

カーボンリサイクル関連プロジェクト (化学品分野) の研究開発・社会実装の方向性

2021年7月15日

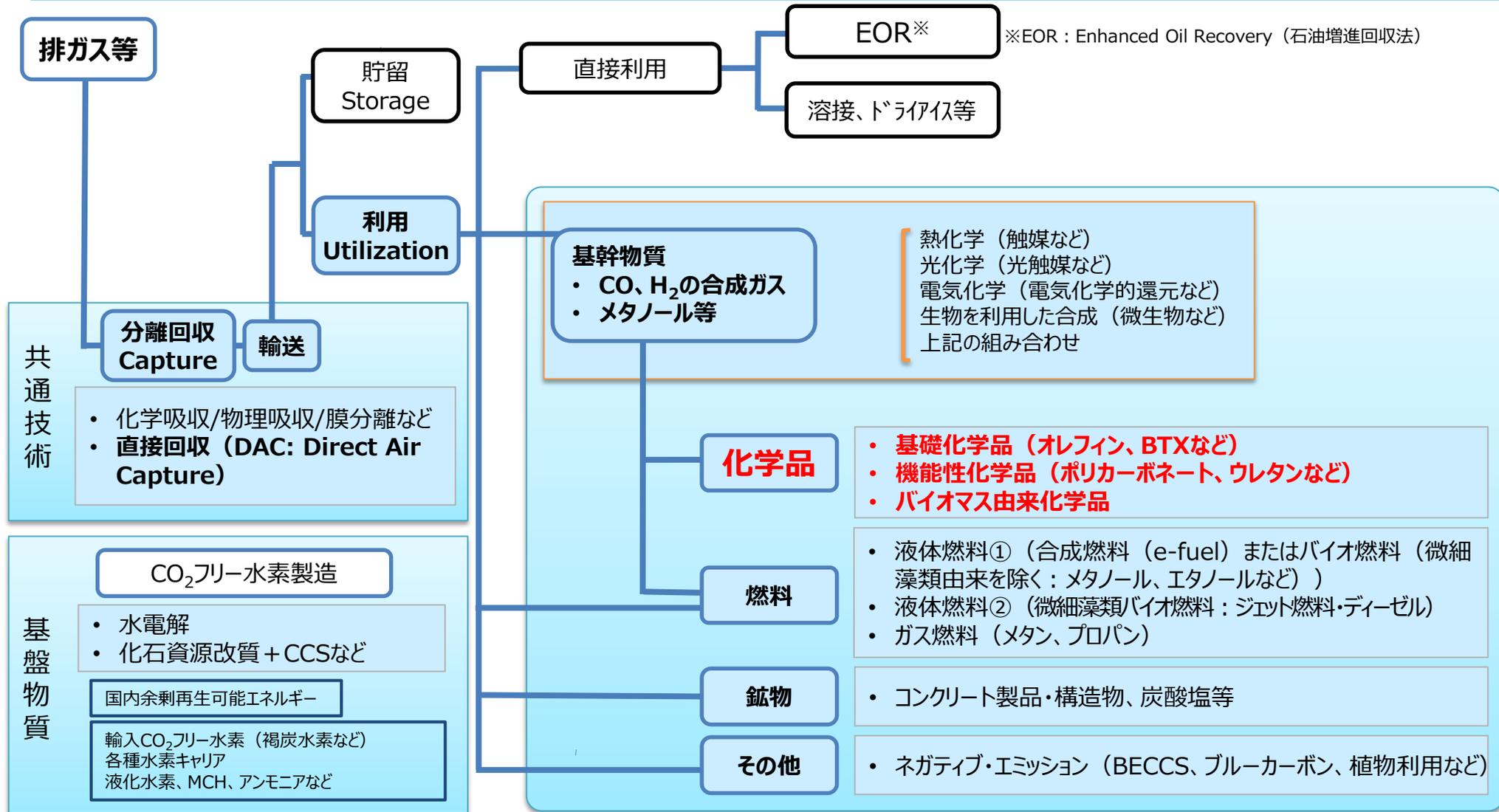
製造産業局

目次

- カーボンリサイクル（化学品分野）の開発意義
- 研究開発項目 1：ナフサ分解炉の高度化技術の開発
- 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
- 研究開発項目 3：CO₂からの機能性化学品製造技術の開発
- 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
- 研究開発スケジュールと社会実装ロジックモデル

カーボンニュートラルに必要なカーボンリサイクルとは

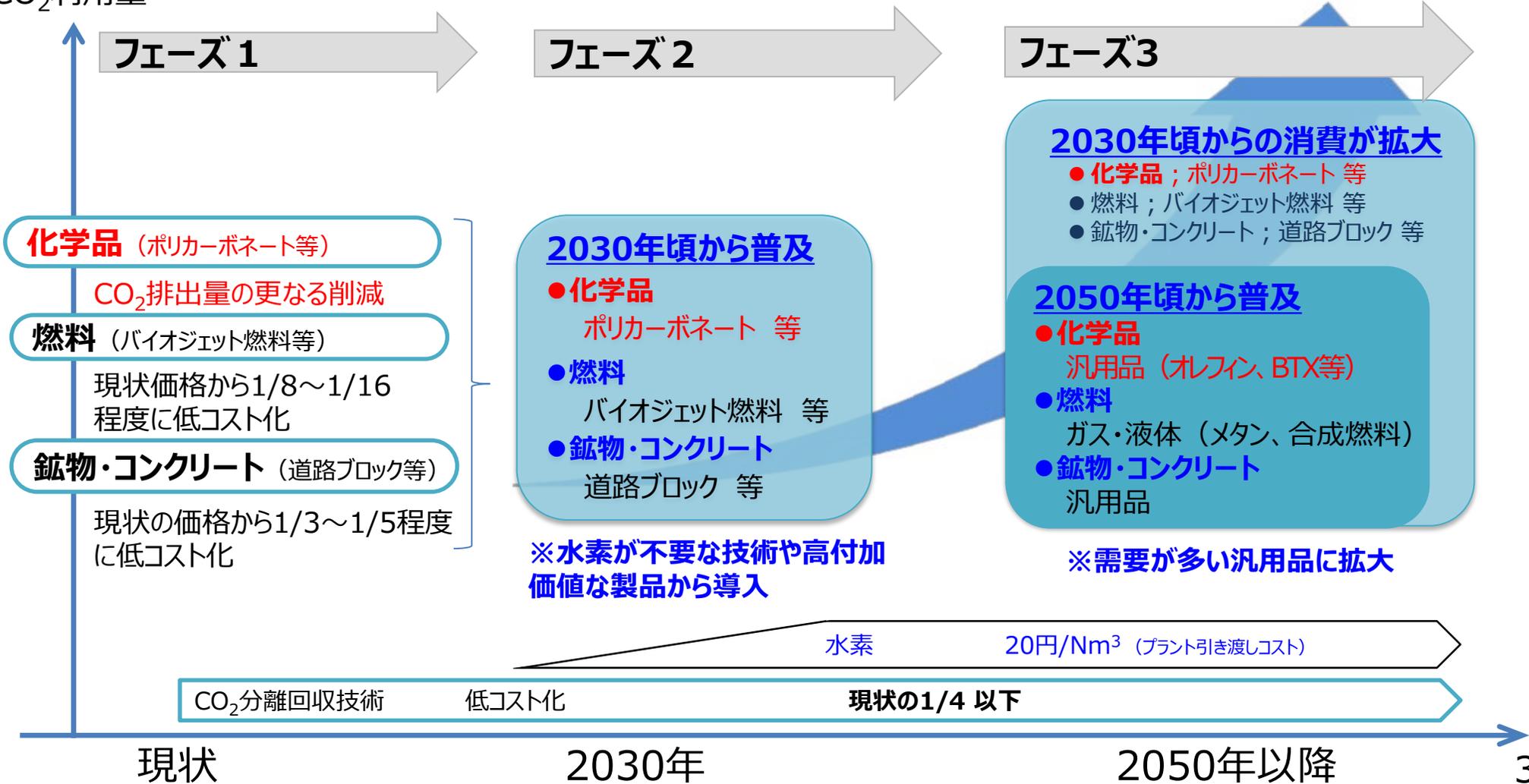
- **カーボンリサイクル** : CO₂を資源として捉え、これを分離・回収し、鉱物化によりコンクリート、人工光合成等により化学品、メタネーション等により燃料へ再利用し、大気中へのCO₂排出を抑制。



カーボンリサイクルを拡大していく絵姿（カーボンリサイクル技術ロードマップ）

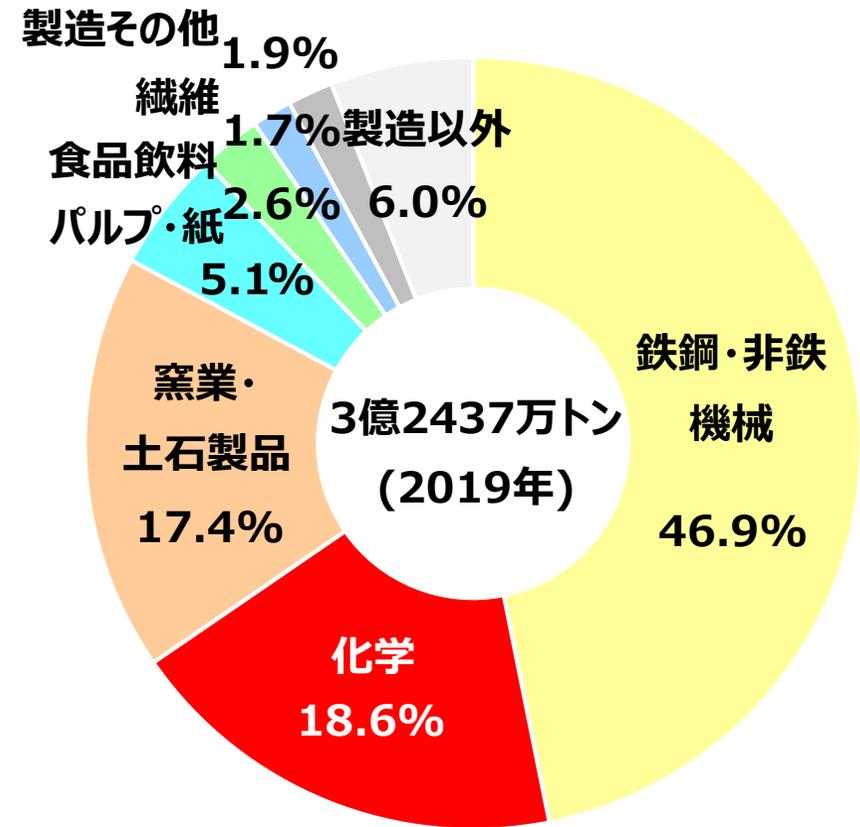
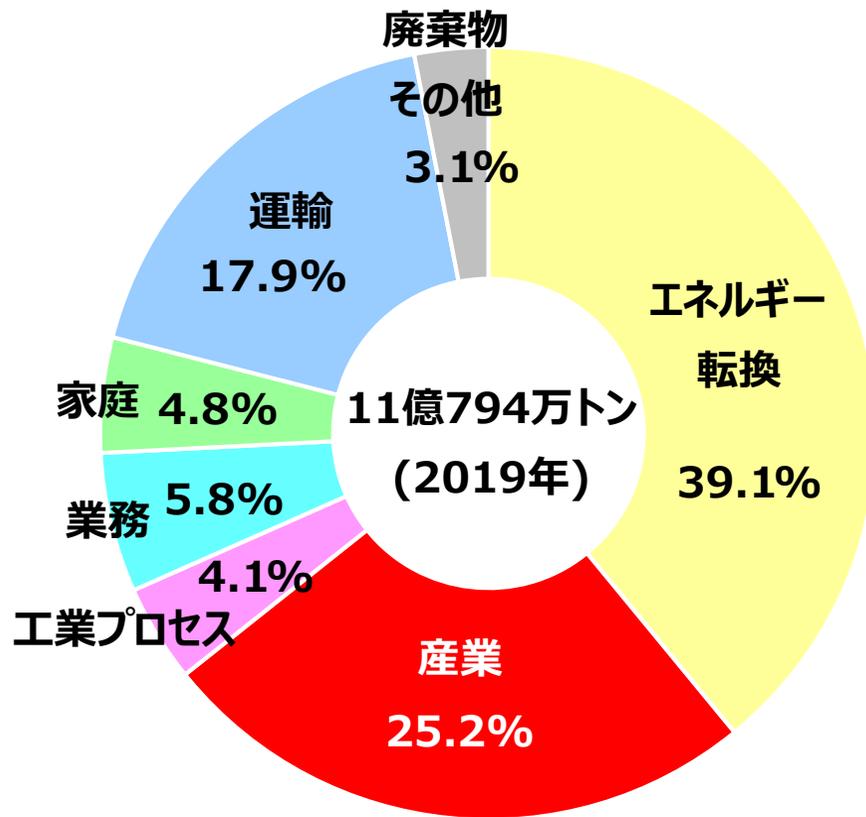
- 菅総理は**所信表明演説**（2020年10月）において、「我が国は、2050年までに、温室効果ガスの排出を全体としてゼロにする、すなわち**2050年カーボンニュートラル、脱炭素社会の実現を目指す**ことを、ここに宣言。＜中略＞**鍵となるのは、次世代型太陽電池、カーボンリサイクルをはじめとした、革新的なイノベーション**です。実用化を見据えた研究開発を加速度的に促進。」旨表明。

CO₂利用量



部門別・産業別CO₂排出量

- 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%**。
- この内、**化学**は**18.6%**の年間**6018万トン**を排出しており、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。



