

「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（改定案）の概要

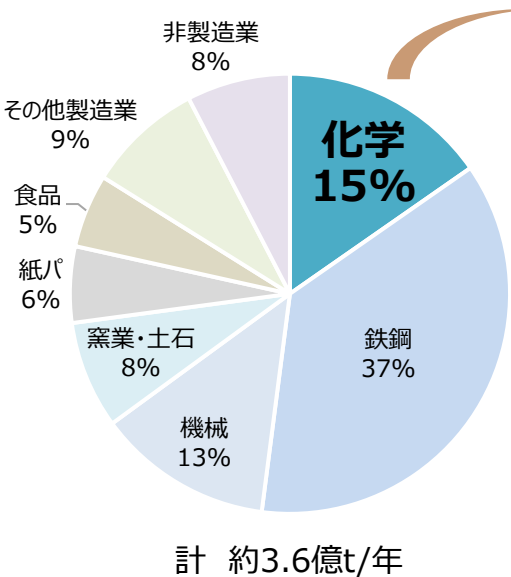
2023年11月

製造産業局 素材産業課

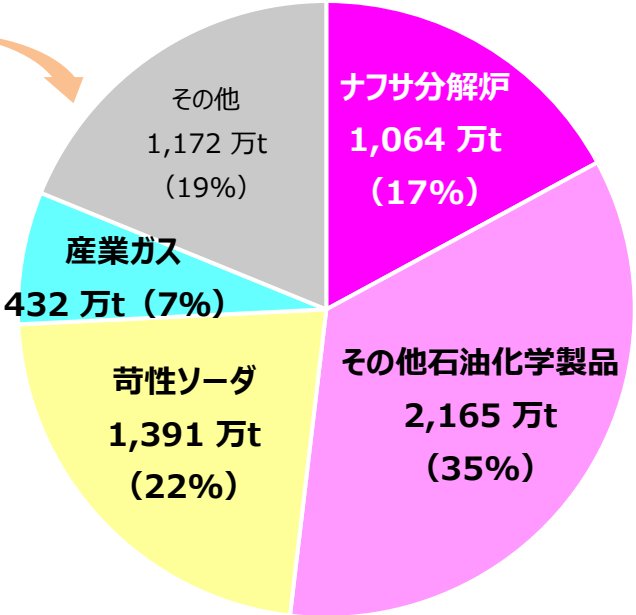
化学産業におけるCO₂排出

- 化学産業は、産業部門において鉄鋼に次いで多くのCO₂を排出（6,200万t/年）しており、排出削減が喫緊の課題。
- プラスチックの廃棄時にも、サーマルリサイクルや単純焼却でCO₂が排出（1,600万t/年）。

化学産業のエネルギー由来排出
約6,200万t/年



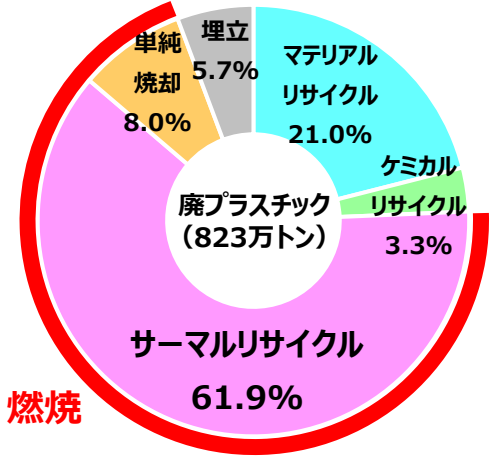
エネルギー由来CO₂排出量
産業部門（2020年度）



化学産業エネルギー由来排出内訳
（2020年度）

+

廃プラスチックの燃焼による排出
約1,600万t/年
（非エネルギー由来、2020年度）



燃焼

廃プラスチックの処理方法別内訳

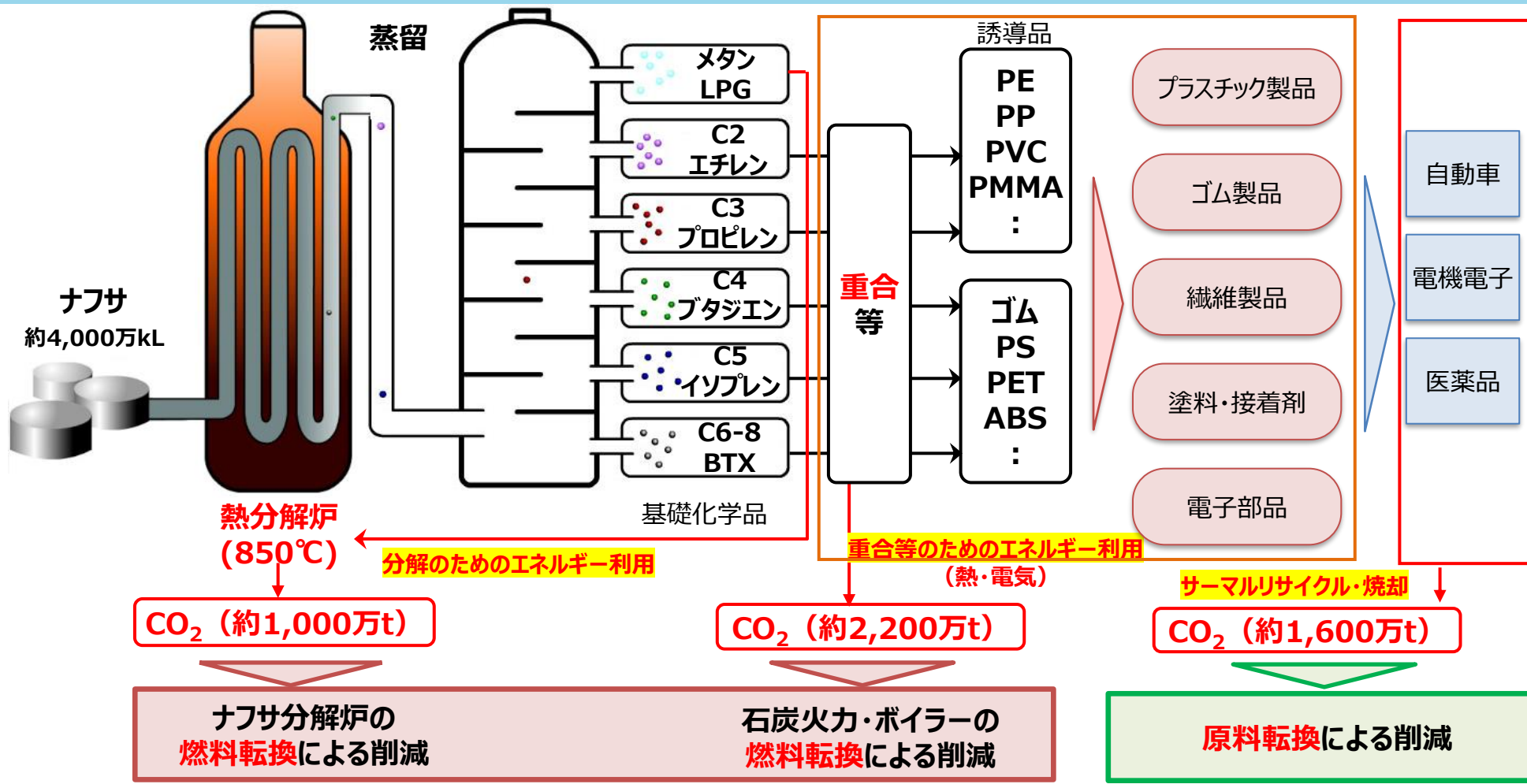
<出典> 環境省 国立環境研究所「2020年度の我が国の温室効果ガス排出量（確報値）から作成

