンサイクルの推進 ・水素社会の実現/蓄電池/原子力/省エネ 2.産業：脱炭素化ものづくり ・CO ₂ フリー水素の活用（セクター・オフ、 グリーン水素) ・CCU/バイオマスによる原料転換等（人工光合成等） ・抜本的な省エネ、中長期的なプロセスの転換等 3.運輸：“Well-to-Wheel Zero Emission” チャレンジへの貢献 ・2050年までに世界で供給する日本車について世界最高水準の環境性能を実現 ・ビッグデータ・IoT等を活用した道路・交通システム 4.地域・くらし：2050年までにカーボンニュートラルでレジリエントで快適な地域とくらしを実現/地域連携共生圏の創造 ・可能な地域・企業等から2050年を待たずにカーボンニュートラルを実現 ・カーボンニュートラルなくらし（住宅やオフィス等のストック平均でZEB・ZEH相当を進めるための技術開発や普及促進/ライフスタイルの転換） ・地域づくり（カーボンニュートラルな都市、農村づくり）、分散型エネルギーシステムの構築 第2節：吸収源対策 第4章：その他 ・人材育成 ・公正な移行 ・政府の率先的取組 通商によるレジリエントな社会づくりとの一体的な推進 ・エネルギー・環境・経済の連携強化（注）	第3章：「環境と成長の好循環」を実現するための横断的施策 第1節：イノベーションの推進 ・温室効果ガスの大削減につながる横断的な脱炭素技術の実用化・普及のためのイノベーションの推進・社会実装可能なコストの実現 (1)革新的環境イノベーション戦略 ・コスト等の明確な目標の設定、官民/ノースの最大限の投入、国内外における技術シーズの発掘や創出、ニーズからの課題設定、ビジネスにつながる支援の強化等 ・挑戦的な研究開発、G20の研究機関間の連携を強化し国際共同研究開発の展開(RD20)等 ・実用化に向けた目標の設定・課題の見える化 ・CO ₂ フリー水素製造コストの10分の1以下など既存エネルギーと同等のコストの実現 ・CCU/カーボンサイクル製品の既存製品と同等のコストの実現、原子力（原子炉・核融合）ほか (2)経済社会システム/ライフスタイルのイノベーション 第2節：グリーン・ファイナンスの推進 ・イノベーション等を通じて見える化し、金融機関等がそれを後押しする資金循環の仕組みを構築 (1)TCFD¹⁾等による開示や対話を通じた資金循環の構築 ※気候関連財務情報開示タスクフォース ・産業：TCFDガイダンス・シナリオ分析ガイドブック/金融機関等：グリーン投資ガイダンス策定 ・産業界と金融界の対話の場（TCFDコンソーシアム） ・国際的な知見共有、発信の促進（TCFDサミット（2019年秋）） (2)ESG金融の拡大に向けた取組の促進 ・ESG金融への取組促進（グリーンボンド発行支援、ESG地域金融普及等）、ESG対話プラットフォームの整備、ESG金融/デラシー向上、ESG金融ハイレベル・パネル等 第3節：ビジネス主導の国際展開、国際協力 ・日本の強みである優れた環境技術・製品等の国際展開/相手国と協働した双方に裨益するコ・イノベーション (1)政策・制度構築や国際ルールづくりと連動した脱炭素技術の国際展開 ・相手国における制度構築や国際ルールづくりによるビジネス環境整備を通じて、脱炭素技術の普及と温室効果ガスの排出削減（ASEANでの官民イニシアティブの立上げの提案、市場メカニズムを活用した適切な国際枠組みの構築等） (2)CO₂排出削減に貢献するインフラ輸出の強化 ・パリ協定の長期目標と整合的にCO ₂ 排出削減に貢献するエネルギーインフラや都市・交通インフラ（洋上風力・地熱発電などの再エネ、水素、CCS・CCU/カーボンサイクル、スマートシティ等）の国際展開 (3)地球規模の脱炭素社会に向けた基盤づくり ・相手国におけるNDC策定・緩和策にかかる計画策定支援等、サプライチェーン全体の透明性向上 第5章：長期戦略のレビューと実施 ・レビュー：6年程度を目安としつつ情勢を踏まえて柔軟に検討を加えるとともに必要に応じて見直し ・実施：環境省の環境政策評価/経済産業省の産業政策評価/国土交通省の国土政策評価/国土交通省の国土政策評価