プラスチック原料の現状

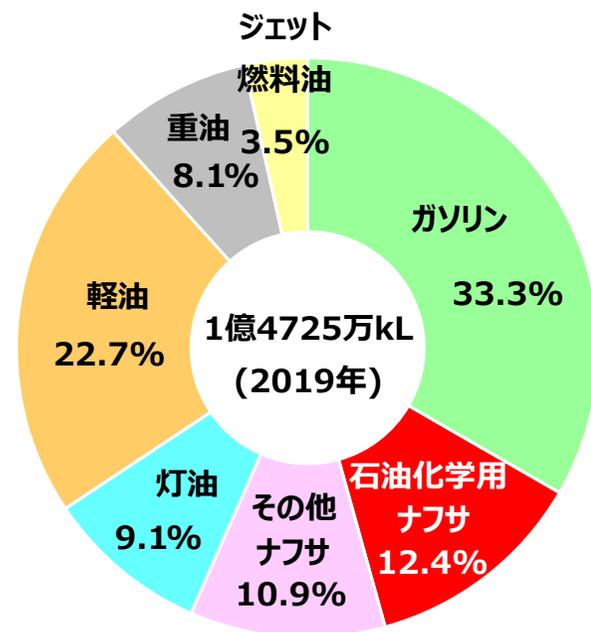
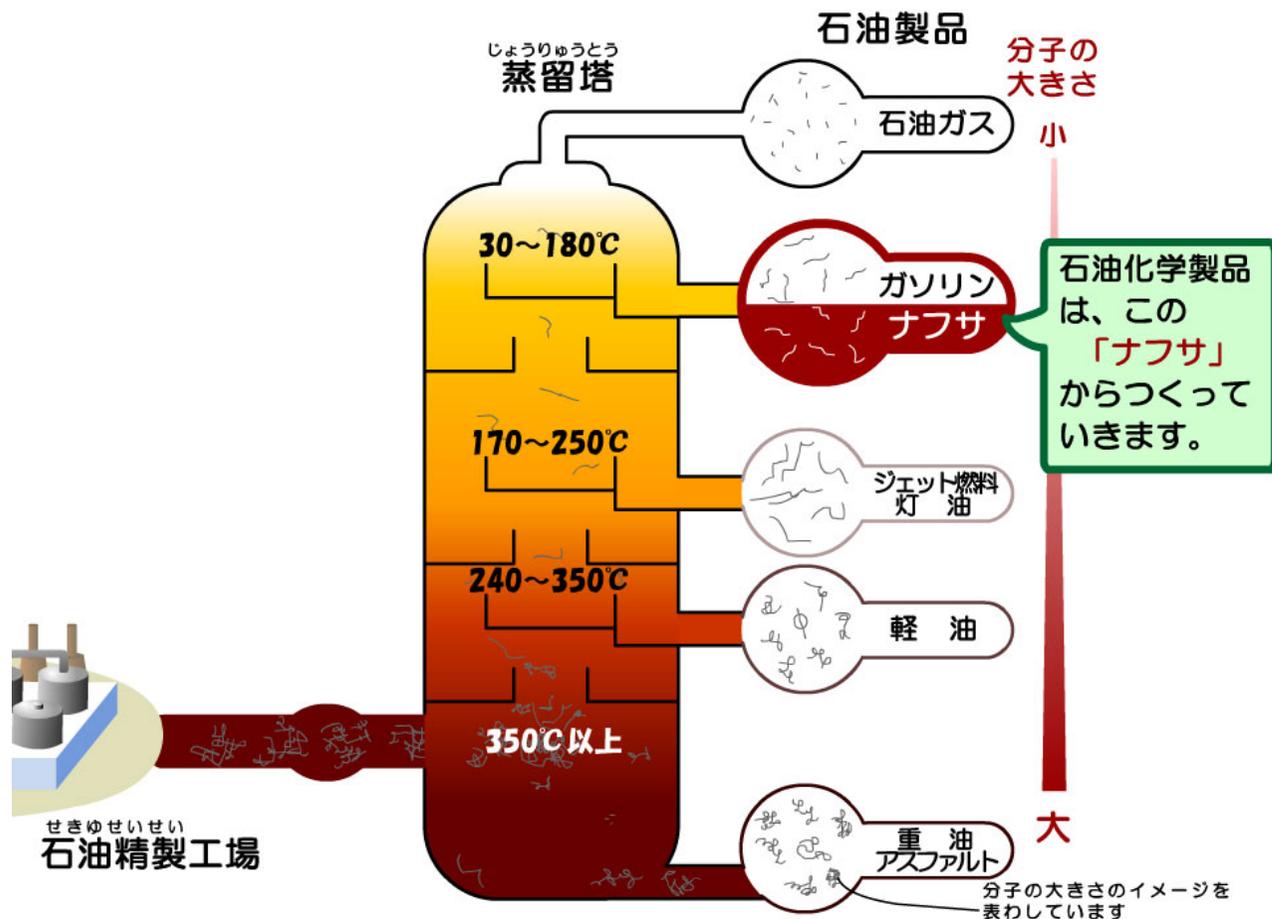
石油精製

ナフサ分解

プラスチック製造

リサイクル

- プラスチック原料の殆どが石油由来で、石油精製過程で得られるナフサ（粗製ガソリン）を原料としている。
- 石油製品の内、**12.4%が石油化学用ナフサ**。



プラスチック原料の現状

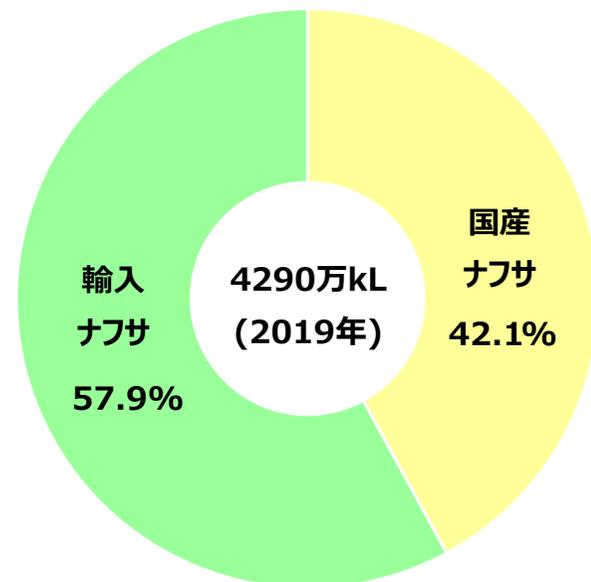
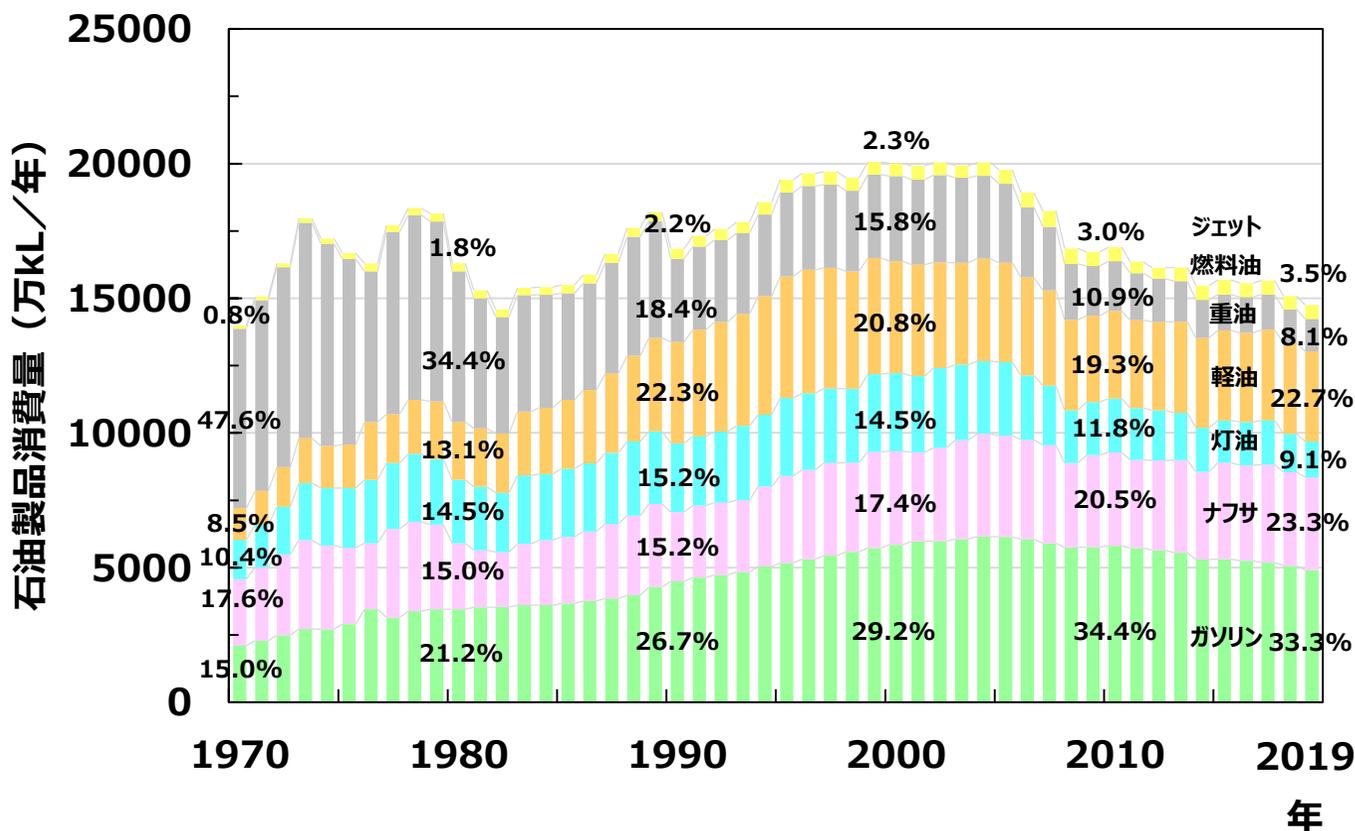
石油精製

ナフサ分解

プラスチック製造

リサイクル

- プラスチックには炭素成分が不可欠であるが、石油製品の需要が減少する中で、その原料となるナフサの消費量は横ばいとなっており、当面一定量を使い続けることが見込まれる。
- 国内の石油精製で得られるナフサだけでは不足するため、**国内需要の57.9%を輸入ナフサに依存**。



プラスチック原料の現状

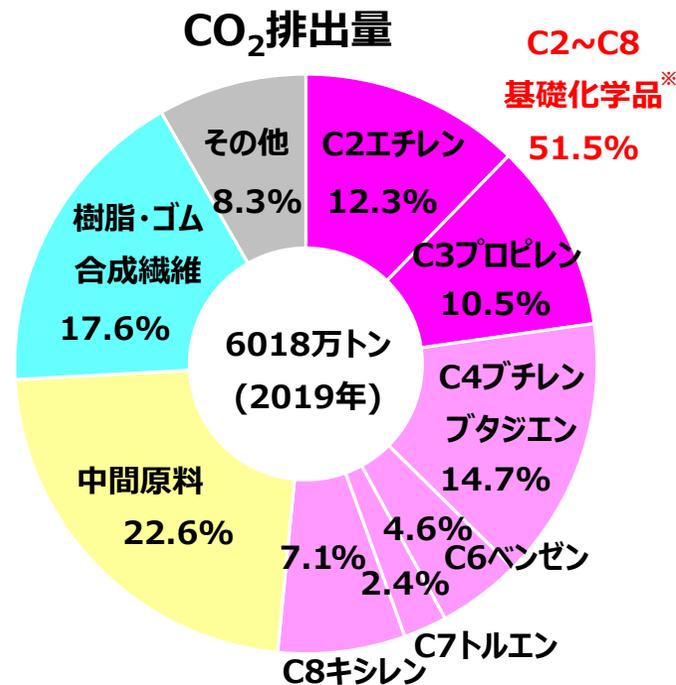
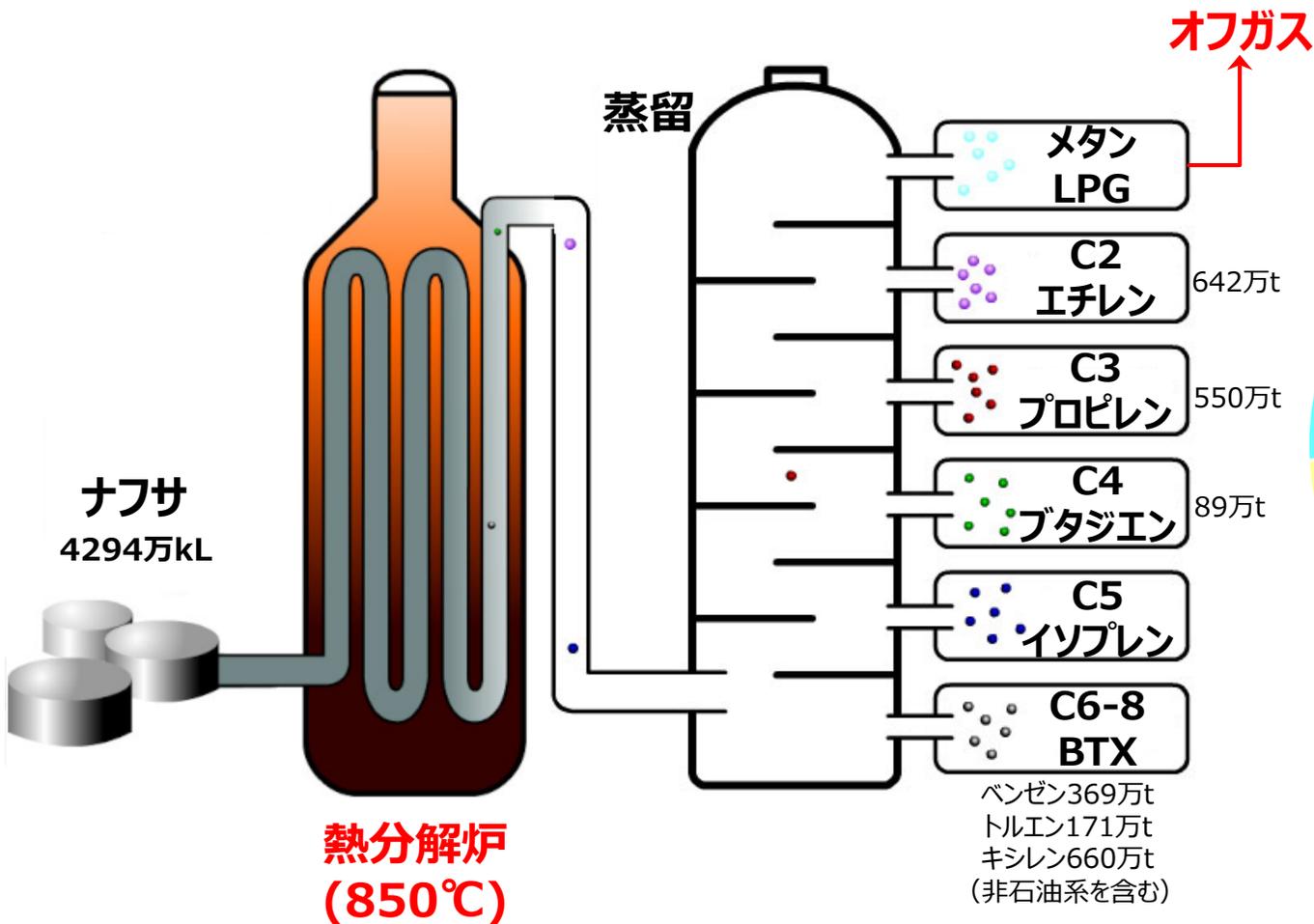
石油精製

ナフサ分解

プラスチック製造

リサイクル

- ナフサを約850℃の高温で分解し、**オレフィン**（C2エチレン、C3プロピレン、C4ブタジエン等）と**BTX**（C6ベンゼン、C7トルエン、C8キシレン）等の**基礎化学品**を製造。
- C2～C8基礎化学品製造で年間3100万トンのCO₂が排出されており、抜本的な対策が必要。



*ナフサ分解炉以外からの排出を含む

石油化学工業協会「石油化学工業の現状2020年」より

「化学品ハンドブック2020」国内生産量に「IDEA v.2.3」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

プラスチック製品と用途

石油精製

ナフサ分解

プラスチック製造

リサイクル

- 主なプラスチック原料はオレフィン（C2エチレン、C3プロピレン、C4ブタジエン）とBTX（C6ベンゼン、C7トルエン、C8キシレン）。特にC2エチレン、C3プロピレンは殆どの樹脂で必要。

ゴム・タイヤ

C4ブタジエン、C5イソブレン※を重合

※天然ゴムを含む

タイヤ、チューブ



ポリウレタン

C7トルエン等から合成



スポンジ、自動車部品

ABS樹脂

C3プロピレン + 窒素とC4ブタジエン、スチレンから合成

家電筐体



PET樹脂、ポリエステル

C2エチレンとC8キシレンから合成

ペットボトル、繊維



ポリスチレン

C2エチレンとC6ベンゼンから合成

CDケース、食品トレイ



ポリエチレン

C2エチレンを重合



レジ袋、ラップ

ポリプロピレン

C3プロピレンを重合

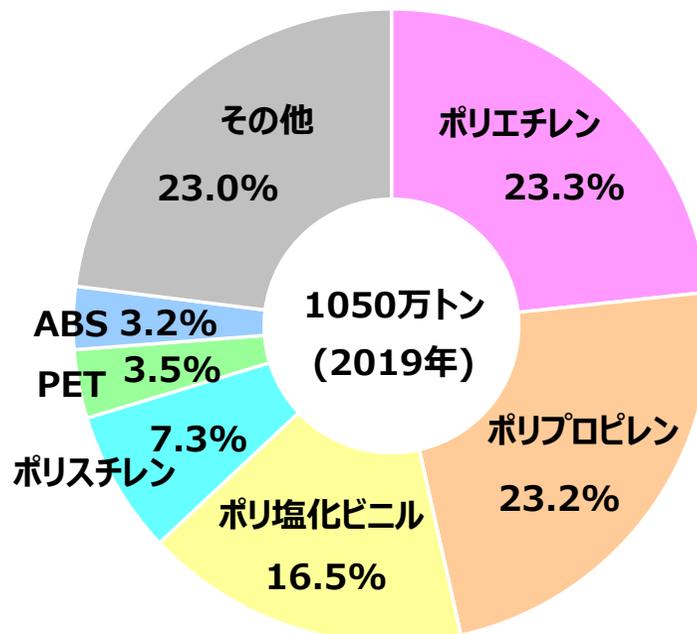


ストロー、医療機器

ポリ塩化ビニル

C2エチレンと塩素から合成

消しゴム、ホース



1050万トン
(2019年)

