

2021年度実施方針

材料・ナノテクノロジー部

1. 件名：二酸化炭素原料化基幹化学品製造プロセス技術開発

2. 根拠法

国立研究開発法人新エネルギー・産業技術総合開発機構法第十五条第一号ロ及び第二号

3. 背景及び目的・目標

日本の化学産業は出荷額約44兆円、従業員数約88万人を擁する我が国の一大産業であり、高い技術力と国際競争力を誇る製品を多数生み出している。その一方で、同産業は基幹化学品から機能性化学品まで様々な化学品の原料としてナフサ等の化石資源を大量に消費し、二酸化炭素(CO₂)排出量においても産業分野の約22%を占めている。近年、地球温暖化が懸念され、輸入に頼る石油の価格上昇や枯渇リスクに直面する中、化学品製造における革新的イノベーションの実現により、こうした課題を乗り越えていくことが急務になっている。将来的に化石資源の供給リスクを克服し、かつ、持続可能な低炭素社会を実現していくためには、太陽エネルギー等の非化石エネルギーを活用し、化石資源に頼らない水素の製造技術やCO₂を炭素源とする化学品の製造技術が必要であり、本事業はこれら技術の確立を目指すもので、我が国の化学産業の将来の成長の糧となるイノベーションを創出する未来開拓研究プロジェクトの一つとして実施されているものである。

このような背景の下、本事業は、「環境エネルギー技術革新計画」(2013年9月13日、内閣府総合科学技術会議)において、環境・エネルギー制約の解決と経済成長に必要な推進すべき革新的技術の一つとして、新たに追加されたところであり、また、「科学技術イノベーション総合戦略2017」(2017年4月21日、内閣府総合科学技術・イノベーション会議、2017年6月2日、閣議決定)において、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重要な技術に位置付けられるものである。

本事業では、高効率の光触媒を用いて太陽エネルギーにより水から水素を製造(ソーラー水素)し、高効率分離膜により生成する水素を分離・精製して、さらにソーラー水素とCO₂を原料として高効率合成触媒を用いてプラスチック原料等の基幹化学品を製造する一連のプロセスを想定し、その触媒及び分離膜、反応プロセス等を研究開発する。これらの開発により、CO₂排出量の削減や化石資源に依存しない原料による基幹化学品の製造に大きく貢献する。

具体的には下記の開発を実施する。

- ①ソーラー水素等製造プロセス技術開発
- ②二酸化炭素資源化プロセス技術開発

[委託事業]

研究開発項目①「ソーラー水素等製造プロセス技術開発」

最終目標（2021年度末）

- ・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。
- ・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。

中間目標（2014年度末）

- ・光触媒等のエネルギー変換効率（太陽エネルギーが水素等の生成に寄与する率）1%を達成する。
- ・光触媒等のエネルギー変換効率を最大限引き出すモジュール化に向けた技術課題の抽出を行う。
- ・水素と窒素系で高い透過係数を持つ複数の分離膜を開発し、水素・酸素分離膜候補を抽出する。

中間目標（2016年度末）

- ・光触媒等のエネルギー変換効率3%を達成する。
- ・光触媒等のモジュール化の個別要素技術を確立する。
- ・水素・酸素系での分離膜性能を確認し、分離膜を確定する。また、安全に分離できるモジュールの仕様を明確にする。

中間目標（2019年度末）

- ・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。
- ・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。

研究開発項目②「二酸化炭素資源化プロセス技術開発」

最終目標（2021年度末）

- ・投入された水素又は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。

中間目標（2014年度末）

- ・投入された水素又は二酸化炭素由来の炭素のオレフィンへの導入率として70%（ラボレベル）を達成する。
- ・プロセスの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、小型パイロットの仕様を確定する。

中間目標（2016年度末）

- ・投入された水素又は二酸化炭素由来の炭素のオレフィンへの導入率として80%（ラボ

レベル)を達成する。

- ・小型パイロット規模でのプロセスを確立する。

中間目標(2019年度末)

- ・投入された水素又は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定する。

4. 実施内容及び進捗(達成)状況

プロジェクトマネージャーにNEDO 材料・ナノテクノロジー部 土井 隆志主査を任命して、プロジェクトの進行全体の企画・管理を担当させ、そのプロジェクトに求められる技術的成果及び政策的効果を最大化させた。

