令和４年度環境省請負業務

# 令和４年度廃棄物・資源循環分野における
# 2050 カーボンニュートラル実行計画等検討業務
# 報告書

令和５年３月

パシフィックコンサルタンツ株式会社

# 目　次

**I. 廃棄物処理等における脱炭素化技術の評価・検証 ..... I-1**
1. 調査対象とする対策分野の選定及び調査に用いた文献等 ..... I-1
2. プラスチック資源循環に係る脱炭素化技術 ..... I-6
3. 金属資源循環に係る脱炭素化技術 ..... I-23
4. プラスチック及び金属資源循環に係る脱炭素化技術に関するヒアリング調査 ..... I-32
5. CCUS 関連技術 ..... I-41

**II. 廃棄物処理システムのあり方の検討及び「廃棄物処理施設整備計画」の見直し案の作成 ..... II-1**
1. 廃棄物処理システムのあり方の検討 ..... II-1
2. 「廃棄物処理施設整備計画」の見直し案の作成 ..... II-47

**III. 資源循環を通じた素材毎のライフサイクル全体の脱炭素化に向けた検討 ..... III-1**
1. 関係分野で検討されている対策技術、戦略、計画による影響の検討 ..... III-1
2. 循環型社会、ライフスタイルや社会変容を通じた循環経済が廃棄物・資源循環分野の脱炭素化に与える影響の検討・整理 ..... III-63

**IV. 廃棄物・資源循環分野の 2050 年カーボンニュートラル・脱炭素社会の実現に向けた検討会及び有識者ヒアリングの開催 ..... IV-1**
1. 検討会の設置・運営 ..... IV-1
2. 有識者ヒアリング実施概要 ..... IV-3

**V. 廃棄物・資源循環分野における 2050 カーボンニュートラル実行計画骨子案の作成 ..... V-1**
1. 目次の検討 ..... V-1
2. 章ごとの検討 ..... V-1
3. 温室効果ガスインベントリの算定方法に基づく定量的な検討について ..... V-3

# I. 廃棄物処理等における脱炭素化技術の評価・検証

## 1. 調査対象とする対策分野の選定及び調査に用いた文献等

環境省は令和 3 年 8 月 5 日の中央環境審議会循環型社会部会（第 38 回）にて公表された「廃棄物・資源循環分野における 2050 年温室効果ガス排出実質ゼロに向けた中長期シナリオ（案）（以下、中長期シナリオ（案）という。）」において、廃棄物・資源循環分野での温室効果ガス（以下、GHG という。）実質排出ゼロを達成するシナリオ（実質排出ゼロシナリオ）や CCUS（計算上は CCS）を最大まで導入し、ネガティブエミッションを達成するシナリオ（最大対策シナリオ）を提示した。CCUS を除くと、対策別の排出削減量は「廃プラスチック（以下、廃プラという。）」が最も多く、CCUS 以外の対策のうちの 50%近くを占めているほか、「廃油」「エネルギー起源 $CO_2$」と合わせた上位 3 項目で削減量の 86%を占める。また、2050 年の CCUS 導入量については、実質排出ゼロシナリオで 6,161 kt-$CO_2$、最大対策シナリオでは 16,138 kt-$CO_2$ と試算されており、当該分野の脱炭素化のためには欠かせない技術であることが示唆された。

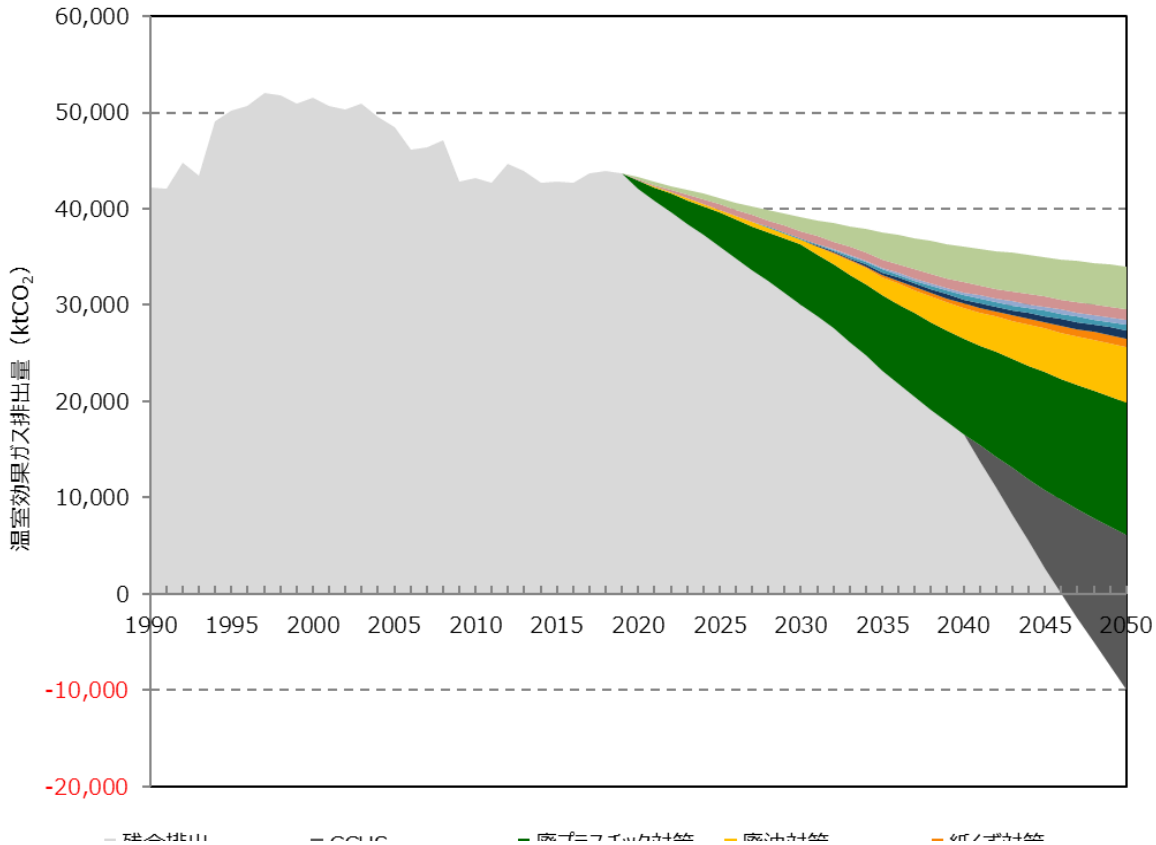



図 I-1　最大対策シナリオにおける対策別の GHG 削減効果試算結果（対 BAU シナリオ）

出典：環境省循環型社会部会（第 38 回）「廃棄物・資源循環分野における 2050 年温室効果ガス排出実質ゼロに向けた中長期シナリオ（案）」

表 I-1　最大対策シナリオにおける対策別の GHG 削減効果試算結果（対 BAU シナリオ）

単位：千トン$CO_2$

| GHG削減対策 | 2030 | 2050 |
|---|---|---|
| 廃プラスチック対策 | 6,174 | 13,690 |
| 廃油対策 | 563 | 5,838 |
| 紙くず対策 | 0 | 865 |
| 廃紙おむつ対策 | 0 | 820 |
| 合成繊維くず対策 | 127 | 601 |
| 廃タイヤ対策 | 0 | 504 |
| その他の対策 | 745 | 1,119 |
| エネ起$CO_2$対策 | 1,391 | 4,367 |
| CCUS | 0 | 16,138 |
| 合計 | 9,001 | 43,943 |

出典：環境省循環型社会部会（第 38 回）「廃棄物・資源循環分野における 2050 年温室効果ガス排出実質ゼロに向けた中長期シナリオ（案）」

また、中央環境審議会循環型社会部会「第四次循環型社会形成推進基本計画の進捗状況の第２回点検結果（循環経済工程表）」（令和 4 年 9 月）においても、「『廃棄物・資源循環分野における 2050 年温室効果ガス排出実質ゼロに向けた中長期シナリオ（案）』を元に、CCUS 等の技術の進展等を踏まえた廃棄物・資源循環分野における脱炭素技術の評価検証」を進めることが明記されている。このことからも、中長期シナリオ（案）の実現に向けて、対策別の排出削減ポテンシャルが最も大きいと試算されたCCUSや、素材対策の中で最も効果が大きいと試算された廃プラ対策を中心に、その対策効果を実現するために必要な関連技術の最新の開発動向や課題、普及の見込み等について調査をすることが必要であると考えられる。

一方で、令和 5 年 2 月 10 日に閣議決定された「GX 実現に向けた基本方針」では、資源循環産業について、金属・プラスチック・SAF 等について目標が掲げられ、GX 投資（静脈投資）の対象としても示されている。

中長期シナリオ（案）では、廃棄物分野のいわば Scope1+2 での GHG 排出実質ゼロに向けた検討であったことから、金属等の無機物は試算範囲にほぼ含まれていなかった。一方で、GHG 削減における役割の重要性や国の投資促進策の方向性を踏まえ、中長期シナリオ（案）の実現、ひいては日本全体の脱炭素化に向けて、本業務ではプラスチック及びCCUSに加えて、金属を対象として、廃棄物・資源循環分野における脱炭素技術について評価・検証を行うこととした。なお、技術の整理にあたっては、日本政府の計画、ロードマップ、補助事業の情報等のほかに、表 I-2 に示す雑誌や論文等の調査を実施した。また、その評価結果を踏まえ、表 I-3 に示す事業者等へのヒアリングを実施した。

## 【今後の道行き】　事例８：資源循環産業

■ 動静脈連携による資源循環を促進し、資源循環システムの自律化・強靭化を図るため、今後10年でデジタル技術を活用した情報流通プラットフォーム等の構築を図り、動静脈連携の加速に向けた制度枠組みの見直しや構造改革を前提としたGX投資支援などで資源循環市場を創出する。

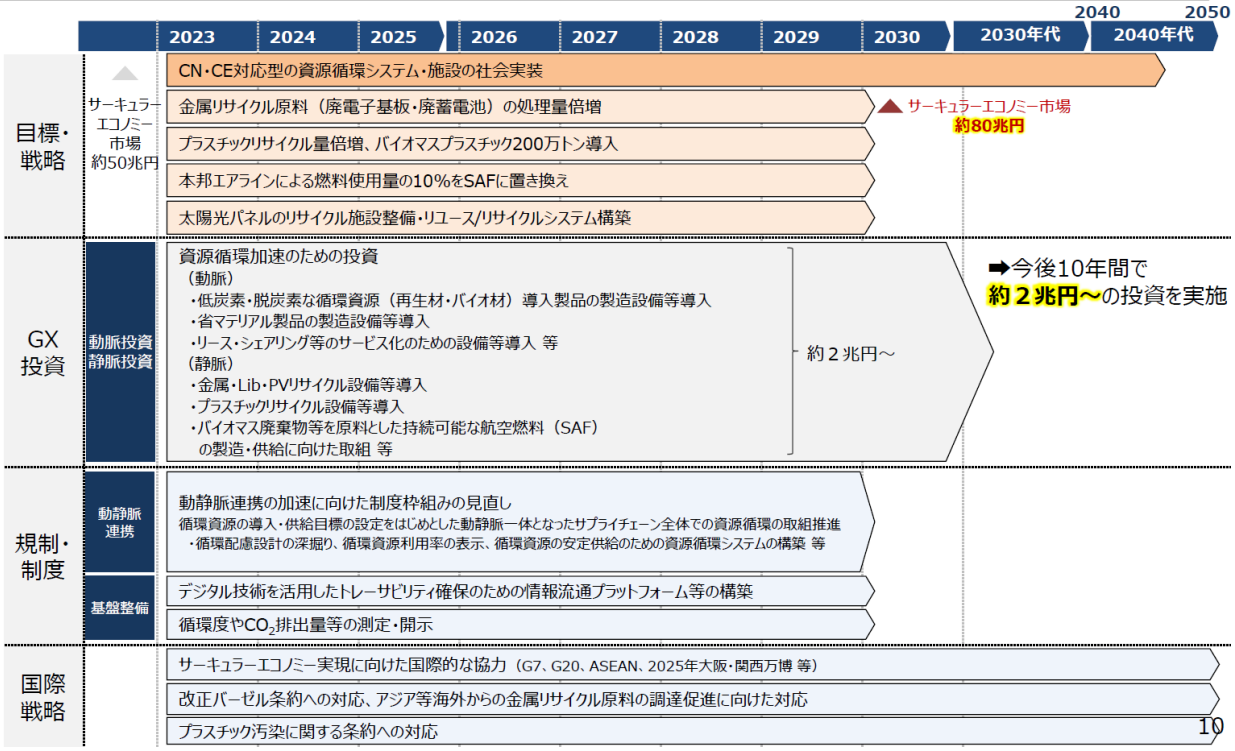



図 I-2　【今後の道行き】資源循環産業

出典：「GX 実現に向けた基本方針～今後 10 年を見据えたロードマップ～」（令和 5 年 2 月 10 日閣議決定）参考資料

表 I-2　調査文献一覧

| 文献名 | 著者・発行年 |
|---|---|
| 廃プラスチックの現在と未来　持続可能な社会におけるプラスチック資源循環 | 一般社団法人日本エネルギー学会 編、2023年1月 |
| 環境配慮設計を見据えた再生資源プラスチックの将来展望 | 八尾滋 監修、2022年5月 |
| 工業材料2020年10月号 | 日刊工業新聞社 編、2020年10月 |
| 工業材料2021年11月号 | 日刊工業新聞社 編、2021年11月 |
| 月刊廃棄物第47巻第3号 | 河村勝志 編、2021年3月 |
| プラスチックリサイクルの研究開発動向と課題：フィードストックリサイクルを中心として | 齋藤他, 化学工学論文集, 第43巻, 第4号, pp. 178-184, 2017 |
| 二酸化炭素回収利用貯蔵（CCUS）の現状と廃棄物分野への応用（焼却処理を中心に） | 倉持他, 都市清掃, Vol. 75, No. 365, pp. 16-22, 2022 |
| 資源循環分野におけるバイオメタンおよびバイオメタネーション技術 | 小林他, 廃棄物資源循環学会誌, Vol. 33, No. 1, pp. 25-34, 2022 |
| 日本エネルギー学会機関誌 えねるみくす 第101巻第6号 | 日本エネルギー学会 編、2022年11月 |
| Analysis of Potential for Critical Metal Resource Constraints in the International Energy Agency's Long-Term Low-Carbon Energy Scenarios | Watari et al., Minerals 2018, 8(4), 156 |
| Total material requirement for the global energy transition to 2050: A focuson transport and electricity | Watari et al., Resources, Conservation & Recycling, 148 (2019) 91-103 |
| IEAGHG Technical Report: CCS on Waste to Energy | IEA Greenhouse Gas R&D Programme, 2020 |
| Net Zero by 2050 A Roadmap for the Global Energy Sector ※ | IEA, 2021 |
| World Energy Outlook 2022 | IEA, 2022 |
| Innovation Outlook: Renewable Methanol | IRENA, 2021 |
| Implementing the REPOWER EU Action Plan: Investment Needs, Hydrogen Accelerator and Achieving the Bio-Methane Targets | European Comission, COM(2022) 230 final |
| Environmental assessment of carbon capture and storage (CCS) as a post-treatment technology in waste incineration | Bisinella et al., Waste Management 128 (2021) 99–113 |
| Climate change impacts of introducing carbon capture and utilization (CCU) in waste incineration | Christensen et al., Waste Management 126 (2021) 754–770 |
| Growth-Stage Power-to-Gas Company Electrochaea Closes Series D Financing Round | Electrochaea, 2022 |

※「令和 3 年度廃棄物・資源循環分野における 2050 年温室効果ガス排出実質ゼロに向けた中長期シナリオ検討業務報告書」（2022 年 3 月）においても参照した。

表 I-3　ヒアリング実施概要

| No. | 実施日時 | 対象者 | 主な対象技術 |
|---|---|---|---|
| 1 | 令和5年2月2日（木） | JFEエンジニアリング株式会社 | 廃棄物のガス化技術 |
| 2 | 令和5年2月8日（水） | 日立造船株式会社 | 廃棄物のガス化技術 |
| 3 | 令和5年3月1日（水） | メタウォーター株式会社 | 不燃・粗大ごみや資源ごみの処理技術 |
| 4 | 令和5年3月1日（水） | 国立研究開発法人産業技術総合研究所<br>エネルギー環境領域・環境創生研究部門 副研究部門長<br>大木 達也 氏 | プラスチックの高度選別技術 |
| 5 | 令和5年3月7日（火） | 極東開発工業株式会社 | 不燃・粗大ごみや資源ごみの処理技術 |
| 6 | 令和5年3月10日（金） | 新明和工業株式会社 | 不燃・粗大ごみや資源ごみの処理技術 |
| 7 | 令和5年3月10日（金） | 東京都 環境局 資源循環推進部 資源循環推進専門課長<br>古澤 康夫 氏 | プラスチックの高度選別技術や不燃・粗大ごみや資源ごみの処理技術、CCUS関連技術 |
| 8 | 令和5年3月13日（月） | 大阪ガス株式会社<br>Daigasエナジー株式会社 | バイオメタネーション技術 |
| 9 | 令和5年3月16日（木） | 三菱重工業環境・化学エンジニアリング株式会社<br>三菱重工株式会社 | 廃棄物のガス化技術 |
| 10 | 令和5年3月20日（月） | 一般財団法人日本環境衛生センター 副理事長 代表理事・総局長<br>藤吉 秀昭 氏 | 選別・リサイクル技術全般 |

## 2. プラスチック資源循環に係る脱炭素化技術

### 2.1 調査対象技術の選定

プラスチックのリサイクルシステムの要素技術の全体像は図 I-3 のように表現される。中長期シナリオ（案）において、廃プラ由来の GHG 排出量削減に少なくとも 2050 年時点で直接貢献している技術要素は、主にマテリアルリサイクル（以下、MR という。）技術、循環型ケミカルリサイクル（以下、CR という。）技術、バイオマスプラスチック製造技術である。2050 年においては、廃プラの MR への仕向量が 200 万トン程度、循環型 CR への仕向量が 100 万トン程度、廃プラのうち新規のバイオマスプラスチックが 250 万トン程度（図 I-4 参照）となっている。

また、MR や循環型 CR の原料として適合する廃プラの量、品質を確保するためには、リサイクルの前段での分別収集の推進や、選別の高度化が必要であると考えられる。

以上を踏まえ、中長期シナリオ（案）の達成に必要な脱炭素技術の要素として、高度選別、MR、循環型 CR、バイオマスプラスチックを含むバイオプラスチック製造について調査を行う。

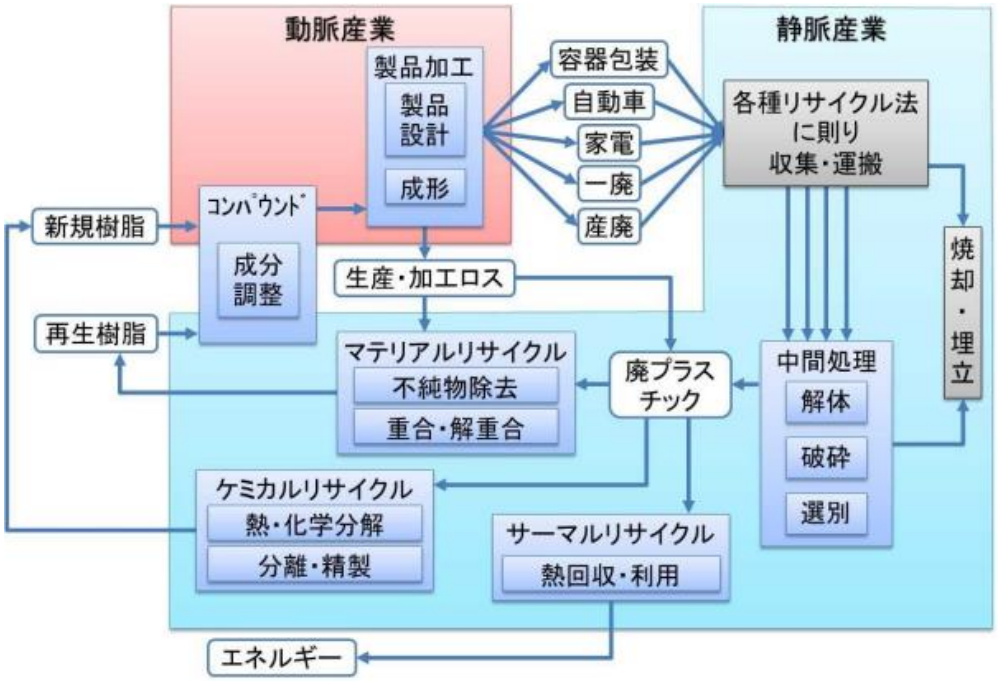
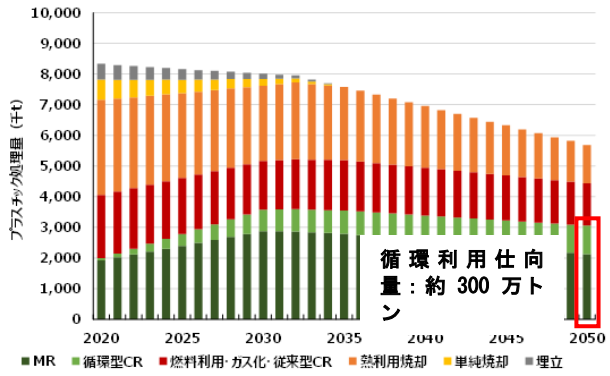



図 I-3　プラスチックリサイクルシステムと要素技術

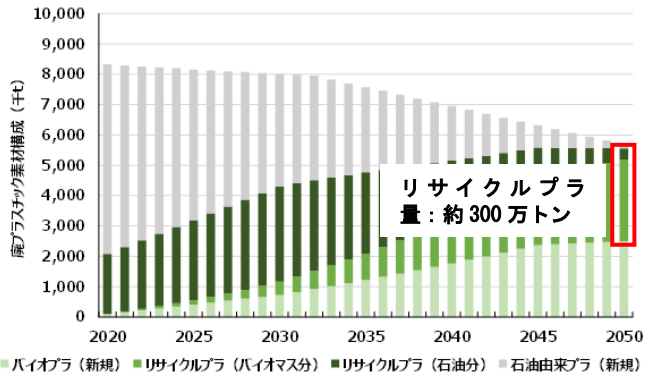
出典：NEDO「TSC Foresight Vol.35」（2019 年 11 月）

## （1）廃プラスチック対策の基本的な考え方

・MR及び循環型CRにより廃プラスチックの循環的な利用を進めるとともに、新規投入されるプラスチック製品については、バイオプラスチック導入ロードマップに基づき、2030年までに約200万トンのバイオマスプラスチック導入（バイオマス割合は3～4割）を想定。
・ 2050年に向けては、やむを得ず焼却せざるを得ない廃プラスチックからの排出される$CO_2$をMR・循環型CRの促進とバイオマスプラスチック化の組み合わせにより大幅に削減すると想定。




廃棄されたプラスチックの処理方法別の処理量の試算結果（イノベーション発展シナリオ）




廃棄されたプラスチックの素材構成の試算結果（イノベーション発展シナリオ）

【試算にあたっての想定内容】
・プラスチックの廃棄量は、将来人口（一般廃棄物）及び将来エチレン生産量等（産業廃棄物）をドライバーに用い、プラスチック製買物袋の有料化等の発生抑制対策の効果を加味して推計した。特にイノベーション発展シナリオにおいては、カトラリーや食品向けのフィルム・容器・ボトルについてプラスチック資源循環促進法に基づく重点的なリデュース等を想定し、プラスチック製品種類毎のプラスチックの廃棄量データをもとにプラスチック全体として25%程度のリデュースの深堀りを見込んだ。
・MR・循環型CRについては、廃プラスチック対策の中心的な役割を担う技術として位置付け、「廃プラスチックのケミカルリサイクルに対する化学産業のあるべき姿，一般社団法人 日本化学工業協会」を参考に、本推計で見込む発生抑制対策の深堀りによる影響も加味して導入量を想定した。
・埋立及び単純焼却については、「プラスチック資源循環戦略」に基づき、2035年までに全て他の処理に代替されると想定した。



図 I-4　廃プラスチック対策の基本的な考え方

出典：環境省循環型社会部会（第 38 回）「廃棄物・資源循環分野における 2050 年温室効果ガス排出実質ゼロに向けた中長期シナリオ（案）」に加筆

| | | |
|---|---|---|
| 廃プラスチック対策 | 発生抑制・再使用・分別回収の推進 | ■ 使い捨て用途のプラスチックの合理化や消費者のライフスタイル変革の加速等、あらゆる場面での2Rの推進。<br>■ MR・循環型CR等のリサイクル促進に向け、プラスチック資源循環促進法等に基づくプラスチック製品の環境配慮設計や廃プラスチックの分別収集の推進、分別収集の高度化等を促進。 |
| | MRの更なる推進 | ■ （再掲）MR・循環型CR等のリサイクル促進に向け、プラスチック資源循環促進法等に基づくプラスチック製品の環境配慮設計や廃プラスチックの分別収集の推進、分別収集の高度化等を促進。<br>■ 選別技術の高度化、リサイクル製品の使用を促進する制度等整備。 |
| | 循環型CRの推進 | ■ （一社）日本化学工業協会「廃プラスチックのケミカルリサイクルに対する化学産業のあるべき姿」に掲げられる循環型CRの推進やCR過程での歩留まり、収率の向上。<br>■ プラスチック製品におけるリサイクル価値向上に向けた制度整備、CR向け廃プラスチック確保に向けた取組等。 |
| | バイオマスプラスチックの更なる普及 | ■ イノベーション実現シナリオ以降は、2050年において、250万トン程度のバイオマスプラスチックの導入を想定（バイオマス分を250万トンと想定）。導入本格化までの過渡期においては、マスバランス方式によりバイオマス由来特性を割り当てたPP・PE等の汎用プラスチックの先行的な普及を見込む。 |
| （シナリオへの反映は見送り） | カーボンリサイクル技術によるプラスチック製造 | ■ 2050年においては、カーボンリサイクル技術の進展により$CO_2$やアルコール類からのプラスチック製造が進む可能性があるが、本シナリオでは、MR・循環型CRによるプラスチックの循環的な利用、新規投入されるプラスチックについては、CNな素材であるバイオマスプラスチックの普及を見込んだ。今後、課題の整理と合わせて検討を行う。 |
| | 廃プラスチックの燃料利用 | ■ MR・循環型CRとバイオマスプラスチックを組み合わせたプラスチック全体でのバイオマス化が進めば、燃料利用される廃プラスチックからの$CO_2$も実質排出ゼロに近づくため、2050年においても一定量の廃プラスチックの燃料利用は想定され得る。本シナリオでは見込んでいないが、今後、課題の整理と合わせて検討を行う。 |

図 I-5　廃プラスチック対策の基本的な考え方

出典：環境省循環型社会部会（第 38 回）「廃棄物・資源循環分野における 2050 年温室効果ガス排出実質ゼロに向けた中長期シナリオ（案）」

## 2.2 廃プラスチック選別技術

国立研究開発法人新エネルギー・産業技術総合開発機構（以下、NEDOという。）「革新的プラスチック資源循環プロセス技術開発」事業原簿によると、「プラスチック以外の廃棄物（紙、木材、金属等）が混在した状態を起点として想定する場合、現状、経済性や選別精度の点から、この段階では人手に頼ることが大半であり、自動化されているケースは少ない。また、選別後の各種リサイクルプロセスに廃プラスチック原料を適切に供給するには、既存のプラスチック選別よりも高度な選別基準が要求されることが想定される。現状の選別装置では、プラスチックの種類、サイズ、形状が多様な雑品プラスチックの選別には選別時の回収率が低くなる課題がある。」とされている。

代表的な選別手法としては、センサー選別（光を照射し、スペクトルの形状を元にプラスチックの種類を判定。近赤外線吸収法やラマン分光法等の種類が存在。）や比重選別（比重の差により異なる種類の金属やプラスチックを選別。）などが挙げられる。また、近年ではAI画像認識を組み合わせた自動選別機も出現している。

**表 I-4　廃プラスチックの選別技術例**

| 名称 | | 概要 |
|---|---|---|
| 重液選別 | | 2種類のプラスチックの中間比重を持つ重液（水溶液や懸濁液）を媒体として用いた浮沈分離 |
| 比重選別（湿式／乾式） | | 流体中での移動速度の差を利用<br>比重に加え、粒子粒・粒子形状も大きく影響 |
| （摩擦帯電式）静電選別 | | 2種類のプラスチック粒子を摩擦により帯電させ、一方を正極側、もう一方を負極側から回収 |
| センサー選別 | 近赤外線吸収法 | 黒色や濡れたプラスチックの検知困難（近年は黒色が検知可能な中赤外線分光も商用化） |
| | ラマン分光法 | 固体粒子の分子構造を推定 |
| | 蛍光X線（XRF）、LIBS（レーザー誘起ブレークダウン分光） | 臭素の検知・除去などに利用 |

出典：「廃プラスチックの現在と未来 持続可能な社会におけるプラスチック資源循環」（一般社団法人日本エネルギー学会 編、2023年1月）より作成

次に、廃プラスチックの処理量に着目すると、「2021年プラスチック製品の生産・廃棄・再資源化・処理処分の状況 マテリアルフロー図」（一般社団法人プラスチック循環利用協会、2022年 12月）によると、一般系廃棄物の廃プラスチック排出量は産業系廃棄物と比較してわずかに大きい一方で、産業系廃棄物は品質が一定であることが多く、排出量も比較的安定しているため、一般系廃棄物よりも再生利用量が大きい。また、一般系廃棄物の再生利用の大部分が PET ボトルであるほか、単純焼却・埋立量も一般系廃棄物の方が大きい状況である。

特に、MR や CR のうちモノマー化では純度の高いプラスチックが必要となる。産業系廃棄物のうち品質が一定であるものや、一般系廃棄物のうち排出時点で分別回収される PET ボトルや白色トレイなどは、高純度化が比較的容易であるため現状でも高い循環利用率となっている一方で、循環利用量の大幅な増加のためには、現状で分別回収・リサイクルの仕組みが確立していない、様々な品目が混ざった混合廃棄物（一般廃棄物に多いと考えられる）を対象とした循環の促進が求められる。混合廃棄

物から単にプラスチックを選別するだけでなく、MR や循環型 CR の手法に応じた樹脂・純度で選別する高度な選別技術は、MR、CR の原料となる廃プラの流通量を増やし、個々のリサイクル技術を広く普及させるための基盤となる技術となりうることから、中長期シナリオ（案）の実現においても重要な技術であると考えられる。

また、異物量の多いリサイクル材料の異物除去装置として、レーザーフィルターが開発されている。これは、メッシュの表面に捕集された異物（未溶融物、ゲル化物、やけ物、フィラー凝集物、紙、PET、アルミニウム、塗料、木材、ゴム、接着剤など）を連続的に除去し、経路外へ排出する装置であり、リサイクルに仕向けられる材料の増加、高品質化の手段として期待される。（「環境配慮型設計を見据えた再生資源プラスチックの将来展望」（八尾 滋 監修、2022 年 5 月）より）

### 2.3 廃プラスチックのマテリアルリサイクル

プラスチック循環利用協会「2021 年 プラスチック製品の生産・廃棄・再資源化・処理処分の状況 マテリアルフロー図」（2022 年 12 月）によると、2021 年は 177 万トンのプラスチックが MR（再生利用）されているが、そのうち 131 万トンは再生材料やプラスチック屑として輸出されており、国内で循環利用されているのは 47 万トン程度に留まっている。現状の MR では、異物混入による品質劣化や色、におい等の問題から、リサイクル回数が限られることやダウンサイクルが中心となることが課題として挙げられる。

一方で、PET ボトルリサイクル推進協議会「PET ボトルリサイクル年次報告書 2022」（2022 年 11 月）によると、リサイクル率の高い PET ボトルでは全体の 20.3%が水平リサイクル（ボトル to ボトル）に仕向けられており（2021 年度）、同協議会ではこの割合を 2030 年度までに 50%に高めることを目標に掲げている。

以上を踏まえると、中長期シナリオ（案）における MR 品約 200 万トンの水準に達するには、排出量が多くリサイクル率の低い樹脂の MR への仕向量を増加させるとともに、国内循環利用向けに水平リサイクル、アップサイクルの割合を増加させることが重要と考えられる。