<出典> 省エネポータルサイト「特定事業者等のエネルギー種類別のエネルギー使用量」などを基に作成

<出典> 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」を基に作成

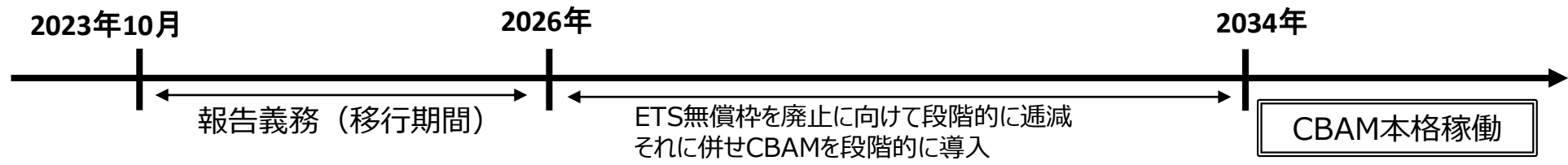
ナフサ分解からの化学品製造の流れとCO₂排出

- 日本の化学産業は、ナフサ分解によりエチレン等の基礎化学品を製造・供給することにより、自動車や電気電子産業など、川下産業の競争力の源泉。
- 化学企業はこれまで機能性材料（半導体材料、ディスプレイ材料、電池材料など）等に注力。
現状、各社とも、売上規模は小さいが世界シェアの高い製品を多く有し、着実に利益を上げている。
- 機能性化学品をより安価に製造するためには、安価な基礎化学品の提供が求められる。
輸入はコスト増の要因であり、サプライチェーンにおける安定調達の観点からも、パイプラインで結合したコンビナートが発展。



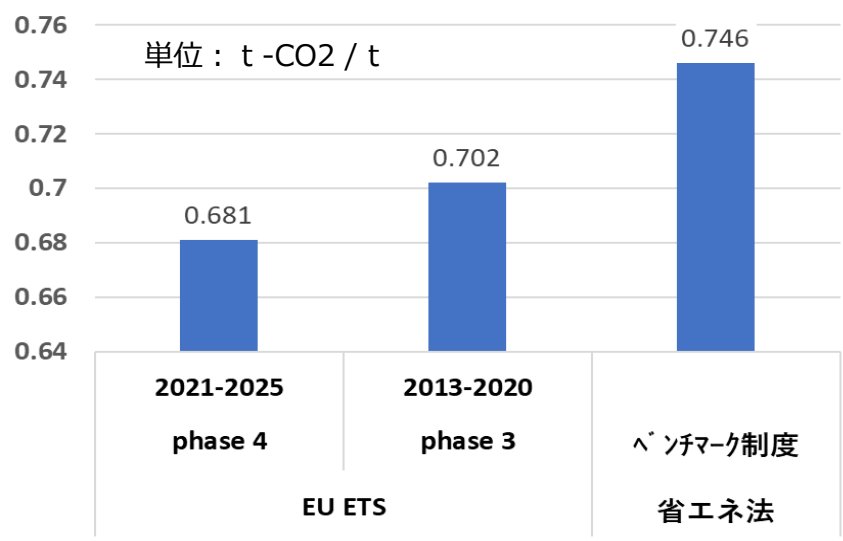
国際動向① ; EUの炭素国境調整措置（CBAM）について

- 欧米でCN政策が進展。CBAM規制に化学分野を含める議論が継続。
 - 欧州のETSベンチマークは、日本の省エネ法によるベンチマークよりも低い基準。そのため、化学品に対してCBAMが措置された場合、日本の化学品は輸入課金を受けることとなる。
- ※化学品・ポリマーは、2022年12月時点では合意に至らなかったが、引き続き議論が継続。



輸入課金 = CBAM証書価格 (P/CO ₂ -ton) × 製品単位当たり排出量 (CO ₂ -ton/Q) × 製品輸入量 (Q)	
証書 価格	①前週におけるEU-ETSの全入札の平均終値 ②EU域外で支払われた炭素価格 (tax or emission allowances) をCBAM証書価格から控除可
排出 量	排出範囲: <u>直接排出</u> と <u>間接排出</u> 。ただし、鉄鋼、アルミ、水素については、現時点では直接排出のみが対象。

クラッカー関連のベンチマーク指標の比較



出典：令和3年度エネルギー需給構造高度化対策に関する調査等事業（エネルギー多消費産業におけるエネルギー消費実態に関する調査）のエチレン等の製品単位当たりのCO₂排出量を基に経済産業省作成

国際動向②；欧州ELV指令

- 欧州委員会は2023年7月、自動車の車両設計から生産、廃車までの過程における循環性の向上に向け、自動車設計・廃車（End-of-Life Vehicles：ELV）管理における持続可能性要件に関する規則案を発表し、リサイクル材の最低含有条件などが示された。
- 自動車に使われるプラスチック材は、最低でも25%のリサイクル材を用いることが記されている。今後、EUの共同立法機関（EU理事会と欧州議会）で審議。成立した場合、新規則は発効12カ月後からEU全域で直接適用される。

<自動車メーカーでのリサイクル材活用目標例>

メーカー	リサイクル材目標数値
Volvo	2025年までに、リサイクル素材やバイオ素材を25%使用
BMW	2030年までに、車両全体でリサイクル材を最大50%使用
メルセデス・ベンツ	2030年までに、車両全体でリサイクル材を40%使用
スバル	2030年までに、プラスチック部材の25%以上をリサイクル素材に転換

※公表資料を基に経産省作成

燃料転換及び原料転換

化学産業のカーボンニュートラルの実現に向け、

- ①ナフサ分解炉の熱源や石炭火力等の燃料をアンモニア等脱炭素燃料へ切り替える「**燃料転換**」
- ②ナフサ由来の原料から転換する「**原料転換**」（**バイオエタノールや廃プラスチックからの化学品製造**）を並行して進めることが重要。

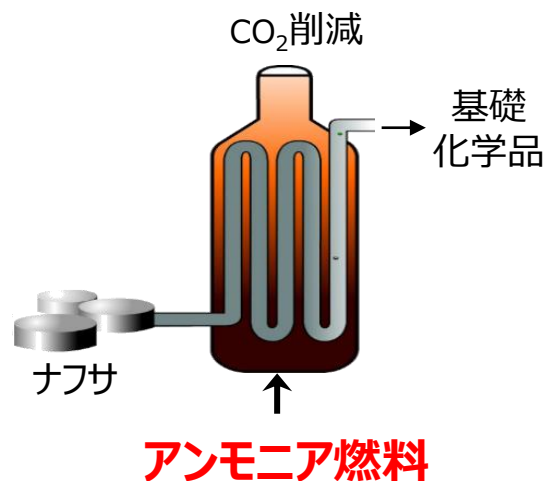
BASF等の海外企業では、化学製品の低カーボンフットプリントを訴求する動き。CBAMも見据えると、従来の**高機能という我が国の強みに加え、低炭素な化学品の供給拡大**が不可欠。