三菱ケミカル株式会社の瀬戸山 亨エグゼクティブフェロー・Setoyama Laboratory 所長をプロジェクトリーダーとし、以下の研究開発を実施した。

4. 1 2020年度委託事業内容

研究開発項目① ソーラー水素等製造プロセス技術開発

- ① - a) 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

(実施体制:人工光合成化学プロセス技術研究組合(共同実施先)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)

光触媒については、2019年度に引き続き、比較的短波長に応答する材料により得られた開発指針を取り入れつつ、更なる変換効率向上が期待できる波長600nm以上に吸収端を持つ材料系を中心に、合成法、組成制御等を検討し、高品質化による高効率化の検討を行った。これにより、2021年度最終目標である太陽エネルギー変換効率10%を目指した検討を行った。

助触媒については、太陽エネルギー変換効率10%の達成候補となる光触媒材料系に対して最適な助触媒材料系の検討や性能向上を継続して行った。また助触媒と光触媒の界面の設計等については、候補となる光触媒と助触媒との良質界面形成や電荷分離に有効なコンタクト層の検討及びプロセス検討を継続した。さらに光触媒や助触媒の表面や界面への修飾薄膜の導入等により、助触媒も含めた光触媒の長寿命化の検討を行った。

光触媒モジュールの設計等については2019年度に引き続き、モジュール方式の決定に向けて、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した。合わせて分離膜モジュールとの連結整合性についての検討を継続し、光触媒パネルを装着した反応器全体の構造及び構成についての検討を、装置試作を含めて実施した。さらに、モデル触媒を用いたソーラー水素生成システムの100m²級のプロトタイプを設置し、実環境下での運転試験を開始した。

ソーラー水素製造に関しては、引き続き文献、特許情報を含む技術動向調査を継続実施した。

海外立地も含めたF/Sに関しては、2019年度に引き続き候補地に関する調査を継続し、行った。これらの知見を基に、コストの検討を推進した。また、本プロジェクトで得られた研究成果に関しては、専門誌への投稿等を通じて積極的に普及活動に努めた。

① - b) 水素分離膜及びモジュール化技術等の研究開発

(実施体制：人工光合成化学プロセス技術研究組合（共同実施先）名古屋工業大学、山口大学、産業技術総合研究所)

水素分離膜については、2019年度に引き続き、ゼオライト系、シリカ系、炭素系のそれぞれの膜材料系について、実際の使用環境等を想定した条件での更なる高性能化と高耐久性化を図るとともに、モジュール化を念頭においた製膜方法の検討を行った。

分離膜のモジュール化技術については、2019年度までの検討を踏まえ、安全に水素を分離可能な構造をもち、経済性に配慮した小型のプロトタイプモジュールの改良並びに評価を行った。また、ソーラー水素製造に関しては、引き続き文献、特許情報を含む技術動向調査を継続実施した。海外立地も含めたF/Sに関しては、2019年度に引き続き候補地に関する調査を実施した。これらの知見を基に、コストの検討を推進した。また、本プロジェクトで得られた研究成果に関しては、専門誌への投稿等を通じて積極的に普及活動に努めた。

研究開発項目② 二酸化炭素資源化プロセス技術開発（プラスチック原料等基幹化学品への変換触媒）

(実施体制：人工光合成化学プロセス技術研究組合（共同実施先）東京大学、東京工業大学、早稲田大学、産業技術総合研究所)

メタノール合成プロセスについては、2021年度の小型パイロットプラントでの実証に向けて、ゼオライト分離膜と支持体の絞り込みを行った。また、ゼオライト膜のスケールアップ検討に着手し、課題抽出を行った。また、リサイクル系まで含めたメタノール合成のプロセスシミュレーションを実施し、膜分離の特徴を活かせるプロセス構成を特定した。さらに、前年度に確定したプロセス仕様に基づき、小型パイロット装置の詳細設計を行い、小型パイロットの改造に着手した。

MTO反応プロセスについては、炭素数2、3、4の目的別オレフィン合成触媒の開発及びこの合成触媒の高効率な合成法や成形・造成技術の開発を継続実施した。さらに目的別オレフィン製造プロセスについて、リサイクル系まで含めたプロセスシミュレーションを実施し、膜分離の特徴を活かせるプロセス構成を炭素数3については特定した。また、前年度に確定したプロセス仕様に基づき、小型パイロット装置の詳細設計を行い、小型パイロットの改造に着手した。