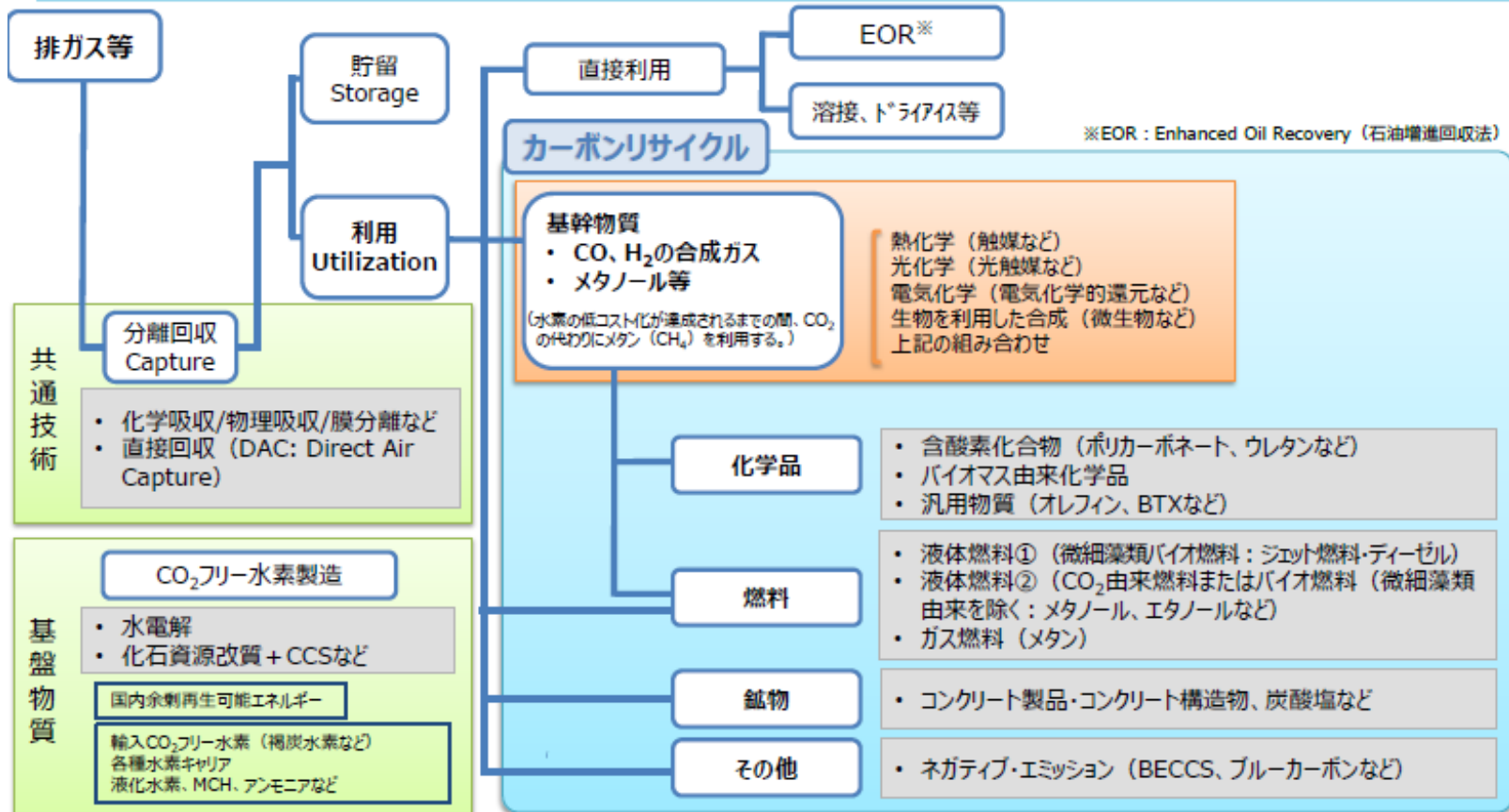
◆政策的位置付け

2019年6月7日策定

「カーボンリサイクルロードマップ」 経済産業省、協力府省 内閣府 文部科学省 環境省

CCUS/カーボンリサイクル

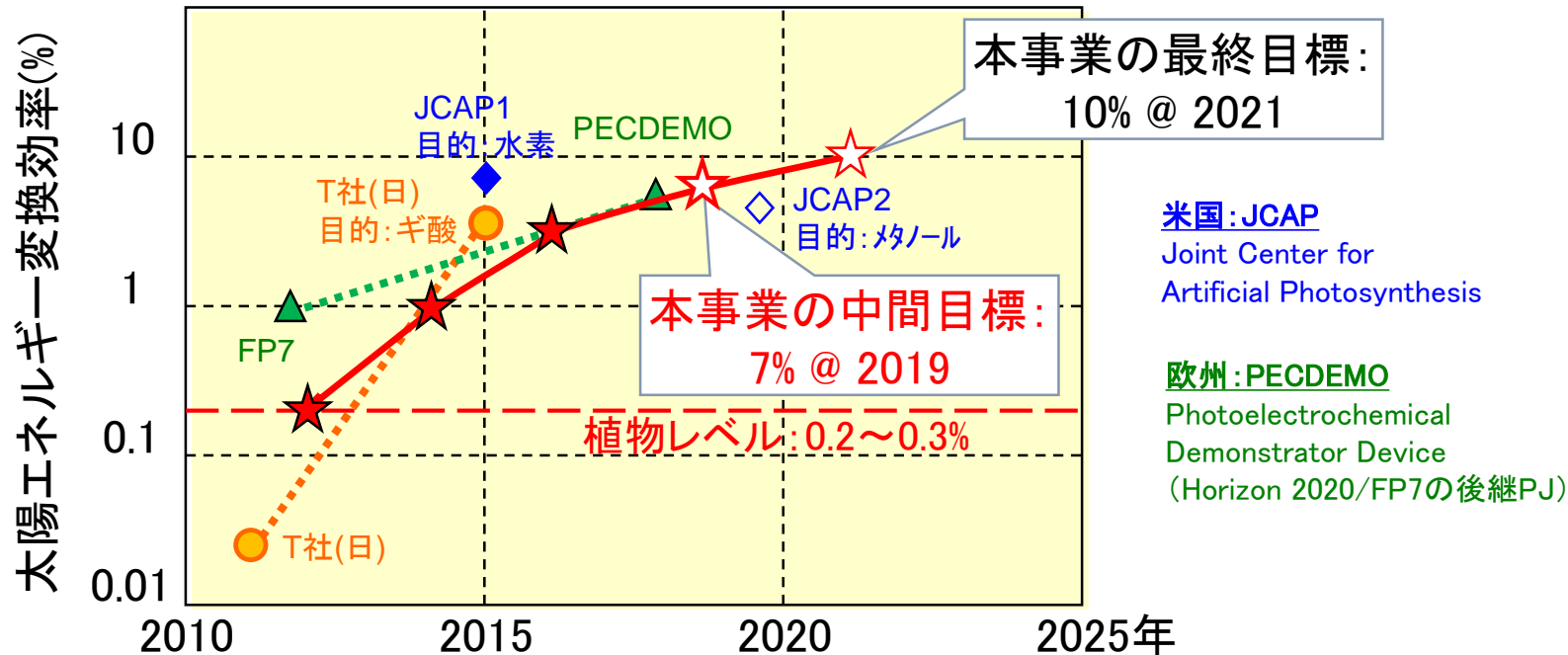
- カーボンリサイクル：CO₂を資源として捉え、これを分離・回収し、鉱物化や人工光合成、メタネーションによる素材や燃料への利用等とともに、大気中へのCO₂排出を抑制していく。



共通課題： 熱・圧力・物質等の全体最適化 (低コスト化など)、LCA (現行プロセスとの比較)

◆国内外の研究開発の動向と比較

①-a 光触媒: 日米欧で開発が競合している。米国JCAPでは、水素で効率8.6%。多接合の化合物(ガリウム/ヒ素)半導体や結晶シリコン半導体からなる太陽電池を中核に用いたものであり、コストで厳しい。本事業では、実用的な太陽エネルギー変換効率10%目標、高変換効率、大面積化と低コスト化を視野に光触媒の研究開発を実施。



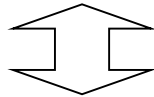
①-b 分離膜: 分離膜材料の研究開発は脱水膜モジュール等で日本の技術はトップレベル。ガス分離膜として、 H_2 と O_2 の分離膜研究については基礎検討のみ。 H_2 と O_2 の動的分子サイズが近くかつ爆鳴気となるため難易度高い。 H_2 を安全に長期耐久性を有するモジュールはなく、本事業ではその設計に向けた膜材料の研究開発を実施。

②合成触媒: 合成ガスからメタノール合成は、課題を新規触媒系にて解決する新しい取組。流動層プロセスによりMTO稼働しているが、主にエチレン(30-50%)とプロピレン(50-30%)の併産プロセスである。本事業では、メタノールから C_2 、 C_3 、 C_4 の目的別オレフィン合成(CO_2 由来炭素導入率それぞれ70%)と反応分離プロセスにより目的別オレフィン製造の研究開発を実施。

◆他事業との関係

光触媒の効率向上とそのモジュールコストダウンの双方を意識して実用化取組をしている事業である。

水分解光触媒によるソーラー水素と、二酸化炭素からメタノール経由でオレフィン製造プロセス開発が当該事業の特徴である。



高効率の光触媒は報告例があるが、その製造は高コストになることや大量生産に向かないことが多い。

水素、ギ酸やメタノール等を合成する技術開発がある。

<関連する要素技術>

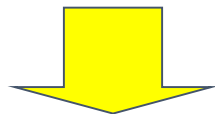
従来の太陽電池では電力貯蔵の問題が生じるが、人工光合成では、化学エネルギーを生成することにより、エネルギー貯蔵が容易となる(広義の人工光合成)まで拡大すると、

- ・太陽電池と電気分解反応の組合せ(PV+WE)による水素生成
- ・窒化物半導体電極と金属触媒電極によるギ酸生成
- ・多接合半導体と、金ナノ触媒を用いる二酸化炭素の還元(CO生成)

◆NEDOが関与する意義

人工光合成技術

- ・国家的課題(CO₂削減・固定化)の解決 ⇒ 社会的必要性大
- ・「ソーラー水素」と「CO₂」を原料とした新規化学品製造プロセス
⇒ 輸入に依存している化学原料の転換に貢献
⇒ 日本の化学産業の競争力の強化、全産業に波及
- ・研究開発の難易度高、開発リスク大 ⇒ 産官学の知見を結集
- ・長期にわたる研究開発(10年) ⇒ 投資規模大



