

グリーンイノベーション基金事業

「CO₂等を用いたプラスチック原料製造技術開発」
プロジェクトに関する研究開発・社会実装計画

令和3年10月15日

経済産業省

製造産業局

目次

1. 背景・目的	3
2. 目標	8
3. 研究開発項目と社会実装に向けた支援	13
4. 実施スケジュール	18
5. 予算	22

1. 背景・目的

- 化学分野におけるカーボンサイクルの重要性と課題解決の方向性
 - カーボンサイクルは CO₂を資源として有効活用する技術で、カーボンニュートラル社会を実現するためのキーテクノロジーであり、CO₂分離回収分野や、一部の化学品分野（例：ポリカーボネート）をはじめとして日本に競争力がある。
 - 日本の部門別 CO₂排出量の内、産業部門・工業プロセスが占める割合は全体の 29.3%¹（2019年）。この内、化学産業からは 18.6%（年間 6018 万トン）¹が排出されており、2050年のカーボンニュートラル化に向けて抜本的な対策が必要である。
 - 現在、プラスチックの多くは石油精製で得られるナフサ（粗製ガソリン）を原料として作られている（石油製品の 12.4%が石油化学用ナフサ²）。石油製品の需要が減少する中で、プラスチックの原料となるナフサの消費量は横ばいとなっている。プラスチックには炭素成分が不可欠であることから、ナフサについても当面一定量を使い続けることが見込まれる。
 - ナフサを約 850℃の高温で熱分解することによって、プラスチックやゴムの原料となるエチレン、プロピレン、ブタジエン等の基礎化学品（オレフィン）が製造されているが、これらの製造過程で年間 3100 万トン³の CO₂が排出されており、特にナフサ分解炉の熱源については抜本的な対策が必要である。
 - 例えば、基礎化学品やポリカーボネート、ポリウレタン等の機能性化学品（含酸素化合物）の製造時に CO₂等を資源として有効活用することができれば、CO₂排出量を大幅に削減することができるため、その実現への期待は大きい。
 - また、年間 891 万トン排出される廃プラスチックは約 84%がリサイクルされているが、この内 57%⁴がごみ焼却発電やセメント製造の熱源として利用（サーマルリサイクル）されている。しかし、最終的には単純焼却を含めて年間約 1600 万トン⁵の CO₂が排出されているため、廃プラスチックを元のプラスチック原料に戻すケミカルリサイクル等の技術確立が求められる。
 - 海外では、ナフサの代わりに安価な石炭やシェールガスからプラスチック原料を製造する取り組みが行われているが、前者は CO₂排出量が多いこと、後者はゴムの原料となるブタジエンの生産が難しい点が、それぞれ課題として挙げられる。
- 本プロジェクトを取りまく現状と課題解決の具体的方策
 - 日本では、ナフサ分解炉の老朽化対策を克服しつつ、上記のようなプロセス及び原料に対す

¹国立環境研究所「温室効果ガスインベントリ（2019年確報値）」より。

²資源エネルギー庁「総合エネルギー統計」より。

³「化学品ハンドブック 2020」のエチレン、プロピレン、ブチレン、ブタジエン、ベンゼン、トルエン、キシレンの国内生産量に、「IDEA v.2.3」の CO₂排出原単位を掛けて、石油精製時の CO₂排出量を差し引いて算出。ただし、この中にはナフサ分解炉以外からの排出量も含まれる。

⁴プラスチック循環利用協会「プラスチックリサイクルの基礎知識 2020」より。

⁵一般廃プラスチックの CO₂排出係数 2.77kg-CO₂/kg-廃プラより算出。

る課題に対して、①熱源転換、②原料循環、③原料転換によるカーボンニュートラルを目指し、オレフィン（C2 エチレン、C3 プロピレン、C4 ブタジエン）、BTX（C6 ベンゼン、C7 トルエン、C8 キシレン）をバランス良く得ることができるレトロフィットな生産体制を維持することが重要である。

- 化学産業はステークホルダーが多様であり、コンビナートに代表される地域視点での課題解決に加えて、上流の化学品製造から下流の廃プラ・廃ゴムの回収・分別まで国内全体でリサイクルのループを回すためには、技術開発のみならず、社会システムの仕組み作りが必要である。
- 更に、カーボンリサイクルプラスチック原料製造技術を国際標準化し、化学業界で広く行われているライセンスビジネスにより海外で幅広く活用することで、新興国等での新規需要獲得が期待できる。国際競争においては、研究開発と並行して海外企業の取組を把握しながら行動することが重要である。

① 熱源転換

- ナフサを分解するとエチレンやプロピレン、ブタジエン等のオレフィンの他に、メタン等のオフガスが発生し、分解炉の熱源として利用されているが、最終的に CO₂として大量に排出されている。オフガスに代わるナフサ分解炉の熱源として、アンモニアや水素等のカーボンフリー燃料に着目し、熱源転換により CO₂排出量を削減することが重要である。
- カーボンフリー燃料によるナフサ分解炉の高度化技術（現行 TRL⁶相当）を開発し、国内設備へのレトロフィットを行う。また、新設計画がある中国や ASEAN 等の新興国へライセンス供与することで、日本の先進技術の海外展開を図る。

② 原料循環

- 廃プラ・廃ゴムのケミカルリサイクルには、酸素存在下でガス化して合成ガス⁷から基礎化学品を製造する方法と、無酸素条件下で熱分解してオレフィン合成⁸または油化⁹する方法等がある。しかし、ケミカルリサイクルが占める割合は 4%程度に留まっており、用途も限定的であることから、CO₂削減のためには、この割合を増やしていくことが重要である。
- 日本が強みを発揮できる有望なケミカルリサイクル技術（現行 TRL 4 相当）を確立して社会実装を目指すとともに、リサイクルプラスチックの国際標準化等により、海外に対する日本の優位性を確保する。