現状：ナフサ ➡ 石油化学製品

①燃料転換
アンモニア等

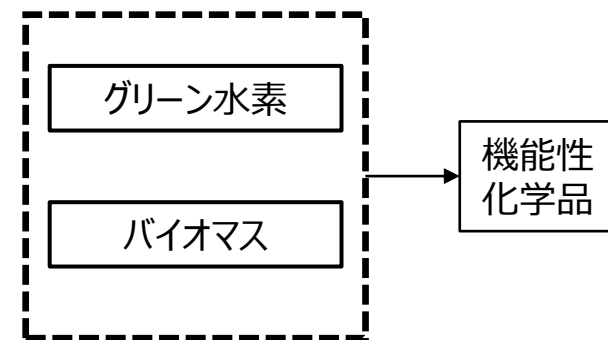
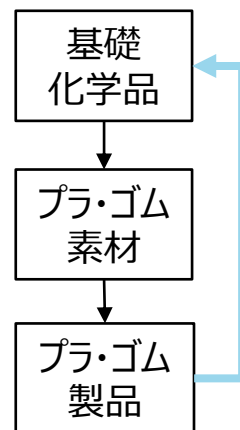
+

②原料転換
ケミカルリサイクル（廃プラ利用）/ バイオマス利用等



ケミカルリサイクル

グリーン水素/バイオマス利用



化学領域におけるGI基金事業・GX投資の連携イメージ

- 2050年カーボンニュートラル実現の課題は、①ナフサ分解炉や石炭火力等の燃料転換、②ナフサ原料からの転換（原料転換）による、基礎化学品の内需減少に伴う過剰供給能力の適正化。
- これら課題解決に繋がる案件に対して国が支援することで、化学業界のGX化を促進し、脱炭素化を通じた高付加価値化学品を生成し、国際競争力の維持・強化に繋げる。

R&D（GI基金）

・アンモニア燃料型分解炉

ナフサ分解炉の熱源をカーボンフリーであるアンモニアに転換する。ナフサ分解炉に適用可能なアンモニアバーナや分解炉そのものの設計を開発。

・廃プラ・廃ゴムからの化学品製造

廃プラ・廃ゴムを熱分解し分解油にすることで、エチレン、プロピレン等のプラスチック原料となる基礎化学品を製造。

・CO2を原料とする機能性プラ製造

ポリカーボネートやポリウレタン等の機能性化学品は、水素を必要とせずCO2から合成が可能であり、CO2を直接原料とする手法を開発。

・人工光合成からの化学品原料製造

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、水と太陽光から水素を生成。さらに生成した水素を活用し、アルコール・オレフィン等の製造手法を開発。

既存技術による脱炭素化とR&D成果によるGX技術の加速

燃料転換
and/or
原料転換

政府
支援
あり

①CO2の排出源であるナフサ分解炉の熱源や石炭火力の燃料を、水素・アンモニア等へ転換（燃料転換）し、②ナフサ由来の原料から転換し、廃プラスチックやバイオを原料にする（原料転換）などの脱炭素化を図りながら、国際競争力のある高付加価値化学品を生成する案件に対して支援。

⇒エチレンなど基礎化学品の内需の減少などを踏まえ、最適なコンビナートの再構成を手掛けながら脱炭素化を進める等、構造転換の礎となる案件に対して特に重点的に支援。

既存支援策の
活用
民間独自による
投資

石炭火力等を単にLNG転換する場合や、CO2の削減率が大きくない原料転換の取組などに対しては、省エネ補助金等の既存支援策を活用し民間投資を加速。

GI基金事業からGX投資への移行イメージ

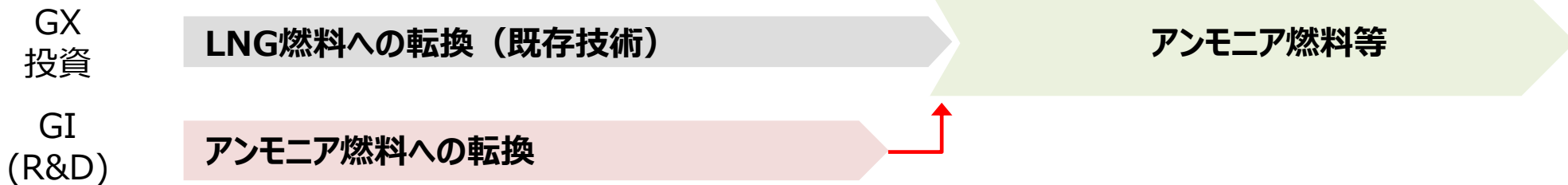
- 既存技術及びGI基金事業で開発した技術を活用し、脱炭素社会を実現するGX技術の実装を加速する。

2021年（GI基金事業を開始）

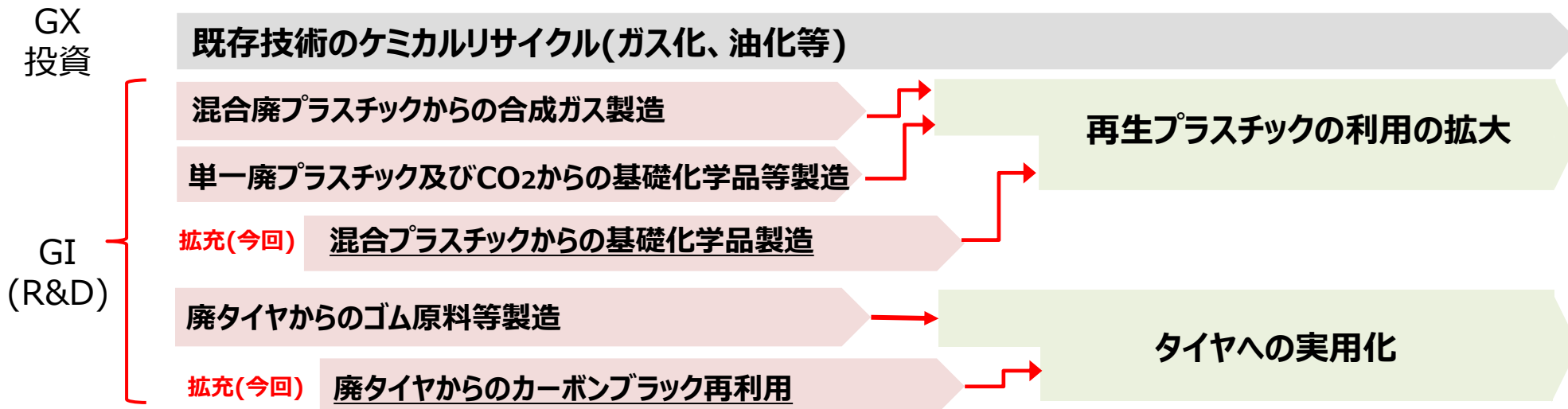
2030年

2040年

燃料転換



原料転換



CO₂等を用いたプラスチック原料製造技術開発（国費負担上限額：1,262億円）

- プラスチック原料のほとんどは石油精製で得られるナフサ由来であり、化学産業から排出されるCO₂の約半分がナフサを分解してエチレン、プロピレン等の基礎化学品を製造する過程等に起因。
- 廃プラスチックの約60%がゴミ焼却発電等の熱源として利用（サーマルリサイクル）され、最終的にはCO₂として排出されているため、抜本的な対策が必要。

【研究開発項目 1】

熱源のカーボンフリー化によるナフサ分解炉の高度化技術の開発

- 現行はナフサ分解炉から発生するオフガス(メタン等)が熱源。
- 本事業では、ナフサ分解炉の熱源をカーボンフリーであるアンモニアに転換する世界初の技術を開発する。【CO₂排出の7割程度削減を目指す】



約850℃でナフサ熱分解している炉の熱源をアンモニアに転換

【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・廃ゴムからエチレン、プロピレン等のプラスチック原料を製造する技術を確立。
- 収率60～80%で製造し、さらに製造時に排出するCO₂も従来の半分程度を目指す。【CO₂排出の半減程度削減を目指す】