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
<http://www.pwmi.or.jp/pdf/panf1.pdf>

廃プラスチックのリサイクルと課題

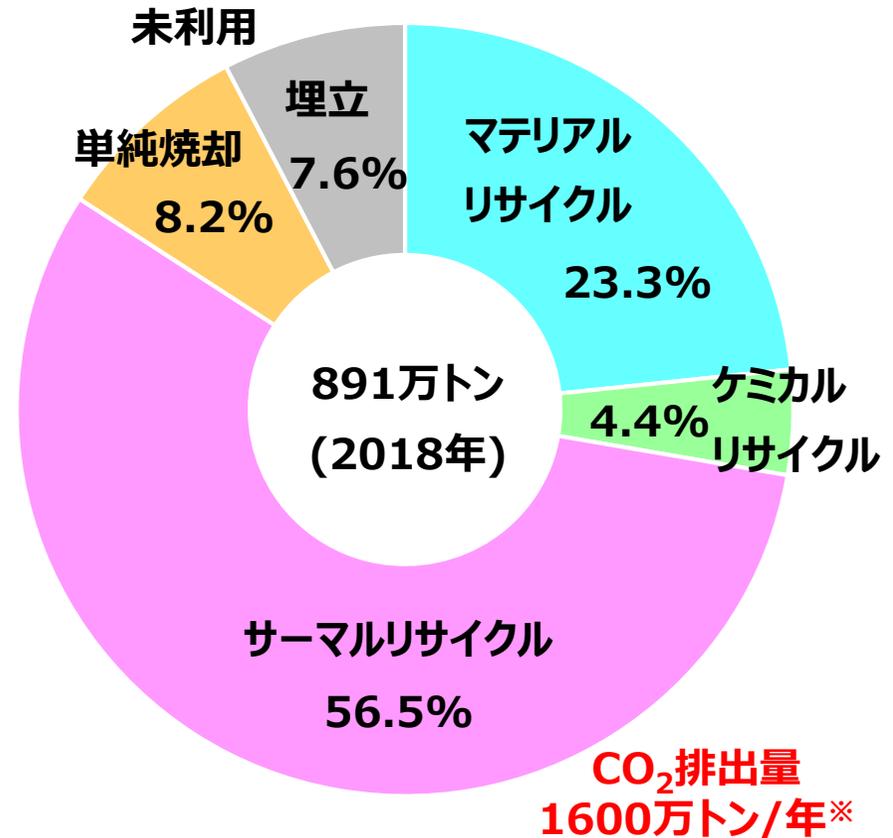
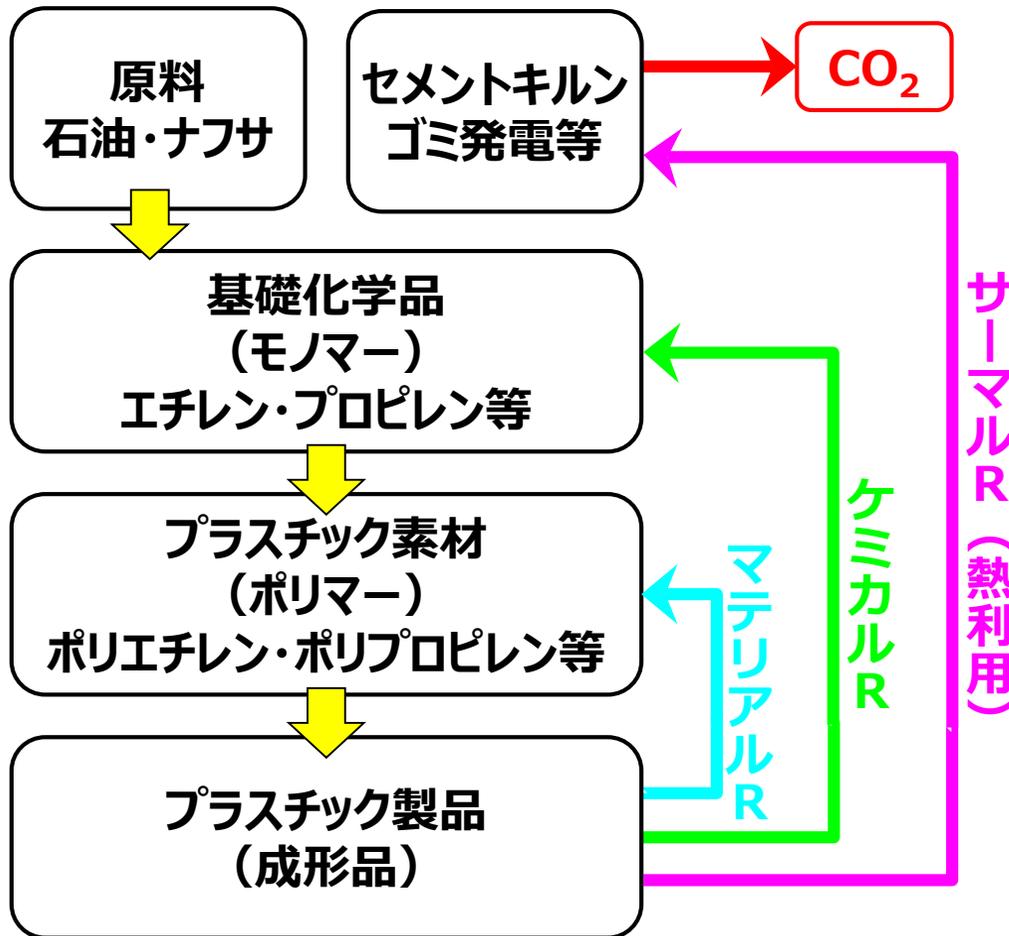
石油精製

ナフサ分解

プラスチック製造

リサイクル

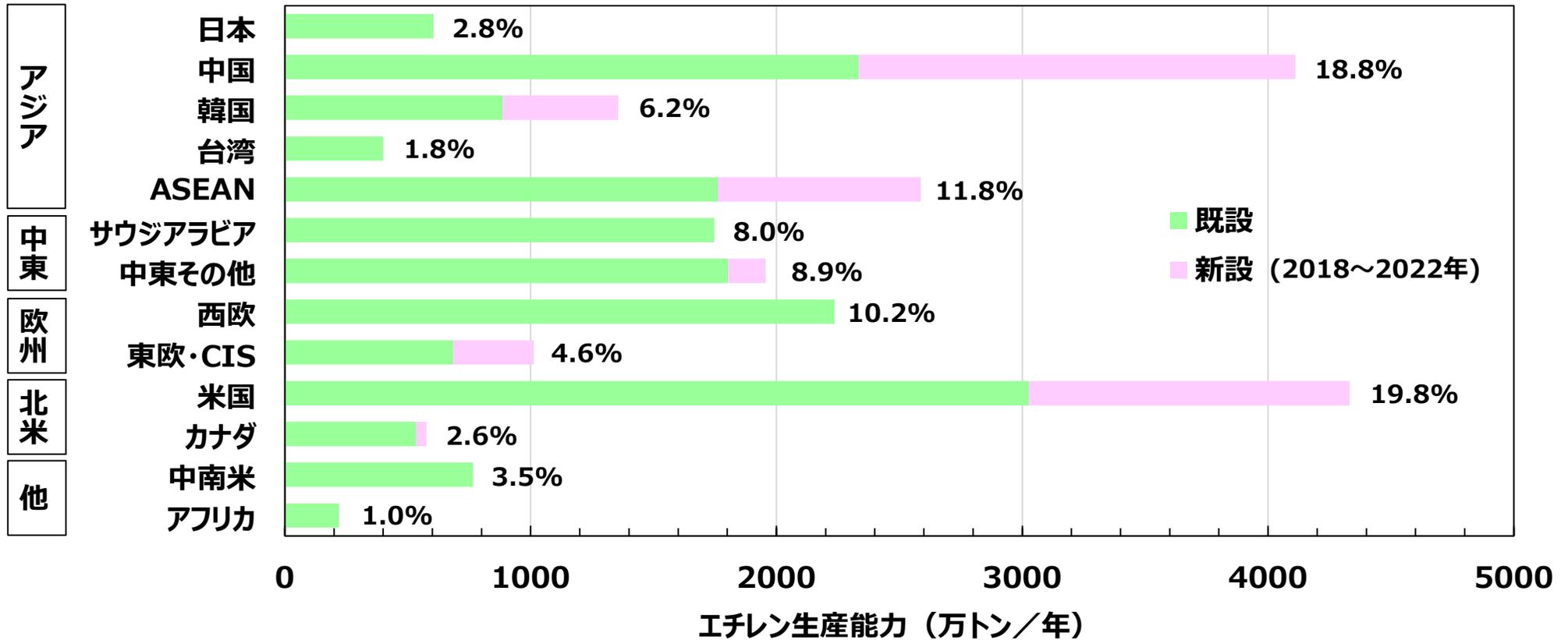
- 年間891万トン排出される廃プラスチックは約84%がリサイクルされているが、この内約57%がごみ焼却発電やセメント製造の熱源として利用（サーマルリサイクル）されている。
- しかし、最終的には単純焼却を含めて年間1600万トンのCO₂として排出されているため、廃プラスチックを元のプラスチック原料に戻すケミカルリサイクル等の技術確立が求められる。



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
<http://www.pwmi.or.jp/pdf/panf1.pdf>
 *一般廃プラスチックの排出係数2.77kg-CO₂/kg-廃プラから算出

世界のプラスチック原料製造プラント

- 世界全体でエチレン生産能力2億1909万トン分のプラスチック原料製造プラントがあり、内4898万トンが2018～2022年に新設（建設中を含む）。
- 日本のシェアは2.8%。中国、韓国、ASEAN、米国でプラスチック原料製造プラントが新設され、シェアを拡大している。



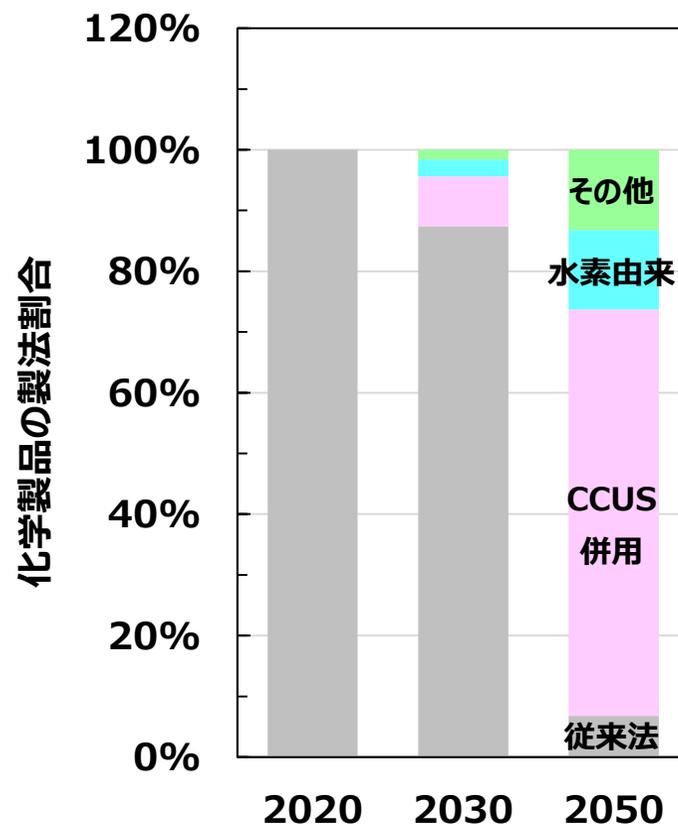
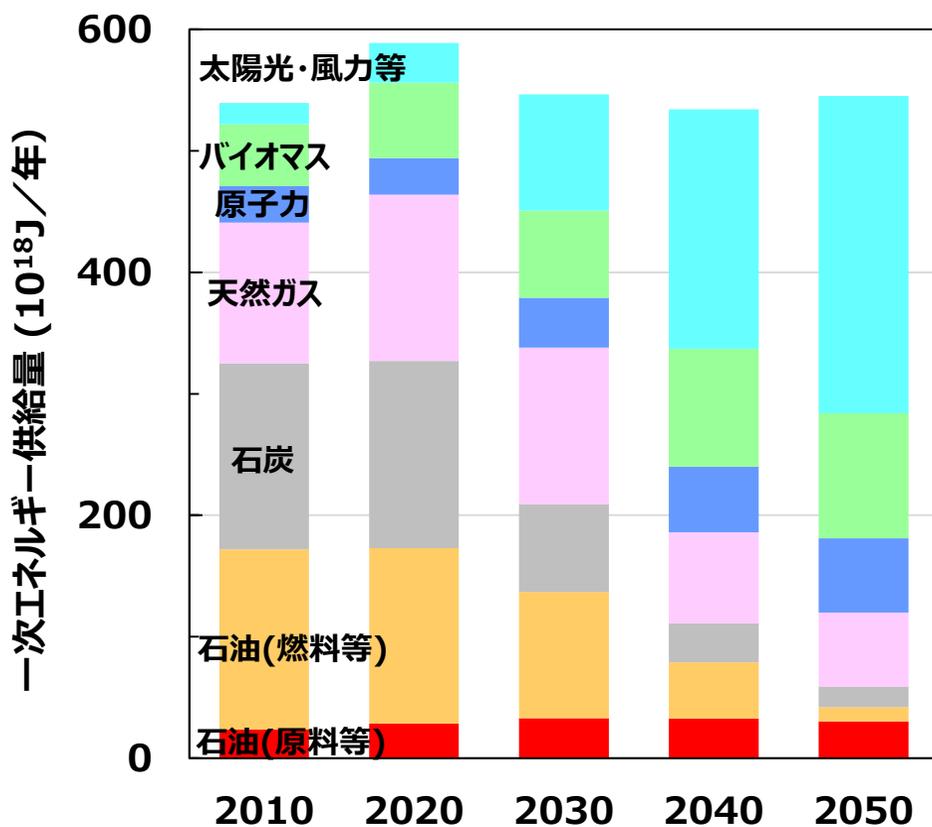
経済産業省「世界の石油化学製品の今後の需給動向(2019年10月)」

https://www.meti.go.jp/policy/mono_info_service/mono/chemistry/sekaijukyudoukou201910.html

世界の一次エネルギー供給量と化学製品の製法割合の予測

- 燃料用途の石油や石炭はバイオマスや太陽光・風力等の再生可能エネルギーに置き換わるが、**プラスチック原料となる石油の需要は横ばい**で、世界的にも当面使い続ける予測になっている。
- 欧州や中東等では**再エネ活用やCO₂回収利用・貯留（CCUS; Carbon Capture Use & Storage）**による削減を見込んでいるが、**日本では場所やコスト面での制約から、水素や廃プラスチック等からの化学品製造の割合を増やす必要がある。**