③ 原料転換

- CO₂からプラスチック原料を製造する技術は CO₂大幅削減の切り札であり、脱石油資源の観

⁶技術成熟度（Technology Readiness Levels）。IEA が提示する TRL を参照。

⁷水素と一酸化炭素から成るガス。水素原子(H)と炭素原子(C)から成るプラスチックの原料を作ることができる。

⁸高分子（ポリマー）を構成する低分子の単位分子（単量体）に戻すこと。

⁹プラスチックを熱分解して液体状の油を得ること。熱分解油を改質することで、再びプラスチック原料として用いることができる。

点からも重要である。

- ポリカーボネートやポリウレタン等の含酸素化合物¹⁰は水素を必要とせず、CO₂を原料として合成可能（現行 TRL 5 相当）な機能性化学品である。また、CO₂削減に加えて、用途拡大につながる電気特性、光学特性、力学特性等、機能性の更なる向上にも取り組み、新規市場を開拓する。
- 光触媒を用いて水と CO₂からプラスチック原料を製造する人工光合成の技術は日本企業のみが開発中である。既に基礎研究（ラボ）レベルでは成功しており（現行 TRL 4 相当）、今後は社会実装に向けて更なる高効率化と量産性向上の両立を目指す。

● 関連基金プロジェクトと既存事業

➤ 関連基金プロジェクト

○ 「大規模水素サプライチェーンの構築」

コンビナート等が立地する臨海部では発電用途以外に化学原料等の産業用途においても水素の大規模活用が想定されている。国際サプライチェーン等からの水素をプラスチック原料として活用することも期待される。

○ 「燃料アンモニアサプライチェーンの構築」

ナフサ分解炉等、熱源を必要とするプラスチック製造プロセスにおけるカーボンフリー燃料や、プラスチック原料の水素キャリアとして、アンモニアの活用が想定される。

○ 「CO₂の分離・回収等技術開発」

CO₂からの機能性化学品（ポリカーボネート等）製造や、人工光合成等のグリーン水素からアルコール類経由の基礎化学品製造等では原料としての CO₂が必要であり、CO₂の分離・回収技術は不可欠である。

➤ 既存事業

- 以下の予算事業を通じて、二酸化炭素原料化基幹化学品製造プロセス技術開発（人工光合成 PJ）に取り組み、光触媒や水素・酸素分離膜、メタノール等の化学原料から基礎化学品を合成する触媒等の要素技術の確立を目指している。

【予算事業】

省エネ型化学品製造プロセス技術の開発事業（2013～2021 年度、2021 年度予算額 22.8 億円の内数）

https://www.meti.go.jp/main/yosangaisan/fy2021/pr/en/sangi_taka_11.pdf

¹⁰ポリカーボネートやポリウレタン内に O-C=O 結合が含まれており、CO₂を原料として合成することが可能である。

- 以下の予算事業を通じて、プラスチックの有効利用に向け、大学・研究開発機関が主体となり、高度選別、マテリアルリサイクル、ケミカルリサイクル及びサーマルリカバリーについて研究開発を行っている。このうち、ケミカルリサイクルについては、高度選別を行った廃プラスチックを対象に、研究開発を行っている。（本プロジェクトでは高度選別をしない廃プラスチックを対象にしている。）

【予算事業】

プラスチック有効利用高度化事業（2020～2024年度、2021年度予算額 12.0 億円の内数）

（ https://www.meti.go.jp/main/yosan/yosan_fy2021/pr/en/sangi_ka_25.pdf）

- グリーン成長戦略の実行計画における記載（抜粋）

- （11）カーボンリサイクル・マテリアル産業

- i）カーボンリサイクル

- カーボンリサイクルは、CO₂を資源として有効活用する技術でカーボンニュートラル社会を実現するためのキーテクノロジーであり、日本に競争力がある。

- カーボンリサイクル産業は、カーボンリサイクル技術ロードマップに示されたとおり、鋳物（コンクリート製品、コンクリート構造物、炭酸塩、セメント等）、燃料（藻類ジェット燃料、藻類ディーゼル燃料、合成燃料、バイオ燃料、メタネーションによるガス燃料等）、化学品（ポリカーボネートやウレタン等の含酸素化合物、バイオマス由来化学品、オレフィンやパラキシレン等の汎用物質）等の主要分野を含め、多岐にわたる。これら主要な製品を中心に、コスト低減や用途開発のための技術開発、社会実装を進め、カーボンリサイクル産学官国際会議の活用等も通じてグローバル展開を目指す。

- ③ カーボンリサイクル化学品（人工光合成等によるプラスチック原料）

- 化石資源由来のプラスチック等の化学製品の市場規模は、日本市場が 10 兆円規模、世界市場では数百兆円規模である。このような大規模市場について、日本企業のみが有している人工光合成技術等を確立することで、シェア獲得・拡大を図る。

- ア)人工光合成によるプラスチック原料

- ＜現状と課題＞

- 光触媒を用いて太陽光によって水から水素を分離し、水素と CO₂を組み合わせるプラスチック原料を製造する人工光合成の技術は、日本企業のみが開発中である。既に基礎研究（ラボレベル）は成功している。

- 他方、現状では、光触媒の変換効率が低く、また製造コストが高いため、大規模実証の実

施には技術的課題がある。また、人工光合成技術の確立には、水素等の分離膜や、基幹物質である炭化水素の合成に必要な触媒等の開発・実証も併せて必要となる。

<今後の取組>

産総研ゼロエミッション国際共同研究センターとも連携し、変換効率の高い光触媒を開発することで、2030年までに人工光合成によるプラスチック製造コストを約2割削減する。その際、光触媒による水素・酸素混合低圧ガスの生成から水素と酸素の分離回収に至るまでの一連の工程における安全の担保も考慮しながら、人工光合成の大規模実証や社会実装を最適に進めていくための関連規制の検討が必要となる。こうした検討が後手に回り、技術確立や社会実装に遅れが生じ、日本の優位性を失うことのないよう、今後の技術動向を予測しながら、先見性のある新たな保安・安全基準の策定、高圧ガス保安法等の関連規制の対応等に取り組む。