現状の樹脂別排出量及び MR 量（表 I-5）から、生産量が大きく MR 率の低いポリエチレン（以下、PE という。）やポリプロピレン（以下、PP という。）のリサイクル技術（特に、水平リサイクル、アップサイクル技術）の開発・実装が重要と考えられる（PE 及び PP の 2 種で、2021 年において MR されていない廃プラ量のうちの 60%以上をカバーしている。）。また、MR のリサイクル技術が普及するためには、MR に適合する素材の確保が必要となる。「廃プラスチックの現在と未来 持続可能な社会におけるプラスチック資源循環」（一般社団法人日本エネルギー学会 編、2023 年 1 月）では、「できるだけ川上で、種々のプラスチックが混在しない状態で収集できるシステムが確立すれば、MR からよい物性の材料生産ができるようになり、MR がさらに発展すると考えられる。」としており、特に産業廃棄物や事業系一般廃棄物ではこのようなシステムの確立も急務と考えられる。

PET（指定 PET ボトル用 PET 樹脂）に関しては、MR 仕向率は 80%超と高いものの、国内再資源化量は 60%程度、水平リサイクルは 20%程度であり、国内循環量の増加に資する水平リサイクルの更なる普及が期待される。

表 I-5　樹脂別プラスチック生産量、廃棄量、及び MR 仕向量（2021 年）

| | 生産量<br>(万トン) | 廃プラ排出量<br>(万トン) | MR量<br>(万トン) | 非MR量<br>(万トン) | MR率 |
|---|---|---|---|---|---|
| ポリエチレン | 245 | 279 | 36 | 243 | 13% |
| ポリプロピレン | 246 | 201 | 41 | 160 | 20% |
| ポリスチレン類 | 120 | 101 | 13 | 88 | 13% |
| 塩化ビニル樹脂 | 163 | 70 | 20 | 50 | 29% |
| PET（指定PETボトル用PET樹脂） | 58<br>（販売量） | 64 | 53<br>（うちボトルtoボトルは約12） | 11 | 83% |
| その他 | 214 | 109 | 15 | 94 | 14% |
| 合計 | 1045 | 824 | 177 | 647 | 22% |

※PET 以外の樹脂の水平リサイクル・アップサイクル量は不明だが、国内の再生樹脂投入量が 33 万トン（PET 含む）であることを踏まえると、水平リサイクル・アップサイクルの割合は PET よりも更に低いと考えられる。
※上表の PET の MR 仕向率は、PET ボトルリサイクル推進協議会の算出しているリサイクル率（86%）とは分母、分子が異なるため、数値が一致していない。
出典：下記より作成
・ 一般社団法人 プラスチック循環利用協会「2021 年 プラスチック製品の生産・廃棄・再資源化・処理処分の状況 マテリアルフロー図」（2022 年 12 月）
・ PET ボトルリサイクル推進協議会「PET ボトルリサイクル年次報告書 2022」（2022 年 11 月）

### 2.4 廃プラスチックのケミカルリサイクル

プラスチック循環利用協会「2021 年 プラスチック製品の生産・廃棄・再資源化・処理処分の状況 マテリアルフロー図」（2022 年 12 月）によると、2021 年における CR 量は 29 万トン（廃プラ排出量の約 4%）であるが、1way 型 CR（高炉還元材、コークス炉等で炭素源として活用）が主流であり、中長期シナリオ（案）で大幅な増加を想定している循環型 CR（モノマー化、ガス化、油化）は今後の実装・普及が期待される技術である。

CR は、「原料となる廃プラスチックの選別や不純物除去の作業が MR より簡素化でき、リサイクルできる廃プラスチックの幅が広い（いわゆる「汚れたプラスチック」でも許容できる）という意義がある。」（日本化学工業協会「廃プラスチックのケミカルリサイクルに対する化学産業のあるべき姿」（2020 年 12 月）より）。モノマー化は、PET やポリスチレン（以下、PS という。）、ポリアミド（以下、PA という。）、アクリル樹脂（以下、PMMA という。）等で技術開発が行われており、高い収率が期待できるが、単一素材率が比較的高いものが対象となっている。PS については現状の非循環量が大きいほか、PET については、指定 PET ボトル用 PET 樹脂では MR が進んでいるが、着色 PET ボトルや汚損の激しい PET ボトル、容器包装等を対象にモノマー化技術は重要と考えられる。油化は、主に PE、PP で技術開発が行われている。複合素材のプラスチックでも処理可能であるほか、既存のナフサクラッカーの活用も期待される一方で、モノマー化に比べてプラスチックがプラスチックとして循環する割合が低くなることに留意が必要である。ガス化は、合成ガスを精製し、水素やアンモニア、アルコール等の様々な物質を製造可能であり、MR やモノマー化、油化で処理困難な廃プラまで対象とすることが期待されている。ガス化技術は、プラスチックの CR 技術であるとともに、後述する混合廃棄物の CCUS 技術としても期待される。

表 I-6　循環型 CR 技術による生産が開発・実証されている主な樹脂の生産量及び廃棄量（2021 年）

| | 開発・実証されている主な樹脂 | 生産量<br>(万トン) | 廃プラ排出量<br>(万トン) |
|---|---|---|---|
| モノマー化 | PET | 58（販売量） | 64 |
| | PS | 120 | 101 |
| | PA（ポリアミド） | 23 | 不明 |
| | PMMA（アクリル樹脂） | 14 | 不明 |
| 油化 | PE | 245 | 279 |
| | PP | 246 | 201 |

出典：下記より作成

- 一般社団法人 プラスチック循環利用協会「2021 年 プラスチック製品の生産・廃棄・再資源化・処理処分の状況 マテリアルフロー図」（2022 年 12 月）
- PET ボトルリサイクル推進協議会「PET ボトルリサイクル年次報告書 2022」（2022 年 11 月）
- 日本プラスチック工業連盟 HP「2012 年～2021 年　プラスチック原材料生産実績（確定値）」 http://www.jpif.gr.jp/3toukei/conts/nenji/y_genryou_c_2.htm （2023 年 1 月 17 日閲覧）

## 2.5 素材転換（バイオプラスチック）

バイオプラスチックは、バイオマスプラスチック（バイオマス資源を原料としたプラスチック）と生分解性プラスチック（自然界に存在する微生物の働きで、最終的に水と二酸化炭素に分解されるプラスチック）に大きく分類される。「バイオプラスチック概況」（バイオプラスチック導入ロードマップ検討会（第 1 回）資料、2020 年 5 月）によると、日本のバイオプラスチック出荷量は約 4.7 万トン（うちバイオマスプラスチックが約 4.2 万トン（2019 年））であり、「バイオプラスチック導入ロードマップ」（環境省他、2021 年 1 月）で掲げられている 2030 年バイオマスプラスチック 200 万トンや、中長期シナリオ（案）の中で想定されている 2050 年バイオマスプラスチック 250 万トンの達成のためには大幅な導入拡大が必要となる。

バイオプラスチック導入ロードマップによると、バイオマスプラスチック（非生分解性・生分解性）の課題を踏まえた基本方針の概要は以下のとおりである。

①原料：将来的なバイオマスプラスチック用途の需要増加を見据えた原料の拡大に向けた多様化への取組み

②供給：国内での製造を中心に、本邦企業による製造の拡大とそのための環境整備

③コスト：原料調達や製造等における関係主体の連携・協働や開発・設備導入支援による製造コストの最適化と環境価値を加味した利用促進

④使用時の機能：高い汎用性、高機能なバイオプラスチックの開発・導入

⑤リサイクル調和性等の影響：リサイクルが確立している汎用プラスチックと同等物性のバイオマス由来プラスチックの積極的な展開、その他のバイオプラスチックのリサイクル技術・プロセスの向上、関係主体の協働

⑥環境・社会的側面：持続可能性の確保やモラル・ハザード防止のための環境整備、プラスチックの使用が強く求められる用途や使用後の焼却等の処理が必要な用途に対しての積極的なバイオプラスチック導入

一方、世界の製造能力予測（European Bioplastics, Market Data）によると、今後数年でバイオ PE やバイオ PA、ポリ乳酸（PLA：バイオマス由来かつ生分解性）が大幅に増加する見込みとなっている。バイオ PE、バイオ PET は化石由来の PE, PET をそれぞれ代替できるほか、PLA は食品容器用途の A-PET（アモルファス-PET）や ABS 樹脂等を代替しうる。日本においても PE や PET、ABS 樹脂（日本にお

ける 2021 年の生産量：約 35 万トン）の需要量は大きいことから、バイオマスプラスチックの導入目標達成にはこれら樹脂の技術開発、普及促進が極めて重要と考えられる。

### 2.6 プラスチック資源循環に係る技術の開発・実証・導入事例

#### （1）廃プラスチック選別技術の開発・実証・導入事例

廃プラスチックの高度選別技術の開発・実証・導入事例について、国内外事業者のホームページ等を参考に整理した。選別機の開発・導入は欧州で進んでいる状況であるが、国内においても NEDO 事業における研究開発（産業技術総合研究所）や米国企業と共同で AI 選別機を開発した事例なども見られる。

**表 I-7　廃プラスチック選別技術の開発・実証・導入事例**

| | 事業者 | 概要（手法、処理対象、特徴等） |
|---|---|---|
| 選別機開発（国内） | 産業技術総合研究所 | • 混合廃棄物からMR, CR用のプラスチックを選別するための複合センシングと機械学習を組み合わせたAIソータの開発<br>• MR用、CR用に廃プラ原料を供給するための高精度な比重選別技術の開発 |
| | 静岡大学他 | • テラヘルツ波を利用した廃プラ識別装置を開発 |
| | 株式会社リョーシン | • AIによる画像認識で、建築系廃棄物や飲料容器など50品目以上を選別可能 |
| | ウエノテックス株式会社<br>株式会社御池鐵工所 | • いずれも2Dカラーカメラ、3Dカメラを搭載し、近赤外線センサーや金属検知センサー等を組み合わせたセンシング機能を備えた機械学習方式の選別システムを販売 |
| リサイクラー（国内） | 株式会社プラニック | • 御前崎工場にて、自動車や家電製品の破砕後のミックスプラスチック、家庭で使用されるプラスチック製品、工場から排出される廃プラスチック類を年間4万トン受け入れ、選別し、高品質の再生プラスチックを生産<br>• Galloo Plastics社の比重選別技術を採用 |
| | 株式会社富山環境整備 | • 産廃を対象に、混合廃棄物を近赤外線アナライザーで素材識別し、2度の光学式選別や磁力選別、比重選別を用いてプラスチック素材を選別し、ニーズに応じてペレットや圧縮ベール等に加工<br>• 一廃の処理も実施 |
| 選別機開発・リサイクラー（海外） | TOMRA社（ノルウェー） | • 欧州のリサイクル主要企業。色選別、近赤外線、X線透過など様々なセンサー選別機を開発 |
| | Veolia社（フランス） | • 欧州のリサイクル主要企業。選別アルゴリズムと光学式選別機を採用した自動選別システムを開発 |
| | SUEZ社（フランス） | • 欧州のリサイクル主要企業。光学選別や、機械選別、ロボット等を組み合わせたソーティングセンターにて再生プラスチック原料を生産 |
| | Remondis社（ドイツ） | • 欧州のリサイクル主要企業。Lippe工場では、年間22,400トンの廃プラを処理<br>• 渦電流選別、風力選別、比重選別、光学選別などを利用して様々な材料を選別し、それぞれコンパウンド化 |
| | PELLENC ST 社（フランス） | • PP, PE, PP, 紙・木, RDFなどを検知・選別可能な光学式選別機を開発<br>• 選別データの蓄積・分析・最適化も可能 |
| | RECYCLEYE社（英国） | • 近赤外を用いた選別機や黒色・暗色の物体を検出する選別機等、複数の光学式選別機を開発 |

| | | |
|---|---|---|
| | STEINERT社（ドイツ） | • AIにより混合廃棄物から28種類の物質を検出する選別機を開発 |
| | Galloo Plastics社（フランス） | • 自動車、電子機器、家庭用品廃棄物から約9トン/年の再生プラスチックを生産<br>• 日本のリサイクラーへ比重選別機の供与実績複数あり |

出典：「環境配慮型設計を見据えた再生資源プラスチックの将来展望」（八尾 滋 監修、2022年5月）及び各事業者のHP等を参考に作成。

**【参考】海外と日本のリサイクル技術の発展の相違**

研究評価委員会「革新的プラスチック資源循環プロセス技術開発事業」（中間評価）分科会（NEDO）において、海外と日本のリサイクル技術の発展の相違に関連して以下のような発言がされている。

**・マテリアルリサイクル**

1990年代、EUではCRの研究も盛んにおこなわれていた。しかし2000年に入るとコストなどの関係でCRを事実上諦めMRに特化し、大規模なソーティングセンターを建設して規模拡大による競争力強化に進んだ。その結果、各種センサーを備えたソーティングマシンの技術＆実績が向上し現在に至っている。選別ではトムラ、レーザーフィルターを設置した造粒機ではエルマ、そして総合再生メーカーでは、最近日本にも工場を建設したヴェオリアが有名である。特にエルマの機種は業界標準的な立ち位置であり、中国、台湾がそれを模倣した成形機を安価で製造販売している。日本ではリサイクルが業種（家電、小電、容器包装、PETボトル等等）ごとに細分化されており、また小規模なマテリアルリサイクルの事業者が多いため、スケールによる低コスト化が難しいことが課題である。但し欧州の開発は主に臭いや異物対策が主であり、物性改善への取り組みはなされていない（PETの固相重合を除く）。またレーザーフィルター技術も薄肉フィルム再生に必要な20μのろ過は難しい。現在我々はその対応方法の検討も行っており、総合的に、現在我々の研究開発の核心である高分子の基礎物性に基づいた物理再生法はまだ検討されておらず、我々が先行していると考えられる。

**・リサイクル技術**

2000年以降、EUでは大規模なソーティングセンターを中心に、マテリアルリサイクルが進められた。一方、日本では業種毎に回収され、容器包装プラスチックは小規模なマテリアルリサイクル業者と比較的大きなケミカルリサイクル業者が共存してきました。EUでは複合プラスチックの割合が小さく、一方、日本では複合プラスチックの割合が多いため、リサイクル技術の開発が求められ、本プロジェクトの液相分解のような技術開発が検討されています。

**・選別技術**

欧州は大型工場で集約的に処理するのに対し、日本は多数の中小工場で構成されています。選別技術水準は大差ないものの、欧州ではリサイクル向けに特化した装置やこれをシステム化するニーズが存在し、製品の水準は先行しています。ただ、世界的に効率的に大量処理する装置は多いものの、高精度に選別する装置はあまりなく、本プロジェクトでは、この点の技術開発を狙いとしています。

出典：NEDO研究評価委員会「革新的プラスチック資源循環プロセス技術開発事業」（中間評価）分科会 議事録及び書面による質疑応答 (https://www.nedo.go.jp/content/100954925.pdf )

### （2）MR 技術の開発･実証･導入事例

MR は、国内では指定 PET ボトル用 PET 樹脂での取組みが進んでおり、水平リサイクルの事業が複数実施されている。

**表 I-8　MR 技術の開発・実証・導入事例**

| 事業者 | 概要 |
|---|---|
| 協栄J&T環境株式会社 | 年間製造能力4~5万トンのPETボトルリサイクルレジン製造工場。 |
| 豊通ペットリサイクルシステムズ株式会社 | ボトルtoボトルで年間5万トンの生産を計画 |
| 三菱商事株式会社（URS ハリマ株式会社） | 年間5万トンのPETボトルを収集し、年間4万トンの再生PET樹脂を生産 |
| 株式会社セブン＆アイ・ホールディングス、ヴェオリア・ジャパン株式会社、三井物産株式会社 | ボトルtoボトルによるリサイクルPET樹脂製造能力年間約2.5万トン |
| 株式会社トーシン、<br>RECO ASIA.CO.,LTD | 使用済みPETボトルからフレークとペレット、シートを生産<br>日本とベトナムの生産拠点でペレットだけでも年間1.8万トン以上の製造能力 |
| 協栄産業株式会社（東日本FtoPファクトリー） | サントリーとの共同の取組みとしてFtoP技術（従来のMRの途中工程を大幅に削減した技術。）<br>2ラインで計6億本/年の生産能力 |

出典：河村勝志 編「月刊廃棄物第 47 巻第 3 号」（2021）等より作成

### （3）循環型 CR 技術の開発･実証･導入事例

モノマー化、油化、ガス化のいずれも様々な研究開発・実証が実施されているが、特に PET のモノマー化や油化の事例が多くみられる。また、CR 量の拡大に向けては技術ごとに課題が異なってくるところであるが、文献（齋藤他「プラスチックリサイクルの研究開発動向と課題：フィードストックリサイクルを中心として」（2017））では特に、熱分解法における有害物質の発生抑制や高性能プラスチック等に対応するリサイクル技術の開発が技術的課題として挙げられてる。

表 I-8、表 I-9 に示した事例以外にも、国外ではイーストマン・ケミカル（米）、BCD グループ（米）、クラビオス（仏）、DEMETO コンソーシアム (EU Horizon 2020)、BASF（独）、プラスチック・エナジー（英）、リセラ（豪）、アネロテック（米）、ライオンデルバセル（蘭）などの企業が各種 CR に取り組んでいる。

**表 I-9　循環型 CR 技術の開発・実証・導入事例**

| | 事業者 | 概要・備考 |
|---|---|---|
| モノマー化 | 帝人ファイバー株式会社 | 「ボトルtoボトル」としてPETを解重合、高純度化、再重合 |
| | 株式会社ペットリバース | 「ボトルtoボトル」として「アイエス法」によりPETを解重合、高純度化、再重合 |
| | PSジャパン株式会社 | PSの熱分解によるスチレンモノマー (SM) へのリサイクル |
| | 東洋スチレン株式会社 | PSの熱分解によるスチレンモノマー (SM) へのリサイクル |
| | 帝人株式会社 | ポリエステルのケミカルリサイクル |
| 油化 | 三菱ケミカル株式会社 | 高温高圧の超臨界水の中でプラスチックを分解し、石油由来の石油化学原料と同等品質で、前処理なしで既存設備に投入可能なリサイクル生成油を製造 |

| | | |
|---|---|---|
| | 出光興産株式会社 | 環境エンジニアリング社の廃プラ液化技術を用いる実証検討 |
| | 株式会社アールプラスジャパン | 廃プラの液化によるPET原料製造 |
| ガス化 | 昭和電工株式会社 | 廃プラを原料として合成ガス（水素と一酸化炭素）からアンモニアを製造（炭素の循環技術ではない点に留意が必要） |

出典：下記より作成。
齋藤他「プラスチックリサイクルの研究開発動向と課題：フィードストックリサイクルを中心として」（2017）
日刊工業新聞社 編「工業材料 2021 年 11 月号」（2021）
八尾 滋 監修「環境配慮型設計を見据えた再生資源プラスチックの将来展望」（2022 年 5 月）

### （4）素材転換技術の開発・実証・導入事例

素材転換技術として、バイオプラスチックについても各所で技術開発が実施されている。

**表 I-10　素材転換技術の開発・実証・導入事例**

| | 事業者 | 概要 |
|---|---|---|
| バイオプラスチック | 三菱ケミカル株式会社、PTTGC（タイ） | コハク酸の発酵合成 |
| | 三井化学株式会社 | 発酵法によりイソプロパノールを合成し、脱水・重合によりバイオPPを製造 |
| | 株式会社カネカ | 微生物がバイオマスを代謝して生産するエネルギーや炭素の貯蔵物質である脂肪族系ポリエステル（PHA）を製造 |
| | 三菱ケミカル株式会社 | グルコースから誘導されるイソソルバイドを主モノマーとするバイオポリカーボネート製造 |
| | 三井化学株式会社 | リジンの発酵合成により製造バイオポリウレタン原料を製造 |

出典：日刊工業新聞 編「工業材料 2020 年 10 月号」（2020）

### （5）プラスチック資源循環に関連する補助事業等

プラスチックリサイクルや素材転換等に関連する技術開発・実証を対象とした補助事業等は関係各省等で設けられている。以下に補助事業等の例を記載する。

グリーンイノベーション基金事業「$CO_2$ 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」では、研究開発項目の一つとして「廃プラ・廃ゴムからの化学品製造技術の開発」が設けられており、「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 $CO_2$ をそれぞれ 0.8、1.2kg-$CO_2$/kg-オレフィン以下にする技術を確立。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。」とのアウトプット目標が設定されている。

表 I-11 グリーンイノベーション基金「$CO_2$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」実施予定先一覧

| 研究開発項目 | 採択テーマ | | 実施予定先 |
|---|---|---|---|
| 1 ナフサ分解炉の高度化技術の開発 | アンモニア燃料のナフサ分解炉実用化 | | 三井化学株式会社(幹事企業)<br>丸善石油化学株式会社<br>東洋エンジニアリング株式会社<br>双日マシナリー株式会社 |
| 2 廃プラ・廃ゴムからの化学品製造技術の開発 | 使用済タイヤ(廃ゴム)からの化学品製造技術の開発 | | 株式会社ブリヂストン(幹事企業)<br>ENEOS 株式会社 |
| | 炭素資源循環型の合成ゴム基幹化学品製造技術の開発 | | 日本ゼオン株式会社(幹事企業)<br>横浜ゴム株式会社 |
| | 廃プラスチックを原料とするケミカルリサイクル技術の開発 | | 住友化学株式会社(幹事企業)<br>丸善石油化学株式会社 |
| 3 $CO_2$からの機能性化学品製造技術の開発 | $CO_2$を原料とする機能性プラスチック材料の製造技術開発 | | 東ソー株式会社(幹事企業)<br>三菱瓦斯化学株式会社 |
| | 多官能型環状カーボネート化合物の大量生産工程確立および用途開発 | | 浮間合成株式会社 |
| 4 アルコール類からの化学品製造技術の開発 | 人工光合成型化学原料製造事業化開発 | 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 | 三菱ケミカル株式会社(幹事企業)<br>人工光合成化学プロセス技術研究組合 |
| | | ② $CO_2$からの基礎化学品製造技術の開発・実証 | 三菱ケミカル株式会社(幹事企業)<br>三菱瓦斯化学株式会社 |
| | $CO_2$等を原料とする、アルコール類及びオレフィン類へのケミカルリサイクル技術の開発 | | 住友化学株式会社 |

出典：NEDO「「$CO_2$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」実施予定先一覧」(https://www.nedo.go.jp/content/100942723.pdf ) に加筆

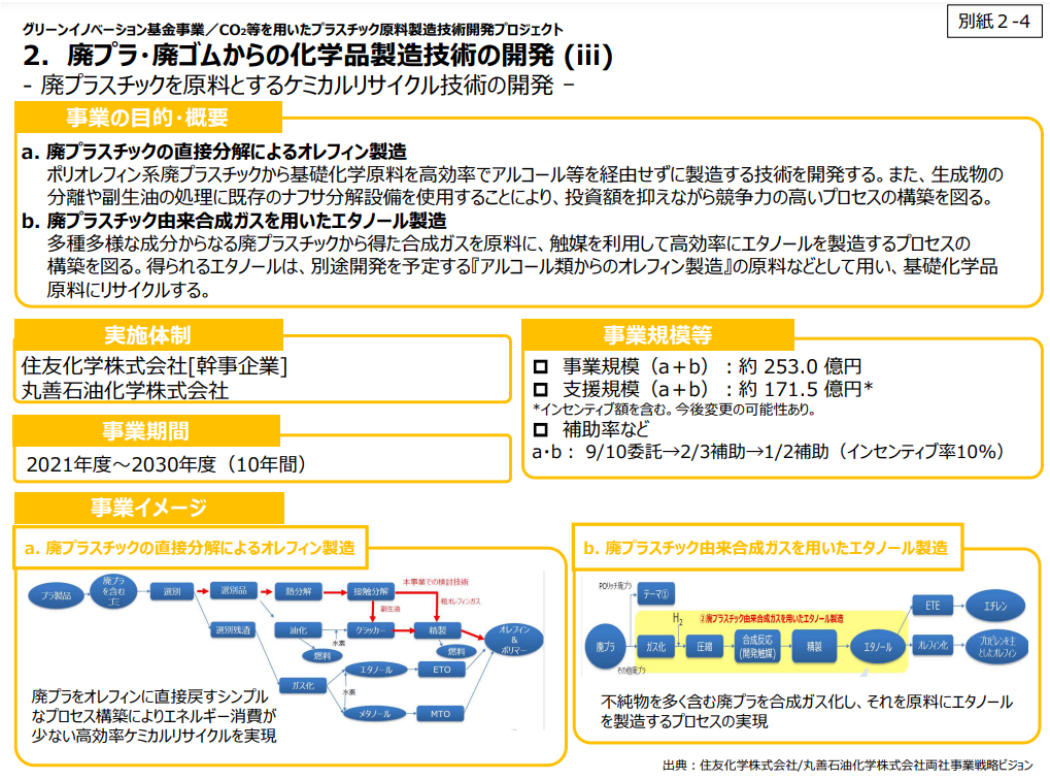



図 I-6 「廃プラスチックを原料とするケミカルリサイクル技術の開発」の採択事業概要

出典：NEDO「「$CO_2$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」事業概要資料」(https://www.nedo.go.jp/content/100942724.pdf)

環境省事業の例としては、現行の実証事業として、「脱炭素社会を支えるプラスチック等資源循環システム構築実証事業（令和元年度～令和 5 年度)」が、令和 5 年度からの実証事業として「脱炭素型循環経済システム構築促進事業（のうち、プラスチック等資源循環システム構築実証事業）（令和 5 年度

～令和 9 年度)」が、設備導入補助事業として「プラスチック資源・金属資源等のバリューチェーン脱炭素化のための高度化設備導入促進事業（令和 5 年度～令和 9 年度)」が存在している。

令和 3 年度の「脱炭素社会を支えるプラスチック等資源循環システム構築実証事業」で採択された事業の一覧を表 I-12 に示す。バイオプラスチック製造に係る事業が大半（30 件）を占めており、MR、CR 関連の事業はそれぞれ 6 件、2 件であった。

また、NEDO「革新的プラスチック資源循環プロセス技術開発」事業では、プラスチックの選別、MR、CR、高効率エネルギー回収に係る技術が包括的に研究開発されている。（表 I-7 中の産業技術総合研究所の開発事例は本事業の一部である。）

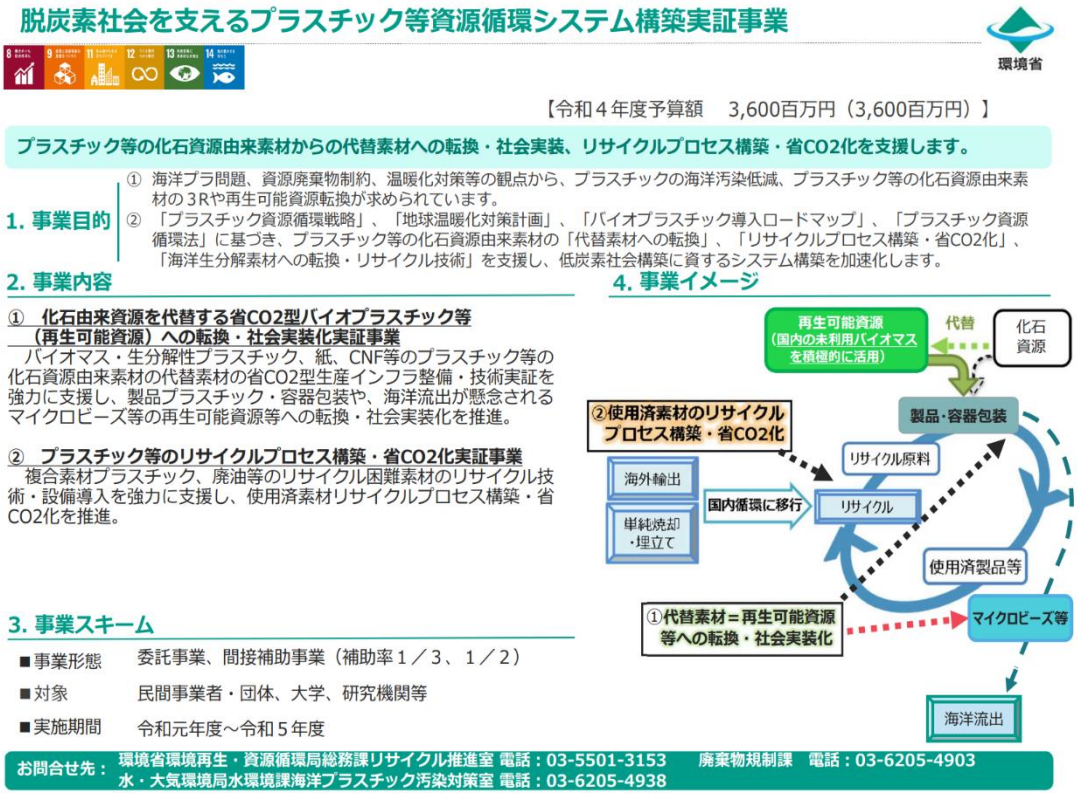



**図 I-7　「脱炭素社会を支えるプラスチック等資源循環システム構築実証事業」の概要**

出典：環境省「脱炭素社会を支えるプラスチック等資源循環システム構築実証事業」

（https://www.env.go.jp/content/900470769.pdf ）

**表 I-12　脱炭素社会を支えるプラスチック等資源循環システム構築実証事業（環境省、令和 3 年度）**

| 採択事業者 | 事業名 | 分類 |
|---|---|---|
| 公益財団法人京都高度技術研究所 | PHA系バイオプラスチックのライフサイクル実証事業 | バイオプラスチック等製造 |
| トヨタ車体株式会社 | パルプ、バイオプラスチックを用いた部品適用検討 | バイオプラスチック等製造 |
| 株式会社ダイセル | バイオマスからC4化成品製造に関する実証事業 | バイオプラスチック等製造 |
| トクラス株式会社 | セルロースフィラーによる化石資源由来プラスチック使用量の削減 | バイオプラスチック等製造 |
| 三井化学株式会社 | バイオポリプロピレン実証事業 | バイオプラスチック等製造 |

| 採択事業者 | 事業名 | 分類 |
|---|---|---|
| 王子ホールディングス株式会社 | 非可食バイオマスを活用した国産バイオマスプラスチック製造実証事業 | バイオプラスチック等製造 |
| パナソニック株式会社 | バイオ由来素材を複合した再生樹脂の適用技術実証 | バイオプラスチック等製造 |
| 大阪大学大学院工学研究科 | オールバイオマスプラからなる耐衝撃性樹脂の開発と用途展開 | バイオプラスチック等製造 |
| 日本電気株式会社 | 電子機器および住宅設備(インテリア)製品への多糖類系高機能バイオプラスチックの適用とリサイクルシステムの実証事業 | バイオプラスチック等製造 |
| 大阪大学大学院薬学研究科 | 光活性化二酸化塩素を用いた機能改質によるPLA ブレンドフィルムの製造 | バイオプラスチック等製造 |
| Green Earth Institute 株式会社 | 植物由来で生分解性を備えた高吸水性ポリマーの製造実証 | バイオプラスチック等製造 |
| 株式会社グリーンケミカル | 新規触媒プロセスによるバイオ由来樹脂原料の効率的な工業生産技術の実証事業 | バイオプラスチック等製造 |
| プランツラボラトリー株式会社 | 海洋生分解性プラスチックによる水耕栽培用ウレタン培地代替事業 | バイオプラスチック等製造 |
| Spiber 株式会社 | 人工タンパク質を用いたマイクロビーズおよび繊維の開発事業 | バイオプラスチック等製造 |
| 三菱ケミカル株式会社 | 生分解かつバイオマス由来新規プラスチックの農業用フィルム等開発および実用化実証事業 | バイオプラスチック等製造 |
| アキレス株式会社 | 農林業用途製品のポリプロピレンから植物由来原料を含有する土壌生分解性製品への素材転換実証 | バイオプラスチック等製造 |
| 株式会社カネカ | 廃食用油を用いたPHBHの高効率化生産と商業化実証 | バイオプラスチック等製造（廃油リサイクル） |
| 環テックス株式会社 | リグニン系未利用植物資源から、石油化学物質を代替する新規機能性バイオプラスチック基幹物質の大量生産創出実証事業 | バイオプラスチック等製造 |
| 株式会社グリーンサポート | バイオマス素材を材料とする農林水産業資材の用途に応じた生分解性評価及び製品化実証事業 | バイオプラスチック等製造 |
| 三協化学株式会社 | バイオマス原料を用いる多層バリアフィルムの開発実証事業 | バイオプラスチック等製造 |
| 株式会社事業革新パートナーズ | 大麦由来ヘミセルロース活用バイオプラスチック樹脂によるタンブラー容器向け化石由来プラスチック代替実証事業 | バイオプラスチック等製造 |
| 株式会社ダイセル | 自然回帰性原料による合成系微粒子代替の実証 | バイオプラスチック等製造 |
| ニチモウ株式会社 | 海洋資材（漁網・ロープ等）のバイオプラスチック化とその商品化・普及に関する実証事業 | バイオプラスチック等製造 |
| 株式会社バイオマスレジンエンジニアリング | 余剰米を原料に含み、バイオマス比率が高いバイオプラスチック樹脂加工成形のための技術実証事業 | バイオプラスチック等製造 |
| 株式会社 Biomaterial in Tokyo | 古紙由来バイオエタノールを利用したポリエチレンおよびポリスチレンの製造に関する実証 | バイオプラスチック等製造（古紙リサイクル） |
| 丸紅株式会社 | 循環型食器edishのバリエーション検討・成形技術実証及び堆肥化技術実証事業 | バイオプラスチック等製造 |
| 株式会社丸萬 | バイオマス資源を用いる脱プラスチック包材開発実証事業 | バイオプラスチック等製造 |
| 三菱ケミカル株式会社 | バイオマスを活用した接着剤の開発とグリーン合板への応用に向けた技術実証事業 | バイオプラスチック等製造 |
| 都インキ株式会社 | 透明化インクを活用した「クリアペーパーファイル」の開発実証事業 | バイオプラスチック等製造 |

| 採択事業者 | 事業名 | 分類 |
|---|---|---|
| レンゴー株式会社 | 新規連続法による微小セルロース粒子の量産体制確立と、マイクロプラスチックビーズの代替に関する実証 | バイオプラスチック等製造 |
| アスクル株式会社 | 使用済みプラスチック製品のリサイクルバリューチェーン構築実証事業 | MR |
| 栗田工業株式会社 | 使用済紙おむつ由来プラスチックのリサイクルプロセス実証事業 | MR |
| 株式会社ジーエムエス | 使用済み廃カーペットタイルリサイクルによる養生シート開発及びそのリユースプロセス構築による$CO_2$削減実証事業 | MR |
| 株式会社湘南貿易 | 難処理プラスチック複合材（工場端材等）のケミカルリサイクルシステム構築実証事業 | 循環型CR |
| 住友化学株式会社 | PMMA（アクリル樹脂）のケミカルリサイクル実証事業 | 循環型CR |
| ハンディテクノ株式会社 | リサイクル困難プラスチックと木質廃材を利用したマテリアルリサイクル技術実証事業 | MR |
| URS ハリマ株式会社 | リサイクル困難なPETトレイ等のリサイクル実証事業 | MR |
| 株式会社リコー | 複写機用サプライであるトナーカートリッジの再生実証事業 | リユース、MR |