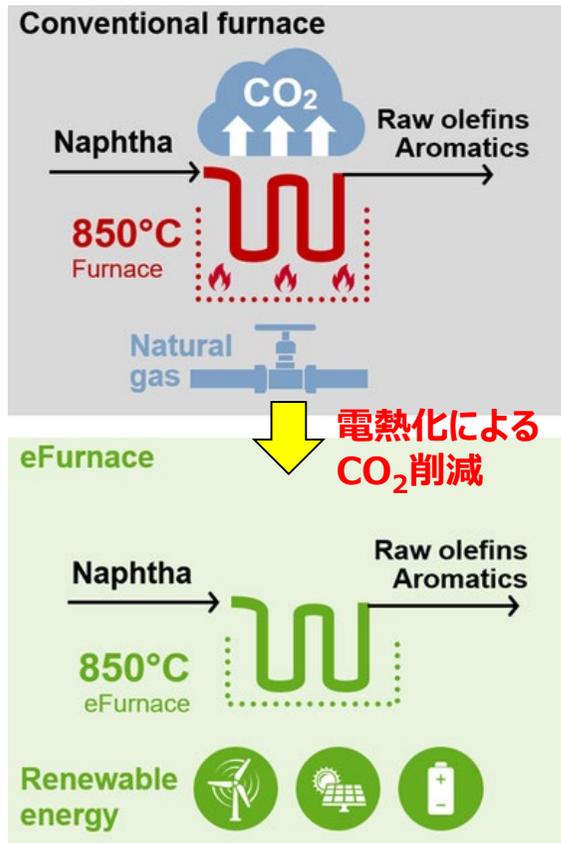
世界のエネルギー需要予測



欧州におけるプラスチック原料製造

- 欧州では、安価な再生電力をナフサ分解炉の熱源として用いる電熱化によるCO₂削減が検討されている。
- また、廃プラスチック・廃ゴムのケミカルリサイクルについても検討が行われており、熱分解プラント等の実証が開始されている。

独BASFのナフサ分解炉

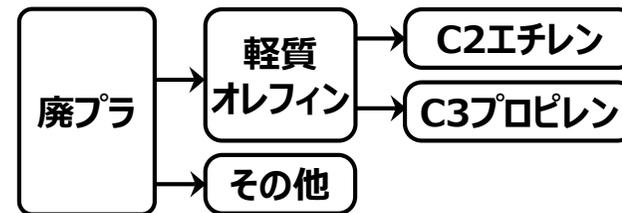


BASFホームページより

ケミカルリサイクル実証



廃プラ熱分解プラント (LyondellBasell社)



<https://www.lyondellbasell.com/en/news-events/corporate--financial-news/lyondellbasell-successfully-starts-up-new-pilot-molecular-recycling-facility/>



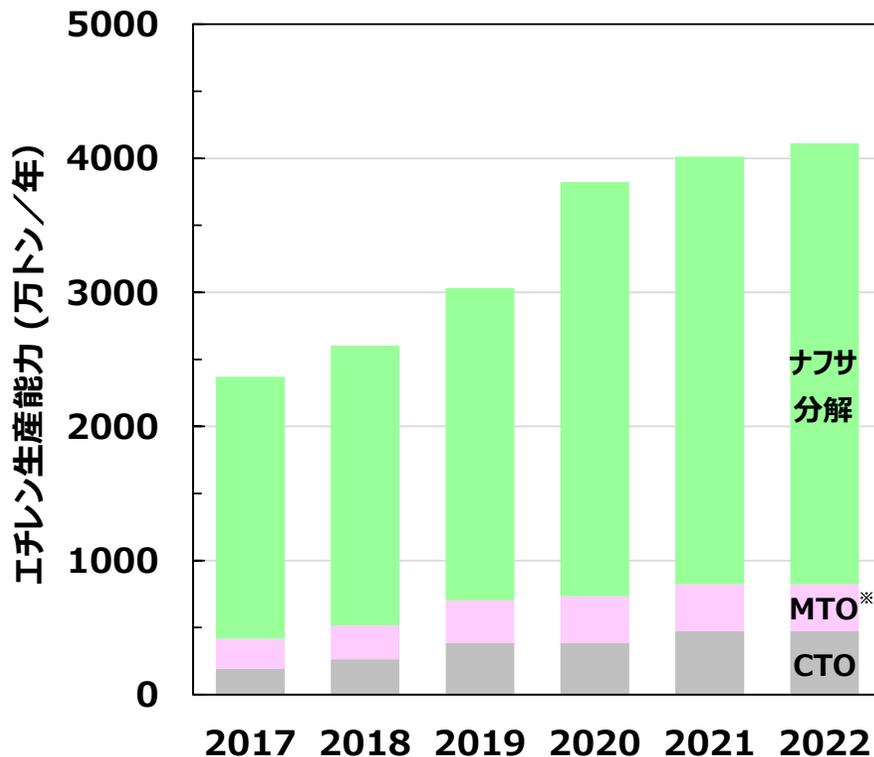
廃ゴム熱分解プラント (Pyrum社)



<https://www.pyrum.net/en/about-us/technology/>

石炭化学（CTO）によるプラスチック原料製造（中国）

- 中国では2022年までにナフサ分解炉が新設されるのに加えて、**473万トン/年分のエチレン等が安価な石炭を原料に用いたCTO（Coal to Olefin）**によって製造される予定。
- 従来ナフサ法と比べてCTOのCO₂排出係数が約**5倍**と大きく、CO₂排出量の削減が課題。

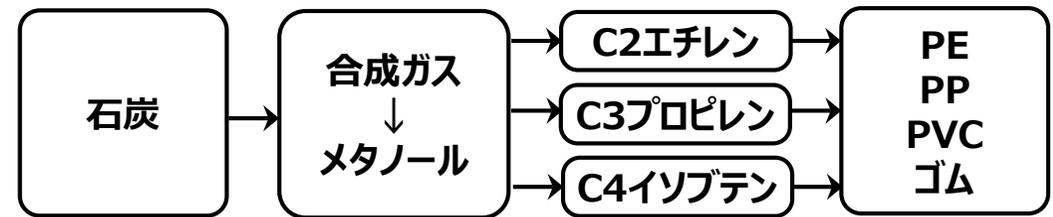


*MTO(Methanol to Olefin)：石炭以外の原料からメタノールを経由してオレフィンを製造



CTOプラント (Shenhua Baotou)

M. Ye, P. Tian, Z. Liu, Engineering 7 (2021) 17.

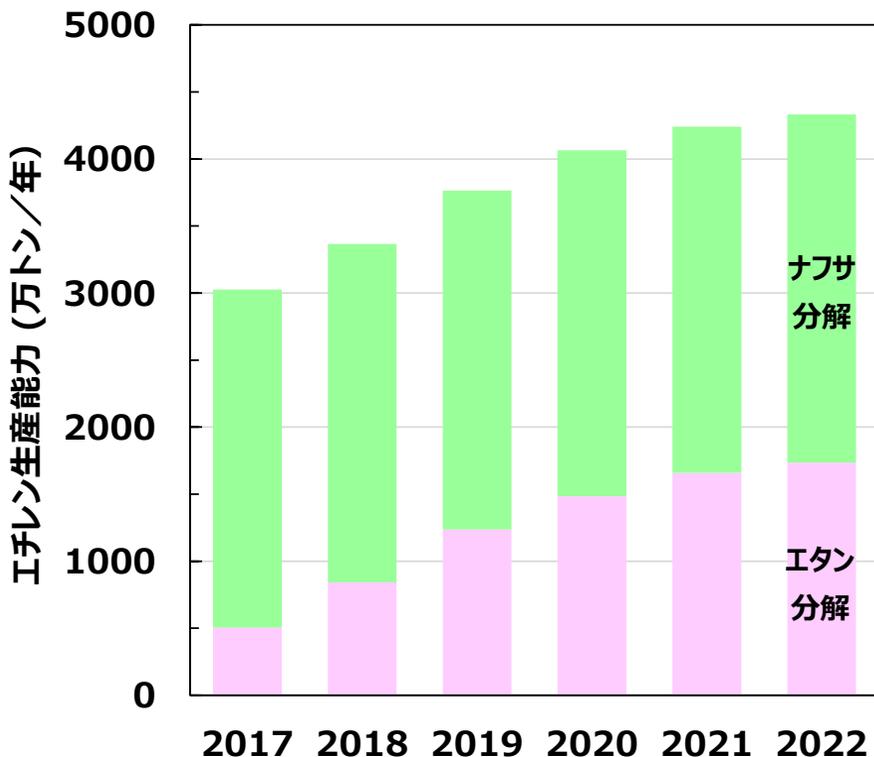


CO₂排出係数（中国国内）

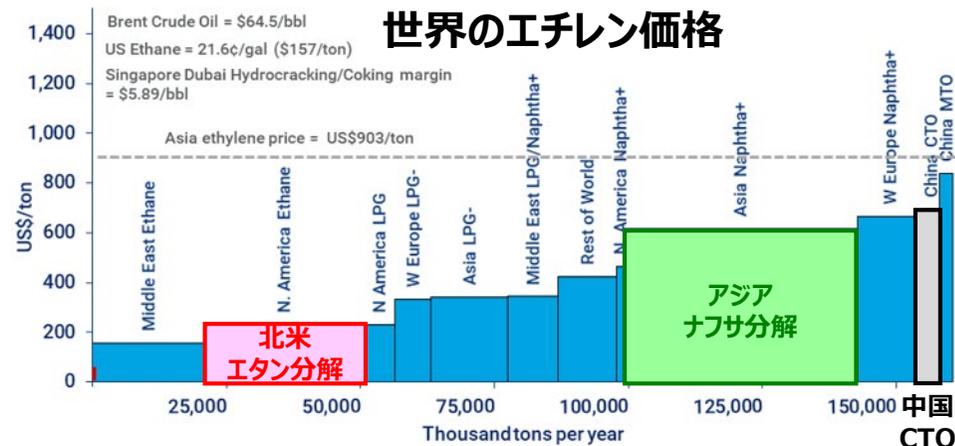
従来ナフサ法	CTO
2kg-CO ₂ /kg-olefin	10 kg-CO ₂ /kg-olefin

シェールガス（エタン分解）によるプラスチック原料製造（米国）

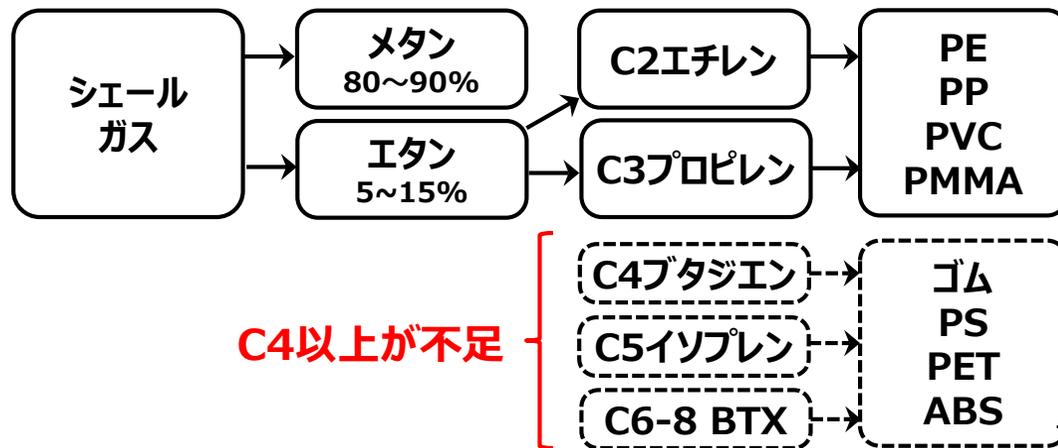
- 米国では、2022年までに1230万トン/年分のエチレン等がシェールガスから得られるエタンの分解によって製造される予定。
- 従来ナフサ法と比べてエチレン価格が安く、高い国際競争力を武器に攻勢を強めている。
- 一方、エタンからC4以上のオレフィンを得るのが難しく、ゴム原料等が不足する可能性がある。



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)」

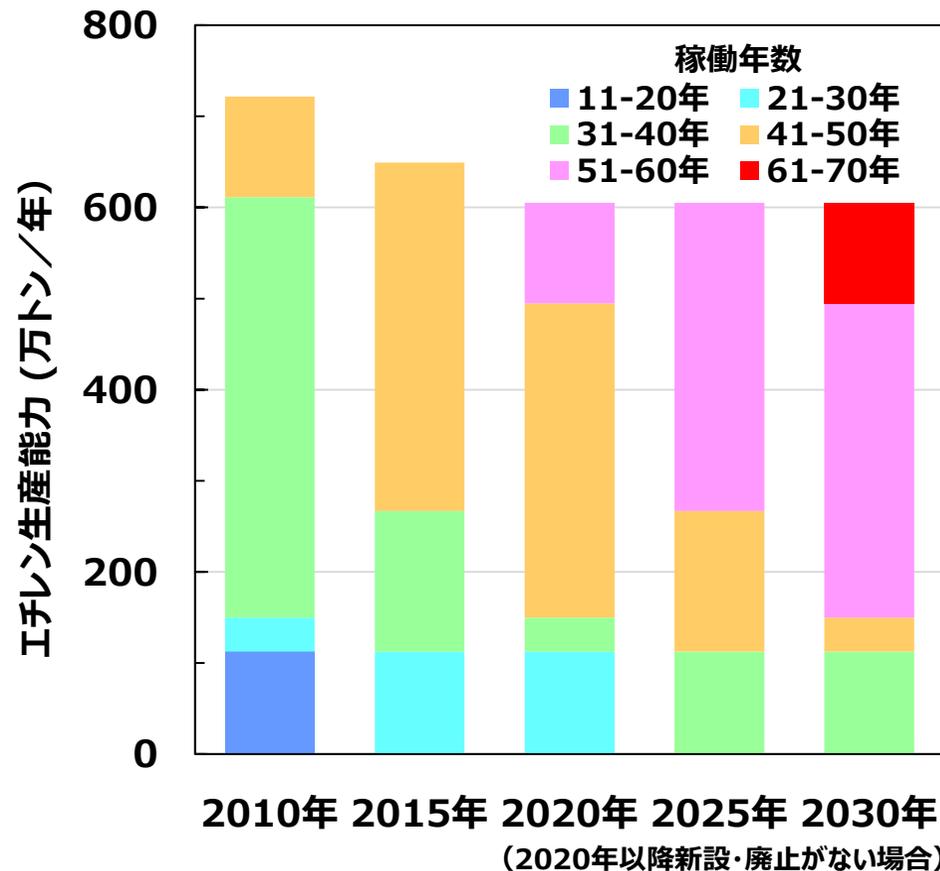
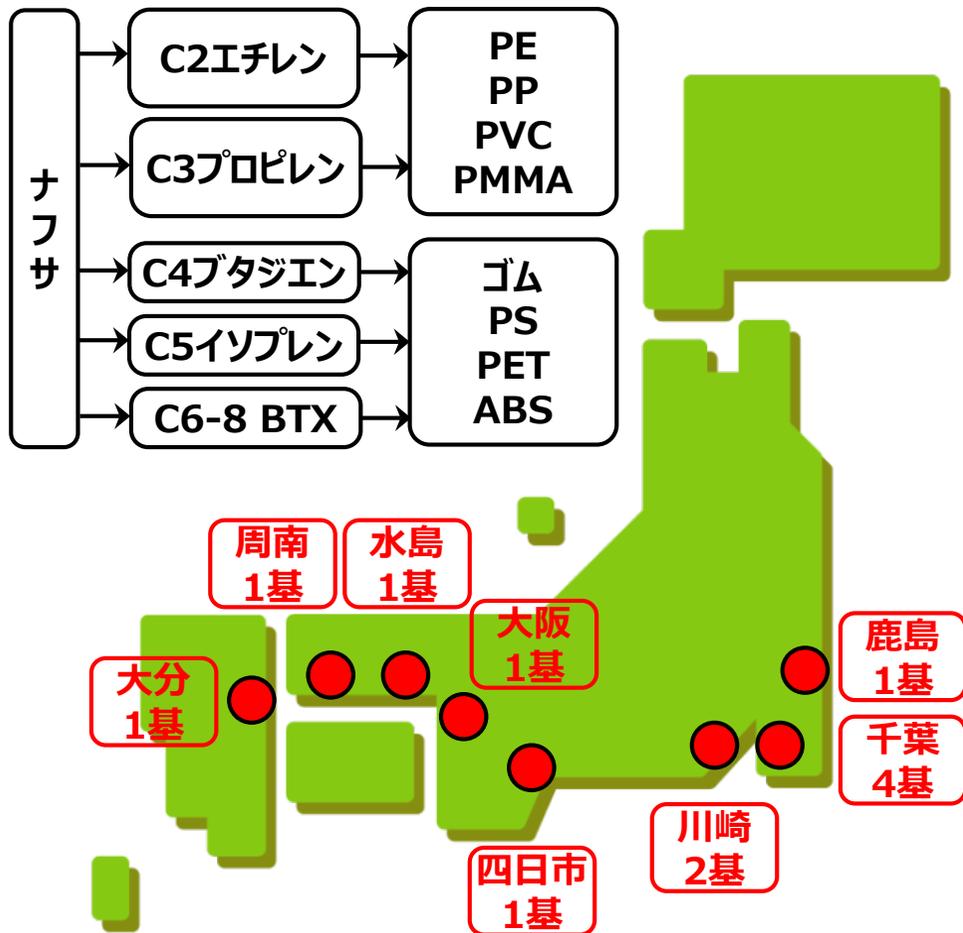