NEDOが持つこれまでの知見、実績を活かして推進すべき事業

◆実施の効果（費用対効果）

費用の総額	145億円	10年 (METI直執行2年を含む)
CO ₂ 削減効果	▲868万トン/年※1	省エネルギー + CO ₂ 固定化(化学品の原料) #左記の値は、日本の化学産業の年間排出量の約12%に相当
省エネ効果	原油換算で ▲31.5万kl/年※2	現状:原油輸入・石油精製・ナフサ熱分解法 本事業:本PJ対象設備・CO ₂ 回収エネルギー

※1:2030年時点で、日本のオレフィン生産量の20%(250万トン)を人工光合成プロセスに置換えたとして算出

※2:既存オレフィン製造プロセスを人工光合成プロセスに置換した際の省エネ効果を原油換算として

◆ 事業の目標

■ 本事業の目標
 ナフサを原料とする従来のオレフィン製造技術と競合が可能なレベルの
 ソーラー水素と二酸化炭素を原料とする新規なオレフィン製造基盤技術の開発

研究開発項目		最終目標(2021年度末)
① ソーラー水素等製造プロセス技術開発	①-a 光触媒	<ul style="list-style-type: none"> ・光触媒等のエネルギー変換効率10%を達成する。 ・小型フロー式でエネルギー変換効率を最大限引き出し、長期耐久性も兼ね備えたモジュールを設計する。
	①-b 分離膜	<ul style="list-style-type: none"> ・水素を安全に分離可能な長期耐久性も兼ね備えたモジュールを設計する。
② 二酸化炭素資源化プロセス技術開発		<ul style="list-style-type: none"> ・投入された水素又は二酸化炭素由来の炭素数2、3、4の単独オレフィンへの導入率として70%(ラボレベル)を達成する。 ・目的とする単独オレフィン製造用の小型パイロット規模のプロセスを確立する。

◆ 研究開発目標と根拠

研究開発項目 (個別テーマ)	研究開発目標 (2019年度の間目標)	根拠
①-a 光触媒	<ul style="list-style-type: none"> ・光触媒等のエネルギー変換効率7%を達成する。 ・小型バッチ式でエネルギー変換効率を最大限引き出すモジュールを設計する。 	<ul style="list-style-type: none"> ・本PJでは、水素製造の従来技術と競合可能なレベルの変換効率10%を最終目標とし、段階的に変換効率を上げる。7年目の2019年度は、2016年度の変換効率3%の約2倍強となる7%を目標とした。 ・光触媒モジュールでは光触媒材料に依存しない共通の技術課題がある。モデル触媒を用いてモジュール開発し、課題を摘出し対策を検討する。
①-b 分離膜	<ul style="list-style-type: none"> ・モジュールベースで水素を安全に分離する技術を確立する。 	<ul style="list-style-type: none"> ・光触媒から爆発性のある水素/酸素の混合気体が生成するので、それから水素を安全に分離する分離膜と、爆発安全性を担保できるモジュール化技術を検討する。
② 合成触媒	<ul style="list-style-type: none"> ・投入された二酸化炭素由来の炭素の目的とする炭素数2、3、4の単独オレフィンへの導入率として、それぞれ50%(ラボレベル)を達成する。 ・コストシミュレーションによる反応プロセスの最適化を行い、目的とする単独オレフィン製造用の小型パイロットの仕様を確立する。 	<ul style="list-style-type: none"> ・本PJでは、二酸化炭素由来の炭素の目的とする単独オレフィン収率70%(最終目標)に対し、段階的な触媒開発目標として単独オレフィン収率50%(ラボレベル)設定。 ・長期寿命評価、大型パイロット規模装置設計に必要な基礎データ取得のため、メタノール合成/MTO反応の小型パイロットプラントを用いて必要データを取得。

2. 研究開発マネジメント (2) 研究開発計画の妥当性

◆ 研究開発のスケジュール

2022年



年度	2012	2013	2014	2015	2016	2017	2018	2019	2020	2021
	H24	H25	H26	H27	H28	H29	H30	H31/R1	R2	R3
①-a 光触媒	変換効率1%			変換効率3%		変換効率7%			変換効率10%	
	光触媒の開発／合成法の探索			光触媒材料候補の絞り込み ／合成法の見極め		光触媒材料系の 大量合成方法の検討 ／光触媒の高効率化の検討			光触媒材料系の実用的合成プロセスの検討／光触媒の高効率化と長寿命化の検討	
	助触媒の開発／光触媒への担持法の検討			助触媒の開発 ／光触媒への担持法の確立		光触媒・助触媒 界面の最適化検討			光触媒・助触媒界面の長寿命化の検討	
	光触媒モジュール化の技術課題の抽出			光触媒モジュールの構造・仕様の明確化		小型バッチ式光触媒モジュールの設計・試作			小型フロー式光触媒モジュールの設計・試作 ／大面積化と耐久性の検討	
①-b 分離膜						連結プロセスの検討／フィールド試験装置の設計・製作			連結プロセスの検討／フィールド試験装置による実証試験	
	各分離膜材料(方式)における分離性能の向上			候補分離膜材料における分離性能の向上		モジュール向け分離膜作製技術の検討			モジュール向け分離膜作製技術の確立／耐久性の検討	
	各分離膜方式における課題の抽出			各分離方式におけるモジュール構造、仕様の明確化		モジュールベースでの安全な水素分離技術の確立			分離膜モジュールの耐久性向上 ／光触媒モジュールとの連結適合性の検討	
②合成触媒	合成触媒とプロセスの検討			小型パイロットを用いた検討		目的別オレフィン合成触媒・プロセス／高効率反応分離プロセスの検討			目的別オレフィン小型パイロットの確立	
予算(億¥)	14.0	14.38	14.5	16.35	13.2	15.0+1.39	14.3	13.7	合計:145億円(10年間)	

◆プロジェクト費用

◆費用

(単位:百万円)

研究開発項目	2012 年度	2013 年度	2014 年度	2015 年度	2016 年度	2017 年度	2018 年度	2019 年度※2	合 計
① 光触媒・分離膜	1,338	1,224	1,254	1,240	1,033	1,639※1	1,430※1	1,370※1	/
② 合成触媒	62	214	196	395	287	研究開発目標の変更、実施期間の延長			
合 計 (加速予算)	1,400	1,438	1,450	1,635 (135)	1,320	1,639 (139)	1,430	1,370	11,682 (274)

※1 2017年度以降は、①②の総額

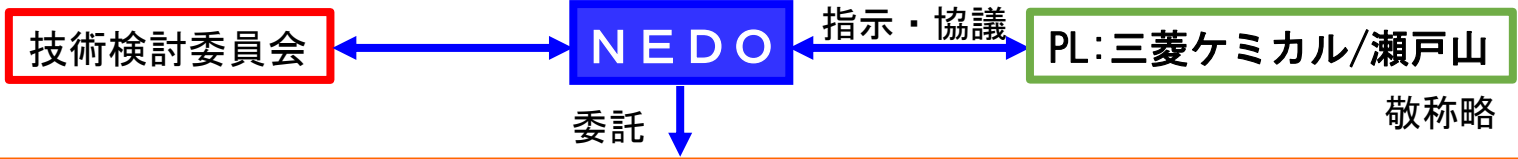
※2 2019年度は、見込み額

2. 研究開発マネジメント (3) 研究開発の実施体制の妥当性

◆ 研究開発の実施体制

・代表的な大学・企業が参画した産官学連携のオールジャパン体制
 ・光触媒開発は東大内に集中研を設置して研究開発を推進

➡ 基盤技術開発の効率的な推進が可能な体制



人工光合成化学プロセス技術研究組合 理事長:濱田 産総研名誉リサーチャー
 Japan Technological Research Association of Artificial Photosynthetic Chemical Process (ARPCChem)