その上で、2050年には人工光合成によるプラスチック原料製造の大規模実証を実施し、ポリエチレンやポリプロピレン等の汎用プラスチックについては既製品と同価格（＝100円/kg）を実現する。

イ) 廃プラスチック・廃ゴムやCO₂直接合成等のプラスチック原料

<現状と課題>

廃プラスチック・廃ゴムは焼却するとCO₂が排出される一方、化成品の炭素源として再利用できることも踏まえ、対策が必要である。例えば、廃プラスチックから合成ガス（水素と一酸化炭素）を生成し、これをアルコール化した上で、プラスチック原料とするような取組も一部で進んでおり、その拡大・深化が求められる。

また、機能性化学品についても製造時のCO₂排出量削減が必要であることに加えて、軽量化等の機能性向上による高付加価値化が求められている。加えて、ナフサ分解炉において必要な熱源対応も重要となる。

<今後の取組>

CO₂を原料とする機能性化学品（ポリカーボネイト等の含酸素化合物）やバイオマス・廃プラスチック由来の化学品等については、2030年に製造技術を確認し、2050年に既存製品と同価格を目指す。耐熱性や耐衝撃性、軽量化といった機能性の更なる向上により、同価格で現行よりも高い付加価値を有する製品（自動車や電子機器等）の実現が可能である。

さらに、熱源のカーボンフリー化（バーナーや分解炉の研究開発）等によるナフサ分解炉の高度化も検討する。

2. 目標

● アウトプット

➤ 研究開発の目標

1. 2030年までに、アンモニア(水素)等 CO₂フリー熱源でナフサを熱分解するバーナー及び炉を開発し、エチレン、プロピレン等基礎化学品の収率や製造時の消費エネルギーを現行のナフサ分解炉と同程度にする技術を実現。数万トン/年スケール試験炉で現行と同程度の製造コストの実現を見通す。
2. 2030年までに、廃プラスチックや廃ゴム等からエチレンやプロピレン、ブタジエン等の基礎化学品を収率 60~80%で製造し、製造時に排出される CO₂をそれぞれ 0.8、1.2kg-CO₂/kg-オレフィン 以下にする技術を確認。数千~数万トン/年スケールの実証で、現行ケミカルリサイクルプラスチックと比べて製造コスト 2 割減を目指す。
3. 2030年までに、ポリカーボネートやポリウレタン等の機能性を向上させ、ホスゲン等の有毒原料を不要とすることで有毒原料製造時の CO₂排出量を削減し、更に 0.3kg-CO₂/kg[※]以上の CO₂を原料化できる技術を実現。数百~数千トン/年スケールの実証で、既製品と同価格を目指す。(※目的物によって異なる。)
4. 2030年までに、以下の効率・耐久性を有するアルコール類からの化学品製造技術の確立を目指す。
 - 変換効率 10%以上の光触媒を開発し、人工光合成の数ヘクタール規模実証によって水素製造コスト 30 円/Nm³以下の見通しを得る。
 - 水素と CO₂からアルコール類等を経由してエチレン、プロピレン等の基礎化学品を収率 80~90%で製造し、製造時に排出する CO₂をゼロにする技術を確認した上で、数千~数万トン/年スケールの実証により、耐久性 1 万時間以上、現行メタノール to オレフィン(MTO)等と比べて製造コスト 2 割減を実現する。

(目標設定の考え方)

1. 石油精製分¹¹を除くと、エチレン、プロピレンはナフサ分解法で製造時に 1.15kg-CO₂/kg-オレフィン¹²の CO₂を排出しているが、基礎化学品の収率や製造時の消費エネルギーが現行のナフサ分解炉と同程度であれば、アンモニア(水素)等を用いて熱分解炉の熱源をカーボンニュートラル化することによって、ここから排出される 0.8kg-CO₂/kg-オレフィンの CO₂を削減することができる。
数十万トン/年の既存ナフサ分解炉は複数の燃焼バーナー等(壁バーナー、床バーナーの 2 タイプ)から構成されており、最小単位となる数万トン/年スケール試験炉の実証を目指す。

¹¹ 石油精製によるナフサ製造時の CO₂排出量は、オレフィン換算で 0.45kg-CO₂/kg-オレフィン。

¹² IDEA v.2.3 より。

2. エチレン、プロピレンは $1.6\text{kg-CO}_2/\text{kg-オレフィン}$ ¹²、ブタジエンは $2.1\text{kg-CO}_2/\text{kg-オレフィン}$ ¹² の CO_2 をナフサ分解法で製造時にそれぞれ排出しているが、廃プラスチックや廃ゴム等からの製造時に従来の半分程度（エチレン、プロピレン： $0.8\text{kg-CO}_2/\text{kg-オレフィン}$ 、ブタジエン： $1.2\text{kg-CO}_2/\text{kg-オレフィン}$ ）まで CO_2 排出量を削減することを目指す。
2050年までに既製品と同価格を目指すため、その途中段階の2030年の製造コスト目標として、現行ケミカルリサイクルプラスチック比2割減を設定する。
3. ポリカーボネート、ポリウレタンの原料となるジアルキルカーボネート(DRC)、ジフェニルメタンジイソシアネート(MDI)等について、不要となるホスゲン製造時の CO_2 排出量（例： $1.0\text{kg-CO}_2/\text{kg-DRC}$ 、 $0.5\text{kg-CO}_2/\text{kg-MDI}$ ）を削減するとともに、製造時の消費エネルギーを現行と同程度以下にすることを目指す。
プリント基板やカメラレンズ、自動車用部品等への用途拡大のため、電気・光学・力学特性等の機能性を向上させる。汎用プラスチック等とは異なり、ポリカーボネート、ポリウレタン等の含酸素化合物は製造時に水素が不要であることから、より早い段階（2030年）で既製品と同価格を目指す。
4. 2050年目標として、光触媒の変換効率10%、光触媒パネル製造コストが0.3万円/ m^2 に到達すると、水素製造コストは20円/ Nm^3 以下になると見込まれ、他方式による水素製造（20～30円/ Nm^3 ）と比較しても十分競争力があることが見込まれる。
天然ガスの水蒸気改質による水素製造と比較すると、 $8.9\text{kg-CO}_2/\text{kg-H}_2$ の CO_2 排出量を削減することができる。
エチレン、プロピレンはナフサ分解法で製造時に $1.6\text{kg-CO}_2/\text{kg-オレフィン}$ の CO_2 を排出しているが、メタノール、エタノール合成時に CO_2 を原料化することによって、プロセス全体の CO_2 排出量をゼロにすることができる。
2050年までに既製品と同価格を目指すため、2030年までに現行MTO等比製造コスト2割減を目標とする。