出典：環境省「脱炭素社会を支えるプラスチック等資源循環システム構築実証事業 事業者取組紹介」（2022 年 3 月）より作成

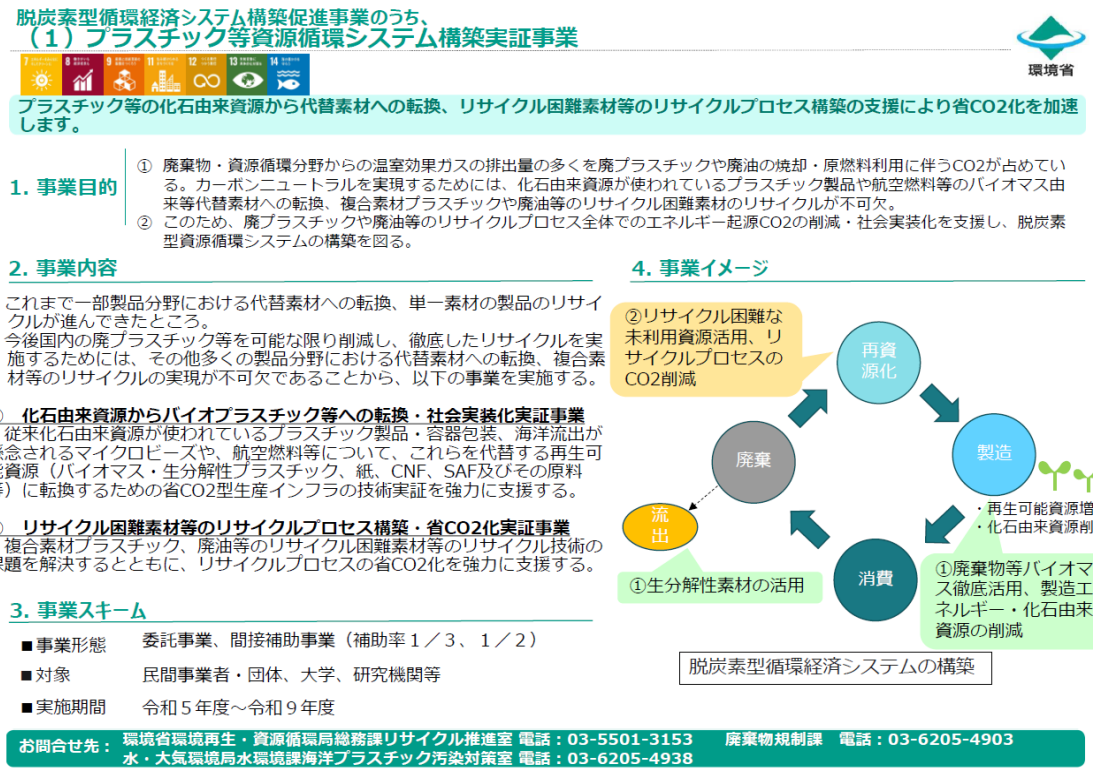



図 I-8 「脱炭素型循環経済システム構築促進事業のうち、プラスチック等資源循環システム構築実証事業」の概要

出典：環境省「脱炭素型循環経済システム構築促進事業のうち、プラスチック等資源循環システム構築実証事業」(https://www.env.go.jp/content/000097297.pdf)




図 I-9　「プラスチック資源・金属資源等のバリューチェーン脱炭素化のための高度化設備導入促進事業」の概要

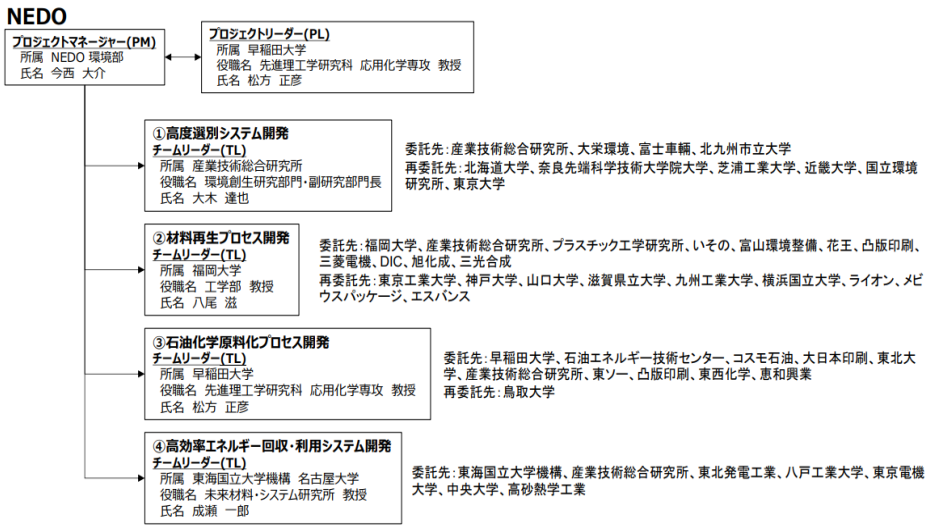
出典：環境省「プラスチック資源・金属資源等のバリューチェーン脱炭素化のための高度化設備導入促進事業」
(https://www.env.go.jp/content/000097296.pdf)

**【参考】廃プラ資源循環に関する技術開発支援（METI/NEDO）　革新的プラスチック資源循環プロセス技術開発**

事業期間：2020年度～2024年度

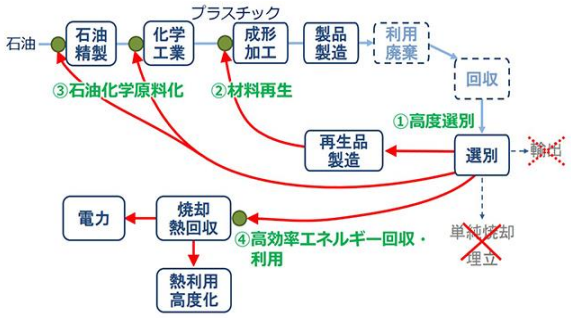
2022年度予算：8.9億円

実施体制：




委 託 先：東北大学、産業技術総合研究所、東ソー株式会社、凸版印刷株式会社、東西化学産業株式会社、恵和興業株式会社

概　　要：本事業では、「社会で大量に発生している廃プラスチックに対して、高度選別技術や新しい材料再生技術などを用いることにより、環境負荷を抑制しつつ高効率なプラスチック資源循環システムを実現するための基盤技術を開発します。具体的には、廃プラスチックの資源価値を飛躍的に高めるため、〔1〕複合センシング・AI等を用いた廃プラスチック高度選別技術、〔2〕材料再生プロセスの高度化技術、〔3〕高い資源化率を実現する石油化学原料化技術、〔4〕高効率エネルギー回収・利用技術の開発を連携させて行い、廃プラスチックの品質に応じた最適な処理システムを構築することによる高度資源循環と環境負荷低減の両立を目指します。」とされている。




◆研究開発目標と根拠

■ 中間目標と最終目標の２段階で目標設定を行いその達成状況を確認しながら事業を推進

| 研究開発項目 | 中間目標（2022年度） | 最終目標（2024年度） | 根拠 |
|---|---|---|---|
| ①高度選別システム開発 | 研究開発項目②～④のプロセス向けの処理対象となる廃プラスチックを回収率80%以上、現状比2倍の速度で自動選別する。 | 研究開発項目②～④のプロセス向けの処理対象となる廃プラスチックを回収率95%以上、現状比3倍の速度で自動選別する。 | 95%以上を達成すれば1段の処理で多種類プラスチックを同時に低コストで処理する事が可能になる。対象とする大量のプラスチックを処理するには、選別プロセス全体で従来比の3倍程度以上の選別速度が必要となる見込み。 |
| ②材料再生プロセス開発 | 廃プラスチックを新品のプラスチックと比べ70％以上の材料強度（靭性）に再生する。 | 廃プラスチックを新品のプラスチックと比べ90%以上の材料強度（靭性）に再生する。 | リサイクルしたプラスチック素材を製品製造に利用するためには、バージンのプラスチック材料が有する靭性の90%以上の材料強度で再生することが必要。 |
| ③石油化学原料化プロセス開発 | 廃プラスチックを転換率50%以上で石油化学原料に転換する。 | 廃プラスチックを転換率70%以上で石油化学原料に転換する。 | 廃プラスチックの転換率を30%以上に向上することにより、採算性が向上する化学プロセスを構築することが可能になる。さらに転換後の残渣油を石油化学工業の分解促進プロセスにレトロフィットすることでトータル70%以上となる見込み。 |
| ④高効率エネルギー回収・利用システム開発 | 再生処理困難なプラスチックからエネルギーを高効率に回収して、総合エネルギー利用効率60%以上を達成する。 | 再生処理困難なプラスチックからエネルギーを高効率に回収して、総合エネルギー利用効率80%以上を達成する。 | 現在、単純埋立・焼却されているプラスチック及びマテリアルリサイクル、ケミカルリサイクル困難な廃プラスチック等を対象に、熱エネルギーを80%以上の変換効率で回収・利用可能にすることにより、欧州並みの総合熱利用効率を達成する。 |

出典：NEDO HP, https://www.nedo.go.jp/activities/ZZJP_100179.html （2023年1月17日閲覧）

NEDO「「革新的プラスチック資源循環プロセス技術開発／石油化学原料化プロセス開発」実施予定先一覧」https://www.nedo.go.jp/content/100939624.pdf

NEDO「「革新的プラスチック資源循環プロセス技術開発」（中間評価）プロジェクトの概要（公開）」（2022年10月）https://www.nedo.go.jp/content/100953139.pdf

## 2.7 技術の革新性やコスト等を含めた導入実現性等の評価

プラスチック対策に係る脱炭素技術としては、高度選別、MR、CR、素材転換（特にバイオマスプラスチック）について調査をした。そのうち、MR、CR、バイオマスプラスチックについては、中長期シナリオ（案）の実現に向けて大幅な導入拡大が必要であるものの、複数の研究開発・実証が進んでおり、国内での商用化事例も確認された。また、これらは基本的に方式別や樹脂別に様々な技術が開発されていることから、各技術の導入実現性やそのポテンシャルは、各技術の開発状況や競合技術と比較した際の優位性のほかに、樹脂そのものの需要量や技術に適合した廃プラスチックの供給量による制約を受ける。

高度選別技術については、MR、CR に仕向けられる量を増やす効果が期待でき、MR、CR が広く普及するための前提条件となりうる（収集時点で分別される PET ボトルや食品トレイなどを除く）技術である。しかし、国内における技術開発事例が乏しく、欧州のような大規模ソーティングセンターは確認できていない。立地制約や日本の資源循環産業の特徴（小規模分散、自治体主導など）を踏まえ、国内の資源循環産業に適合する技術の開発や制度設計は非常に重要であると考えられる。

## 3. 金属資源循環に係る脱炭素化技術

### 3.1 調査対象技術の選定

金属とカーボンニュートラル（以下、CN という。）の関係については、主に、「金属のライフサイクルに伴って排出される温室効果ガス排出量の削減」や「（エネルギーシステムなどの）CN 化に伴って必要となる金属の調達及び適正処理の確保」といった側面が考えられる。前者については、金属のリサイクル推進による省エネなどが、後者についてはリチウムイオンバッテリー（以下、LiB という。）や太陽光発電（以下、PV という。）等の脱炭素技術に必要不可欠な金属の循環利用が重要となると考えられる。

「2050 年カーボンニュートラル実現に向けた鉱物資源政策」（資源エネルギー庁、令和 3 年 3 月）では、鉱物資源サプライチェーン上のリサイクル段階での政策課題として、「非鉄金属の回収ネットワークの構築」や「レアメタルのリサイクル技術（廃 LiB リサイクル、廃小型家電の自動選別システム、高効率製錬技術）」、「リサイクルを含めたマテリアルフローの把握」等が挙げられている。このうち、レアメタル等の金属、LiB、PV 等のリサイクル設備等については、令和 5 年 2 月 10 日に閣議決定された「GX 実現に向けた基本方針」でも GX 投資（静脈投資）の対象として示されているところである。したがって、技術に係る内容として、レアメタル等のリサイクル（選別等を含む）技術を中心に、動向調査や課題の把握を行う。

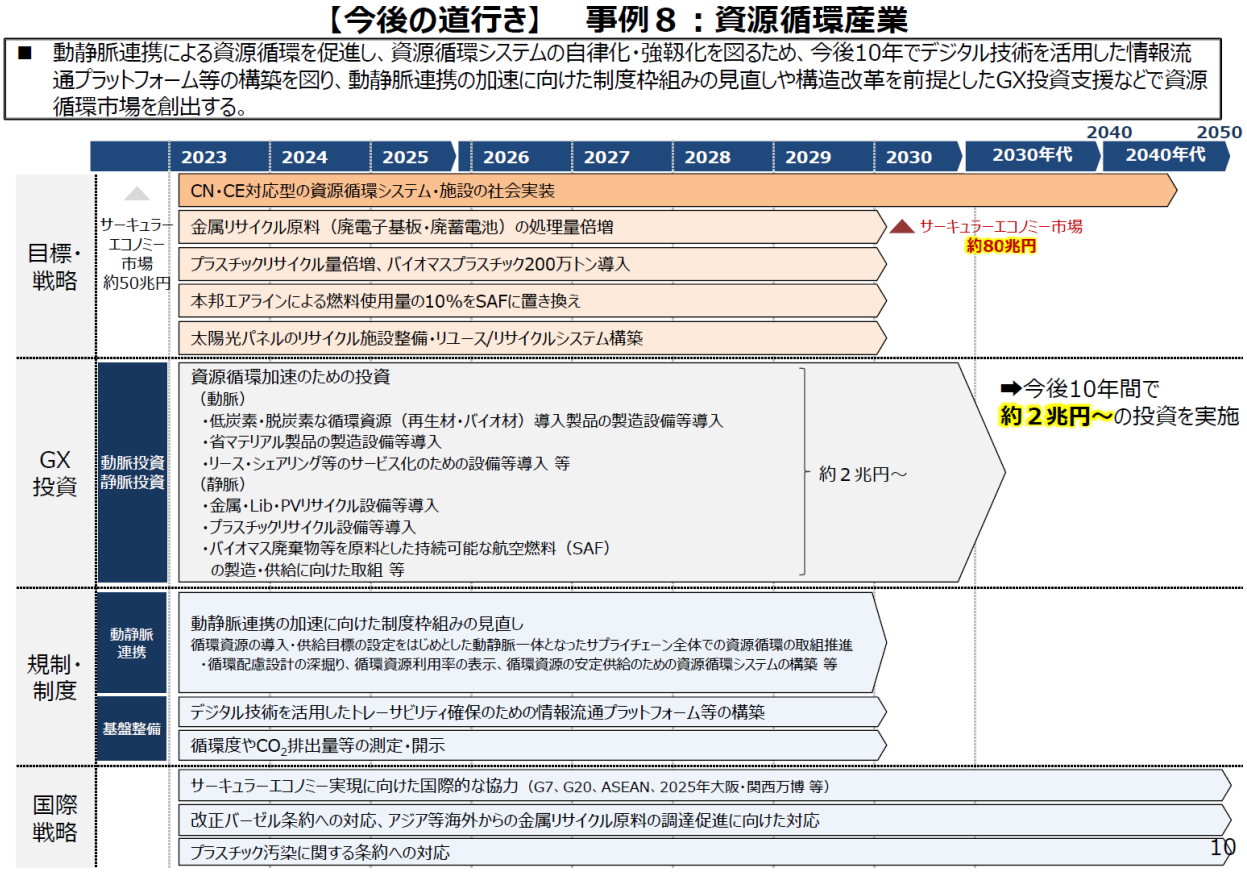



図 I-2　【今後の道行き】資源循環産業（再掲）

出典：「GX 実現に向けた基本方針～今後 10 年を見据えたロードマップ～」（令和 5 年 2 月）参考資料

### 3.2 レアメタル等のリサイクル技術等

「2050 年カーボンニュートラル実現に向けた鉱物資源政策」（資源エネルギー庁、2021 年 3 月）によると、レアメタルのリサイクルプロセスにおいては、収集運搬、中間処理（破砕・分離・選別等）、製錬等のプロセスにおける回収率の向上、コスト削減、生産性向上等が必要であるとされており、政府としても支援を進められている（表 I-13）。例えば環境省においては、金属リサイクルの実証事業として、電子基板や自動車部品、LiB、その他廃製品や廃部品のリユース、リサイクルのための処理技術の開発・実証が実施されている。また、NEDO においては、「高効率な資源循環システムを構築するためのリサイクル技術の研究開発事業」の中で、廃小型家電の自動選別システム技術や高効率製錬技術の開発支援が実施されているほか、グリーンイノベーション基金「次世代蓄電池・次世代モーターの開発」プロジェクトにおいては、複数の蓄電池リサイクル事業が採択されている状況である。

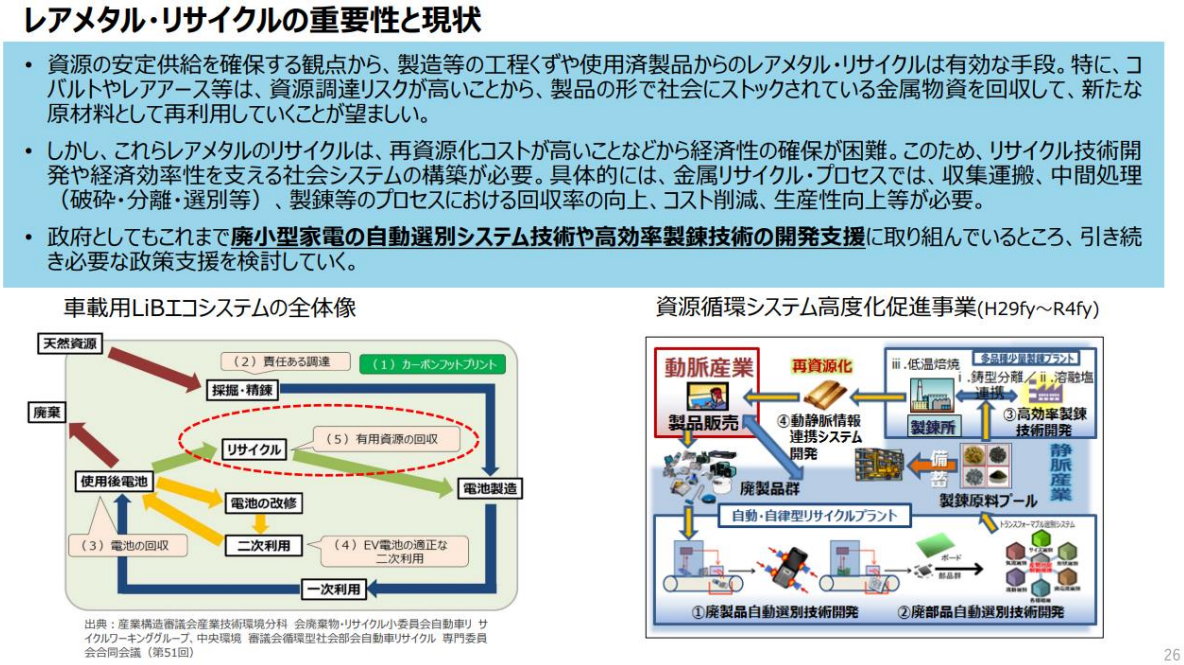



図 I-10　レアメタル・リサイクルの重要性と現状

出典：資源エネルギー庁「2050 年カーボンニュートラル実現に向けた鉱物資源政策」（令和 3 年 3 月 30 日）

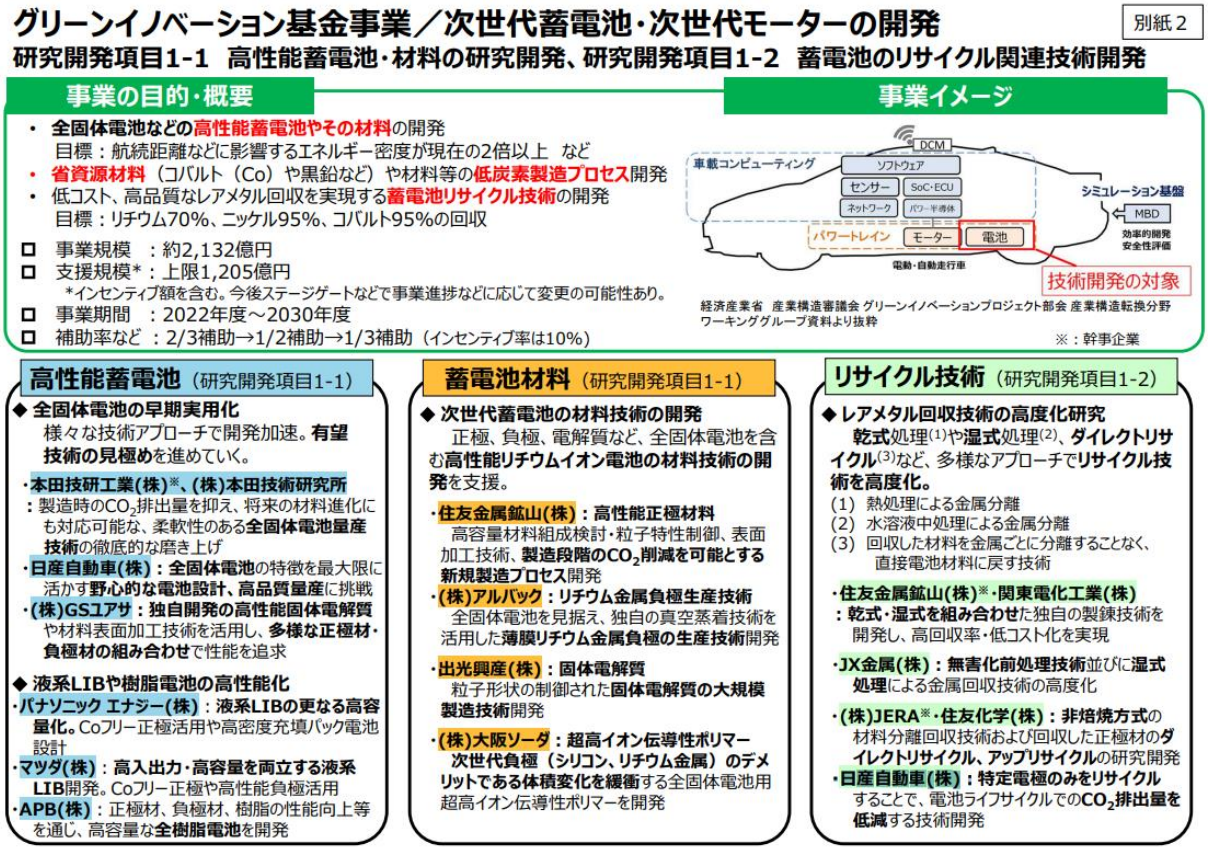



図 I-11 「次世代蓄電池・次世代モーターの開発」の採択事業概要

出典：NEDO「「次世代蓄電池・次世代モーターの開発」事業概要資料」(https://www.nedo.go.jp/content/100945458.pdf)

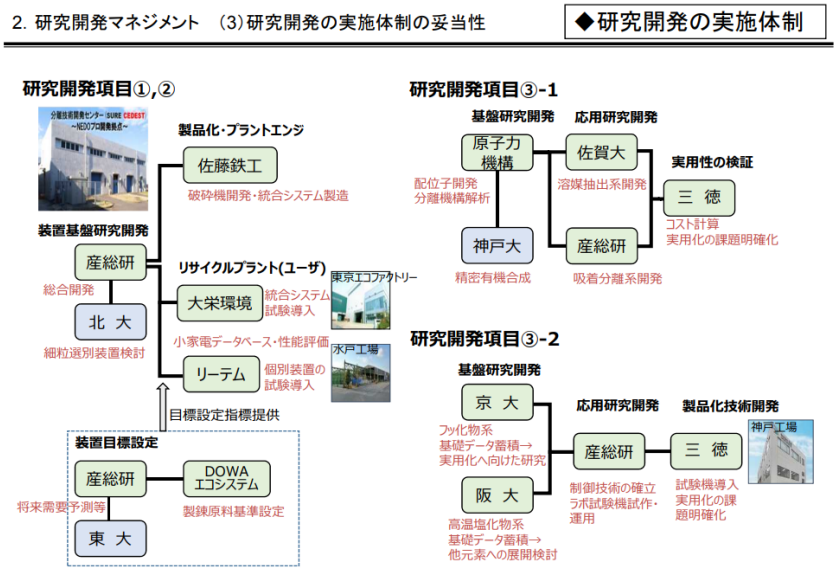
表 I-13　レアメタル等のリサイクルに係る技術開発支援

| 補助事業 | 事業者 | 概要（手法、処理対象、特徴等） |
|---|---|---|
| 脱炭素型金属リサイクルシステムの早期社会実装化に向けた実証事業（環境省） | 株式会社アステック入江（電子基板・自動車部品） | 「電子基板及び自動車部品の未回収白金族リサイクルシステム実証事業」<br>• AI画像認識選別システムを用いたPGM等をターゲットとした電子部品の選別技術等の開発、整備工場で小規模かつ全国的に分散発生する着火プラグ・O2センサーの自動車解体工場等を含めた回収スキームの構築及び同部品からのPGM含有部位の分離技術の開発等を実施<br>• 増大するPGM含有部品のリサイクルシステムおよび全国規模への普及を想定したデジタル情報を活用したビジネスモデルを構築 |
| | 株式会社JERA（LiB） | 「車載用電池の新規リユース技術開発実証事業」<br>• ライフサイクル$CO_2$排出量の大幅な削減達成に加え、中古電池の・信頼性及び価格競争力向上による二次利用拡大を目的とし、以下の技術開発に係る検討を実施<br>①電力システムに適合した蓄電システムの最適化技術<br>②異種電池混合状態における安全で安定した制御技術<br>③PCSを不要とする車載品活用技術及び電池制御技術 |
| | 三菱マテリアル株式会社（LiB） | 「北九州地域での全体最適LIBリユース・リサイクル技術・システム実証事業」<br>• 車両からのLIBユニット取り出しからCo、Ni回収まで、リユース・リサイクルの一貫処理実証を実施 |
| | 三菱UFJリサーチ＆コンサルティング株式会社 | 「包括的中間処理（ソーティングセンター4.0）の実現に向けた再資源化技術・システム実証」<br>• 再資源化工程における忌避物質（歩留まり・品質低下等の原因物質）の流通状況を調査し、忌避物質の管理が必要とされるプロセスの特定、望ましいスクラップ品質の具体化、これを充足する新たな分離・選別プロセスの具体化と必要な要素技術の実証、これらを結ぶ情報連携システムの仕様特定を実施 |
| 高効率な資源循環システムを構築するためのリサイクル技術の研究開発事業（NEDO） | 産業技術総合研究所等 | • 廃製品自動選別技術開発<br>• 高効率製錬技術開発<br>• 廃部品自動選別技術開発 |
| グリーンイノベーション基金事業/次世代蓄電池・次世代モーターの開発（NEDO） | 住友金属鉱山株式会社・関東電化工業株式会社 | • 蓄電池リサイクルプロセスの開発と実証 |
| | JX金属株式会社 | • クローズドループ・リサイクルによる車載LiB再資源化 |
| | 株式会社JERA・住友化学株式会社 | • リチウムイオン電池の低環境負荷型リサイクルプロセスの開発 |
| | 日産自動車株式会社 | • 低$CO_2$リサイクルを実現するバッテリエコサイクルの構築 |

出典：下記より作成。
環境省「脱炭素型金属リサイクルシステムの早期社会実装化に向けた実証事業概要（環境省実証事業）」(https://www.meti.go.jp/shingikai/sankoshin/sangyo_gijutsu/haikibutsu_recycle/jidosha_wg/pdf/057_s04_00.pdf)
NEDO「「次世代蓄電池・次世代モーターの開発」事業概要資料」(https://www.nedo.go.jp/content/100945458.pdf)
NEDO「「高効率な資源循環システムを構築するためのリサイクル技術の研究開発事業」事業原簿」(https://www.nedo.go.jp/content/100897735.pdf)

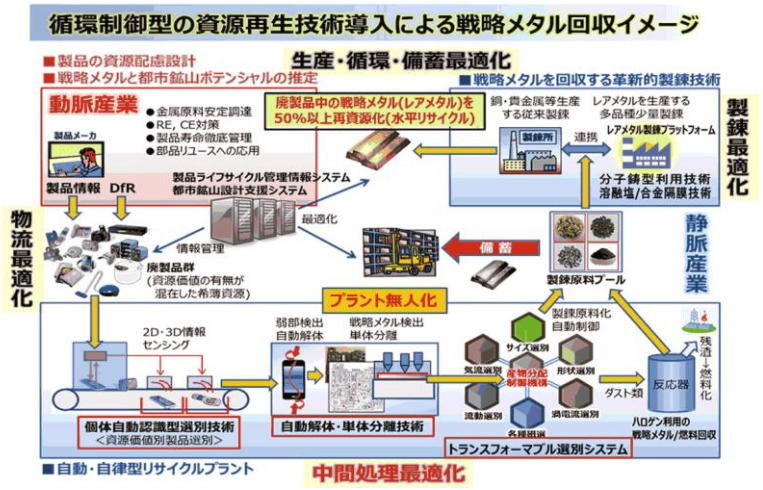
【参考】金属資源循環に関する技術開発支援（NEDO）　高効率な資源循環システムを構築するためのリサイクル技術の研究開発事業