① 光触媒 (TL:東大/堂免)
 太陽エネルギーを用いて水から水素を製造する光触媒等の開発
 【参画】
 ・三菱ケミカル(株)
 ・富士フイルム(株)
 ・三井化学(株)
 ・TOTO(株)
 ・国際石油開発帝石(株)
 【集中研】東大(本郷)

② 分離膜 (TL:三菱ケミカル/武蔵)
 水分解によって発生する水素と酸素の安全・高効率な分離方法の開発
 【参画】
 ・三菱ケミカル(株)
 ・(一財)ファインセラミックスセンター

③ (~2017/03) 合成触媒 (TL:東工大名譽教授/辰巳)
 基幹化学品(オレフィン)を選択的に合成する触媒・プロセスの開発
 【参画】・三菱化学(株)・住友化学(株)

③ (2017/06~) 合成触媒 (TL:東工大名譽教授/辰巳)
 C2,C3,C4オレフィンを高選択的に目的別に合成する触媒・プロセスの開発
 【参画】・三菱ケミカル(株)

共同実施 ↓
 東京大学 京都大学 東京理科大学
 明治大学 信州大学 山口大学
 産業技術総合研究所

共同実施 ↓
 名古屋工業大学
 山口大学
 産業技術総合研究所

共同実施 ↓
 東京工業大学
 富山大学

共同実施 ↓
 早稲田大学 東京大学
 東京工業大学
 産業技術総合研究所¹⁴

◆ 研究開発の進捗管理

■ NEDO主催による「技術検討委員会」の開催

- ・METI直執行(2012～2013年度): 年1回開催により外部有識者の意見を運営管理に反映
- ・NEDO事業(2014～): 年2回を開催 光触媒、分離膜の委員をそれぞれ1名追加
- ・2017年6月より、委員の1名が実施者となったため、委員改選

区分	氏名 (敬称略)	所属	役職	専門分野
委員長	御園生 誠	東京大学	名誉教授	触媒化学
委員	安保 正一	大阪府立大学 福州大学国際学院	特任教授	光触媒
委員	井上 晴夫	首都大学東京 大学院 都市環境科学研究科	教授 名誉教授	光触媒
委員	都留 稔了	広島大学 工学部 応用化学科	教授	分離膜
委員	野村 幹弘	芝浦工業大学 工学部 応用化学科	教授	分離膜
委員	藤元 薫	一般財団法人HiBD研究所 東京大学 北九州市立大学	代表理事 名誉教授	触媒化学

◆ 研究開発の進捗管理

■ NEDO主催による「技術検討委員会」の開催

2016年度まで8回実施

通算回数	年度	開催日時	開催場所	参加法人/企業等
9	2017年度 (第1回)	2017/10/13	三菱ケミカル/ 横浜研究所	経済産業省、NEDO (委託先)ARPCHEM、(共同研究先)東京大学、京都大学、東京工業大学、名古屋工業大学、山口大学、東京理科大学、早稲田大学 三菱ケミカル、JFCC、TOTO、富士フイルム、INPEX、三井化学
10	2017年度 (第2回)	2018/2/9	NEDO	経済産業省、NEDO (委託先)ARPCHEM、(共同研究先)東京大学、京都大学、東京工業大学、名古屋工業大学、山口大学、東京理科大学、信州大学、早稲田大学 三菱ケミカル、JFCC、TOTO、富士フイルム、INPEX、三井化学
11	2018年度 (第1回)	2018/10/5	NEDO	経済産業省、NEDO (委託先)ARPCHEM、(共同研究先)東京大学、京都大学、東京工業大学、名古屋工業大学、山口大学、東京理科大学、早稲田大学、明治大学、産業技術総合研究所 三菱ケミカル、JFCC、TOTO、富士フイルム、INPEX、三井化学
12	2018年度 (第2回)	2019/2/8	NEDO	経済産業省、NEDO (委託先)ARPCHEM、(共同研究先)東京大学、京都大学、東京工業大学、名古屋工業大学、山口大学、東京理科大学、早稲田大学、産業技術総合研究所 三菱ケミカル、JFCC、TOTO、富士フイルム、INPEX、三井化学
13	2019年度 (第1回)	2019/11/1	NEDO (予定)	
14	2019年度 (第2回)	2020/2/19	NEDO (予定)	

◆ 研究開発の進捗管理

実施者

・月報の提出

各Gの各月の実施事項・進捗状況をTL、PLへ報告

* G数: 20グループ

・分科会の開催(2回/年)

各テーマ毎に半期の進捗状況をレビューし、翌期の計画を見直す

* テーマ: 3テーマ

・全体会議(1回/年、12月頃)

PJ全体の目標・成果の共有

* 成果発表(ポスターセッション):

2017年度実績	40件
2018年度実績	41件
2019年度(予定)	

NEDO－実施者

- ・技術研究組合ARPCChemと打合せを1回/月で実施:

2017年度実績	12回
2018年度実績	12回
2019年度実績	5回(8月末まで)
- ・PL、ARPCChemと実用化や次年度計画等を議論 : 2019年度から 4回(8月末まで)
- ・各拠点を最低1～2回/年訪問して、技術打ち合わせ及び研究施設を見学
- ・技術検討委員会(2回/年)を実施(前述)

2. 研究開発マネジメント (4) 研究開発の進捗管理の妥当性

◆ 動向・情勢の把握と対応

情勢	対応
2016年度の技術検討委員会にて、高活性な水分解光触媒の開発に際して、(酸)窒化物光触媒並びに前駆体酸化物等の結晶制御や(酸)窒化物結晶の結晶面に関する検討が必要との指摘。	2017年6月、共同実施先に、当該分野の基盤技術を有する信州大学を加え光触媒の吸収波長の長波長化および光触媒の低欠陥化の実施内容を充実。
2018年度の技術検討委員会にて、ラボスケールでの光触媒評価から光触媒パネル作成技術の検討及び水素／酸素分離能を有する分離膜をモジュール化し、その性能を検討することが研究開発項目①「ソーラー水素等製造プロセス技術開発」に必要との指摘。	光触媒パネルの大面积化及び分離モジュール性能検討のため、2019年度から東京大学柿岡研究教育施設(茨城県石岡市)にフィールドテスト試験装置の設計・製作している。

◆ 中間評価結果への対応

指摘	対応
中間評価(2016年9月28日)にて、下記の指摘。 平成28年度終了の研究開発項目②は、概ね目標が達成されており、先行実用化の支援PJを早期に立ち上げる取組が必要との指摘。	継続して市場の変化等にも対応可能なCO ₂ 削減プロセスの開発を行うため、研究開発項目②の事業終了を研究開発項目①と合わせて2021年度末とし、高収率のメタノール合成及び合成プロセス用反応分離膜の研究開発を実施。
中間評価(2016年9月28日)にて、下記の指摘。 ・光触媒性能の劣化および寿命という観点からの研究にも力を入れること。 ・実用化の観点から、触媒、材料の耐久性(寿命)や大面积化、大量合成に関する検討を加速して進めるべきとの指摘。	開発促進財源投入(加速予算獲得)した。 件名、金額、目的と成果等は次スライドへ。