Wood Mackenzie Why crude-to-chemicals is the obvious way forward
<https://www.woodmac.com/news/opinion/why-crude-to-chemicals-is-the-obvious-way-forward/>



国内のナフサ分解炉

- 国内では**12基**のナフサ分解炉が稼働しており、年間4290万トンのナフサから約**600万トン**のエチレンを生産する能力があり、**C2~5のオレフィン**、**C6~8のBTX**をバランス良く生産している。
- 稼働から**45年以上**が経過するプラントが半数を占め、老朽化が課題。



「日本の石油化学工業50年データ集」より

各国との比較から日本が取るべき戦略

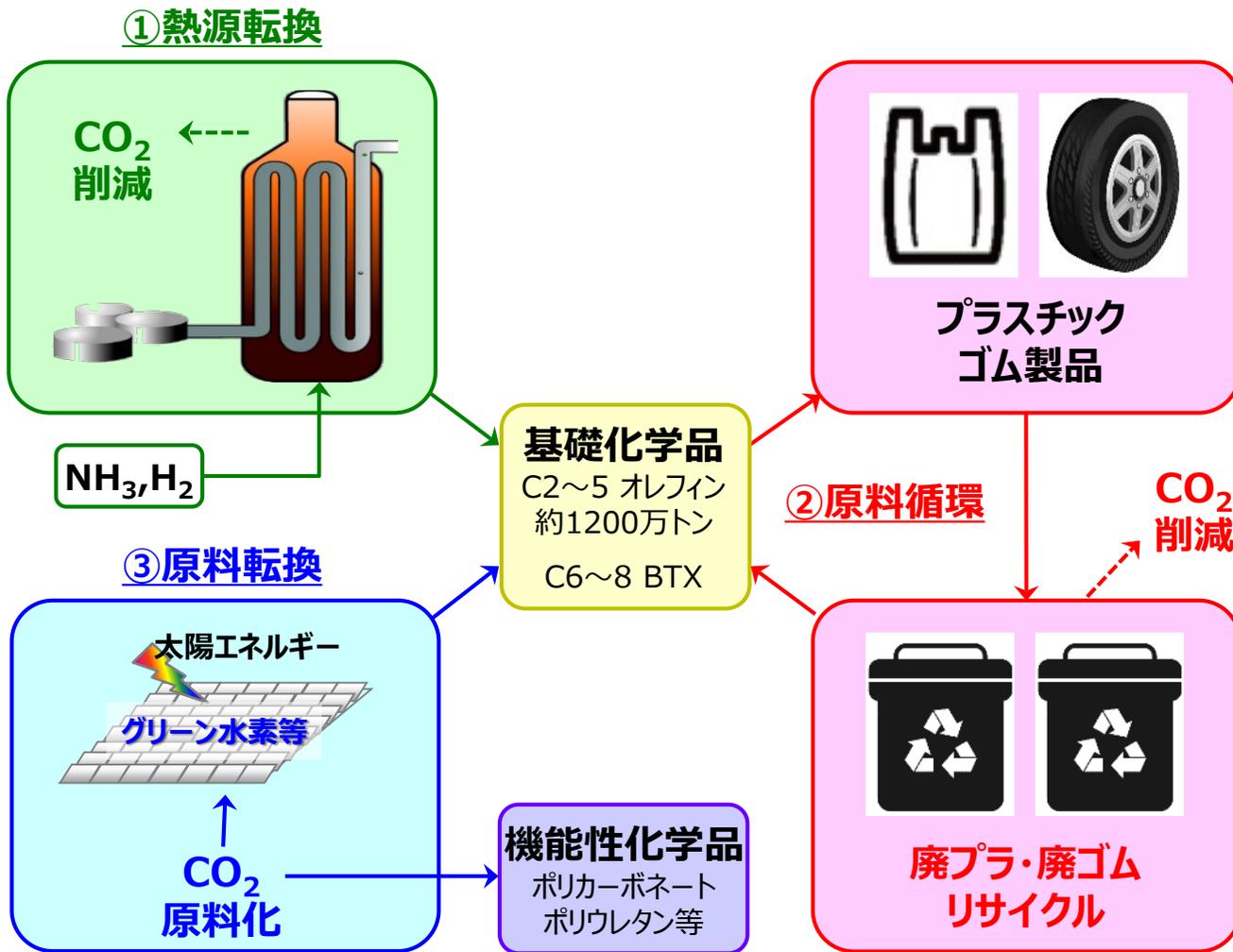
	ナフサ分解（日本）	CTO（中国）	エタン分解（米国）
製法	<pre> graph LR Naphtha[ナフサ] --> C2[C2エチレン] Naphtha --> C3[C3プロピレン] Naphtha --> C4[C4ブタジエン] Naphtha --> C5[C5イソプレン] Naphtha --> C6[C6-8 BTX] </pre>	<pre> graph LR Coal[石炭] --> SG[合成ガス] Coal --> MeOH[メタノール] SG --> C2[C2エチレン] SG --> C3[C3プロピレン] SG --> C4[C4イソブテン] MeOH --> BTX[BTX] Note[BTXは分解油等から製造] </pre>	<pre> graph LR Shale[シェールガス] --> Meth[メタン 80~90%] Shale --> Eth[エタン 5~15%] Meth --> C2[C2エチレン] Eth --> C3[C3プロピレン] Eth --> C4[C4ブタジエン] Eth --> C5[C5イソプレン] Eth --> C6[C6-8 BTX] Note[C4以上が不足] </pre>
強み	<ul style="list-style-type: none"> ナフサ分解炉では、C2～5オレフィン、C6～8BTXをバランス良く得ることができ、プラスチック原料からゴム原料まで幅広く製造可能 	<ul style="list-style-type: none"> 安価で豊富な石炭を原料として使用可能 メタノール to オレフィン(MTO)の技術開発が進んでいる 	<ul style="list-style-type: none"> 豊富なシェールガスから生産されるエチレンが安価 プラスチック原料のエチレン、プロピレンの大量製造にメリット
弱み	<ul style="list-style-type: none"> ナフサ分解炉の稼働年数が長くなり、老朽化対策が課題 	<ul style="list-style-type: none"> CTOのCO₂排出係数が従来ナフサ法の5倍と大きい 合成メタノールが高価 	<ul style="list-style-type: none"> C4以上のオレフィンを得るのが難しく、ゴム原料等が不足する恐れも

【戦略1】 ナフサ分解炉の老朽化対策を克服しつつ、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、BTX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。

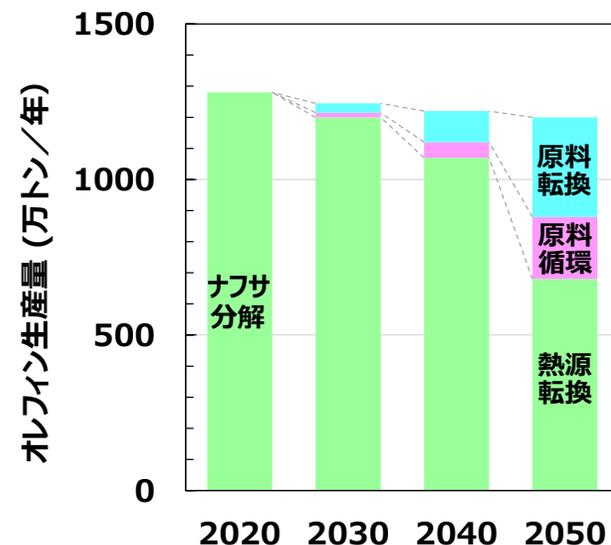
【戦略2】 化学業界で一般的に行われているライセンスビジネスの強化により、日本の最先端技術を海外で幅広く展開。

【戦略1】レトロフィットな生産体制の維持とカーボンニュートラルへの貢献

- ナフサ分解炉の老朽化対策を克服しつつ、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、BTX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。



基礎化学品製造 トランジションイメージ

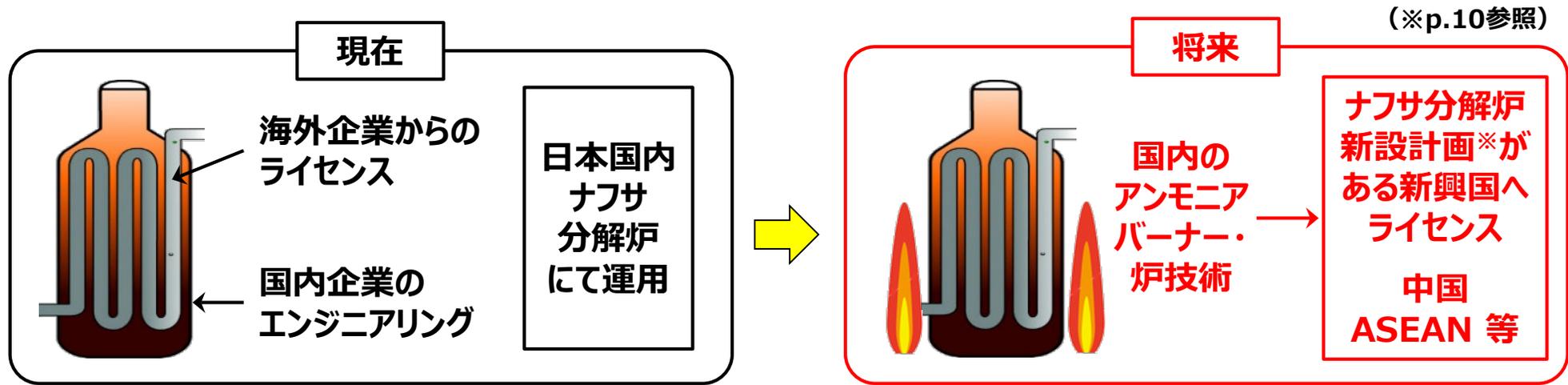


上図は石油製品の生産状況や技術進展等によって割合は変化するものの、基礎化学品の生産とカーボンニュートラルの両立、海外展開等の多面的な対応が取れる体制を目指す。

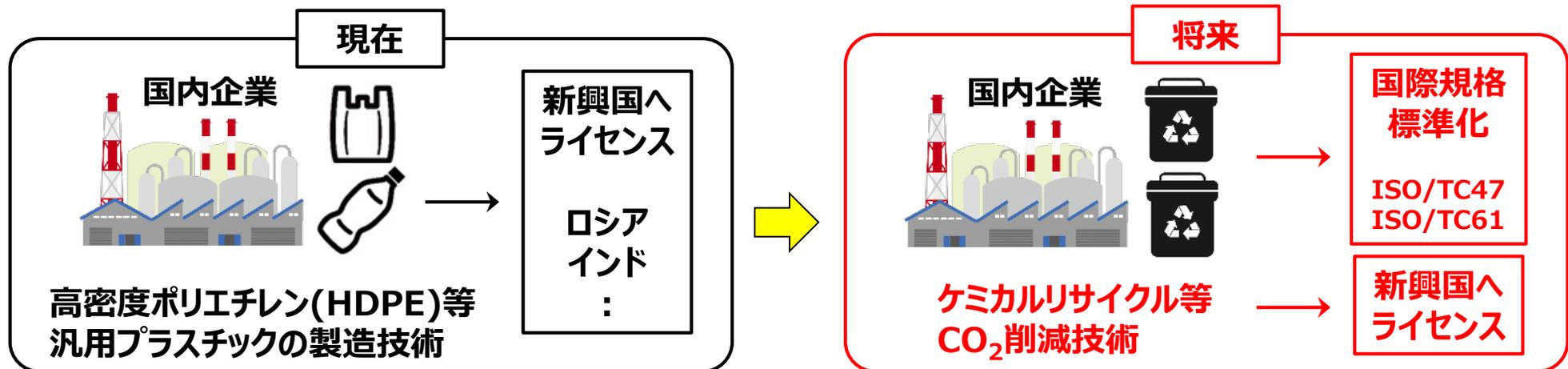
【戦略2】カーボンリサイクルプラスチック原料製造技術の海外展開

- 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を日本が積極的に獲得。

ナフサ分解炉の高度化技術



廃プラ・廃ゴムからの化学品製造技術



プロジェクト組成にあたっての考え方

- **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。**
- **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。**
- **国が委託するに足る革新的な研究開発要素を含み、2050年にカーボンニュートラルを実現するための目標（性能、コスト、生産性、導入量、CO₂削減量等）を設定する。**
- **プロジェクト後期において社会実装に向けた大規模実証を行うこととし、プロジェクト開始時、及び事業化段階の切れ目において設定したキーマイルストーン・ステージゲートにおいて、技術成熟度レベル(TRL)を評価し、開始・継続可否を判断する。**

カーボンリサイクルプラスチック原料製造技術の工程表（詳細版）

●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	・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 熱分解油の原料化	・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	・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)	・ガス化、油化技術商用化 ・サーマル→ケミカルR転換 ・熱分解(オレフィン)技術商用化	・既製品と同価格を実現
3. CO ₂ から機能性化学品製造	・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	・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	・収率80%以上のMTO触媒開発(TRL5) ・実証開始段階(TRL4)	・10万トン級MTOを実証 (TRL7) ・エタノール合成触媒開発 ・ETO触媒開発(TRL5)	・MTO商用化 ・グリーン、ブルー水素利用 ・10万トン級ETOを実証 (TRL7)	・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

アルコール原料の共用

カーボンリサイクルプラスチック原料製造のアウトプット目標

①アウトプット目標（設定の考え方は次ページ以降に掲載）

- 従来プロセスのCO₂排出量※を参考にして、目標値を設定。

※IEA The Future of Hydrogen - Data and assumptions、IDEA v.2.3より算出

- CO₂排出量以外の技術目標（収率、規模、コスト等）については、p.27以降に記載。

	従来プロセス	開発プロセス目標	CO ₂ 削減効果 (左の差分)
1.ナフサ分解炉の高度化	従来法(C2,C3) : 1.15kg-CO ₂ /kg-オレフィン	熱源CN化 : 0.35kg-CO₂/kg-オレフィン	0.8
2.廃プラ・廃ゴムからの化学品製造	従来法 : C2-3 : 1.6kg-CO ₂ /kg-オレフィン C4 : 2.1kg-CO ₂ /kg-オレフィン	廃プラ、廃ゴム : C2-3 : 0.8kg-CO₂/kg-オレフィン C4 : 1.2kg-CO₂/kg-オレフィン	C2-C3 : 0.8(+2.5 ³) C4 : 0.9(+2.4 ⁴) (プラス分は焼却CO ₂ 回収量)
3.CO ₂ から機能性化学品製造	ホスゲン製造 : 0.95kg-CO ₂ /kg-DRC ¹ 0.45kg-CO ₂ /kg-MDI ²	CO ₂ 原料化 : -0.35kg-CO₂/kg-DRC,MDI	DRC : 1.3 HDI : 0.8
4.グリーン水素等からの化学原料製造	光触媒変換効率 : 7% 水蒸気改質 : 8.9kg-CO ₂ /kg-H ₂	光触媒変換効率 : 10% グリーン、ブルー水素製造 0kg-CO₂/kg-H₂	8.9
アルコール類からの化学品製造	従来法(C2,C3) : 1.6kg-CO ₂ /kg-オレフィン	MTO : 0kg-CO₂/kg-オレフィン ETO : 0kg-CO₂/kg-オレフィン	MTO : 1.6 ETO : 1.6