（目標達成の評価方法）

以下に例を示すが、各目標の具体的な評価方法については事業者の提案を踏まえて、採択段階において詳細を決定する。

1. アンモニア(水素)等を用いて、既存のナフサ分解炉に近い温度分布等が得られることを評価する。現行のオフガス燃焼とアンモニア(水素)等燃焼の消費エネルギー量を比較する。
2. 廃プラ・廃ゴムリサイクル時における電力・蒸気等のプロセス CO_2 を定量的に評価する。実証スケールごとに収率や CO_2 排出量等技術目標や製造コスト目標の達成度を評価し、スケールアップの可否を判断する。
3. CO_2 原料化における電力・蒸気等のプロセス CO_2 を定量的に評価する。併せて、ホスゲン等有毒な原料の削減や、電気・光学・力学特性等の機能性向上、製造コストについ

ても評価する。

4. 光触媒の変換効率、パネル製造コスト、耐久性等を総合的に勘案して算出した水素製造コストを評価する。本技術については社会実装の不確実性が特に大きいとの意見もあり、ステージゲートにおいてマイルストーン目標の達成度を評価し、継続可否を判断する。MTO 等における電力・蒸気等のプロセス CO₂を定量的に評価する。実証スケールごとに収率や CO₂排出量、耐久性等技術目標、製造コスト目標の達成度を評価し、スケールアップの可否を判断する。

(目標の困難性)

1. 一般的な工業炉と比べると巨大(高さ約 10m)であり、国内外で取り組まれたことがない先進的なものである。燃焼条件が異なるアンモニア(水素)でも温度分布が均一な炉を実現し、民間企業が単独で 10 年以内の社会実装を見通すことが極めて困難。
2. 廃プラ・廃ゴムのガス化、熱分解(油化、オレフィン)はいずれも一長一短あり、過去にパイロットプラントの実証が行われたことがあるものの、現状の技術レベルで 10 年以内に民間企業が単独で社会実装まで見通すことは困難。
3. ホスゲン等有毒な原料を使わずに CO₂からポリカーボネートやポリウレタン等の機能性化学品を製造した場合、製造時の消費エネルギーが大きく、CO₂削減効果が得られないため、単なる現状技術の延長では 10 年以内の社会実装が困難。
4. 基礎研究(ラボ)レベルでは変換効率 7%を達成している光触媒もあるが、100m²スケールでフィールドテスト中の光触媒パネルの変換効率はそれよりも低い。このような現状において、高効率化と量産性向上の両立を図るために設定した課題(3.研究開発項目に記載)を克服し、他の水素製造技術と同程度以下まで製造コストを低減させるのは非常に野心的である。

現行 MTO 触媒の耐久性は 1500 時間程度であり、実用化のために必要な 1 万時間の耐久性をコストが見合う安価な触媒で確保するのが困難。

● アウトカム

CO₂等を用いたプラスチック原料製造技術が普及促進された場合、期待される国内の CO₂削減効果、及び予想される国内の市場規模について、以下の前提に基づき機械的に算出した。世界全体の CO₂削減効果、及び予想される世界全体の市場規模については、現在の世界のエチレンプラント生産能力の内、日本が占めるシェア(2.8%)¹³から逆算した。

➤ CO₂削減効果(ポテンシャル推計)

- 国内：107 万トン/年、世界：0.4 億トン/年(2030 年)

¹³ 経済産業省「世界の石油化学製品の今後の需給動向(2019 年 10 月)」より。

【算定の考え方】

オレフィン、グリーン水素、メタノール、エタノール等製造量から、目標達成時のCO₂排出削減量を掛けて算出。

【利用したパラメータ】

- ①廃プラ・廃ゴムからの基礎化学品製造量：4万トン/年、10.2万トン/年
- ②CO₂からの機能性化学品製造量：(DRC) 0.3万トン/年、(MDI) 10万/年
- ③グリーン水素製造量：0.416万トン/年
- ④メタノール、エタノールからの基礎化学品製造量：20万トン/年、10万トン/年

$$\begin{aligned} \text{計算式：} & \text{①}((1.6-0.8+2.5^{14})\times 4+(2.1-1.2+2.4^{15})\times 10.2) \\ & + \text{②}((1.0+0.3)\times 0.3+(0.5+0.3)\times 10) \\ & + \text{③}(8.9\times 0.416) + \text{④}(1.6\times (20+10)) = 107 \text{ 万トン/年} \end{aligned}$$