◆ 開発促進財源投入実績

件名	年度	金額 (百万円)	目的	成果
光触媒電極作製・評価解析装置増強	2017年度	88	高性能化:工業用プリンター 高性能化:スパッタ装置(2台) 解析:分光エリプソメーター 長寿命化:閉鎖循環系触媒評価装置(2台) 長寿命化:疑似太陽光評価装置増強	ボトルネックとなっている電極作製プロセス、劣化原因、欠陥などの評価解析プロセスが解消、これにより実用化サイズに向けた研究開発が加速、国際競争上の優位性が確立できた。
光触媒シート製作設備増強	2017年度	15	解析:小型走査型プローブ顕微鏡 大面積化:光触媒調製機器一式 大面積化:基盤洗浄装置	
流通系水分解測定装置	2017年度	12	実用化:流通系触媒活性評価装置一式	
長尺分離膜作製装置	2017年度	24	長尺化:縦型チューブ炉 長尺化:スプレーコーティング装置	分離膜では、早期に実用サイズの製膜装置を導入することで、性能とコスト性を兼ね備える実用的な製膜プロセス検討が可能になった。

< 加速内容に対する指摘内容 >

「二酸化炭素原料化基幹化学品製造プロセス技術開発」中間評価(2016年9月28日)

指摘内容:

- ・ 今後は、光触媒性能の劣化および寿命という観点からの研究にも力を入れてもらいたい。
- ・ 実用化の観点から、触媒、材料の耐久性(寿命)や大面積化、大量合成に関する検討を加速して進めるべきである。

◆知的財産権等に関する戦略

■本事業における知財マネジメント

「NEDO知財マネジメント基本方針」適用PJ

・技術研究組合にて「知的財産権取扱規程」、「発明小委員会規則」等を策定

【知的財産権取扱規程】

- ・産業財産権の帰属
- ・特定秘匿ノウハウ及び一般ノウハウの取扱い
- ・産業財産権の譲渡・放棄
- ・知的財産の実施および実施許諾
- ・非組合員への実施許諾
- ・外部研究機関との協業

等について規定

【発明小委員会規則】

- ・発明の秘匿の要否、出願の是非の判断
- ・産業財産権の帰属及び持分
- ・産業財産権の譲渡・放棄
- ・実施許諾および実施許諾の条件

等について協議、決定

「二酸化炭素原料化基幹化学品 製造プロセス技術開発」(中間評価)

(2014年度～2021年度 8年間)

プロジェクトの概要 (公開版)

5.2 研究開発成果、 成果の実用化に向けた取組及び見通し

人工光合成化学プロセス技術研究組合

プロジェクトリーダー 瀬戸山 亨

2019年10月2日

発表内容

I. 事業の位置づけ・必要性

- (1)事業の目的の妥当性
- (2)NEDOの事業としての妥当性

II. 研究開発マネジメント

- (1)研究開発目標の妥当性
- (2)研究開発計画の妥当性
- (3)研究開発の実施体制の妥当性
- (4)研究開発の進捗管理の妥当性
- (5)知的財産等に関する戦略の妥当性

III. 研究開発成果

- (1)研究開発目標の達成度及び研究開発成果の意義
- (2)成果の最終目標の達成可能性
- (3)成果の普及
- (4)知的財産権の確保に向けた取組

IV. 成果の実用化に向けた取組及び見通し

- (1)成果の実用化に向けた戦略
- (2)成果の実用化に向けた具体的取組
- (3)成果の実用化の見通し

3. 研究開発成果

(1) 研究開発目標の達成度及び研究開発成果の意義

◆ 研究開発項目毎の目標と達成状況

研究開発項目 (個別テーマ)	研究開発目標 (2019年度の間目標)	成果 (現時点)	達成度	今後の課題と 解決方針
①-a 光触媒	・光触媒等のエネルギー 変換効率7% の達成	・タンデムセルで $\eta = 5.5\%$ を達成	△	光アノードの光電流向上、動作電位最適化での年度内目標達成
	・小型バッチ式でエネルギー変換効率を最大限引き出す モジュールの設計	・加圧型モジュール、常圧型水分解パネルを試作	○	実触媒シートを導入しての評価
①-b 分離膜	・モジュールベースで 水素を安全に分離する技術 の確立	・水素/酸素混合ガス分離のための概略プロセスを設計	○	光触媒シート+分離一体型モジュールでの評価
② 合成触媒	・投入二酸化炭素由来炭素の 目的とする炭素数2、3、4の単独オレフィンへの導入率として、それぞれ50% (ラボレベル)の達成	・ラボレベルにおいて、目的オレフィン収率(1パス) C2, C3:>50%, C4:>40%を達成	△	・修飾法等によるC4収率向上 ・リサイクルを含めた実プロセス想定条件での評価
	・コストシミュレーションによる反応プロセスの最適化を行い、 目的とする単独オレフィン製造用の小型パイロットの仕様を確立	・小型試験装置ベースでのシミュレータを構築	△	・経済性評価による最適なプロセスの選定

◆ 各個別テーマの成果と意義

水素製造用p型光触媒

A	>900 nm	20 mA/cm² @0.6 V _{RHE}
B	>700 nm	2.9 mA/cm ² @0.6 V _{RHE}
C	>700 nm	4.7 mA/cm ² (粉末) 7 mA/cm²(薄膜) @0.6 V _{RHE}

STH=10%達成に必要な性能
特定電位、p型/n型=1(面積比)