¹DRC : ジアルキルカーボネート（ポリカーボネート、ポリウレタン原料）

²MDI : ジフェニルメタンジイソシアネート（ポリウレタン原料）

³一般廃プラスチックのCO₂排出係数（環境省）

⁴合成ゴムのCO₂排出係数（日本自動車タイヤ協会）

カーボンリサイクルプラスチック原料製造のアウトカム目標

②アウトカム目標

- 2030, 2050年のCO₂削減量は、実証規模や導入規模（想定）から算出。
- 2050年の市場規模は、現在と同程度と想定。2030年実証規模は、2050年導入規模の3%程度。

		CO ₂ 削減係数 (kg-CO ₂ /kg)	2030年		2050年	
			実証規模 (万トン)	CO ₂ 削減量 (万トン)	導入規模 (万トン)	CO ₂ 削減量 (万トン)
ナフサ分解炉の高度化技術		0.8	–	–	680	544
廃プラ・廃ゴムからの化学品製造	廃プラ	3.3	4	13.2	100	330
	廃ゴム	3.3	10.2	33.7	100	330
CO ₂ 等からの化学品製造	DRC	1.3	0.3	0.4	50	68
	MDI	0.8	10	0.8	50	40
アルコール類からの化学品製造	グリーン水素	8.9	0.416	3.7	150	1335
	MTO	1.6	20	32.0	220	352
	ETO	1.6	10	16.0	100	160
国内のCO ₂ 削減量				107.0		3159
世界のCO ₂ 削減量				0.4億トン		11億トン
国内の経済効果				0.3兆円		10兆円
世界の経済効果				10兆円		360兆円

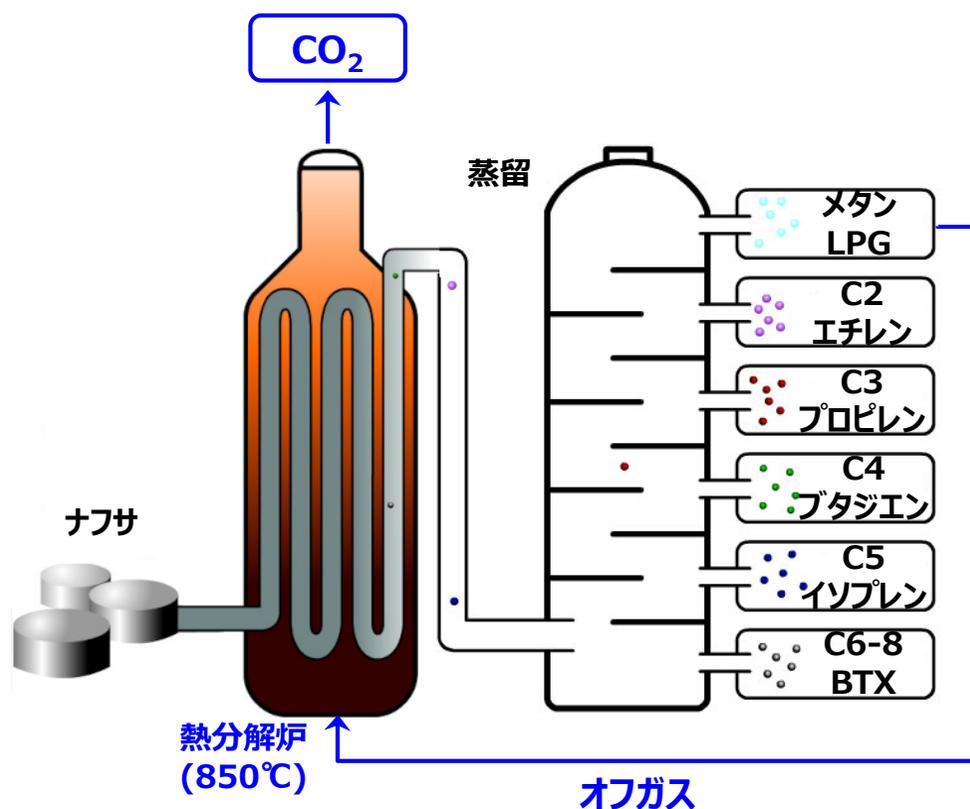
目次

- カーボンリサイクル（化学品分野）の開発意義
- 研究開発項目 1：ナフサ分解炉の高度化技術の開発
- 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
- 研究開発項目 3：CO₂からの機能性化学品製造技術の開発
- 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
- 研究開発スケジュールと社会実装ロジックモデル

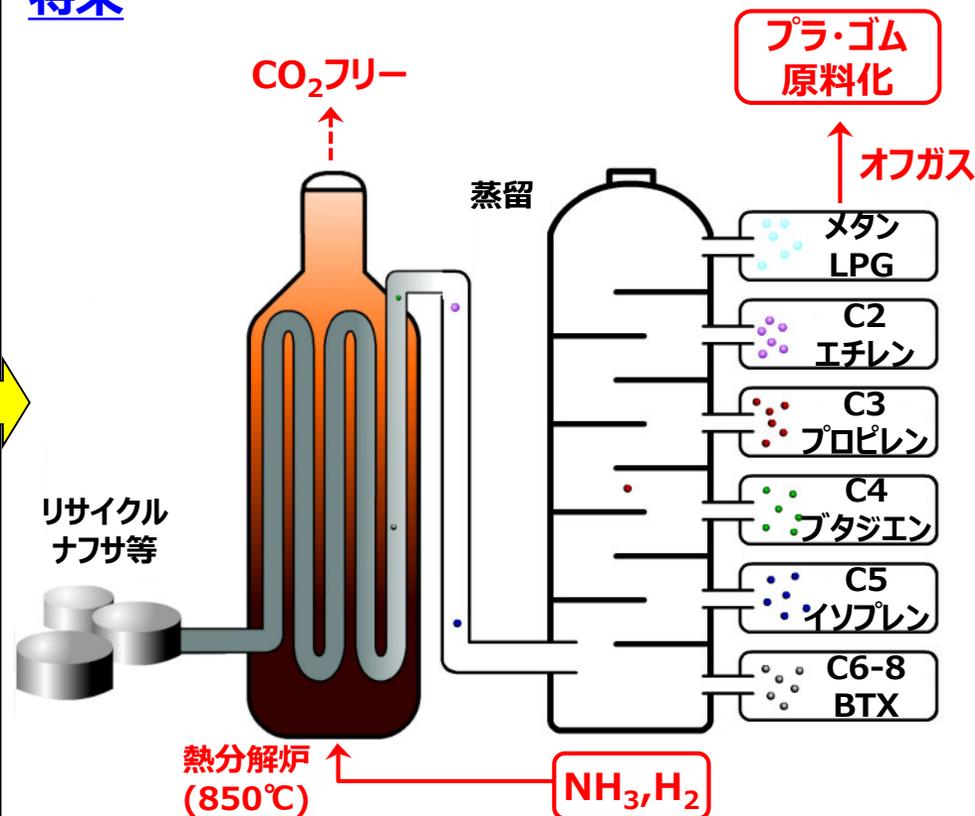
【研究開発項目1】 ナフサ分解炉の高度化技術の開発

- ナフサ分解炉では、オレフィン（C2エチレン、C3プロピレン、C4ブタジエン等）やBTX（C6ベンゼン、C7トルエン、C8キシレン）等の基礎化学品の他、メタン等のオフガスが得られ、ナフサ分解炉を850℃に維持するための熱源として利用されている。
- オフガス燃焼はCO₂排出源になっているため、熱源のカーボンニュートラル化、及びオフガスの原料化に取り組む。

現状



将来



【研究開発項目1】 ナフサ分解炉の高度化技術の開発

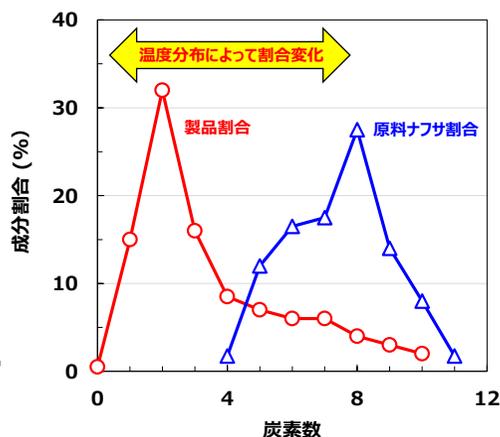
- アンモニア(水素)燃焼については工業炉やタービン、エンジン等で実証実績があるものの、**ナフサ分解炉では温度分布の変化によって得られる基礎化学品の割合が変わるため、より繊細な制御が必要。**
- 本事業では、**ナフサ分解炉に適したアンモニア(水素)燃焼バーナー及び炉等を開発し、2030年までに1万トン/年スケール試験炉を実証し、国内・海外展開に向けた検討を行う。**

開発のポイント

一般的な工業炉と比べると巨大(高さ約10m)であり、**燃焼条件が異なるアンモニア(水素)でも温度分布がより均一な炉を開発する必要がある。**

温度分布が不均一になると

- オレフィン割合変化、収率低下
- 反応管内の炭素析出等により設備稼働率低下



化学工業会「Web版 化学プロセス集成」より

ナフサ分解炉の内部写真



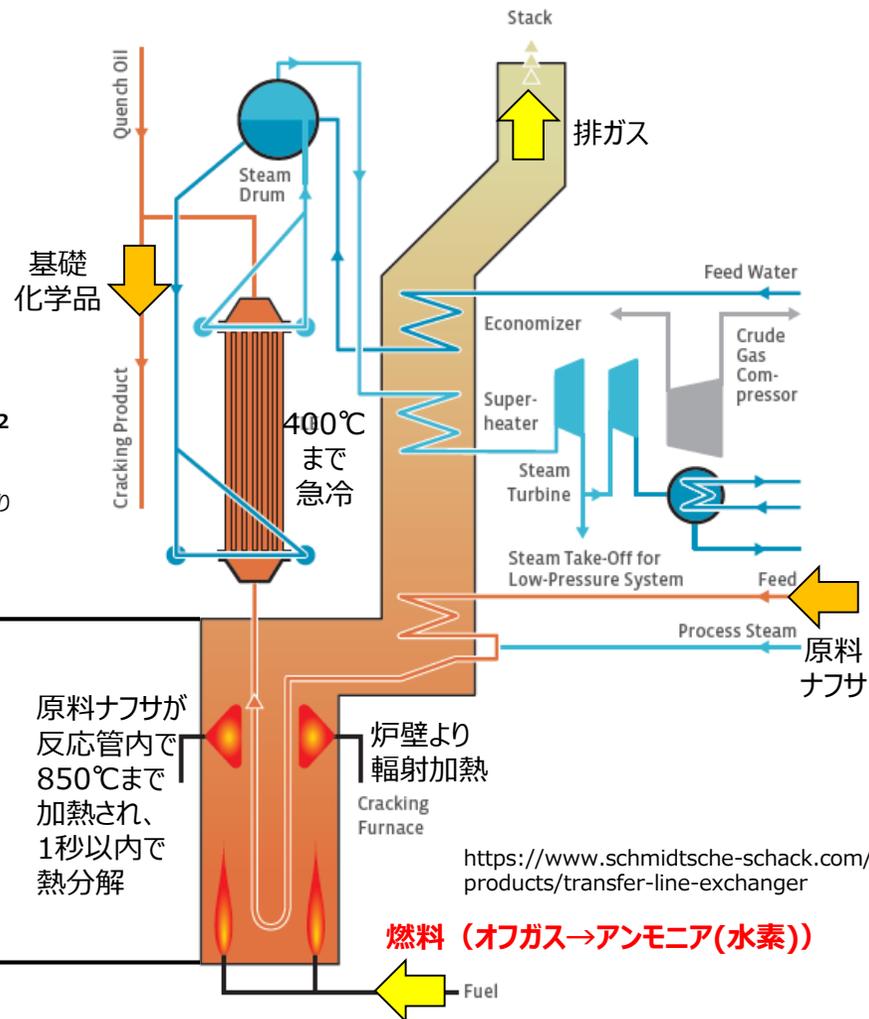
ナフサ分解炉
高さ約10m

原料ナフサが反応管内で850℃まで加熱され、1秒以内で熱分解

炉壁より輻射加熱
Cracking Furnace

<https://www.schmidtsche-schack.com/products/transfer-line-exchanger>

燃料 (オフガス→アンモニア(水素))



<https://www.essentialchemicalindustry.org/processes/cracking-isomerisation-and-reforming.html>

【研究開発項目1】 ナフサ分解炉の高度化技術の開発

【研究開発（アウトプット）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、プロピレン等の基礎化学品製造時に排出されるCO₂を0.35kg-CO₂/kg-オレフィン以下にする技術を実現。1万トン/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。

【目標設定の考え方】

- 石油精製分を除くと、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-オレフィンのCO₂を排出しているが、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。
- 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から構成されており、最小単位となる1万トン/年スケール試験炉の実証を目指す。

【目標達成の評価方法】

- 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。
- アンモニア(水素)等－オフガス混焼割合、アンモニア(水素)等専焼への移行等を踏まえて、CO₂削減効果を評価する。

【研究開発内容（例）】

- ・ 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【委託→補助】

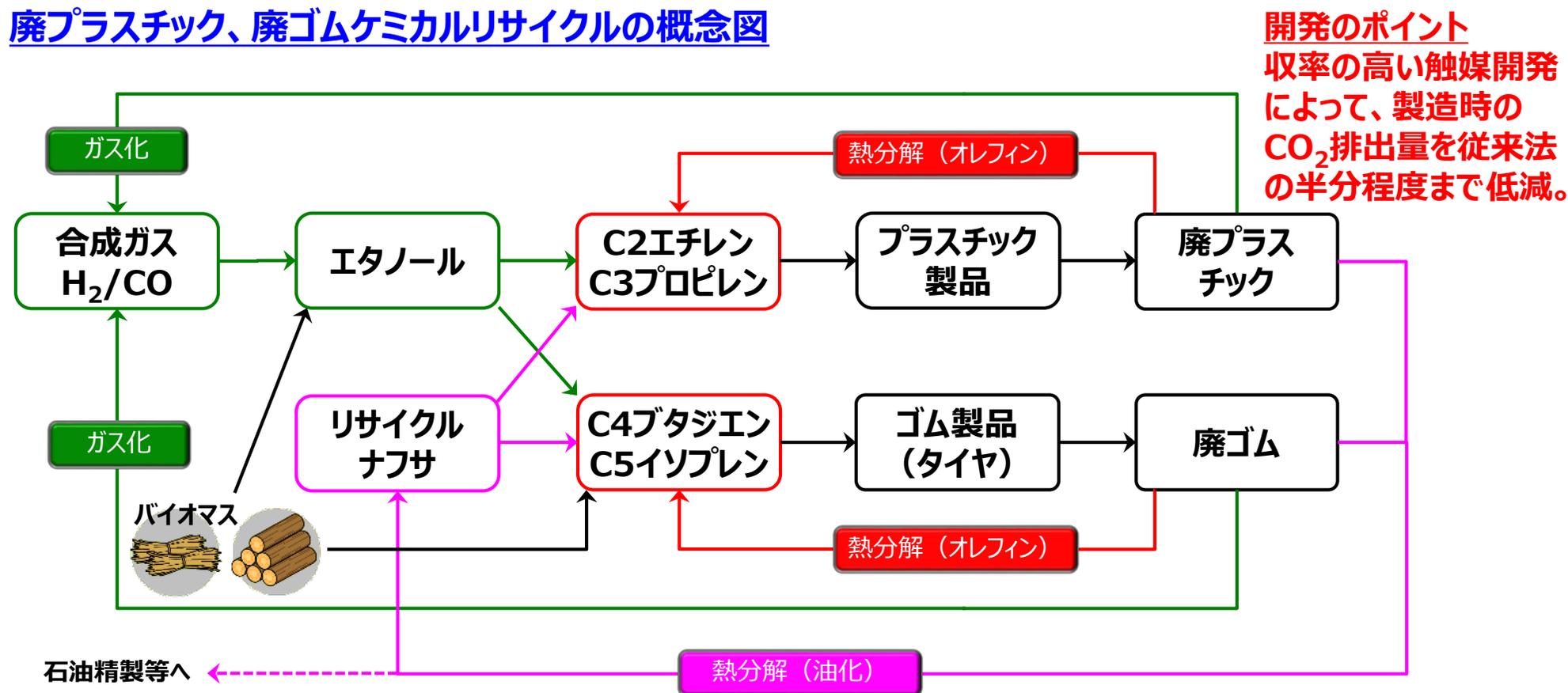
目次

- カーボンリサイクル（化学品分野）の開発意義
- 研究開発項目 1：ナフサ分解炉の高度化技術の開発
- 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
- 研究開発項目 3：CO₂からの機能性化学品製造技術の開発
- 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
- 研究開発スケジュールと社会実装ロジックモデル