- 国内：3156万トン/年、世界：11億トン/年（2050年）

【算定の考え方】

ナフサ分解炉の熱源カーボンフリー化によるCO₂削減量を加えて算出。2050年時点の製造量を下記①～⑤の通り想定。

【利用したパラメータ】

- ①高度化されたナフサ分解炉による基礎化学品製造量：680万トン/年
- ②廃プラ・廃ゴムからの基礎化学品製造量：100万トン/年、100万トン/年
- ③CO₂からの機能性化学品製造量：(DRC) 50万トン/年、(MDI) 50万/年
- ④グリーン水素製造量：150万トン/年
- ⑤メタノール、エタノールからの基礎化学品製造量：220万トン/年、100万トン/年

$$\begin{aligned} \text{計算式：} & \text{①}((1.15-0.35)\times 680) + \\ & + \text{②}((1.6-0.8+2.5^{14})\times 100+(2.1-1.2+2.4^{15})\times 100) \\ & + \text{③}((1.0+0.3)\times 50+(0.5+0.3)\times 50) \\ & + \text{④}(8.9\times 150) + \text{⑤}(1.6\times (220+100)) = 3156 \text{ 万トン/年} \end{aligned}$$

➤ 経済波及効果（国内市場規模推計）

- 国内：約0.3兆円/年、世界：10兆円/年（2030年）

【算定の考え方】

2030年時点では30分の1程度の規模での実証が実施されるとして推計。

¹⁴ 一般廃プラスチックのCO₂排出係数2.5 kg-CO₂/kg-廃プラより。

¹⁵ 合成ゴムのCO₂排出係数2.4kg-CO₂/kg-廃ゴム（日本自動車タイヤ協会）より。

- 国内：約 10 兆円/年、世界：360 兆円/年（2050 年）

【算定の考え方】

現状のプラスチック市場と同程度を想定。

3. 研究開発項目と社会実装に向けた支援

- 研究開発項目の考え方
 - プラスチック原料製造プロセスの上流（水素、CO₂、廃プラスチック、廃ゴム等）から下流（基礎化学品、機能性化学品等）までが一定以上のつながりがあり、最終的に多様なプラスチック原料が製造できる研究開発体制が望ましい。従って、複数の研究開発項目、内容を組み合わせて、幅広い事業者が連携して実施することも可能とする。
 - プロセス、原料の転換によるCO₂削減量のLCA評価や、製造されるプラスチック原料の選択性（ベストミックス）等を重視する。
 - アルコール原料の共用や熱分解油の原料化、グリーン水素の活用等において、プロジェクト内の事業者が連携して、早期社会実装に向けた取り組みを実施する。

 - 【研究開発項目 1】ナフサ分解炉の高度化技術の開発
 - 目標：2030年までにアンモニア(水素)等CO₂フリー熱源でナフサを熱分解するバーナー及び炉を開発し、エチレン、プロピレン等基礎化学品の収率や製造時の消費エネルギーを現行のナフサ分解炉と同程度にする技術を実現。数万トン／年スケール試験炉で現行と同程度の製造コストを見通す。

 - 研究開発内容¹⁶：
 - 熱源のカーボンフリー化によるナフサ分解炉の高度化開発・実証【（9/10委託→1/2補助）+（1/10インセンティブ）】

現行のナフサ分解炉では、メタン等のオフガスを燃焼させ、約850℃に保持された炉内を通る反応管内で、ナフサがエチレンやプロピレン等の基礎化学品に分解される。アンモニア及び水素燃焼については工業炉やタービン、エンジン等で実証された実績があるものの、ナフサ分解炉で温度分布が不均一になると、基礎化学品の割合変化や収率低下、反応管内の炭素析出等による設備稼働率低下を招くため、より繊細な燃焼制御が必要である。

こうした課題を解決するため、ナフサ分解炉に適したアンモニアまたは水素燃焼バーナー及び炉等を開発し、壁バーナー、床バーナーの2タイプのナフサ分解炉について、2030年までに数万トン／年スケール試験炉の実証を行う。
- (委託・補助の考え方)
- ナフサ分解炉を有する複数の民間企業に跨がる共通基盤的課題であり、収益化を容易に見通せない技術課題を有するため、国として積極的な支援を講じる必要がある。一般的な工業

¹⁶ 「2. 目標」の「研究開発の目標」の達成に向けては、様々な方法が考えられるため、具体的な達成方法は提案者の創意工夫に委ねる。

炉と比べると巨大（高さ約 10m）なナフサ分解炉用のアンモニアまたは水素燃焼バーナー及び炉は存在せず、現時点での事業性が予測できず、商用化まで 10 年以上を要することから、バーナー、炉開発については委託事業として実施する。一方、本技術を既存ナフサ分解炉への適用に向けた数万トンスケール試験炉の実証を行う場合は補助事業として実施する。

- 【研究開発項目 2】廃プラ・廃ゴムからの化学品製造技術の開発

- 目標：2030 年までに廃プラスチックや廃ゴム等からエチレンやプロピレン、ブタジエン等の基礎化学品を収率 60～80%で製造し、製造時に排出される CO₂をそれぞれ 0.8、1.2kg-CO₂/kg-オレフィン 以下にする技術を確認。数千～数万トン/年スケールの実証で、現行ケミカルリサイクルプラスチックと比べて製造コスト 2 割減を目指す。

- 研究開発内容：

- 廃プラ・廃ゴムからエチレン、プロピレン、ブタジエン等基礎化学品製造技術の開発・実証

【（9/10 委託→2/3 補助→1/2 補助） + （1/10 インセンティブ）】

廃プラスチックのガス化については一部事業化している技術もあるが、アンモニアやドライアイス製造等に留まっており、汎用的なプラスチック原料化には至っていない。ポリスチレンやポリエチレンテレフタレート(PET)等、一部のプラスチックについては熱分解によるオレフィン合成、油化が行われているが、ポリエチレン、ポリプロピレン等の汎用プラスチック、使用済みタイヤ等の廃ゴムについては収率の高い新たな触媒や添加剤等が発見されているものの、社会実装には至っていない。