また、メタノール合成及び炭素数2、3、4の単独オレフィン製造プロセスに関連する反応分離膜や合成触媒等に関して、引き続き文献、特許情報を含む技術動向調査を継続実施した。また、

本プロジェクトで得られた研究成果に関しては、専門誌等への投稿等を通じて積極的に普及活動に努めた。

4. 2 実績推移

	2012 年度	2013 年度	2014 年度	2015 年度	2016 年度	2017 年度	2018 年度	2019 年度	2020 年度
実績額推移									
① 一般会計(百万円)	1,400 (経済産業省)	1,438 (経済産業省)	—	—	—	—	—	—	—
② 需給会計(百万円)	—	—	1,450	1,635	1,320	1,639	1,430	1,370	1,790
特許出願件数(件)	3	13	29	38	34	28	33	25	15
論文発表数(件)	0	3	9	10	19	16	13	11	9
学会・フォーラム等(件)	0	18	44	60	72	43	59	28	3

ただし、2012、2013年度の実績額は経済産業省直轄事業。

2020年度実績は、2021年1月時点の実績値。

5. 事業内容

プロジェクトマネージャーにNEDO 材料・ナノテクノロジー部 土井 隆志主査を任命して、プロジェクトの進行全体の企画・管理を担当させ、そのプロジェクトに求められる技術的成果及び政策的効果を最大化させる。

三菱ケミカル株式会社の瀬戸山 亨エグゼクティブフェロー・Setoyama Laboratory 所長をプロジェクトリーダーとして、以下の研究開発を実施する。実施体制は別紙を参照のこと。

5. 1 2021年度委託事業内容

研究開発項目① ソーラー水素等製造プロセス技術開発

①-a) 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

(実施体制：人工光合成化学プロセス技術研究組合（共同実施先）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)

光触媒については、2020年度に引き続き、比較的短波長に応答する材料により得られた開発指針を取り入れつつ、更なる変換効率向上が期待できる波長600nm以上に吸収端を持つ材料系を中心に、合成法、組成制御等を検討し、高品質化による高効率化の検討を継続する。これにより、2021年度最終目標である太陽エネルギー変換効率10%を達成する。

助触媒については、太陽エネルギー変換効率10%の達成候補となる光触媒材料系に対して最適な助触媒材料系の検討や性能向上を継続して行う。また助触媒と光触媒の界面の設計等につい

ては、候補となる光触媒と助触媒との界面、表面構造の精密制御により、エネルギー変換効率10%を達成する。さらに光触媒の寿命についても、自主目標を達成する。

光触媒モジュールの設計等については2020年度に引き続き、高効率モジュール開発に向けた各種要素技術の検討を継続して実施する。合わせて分離膜モジュールとの連結整合性についての検討を継続し、光触媒パネルを装着した反応器全体の構造及び構成についての検討を、装置試作を含めて継続する。さらに、モデル触媒を用いたソーラー水素生成システムの100m²級のプロトタイプによる実環境下での運転試験を行い、運用面や安全面を含む技術課題を抽出し、解決策を提案する。

ソーラー水素製造に関しては、社会実装を視野に入れ、文献、特許情報を含む技術動向調査、戦略立案をまとめる。海外立地も含めたF/Sに関しては、候補地に関する調査を完了する。これらの知見を基に、コストの検討を完了する。また、本プロジェクトで得られた研究成果に関しては、NEDOが出展を依頼する展示会等を通じて積極的に普及活動に努める。

①- b) 水素分離膜及びモジュール化技術等の研究開発

(実施体制：人工光合成化学プロセス技術研究組合（共同実施先）名古屋工業大学、山口大学、産業技術総合研究所)

水素分離膜については、2020年度に引き続き、ゼオライト系、シリカ系、炭素系のそれぞれの膜材料系について、実際の使用環境等を想定した条件での更なる高性能化と高耐久性化の検討を行い、それぞれの膜の自主目標性能を達成する。またモジュール化を念頭においた製膜方法の検討を継続する。