廃プラ熱分解油（プラ原料）

【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の機能性化学品は水素を必要とせずCO₂から合成が原理的に可能。
- 電気・光学・力学特性等の機能性向上にも取り組む。【CO₂原料化を目指す】



高機能ポリカーボネート（カメラレンズ）

【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 【グリーン水素とCO₂から製造】

- メタノール等からエチレン、プロピレン等のオレフィンを製造(MTO)する触媒収率を向上(80～90%)。
- 人工光合成については、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、実用化を目指す。



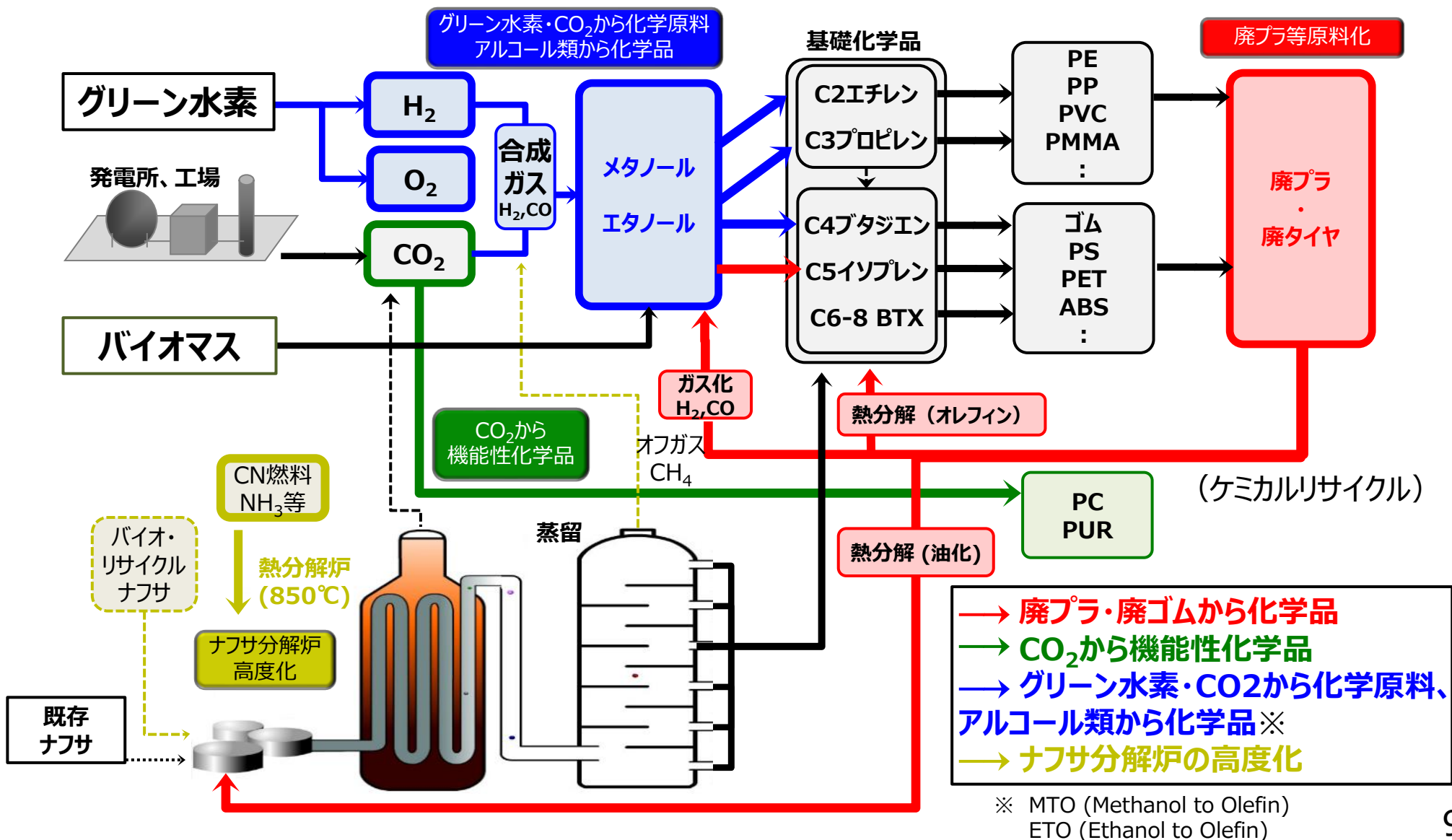
MTO実証



光触媒パネルの大規模実証

GI基金事業の位置づけ

- 廃プラ・CO₂等への原料転換（原料循環）及び分解炉の燃料転換により、多様な化学品を生産する体制を維持しつつ、カーボンニュートラルの実現を目指す。

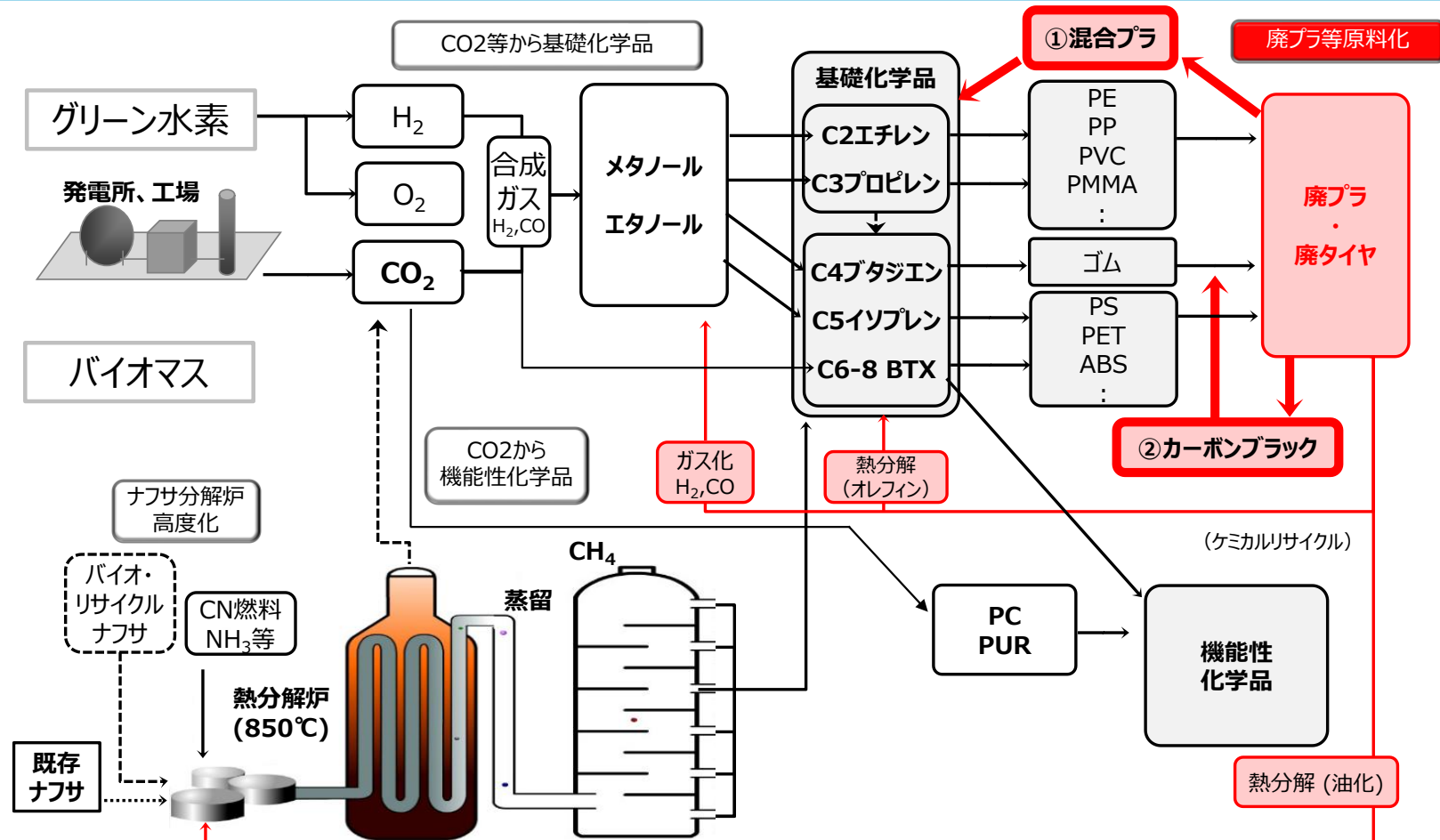


プロジェクトの拡充項目（案）について

- カーボンニュートラルに向けた国際的な制度・市場動向に対応し、国際競争力を強化すべく、化学分野のカーボンニュートラルに必要な、混合プラ等の原料化を加速することが必要。これを実現すべく、従来プロジェクトで対応できていない部分へ技術開発の拡充を検討する。