タンデム型: **8.3mA/cm²**が必用
透明n型光半導体が必用

パラレル型: **16.6mA/cm²**が必用
Z-scheme構成用共通Contact層

◆ 二段型触媒の開発状況

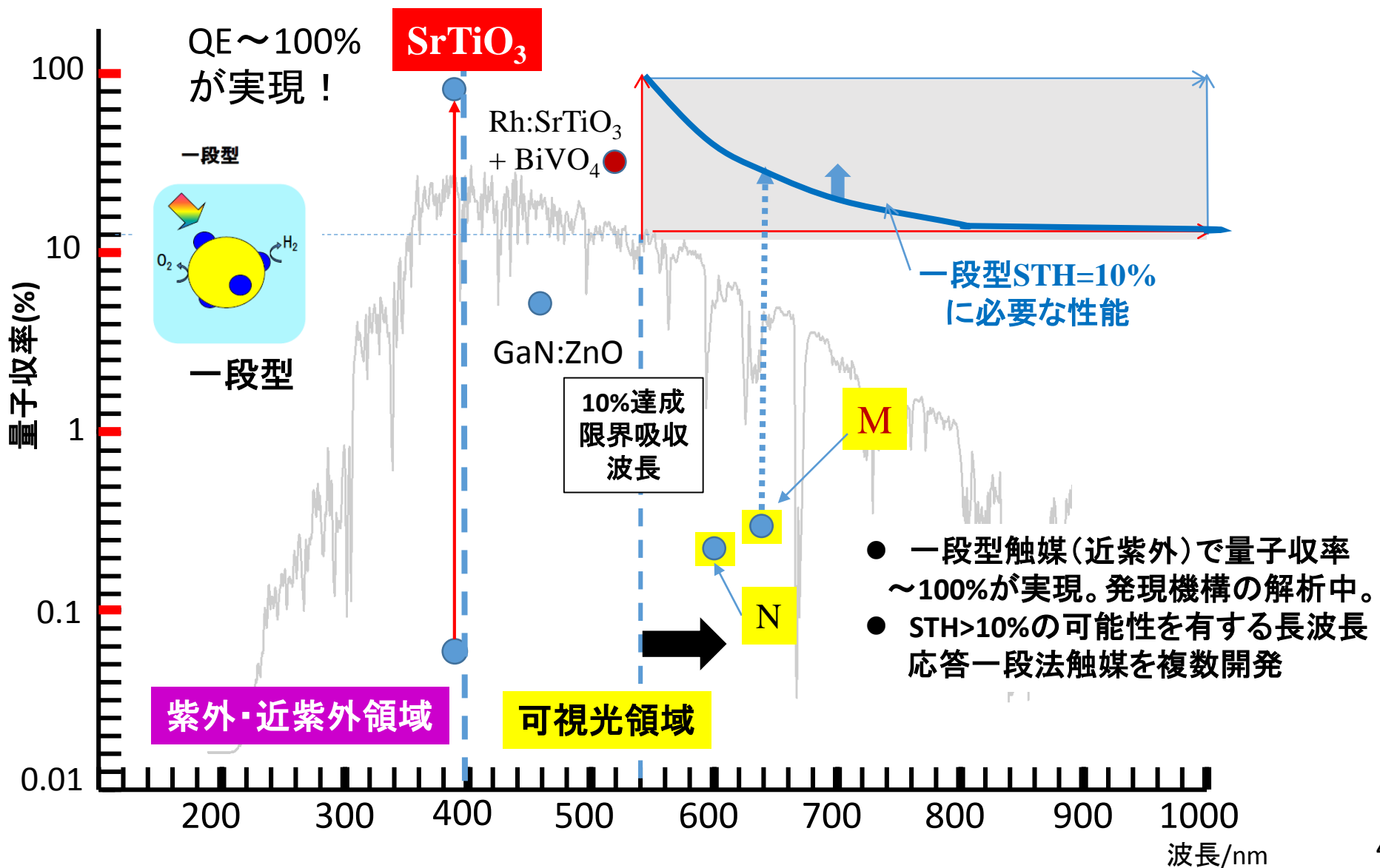
酸素製造用n型光触媒

X 薄膜	600	8.7 mA/cm² @1.23V _{RHE}
X 透明薄膜	600	7.4 mA/cm² @1.23V _{RHE}
X ナノロッド	600	10 mA/cm² @1.23V _{RHE}
Y 粒子転写	740	5.2 mA/cm² @1.23V _{RHE}

- ◆ p型光触媒ではSTH>10%の性能が想定p/n等電点で達成できている。
- ◆ n型光触媒がSTH>10%達成の為のボトルネックであり、性能向上が望まれる。
- ◆ p/n型光触媒の照射面積の補償的調整によりSTH=10%は可能なレベル。

◆ 各個別テーマの成果と意義

◆ 一段型触媒の開発状況



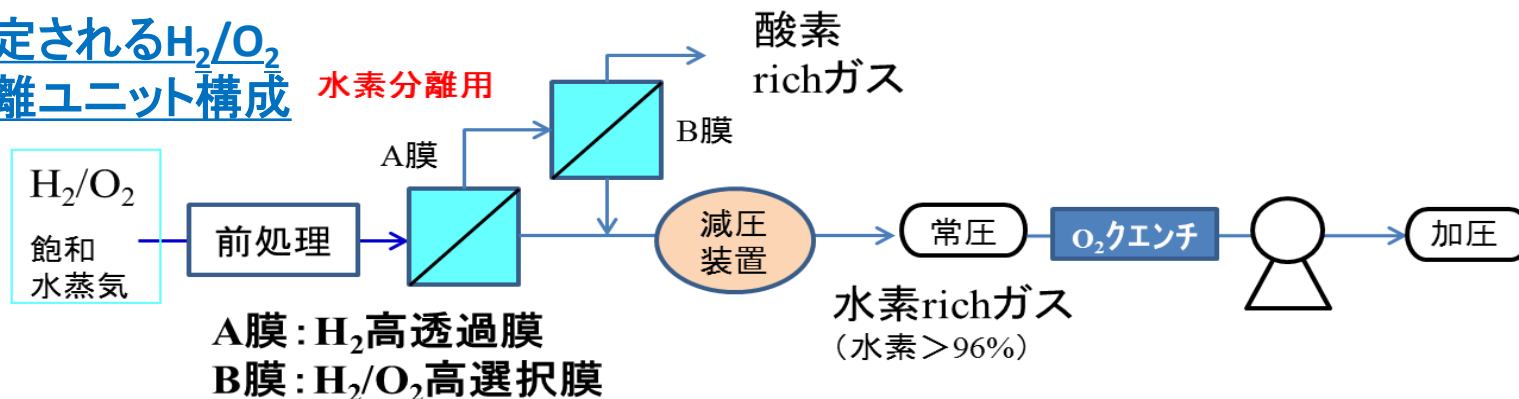
◆ 各個別テーマの成果と意義

◆ H_2/O_2 の選択分離プロセスの開発状況

H_2/O_2 の選択分離膜の開発

	自主目標(10%湿度、12時間後)	達成状況(モデル系)
ゼオライト膜	H_2 パーミアンス $>5.0 \times 10^{-8} \text{ mol/m}^2 \cdot \text{s} \cdot \text{Pa}$ $H_2/O_2 > 5$	H_2 パーミアンス : 達成 H_2/O_2 : 達成
シリカ膜	H_2 パーミアンス $>2.0 \times 10^{-8} \text{ mol/m}^2 \cdot \text{s} \cdot \text{Pa}$ $H_2/O_2 > 20$	H_2 パーミアンス : 達成 H_2/O_2 : 達成(大きく上回る)
炭素膜	H_2 パーミアンス $>2.0 \times 10^{-8} \text{ mol/m}^2 \cdot \text{s} \cdot \text{Pa}$ $H_2/O_2 > 20$	H_2 パーミアンス : 達成 H_2/O_2 : 達成