分離膜のモジュール化技術については、2020年度までの検討を踏まえ、安全に水素を分離可能な構造を持ち、高透過膜と高選択膜を組み合わせた経済性を配慮した小型のプロトタイプモジュールを作製する。また、最適化した脱湿プロセスを組み合わせ、データを取得し想定した性能が出ることを確認する。

またソーラー水素製造に関しては、文献、特許情報を含む技術動向調査をまとめる。海外立地も含めたF/Sを実施し、候補地に関する調査を完了する。これらの知見を基に、コストの検討を完了する。また、本プロジェクトで得られた研究成果に関しては、NEDOが出展を依頼する展示会等を通じて積極的に普及活動に努める。

研究開発項目② 二酸化炭素資源化プロセス技術開発（プラスチック原料等基幹化学品への変換触媒）

(実施体制：人工光合成化学プロセス技術研究組合（共同実施先）東京大学、東京工業大学、早稲田大学、産業技術総合研究所)

メタノール合成については、2020年度に引き続き、小型パイロット試験に向けたゼオライト反応分離膜のスケールアップ検討を実施し、また、スケールアップしたゼオライト反応分離膜の接合・シール技術を検討し、小型パイロットで実証を行い、その技術を確立する。さらに小型パイロット試験の結果を踏まえ、ゼオライト反応分離膜の更なる改良、解析を実施する。上記の検討結果を踏まえ、超コンパクト膜モジュールの設計を行う。

MTO反応プロセスについては、各プロセスの候補触媒の改良及び反応条件の最適化により、リサイクルを加味した各オレフィンの収率70%（ラボレベル）を達成する。また触媒のスケールアップ及び成形・造粒検討を実施する。また、小型パイロット及びラボスケール流動床評価設備での試験結果を踏まえ、高効率な触媒合成法について最適化する。

またMTO反応プロセスの分離・リサイクルに適用可能なゼオライト膜の更なる性能向上と耐久性の向上を目指す。また分離・リサイクル系のプロセスを最適化し、省エネルギー性及び経済性を評価する。

小型パイロット装置を用いて連続運転を実施し、小型パイロット規模での技術の実証を行う。また、シミュレーション検討を組み合わせることにより、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。また小型パイロットの運転データを基礎として、前年度に実施した経済性評価の精度を向上し、一定の前提で既存技術と比較する。また、大型パイロット設計のためのデータを取得し、大型パイロットのプロセスを提案する。

また、メタノール合成及び炭素数2、3、4の単独オレフィン製造プロセスに関連する反応分離膜や合成触媒等に関して、文献、特許情報を含む技術動向調査をまとめる。また、本プロジェクトで得られた研究成果に関しては、NEDOが出展を依頼する展示会等を通じて積極的に普及活動に努める。

5. 2 2021年度事業規模（予定）

委託事業

需給勘定

1, 570百万円（継続）

※事業規模については、変動があり得る。

6. その他重要事項

（1）評価の方法

NEDOは、技術的及び産業技術政策的観点から、研究開発の意義、目標達成度、成果の技術的意義、将来への波及効果等について、技術評価実施規程に基づき、プロジェクト評価を実施する。外部有識者による事後評価を2022年度に実施する。

（2）運営・管理

NEDOは、主としてプロジェクトリーダーを通して研究開発実施者と緊密に連携し、研究開

発の進捗状況を把握する。具体的には、プロジェクトリーダー、委託先機関等からのヒアリングにより、開発目標に対する成果状況などの報告を受け、運営管理に反映する。また、優れた研究成果を上げるために、研究加速についても弾力的に対処するなど予算の効果的配分に努める。さらに、外部有識者で構成する技術検討委員会を組織し、定期的に技術評価を受け、目標達成の見通しを常に把握することに努める。

(3) 複数年度契約の実施

本事業は、2014年度の単年度契約を期間延長し、2021年度までの複数年度契約を実施している。

(4) 知財マネジメントに係る運用

「NEDOプロジェクトにおける知財マネジメント基本方針」に従ってプロジェクトを実施する。

7. スケジュール

(1) 委員会

2021年4月～2022年2月・・・技術検討委員会（予定）

8. 実施方針の改訂履歴

(1) 2021年3月、制定

(別紙) 2020年度「二酸化炭素原料化基幹化学品製造プロセス技術開発」

事業実施体制