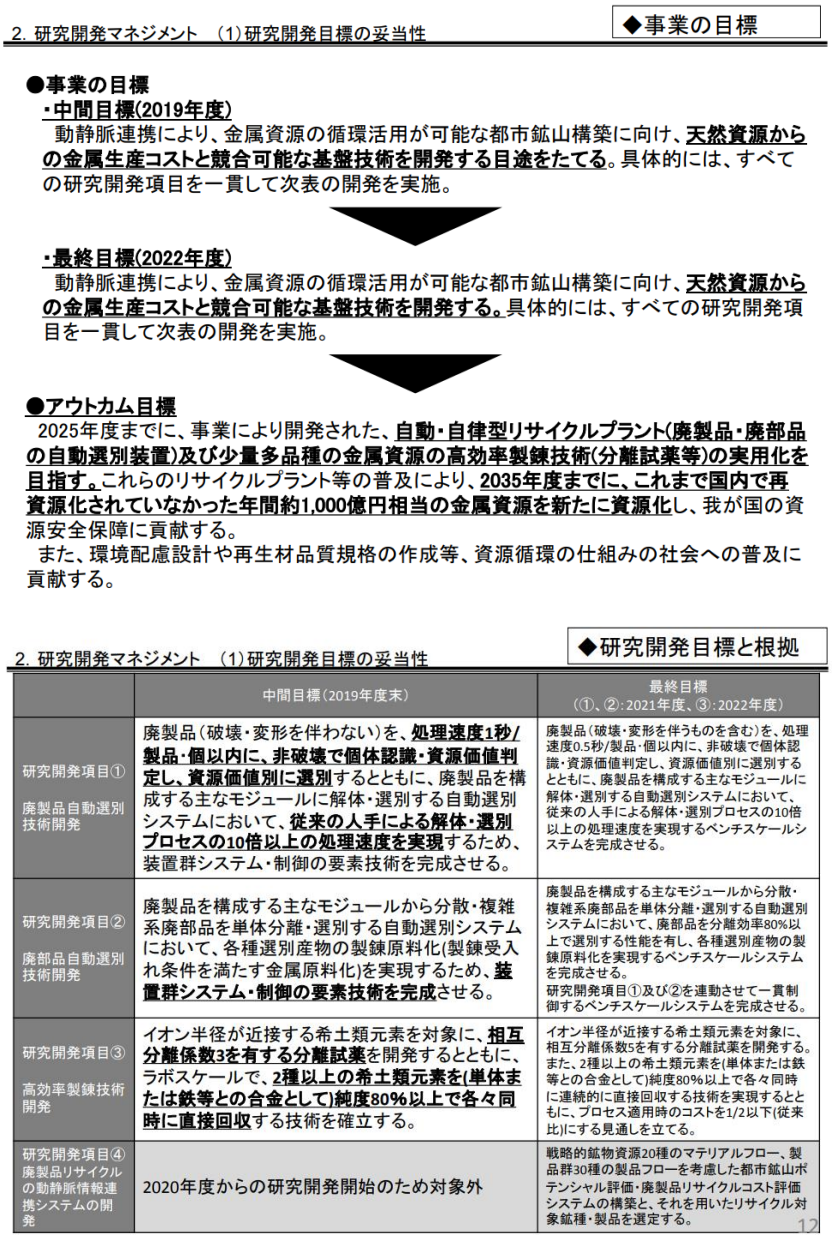
事業期間：2017年度～2022年度
2022年度予算：3.2億円
実施体制：




委 託 先：産業技術総合研究所、大栄環境株式会社、佐藤鉄工株式会社、株式会社リーテム、DOWA エコシステム株式会社、株式会社三徳、日本原子力研究開発機構、京都大学、大阪大学、佐賀大学

概　　要：本事業では、「資源・エネルギーの安定供給及び省資源・エネルギー化を実現するため、我が国の都市鉱山の有効利用を促進し、金属資源を効率的にリサイクルする革新技術・システムを開発する。具体的には、使用済み電子機器の個体認識・解体・選別プロセスを無人化する廃製品自動選別システム、廃部品を製錬原料として最適選別する廃部品自動選別システム、従来の金属製錬技術を補完する多品種少量金属種の高効率製錬技術の開発を行う。さらに、情報技術等を有効活用することによって、動静脈産業が一体となった戦略的な資源循環システムを支える技術基盤を構築する。」とされている。





2. 研究開発マネジメント　(1)研究開発目標の妥当性

◆事業の目標

**●事業の目標**

**・中間目標(2019年度)**

動静脈連携により、金属資源の循環活用が可能な都市鉱山構築に向け、**天然資源からの金属生産コストと競合可能な基盤技術を開発する目途をたてる**。具体的には、すべての研究開発項目を一貫して次表の開発を実施。

**・最終目標(2022年度)**

動静脈連携により、金属資源の循環活用が可能な都市鉱山構築に向け、**天然資源からの金属生産コストと競合可能な基盤技術を開発する。**具体的には、すべての研究開発項目を一貫して次表の開発を実施。

**●アウトカム目標**

2025年度までに、事業により開発された、**自動・自律型リサイクルプラント(廃製品・廃部品の自動選別装置)及び少量多品種の金属資源の高効率製錬技術(分離試薬等)の実用化を目指す。**これらのリサイクルプラント等の普及により、**2035年度までに、これまで国内で再資源化されていなかった年間約1,000億円相当の金属資源を新たに資源化**し、我が国の資源安全保障に貢献する。

また、環境配慮設計や再生材品質規格の作成等、資源循環の仕組みの社会への普及に貢献する。

2. 研究開発マネジメント　(1)研究開発目標の妥当性

◆研究開発目標と根拠

| | 中間目標(2019年度末) | 最終目標<br>(①、②:2021年度、③:2022年度) |
|---|---|---|
| 研究開発項目①<br>廃製品自動選別技術開発 | 廃製品(破壊・変形を伴わない)を、**処理速度1秒/製品・個以内に、非破壊で個体認識・資源価値判定し、資源価値別に選別**するとともに、廃製品を構成する主なモジュールに解体・選別する自動選別システムにおいて、**従来の人手による解体・選別プロセスの10倍以上の処理速度を実現**するため、装置群システム・制御の要素技術を完成させる。 | 廃製品(破壊・変形を伴うものを含む)を、処理速度0.5秒/製品・個以内に、非破壊で個体認識・資源価値判定し、資源価値別に選別するとともに、廃製品を構成する主なモジュールに解体・選別する自動選別システムにおいて、従来の人手による解体・選別プロセスの10倍以上の処理速度を実現するベンチスケールシステムを完成させる。 |
| 研究開発項目②<br>廃部品自動選別技術開発 | 廃製品を構成する主なモジュールから分散・複雑系廃部品を単体分離・選別する自動選別システムにおいて、各種選別産物の製錬原料化(製錬受入れ条件を満たす金属原料化)を実現するため、**装置群システム・制御の要素技術を完成**させる。 | 廃製品を構成する主なモジュールから分散・複雑系廃部品を単体分離・選別する自動選別システムにおいて、廃部品を分離効率80%以上で選別する性能を有し、各種選別産物の製錬原料化を実現するベンチスケールシステムを完成させる。<br>研究開発項目①及び②を連動させて一貫制御するベンチスケールシステムを完成させる。 |
| 研究開発項目③<br>高効率製錬技術開発 | イオン半径が近接する希土類元素を対象に、**相互分離係数3を有する分離試薬**を開発するとともに、ラボスケールで、**2種以上の希土類元素を(単体または鉄等との合金として)純度80%以上で各々同時に直接回収**する技術を確立する。 | イオン半径が近接する希土類元素を対象に、相互分離係数5を有する分離試薬を開発する。また、2種以上の希土類元素を(単体または鉄等との合金として)純度80%以上で各々同時に連続的に直接回収する技術を実現するとともに、プロセス適用時のコストを1/2以下(従来比)にする見通しを立てる。 |
| 研究開発項目④<br>廃製品リサイクルの動静脈情報連携システムの開発 | 2020年度からの研究開発開始のため対象外 | 戦略的鉱物資源20種のマテリアルフロー、製品群30種の製品フローを考慮した都市鉱山ポテンシャル評価・廃製品リサイクルコスト評価システムの構築と、それを用いたリサイクル対象鉱種・製品を選定する。 |

12

出典：NEDO「「高効率な資源循環システムを構築するためのリサイクル技術の研究開発事業」事業原簿」(https://www.nedo.go.jp/content/100897735.pdf)https://www.nedo.go.jp/content/100897735.pdf
https://unit.aist.go.jp/env-mri/sure/img/project01_large.png
NEDO「「高効率な資源循環システムを構築するためのリサイクル技術の研究開発事業」（中間評価）プロジェクトの概要（公開）」（2019年7月）(https://www.nedo.go.jp/content/100897734.pdf)

また、LiBに関しては破砕時等における火災事故が問題となっており、AI画像認識技術を用いて火花を瞬時に検出し警報、要化設備を制御するシステムは有効なソリューションとなりうる。(「日本エネルギー学会機関誌えねるみくす 第101巻第6号」(日本エネルギー学会 編、2022年11月)より)

海外における技術開発としては、例えば EU において、Horizon2020 等で複数の金属資源リサイクル関連プロジェクトが実施されているほか、EU Innovation Fund(表 I-15)では、3件の金属資源循環関連プロジェクト(すべてリチウムイオン電池関連)が採択されている。

表 I-14 Horizon2020等における金属資源リサイクル関連プロジェクト

| プログラム名 | 期間 | 物理選別関連技術 | 化学分離関連技術 | 情報連携関連 | プロジェクト概要 |
|---|---|---|---|---|---|
| Eco-innovation initiative | 2007-2017 | 4.8M€ | 1.3M€ | 1.2M€ | WEEEからNd磁石を回収するプラントや、ｴｺﾃﾞｻﾞｲﾝ技術の開発、PGM等の湿式製錬技術開発 |
| FP7 | 2012-2016 | 19.4M€ | 3.8M€ | | WEEEや廃ディスプレイからレアメタル・レアアースを回収する破砕技術や湿式製錬技術の開発 |
| LIFE-13 | 2014-2018 | 1.4M€ | 1.8M€ | | HDDから磁石を回収するプラントの開発、AlやTiの切削チップをリサイクルするための技術開発 |
| WASTE-3-2014 | 2014-2018 | 5.9M€ | | | WEEEからレアメタルや高品質プラスチックを回収するための前処理技術開発 |
| LIFE-14 | 2015-2019 | 0.9M€ | 11.7M€ | 2.1M€ | 廃ディスプレイからInやYを回収するための分解技術の開発、焼却灰からのCuの溶液抽出技術、情報利用によるリサイクルフローの検証・最適化 |
| SPIRE-7-2015 | 2015-2019 | 6.6M€ | 12.8M€ | | レアアース回収のための省エネ低コスト製錬技術(イオン液体、高温電解)技術開発、WEEEの自動解体・選別技術の開発 |
| WASTE-1-2014 | 2015-2019 | 9.3M€ | 9.7M€ | | 鉄鋼スラグやPVパネルからのレアメタル、貴金属回収技術の開発 |
| WASTE-4a-2014/ WASTE-4b-2014/ WASTE-4c-2014/ WASTE-4d-2015 | 2015-2018 | | | 10.8M€ | WEEEのリサイクルに関するデータベース構築、システム導入支援ツール開発、ステークホルダーのネットワーキング、リサイクル資源に関する情報統合プラットフォームの構築 |
| SPIRE-4-2014 | 2015-2016 | | | 0.5M€ | 製品のライフサイクルに関する持続性を計算するツールの開発 |
| 小計 | | 48.3M€ | 41.1M€ | 14.6M€ | |
| 合計 | | 104.0M€(124.8億円) | | | |

出典:NEDO「「高効率な資源循環システムを構築するためのリサイクル技術の研究開発事業」事業原簿」
(https://www.nedo.go.jp/content/100897735.pdf )

表 I-15 EU Innovation Fundにおける金属資源循環関連プロジェクト概要

| 事業名 | コーディネーター | 事業場所 | 助成金額(EUR) | 概要 |
|---|---|---|---|---|
| ReLieVe: Recycling Li-ion Batteries for electric vehicles | Eramet SA | フランス | 67,600,000 | 年間5万トンの使用済みリチウムイオン電池と電池製造工程からの生産廃棄物を閉ループでリサイクルするための統合ソリューションの構築を目指す。<br>低負荷の機械的前処理と革新的な湿式製錬を組み合わせ、新しい電池用塩を生産する。<br>2027年操業開始を予定の工場では、欧州の新型電池の製造に使用される高品質の再生金属塩を生産する。 |
| CarBatteryReFactory: Assembly plant for serial production of industrial energy storage systems based on second-life car batteries and disruptive full-pack technology | Fenecon GmbH | ドイツ | 4,499,400 | 車載用蓄電池をベースにしたエネルギー貯蔵システムを製造するための新しいサイトを開発、構築、運営する。(車載用蓄電池のリユース) |

| | | | | |
|---|---|---|---|---|
| PIONEER: airPort sustaInability secONd lifE battEry stoRage | Aeroporti di Roma (AdR) | イタリア | 3,102,623 | 30MWの太陽光発電所から発生する余剰電力を貯蔵するために、車載用蓄電池で構成されるシステムの設計、建設、立ち上げ、運用を行う。<br>ローマ・フィウミチーノ国際空港のピークデマンドをカバーすると同時に、送電網に柔軟性を与えるサービスも提供する予定。<br>複数のOEMの二次電池を使用するほか、蓄電池の接続前に電池の状態を確認する装置を開発した。 |

出典：EU Commission, Innovation Fund: ReLieVe: Recycling Li-ion Batteries for electric vehicles (https://climate.ec.europa.eu/system/files/2022-12/if_pf_2022_relieve_en.pdf)
EU Commission, Innovation Fund: CarBatteryReFactory: Assembly plant for serial production of industrial energy storage systems based on second-life car batteries and disruptive full-pack technology (https://climate.ec.europa.eu/system/files/2022-07/if_pf_2021_carbatteryrefactory_en.pdf)
EU Commission, Innovation Fund: PIONEER: airPort sustaInability secONd lifE battEry stoRage (https://climate.ec.europa.eu/system/files/2022-07/if_pf_2021_pioneer_en.pdf)

また、金属リサイクル技術の必要性を考えるにあたって、どのような金属が重要であるのかという点については、研究ベースで評価、議論がなされている。Watari et al. (2018) では、低炭素エネルギー技術の拡大やリサイクルシステムの構築がバージン金属の需要に及ぼす影響を分析したうえで、特に対策が必要なクリティカルメタルとして、枯渇可能性、需要増加率、低炭素化における重要性、生産プロセスでの環境負荷の大きさの観点から、インジウム、テルル、銀、リチウム、ニッケル、プラチナと特定している。また、 Watari et al. (2019) では、低炭素エネルギーへの変換により、2015 年から 2050 年にかけて、鉱物生産に関連する TMR（Total Material Requirement）フローは、電力セクターで 200%～900%程度、運輸セクターで 350%～700%程度増加する可能性があり、鉄鋼に加え、銅、銀、ニッケル、リチウム、コバルトの寄与が大きいとしている。

### 3.3 技術の革新性やコスト等を含めた導入実現性等の評価

金属資源循環については、廃棄物・資源循環分野での GHG 排出量への直接的な影響は小さいと考えられるが、社会全体への脱炭素化に向けて非常に重要な要素であると政府の方針等でも位置づけられていることから、当該分野から金属資源循環に貢献しうる箇所としてレアメタル等の選別、リサイクルに係る技術について調査した。現状、一般廃棄物の不燃ごみ・粗大ごみ処理施設で回収がなされている金属資源は、基本的に鉄やアルミに限定されている。例えば、脱炭素化に向けて資源としても重要かつ近年では処理施設での発火も問題となっている LiB をはじめとして、鉄、アルミ以外を含む金属資源についても、プラスチックと同様に循環量の増加に直結する選別・回収の強化・高度化の優先度は非常に高いと考えられる。一般廃棄物からの金属資源回収という点では、自治体の不燃ごみ・粗大ごみ処理施設における金属資源の回収量増加に資する技術が重要であると考えられる。

## 4. プラスチック及び金属資源循環に係る脱炭素化技術に関するヒアリング調査

前節までの調査等を踏まえ、プラスチック対策に係る重要な脱炭素技術として、選別技術を開発している大木達也氏（国立研究開発法人産業技術総合研究所 エネルギー環境領域・環境創生研究部門 副研究部門長）にヒアリングを実施した。

MR、CR、素材転換（特にバイオマスプラスチック）については、本年度の関連する他業務において別途にヒアリング調査が実施されていることから、ヒアリングは実施しないこととした。

また、金属資源循環関連では、選別機等の導入を含め、不燃ごみ・粗大ごみ処理施設（循環型社会形成推進交付金制度における「マテリアルリサイクル推進施設」）の設計・建設を手掛けるプラントメーカー3 社（メタウォーター株式会社、極東開発工業株式会社、新明和工業株式会社）にヒアリングを実施した。

また、ソーティングセンターの実現に向けて必要な事項や粗大・不燃ごみ処理施設の在り方について古澤康夫氏（東京都 環境局 資源循環推進部 資源循環推進専門課長）にヒアリングを実施したほか、選別、リサイクル技術全般について藤吉秀昭氏（一般財団法人日本環境衛生センター 副理事長 代表理事・総局長）にヒアリングを実施した。

**表 I-16　産業技術総合研究所 大木氏へのヒアリング結果概要**

| 開発中の選別機の用途について |
|---|
| • NEDO「革新的プラスチック資源循環プロセス技術開発プロジェクト」は、今ある技術の最適化、事業所への導入ではなく、新たな装置開発のための基盤技術開発という位置づけである。波及効果等の想定はしているものの、ターゲットは研究用の暫定的なものである。基礎研究段階での対象と、実用化された際の対象は意味合いが異なる。<br>• プロジェクトの狙いとしては、中間評価時の資料にも処理量の目標を掲げている。まずは産業廃棄物をターゲットにすると認識している。積極的な働きかけは想定していないが、集め方によっては事業系一廃もターゲットにし得るのであれば、技術自体は適用できる。<br>• 樹脂種別の生産量や、どんな製品に使用されているか、また、どのような分類で捨てられているかはわかるが、捨てられたものの「状態」に関する統計がない。選別技術により高純度化するには、全体に占めるプラスチックの割合や樹脂種別の割合などの情報も必要だが、それが単体分離した状態なのか複合物の状態なのか、複合状態の物がどのくらいのサイズで混ざっているのかなど、「状態」に関する情報が必要である。<br>• 現状では大手の産廃処理業者に入荷されているものに対して、網羅的なデータベースを作成している。その範囲内で、入荷されたときの名目と状態、プラスチックの分布などを把握し、まずは、再生素材(新MR: マテリアルリサイクル,新CR: ケミカルリサイクル)に回せるか、高度エネルギー利用(新ER）するかなどを分類している。<br>• 廃製品の情報をどれだけ精緻に取得できるか。情報を保持して廃棄されれば良いが、情報がないものはセンシングして情報を取得する。センシングだけで判断できないものについてはAIで解析する…といったデジタル化(情報取得の多面化)は不可欠である。<br>• 現状では、法律の中で分別回収されている一廃や、同様の素材でまとまって廃棄されるもの（クリーニング屋のハンガーなど）を対象に、リサイクルビジネスを展開している民間企業が存在すると思うが、開発中の選別機はそこをターゲットとはしていない。これらは現行の技術でも相応に高度利用が可能と考えられるが、既に分別回収が進んでいる分野だけでは量が稼げない。我々のターゲットは様々な廃棄物を扱っているリサイクル工場であり、分母(廃プラスチックの扱い量)としても大きいと思っている。<br>• 中間処理業者は廃製品から有価物を回収した後、逆有償での処分となる残渣分を縮小したいという動機がある。様々なプラスチックを扱う産廃処理や中間処理において発生する、行き場のないプラスチックや雑品プラなどについて、選別をすることでどこまで新MR、新CRに回せるかを検証している。つまり、ターゲットは上記2パターンのリサイクラーすべてということになる。ただし、ある程度大規模な企業が対象になると思う。事業所の規模に応じて導入する装置の規模は変えることになる。<br>• リサイクル技術は、コスト(人手)、処理量、安定操業が不可欠であり、その上での高純度化でなけれ |

ばならない。研究開発においても、非現実的なモデル試料だけを対象としていたり、コスト度外視、スケールアップできないなどでは、社会実装の見込みがない。

- プラスチックの場合、選別のランニングコストが1～2円/kg程度でないと採算が合わないと思っている。コストの面では運送費の方が足かせになるという条件下で、プラスチック選別を実現したいと考えている。一方で、新MR原料を受け取る会社の買取単価については、想定はしているが、廃プラの純度や忌避元素の量によって価格は変わってくるため、精査は難しい。
- 新ERについては、忌避元素の特定や受け入れるプラスチックの条件などには言及していない。選別側に課せられているのは灰分の上限のみ。灰分が多いと灰処理が大変になるので、一定量以内に抑える。新ER向けには、プラスチックとそれ以外という選別をする。

**開発中の技術に求められる性能について**

- 企業がコスト負担をして、既にリサイクルが進められているものはターゲットとしておらず、選別技術開発では、混合物や複合物をターゲットとしている。しかし、廃プラの選別では、このような難処理物だけをターゲットとしても、それ単体では利益があがらないのが現状である。そこで、金属資源の回収をメインとしたリサイクラーを対象に、その残渣分である廃プラを丁寧に選別し、新MR、新CR、新ERに供給するのが高度比重選別システムの役割である。つまり、既存選別工程の「後段」に設置することで、従来、産廃処理されていたものを選別して、リサイクルに回すことが目的である。
- 単一種の樹脂のみが入った袋を破袋して既存選別工程に混ぜてしまうと無駄な作業となる。AIによる画像認識やセンシング（黒色プラスチックの検出、パウチ（裏側にアルミ製シートが貼ってあるようなもの）の検出などを含めて）など、袋の外から中身の物性を検出する技術を開発することで、既存選別工程の「前段」で人が行っていた作業を高精度に自動化する。
- これらの選別技術を速やかに普及させるため、高度なプラスチック選別工場を新しく作るのではなく、従来のリサイクル工場の工程の「前段」と「後段」に(上述の)新技術を追加することで、新MR, 新CR、新ERに供給できるような選別装置として開発している。欧州のように大規模工場をいくつか作るのではなく、現在あるリサイクル工場の前後に技術を足すことで高度なリサイクル工程を実現する方が、導入がスムーズだろうという考えで開発をしている。

**技術開発後の普及に向けた課題について**

- 法律で規制しない限りは、(当然のことながら)リサイクラーが最も利益が上がる（損失を減らせる）方法が普及する。例えば、中間処理業者が現状3～5万円/t支払って処理を依頼しているものが、選別することで無料で引き取ってもらえるなら、選別コストがそれ以下なら産廃処理費の縮小になるので皆やるだろう。「あるべき姿に向かうことが、収益にもつながる」という構造を作ることが技術の役目であり、自主的にリサイクラーがそういう選択をするような技術開発をしたいと思っている。

**中長期シナリオ（案）について**

- 高度なリサイクルがし難くなるような規制もあるが、歴史的に言えば、それが静脈産業の適正化にもつながっているのだろう。一方、静脈企業が外国資本になるのは非常に危険なことであると思っている。今後、動脈企業が、再生材利用比率を高めていかないとビジネスをできなくなっていく中で、再生材の供給側が外資系になると、日系大企業の製品作りに支配が及ぶ可能性も考えられる。静脈系企業を大きくしすぎると、外国企業に買収されやすくなる。現状の静脈産業は多数の中小企業で構成され、外国企業は入りにくい構造になっている。(多すぎるので一定の集約は必要かもしれないが)ある意味で強い構造になっているとも言えるのではないか。
- 国内のリサイクラーがバラバラに動くのではなく、技術レベルを揃えた上で、デジタル活用でネットワークを組み、バーチャルで「大企業と同じような働き」ができるような効率化が図れるとよいと思っている。
- バーチャルな連携として、各社でグループを作って情報のやり取りをしている中で、機能分担や稼働率を上げるために処理しきれないものの融通などが考えられる。
- 例えば、廃棄物由来のマテリアルの受け入れ基準が規格化されたなら、北海道のプラスチック製造業者が九州のリサイクラーから新MR用プラ原料を買う場合に、原料自体は北海道(の別のリサイクラー)から同規格品を送れば、輸送費を軽減できるなども考えられる。信用取引になるが、合理化できれば、(静脈)大企業が動いているような効率化ができる。
- 新CRは石油コンビナートを利用しようとしているが、どこにでもあるわけではないため、場合によっては相当遠くから運ばなければいけない。例えば、地域によって新MR、新CRを分けるというやり方もあり得る。いずれにしても、バラバラで動くことの不合理性はなくしたうえで、自由競争を残すような体制を構築したい。このような話は、NEDOプロジェクトの中ではなく、SUREコンソーシアム等で議論している話である。

表 I-17　マテリアルリサイクル推進施設の設計・建設を手掛けるプラントメーカー3 社へのヒアリング結果概要

| マテリアルリサイクル推進施設の最近の傾向について |
| --- |
| • **導入技術の傾向やプラスチック資源循環促進法施行の影響**<br>➢ プラスチックリサイクルに対する顧客の関心が高まっている。当社でも容器包装プラスチック（容リプラ）の資源化施設を過去に何件か納入しているが、（容リプラ以外の）他のプラスチックを混合収集、混合処理する場合にどのような設備の改造が必要か、現行施設でプラスチックに係る資源循環の促進等に関する法律（プラ新法）に対応させるためにはどういうことが必要かという問合せを複数の自治体からいただくようになった。<br>➢ できれば設備の大幅な追加等はしたくないという顧客が多い。磁選機を追加する程度に留めたいというのが正直なところではないか。<br>➢ 入札において、コスト低減への要求が高く、新たな破砕選別技術や自動化の導入はない。<br>➢ 基本的には自治体の要求に添うことで対応している。他自治体の状況を教えてほしいという要望が多いため、先進的な事例をサービス部門で調査し、顧客と対話を行っているが、具体的な先進事例はまだ聞いていない。<br>➢ プラスチック資源循環促進法では製品プラスチックは民間企業が自治体からプラスチックを直接回収してビジネスが可能であるが、そこの引取基準を高く設定されると、自治体側で高価な選別機を導入して基準をクリアしなければならない。容リ協での引取の場合は熱利用の選択肢もあるためそこまで基準が高くないが、材料リサイクルの場合は砂やガラスの破片が入ると製品として利用できない。<br>➢ 製品プラスチック処理に関しては、「既存ラインで処理できるのか。」「ライン改造が必要なのか。」という問合せが増えているが、実際に改造まで行った実績はまだない。製品プラスチックによって破袋機が詰まることも多いため、改造の提案をすることもある。破袋機を撤去して手選別するのがよいのか、破袋機の前で分別するのがよいのか、といった相談である。<br>• **不燃・粗大関連で鉄・アルミ以外に資源化されているものや資源化しうるもの**<br>➢ 資源化量の増加施策については、各自治体が知恵を絞っているように感じている。銅線を別置きしている自治体や、テフロンコートの鍋ややかん（真鍮）などを別でコンテナ受けしている自治体もある。ファイルの金属製のクリップなどを個別回収している自治体（小規模で不燃ごみをまとめて収集している自治体）もある。素材を揃えてピュアな材質でマテリアルリサイクルされると有価で高く引き取ってもらえるとのことである。<br>➢ 自治体同士の工夫・ノウハウの情報共有の状況については分かりかねる。引取先の距離の問題もある。供給元（資源化中間処理施設）と需要先（資源物利活用施設）がマッチすればよいが、引き取られるものは基本的に鉄屑、アルミ屑がほとんどである。<br>➢ 不燃ごみに入ってくるプラスチックを資源物として分別し回収することは少ないのではないか。可燃残渣として排出されていることがほとんどである。容リプラと一緒にその他のプラをどこまで収集するかという点で悩んでいる自治体は多い。<br>➢ 破砕後の資源化物では、鉄・アルミ以外はない。破砕前の手選別回収は、銅以外にもステンレスや二級鉄、電線、アルミサッシ、小型家電など細かく指示される自治体もある。<br>➢ 破砕前の資源回収用手選別コンベヤの導入事例は少ないが、破砕前の危険物除去用手選別コンベヤは多くの施設に導入しており、そこで小型家電などの資源回収を実施している自治体もあるかもしれない。<br>➢ 鉄とアルミ以外の金属（銅、ステンレスなど）を単体で集めようとしても、アルミよりもさらに量が少ない。そこで、鉄とアルミ以外の金属でまとめて量を確保することで、自治体が処理費用を払うのではなく、有価物として購入してくれる民間企業（非鉄金属の回収業者）を見つけることがまずは必要だと考える。回収業者が引き取るまでの金属回収技術を確立しなければならない。渦電流選別だけではできない。<br>➢ ケーブル、コード類の事前回収は発注者の意向によるが、実績はある。一方で、各種リサイクル法により不燃ごみ、粗大ごみの組成が大きく変わっており、陶器、ガラス類が多くなっている。これらの不燃残渣の再資源化をどうするのかは課題である。当社で運営をしている現場では極力資源化に回すようにしている。<br>➢ 家電リサイクル法などにより分別収集が進み、不燃ごみの方に運ばれる量が減った。<br>➢ 社内で不燃・粗大の分類に関する標準はなく、基本的には発注仕様書に基づいてライン構成を考え、季節変動をどこまで考慮するかというところまでである。運営していく中で、発注段階と状況が異なる場合には、状況に応じてラインの改造などを提案することもある。<br>➢ ケーブル、コード類は搬入されてきた段階で手選別をしている。手選別の程度に関して、自治 |

体ごとの傾向までは把握していない。地元に工場が多い、オフィスが多いなどの違いにより搬入されるものが変わり得るという程度か。

- **LiB 対策の状況**
  - リチウムイオンバッテリー（LiB）は検出が難しいので入ってきたものは処理せざるを得ない。新規の不燃ごみ処理システムでは、処理規模の制約はあるが、概ね日量30tクラスまでは手選別コンベアの設置を当社では提案している。極力、禁忌品・不適物を除去し、その後で破砕処理にかけることを推奨している。
  - 取り切れない内蔵LiBが破砕設備で傷がつくと火災の原因となり、火炎検知器が動作する。その場合、LiBをコンベア上に留めるのではなく、排出し水没させるフローを当社では提案採用している。
  - LiBが原因で火災被害があった自治体には、今までと同じ形での復旧ではなく、LiBごと排出し水没させるフローに改造することを提案し、実際に完成させた事例もある。
  - LiB対策としては、サーモカメラの設置や火炎検知器の増設などを行っている。傷を付けてしまったLiBを早期に検知しているのが実情であり、事前に検知できれば良いと思うが、実現には至っていない。
  - 排出したLiBは0.5～1.0 m3程度のコンテナに水没させる。その中から原因物を探すように要請される自治体もある。処理を優先するという観点から、1日程度水没させて放電させてから、その他の可燃残渣と一緒に焼却処理する自治体が多い。
  - LiBはJBRCでの引き取りルートがある。LiBのみを個別に取り分けている自治体がほとんどであり、まとめてどこかに引き取ってもらう（近隣の家電量販店などもあり得る）と想像するが、その後のルートはよく分からない。ある講演会資料によると、JBRCの認知度は低く、3割程度しかそのルートに乗っていないという事例紹介もあったと記憶している。
  - 破砕前に危険物除去用のコンベヤを設けてLiBに限らず爆発する危険性があるものや破砕機での処理が困難な不適物を除去している。
  - LIB含有物の対応は自治体によって異なる。引き取り先の条件が異なるためと考えられる。引き取り条件は、以下の3つである。
    - LIB含有物のまま引き取り可能
    - LIB除去後の小型家電は引き取り可能
    - 除去したLIBのみ引き取り可能

    多くの施設は、選別せずに破砕機で破砕処理するか、選別して埋立処分しているようである。
  - 加熱式タバコについては当社運転管理の施設からの情報はなかった。
  - 自治体が入札などで契約するため、その都度条件が変わってしまう。運転委託を請けた施設において顧客の決めた条件に基づいて対処する。
  - LiBを選別せずに破砕機で破砕処理をすると、発火する。LiBの引き取り先がない自治体は、基本的に処理設備に消火設備と検知器がついていることから、そのまま破砕しているのだと思う。
  - LiB対策としてドラム缶に詰めて処理する自治体はあると聞いている。他には、登録された商品に限定して拠点回収をする自治体もあるが、絶縁処理が必要なので手間がかかることが課題であると現場からは聞いている（JBRCでの回収）。
  - 混入した異物は手選別により極力除去するほか、発火の際の対策をする。ある程度発火することを前提に破砕処理を行っている。
  - 手選別で除去したものを自治体から外部の処理業者に委託するという方法もあるが、電池を外せない機器も多く、量が増える分だけ処理費用も増える。