①混合プラスチックからの基礎化学品製造技術

②廃タイヤからのカーボンブラック再利用技術



テーマ① ; 混合プラスチックに関する現状と課題

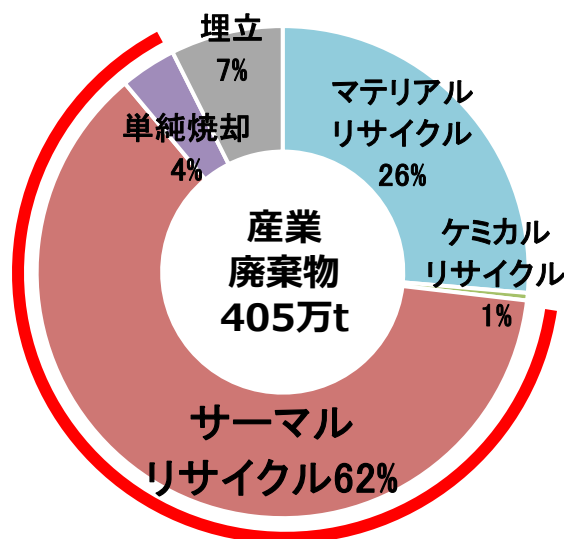
- プラスチック廃棄物（国内）は年間約820万トン排出。産業廃棄物と一般系廃棄物の比率は半々。 プラスチックは、多様な製品に複数のプラスチックを複合した材料（複合材）として使用。
- 使用後は多様なプラスチックが混合された状態（混合プラ）で廃棄。一般家庭廃棄物や複合・接着製品の選別は困難な状況。
- 一般ゴミや選別が困難である複合製品を含む混合プラの多くが、サーマルリサイクル等によって処理されている（約6割）。

世界のプラスチック使用量・排出量見通し

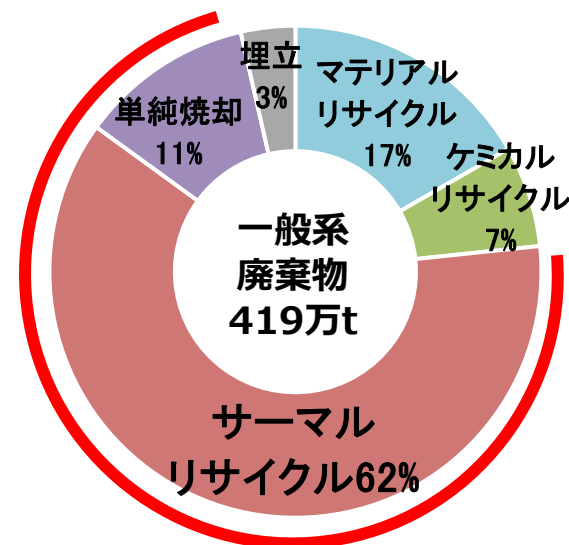
世界のプラスチック使用量は2019年時点で約4億トン、2060年には約12億トンに達すると予測。

廃プラスチック排出量は2019年時点で約3億トン、2060年には約10億トンと予測
(出典：OECD)

プラスチック廃棄物の処理状況 (2021年)



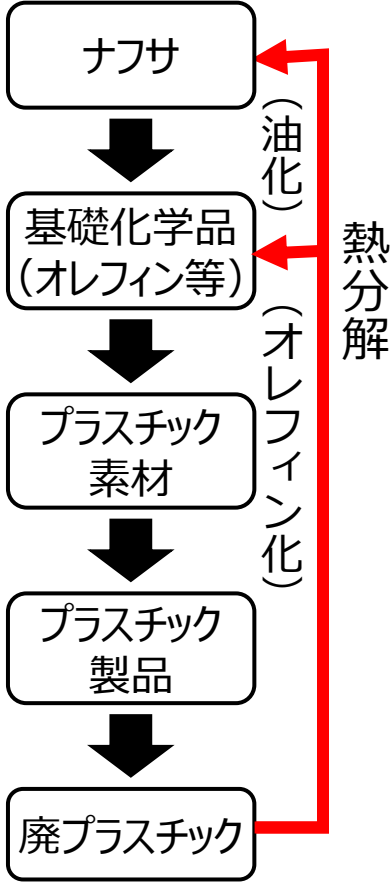
(事業者が排出)



(一般家庭等が排出)

テーマ① ; ケミカルリサイクルの国際的な開発状況

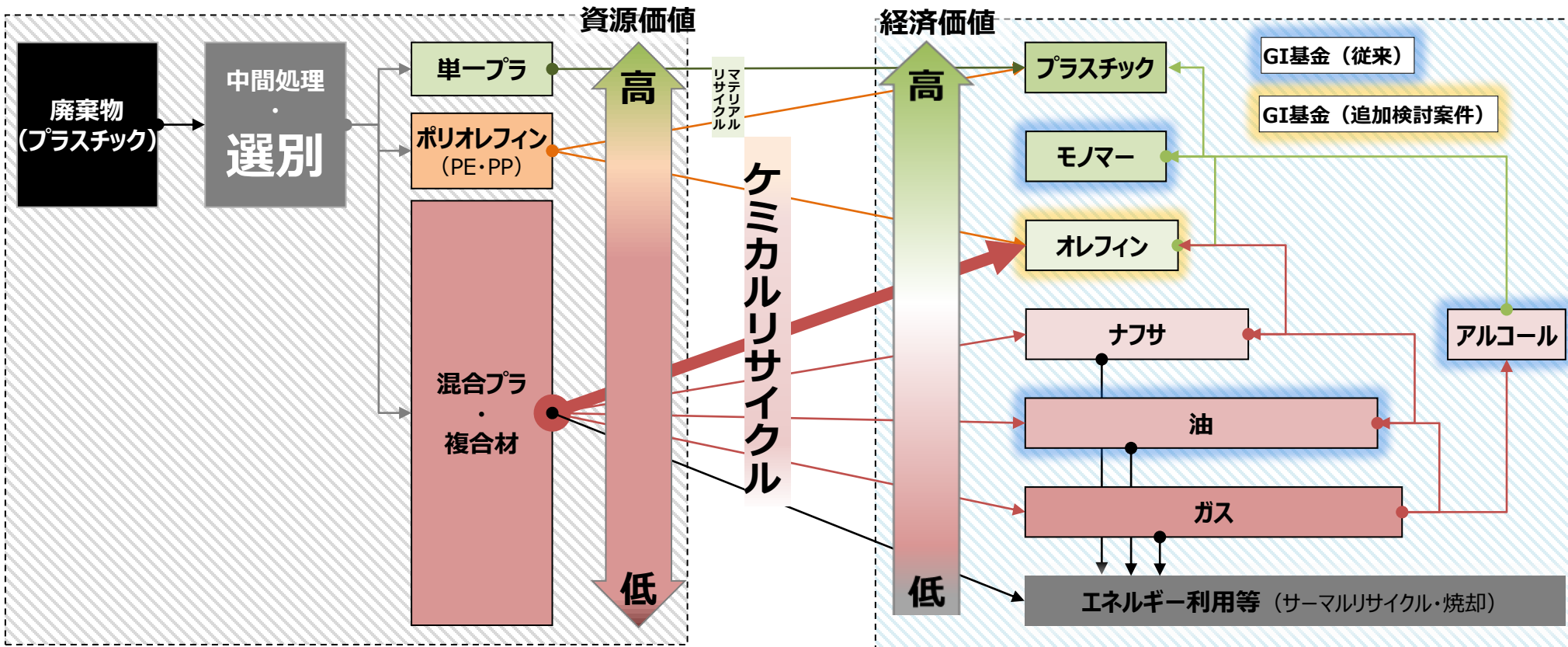
- 混合プラスチックを原料として、各国でケミカルリサイクル技術の開発が加速しつつある。
- 熱分解で油化する手法が一部商用化されているが、エネルギー消費の大きさが課題。