【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

- 廃プラスチックや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**合成または**油化**する方法等があるが、いずれもポリスチレンやPET等一部のプラスチックにしか適用されておらず、**ケミカルリサイクルされている廃プラスチック等は全体の約3%に留まっている**。
- 本事業では、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%**で製造するケミカルリサイクル技術等を確立し、2030年までに**数千~数万トン/年スケールの実証**を行う。

廃プラスチック、廃ゴムケミカルリサイクルの概念図



【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

- 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、現時点では海外でも競争状態にある。
- 本事業では、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技術成熟度（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。

	ガス化	熱分解（油化）	熱分解（オレフィン）
強み	<ul style="list-style-type: none"> ● 木質バイオマス等との混合原料が使用可能 ● ポリ塩化ビニル(PVC)の前処理が不要 	<ul style="list-style-type: none"> ● 混合廃プラを原料として使用可能 ● 得られた熱分解油を既存のナフサ分解炉にて利用可能 	<ul style="list-style-type: none"> ● 分別廃プラであれば、着色物や汚染物の影響を受けにくい ● 他のケミカルリサイクルより低コスト、低CO₂の可能性あり
弱み	<ul style="list-style-type: none"> ● 純酸素が高コスト ● CO₂削減効果が小さい（ガス化にエネルギーが必要、副生CO₂が発生） 	<ul style="list-style-type: none"> ● 現状ではナフサ収率が低いため、ナフサ分解炉で利用するための精製が必要 ● PVCの前処理が必要 	<ul style="list-style-type: none"> ● 廃プラの分別が必要（現状ではPS, PETのみ対応可） ● 分解温度が高いPE、PPへの適用が難しい
海外での取り組み企業	<ul style="list-style-type: none"> ● Enerkem（カナダ） ● Air Liquide（フランス） ● Nouryon（オランダ） 	<ul style="list-style-type: none"> ● LyondellBasell（ドイツ） ● BASF（ドイツ） ● Sabic（サウジアラビア） ● Borealis（オーストリア） ● Dow, Shell（アメリカ） 	<ul style="list-style-type: none"> ● Loop Industries（カナダ） ● Agilyx（アメリカ） ● Pyrowave（カナダ）

【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

【研究開発（アウトプット）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確立。数千～数万トン/年スケールの実証で、現行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。

【目標設定の考え方】

- エチレン、プロピレンは1.6kg-CO₂/kg-オレフィン、ブタジエンは2.1kg-CO₂/kg-オレフィンのCO₂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：0.8kg-CO₂/kg-オレフィン、ブタジエン：1.2kg-CO₂/kg-オレフィン）までCO₂排出量を削減する。
- 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、現行リサイクルプラスチック比2割減を設定する。

【目標達成の評価方法】

- 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排出量等技術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。

【研究開発内容（例）】

- ・ 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

【委託→補助】

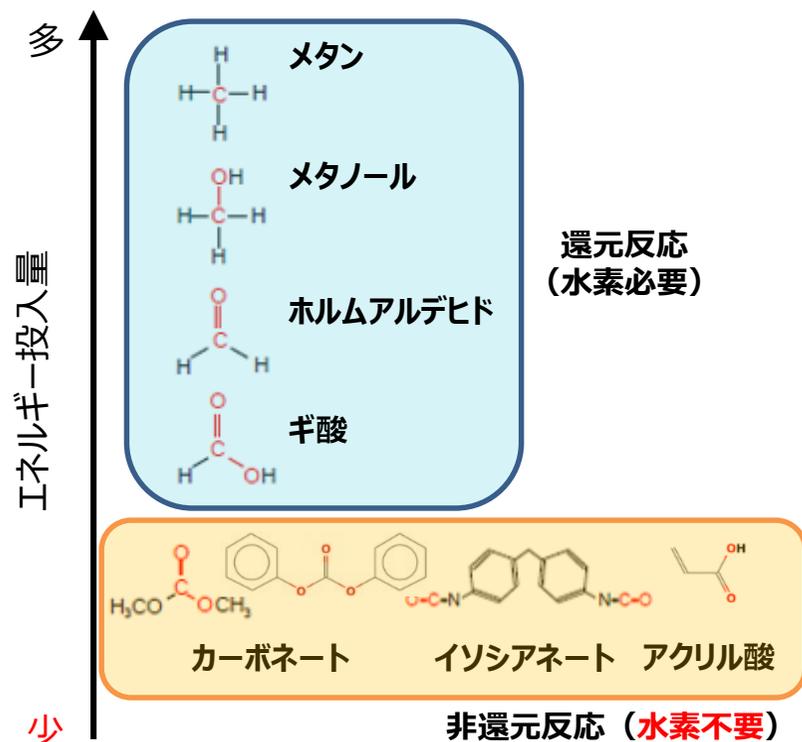
目次

- カーボンリサイクル（化学品分野）の開発意義
- 研究開発項目 1：ナフサ分解炉の高度化技術の開発
- 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
- 研究開発項目 3：CO₂からの機能性化学品製造技術の開発
- 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
- 研究開発スケジュールと社会実装ロジックモデル

【研究開発項目3】CO₂からの機能性化学品製造技術の開発

- ポリカーボネートやポリウレタン等O-C=O構造を有する含酸素化合物は、**水素を用いることなく、低エネルギーでCO₂を原料として製造可能**であり、CO₂排出量削減に寄与する。
- 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、特に高価な高機能材において日本が強みを保有している。**

CO₂から直接合成可能な機能性化学品候補



開発のポイント

ホスゲン、酸化エチレン等有毒な原料を使わないことで、CO₂削減とともに環境負荷低減を目指す。

機能性プラスチック (含酸素化合物)	世界需要	日本シェア	日本需要
	百万トン	シェア%	百万トン
ポリカーボネート	4.6	28 (43)	0.3
ポリウレタン原料 (ポリオール、イソシアネート)	21.6	6.4	0.7
高吸水性高分子原料 (アクリル酸)	6.8	16	0.2

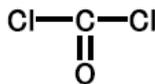
カッコ内は海外ライセンス生産を含むシェア

【研究開発項目3】CO₂からの機能性化学品製造技術の開発

- 本事業では、ホスゲン、酸化エチレン等有毒な原料が不要で、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に0.35kg-CO₂/kg以上のCO₂を原料化する技術を確認し、2030年までに数千トン/年スケールの実証を行う。
- 併せて、新規市場を開拓すべく、用途拡大に必要な機能性の更なる向上にも取り組む。

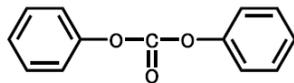
ポリカーボネートの機能性向上 (例)

従来法 (界面法)



ホスゲン
(毒物)

新製法 (熔融法)



ジフェニルカーボネート

開発のポイント

ホスゲン、酸化エチレン等有毒な原料を使わずに、CO₂削減と機能性向上を目指す。



ビスフェノールA

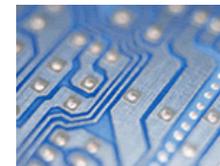


従来用途

汎用ポリカーボネート



原料B



プリント基板
(電気特性)



原料C



カメラレンズ
(光学特性)



原料D



自動車用部品
(力学特性)

機能性向上による用途拡大

新規市場の獲得

本州化学
ホームページより

【研究開発項目3】 CO₂からの機能性化学品製造技術の開発

【研究開発（アウトプット）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0.35kg-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。

【目標設定の考え方】

- 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)について、不要となるホスゲン製造時のCO₂排出量（例：0.95kg-CO₂/kg-DRC、0.45kg-CO₂/kg-MDI）を削減するとともに、0.35kg-CO₂/kg-DRC,MDIのCO₂を原料化する。
- 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。

【目標達成の評価方法】

- CO₂原料化における電力・蒸気等のプロセスCO₂を定量的に評価する。
- 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についても評価する。

【研究開発内容（例）】

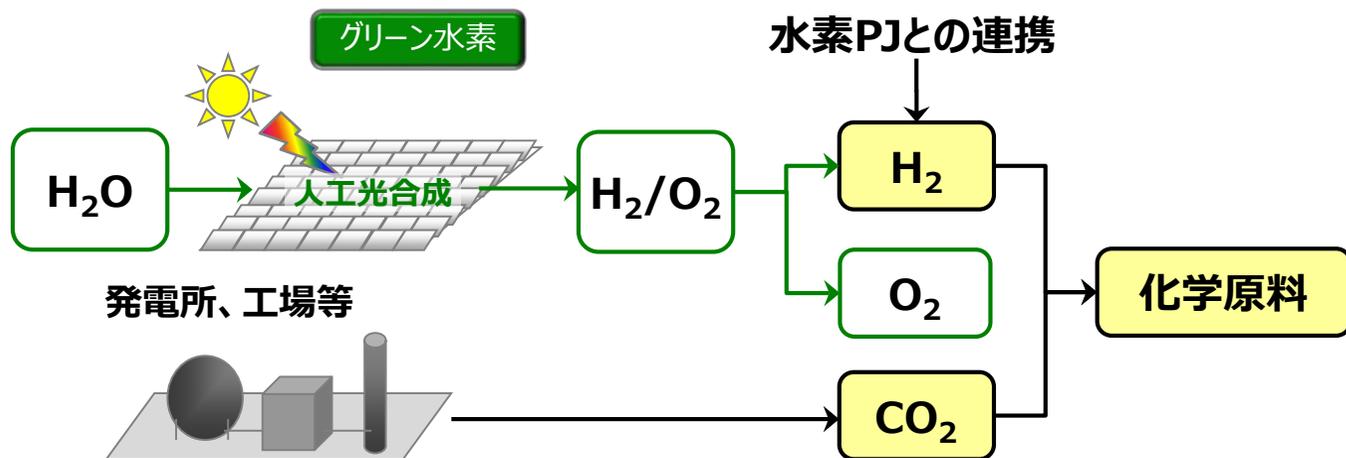
- ・CO₂からポリカーボネート、ポリウレタン等の機能性化学品製造技術の開発・実証【補助】

目次

- カーボンリサイクル（化学品分野）の開発意義
- 研究開発項目 1：ナフサ分解炉の高度化技術の開発
- 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
- 研究開発項目 3：CO₂からの機能性化学品製造技術の開発
- 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
- 研究開発スケジュールと社会実装ロジックモデル

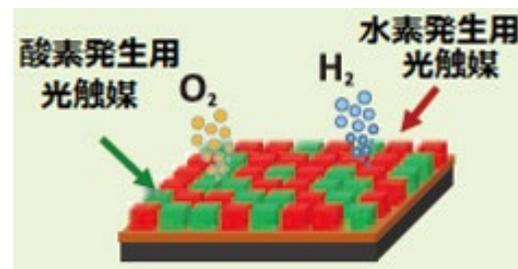
【研究開発項目4】アルコール類からの化学品製造技術の開発①

- 人工光合成については、これまでに**変換効率7%の光電極触媒**を開発するとともに、**100m²級のフィールドテストが実施できる微粒子触媒**を開発。本事業では**高い変換効率と優れた量産性が両立できる光触媒を開発し、フィールドテストの拡張（数ヘクタール）**に取り組む。
- 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。**



開発のポイント

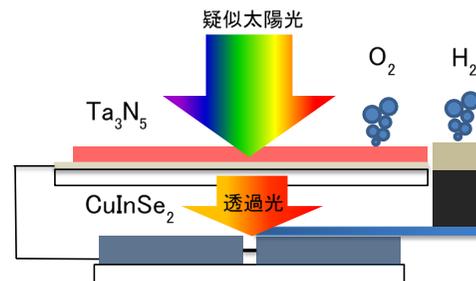
光触媒の変換効率、
量産性の両立を追求



微粒子触媒
(現状：優れた量産性)

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 光電極触媒	4% 8%	7% 9%	10%
光触媒パネル 製造コスト	微粒子触媒 光電極触媒	3万円/m ² 6万円/m ²	1万円/m ² 2万円/m ²	0.5万円/m ²
耐久性		1000時間	4000時間	1万時間



光電極触媒
(現状：高い変換効率)

【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

【研究開発（アウトプット）目標】

- 2030年までに数ha規模での実証により、**変換効率10%以上、耐久性1万時間以上**の光触媒を開発。

【目標設定の考え方】

- 光触媒の変換効率10%に到達すると、水素製造コストは5～12円/Nm³になると見込まれ、他方式による水素製造（13～30円/Nm³）と比較しても十分競争力がある。天然ガスの水蒸気改質による水素製造時に8.9kg-CO₂/kg-H₂のCO₂を排出しており、これをゼロにする。
- 実用化を見通すための目標値として、耐久性1万時間を設定する。

【目標達成の評価方法】

- 光触媒の変換効率と量産性（光触媒パネル製造コスト）を触媒の方式に応じて評価する。
- 本技術については未成熟で技術動向や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。