**技術開発について**

- **マテリアルリサイクル推進施設で重要な技術開発・改良や新規技術**
  - これからはLiBの検知技術が脚光を浴びるのではないか。当社でも数年前から研究開発は進めているが、非常に難しい。今のところ商用として販売・流通している製品はないと当社では認識している。
  - よりリサイクルを推進する方向に技術開発も向かっていくべきである。選別機開発は進めてきており、これからも継続する予定である。プラスチックでは、比重選別機で容器包装プラに近い軽いプラスチックとその他プラのような重量プラスチックを手選別前の工程で選別する装置を開発した。10～15 t /日クラスの大きな資源化工場で採用できる機械である。禁忌品をはじくという意味では効果を発揮しているが、装置が大きいため、国内に多数ある5t/日以下クラスのプラスチック資源化工場で使えるような、簡易にプラスチック・その他プラスチックを選別できる装置を開発しようとしている。手選別前に比重選別することで禁忌品を発見しやすくなるので、顧客にもエンドユーザーにもメリットがある。その他プラもLiBを含むプラ製品が混入す

る割合が高まっている。実際にベール梱包した後に出火した事例もある。安全にプラスチックベール品をリサイクルルートに乗せるためには不可欠な前処理になると考えている。排出の精度が良く、住民のモラルが非常に高ければ要らない技術だが、普通の自治体では重宝されるのではないか。

- 重要と考える技術は最終処分量の削減及び金属回収技術である。金属回収については、鉄、アルミ以外を回収したいという考えはあるが、新規技術を導入するというところまでは至っていない。引取業者がいるかが重要となる。また、「廃棄物処理施設の発注仕様書作成の手引き(標準発注仕様書及びその解説)」（環境省）では、鉄、アルミ以外の金属を回収することにはなっていないため、自治体側もそこに設備費を投入することは考えていないであろう。金属回収の種類を広げる必要はあると認識しているが、具体的な技術、回収方法の検証まではできていない。
- 最終処分量の削減については、基本的には不燃残渣を減らしたいと考えている。マテリアルリサイクル推進施設の場合は、10mm以下のものは可燃分であっても不燃残渣と定義されている。10mm以下を回収しようとすると、25～30mm程度のふるい目でふるい、その中で10㎜以下の不燃物の割合で純度を導いて性能保証値を満足しているか検証する。しかし、10～30mmの間の中には可燃分も多く含まれており、埋め立てるとバイオマス分からメタンも出るため、その可燃分を何かに使えないか、もしくは焼却に回してエネルギー回収できないかと考えている。不燃分と可燃分を10mmで明確に分けられるのが理想だができていない。
- （金属回収の）技術は難しい。民間企業と意見交換は行っている。自治体の施設は中間処理の施設として金属をある程度濃縮し、その後、民間企業が再破砕して金属を高度選別するのが理想。自治体の設備でどこまで選別精度を上げるか、引き取り条件の設定が難しい。
- プラントメーカーとしては、自治体の施設で高度選別まで導きたいという気持ちはあるが、全体最適としての見極めが難しい。
- マテリアルリサイクル推進施設での自動化はあまり進んでいない。これからはAI認識で禁忌品の除去ができないかと考えている。また、高齢化対策として、AIとロボットの組合せによる自動選別を某自治体で検討中である。手選別をしている部分で導入の可能性があると考えている。
- LiBによる火災の予防については、要望もあるため、当社としても考えている。

**今後のマテリアルリサイクル推進施設の在り方について**

- **2050 年CNの観点から選別・リサイクルについての考え**
  - 使えるものはリサイクルするという流れを大きくとらえて推進していくべきだという考えについては大賛成である。ある自治体の試算で、プラスチックリサイクル推進により$CO_2$排出量が劇的に下がるという報告事例もある。国民全体でリサイクル推進の方向へ向かっていかなければならない。
  - $CO_2$排出量を下げるための投資には財政的な負担が大きい。自治体に負担を強いる政策にならないか、十分な財源が充当されるのかは危惧するところである。
  - R2年度の一般廃棄物の処理量は、一般廃棄物4,167万トンに対し、粗大ごみ処理施設が1,974千トン（約5%）、資源化施設が3,071千トン(約7%)となっている。資源化施設はほぼ資源循環ルートで回収されたと考えた場合、粗大ごみ処理施設で破砕選別した可燃物からプラスチックを回収することがCNに繋がるが、インパクトはかなり低いと考える。よってマテリサの意義は、埋立処分量の削減及び金属回収、木製品や剪定枝などのバイオマス熱利用ではないかと考えている。
  - マテリアルリサイクル推進施設でカーボンニュートラル（CN）にどこまで貢献できるのか。今まで通り省エネが主になるのではないか。プラント自体のCN化としては、太陽光パネルの設置など、地域特性に応じた再エネの導入があり得ると思っている。
  - 省エネ機器は積極的に導入している。回転機器が多いので、モーターの省エネ（インバータだけでなく省エネモーターの導入）の効果が相対的には大きい。
  - 再エネについては、現状では非常に小規模な太陽光パネル設置の事例しかない。再エネ導入にコストをかけるかどうかは、公共側が求めないとなかなか難しい。個人的には、発注仕様書に再エネに関する内容が入ってくると良いと思っている。
  - コンサルティング会社と情報交換する機会があれば、今後の進むべき方向性のイメージを共有できるかもしれない。
- **現状で資源化されていないものの資源化を目指す場合の対応**
  - 今の国の施策で自治体（中間処理施設）に求められていることは、安全なプラスチックを大規模な選別工場に持ち込むための施設を作るようなイメージかと理解している。手間はかかるが、少なくとも禁忌品は除外して、再生できるプラスチックのみを全てパッケージにして出す

役割を担うことかと考えている。

- 手選別前の比重選別は、手選別コンベアで重量プラの中から禁忌品を分けやすくするためのものである。現在、1自治体が導入済みで、2つ目の自治体が導入予定である。簡易なものを含めると2箇所の導入実績と1か所導入予定がある。
- 資源化量を増やすために中間処理施設でできることは少ないが、燃やしているものの中からマテリアルリサイクル施設に回すものを広げていくことが肝要ではないかと考えている。方法としては、不燃ごみ処理施設で請け負う品目を増やすことをイメージしている。金属やプラスチックが含まれているものをできるだけ不燃ごみ処理施設に持ち込んで、破砕後に鉄とアルミを回収、可燃残渣と不燃残渣に分ける。
- 自治体がプラスチックごみと不燃ごみを混同されている場合が多いという印象である。不燃ごみの捉え方が自治体ごとで様々である。理想的な分別区分の捉え方としては、費用的な問題はあるが、今まで燃やすごみにされていたものの中で比較的衛生的に資源ごみも含まれているものはいったん不燃ごみ処理施設に入れて、金属類を全て回収して、本当に燃やすべきものだけ燃やすといった方法が 1 つの方法ではないか。
- 排出段階での分別が最も純度や回収率が上がるが、収集運搬効率や自治体の事情、地産地消の問題もあるため、答えは 1 つではない。
- 先に行われた全国都市清掃会議（全都清）の研究・事例発表会でプラスチックをリサイクルに回すことによる試算について横浜市（47．家庭系プラスチック廃棄物の一括回収実施による温室効果ガス削減効果等の試算 https://www.heigensha.co.jp/jwma/44th/program/ ）が発表されていた。仙台市もその他プラスチックの混合収集を4月から開始する。プラ新法に対応して意識高く取組が進められている印象である。
- 破砕する前に手選別コンベアを設置するだけでリサイクル可能な品目を増やすことはできる。プラスチック資源化施設の建設を計画する段階で引き取り先までを考えた事案は今までなかったが、これからは増えてくるかもしれない。最終の資源化工場を所有している企業との対話や協業を進めることも考えている。
- DBO案件としての具体的な話はないが、そういう自治体が出てくるような気がしている。自治体もリサイクル率を上げたいと考えているので、先読みして解決できる手段を提案したい。
- マテリアルリサイクル推進施設で、もえるごみの中から資源化物を回収し、熱としてのカスケード利用やマテリアル利用を行うことが、資源化量向上につながると考える。
- 資源化量の向上の一つの手法として、2021年度に北海道の西天北五町衛生施設組合に使用済み紙おむつと剪定枝の混合燃料化施設を建設、納入した。使用済み紙おむつは、もえるごみの10%程度を占めるとも言われており、マテリアル利用できればリサイクル率向上につながる。
- 引取業者が買い取る水準の純度、回収率を達成できるかが重要になる。
- 渦電流選別機でアルミ以外を回収することは可能だが、回収対象物の重量によって、回収の精度が下がる。同選別機は、缶類や不燃ごみだけを分別回収した後に、更にそこからアルミだけを選別するために導入することが多いので、上記理由により他の物質の選別には適していないと考える。
- 資源化量を増やすには、ケーブル類などのように破砕前に手選別が一番ということになる。
- プラントエンジニアリング会社としては、埋立処分量の削減、資源回収量の増加を実施していきたいと考えているが、現状ではどうしてもコストメリットを追求する方向に寄ってしまい、プラントメーカーからのボトムアップでは難しい。資源循環の観点を国の施策や発注仕様書に反映していただけると、技術的な発展もできるのではないかと考えている。

- **選別の自動化・高速化の可能性やその必要性**
  - 破砕前の手選別をAIで代替することはあり得る話だと思っている。形状認識の技術もかなり進んでおり、ものが見える状況であればAIに学習させることでかなりの確率で検知はできる。問題は、学習するサンプルと学習量が足りないことと、廃棄物・資源化物の種類がどんどん変わっていくということである。導入時のレベルを維持するだけではなく、現場で常に学習できるAIでないと残っていけない。
  - 現状は自社のプラントの中にはAI選別を導入した事例はない。自治体に実機で動いているところを見ていただくために、まずは導入事例をつくろうと、ビンの色選別に関するAI選別機の開発を考えている。
  - 包括委託をいただいている自治体で、コロナの影響でシフト体制を強いられた時期もあった。ごみ処理施設の人手不足は近い将来の最重要課題になりうると捉えている。ビン、ペットボトルなどだけでなく、プラスチックも自動選別になっていく可能性があると思っている。自動選別の課題としては、初期投資がかかることや、最も大きい課題は自治体での導入実績がないということが挙げられる。この課題を克服するために、実機場での実証研究のような学習できる

チャンスをつかんでいきたいと考えている。自動選別機、ロボットなど省人化・無人化に関わる開発の方向性を考えている。省人化、無人化が進めば、現状ではリサイクル施設は5時間/日しか動いていないが、24時間無人運転ができるようになるかもしれない。そうなれば、施設規模を3分の1にできるメリットもある。人がやるべき仕事を限定しながら資源化処理を実現することが未来の姿だと考えている。

- 人口減や処理量増加の観点では、選別の自動化・高速化は必要と考える。欧米の光学選別機や選別ロボットが産廃処理に活用されていることは把握しているが、一般廃棄物に利用可能かの検証はできていない。
- 選別の自動化に関して当社もガラスびん自動色選別機やペットボトル選別ロボットを開発し、自治体に導入した経緯があるが、地方自治体は、地元雇用の観点から手選別を望む傾向が強く、自動化が進んでいないのが実状である。
- 選別の自動化ができれば素晴らしいが、メリットとデメリットを考える必要がある。人件費が抑えられる一方で、24時間運転した方が効率が良いが、それだけのごみを供給できるのかという問題がある。そういう観点では、マテリアルリサイクル推進施設でも広域的な処理が考え得るのではないか。

- **資源回収量の増加、効率化の観点から、理想的なリサイクル施設の広域整備の程度や広域化・集約化の際に重要となる技術的・制度的ポイント**
  - ある自治体でプラスチック資源化を行っている企業と話をした際には、容器包装プラスチック、製品プラスチック合わせて年間2万t程度の回収量がないと採算が取れないという話があった。近隣から安価にプラスチック廃棄物を2万t集められれば収支が相殺するという試算である。一方で、2万t/年を単一の自治体や事務組合で集めるのはなかなか難しい。プラスチックだけだと7～8千t/年あれば大きいというイメージである。
  - 広域化の是非は難しい。手選別による金属回収、売却は広域化しないからこそ自治体の利益になる。広域化すると自治体は処理費用を払うことになり、有価物として回収できなくなる。広域化すると、ヤードに広げて回収する作業は処理量から考えて時間的に厳しくなり、選別はできなくなる。また、どこの自治体のごみなのかもわかりづらくなる。
  - リサイクル施設の処理対象物は、50%程度が埋立処分される不燃物であり、エネルギーを創出できる施設ではなく、また広域化などのスケールメリットで資源化量が向上する施設ではないため、地域での処理が望ましいと考える。
  - 民間企業がプラスチックを対象に広域化される地域で事業を起こすのであれば、マッチングすると考える。民間企業が廃プラスチックを購入してくれる、もしくは無料で処理してくれるとなると、運送費を含めても自治体にもメリットがあると考えられる。
  - 粗大ごみ・不燃ごみの場合、地方の広域化では運送距離も考えると自治体の負担が大きくなる。自治体の場合、破砕後の鉄とアルミを有価物として引き取ってもらっているが、破砕前の圧縮していないごみ（圧縮すると破砕が困難になる）を長距離輸送することは効率が悪い。収入源はないが、出費だけが増え、広域化分の処理費、維持費が地方の自治体の負担になる。それよりも、少量を仕分けして民間企業に引き取ってもらう従来のやり方がよかったとなるのではないか。
  - 政令都市規模になると、広域化による利点はあると思う。
  - 焼却の場合は、広域化・集約化により発電効率を上げれば売電収入が増加するメリットがある。一方で、粗大・不燃ごみの場合は、金属の回収率は規模によって基本的には変わらないと考えている。その場合、広域化による輸送費増加に見合うメリットが回収率の面からは生まれず、メリットとしては運転人員の削減だけになるが、運搬費や地域雇用の面から運営費削減によるメリットが大きいとは考えにくい。
  - 破砕機は大規模化することでイニシャルコスト、ランニングコストともに安くなるかもしれない。資源回収量の観点からは、基本的には全量破砕になり、手選別回収量が減少する分、回収量は減ってしまうかもしれない。
  - マテリアルリサイクル推進施設の広域化のイメージは都市部と過疎部で異なる。広げると運搬が大変になる。程度の言及まではなかなか難しいが、県単位で都市部と過疎部に分けるというイメージか。ロボット選別を導入できる日処理量のイメージまではまだ答えられない。まずはやってみるという段階である。
  - 画像処理は誤検知が課題である。まだまだこれから発展していくという認識である。
- **マテリアルリサイクル推進施設において、残渣を減らすために必要な対策等**
  - 不燃残渣について、粒度選別に風力などの精選機を組み合わせて量を削減し、軽量物などを可燃残渣側へ移行させ、可燃物残渣から金属類やプラスチックを回収することが望ましいと考える。

- 25～30㎜でふるって不燃物を回収することで保証値を十分満足できるので、それ以上に選別機器を導入し精度を上げて不燃物量を削減することにお金をかけても入札競争には勝てない。
- 社会全体で考えると、埋立量を減らすことは重要なので、安価な選別方法がないか調査はしている。
- 残渣を減らすためには減量化が有効である。残渣から資源物を取り出すのは効率が悪いのではないか。
- 可燃残渣、不燃残渣のどちらを優先的に減らすのかは、自治体の考えに基づいて対応する。例えば、最終処分場のない自治体や溶融炉付きの焼却施設がある自治体であれば、なるべく可燃残渣として処理したいなどが考えられる。
- 運搬費を減らしたい場合には、残渣を減らすために資源化量をなるべく増やすことも考えられるが、あまり変わらないかもしれない。方法としては、例えば、残渣をラインにもう一度戻すことで回収しきれなかった鉄やアルミを回収することなどが考えられる。

**中長期シナリオ（案）について**

- **特に中長期シナリオ（案）をアップデート・具体化していくための実行計画の策定で留意すべき点**
  - 総論賛成ではある。自治体は一般廃棄物を圏外移動しにくい法整備がされており、処理量を確保しにくい制約条件がある中で、マスメリットがないと資源化が推進されない面もある。地域で考えるべきエリアを誰かが決める必要がある。そうしないとその中での最適解を探すことができない。単一の自治体内で考えるのか、エリアを広げた中で地産地消を考えるのか、それによって最適解や補助金の配分なども変わってくるのではないか。
  - 都道府県では広すぎるのではないか。一方で、例えば神奈川と東京の多摩地区であれば県をまたいで地域でまとまってもよいかもしれない。エリアを勝手に越えられないことが答えを見つけるうえで制約になっているのではないか。集めやすいところ、資源化物をリサイクルルートに乗せることができるところをどこから探すのかが悩ましい。
  - 顧客側も、プラスチックをリサイクルルートに乗せるために設備改造する際に、どういう単位で選別すればいいか、リサイクルルートに乗せるイメージがつかめず、悩まれている場合が多い。日本容器包装リサイクル協会（容リ協会）のルートのほかに、大臣認定ルートができたが、そのイメージがつかめず、施設設計の検討が進みにくい環境にある。
  - 不燃・粗大ごみ処理に対する考え方の方向性としては、処理設備だけでなく、運搬重機や車両の完全電動化を目指すことが近道と考える。（ごみ焼却とは異なり昼間だけの運転であることから、地方においては、敷地内に太陽光発電設備、蓄電設備を積極的に導入することも有効と考える）
  - プラスチック資源循環の促進に向けたマテリアルリサイクル推進施設の役割としては、不燃・粗大ごみだけでなく、もえるごみからプラスチックやバイオマスを選別する、ごみ焼却の前処理設備としての役割が期待できると考える。不燃残渣を減らしつつも、燃えるものから資源化可能なものを回収ことが大事という考えである。
  - 不燃・粗大のリサイクル施設に関しては、焼却炉との一体整備を進めた方がいいのではないかと考えている。一方で、住民サービスの観点からは一カ所に施設を集中させるのはどうなのかという問題もある。
  - 不燃ごみ・粗大ごみ処理施設、資源化施設は収集から圧縮梱包までが範囲であるため、直接的に脱炭素に貢献できるかという点は難しいところである。廃棄物分野のGHG排出量の大半が焼却による排出であり、マテリアルリサイクル推進施設からの排出量は少ない。一方で、資源循環をいかに推進できるかという観点では、排出側の分別精度の向上が重要になってくる。プラスチック資源循環法第33条に基づく再商品化計画の認定ルートもできたが、どう在るべきかを現時点で明確に言うことは難しい。

表 I-18　東京都 古澤氏へのヒアリング結果概要（ソーティングセンター、不燃・粗大ごみ処理施設関連）

| 大規模ソーティングセンターの実現に向けて必要な事項について |
| --- |
| • 大規模ソーティングセンターは民間ビジネスで動いていくべき。施設整備計画の中には直接的には入ってこないが、一般廃棄物の脱炭素化のためにはソーティングセンターのような民間施設と連携することが欠かせない。自治体が整備する施設に限定すると清掃工場のCCUSのような話になるが、廃プラスチック由来の$CO_2$をゼロにするには、民間ベースの動きが重要になる。<br>• 他の都道府県の大都市圏でソーティングセンターを公共施設として整備するという動きがどこまであるのかは全くわからないが、首都圏は今のところ民間が主体だろう。<br>• 脱炭素化政策が進んでいく中で、プラ製造に原油は使えないという認識が広まってきている。原油が使えないとなると、$CO_2$からCCUSでプラを製造するのはコストが高いので、原油に代わる原材料として廃プラ需要が増え、現在のペットボトルのように価格が高騰してくる。そういった需要側からのドライブを後押しする方向での政策（カーボンプライシングなど）を進めるべきである。そうすると、当面は33条スキームにより自治体が処理費用を払うが、将来的には、ある程度選別されたプラは皆が買い取ってくれるようになる。そのようにマーケットが変わるという前提でソーティングセンターの導入も考えるべきである。<br>• ソーティングセンターに関して定量的なFSは実施していないが、各社からのヒアリングによると少なくとも年間2万t程度の規模が必要なようだ。<br>• 現在の容リプラの再商品化施設だと、選別にコストをかけずに、一定程度で止めないと採算が取れない。需要側が廃プラを欲するようになってくると、細かく選別しても採算がとれるように変わってくる。需要側の要因が大きい。 |
| **資源循環の拡大・強化の観点からの不燃ごみ処理施設・粗大ごみ処理施設の在り方について** |
| • 不燃ごみ処理施設に入ってくるプラ、金属、電子機器など様々なものが入ってくるが、これらはリサイクルの余地まだまだあると思っている。実際にやっているのは除湿器（銅が入っている）やLiB、羽毛布団（羽毛をうまく分別できれば売れる）などである。畳が一番困っている。小型家電も結構入ってくるので、小型家電のリサイクラーとうまく連携できないかということも考えている。ウレタンのリサイクルは技術的にはこれからだが、関心を持っている企業もある。<br>• 磁選機で鉄を回収してプレスして電炉に投入するわけだが、こうしてプレスした鉄は決して高品質ではない。鉄鋼部門の脱炭素化を考えると、電炉の比率は増やしていかないといけないが、その際には、もちろんプロセス上での対策もあるが、投入するスクラップの品質が重要になる。銅などをできるだけ分けていく必要がある。<br>• 家電プラントで行っているように、磁選機だけではなく、色選別など複数の選別機を組み合わせて、更に資源回収量を増やせないのかと思う。<br>• 不燃ごみの選別技術とプラのソーティングセンターの技術とでは異なると思うが、プラの場合は、日本マーケットでも欧州メーカーのものが強いのではないか。 |

## 5. CCUS 関連技術

### 5.1 対象技術の選定

中長期シナリオ（案）では、混合廃棄物を想定した処理において炭素循環・炭素固定を行う技術（焼却、熱分解、メタン発酵、炭化と CCUS の組合せ）を廃棄物・資源循環分野の CCUS 技術として想定している（図 I-12）。本業務でも中長期シナリオ（案）と同様の対象範囲とし、主に焼却処理、熱分解、メタン発酵での CCUS 技術に付いて、日本における適用のポテンシャルや実証事例の最新動向等について調査、整理を行う。なお、各技術の概要等については「令和 3 年度廃棄物・資源循環分野における 2050 年温室効果ガス排出実質ゼロに向けた中長期シナリオ検討業務報告書」（パシフィックコンサルタンツ株式会社、2022 年 3 月）を参照されたい。

焼却については、日本において主流の処理方式であり、中長期シナリオ（案）においても実質排出ゼロの達成のためには焼却施設での CCUS 導入が必須であることが示唆されていることから、炭素循環のポテンシャルが量的に最も多い技術と考えられる。ガス化は、焼却処理と異なり炭素の一部は完全には酸化されず、例えば CO と $H_2$ からなる合成ガスが得られるため、CCU に適した技術である可能性が高いといえる。一方で、中長期シナリオ（案）では熱分解技術について詳細な議論はなされておらず、シナリオにおける試算での想定としては焼却施設の中に包含されてしまっていること、CCUS による排出削減効果の計算については全量 CCS を想定した計算となっていることが課題として挙げられるため、熱分解技術や CCU についての調査が必要である。メタン発酵については、中長期シナリオ（案）では 2030 年以降に焼却施設の新規整備に合わせてセットで導入されることを想定しており、施設数の増加が見込まれている。メタン発酵により発生するバイオガスはその 40~50%程度が $CO_2$ であり、エネルギー利用による GHG 削減効果を増加させるためには、この $CO_2$ を有効利用することが求められる。

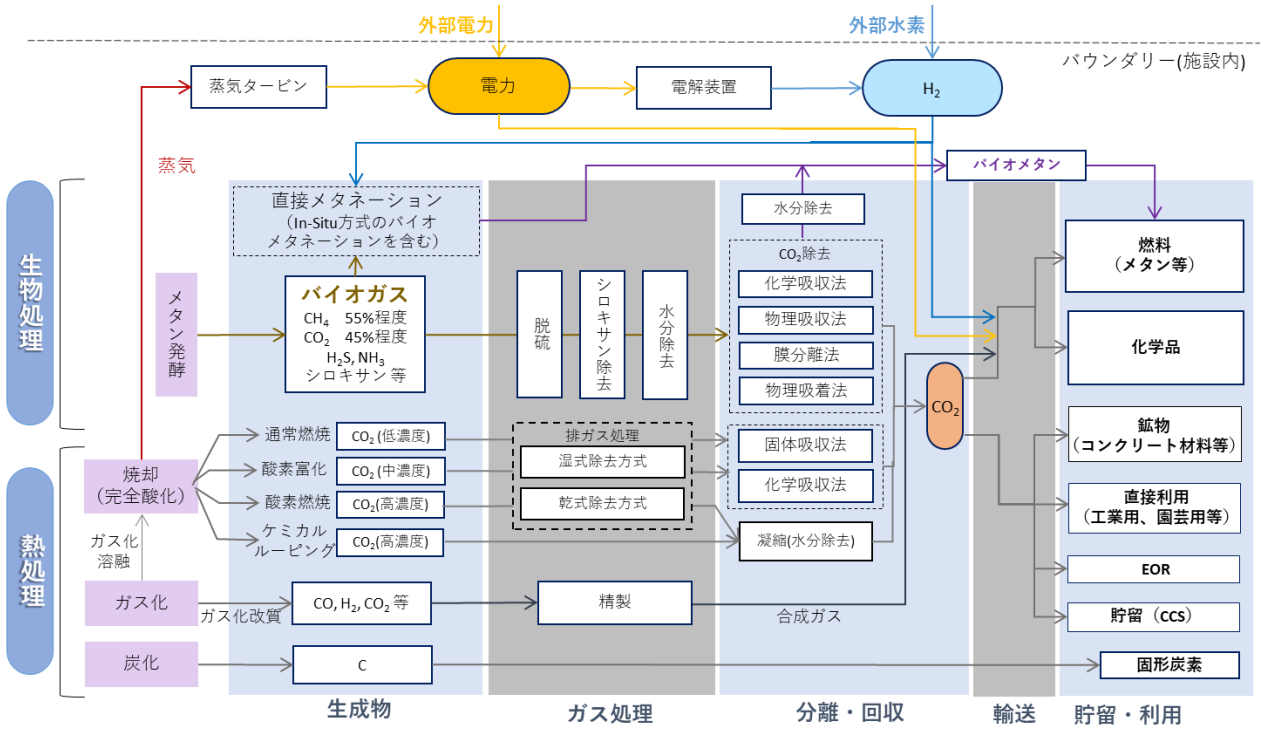



図 I-12　廃棄物・資源循環分野における CCUS の技術要素

出典：環境省循環型社会部会（第 38 回）「廃棄物・資源循環分野における 2050 年温室効果ガス排出実質ゼロに向けた中長期シナリオ（案）」

## 5.2 焼却処理

### （1）導入ポテンシャル

中長期シナリオ（案）の将来推計によると、3R が大幅に進展したシナリオ（イノベーション実現シナリオ）における 2050 年の一般廃棄物の年間焼却処理量は約 1,800 万 t であり、焼却施設の建設年代別にみると、2030 年以前に建設された施設における処理量が全体の約 59%、2031 年から 2040 年の間に新設された施設での処理量が約 36%、2041 年~2050 年の間に新設された施設での処理量が約 5%となっている。中長期シナリオ（案）では熱分解技術について十分に議論がなされておらず、試算での想定としては焼却施設の中に包含されていると考えられ、仮に 2030 年以降の新設のうち半数が熱分解処理施設であったとすると、焼却施設での処理量は約 1,400 万 t となる。これは、300t/日（中長期シナリオ（案）における施設集約化の想定規模）、280 日稼働の施設を想定すると、約 170 施設分に相当する。一方で、処理量のうち約 80%が 2030 年以前に整備された施設での処理になることから、基幹改良のタイミングに合わせた CCUS 設備の導入や追設が可能な技術であることが重要となる。

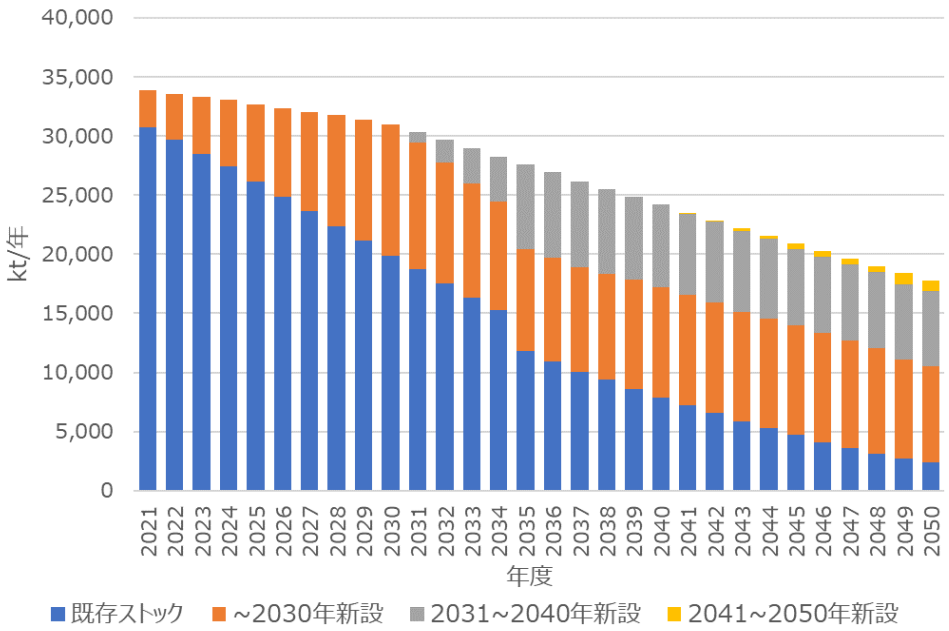



**図 I-13　焼却処理施設の将来推計結果（イノベーション実現シナリオ）**

出典：環境省循環型社会部会（第 38 回）「廃棄物・資源循環分野における 2050 年温室効果ガス排出実質ゼロに向けた中長期シナリオ（案）資料編」

### （2）国内外における研究開発、実証の状況

国内外においては、当該分野において表 IV-3 に表 I-19 示すような取組みがなされており（熱分解処理の実証も含む）、日本においては小規模ではあるものの複数の CCU に関する実証が実施されていることが分かる。「二酸化炭素回収利用貯蔵（CCUS）の現状と廃棄物分野への応用（焼却処理を中心に）」（倉持他、都市清掃、2022 年 1 月）では、「将来展望として有用な 2 施設の取り組み」として佐賀市及びオランダ AVR 社の事例が取り上げられており、前者では主灰の、後者では飛灰の炭酸塩化に関する研究、実証等が特筆されている。また、大規模な $CO_2$ 分離回収事業の構想も出現してきており、特にデンマーク ARC 社やノルウェーFortum Oslo Varme 社の事例では排ガス全量を対象とした $CO_2$ 分離回収が構想されており、排出される $CO_2$ のうち 90%近くを回収する計画となっている。

また、IEAGHG においても下表で示した事例のうちの一部が紹介されているほか、日本を含む 10 か

国での既存の焼却施設へのCCUS技術の導入可能性について、様々な基準（炭素の貯留先・需要先、地域熱供給との統合、$CO_2$排出係数、カーボンプライシング、廃棄物発電の普及、社会的受容性、大気汚染物質の規制、プラントサイズ）からスコアリングを実施している。その中で日本は、廃棄物発電の普及やカーボンプライシング（ここでは主に廃棄物発電や熱供給による $CO_2$ 削減効果に対するインセンティブを指している）で他国に比べて高い評価となっている一方で、社会的受容性とプラントサイズにおいて低い評価となっており、経済性向上等に資する施設集約化の推進や、社会的受容性向上のための取組み等も、技術開発・実証と併せて重要になると考えられる。