原料	技術	国	実施主体	生成物	開発 ステージ	概要
廃プラ	熱分解 油化	オランダ	Plastic Energy / SABIC (2018年提携)	分解油	商用プラント 稼働中	スペイン工場で生産能力7,000t/年のプラントを保有。 オランダ工場で2万t/年の プラントを建設中 。 2022年後半に稼働見込み食品大手Kraft Heinz、小売大手TESCO、包装・容器製造大手Berryと連携。
		ドイツ	Arcus / BASF (2022年提携)	分解油	商用プラント 計画中	2022年9月、BASFはARCUSと、混合プラスチック廃棄物から得られる、熱分解油を購入するための枠組み契約を締結。 ARCUS はフランクフルトに最大10万t/年の 生産プラントを建設中 。
		ノルウェー	Quantafuel / BASF (2019年提携)	分解油	商用プラント 計画中 一部稼働中	廃棄物回収大手REMONDISも含め、ケミカルリサイクルプラントに共同出資。Quantafuelのデンマーク工場は1.6万t/年の生産を行い、 BASFへ熱分解油を供給 。 Quantafuel はBASF以外とも連携を進めており、2023年に処理能力8.0万t/年のプラントをデンマークで稼働予定で、その他、 2023-2024年に3か所のプラントを稼働予定 。
		米国	Mura Technology / Dow (2021年提携)	分解油	商用プラント 計画中	2023年 より処理能力2.0万t/年のプラントを 稼働予定 。 さらにドイツに12万t/年の プラント建設を計画 。稼働は2025年の見込み。
	熱分解 オレフィン	米国	Anellotech	BTX・オレフィン	実証プラント 試験中	国内企業を中心に原料調達から包装容器製造、使用までの企業と連携して事業化を推進中 2030年 までの再資源化技術の 実用化を目指す 。
		オランダ	LyondellBasell	オレフィン	商用プラント 計画中	1時間あたり5～10キログラム (kg) のプラスチック廃棄物を処理する パイロットで実証中 。産業規模のユニットを計画している。

テーマ① ; プラスチックに係るケミカルリサイクルの位置づけ

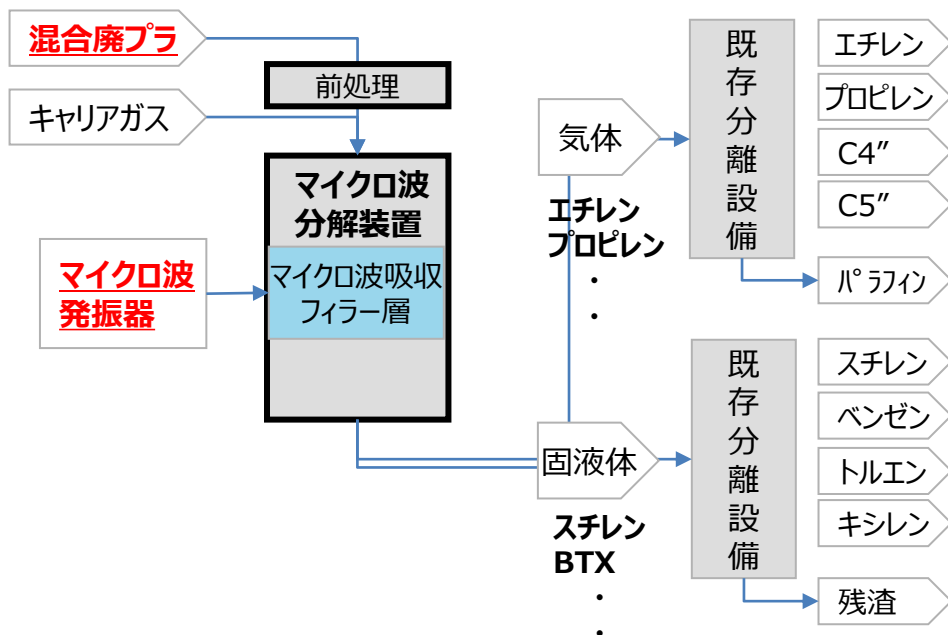
- プラスチックのリサイクルでは、資源価値の上昇やリサイクルプロセスによる経済価値の上昇が重要。
- 現状では、混合プラや複合材が大層を占め、多くの廃プラスチックがエネルギー利用等されている中、プラスチックの資源循環においてケミカルリサイクルが、果たす役割は大きい。
- 追加検討案件は、資源価値が低い混合プラや複合材から経済価値の高いオレフィン等の基礎化学品を製造する技術である。



テーマ① ; 混合プラスチックからの基礎化学品製造技術開発

- 例えば、マイクロ波照射は、フィラーをダイレクトに発熱させ、エネルギーを反応場に直接伝達できるため、エネルギー効率が高い。
- マイクロ波発振器の大型・高出力化により、容器包装プラスチック等の多量な混合プラスチックに適用することが可能。
- 主な技術課題は、分解収率向上や塩素や硫黄などの不純物耐性のあるプロセス設計とマイクロ波発生器の大型・高出力化である。