本プロジェクトでは、廃プラスチックや廃ゴムのガス化や熱分解（オレフィン合成、油化）バイオマス活用等によってエチレンやプロピレン、ブタジエン等の基礎化学品を収率 60%～80%で製造する技術を確認し、LCA 評価等によって有望技術を絞り込んだ上で、2030 年までに数千～数万トン/年スケールの実証を行う。

（委託・補助の考え方）

- 廃プラスチックや廃ゴムのガス化や熱分解（オレフィン合成、油化）、バイオマス活用等による汎用的な基礎化学品製造技術自体が確立しておらず、現時点での事業性が予測できず、商用化まで 10 年以上を要することから、委託事業として実施する。一方、数千～数万トン/年スケールの実証等、社会実装に向けた大規模実証については補助事業として実施する。
- それぞれの要素技術について取り組みを行った上で、ステージゲート時に TRL 等を見極め、プロジェクト後期では日本が強みを発揮できる有望技術に絞り込んで実証試験を実施する。

- 【研究開発項目 3】CO₂からの機能性化学品製造技術の開発

- 目標：2030年までにポリカーボネートやポリウレタン等の機能性を向上させ、ホスゲン等の有毒原料を不要とすることで有毒原料製造時のCO₂排出量を削減し、更に0.3kg-CO₂/kg[※]以上のCO₂を原料化できる技術を実現。数百～数千トン／年スケールの実証で、既製品と同価格を目指す。（※目的物によって異なる。）

- 研究開発内容：

- CO₂からポリカーボネート、ポリウレタン等の機能性化学品製造技術の開発・実証
【（2/3補助→1/2補助）+（1/10インセンティブ）】

ポリカーボネート、ポリウレタン等の機能性化学品は、ホスゲン等毒性な原料を用いて製造されており、代替の製造手法の確立が望まれる。ポリカーボネートやポリウレタン等の含酸素化合物は水素を用いることなく、CO₂から製造可能であり、低エネルギーで合成できればCO₂排出量削減に寄与することができる。ポリエチレンやポリプロピレン等の汎用プラスチックと比べると需要量は小さいものの、ポリカーボネート等の世界シェアは高く、更なる高機能化による市場拡大が見込まれている。

本プロジェクトでは、ポリカーボネートやポリウレタン等の機能性を向上させ、不要となるホスゲン製造時のCO₂排出量を削減し、更に製造時の消費エネルギーを現行と同程度以下にすることで、0.3kg-CO₂/kg[※]以上のCO₂を原料化できる技術を実現する。数百～数千トン／年スケールの実証で、既製品と同価格を目指す。

（委託・補助の考え方）

- 既に要素技術は確立されているものの、ホスゲン等有毒な原料を使わずにCO₂からポリカーボネートやポリウレタン等の機能性化学品製造時の消費エネルギーを現行と同程度以下にする技術の確立が不確実な中で民間企業が単独で実施することが困難であることから、国として積極的な支援を講じる必要があり、補助事業として実施する。

- 【研究開発項目4】アルコール類からの化学品製造技術の開発

- 目標：2030年までに、以下の効率・耐久性を有するアルコール類からの化学品製造技術の確立を目指す。
 - ・ 変換効率10%以上の光触媒を開発するとともに、人工光合成の数ヘクタール規模実証によって水素製造コスト30円/Nm³以下の見通しを得る。
 - ・ 水素とCO₂からアルコール類等を経由してエチレン、プロピレン等の基礎化学品を収率80～90%で製造し、製造時に排出するCO₂をゼロにする技術を確認した上で、数千～数万トン／年スケールの実証により、耐久性1万時間以上、現行MTO等と比べて製造コスト2割減を実現する。

- 研究開発内容：

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
【（9/10 委託→1/2 補助） + （1/10 インセンティブ）】

人工光合成によるグリーン水素製造について、現行の光触媒の変換効率は7%以下であり、太陽光の一部の波長の光しか変換できていない。本プロジェクトでは、幅広い波長の光を変換でき、2030年までに変換効率10%以上を達成する光触媒を開発する。また、光触媒パネル製造コスト0.5万円/m²以下、耐久性1万時間以上等の達成により、水素製造コスト30円/Nm³以下を見通す。最終的に数ヘクタールの光触媒パネルのフィールドテストでの水素製造を検討するとともに、同時に発生する水素と酸素を分離するシステムの安全性向上に向けた研究を行う。

本技術については社会実装の不確実性が大きいとの意見もあり、ステージゲートにおいてマイルストーン目標の達成度を評価し、継続可否を判断する。

② メタノール、エタノール等からの基礎化学品製造技術の開発・実証
【（2/3 補助→1/2 補助） + （1/10 インセンティブ）】

メタノールやエタノール等の化学原料からエチレン、プロピレン等の基礎化学品を合成する技術については、海外を含めて様々な取り組みがある。しかし、現状ではエチレンやプロピレン等のオレフィンが混合した状態で得られるため、これらを蒸留によって分離する際に大量のエネルギーを消費している。これらの工程におけるエネルギー消費を低減するため、反応生成物の選択性を向上させること、及び触媒の耐久性向上が課題となる。

本プロジェクトでは、メタノールやエタノール等の化学原料を製造する技術、及びエチレンまたはプロピレンの選択率70%以上、オレフィン収率80%～90%で合成できるMTOやETO技術を確立し、2030年までに数千～数万トン/年スケールの実証を行う。

（委託・補助の考え方）

- 研究開発内容①については、人工光合成を実現するための技術的ハードルが極めて高く、商用化まで10年以上の開発を要するため、委託事業として実施する。一方、要素技術確立後の数ヘクタールの光触媒パネルフィールドテスト等、社会実装に向けた大規模実証については補助事業として実施する。
- 研究開発内容②については、既に要素技術は確立されているものの、メタノールやエタノール等の需要が不確実な中で民間企業が単独で実施することが困難であることから、国として積極的な支援を講じる必要があり、補助事業として実施する。
- 実施主体については、①②それぞれ異なる企業となることも可能とする。ただし、技術的に相互補完的に検討必要な場合には、実施者に対して連携することを求める。