また、近年では、焼却施設に $CO_2$ 分離回収技術を導入した場合の環境性や経済性を評価する研究も実施されてきている。例えば、Bisinella et al. (2021)では、欧州の典型的な廃棄物発電プラントでCCSを導入した場合の環境性評価を、Christensen and Bisinella (2021)ではCCUを導入した場合の環境性評価が実施されている。特にCCUにおいては、生成物の種類や、用途、エネルギーシステムの低炭素化・脱炭素化の状況によって $CO_2$ 削減効果が大きく異なっており、需要の想定や脱炭素エネルギーの確保が重要であることが示唆されたといえる。また、CCUを評価する場合、もしくはCCUとCCSを一体的に評価する場合には、バウンダリの設定やCCUの非代替物の製造による環境負荷なども適切に考慮する必要がある。

表 I-19　廃棄物・資源循環分野における CCUS 技術の取組事例

| 分類 | 施設・企業名/プロジェクト名 | 国名 | ごみ焼却施設の処理能力 [kt/y] | $CO_2$回収施設稼働開始（予定） | $CO_2$排出量 [kt/y] | $CO_2$回収量 [kt/y] | 備考 |
|---|---|---|---|---|---|---|---|
| CCS | ARC CCSプロジェクト | デンマーク | 600 | 2023~2025年実証<br>2025年稼働予定 | 560 | 500 | ・$CO_2$は北海にて長期貯蔵<br>・焼却排熱は地域熱供給に利用され、発電電力量をヒートポンプで熱に変換することで、実質的にエネルギー効率を保ち$CO_2$回収が可能 |
| | Fortum Oslo Varme-Klemetsrud | ノルウェー | 320 | 2023~2024年(予定) | 460 | 400(予定) | CCS Northern Lights プロジェクトにより北海に貯蔵 |
| | CCS PORTHOS プロジェクト（ごみ焼却施設以外も対象） | オランダ | ー | 2023年 | ー | 2,000~5,000 | 貯留容積：37,000kt |
| | Acornプロジェクト（ごみ焼却施設以外も対象） | 英国 | ー | 2023年 | ー | 200以上（2023年まで） | ・既存の石油・ガスパイプライン、船で輸送し、北海に貯蔵 |
| | KVA Linth | スイス | 115 | ー | 120 | ー | ・KVA Linthのほか、2社が参加、政府機関と自治体(グラールス州)より資金的な支援を受ける<br>・国内でのCO2貯蔵は地盤的に困難であるため、外国へ輸送（船・鉄道等）することを想定 |
| CCU | 佐賀市清掃工場 | 日本 | 74 | 2016年 | 54 | 3 | 回収した$CO_2$を二酸化炭素貯留タンクに保管した後、パイプラインで事業者へ供給し、藻類培養や植物工場で活用 |
| | HVC-Alkmaar Project 1 | オランダ | 682 | 2018年 | 674 | 4（次段階では75ktを予定） | 液化$CO_2$の温室栽培利用 |
| | AVR-Duiven | オランダ | 361 | 2019年 | 400 | 50~60 | ・液化$CO_2$の温室栽培利用<br>・現状のCO2回収率は85% |
| | HVC-Alkmaar Project 2 | オランダ | 682 | 2022年(予定) | 674 | 75 | 液化$CO_2$の温室栽培利用 |
| | 小田原市環境事業センター(環境省CCU実証事業、日立造船) | 日本 | 75 | 2022年 | ー | ー | メタネーション |
| | 久慈市(環境省CCU実証事業、積水化学工業) | 日本 | ー | 2022年 | ー | 20 | 合成ガスに変換後、微生物によるエタノールの製造 |
| | 三鷹市・調布市（JFEエンジニアリング） | 日本 | 288 | 2021年 | ー | ー | メタノール製造 |
| | AEB Amsterdam | オランダ | 1284 | ー | 1268 | 450 | 温室栽培利用や化学薬品への再利用を検討中 |

出典：パシフィックコンサルタンツ株式会社「令和3年度廃棄物・資源循環分野における2050年温室効果ガス排出実質ゼロに向けた中長期シナリオ検討業務報告書」（2022年3月）より作成

### （3）技術の革新性やコスト等を含めた導入実現性等の評価

$CO_2$ の分離回収自体は、前述のとおり廃棄物焼却施設を対象とした場合には実証あるいは佐賀市のように植物の成長促進のために利用している事例がみられるが、基本的に排ガス系統の一部分を分岐させて $CO_2$ を分離回収していると見られる。一方、現在諸外国で進められている廃棄物焼却施設の排ガスからの $CO_2$ 分離回収に関するプロジェクトでは、前述した将来的に排ガス全量を対象とした $CO_2$ 分離回収を構想している事例がある。

コスト面では、分離回収設備に伴う設備費・運転維持費の増加に加えて、分離回収に要するエネルギー消費に伴って売電収入が低下するなどし、従来型の焼却処理と比較して正味処理コストが増加することが見込まれる。そこで、社会実装に向けては、分離回収設備を含めた CN 対応型焼却プラントの正味処理コストが、従来型と比べて高すぎないことが重要である。プラントの社会実装が進む中でさらなるコスト低下が期待されるとしても、追加コスト分は少なくとも他分野と同程度の $CO_2$ 回収費用にその時点での炭素価値を加味した分と同程度以下までは削減されていくことが望まれる。

無論、他の $CO_2$ 排出源からの CCUS と同様に、CCU であれば回収した $CO_2$ の利用先の確保、CCS の場合は貯留先の確保や貯留先への運搬が課題であり、それが経済的・制度的に成り立つ仕組みの整備が前提となる。

### （4）事業者等へのヒアリング

上述のように中長期シナリオ（案）の作成過程において、各種試算も行われていること、また、本年度の関連する他業務において別途にヒアリング調査が実施されていることから、ヒアリングは実施しないこととした。

## 5.3 熱分解処理

### （1）導入ポテンシャル及び国内外の技術開発動向

前述のとおり、中長期シナリオ（案）の試算の中では熱分解処理施設は焼却施設の内数であると考えられ、仮に 2030 年以降の新設のうち半数が熱分解処理施設であったとすると、2050 年の処理量は約 360 万 t となり、300t/日、280 日稼働の施設を想定すると、約 40 施設分に相当する。

脱炭素化技術としての熱分解の利点は、炭素を化学的に安定な $CO_2$ にまで完全酸化することなく、合成ガスの状態で利用できることにあると考えられ、したがって炭素需要の確保と一体的な整備が求められる。合成ガスからはメタノールやエタノールといったアルコール類や合成油を製造することができ、燃料品、化学品原料として活用することが期待される。グリーンイノベーション基金事業においては、例えば「$CO_2$ 等を用いた燃料製造技術開発プロジェクト」では、合成ガスを FT 合成することによる液体燃料製造技術の開発やグリーン LPG 製造技術の開発、エタノールからのジェット燃料製造技術の開発が実施されているほか、「$CO_2$ 等を用いたプラスチック原料製造開発プロジェクト」でもアルコール類からオレフィンを製造する技術の開発が実施されている。

また、国際的な液体バイオ燃料の供給量予測をみると、IEA による APS（Announced Pledges Scenaio：各国が公言している宣言を実行するシナリオ）では液体バイオ燃料の需要量増加が非常に大きく、NZE（Net-Zero Emissions by 2050 Scenario：2050 年までに世界全体の排出量を実質ゼロとするシナリオ）では車両の電化が進むため APS に比べて伸びは小さいものの、いずれも現状比で大きく需要量が増加しており、特に廃棄物由来を含む”Advanced（高度）”な燃料が大部分を占めていることが分かる。このことからも、廃棄物由来炭素のニーズは今後大きく増加することが予想され、それにした

がって熱分解施設の価値も上昇していくことが考えられる。また、合成ガスには水素が含まれることから、生成物の種類によっては外部からの水素供給を必要としないため、早期の導入も期待される。

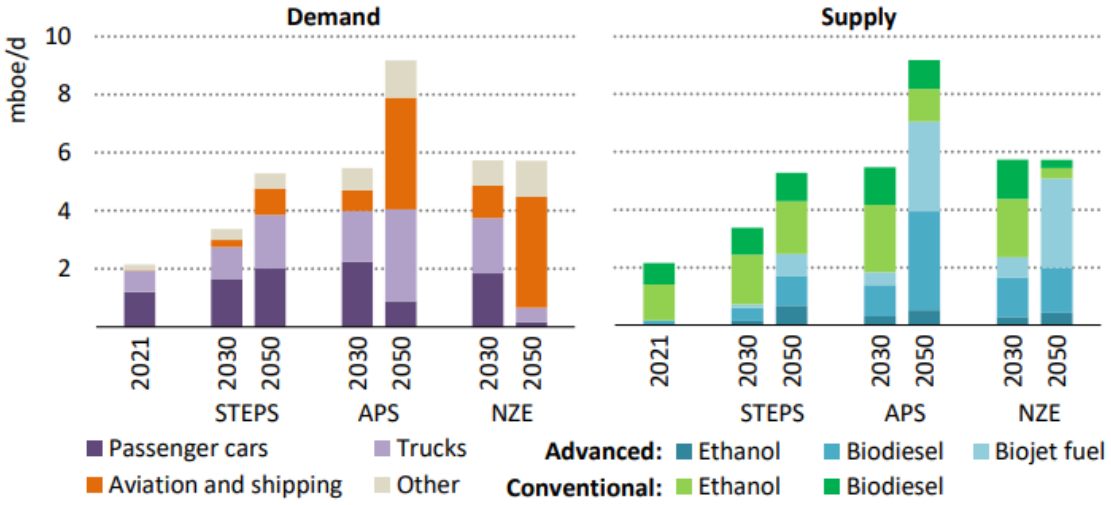



図 I-14　世界のシナリオ別の液体バイオ燃料の需要と供給

出典：「World Energy Outlook 2022」（2022 年、国際エネルギー機関（IEA）、図 7.8）
（Source: IEA (2022), World Energy Outlook 2022, All rights reserved.）

国内においては、表 I-19 に示した久慈市の事例などが実施されているほか、国外においては、表 I-20 に示すようなプロジェクトが計画、実施されている。このうち、Enerkem 社のスペインでの事例は EU Innovation Fund（2020~2030 年の支援総額約 380 億ユーロにて革新的な低炭素技術の商用規模実証支援を行うための基金）の大規模プロジェクトに採択されている。

表 I-20　都市ごみのガス化によるアルコール製造の国外事例

| 技術保有企業 | 加熱原理 | ガス化タイプ | プロジェクト実施場所 | プロジェクト段階 | 原料 | 生成物 | 設備容量(kt/yr) |
|---|---|---|---|---|---|---|---|
| Synthesis Energy Systems （アメリカ） | $DO_2$ | BB | フロリダ（米国） | 計画中、基本設計終了 | バイオマス/都市ごみ | メタノール | 875 |
| NextChem（イタリア） | $DO_2$ | $UO_2$ | リボルノ（イタリア） | 計画中 | 都市ごみ | メタノール | 115 |
| | | | ロッテルダム（オランダ） | 計画中 | 都市ごみ/廃材 | メタノール | 120 |
| Enerkem（カナダ） | $DO_2$ | BB | エドモントン（カナダ） | 稼働中 | 都市ごみ | エタノール<br>※メタノールを経由 | 30 |
| | | | ケベック（カナダ） | 建設中<br>2023年稼働開始予定 | 都市ごみ | エタノール<br>※メタノールを経由 | 35 |
| | | | ロッテルダム（オランダ） | 最終意思決定中 | 都市ごみ | メタノール | 215 |
| | | | タラゴナ（スペイン） | 最終意思決定中<br>※EU Innovation fund 採択 | 都市ごみ | メタノール | 240 |

$DO_2$ = 酸素による部分燃焼を用いた直接加熱, BB = 気泡型流動層, $UO_2$ = アップドラフト（蒸気とともに酸素を注入）
出典：IRENA, Innovation Outlook: Renewable Methanol (2021)を基に最新の情報を確認の上で再作表

### （2）技術の革新性やコスト等を含めた導入実現性等の評価

上述のとおり、炭素循環の観点からは安定的な物質である $CO_2$ へと全量を完全に酸化するのではなく原料化合物となる CO を得ることができること、カーボンフリー水素が大量・安価に得られるわけではない現状で $H_2$ を得ることができることなどのメリットが期待される技術である。

日本では、流動床などの独自技術の発展や、欧州から導入された技術の改善によって、今日まで長

期稼働の実績を有する。その中には合成ガスを回収するガス化改質も含まれるが、その多くは初期（2000 年頃）にコンセプトが評価されて建設・稼働中である一方で、運転コスト（エネルギーコスト、メンテナンスコスト等）面の課題から近年は新規導入が進んでおらず、むしろ量的には縮小傾向にあるとみられる。しかし現状では、EU の実証支援プロジェクトに選定される案件がみられるなど、国外でも注目されており、国内でも実証事業に至っているなど、今後の導入が期待される技術の一つであり、従来型の焼却処理などの競合する技術と、CCU を前提とした場合に同程度のコスト下での処理を実現することが必要であると考えられる。

また、ガス化技術のメリットが CCS ではなく CCU の場合に発揮されることを踏まえると、焼却処理以上に炭素の利用先とセットでの事業構築が求められ、導入の実現性に直結するものと考えられる。

### （3）事業者等へのヒアリング

事業者等へのヒアリングは、ガス化改質炉の商用機で世界トップの実績を有するとみられる企業及び環境省事業での実証事業を実施又は関係しているプラントエンジニアリングメーカーとして、JFE エンジニアリング株式会社、日立造船株式会社、三菱重工環境・化学エンジニアリング株式会社の３社を対象とした。

#### 1) JFE エンジニアリング株式会社（サーモセレクト方式）

廃棄物をガス化し得られたガスを改質して清浄な可燃性ガスを回収する「ガス化改質方式」のガス化溶融技術である。旧川崎製鉄（現 JFE グループ）が 1997 年にスイスのサーモセレクト社から技術導入したもので、新エネルギー産業技術総合開発機構の支援の下、1998 年から JFE スチール東日本製鉄所千葉地区構内に処理能力 150t/日・炉×2 系列からなる設備が建設された。その後、国内で導入が進み、現在（2023 年 3 月時点）、国内に 7 か所稼働しているプラントが存在する。サーモセレクト方式のガス化改質炉の商用運転を継続しているプラントは日本国内のみに存在しており、海外では商用運転が継続している例がない。

サーモセレクト方式のプロセスの概略は、廃棄物を前処理せずに圧縮し、脱ガスチャンネルで間接加熱により乾燥・熱分解処理する。熱分解物は高温反応炉に装入され、酸素と熱分解炭素との南濃により高温で溶融される。生成したガスはガス改質・急冷・ガス精製することにより清浄な燃料ガスが回収される。

サーモセレクト方式のプロセスの特徴として、以下が挙げられている。

1） ダイオキシン・飛灰を発生させない
発生したガスを約1200℃で2s以上保持した後に約70℃まで無酸素の状態で急冷することで，ダイオキシン類の発生そのものを極限まで抑制して，ガスを燃料として回収する。
2） 廃棄物を完全に再資源化できる
廃棄物は，精製合成ガス，水砕スラグ，メタル，金属水酸化物，硫黄，混合塩などに変換され，資源としての再利用が可能であり，埋立処分量ゼロも可能である。
3） ガス改質によりクリーンなガスが回収される
回収された合成ガスは水素と一酸化炭素が主成分であり，発電用の燃料として利用できるだけでなく，化学原料として用いることも可能である。発電用燃料として使用する場合，ガスエンジン発電，燃料電池発電，ガス焚きボイラ発電，ガスタービン・コンバインド発電などの中から設備規模や立地条件に適合した最適な発電方式が選択できる。
4） 経済的である
廃棄物の持つエネルギーで溶融処理を行うため，また，ダイオキシン類や重金属を多量に含む飛灰の処理を行わなくてよいため，従来の焼却＋灰溶融方式に比べてトータルコストの削減も可能となる。埋立処分ゼロとすることができれば，埋立処分地の建設費用，管理維持費が削減される。

出典：JFE 技報 No.3「サーモセレクト方式ガス化改質炉」（2004 年 3 月）より引用

上記資料では、得られる合成ガスの成分として、千葉プラントにおける一般廃棄物処理の実証運転では、千葉市の一般廃棄物を処理しており、$H_2$：30.7 mol%、CO：32.5 mol%、$CO_2$：33.8 mol%、$N_2$：2.3 mol%との結果が報告されている。

2013 年時点の書籍（Naomi B. Klinghoffer and Marco J. Castaldi）[1]では、ガス化について操業中の技術としては、第一に日本において複数のサーモセレクト式ガス化炉（多くは 300t/日とされている。）があることが挙げられている。ただし、同方式では、都市ごみを合成ガスに転換する際におよそ 400kWh/t のエネルギー損失があるほか、高温反応炉（homogenizer）のための天然ガス消費と酸素製造のための電力消費（100kWh/t）がある一方、メーカーから提供されたデータに基づき計算すると、125t/日の規模のプラントでの売電可能量は 650kWh/t（LHV=12.7MJ/kg）～450kWh/t（LHV=10.6MJ/kg）となり、大規模な焼却発電施設と同程度であると述べられている。

大谷ら（2019 年）[2]は、サーモセレクト方式のデメリットとして、“ガス化に必要な多量なエネルギー投入で燃料単価が変動するとその影響が事業性に大きく影響すること”を指摘しており、近年の動向として、“2000 年代初頭では行政ニーズにマッチングしていたが、近年では、都市ガスおよび電気価格が上昇傾向にあり、全国に 7 か所存在した事業の事業性が悪化し撤退する事業者も存在する。事業性を改善させるための策として、廃棄物の処理単価が高い、ストーカー炉や流動床炉などの焼却処理では適正処理が困難なアスベストや有害物などを含む廃棄物を受け入れ事業性を維持し、今日に至る”と報告している。

ヒアリングは、2023 年 2 月 2 日に実施した。

### 2) 日立造船株式会社

環境省の $CO_2$ 排出削減対策強化誘導型技術開発・実証事業（令和 2 年度～令和 5 年度）において、「高効率エネルギー利活用に向けた次世代型廃棄物処理システムの開発」として日立造船株式会社が技術開発を行っている。大阪広域環境施設組合の舞洲工場地内において、2.0 t/日（実機の 1/10 スケール）の実証試験（評価・検証）を実施中である。

実証プロセスでは、熱分解ガス化改質炉で生成した熱分解ガスはガス精製装置により、ガス中に残留したタールと酸性ガスおよび夾雑物を除去した後に熱分解ガス貯留タンクを経て発電機（ガスエンジンや燃料電池）において電気に変換される。また、熱分解ガス化改質炉の熱源は本装置から排出されるチャーを燃焼させた高温の燃焼排ガスを活用する。熱量が不足する場合は生成した熱分解ガスを充当するため外部熱源は不要である。さらにシステム全体のエネルギー効率を高めるため、発電機の排ガスを熱風発生炉の熱源に利用するほか、熱分解ガス化改質炉を出た後の間接加熱ガスを廃熱ボイラーで水蒸気発生用の熱源として活用するシステム構成となっている。

この熱分解ガス化改質炉は、単一のキルン内で熱分解ガス化とガス改質を行うことが特徴であるが、それぞれの部分の概要は以下の通りである。

#### ① 熱分解ガス化部

熱分解ガス化部は、a.キルン外筒、b.仕切板（キルンを往路・復路に分割する）、c.傾斜板（流動媒体を循環させる）で構成される。流動媒体（300～450℃）は、キルンの回転により流動化して図中のＡ～Ｂ間を循環する。Ａに投入された廃棄物は高温の流動媒体と接触・攪拌して、可燃ガス、タール

[1] Naomi B. Klinghoffer & Marco J. Castaldi, “Waste to Energy Conversion Technology”, Woodhead Publishing, 2013

[2] 大谷 隆介・山田 崇雄・中尾 彰文・山本 秀一・山本 祐吾・吉田 登「サーモセレクト方式ガス化改質炉でのエネルギー回収技術導入による GHG 削減効果と事業性の評価」土木学会論文集Ｇ（環境） 75 (6), II_87-II_99, 2019

（高温気化した油分）、チャー（炭化物）、不燃分に熱分解する。熱分解しにくい廃棄物（粒形が大きい等）は、流動媒体と一緒に熱分解ガス化部を循環することにより熱分解を促進する。

ガス化温度が低下しやすい状況（水分の多い廃棄物が投入される等）でも、外熱により約 400℃に加熱された大量の流動媒体により攪拌して昇温する構造のために、急激な温度低下を回避させて安定した熱分解を実現できるシステムとしているため、ごみ質の変動が避けられない一般廃棄物に適したシステムである。（廃棄物の保有熱量を直接利用する部分燃焼方式だと、ごみ質の変動による熱分解温度の変動は避けられない。）

② ガス改質部

ガス改質部は、d.キルン外筒、e.螺旋板(往)、f.螺旋板(復)で構成され、キルンの回転により固体粒子（600～800℃の流動媒体とチャー、不燃物）が流動化しながらガス改質部のＢ～Ｃ間を循環する。

熱分解ガス化部で生成したガス（可燃ガス、高温タール）と高温水蒸気はガス改質部に充

填された 600～800℃の固体粒子の空隙を固気接触しながらすり抜けてキルン出口から排出される。その際に可燃ガス、タールやチャーは昇温されると同時に水蒸気改質反応により改質されて、タール分の少ない水素リッチな可燃性のガスに改質される。この改質反応は一般的には 800～1000℃以上の高温域でおこる反応であるが、本システムにおける改質反応は、廃棄物由来のチャーがタールの水蒸気改質反応の触媒的効果を持つことを利用して、タール、水蒸気およびチャーを約 800℃で接触させることで改質反応を可能としている。熱分解ガス化部およびガス改質部の温度は、キルン外部の間接加熱ガスの温度や流量等により制御可能である。

ヒアリングは、2023 年 2 月 8 日に実施した。

### 3) 三菱重工環境･化学エンジニアリング株式会社

積水化学工業株式会社のホームページ[3]によると、表 I-19 中の久慈市における事例では、三菱重工環境・化学エンジニアリング株式会社のガス化改質炉が採用されている。

2008 年時点の文献（古賀他[4], 森他[5]）によると、三菱重工では木質バイオマスや下水汚泥の炭化・ガス化技術やバイオマスガス化技術を開発している。前者の技術は、木質バイオマスの炭化・ガス化の場合、間接加熱式ロータリーキルンの熱分解ガス化炉、ガス燃焼室、ボイラ、バグフィルタ、洗煙塔、脱硝反応塔などにより構成されている。木質系バイオマス（木屑）を熱分解し、熱分解ガスを低空気比で燃焼させ発電するとともに、発生する熱分解残渣（炭化物）を固体燃料として燃焼させ、高温空気として有効利用することにより場内化石燃料の使用量低減させるコージェネレーション施設である。

後者のバイオマスガス化技術は、「発生タール量が少なく、スラッギングに強いという特徴がある噴流床ガス化方式を採用しており、水蒸気と酸素でバイオマスをガス化することで生成ガス組成をコントロール」でき、「メタノール合成に適した生成ガスを得ることが可能である」とされている。

また、2016 年時点の文献（三菱重工環境・化学エンジニアリング(株) 営業統括部[6]）によると、三菱重工環境・化学エンジニアリング(株)は文献発表時の 10 年前より都市ごみ向け流動床式ガス化溶融施設を納入して安定した運用実績を積み重ねている。2015 年４月１日より営業運転を開始した青森市清

[3] 積水化学工業株式会社ホームページ (https://www.sekisui.co.jp/news/2022/1373478_39136.html )（2023 年 3 月 23 日閲覧）
[4] 古賀 洋一・吉田 季男・寺澤 良則・仙波 範明・甘利 猛・佐藤 和夫「炭化・ガス化技術によるバイオマス利用分野の拡大」三菱重工技報 VOL.45 NO.1: 2008
[5] 森 龍太郎・大木 良典・武野 計二・松本 啓吾・小林 由則・石井 弘実「バイオマスガス化技術による石油代替燃料の製造」三菱重工技報 VOL.45 NO.1: 2008
[6] 三菱重工環境・化学エンジニアリング(株) 営業統括部「ハイブリッド発電を活用した資源循環型ごみ処理施設（流動床式ガス化溶融炉）の営業運転開始」三菱重工技報 VOL.53 NO.1: 2016

掃工場の可燃ごみ処理施設では、受け入れたごみを低酸素雰囲気下の流動床式ガス化炉に投入してガス化し、発生した可燃性ガスと未燃ダストを燃焼溶融炉へ直接吹込み、空気と高温燃焼させることでダスト中の灰を溶かしガラス質の結晶（溶融スラグ）に変化させる。溶融スラグはマテリアルリサイクルするほか、ボイラでは燃焼溶融炉で発生する排ガス廃熱を蒸気として熱回収（サーマルリサイクル）し、回収した蒸気のうち一部は汚泥の乾燥熱源として施設内で熱利用するが、残りの大部分は蒸気タービンに送り電気に変換する。

ヒアリングは、2023 年 3 月 16 日に実施した。

## 5.4 メタン発酵

### （1）導入ポテンシャル及び国内外の技術開発動向

中長期シナリオ（案）において、メタン発酵施設は 2030 年以降に新設される熱処理施設とセットで導入されるとの仮定に基づき試算が行われている。この仮定に基づくと、約 80 施設の導入が期待され、一般廃棄物量の約 10%程度を処理するという計算である。

厨芥類などの食品廃棄物は含水率が高く、長距離の運搬はコスト的に見合わない可能性があるほか、中長期シナリオ（案）でも考慮されているし尿・浄化槽汚泥等との統合処理にも向くことから、地域分散で多様なバイオマス源を受け入れ、エネルギーに変換する施設としての役割が期待される。一方で、メタン発酵により発生するバイオガスは 50~60%程度がメタン、残りの 40~50%程度が $CO_2$ であり、エネルギー利用による GHG 削減効果を増加させるために、国内外でこのバイオガス中の $CO_2$ をメタンに変換するメタネーション技術の開発・実証が進められている。メタネーションには触媒による熱化学的メタネーションと微生物を用いるバイオメタネーションがあるが、「資源循環分野におけるバイオメタンおよびバイオメタネーション技術」（小林他、廃棄物資源循環学会誌、2022 年 1 月）によると、「熱化学的メタネーションと比較して，バイオメタネーションは反応速度が小さいものの，流入ガスへの不純物の混入に対する耐性は大きく，ガスの精製なしでの直接メタネーションが可能」であり、性状の不安定な廃棄物との相性がよい技術であるといえる。バイオメタネーションのプロセスには in-situ 型（メタン発酵槽に水素を投入して槽内でメタネーションを行う）、ex-situ 型（メタン発酵槽とは別のリアクタでメタネーションを行う）、ハイブリッド型の 3 種類があり、小林他（廃棄物資源循環学会誌、2022 年 1 月）では、水素の気液間物質移動が律速段階となること、プロセスや方式によって水素の気液間物質移動係数が異なる（プロセス別には in-situ 型に比べて ex-situ 型の方が係数は大きい）ことが指摘されている。

また、国際的な気体バイオ燃料の生産量予測（図 I-15）をみると、IEA の NZE では 2030 年まではバイオガスでの利用が主流であるものの、2040 年以降はバイオメタンの利用量が大きく増加していることがわかる。このことからも、バイオガス中の $CO_2$ をメタンに変換してバイオメタンとしての利用可能量を増やす技術は今後重要となることが考えられる。

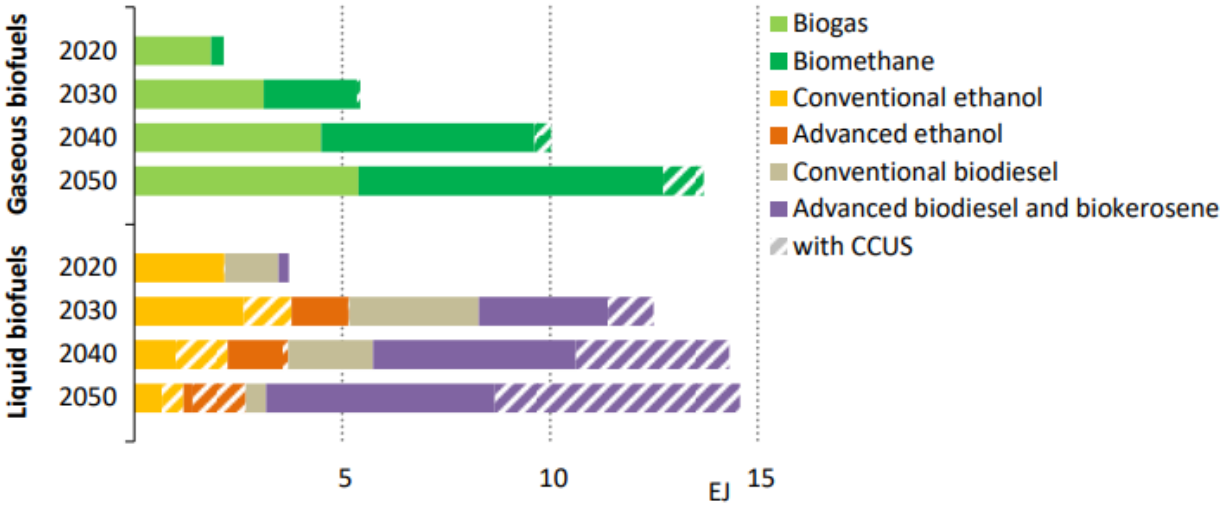



**図 I-15　世界のバイオ燃料生産量と技術別内訳**

出典：「Net Zero by 2050 A Roadmap for the Global Energy Sector」（2021 年、国際エネルギー機関（IEA）図 3.7）
（Source: IEA (2021), Net Zero by 2050-A Roadmap for the Global Energy Sector, All rights reserved.）

欧州においては、当該分野において表 I-22 に示すような取組みがなされており様々なタイプの反応器で事業が実施されていることが分かる。表 I-22 中の Electrochaea 社（ドイツ）の事例では、2020 年より EIC（European Innovation Council：革新的技術のスタートアップやスケールアップに対し資金的支援を行う機関）から計 1750 万ユーロの資金援助を受けて、下水汚泥のバイオメタネーションプラントのスケールアップ（10MWe）を実施している。10MWe プラントのごみ処理量は 30 トン/日程度（5kWh/m3-$H_2$、800kg-$CO_2$/トンごみ、前段の $CO_2$ 分離回収率を考慮しない場合の試算）であり、当該施設での生ごみ処理量を 50kg/人・年、年間 270 日稼働と仮定すると、15 万人程度の生ごみを処理することが可能という計算になる。

**表 I-21　Electrochaea 社（ドイツ）のバイオメタネーション技術開発**

| | |
|---|---|
| プラント稼働状況 | 米国（0.25MWe）、デンマーク（1MWe）、スイス（0.7MWe）でパイロットプラント稼働中 |
| スケールアップの規模 | 0.25~1MWe→10MWe※1 |
| 投資額 | 3600万ユーロ（うち250万ユーロ（約3億円）がEUの研究・イノベーションプログラム「Horizon 2020」の一部である「EIC Accelerator」プログラム※2からの助成金、1490万ユーロ（約20億円）がEICによる株式投資） |
| 合成メタンの製造量目標 | 2025年までに年間150億立方フィート（約4.2億m3≒30万トン）※3 |

※1 Electrochaea 社では最大 50MWe のスケールアップを計画。
※2 「Horizon 2020」の「EIC Accelerator」プログラムでは 2000 社以上の応募の中から 64 社を選定。
※3 日本の 2030 年における既存インフラへの合成メタン注入目標量は 28 万トン（全体の 1%）。（「2050 年カーボンニュートラルに伴うグリーン成長戦略」2021 年 6 月）
出典：Electrochaea, Growth-Stage Power-to-Gas Company Electrochaea Closes Series D Financing Round. 2022.より作成