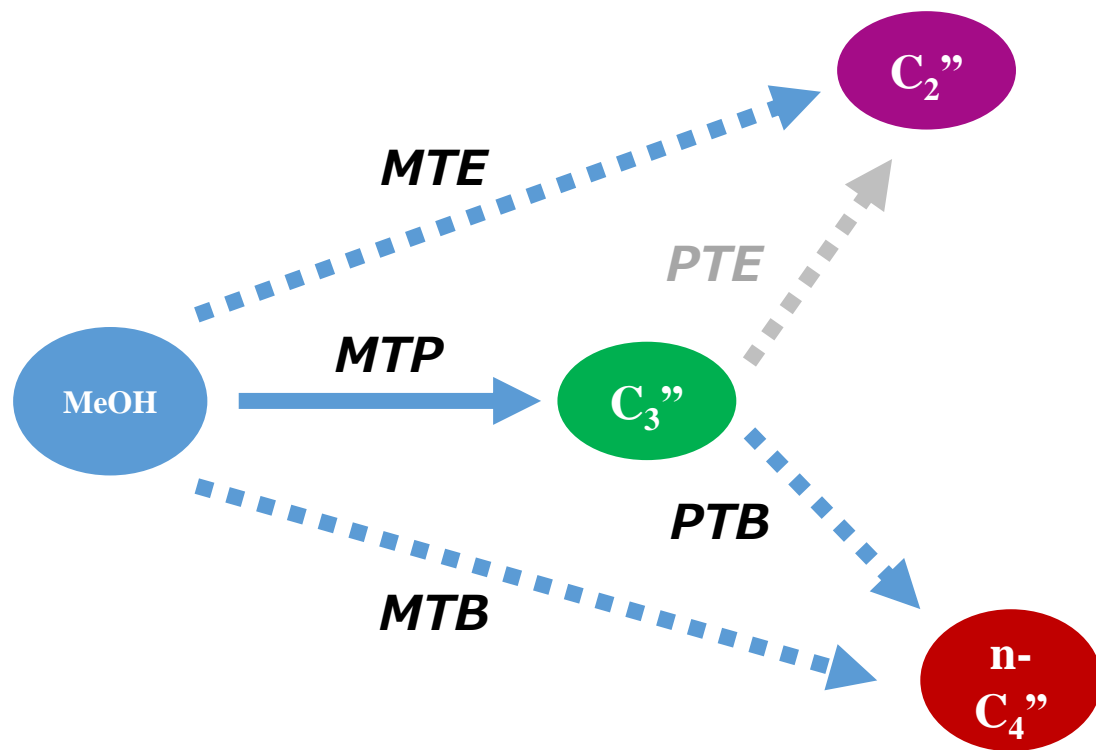
想定される H_2/O_2 分離ユニット構成



- 実条件下では分離に先立ち、発生する水蒸気の除去(脱湿)が必要。
- 分離膜は高透過膜+高選択膜にて96%超の水素濃度は達成可能。
- 分離ユニットの低コスト化(短くする)に水素回収率は大きく寄与できる。

◆ 各個別テーマの成果と意義

◆ On-demand型ゼオライト触媒開発



プロセス	開発状況
MTE	各種8員環ゼオライトで >50%は達成。
MTP	絞り込み完了。収率 >50%は達成。小型pilot 評価準備中。
MTB + PTB	収率>40%。酸点設計+ リサイクル系での性能 予測検討中
オレフィン 分離膜	オレフィン/パラフィン分 離：複数膜を検討中 C4分離(iso-/n-)：評価中

実施項目：

- ・ 目的別オレフィン合成触媒用ゼオライトの探索、性能向上
- ・ 目的別オレフィン合成用ゼオライト触媒の高効率安価製造法の開発
- ・ リサイクル系に適用可能なオレフィン分離膜の探索、プロセスの設計

◆プロジェクトとしての達成状況と成果の意義

いずれの研究開発項目においても、中間目標に対して一定以上の成果をあげている。

■ ソーラー水素等製造プロセス技術開発

- 光触媒：太陽光エネルギー変換効率5.5%超を達成
- 分離膜：ゼオライト膜、シリカ膜、炭素膜それぞれにおいて水蒸気存在下で耐久性を持つ候補膜を決定

■ 二酸化炭素資源化プロセス技術開発

- 合成触媒：炭素数2、3、4のそれぞれ目的とする単独のオレフィンを高い選択率で製造するための有望な候補触媒を見出した

今後、本事業の成果を実用化するためには、以下の視点での重点的な研究開発が必要と考えられる。

- ◆ 光触媒：光触媒シートとしての高性能化、寿命の確認。生成ガスの移送を含めたモジュール構造の設計・試作・大型化
- ◆ 分離膜：水蒸気存在下における酸素含有系での安全なモジュールによる性能確認。光触媒＋分離ユニット一体型モジュールの試作。フィールドテスト。実機化での課題把握（性能、製造コスト、プロセス最適化等）。
- ◆ 合成触媒：商業スケールの前段階となる大型パイロット実証へ向けたスケールアップ

3. 研究開発成果

(2) 成果の最終目標の達成可能性

◆ 成果の最終目標の達成可能性

研究開発項目	最終目標 (2021年度末)	達成見通し
光触媒や助触媒及びこれらのモジュール化技術等の研究開発	光触媒等のエネルギー変換効率10%を達成。	水素生成用光触媒材料、酸素生成用光触媒材料に関して、順調に高性能化が進展中であり、最終目標達成は十分可能である。
光触媒や助触媒及びこれらのモジュール化技術等の研究開発	小型フロー形式でエネルギー変換効率を最大化し、長期耐久性も兼ね備えたモジュールを設計。	現在取得中の光触媒パネルに関する様々のパラメータを用いた設計により、最終目標達成は十分可能である。
水素分離膜及びモジュール化技術等の研究開発	水素を安全に分離可能な長期耐久性も兼ね備えたモジュールの設計。光触媒＋分離膜一体型モジュールの評価・実証。	水蒸気存在状態での膜の最適化等と分離膜モジュールの構造最適化を進め、両者を組み合わせて耐久テスト等を行うことにより、最終目標の達成が可能である。100m ² 級の一体型モジュールパイロットでのフィールドテストにより、実機想定プロセスの各種課題の抽出は完了できる見込み。
合成触媒の開発	投入された水素又は二酸化炭由来の炭素の目的とする炭素数2,3,4の単独オレフィンへの導入率として、それぞれ70%(ラボレベルの達成)。	触媒や反応条件等の最適化、副生物の削減、目的外生成物のリサイクル(実機想定)により、低級オレフィン収率向上が見込める。その実証により目標を上回る性能達成は可能である。
反応プロセスの最適化及び小型パイロットでの実証等	目的とする単独オレフィン製造用の小型パイロット規模プロセスの確立。	小型パイロット設備での実証試験により、次期大型パイロット装置等の設計に必要な基礎データを取得し、スケールアップへ向けたプロセスシミュレーターを完成させることにより目標達成は可能である。

3. 研究開発成果

(3) 成果の普及

◆成果の普及

*2019年8月19日現在

	特許 国内 出願	特許 外国 出願	特許 PCT 出願		学会 発表	論文 掲載		プレス 発表	新聞・ 雑誌 報道等
2012年度	3件	0件	0件		0件	0報		0件	3件
2013年度	10件	1件	3件		15件	2報		0件	1件
2014年度	25件	0件	5件		43件	12報		1件	2件
2015年度	20件	8件	10件		60件	13報		1件	約50件
2016年度	19件	9件	6件		70件	20報		2件	約50件
2017年度	18件	6件	3件		43件	16報		1件	約50件
2018年度	18件	10件	4件		59件	13報		3件	約60件
2019年度*	8件	1件	0件		11件	4報		1件	約20件
合計	121件	35件	31件		301件	80報		9件	約240件

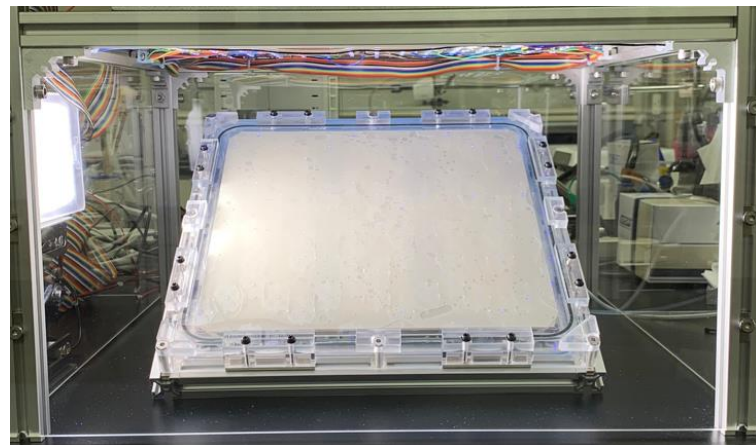
特許登録;国内 26件、海外 12件

◆ 成果の普及

「日本を代表する環境(イノベーション)技術として評価され、国際的なアウトリーチ活動を展開中」

アウトリーチ活動

- TV放送(2018年12月13日 フジテレビ プライムニュース-デイズ)
- 新聞発表(日経新聞、日経産業新聞、朝日新聞、化学工業日報、産経新聞、他)
- WHTC2019での発表(2019年6月2日 東京国際フォーラム)
- G20イノベーション展での展示
(2019年6月14~16日 軽井沢、世耕大臣 他が訪問(31件の発表の中で2件のみ))
- カーボンリサイクル国際会議における招待講演(2019年9月25日 ホテルニューオータニ)
- RD20におけるポスター発表(2019年10月11日 ホテルニューオータニ、日本を代表する十数件の技術の一つとして発表予定)