【技術の特徴】



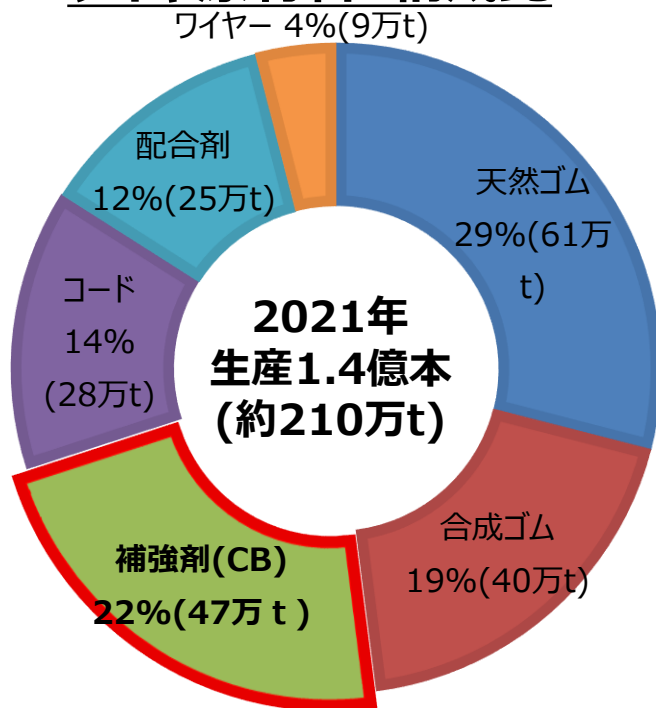
【技術課題】

- ① 分解収率向上とロバストなプロセス設計
 - ② マイクロ波発振器の大型・高出力化と分解設備のスケールアップ
 - ③ 分解前後工程における塩素・残渣等の不純物処理
- ↓
- ✓ 混合プラスチックからプラスチック原料などの基礎化学品へ再生。
 - ✓ 容器包装などの多量の混合廃プラスチックが、高度な分別なしにリサイクル可能。

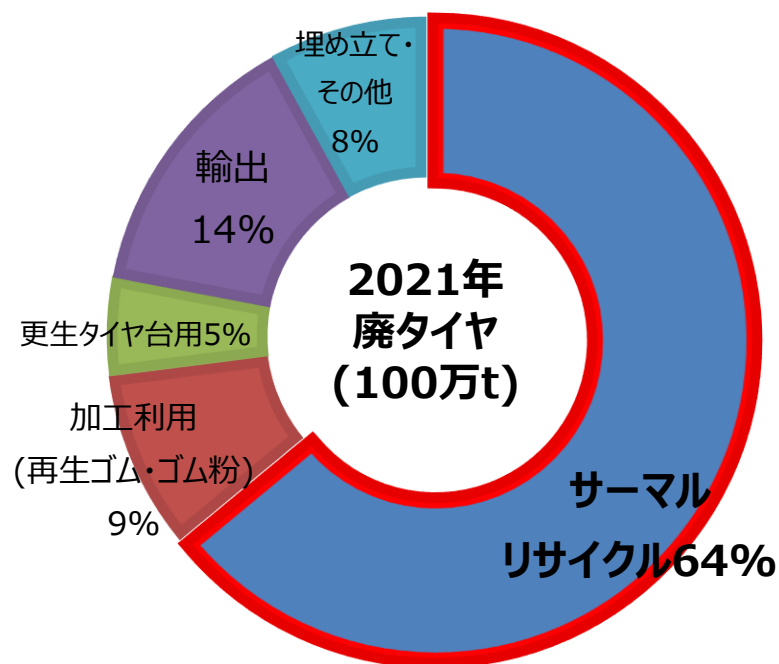
テーマ② ; 廃タイヤのリサイクル状況

- タイヤは、約50%がゴム成分、次いで補強剤（カーボンブラック（CB）・約20%）等から構成。CBを混合することで、タイヤの強度や耐摩耗性を向上させる効果があり、タイヤの原料として欠かせない素材として、年間で40～50万t（国内）が使用されている。
- 世界でのCB生産量は2022年時点で約1,370万トン。2031年では約1,900万トンに増加（約1.4倍）する予測であり、主な要因は用途の75%を占めるタイヤ需要による。
- 廃タイヤはサーマルリサイクルでの利用が6割以上。処理工程でのCO₂排出を削減し、カーボンニュートラルを目指すためには、廃タイヤをタイヤ原料としてリサイクルしていくことが有効。

タイヤ原材料 構成比



廃タイヤの処理状況



テーマ② ; 廃タイヤのリサイクル状況

- 既存GI基金により、廃タイヤのゴム成分（約50%）をブタジエン等の原料にケミカルリサイクルする技術開発を遂行中。
- 既存技術開発に加え、廃タイヤに含まれるCB（約20%）を、タイヤに使用されているCBを再生する技術を開発することで、タイヤ全体の資源循環が可能となる。
- なお、ミシュランは、熱分解による廃タイヤのリサイクル技術に技術を有するエンバイロ社(スウェーデン)と協力し、2030年までに年間最大100万トンの廃タイヤのリサイクル(欧州での廃棄タイヤの1/3に相当)を目指す。

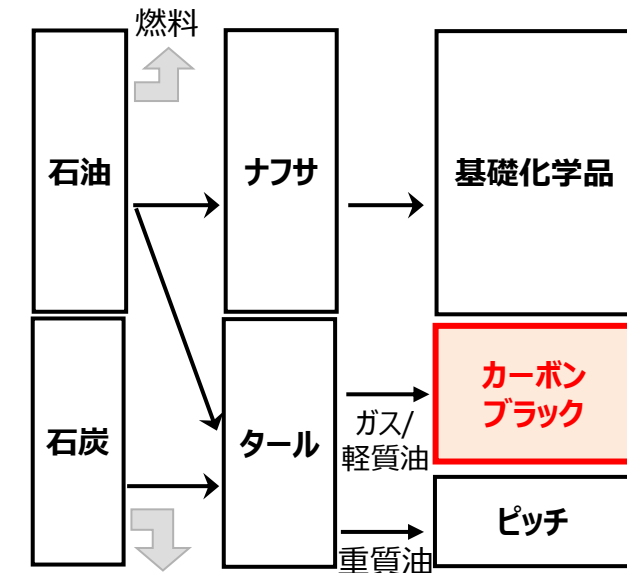


※カーボンブラックは国内生産・国内消費がメインになる

テーマ② ; カーボンブラックの製造プロセスと原料フロー

- **CB**は、燃料油等を反応炉で完全燃焼させて**高温燃焼ガス**を作り、そこへ**原材料油（石炭系原料）を導入**して製造。カーボンニュートラルの推進には、**製造時の化石原燃料の削減**がポイント。
- 原材は**コークス炉由来**。今後、鉄鋼業界でのカーボンニュートラルの推進に伴い、コークス炉が減少し、**コークス炉由来の原料生産が減少する観点**からも、CBのリサイクルが重要。
- なお、CBは**粒子の直径（粒子径）**、**構造の大きさ（ストラクチャー）**、**表面の官能基（表面性状）**により、**ゴムとの混ざりやすさや補強性が大きく変化**する。