● 社会実装に向けたその他の取り組み

ナフサ分解炉を含むコンビナートのカーボンニュートラル化に向けて、国土交通省が進められているカーボンニュートラルポートの形成に向けた検討等と連携し、石油精製－石油化学の水平・垂直連携・統合やリニューアルにより国際競争力の強化に向けた検討を進める。

カーボンリサイクルプラスチックの社会実装においては、2021年6月に制定されたプラスチックに係る資源循環の促進等に関する法律に基づいて検討が行われる廃プラスチックの回収・分離の仕組みが活用できる。リサイクル原料が活用された商品であることに価値を認める者に対して適切に商品をお届けするためには、現在検討が進められているマスバランス方式等の活用が有効であり、海外展開を含めた市場の獲得に向けて、認証制度等の国際標準化等による日本の優位性を確保する。

人工光合成では水素・酸素混合低圧ガスの生成から水素と酸素の分離回収に至るまでの一連の工程において、安全性を担保する必要がある。大規模実証や社会実装をスムーズに進めていくため、先見性のある新たな保安・安全基準の検討等を行う。

スタートアップ企業に対しては、NEDO等で取り組まれている各種スタートアップ支援の仕組み（例：シード期の研究開発型スタートアップ支援、企業間連携スタートアップ支援）を活用するとともに、素材・化学産業に特化したベンチャーキャピタルの取組も行われており、それらと連携をしながら少しずつ広がりつつある化学産業におけるスタートアップの育成を進めていく。

4. 実施スケジュール

- プロジェクト期間

以下のスケジュールはあくまで一例であり、複数の研究開発項目、内容を組み合わせて、早期の目標達成のために最適なスケジュールを組むことを妨げない。

- 【研究開発項目 1】ナフサ分解炉の高度化技術の開発

ナフサ分解炉向けアンモニア燃焼バーナー等の要素技術を確立した後に、アンモニア等試験炉の開発、数万トン／年スケール試験炉の実証へ移行し、CO₂削減効果の検討を行うことを想定している。一連の取組を確実に実施するための十分な時間を確保する観点から、2021年度から2030年度までの最大10年間を想定。

- 【研究開発項目 2】廃プラ・廃ゴムからの化学品製造技術の開発

ガス化、熱分解等の基盤技術を確立した後に、触媒等高性能化開発や数百～数千kg／年以下での有望技術の絞り込みを行いながら数千～数万トン／年の大規模実証へ移行し、プラスチック製造コスト低減に向けた検討を行うことを想定している。一連の取組を確実に実施するための十分な時間を確保する観点から、2021年度から2030年度までの最大10年間を想定。

- 【研究開発項目 3】CO₂からの機能性化学品製造技術の開発

数百～数千kg／年以下で技術確立した後に数百～数千トン／年の大規模実証へ移行し、プラスチック製造コスト低減に向けた検討を行うことを想定している。補助事業から開始し、2021年度から2028年度までの最大8年間を想定。

- 【研究開発項目 4】アルコール類からの化学品製造技術の開発

研究開発内容①については、光触媒等グリーン水素製造基盤技術を確立した後に、光触媒等高性能化開発や光触媒パネル製造技術開発等を経て、数ヘクタールの大規模実証へ移行し、プラスチック製造コスト低減に向けた検討を行うことを想定している。一連の取組を確実に実施するための十分な時間を確保する観点から、2021年度から2030年度までの最大10年間を想定。不確実性が高いテーマであることから、ステージゲートにおけるマイルストーン目標を明確にし、これに達しない場合は事業の中止を含めて検討する。

研究開発内容②については、数十～数百トン／年規模で技術確立した後に、数千～数万トン／年の大規模実証へ移行し、プラスチック製造コスト低減に向けた検討を行うことを想定している。補助事業から開始し、2021年度から2028年度までの最大8年間を想定。

- キーマイルストーン・ステージゲート設定

研究開発目標の達成には、様々なアプローチが考えられることから、具体的な達成方法・スケジュールは提案者の創意工夫に委ねることを原則とするが、以下の通り、事業化段階の切れ目において、キーマイルストーン及びステージゲートを設定し、事業の進捗を見て、継続可否を判断する。追加公募については、その必要性が確認された場合に実施する。

- 【研究開発項目 1】ナフサ分解炉の高度化技術の開発
 - 数万トン／年スケール試験炉の設計・建設開始（次ページの表の例では 2027 年頃に事業継続判断）

- 【研究開発項目 2】廃プラ・廃ゴムからの化学品製造技術の開発
 - 数百～数千 kg／年以下での有望技術の絞り込み検討開始（次ページの表の例では 2024 年頃に事業継続判断）
 - 数千～数万トン／年の大規模実証プラントの設計・建設開始（次ページの表の例では 2028 年頃に事業継続判断）

- 【研究開発項目 3】CO₂からの機能性化学品製造技術の開発
 - 数百～数千トン／年の大規模実証プラントの設計・建設開始（次ページの表の例では 2024 年頃に事業継続判断）

- 【研究開発項目 4】アルコール類からの化学品製造技術の開発
 - 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
 - 光触媒パネル高性能化開発開始（次ページの表の例では 2024 年頃に事業継続判断）
 - 数ヘクタールスケールの大規模実証プラントの設計・建設開始（次ページの表の例では 2028 年頃に事業継続判断）
 - 下表は継続可否を判断するためのマイルストーン目標例。