※マイルストーン目標（例；再掲）

		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

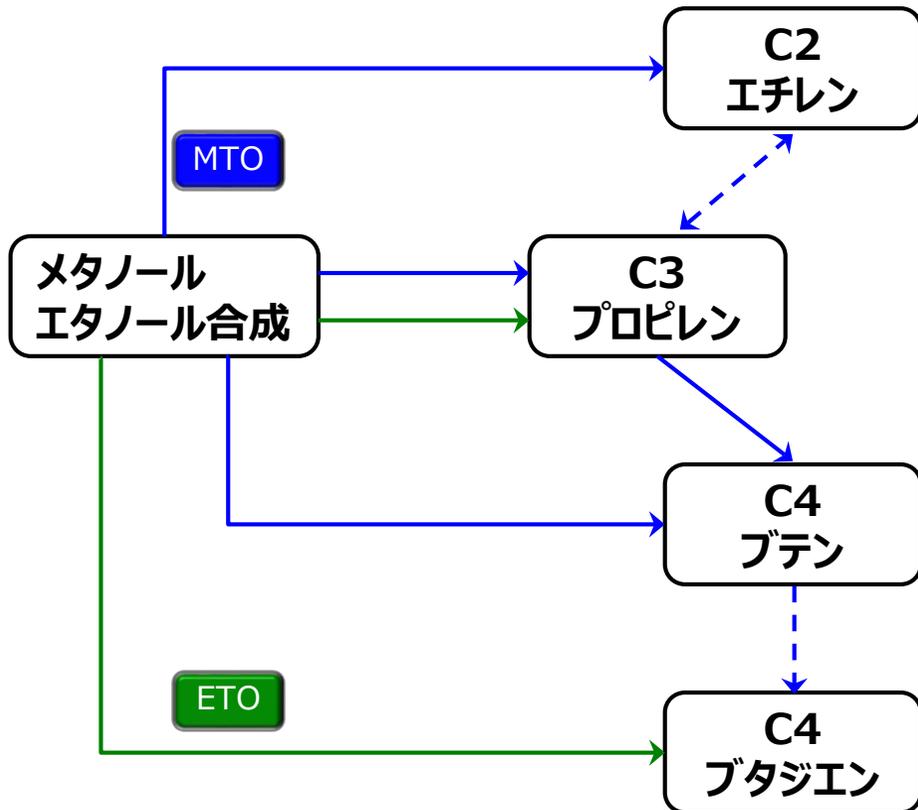
【研究開発内容】

- ・ 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【委託→補助】

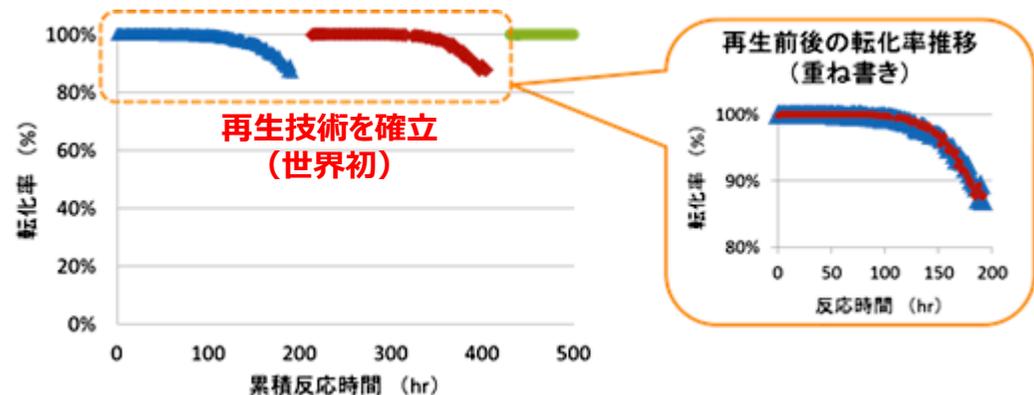
【研究開発項目4】 アルコール類からの化学品製造技術の開発②

- これまでに、メタノールからエチレン、プロピレン、ブテン等のオレフィンを製造(MTO)可能な高耐久性ゼオライト触媒を開発。触媒の再生工程により1500時間の耐久性を実現。
- 本事業では、メタノール、エタノール等の化学原料からエチレン、プロピレン等を製造するプロセス(MTO、ETO)の収率を向上させ、数万トン/年スケールの実証での耐久性向上、低コスト化、製造プロセスにおけるCO₂排出削減等を実現する。

メタノール、エタノールからのオレフィン製造概念図



開発のポイント
海外MTOと比較して
低コストでCO₂排出
量が少ない製造プロ
セスを確立



MTO触媒の小型パイロット実証
(2017年3月16日 NEDOプレスリリースより)

【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②

【研究開発（アウトプット）目標】

- 2030年までに、水素とCO₂からエチレン、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**にする技術を確立した上で、**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。

【目標設定の考え方】

- エチレン、プロピレンはナフサ分解法で製造時に1.6kg-CO₂/kg-オレフィンのCO₂を排出しているが、メタノール、エタノール合成時にCO₂を原料化することによって、**プロセス全体のCO₂排出量をゼロ**にする。
- 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。
- 2030年頃の実用化を見通すための目標値として、耐久性1万時間を目指す。

【目標達成の評価方法】

- 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排出量等技術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。

【研究開発内容】

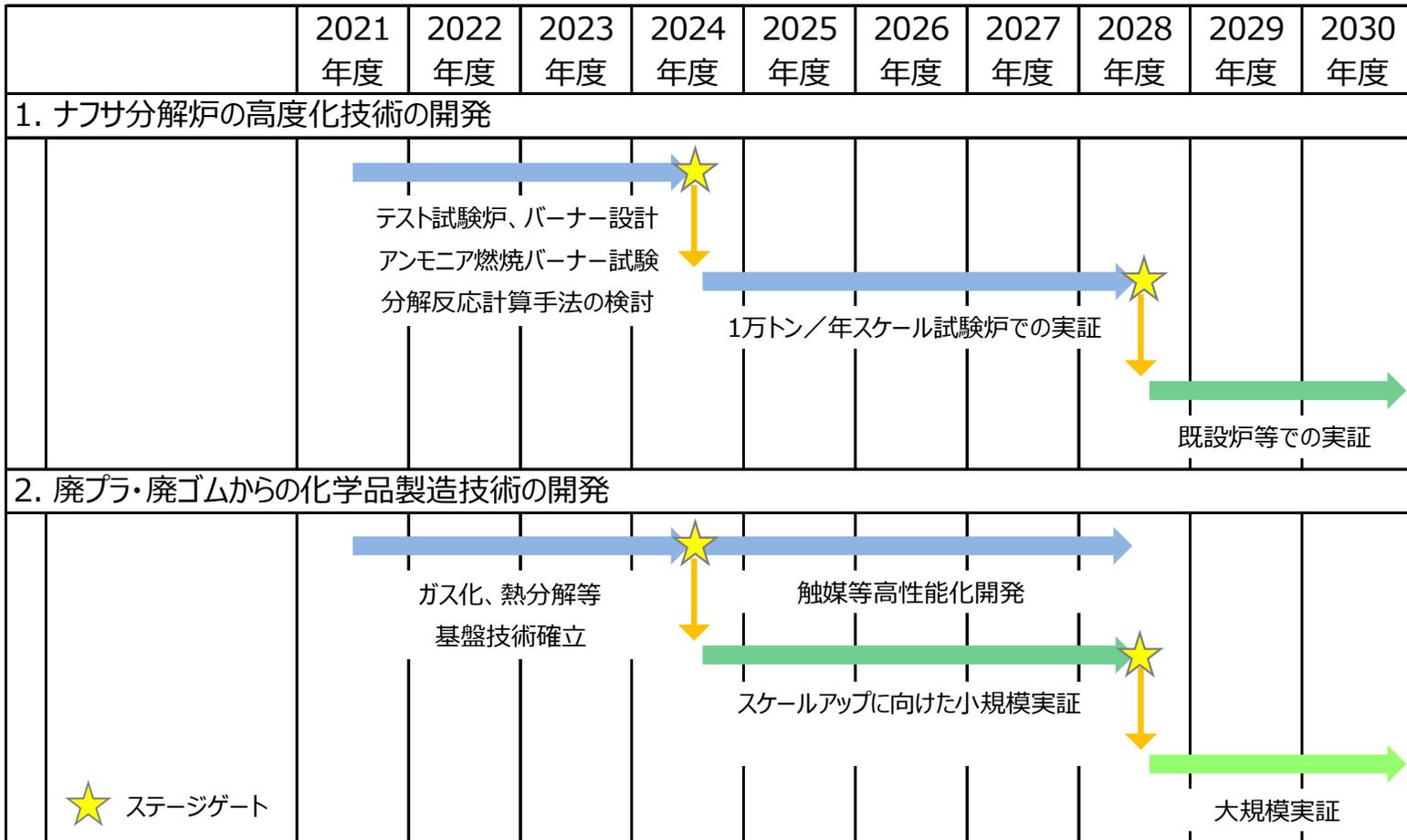
- ・メタノール、エタノール等からの基礎化学品製造の開発・実証【補助】

目次

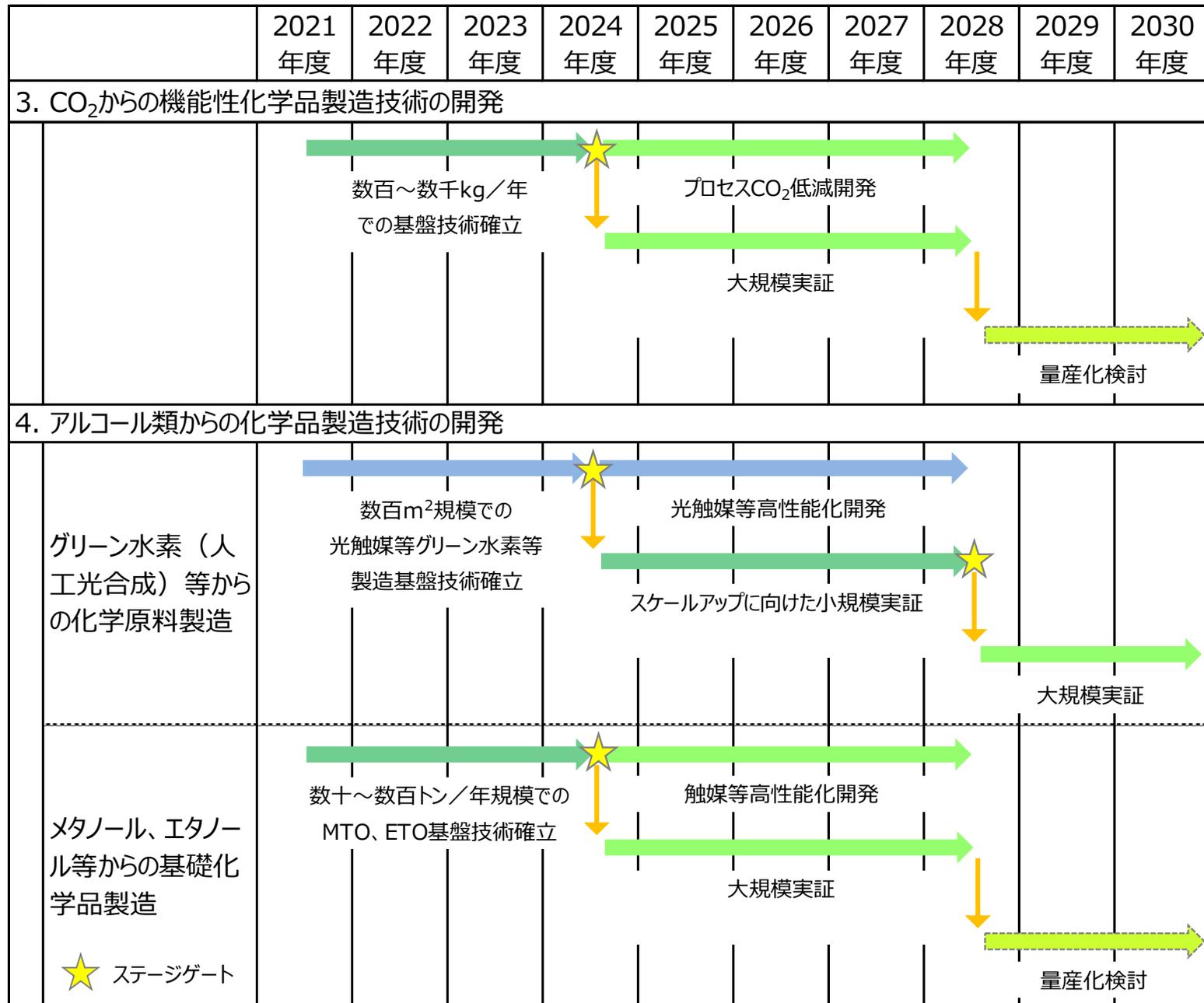
- カーボンリサイクル（化学品分野）の開発意義
- 研究開発項目 1：ナフサ分解炉の高度化技術の開発
- 研究開発項目 2：廃プラ・廃ゴムからの化学品製造技術の開発
- 研究開発項目 3：CO₂からの機能性化学品製造技術の開発
- 研究開発項目 4：アルコール類からの化学品製造技術の開発
- 研究開発スケジュールと社会実装ロジックモデル

研究開発スケジュール

- 各研究開発項目について異なる実施者を想定しているが、複数項目の開発・実証を組み合わせることで相乗効果を生み出す場合は、同一の実施者が複数項目に提案することも可とする。
- そのため、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、早期の目標のために最適なスケジュールを組むことを妨げない。
- **以下の通り、ステージゲートを設定し**、事業の進捗を見て継続可否、技術の絞り込み等を判断。



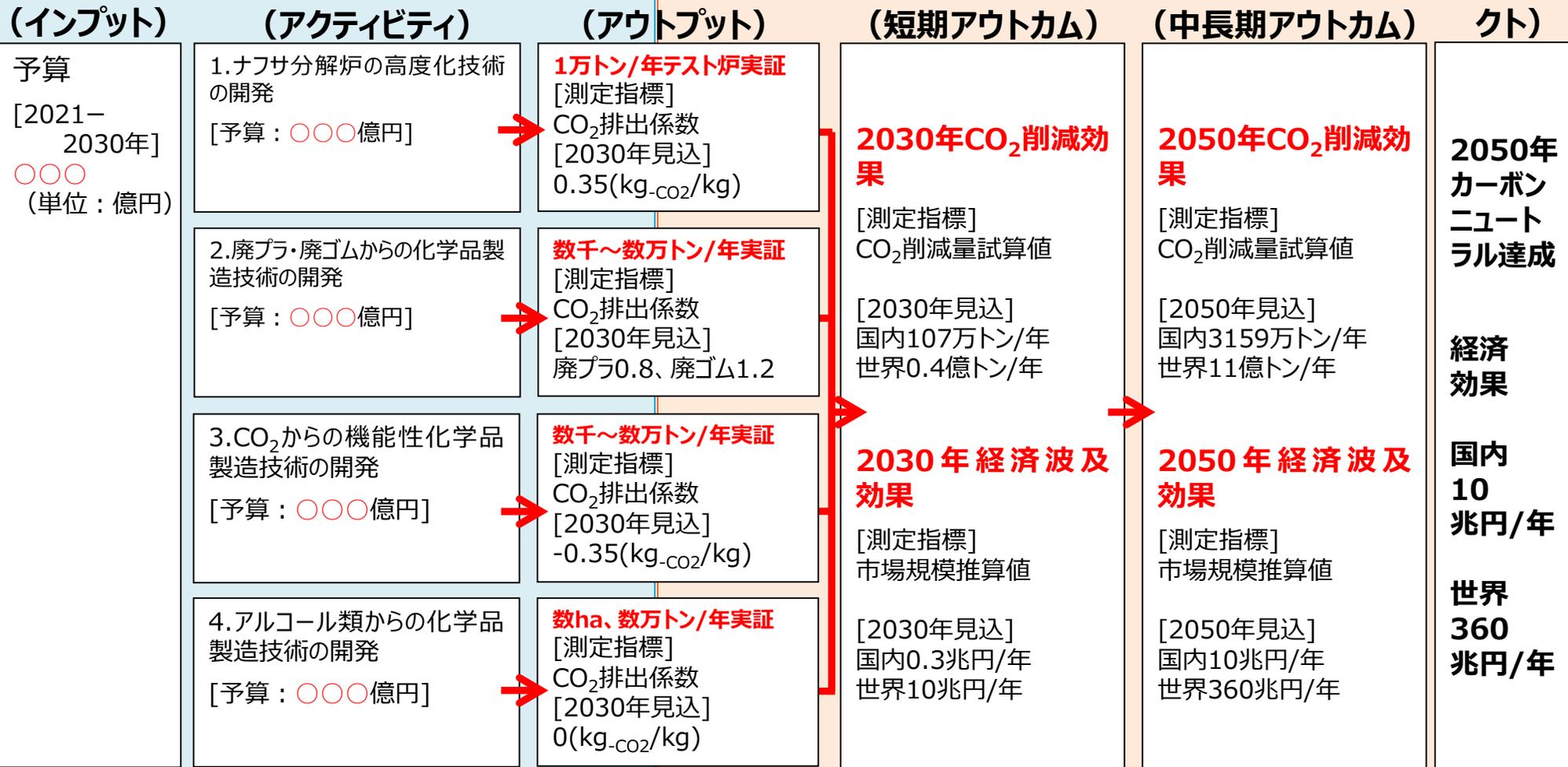
研究開発スケジュール



社会実装ロジックモデル

直接コントロールできる部分

経済・社会等の変化
(誰が/何が/どう変化することを目指しているか)



アウトプットの達成が、アウトカムの発現につながることを示すエビデンス

※レポートベースでのエビデンスを提示。FSを行った場合には結果に即した記載をする。

① アウトプット目標は、IEA The Future of HydrogenやIDEA v.2.3を参考にして算出。

② 石油化学工業協会「石油化学工業の現状2020年」、国立環境研究所「温室効果ガスインベントリ」より生産量等を算出し、CO₂削減効果を評価。