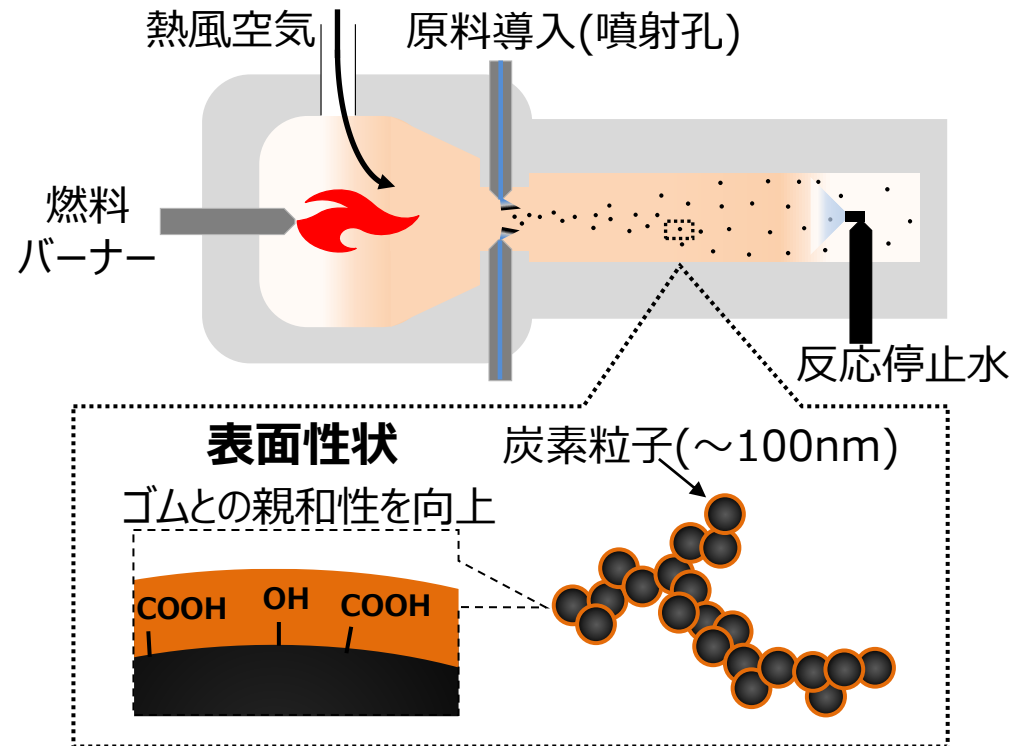
カーボンブラックの原料フロー



製鉄用コークス
コールタール生産量
約155万t(2010年)→101万t(2022年)

(出典、日本芳香族工業会)

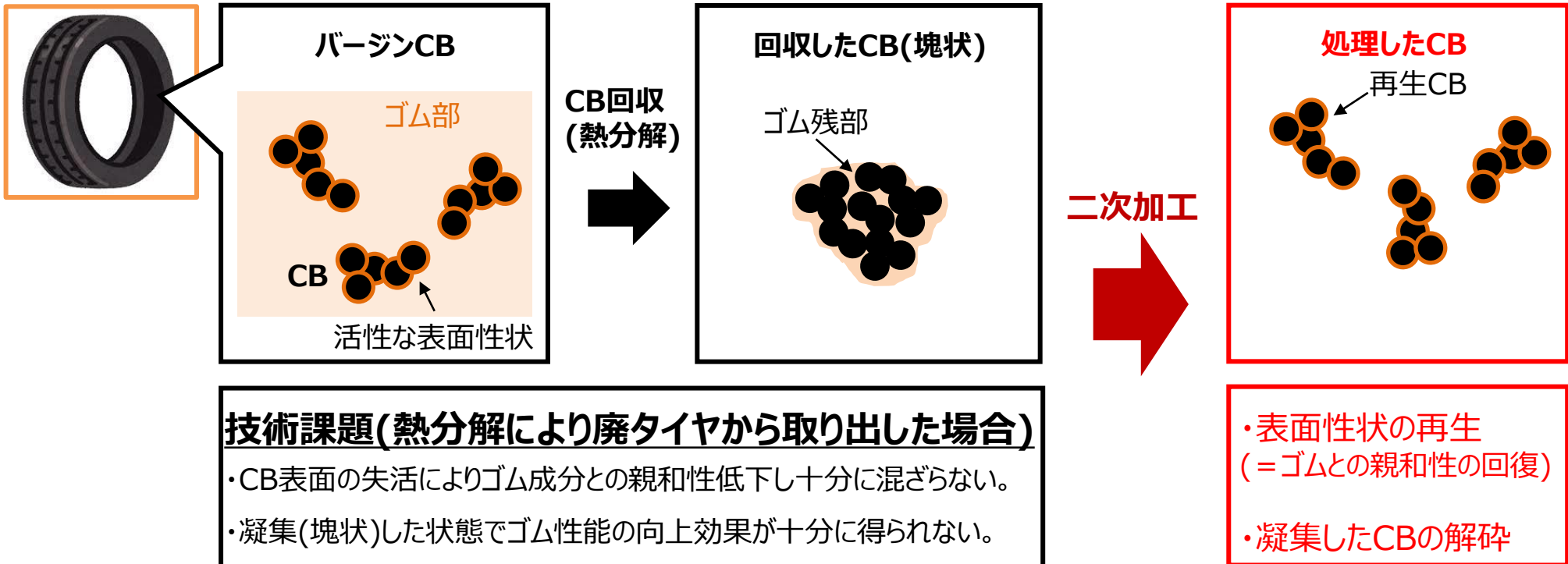
カーボンブラックの製造プロセス



テーマ② ; 廃タイヤからのカーボンブラック再利用技術開発

- 廃タイヤから熱分解によりCBを取り出し、二次加工等を用いて再度タイヤに利用可能なCBを製造する技術開発。
- 熱分解等によりCBを回収すると、①CB同士が凝集、②ゴムとの親和性の低下が発生する。CBを再利用するには、これらの課題を解決する2次加工等が必要。

【技術の特徴】



研究開発内容の拡充（案）について（まとめ）

- 化学製造業におけるカーボンニュートラルをさらに加速するため、種類の異なるプラスチックが混在した混合プラスチックや、廃タイヤに含まれるCBの技術を開発する。
- 主な技術課題は、塩素や硫黄などの不純物耐性のあるプロセス設計やCBの表面性状の再生である。これを解決することで、国際競争力を高める。

内容	現状の課題や対策の必要性 (海外状況や試験内容の必要性)	効果 (スケジュールの加速や市場の広がり)	(再)公募の実施
【拡充①】 混合プラスチックからの基礎化学品製造技術開発	雑多な廃棄プラスチックについて、 <u>分別が難しいものは埋立もしくは焼却(熱リサイクルを含む)</u> している。 資源循環に資するリサイクルをさらに促進するためには、混合プラスチックの状態から、 直接、各種の単一プラ原料にリサイクルする技術開発 が必要。	・ 混合プラスチックから単一プラスチック原料へのケミカルリサイクルを確立し、プラスチックの資源循環の加速を目指す。	○
【拡充②】 廃タイヤからのカーボンブラック再利用技術開発	カーボンブラック(CB)は耐久性向上等の目的でタイヤに添加されているが、 <u>ほとんどがタイヤ廃棄時に一緒に焼却されている</u> 。 CBを再利用することで化石原料由来の新品CBに比べ製造時及び焼却時CO2排出を削減できると見込まれるため、 CBを再利用可能する技術開発 が必要。	・ 廃タイヤから回収されるCBの性能について、化石原料由来の新品CBと同程度とする技術を確立し、CBの資源循環を目指す。	○

(参考) 実施スケジュール案



	現状	2025年	2030年	2040年	2050年
2.①廃プラ・廃ゴムからエチレン等基礎化学品製造技術の開発・実証	・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	・既製品と同価格を実現 ・熱分解(オレフィン)技術商用化
混合プラから直接基礎化学品を製造する技術開発	・サーマルリサイクルや油化、ガス化によってリサイクル	・混合プラを直接基礎化学品にする技術開発(TRL4)	・全体プロセスの最適化 ・混合プラの適応範囲の拡大(TRL6,7)	・直接基礎化学品にケミカルリサイクルする技術の商用化	・既製品と同価格を実現
2.②廃タイヤ等からのカーボンブラック再生技術開発	・廃タイヤ等から回収したCBは性能が劣る	・リサイクルCBの2次処理条件の最適化(TRL4)	・全体プロセスの最適化 ・タイヤへの実装テスト(TRL6,7)	・リサイクルCBの商用化 ・石油由来品との同性能なりサイクルCBの確立	・既製品と同価格を実現

提案部分