G20イノベーション展で展示した光触媒パネルリアクター(25cmx25cm)

NEDOニュースリリース(平成30年度:3件)

- 2018年 8月27日: 非単結晶光触媒で世界最高の水素生成エネルギー変換効率12.5%を達成
- 2018年 9月 4日: 世界初、太陽の可視光を吸収して水を分解する窒化タンタル光触媒を開発
- 2019年 1月25日: 窒化タンタルからなる赤色透明な酸素生成光電極を開発
- 2019年 7月13日: 世界初、可視光を利用して水を分解する酸硫化物光触媒を開発

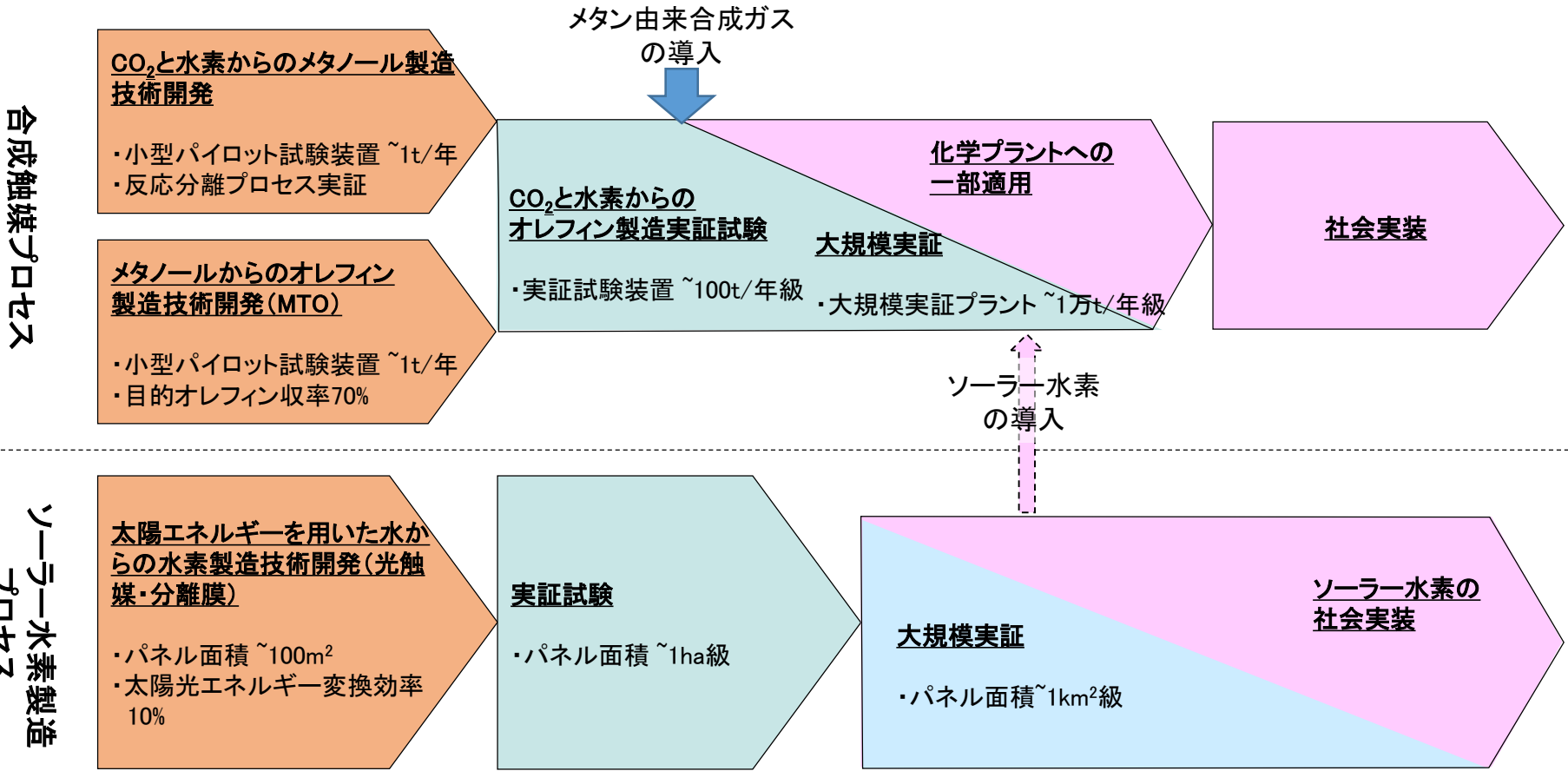
◆本プロジェクトにおける「実用化」の考え方

当該研究開発で確立した「高効率なソーラー水素製造用光触媒」、「水素／酸素分離膜」、「オレフィン合成触媒」の3つの新規化学プロセスについて、

工業化を目的とした試験設備での実証を可能とする技術を確立すること
をいう。

◆ 実用化に向けた具体的取組

現在	2020年頃	2030年頃	2040年頃	2050年頃
Phase 0 CO ₂ と水素からオレフィンを製造する技術を開発	Phase 1 1ha級ソーラー水素の実証	Phase 2 ソーラー水素の大規模モジュール実証	Phase 3 化石資源由来水素からソーラー水素への移行	



NEDO人工光合成プロジェクト (2012~2021)

◆ 成果の実用化の見通し

	課題	対応
光触媒・ 分離膜	<ul style="list-style-type: none"> ➤ 工業的光触媒製造 →光触媒製造のスケールアップ →大面積光触媒モジュール製造技術 ➤ 工業的分離膜製造 →大面積製膜・モジュール製造技術 	本事業の中で対応方法の見通しを付ける。
	<ul style="list-style-type: none"> ➤ 光触媒シート＋分離ユニット一体型モジュールの設計、実証運転 	一体型モジュールのフィールドテストの実施、実用化時の問題点把握
合成触媒	<ul style="list-style-type: none"> ➤ 小型パイロットプラントからのスケールアップ ➤ コンパクト膜モジュールの開発 	本事業の中で、スケールアップ因子と関係式を把握する。
全体	<ul style="list-style-type: none"> ➤ 全体設備投資額の抑制 ➤ 実用化実施者の選定、具体的な取り進め 	<ul style="list-style-type: none"> ➤ CH₄原料互換プロセスの確立によるCO₂原料起点の形成 ➤ 協業希望企業、国と交渉中

◆波及効果

● 製品イメージ等

➤ 小規模水素製造設備への展開

- 水素ステーション、燃料電池への水素供給
- 水素社会へのシフト促進

➤ 省エネ型化学プロセス(分離技術)への展開

- 分離・精製: アルコール濃縮、LNG製造(CH_4/CO_2 分離)等
- 反応分離: メタノール合成、アンモニア合成等

● 人材育成等

本プロジェクトに参画している助教4名が准教授、専任講師として栄転

東大助教→信州大准教授、東京理科大助教→明治大准教授、東工大助教→東工大准教授、信州大助教→明治大専任講師