## 表 I-22　欧米の触媒によるメタネーションとバイオメタネーション比較

| 分類（化学/バイオ） | 企業/組織 | 国名 | ガス原料 | 反応器タイプ | TRL | 反応温度 | 圧力 | 追加CH4生成量 | CH4純度 | 反応器容量 | 備考 |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| 化学メタネーション | Solarfuel/etogas(現在は日立造船) | Hessen, ドイツ | 嫌気性消化 | 管状固定層（直列配置×2） | 5 | 250-550°C | 6 barg | 14kWHHV | >91%, <4% H2 | 数Lの触媒 | Specht et al. (2016) |
| | Paul Scherrer Institut | Zürich-Werdhölzli, スイス | 下水汚泥と生ごみの商用嫌気性消化 | 気泡流動層 | 5 | 320-360°C | 6 barg | 0.6–0.84 Nm3/h（6.6–9.2 $kW_{HHV}$） | >97%, <2% H2 | <1 kgの触媒, 合計13 L | (Witte et al., (2019), Calbry-Muzyka et al. (2019a) |
| | Haldor Topsøe A/S | Foulum, デンマーク | 農業廃棄物や家畜糞尿の嫌気性消化 | 管状固定層（直列配置×2） | 5 | 280-680°C | 20 barg | 4 Nm3/h （45 kWHHV） | 97.9%, <2% H2 | 全長2~3m, 直径は非公開 | Dannesboe (2019) |
| | Ineratec GmbH | Sabadell, スペイン | 下水汚泥の商用嫌気性消化 | 2つの微細構造を持つ熱交換器を直列に配置して中間凝縮 | 5 | 475–375°C (1st), 375–275°C (2nd) | 主に5 barg | Ca.1.4 Nm3/h（15.4 kWHHV） | 93.48%, <5% H2 | 29.5cm×15cm×33.5cmの反応器が2個(2×14.8L) | Guilera et al. (2019) |
| | Department of Mechanical Engineering,Technical University of Denmark | デンマーク | | | N.A. | 270-300°C | 8 bar | 10 Nm3/h | 85-90% | 触媒容量2L×4 | |
| バイオメタネーション | Electrochaea | Avedøre, デンマーク | 下水汚泥の商用嫌気性消化 | 撹拌気泡塔 (Stirred bubble column) | 7 | 60-65°C | 10 barg | 50 Nm3/h（550 kWHHV） | >97% | Ca.7 m3（3600 L-liquid） | Hafenbradl (2020)<br>撹拌による電力消費：電解装置への入力の1.3-2.5% |
| | Microbenergy | Allendorf, ドイツ | 商用嫌気性消化 | 撹拌気泡塔 (Stirred bubble column) | 7 | 60-70°C | 5-10 barg | 15 Nm3/h（165 kWHHV） | >98% | 5 m3 | Heller (2016)<br>撹拌による電力消費：電解装置への入力の2-2.5% |
| | University for natural resources and life sciences (Boku), Vienna | Tulln, オーストリア | 家畜糞尿とスクロースのパイロットスケール嫌気性消化 | 向流トリクルベッド(散水ろ床)反応器 | 3~4 | 37±2°C | Ambient | 0.6 L/h（0.01 kWHHV） | 94-99% | 長さ1.5 m, 直径8 cm（容量7.5 L） | Rachbauer et al. (2016) |
| | National Renewable Energy Laboratory | California, 米国 | | 撹拌反応器(stirred bioreactor) | N.A. | N.A. | 18 bar | 700 L（固定式）<br>30 L（移動式） | >97%, <3% CO2（目標値） | N.A. | |
| | Demonstration site Soluthurn | Alps, スイス | 下水処理プラント(古細菌) | 撹拌気泡塔(Biological stirred bubble column) | 6~8 | 62°C以下 | 10-11bar | 30 Nm3/h（325 kW） | >97-99% | 3.5m3 | 350kWPEM電気分解装置、水素注入プラント、地域暖房CHPプラントが現存 |
| | Institute of Chemical Engineering, Division Biochemical Engineering, Vienna University of Technology | オーストリア | | 連続槽型反応器 (continuously stirred tank reactor) | N.A. | 65°C | 1bar | | 0.6 | N.A. | A.H. Seifert et al. (2014) |
| | Department of Enviromental Engineering, Technical University of Denmark | デンマーク | | トリクルベッド(散水ろ床)反応器 | N.A. | >37°C, 60°C | | 8.49 mmol·lbed-1·h-1 | 73%< | 220ml | |
| | Faculty of Environmental Science and Process Engineering, Brandenburg, University of Technology Cottbus | ドイツ | | トリクルベッド(散水ろ床)反応器 | N.A. | 37±0.5°C | 1 | 1.49 Nm3/h | 98%< | 61L | M. Burkhardt et al. (2014) |
| | Krajete GmbH | オーストリア | | 連続槽型反応器 (continuously stirred tank reactor) | N.A. | | 6-15 bar | | | above 30 NL L-1 h-1 | |
| | MicroPyros GmbH | ドイツ | | | | 40°C-90°C | 3-7bar | | | 2-10m3/h | |

出典：パシフィックコンサルタンツ株式会社「令和 3 年度廃棄物・資源循環分野における 2050 年温室効果ガス排出実質ゼロに向けた中長期シナリオ検討業務報告書」（2022 年 3 月）より作成

（2）技術の革新性やコスト等を含めた導入実現性等の評価

メタン発酵は小規模、低コストで分散型の処理が可能であるほか、地域の多様なバイオマス源を受け入れ可能で、バイオガスの回収・利用のほかにも発酵残渣の利用による輸入肥料の代替など、地域への多面的な効果が期待されるため、有効な処理方法となり得る。特に、厨芥類 などの食品廃棄物は含水率が高く、運搬効率とエネルギー回収のバランスを勘案すれば、熱処理よりもメタン発酵技術による地域分散型処理が有利となりうる。メタン発酵施設自体は既に実用化されている技術であり、導入、普及の実現性は高いと考えられる。

メタン発酵バイオガスのバイオメタネーションは、欧州を中心に、下水汚泥や家畜ふん尿を対象とした研究開発・実証が進んでいるが、下水汚泥に比べて性状の不安定な一般廃棄物での事業は相対的に進んでおらず、未だ商用化以前の段階である。また、メタネーションには水素が必要であることから、導入の実現性は水素の供給コストに大きく影響を受けると考えられる。したがって、初期費用を抑えつつ、既存のメタン発酵施設への適用が可能なバイオメタネーション技術であれば、水素コストが低減された時期に応じて、焼却施設の基幹改良に合わせた併設や既存メタン発酵施設への後付けなどに幅広い導入が期待できる。

（3）事業者等へのヒアリング

メタン発酵バイオガスのバイオメタネーションに係る研究開発、実証を行っている大阪ガス株式会社及び Daigas エナジー株式会社にヒアリングを実施した。

また、焼却や熱分解を含め、廃棄物・資源循環分野の CCUS 技術の在り方について、古澤康夫氏（東京都 環境局 資源循環推進部 資源循環推進専門課長）にヒアリングを実施した。

**表 I-23　大阪ガス株式会社及び Daigas エナジー株式会社へのヒアリング結果概要**

| バイオメタネーションについて |
|---|
| • 当社が下水汚泥向けに開発している技術は、In-situ型で既存の消化槽に水素を投入するため、新しい設備の建設が必要ないということが利点である。生ごみの場合は、メタン発酵の負荷が高いため、In-situ方式である理由がないと考えている。Ex-situ方式は大きく分けて加圧方式と担体方式があるが、当方が万博で検討している担体方式は加圧しなくてもよくなるためプラントを安価にできる可能性がある。また、触媒被毒という問題もないので長期のランニングも含めてコストを抑えられる可能性がある。バイオガスの6割はメタンであるため、そもそもコスト優位ではある。一方で、実プラントとして世に出ているものがないため、本当に経済合理性があるか、といった点は検証が必要である。 |
| • 担体方式は水への水素の溶解と分散が律速にならないということが本質的に有利である。 |
| • バイオメタネーションの技術開発レベルは、世の中の公表資料では、他のメタネーション技術より比較的進んでいる（成熟している）ように記載されているが、本当にそこまで進んでいるか、というのが正直なところである。ただ、技術的にはとても難しいことではないと考えている。In-situ方式の場合は、当技術の導入が下水処理に影響を与えてはいけないため、事業主体と相談しながらうまくやっていく必要がある。Ex-situはヨーロッパでは一定進んできている。Electrochea社のHPはスケールアップを目指すとあったが、実規模での利用の話はまだ聞いていない。技術の問題ではなく、水素が安くならないと意味がないため、経済性のバランスが取れていないということもあると感じている。 |
| • 2030年を想定して、スケールアップする場合に、バイオメタネーションでは、下水処理に影響を与えてはいけないというところが一番のポイントである。触媒メタネーションであれば、50～100トン規模のメタネーションは250~500$Nm^3/h$くらいだとすると、技術的には問題なく実現可能だと思っている。電気分解もすでに技術がある。2030年に1%のeメタンを導入するという当社目標に間に合わせたいと考えている。 |
| • 舞洲の実証事業の目的は、再エネ由来水素と生ごみのバイオガスからメタネーションして得られた合成メタンをうまく活用することを見せるということに主眼を置いた事業である。既存の技術を組 |

み合わせて、新しいスタイルを見せるということ。バイオメタネーションというチャレンジングな技術も組み込んでいるため、事業目的を達成するためにも実績のある触媒メタネーションも一緒に導入している。

- 下水汚泥の実証では、現状では小型のものを海老江下水処理場に設置して試験するとともに、京都大学で実規模の水深までのスケールアップをシミュレーションしてもらっている。
- 現在、下水汚泥の実証で検討しているポリ乳酸（バイオプラスチック）を実機レベルにすると、1処理場あたり1~2万トン必要になる。現状、日本での流通量は2500トン程度であるため、全然足らないことになる。バイオプラスチック導入ロードマップの目標の200万トンに到達するならば、2万トン程度出てくる可能性はある。他の樹脂と違いメタン発酵でも利用できることを、出口側の解として提示することでポリ乳酸（PLA）の導入拡大にも寄与できるのではないか。廃プラの収集システムとして、他のプラが混入してもPLAを分解させてから利用するため、反応には問題がないが、プラの残渣が多くなってしまうので、半分程度以上はPLAでなければいけない。
- 下水の実証で、バイオメタン濃度が85%としているが、残りの15%は除去するか、もう一回後段でメタネーションをして100%まで持っていくということがあり得る。システム的には100%にすることは可能であるが、オペレーションが煩雑になるため、そこまですることは考えていない。
- メタネーションの導入場所として、焼却施設や食品加工場等、現時点ではいろいろ考えられるが、ガス事業者であるため、廃棄物を自ら受け入れるということは難しい。バイオガスを供給してもらって、ガス事業者側でメタネーションするというパターンと自治体でメタネーションまでやってもらって、ガスを買うというパターンが想定される。後者の場合は、その地点で導管注入できる品質を満たすようにしてもらう必要がある。

**表 I-24　東京都 古澤氏へのヒアリング結果概要（CCUS 技術関連）**

**廃棄物処理におけるCCUSについて**

- （廃棄物処理後の炭素の利用方法について考えるべきこととして、）メタンにするのかどうかという点や、電化のスケジュールがどのように進むのかという点がある。これは地域によって異なると考えられる。東京のように都市ガスのネットワークが出来上がっている地域と、プロパンガスの地域では変わってくる。電化が進まずに都市ガス利用が残る場合には、バイオマス由来$CO_2$でメタネーションをするしかないかもしれない。
- 他方、メタンはある程度の部分を電化できると考えられるが、SAFは当面の間は他に脱炭素化の手段がない。そこを評価に組み合わせるとどうか。
- 廃棄物と他の分野を組み合わせて考えた時のシナリオプランニングとして、全体として脱炭素に至るシナリオとしてどのようなものがあるかという分析が必要だろうと考えている。2050年までのシナリオが、現状ではまだ分野ごとに作成されている。それぞれ密接に絡んでいるので、セットで考える必要があり、廃棄物もそのうちの一つである。
- メタネーションに係るガス化改質と焼却の比較についてであるが、都市ガスを使うサーモセレクトと、部分燃焼方式のガス化では評価が変わってくるのではないか？
- 電力部門、都市ガス部門、廃棄物処理部門の総体での脱炭素化を考えるべきではないか？　すなわち、エネルギー需要のどこまでが電化可能か、都市ガスの形でのエネルギー供給の必要量はどれだけ残るのか、それをバイオマス系廃棄物のメタネーションで賄うとした場合にもっとも効率的な（再エネ電力投入量が少ない等）方法は何か、という流れか？
- バイオマス系廃棄物の炭素を有効活用するうえでは他の方法による脱炭素化の難しさを考慮する必要がある。他の方法による脱炭素化が難しいのは、ＳＡＦ、都市ガス、プラスチック順か？
- CCUSに関しては、地中から掘るところから大気に出すところまでの炭素の流れ全体で考えることが必要不可欠。環境政策なのだから、廃棄物分野の排出量としてカウントされる$CO_2$を減らすことだけが目的ではないはず。
- 農業利用はどうやっても$CO_2$削減にはならないのではないか。人が食べる量が変わらなければ野菜の生産量は変わらないから、野菜が吸収する$CO_2$量も変わらない。清掃工場から回収した$CO_2$でも大気中の$CO_2$でも合計量は同じである。廃棄物分野側だけを考えると、農業利用した分だけ$CO_2$を減らせるというカウントになるが、その分、大気中からの吸収量は減る。$CO_2$のカウントが廃棄物分野から離れたら終わりというのは、環境政策として取るべきスタンスではない。
- CCS（地中貯留）は国内では貯留量が限られるとされているが、大気中への放出量がネットゼロのCCUを確保することも同様に難しいのではないか。

※図 I-16～図 I-18参照

1　循環利用型CCUSはプラの焼却・熱回収量の範囲内（これを超えた量をプラに戻すと在庫が積みあがってしまう。）
2　開放型CCUS：バイオマス由来$CO_2$をSAFやメタンを合成するのに使うという選択肢はあり得る。ただし、バイオマス由来に限る。
3　固定型CCUSのうちセメント吸収は、最大でセメント製造時の石灰石由来$CO_2$排出量の範囲内。セメント産業の脱炭素化の手法という位置付けであり、廃棄物部門（プラ由来）$CO_2$の使い先にするのは無理。

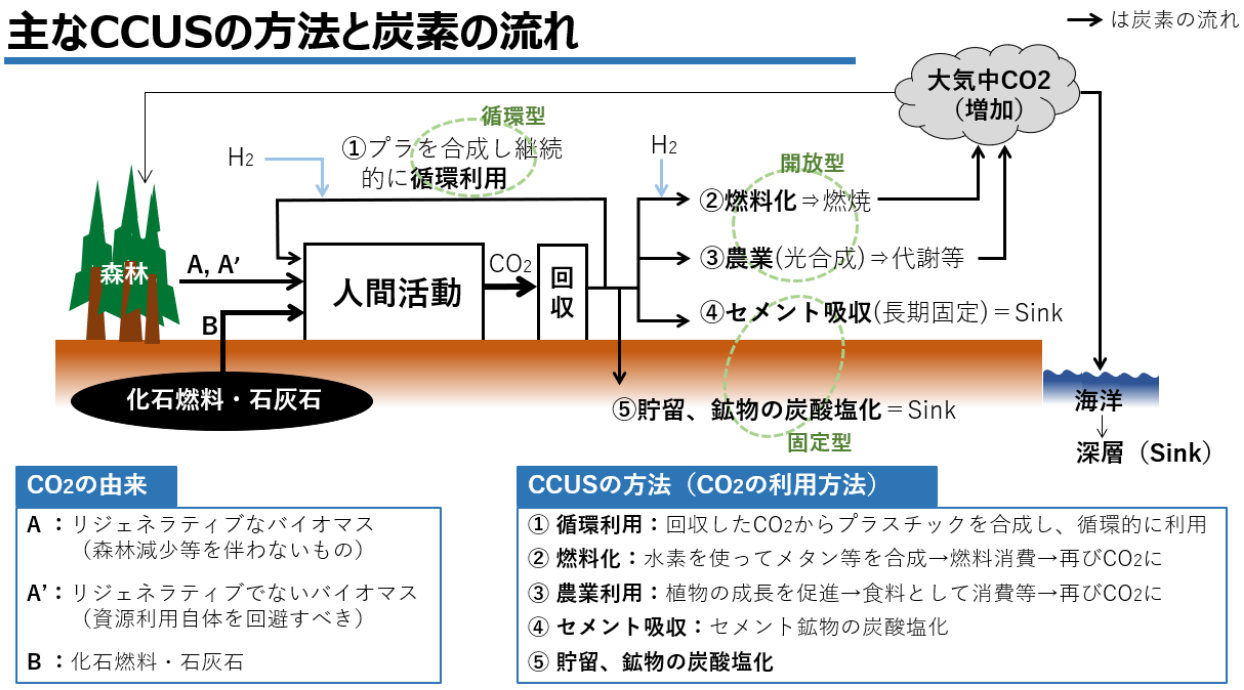



図 I-16　主なCCUSの方法と炭素の流れ

※東京都 環境局 資源循環推進部 資源循環推進専門課長 古澤 康夫 氏作成資料

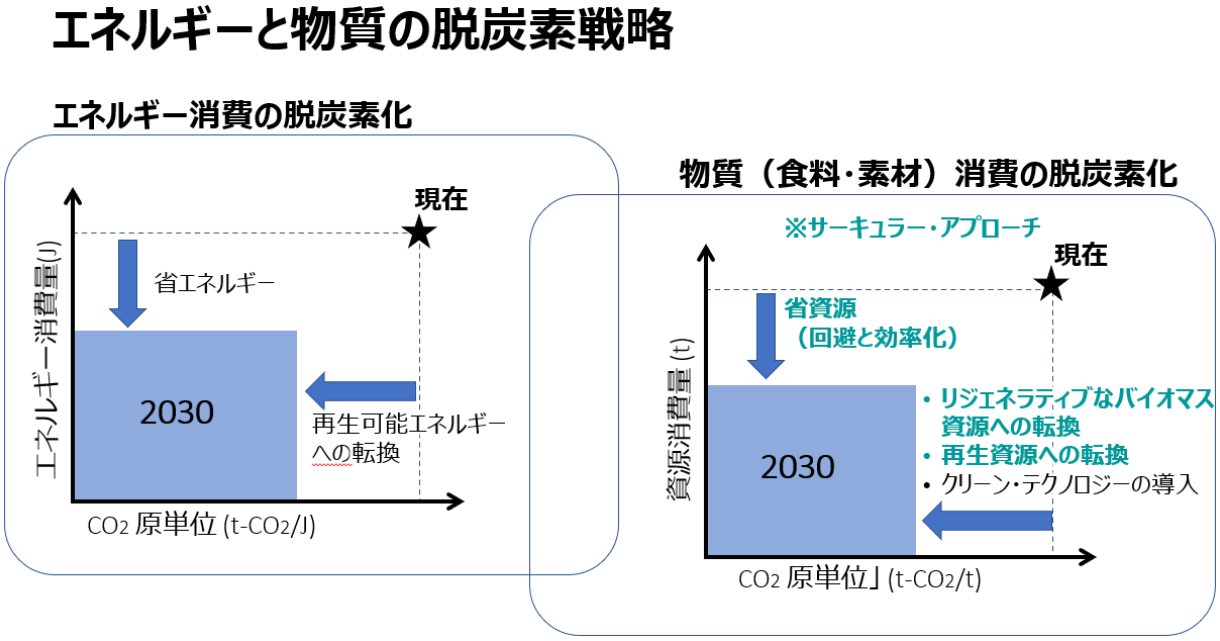



図 I-17　エネルギーと物質の脱炭素戦略

※東京都 環境局 資源循環推進部 資源循環推進専門課長 古澤 康夫 氏作成資料

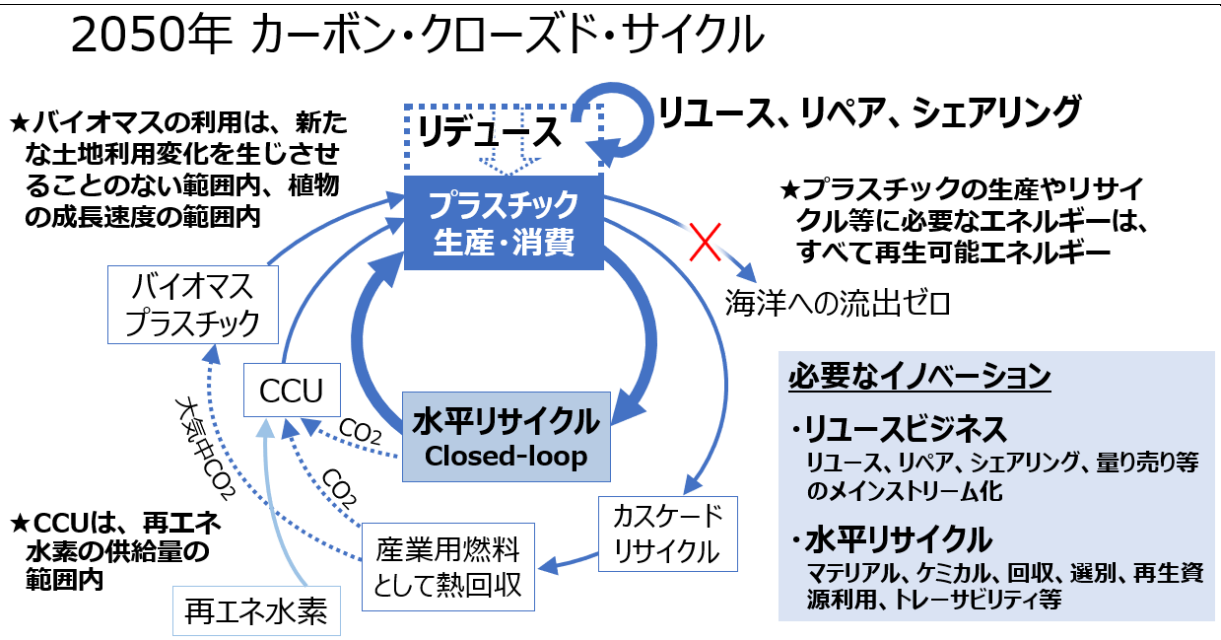



図 I-18　2050年 カーボン・クローズド・サイクル

※東京都 環境局 資源循環推進部 資源循環推進専門課長 古澤 康夫 氏作成資料

**バイオマス利用の在り方について**

- バイオマスについては、メタン発酵もあるとは思うが、その他にはSAF（持続可能な航空燃料）が有力候補か。食品廃棄物などは減らしていくことが最優先であるが、出てきてしまう分はメタン発酵や液肥まで使うことを考えると、分別収集が重要となる。ソウルと情報交換しているが、韓国では電子技術を使った分別ボックスによる生ごみの分別収集が進んでいる。日本でもそういう方法は可能性として考えていかないといけない。
- 他方、町田市はトロンメルを入れて、重たいものはメタン発酵、軽いものは焼却に回しているが、その場合、メタン発酵施設のほうは液肥が使えない。もっとも、ソウルも今はコンポスト化をやっているが、今後はメタン発酵だとの考えだった。
- SAFについては環境省も推進していく考えだと伺っている。電気かSAFのどちらを作るのかと考えた時に、$CO_2$削減効果の量的比較ではなく、電気は再エネも含めて脱炭素化の手段が他にもあるが、航空機燃料は代替手段が乏しいという観点での比較も必要である。現時点$CO_2$原単位に基づくLCAでは電力に利用した方がよいとなっても、先のことを考えたらSAFを製造するのが優先という判断の可能性は大いにある。
- 廃棄物由来のSAFは既に様々な技術が進んできていると思っている。１つにはエタノールtoジェットの技術でSAFにすることが考えられる。他には、COと$H_2$の合成ガスの段階からFT合成でSAFにする方法もある。
- ガス化技術については日本のプラントもかなり優秀である。既存のガス化改質で合成ガスにしてからFT合成でSAFをつくるということも今後大いにあり得る。日系メーカーのガス化技術は非常に安定しており、その後段にSAF製造のための設備を付けようという話も聞く。バイオマス系の廃棄物を脱炭素化に活用していくうえで、SAFは有力な候補だと考える。
- ガス化改質でガス化した後の使い道がこれから変わってくる。ガス化改質して得られるガスを上手く脱炭素社会に寄与する使い方ができれば、炭素を$CO_2$にしなくて済む。なるべく$CO_2$にする前に利用することが大事だと思う。

# II. 廃棄物処理システムのあり方の検討及び「廃棄物処理施設整備計画」の見直し案の作成

## 1. 廃棄物処理システムのあり方の検討

### 1.1 2050 年カーボンニュートラルに向けた施設整備の検討について

#### （1）脱炭素化に向けて推進する施設整備の対象について

**脱炭素化に向けた施設整備の段階的推進**：施設整備は各自治体において随時進行中であり、将来的な導入が想定される新しい技術に限定せず、CN に向けた方向性・シナリオに合致し、今から導入していく（中長期的にも使用され続ける）技術も含めて対象とすることが必要と考えられる。

これからの廃棄物・資源循環分野の役割として、産業への炭素や循環資源の供給による社会全体の脱炭素化への貢献が重要であることから、他分野の脱炭素化に貢献する技術も視野に入れるべきと考えられる。（一方で、生産設備一体型のリサイクルなど、どこまで視野に入れていくべきか。）

#### （2）具体的に導入を推進してくための今後の検討の進め方について

具体的施設・技術、今後の時間軸でのイメージ、導入に向けて必要な取組を整理していく必要があると考えられる。

- ✓ 対象技術：要件・具体例の定め方　※大まかな分類案を次頁に示す。
  - ✓ 「中長期シナリオ案」に出てくる技術やシナリオの設定条件を満たしうる技術
    ※全く異なるシナリオや処理システム・技術像があり得ることに留意。
    ※シナリオの精緻化、他分野への貢献の検討深化が必要。
  - ✓ 「資源循環分野からの地域循環共生圏モデル」（イメージ図、曼荼羅）で示す施設
    ※各施設・技術に求められる要件（性能）などは未検討（不明確）な部分も多い。
  - ✓ 以上に含まれていないが重要な施設・技術は何か？系統的な抽出方法があるか？
    （※「移行段階」の技術の場合は、それを導入しても 2050CN が達成されることが必要。）
- ✓ 想定される技術導入スケジュール
  - ✓ 本格的な炭素循環・貯留を実現する技術等の開発・成熟を待つ間の施設整備は、それらの技術を後付けで導入等できる柔軟性を確保しておくことが望ましい。
    ⇒施設の種類ごとに具体的な想定や要件の検討が必要か。（一方で、現時点では例えば焼却施設の $CO_2$ 分離回収ならば土地面積確保を超えて具体的な検討を深め得るか？貯留又は利用との結合ならば立地面で言い得ることがあるか。）