		2024年頃	2028年頃	2030年
変換効率	微粒子触媒	4%	7%	10%
	光電極触媒	8%	9%	
光触媒パネル製造コスト	微粒子触媒	3万円/m ²	1万円/m ²	0.5万円/m ²
	光電極触媒	6万円/m ²	2万円/m ²	
耐久性		1000時間	4000時間	1万時間
水素製造コスト		50円/Nm ³	40円/Nm ³	30円/Nm ³

- ② メタノール、エタノール等からの基礎化学品製造技術の開発・実証
 - 数千～数万トン／年の大規模実証プラントの設計・建設開始（次ページの表の例では 2024 年頃に事業継続判断）

表1：プロジェクトの想定スケジュール（例）

	2021 年度	2022 年度	2023 年度	2024 年度	2025 年度	2026 年度	2027 年度	2028 年度	2029 年度	2030 年度	
1. ナフサ分解炉の高度化技術の開発											
	アンモニア等燃焼バーナー開発			アンモニア等試験炉開発				数万トン/年試験炉実証			
2. 廃プラ・廃ゴムからの化学品製造技術の開発											
	ガス化、熱分解等 基盤技術確立			触媒等高性能化開発				有望技術の絞り込み (数百～数千kg/年)			
								大規模実証			
3. CO₂からの機能性化学品製造技術の開発											
	数百～数千kg/年 での基盤技術確立			大規模実証				量産化検討			
4. アルコール類からの化学品製造技術の開発											
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	光触媒等グリーン水素 製造基盤技術確立			光触媒パネル高性能化開発				大規模実証			
	②メタノール、エタ ノール等からの基 礎化学品製造技 術の開発・実証			数十～数百トン/年規模での MTO、ETO基盤技術確立				大規模実証			
								量産化検討			

表 2：社会実装スケジュール

●導入フェーズ： 1. 開発フェーズ 2. 実証フェーズ 3. 導入拡大・コスト低減フェーズ 4. 自立商用フェーズ

	現状	2025年	2030年	2040年	2050年
1. ナフサ分解炉の高度化技術の開発	・オフガス燃焼によるナフサ分解	・アンモニアバーナー、炉開発 (TRL4)	・1万トン級テスト炉実証 ・既存炉等での実証 (TRL7)	・ナフサ分解炉の更新に合わせて、熱源をCN化	・全てのナフサ分解炉に適用
2. 廃プラ・廃ゴムからの化学品製造技術の開発	・PS、PET等を除き、収率数%レベル	・ガス化、熱分解(油化)技術開発 (TRL4) ・熱分解(オレフィン)触媒開発 (TRL4)	・ガス化、熱分解(油化)技術実証 (TRL6) ・熱分解(オレフィン)技術実証 (TRL6)	・熱分解油の原料化 ・ガス化、油化技術商用化 ・サーマル→ケミカルR転換	・既製品と同価格を実現 ・熱分解(オレフィン)技術商用化
3. CO ₂ から機能性化学品製造技術の開発	・毒性原料が必要な製造プロセス	・毒性原料が不要でCO ₂ からPC、PUR製造技術開発 (TRL5)	・CO ₂ からPC、PUR製造技術実証 (TRL7)	・CO ₂ からPC、PUR製造技術商用化 ・アクリル酸等の含酸素化合物への応用展開	・量産化により既製品と同価格を実現 ・耐熱性や軽量化等の機能性を向上
4. 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	・光触媒の変換効率は7%。 ・100m ² 級の光触媒パネルを実証。(TRL4)		・量産性の高い光触媒で変換効率10%。 ・数ha～数km ² 級の光触媒パネルを実証。(TRL6)		・日照時間が長い海外へ展開 ・大規模製造によりCN化
アルコール類からの化学品製造技術の開発	・収率80%以上のMTO触媒開発 (TRL5) ・実証開始段階 (TRL4)	・エタノール合成触媒開発 ・ETO触媒開発 (TRL5)	・10万トン級MTOを実証 (TRL7) ・10万トン級ETOを実証 (TRL7)	・MTO商用化 ・グリーン、ブルー水素利用 ・ETO商用化 ・グリーン、ブルー水素利用	・量産化により既製品と同価格を実現 ・既製品と同価格を実現

5. 予算

- 事業総額（国費負担額のみ。インセンティブ分を含む額）：上限 1,262 億円

【研究開発項目 1】ナフサ分解炉の高度化技術の開発

- 予算額：上限 166 億円
- 予算根拠：アンモニア（水素）バーナー、炉等の参考見積（複数社から取得）、ナフサ分解炉の設備費等を参考に、実証規模を数万トン／年スケールとして試算。

【研究開発項目 2】廃プラ・廃ゴムからの化学品製造技術の開発

- 予算額：上限 413 億円
- 予算根拠：海外を含むケミカルリサイクル実証設備費等（調査報告書等を参照）を元に、実証規模を数千トン／年スケールとして試算。

【研究開発項目 3】CO₂からの機能性化学品製造技術の開発

- 予算額：上限 200 億円
- 予算根拠：ポリカーボネート、ポリウレタン等製造設備費等（調査報告書等を参照）を元に、実証規模を数千トン／年スケールとして試算。

【研究開発項目 4】アルコール類からの化学品製造技術の開発

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

- 予算額：上限 169 億円
- 予算根拠：既存事業（省エネ型化学品製造プロセス技術の開発事業）の 100m²ワールドテストの設備費等を元に、実証規模を数ヘクタールスケールとして試算。

② メタノール、エタノール等からの基礎化学品製造技術の開発・実証

- 予算額：上限 314 億円
- 予算根拠：海外の MTO 設備費等（調査報告書等を参照）を元に、実証規模を数千トン／年スケールとして試算。

- 取組状況が不十分な場合の国費負担額の返還率：返還が決定した時点における目標達成度を考慮し、WG において「10%、30%、50%」の 3 段階で評価

（参考）改訂履歴

- ・2021 年 10 月 制定