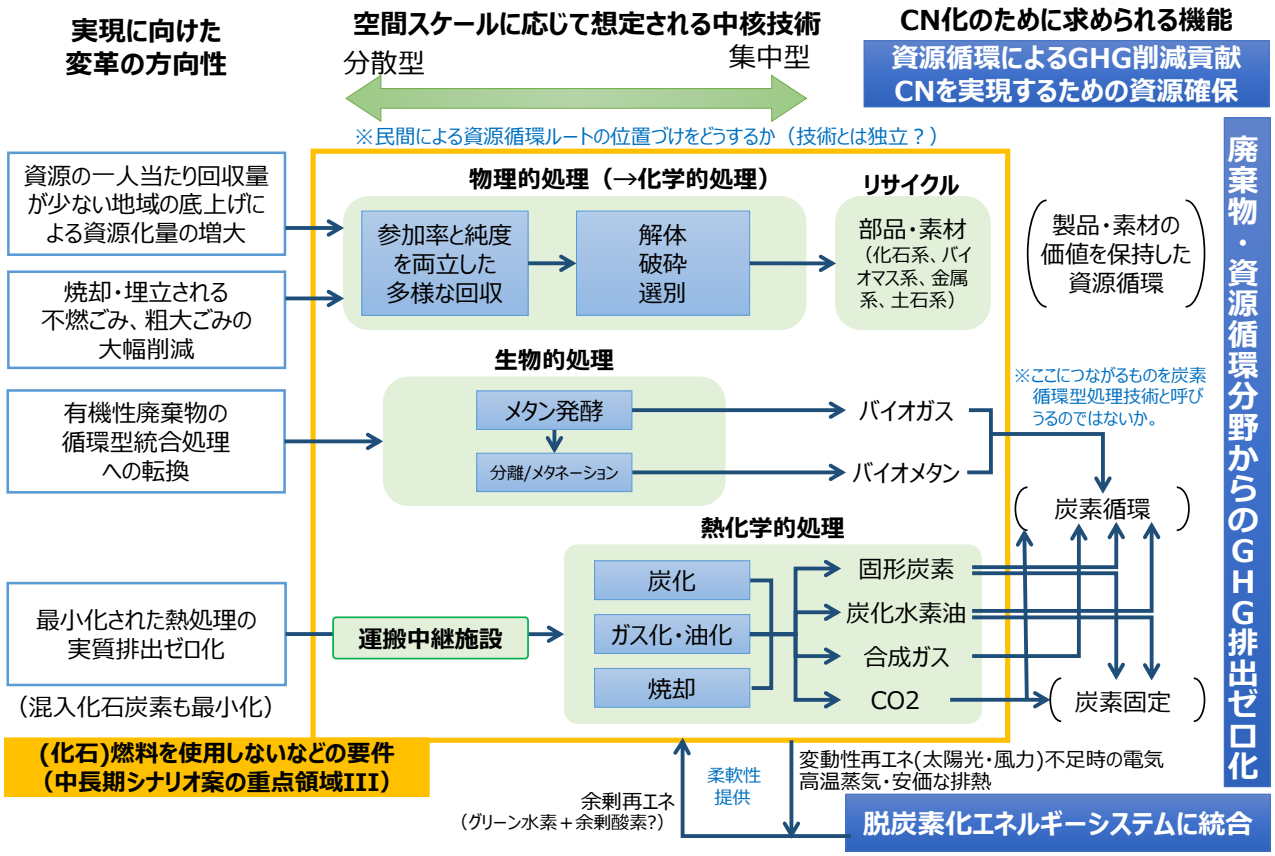



図 II-1　2050 年排出ゼロ・マイナス化を実現する処理システムの主要技術のイメージ

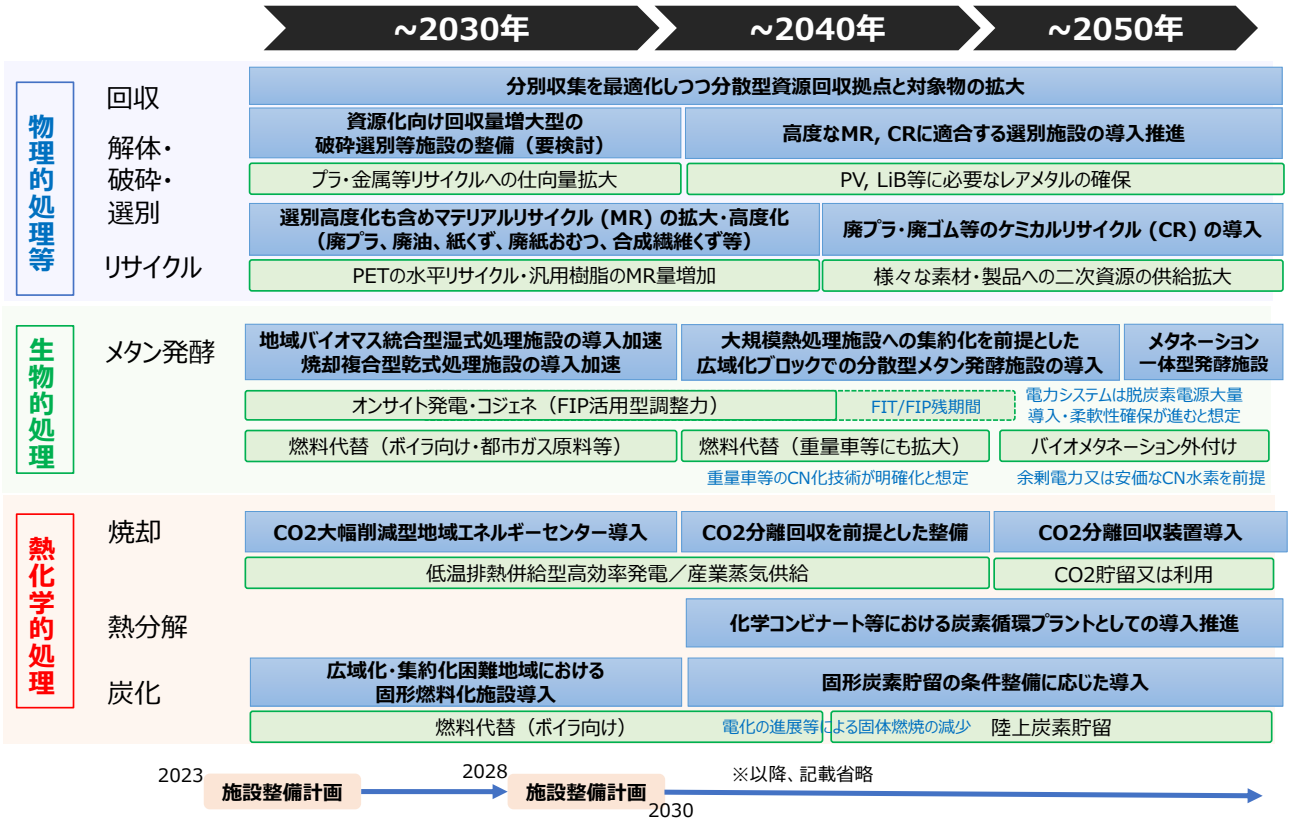



図 II-2　脱炭素化に向けた施設整備の段階的推進（※議論のたたき台としてのイメージ）

【参考 1】

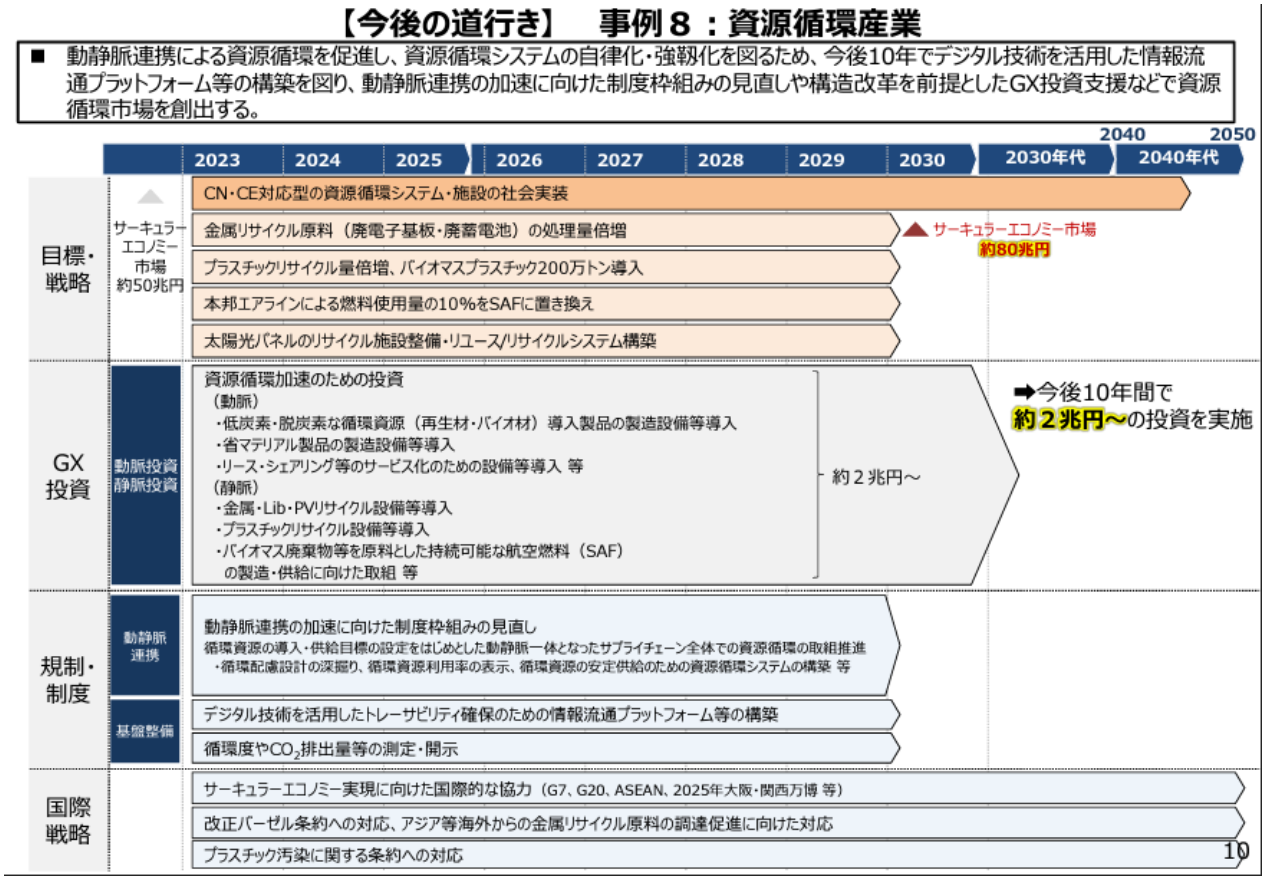



図 II-3　GX 基本方針における資源循環産業

※出典：「GX 実現に向けた基本方針　参考資料」（令和 5 年 2 月）

【参考 2】

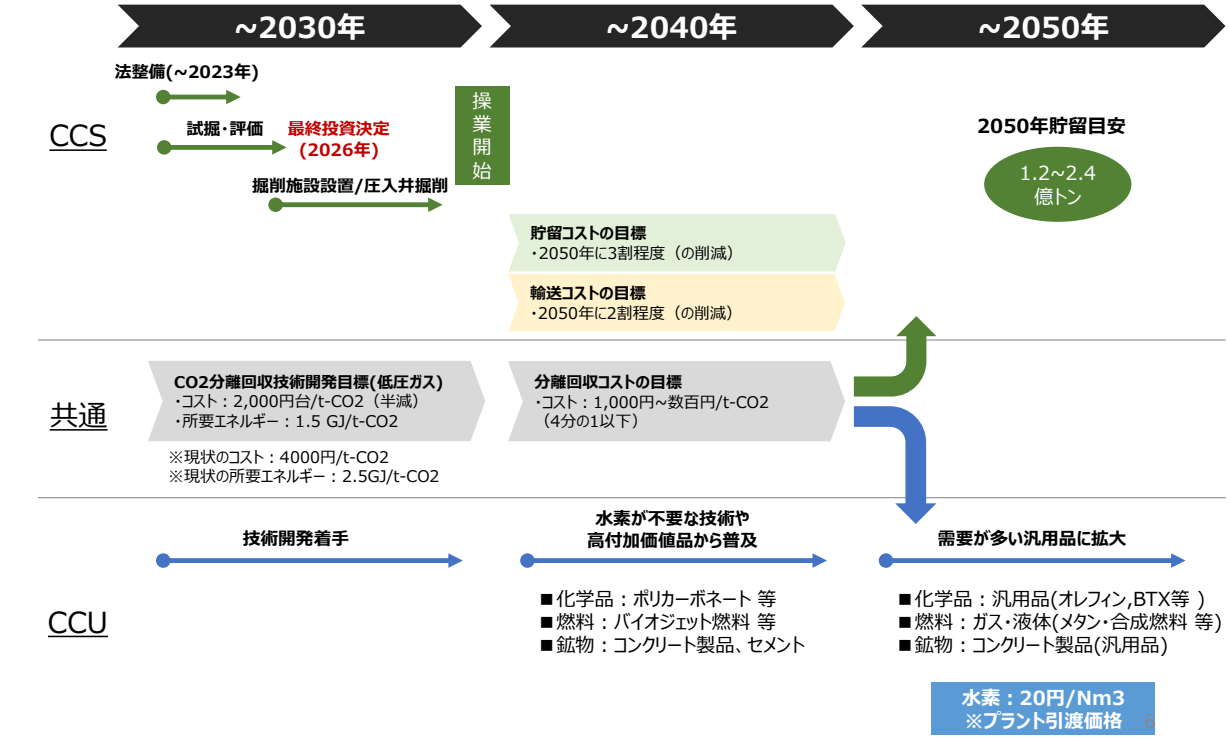



図 II-4　CCUS 全般について政府から示されている普及・開発状況の現状と今後の方向性

※出典：CCS 長期ロードマップ 中間とりまとめ（経済産業省）、カーボンリサイクルロードマップ（経済産業省）より作成

## 1.2 広域化・集約化の更なる推進に係る調査

### (1) ヒアリング概要

#### 1) ヒアリング調査の目的

ごみ焼却施設の広域化・集約化の更なる推進に向けて、広域化・集約化の達成事例及び未達成事例における課題等を調査することで、広域化・集約化にあたっての課題及びその対応策を抽出することを目的とした。

#### 2) 調査方法

##### (a) ヒアリング先

都道府県アンケートのヒアリング先は、各都道府県及び各都道府県のブロック（達成ブロック及び未達成ブロック）とした。達成ブロック及び未達成ブロックの分類については、一律の定義の基で評価を行う観点から各都道府県が策定する広域化・集約化計画における施設整備等の達成状況を基準として分類を行うこととした。

【達成ブロック】

平成 9 年度以降、広域化・集約化計画のブロックに即してごみ焼却施設が竣工している若しくは工事着手まで至っているブロック。なお、ブロック内で複数の主体(例：A 組合と B 組合等)が存在し、独立した管理・運営を計画している場合(以下、「小ブロック」とします。）は、すべての小ブロックにおいて平成 9 年度以降に、広域化・集約化計画のブロックに即してごみ焼却施設が竣工している若しくは工事着手まで至っているブロック。 ※上記は、ブロックのみ広域化・集約化計画に即しており、目標施設数が達成できていないブロックを含む。

【未達成ブロック】

平成 9 年度以降に、広域化・集約化計画のブロック区割り及び目標施設数に基づき広域化・集約化を検討した結果、広域化・集約化に至らなかったブロック。なお、ブロック内に小ブロックが存在する場合、いずれかの小ブロックにおいて①に示すいずれかの方式での広域化・集約化に至らなかったブロック。

##### (b) 調査期間

令和 4 年 6 月 16 日～令和 4 年 7 月 8 日

##### (c) 調査内容

a) 都道府県向け

- 基礎情報（広域化・集約化計画の策定状況、ブロックを構成する特別地方公共団体を含む地方公共団体）
- 広域化・集約化計画の策定に関する事項（達成ブロック及び未達成ブロック数、計画策定にあたっての留意点等）
- 広域化・集約化計画の策定後の対応等に関する事項（策定後の支援、国や県へ求める支援等）

b) 達成ブロック向け

- 広域化・集約化の達成にあたっての課題及びその対応策等

c) 未達成ブロック向け

- 広域化・集約化の達成にあたっての課題等

(2) ヒアリング結果

1) アンケートの回答数

都道府県及びブロックからの回答は以下のとおりである。(カッコ内は回答率)

| | |
|---|---|
| 都道府県の回答数 | 47/47 都道府県（100%） |
| ブロックからの回答数 | 232/437 ブロック（53%） |

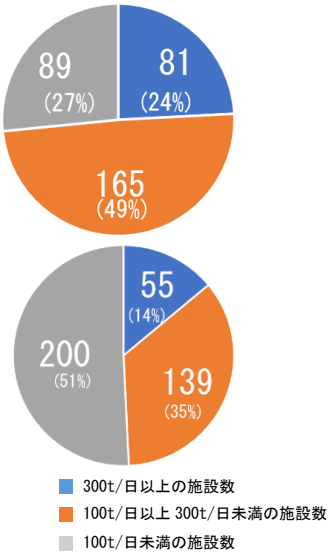
2) 広域化・集約化ブロックの達成状況について

広域化・集約化ブロックの達成状況について、達成ブロック数、未達成ブロック数及び各ブロックにおける施設数は以下のとおりとなった。

●達成ブロック数　201 ブロック※【46%】
- 300t/日以上の施設数　81 施設（24%）
- 100t/日以上 300t/日未満の施設数　165 施設（49%）
- 100t/日未満の施設数　89 施設（27%）

●未達成ブロック数　153 ブロック※【35%】
- 300t/日以上の施設数　55 施設（14%）
- 100t/日以上 300t/日未満の施設数　139 施設（35%）
- 100t/日未満の施設数　200 施設（51%）

●達成・未達成不明のブロック数　83 ブロック【19%】




※【】内は総ブロック数に対する割合、( )内は達成ブロック及び未達成ブロックそれぞれの総施設数に対する割合
※不明のブロック数は、市町村合併等により当初のブロックと現在のブロックが異なる状況となっているブロック

**図 II-5　広域化・集約化ブロック数及び施設規模ごとの施設数**

図より、全国的には達成ブロックの割合が最も多く(46%)、次いで未達成ブロック(35%)、不明のブロック数(19%)となった。

施設数の割合では、達成ブロックは 100t/日以上 300t/日未満の施設数が最も多く(49%)、次いで100t/日未満の施設数(27%)、300t/日以上の施設数(24%)となった。一方、未達成ブロックは 100t/日未満の施設数が最も多く(51%)、次いで、100t/日以上 300t/日未満の施設数 (35%)、300t/日以上の施設数(14%)となった。

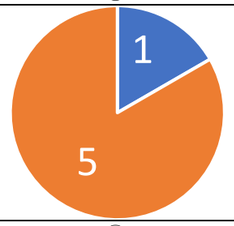
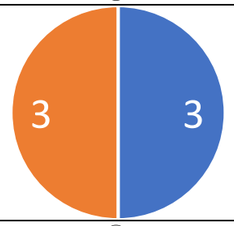
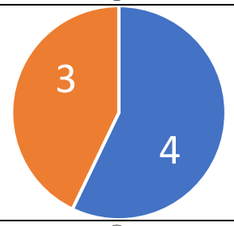
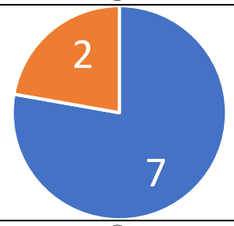
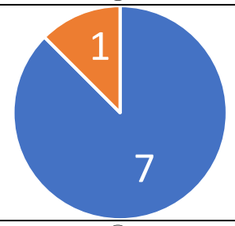
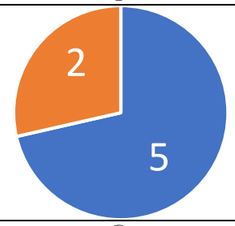
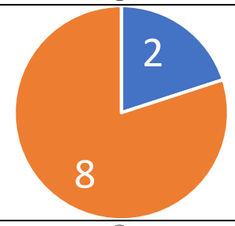
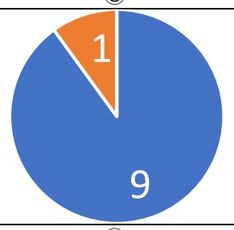
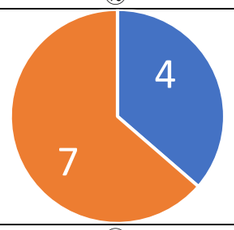
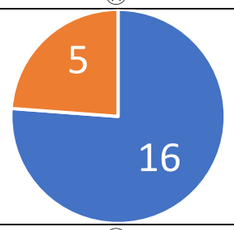
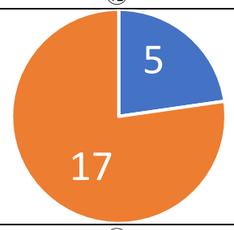
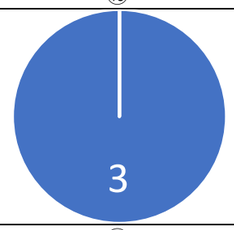
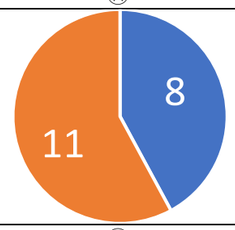
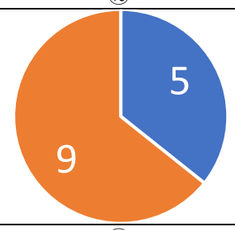
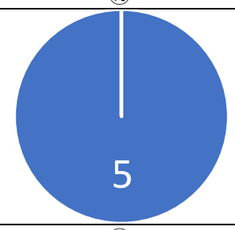
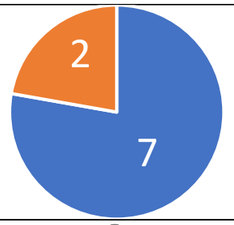
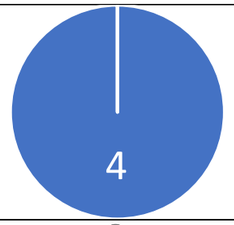
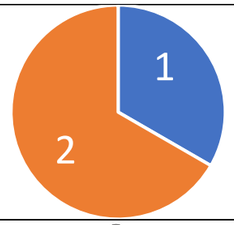
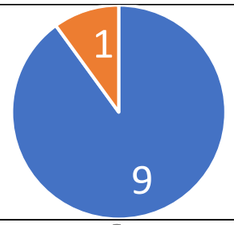
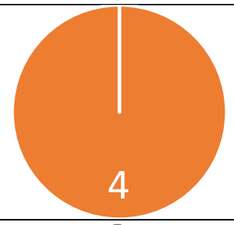
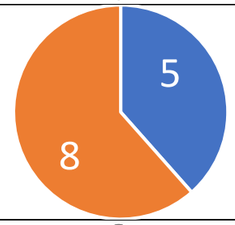
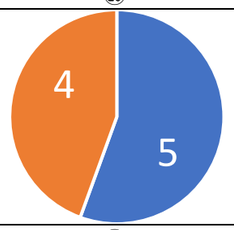
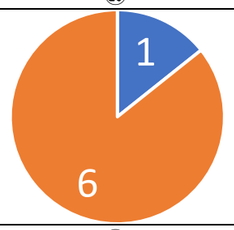
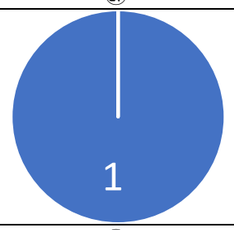
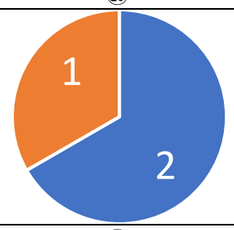
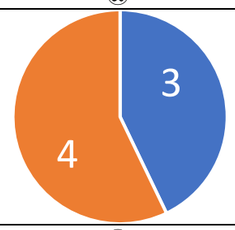
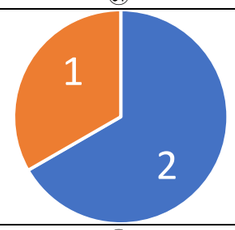
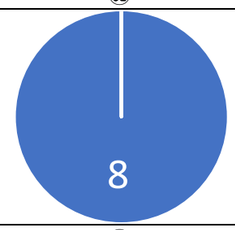
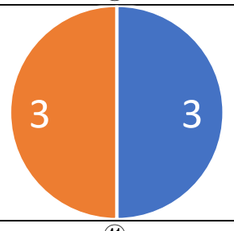
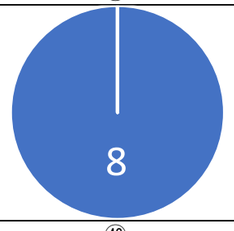
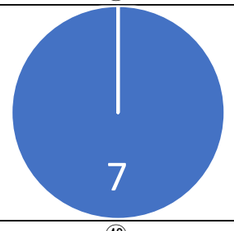
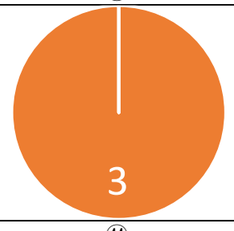
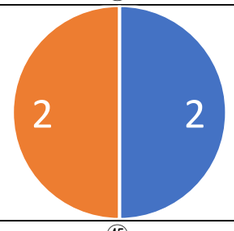
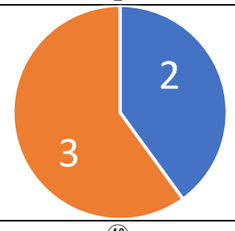
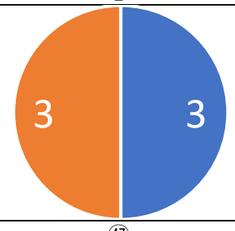
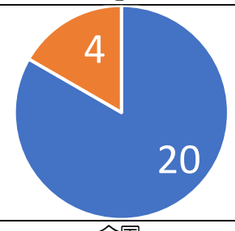
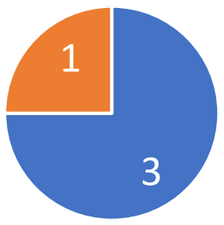
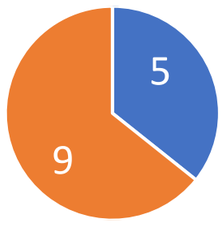
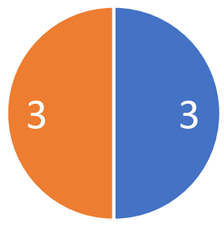
達成ブロックは、未達成ブロックと比べて 300t/日以上の施設及び 100t/日以上 300t/日未満の施設の割合が多く、未達成ブロックと比べて広域化・集約化が進んでいることが明らかとなった。

しかし、達成ブロックも 300t/日以上の施設は 24%に留まっていることから、達成ブロック及び未達成ブロックともに更なる広域化・集約化の余地が残されている可能性がある。

都道府県別の達成状況を次頁に示す。

表 II-1　各都道府県の達成ブロック及び未達成ブロック数

達成ブロック数　未達成ブロック数

| ① | ② | ③ | ④ | ⑤ | ⑥ | ⑦ | ⑧ |
|---|---|---|---|---|---|---|---|
| 未回答 |  |  |  |  |  |  |  |
| ⑨ | ⑩ | ⑪ | ⑫ | ⑬ | ⑭ | ⑮ | ⑯ |
|  |  |  |  |  |  |  |  |
| ⑰ | ⑱ | ⑲ | ⑳ | ㉑ | ㉒ | ㉓ | ㉔ |
|  |  |  |  |  | 未回答 |  | 未回答 |
| ㉕ | ㉖ | ㉗ | ㉘ | ㉙ | ㉚ | ㉛ | ㉜ |
|  |  |  | 未回答 |  |  |  |  |
| ㉝ | ㉞ | ㉟ | ㊱ | ㊲ | ㊳ | ㊴ | ㊵ |
|  |  |  |  |  |  |  |  |
| ㊶ | ㊷ | ㊸ | ㊹ | ㊺ | ㊻ | ㊼ | 全国 |
|  |  |  |  |  |  |  |  |

3) 解析結果

(a) 広域化･集約化にあたっての課題認識について

a) 都道府県における課題認識

広域化・集約化計画の策定時における各都道府県の考慮事項（広域化・集約化にあたって課題として認識している事項）について、①費用負担、②用地選定、③施設整備時期、④災害対応性、⑤その他を考慮した都道府県の割合は以下のとおりである。

施設整備時期を考慮した都道府県が 38.6%となっており、多くの都道府県において課題として認識されていることが分かる。また、その他事項も 45.5%となっており、既存の行政ブロックを考慮した都道府県が最も多い結果となった。

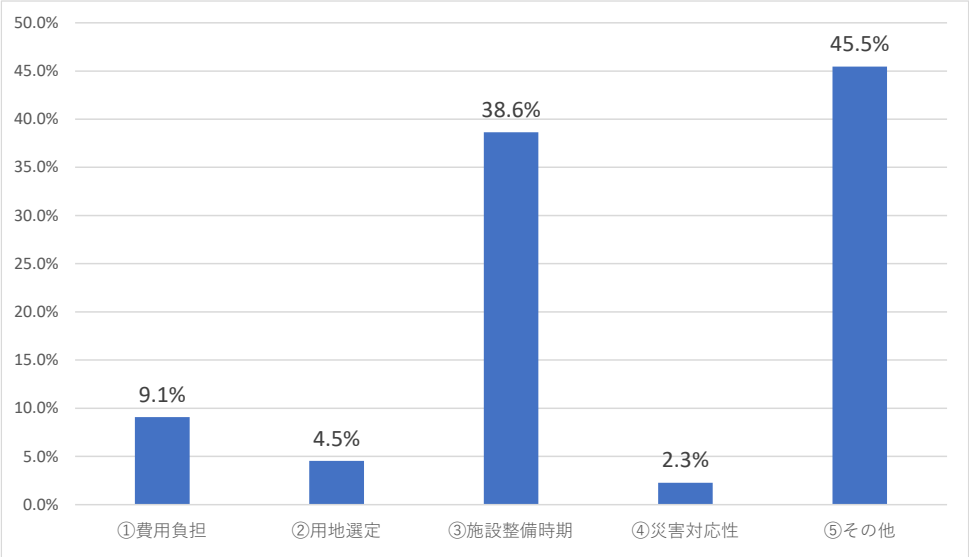



図 II-6　都道府県における広域化・集約化における課題認識

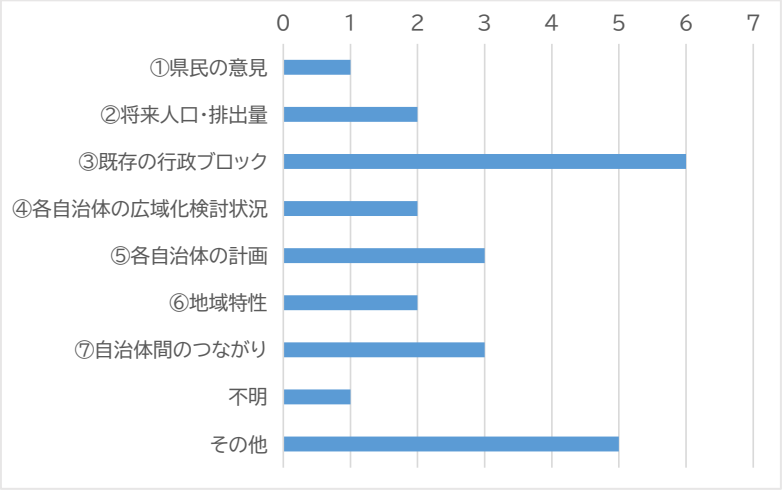



図 II-7　都道府県における広域化・集約化における課題認識（その他）

b) 特別地方公共団体を含む地方公共団体における課題認識

特別地方公共団体を含む地方公共団体等のおける、広域化・集約化に際しての課題認識は以下のとおりである。達成ブロック及び未達成ブロックともに、施設整備時期を課題と認識しているブロックが最も多い結果となった。

また、次に多くのブロックが課題として認識しているのはその他事項であり、その内容は達成ブロックと未達成ブロックで異なっていることから、その他事項の詳細分析が必要である。

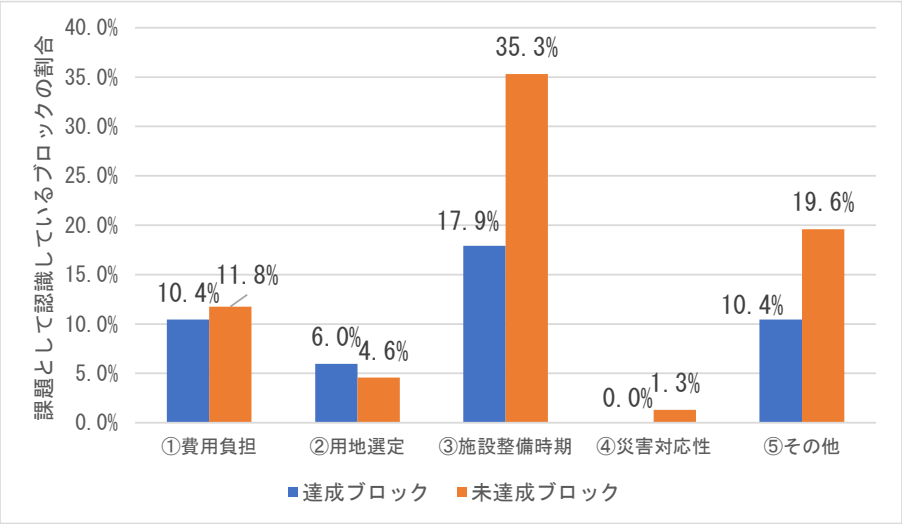



図 II-8　特別地方公共団体を含む地方公共団体における課題認識

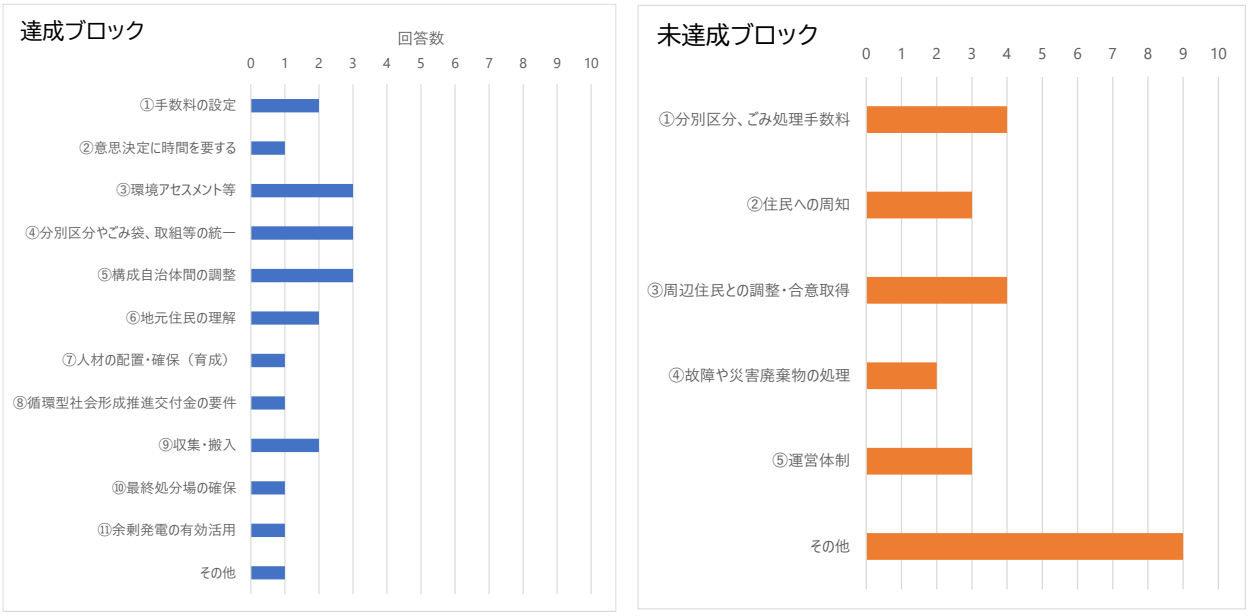



図 II-9　広域化・集約化における課題認識（その他）

c) 都道府県と特別地方公共団体を含む地方公共団体における課題認識の比較

都道府県と特別地方公共団体を含む地方公共団体における課題認識の比較結果は以下のとおりである。都道府県と特別地方公共団体を含む地方公共団体のいずれも最も多くの課題として認識しているのは施設整備時期となり、次点でその他事項となった。その他事項及び達成ブロックと都道府県の施設整備時期に対する課題認識を除き、概ね課題認識は一致する傾向が見られたことから、広域化・集約化の更なる推進に向けては、その他事項の課題分析の深化が必要である。

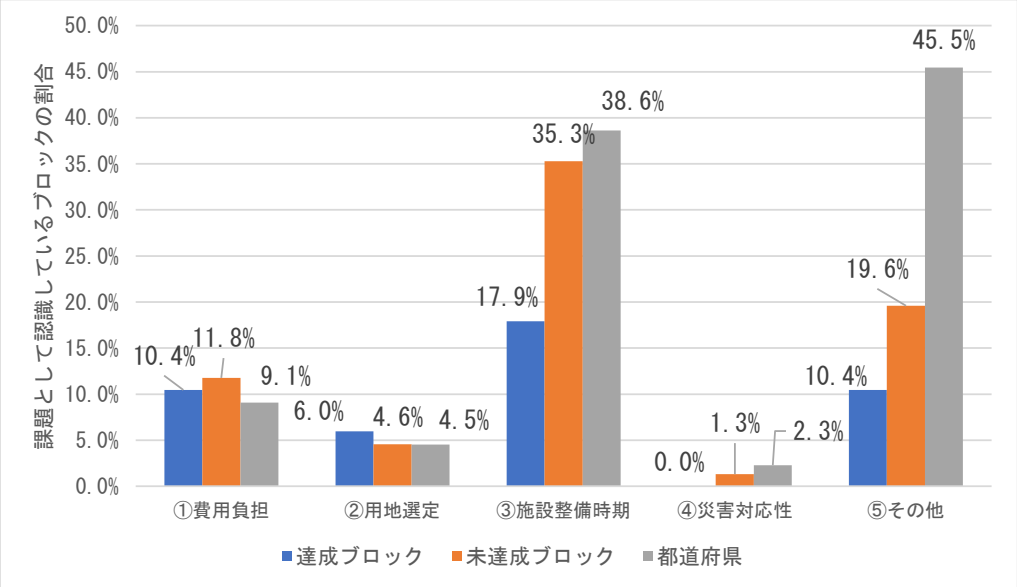



図 II-10　都道府県、特別地方公共団体を含む地方公共団体における課題認識

(b) 広域化・集約化にあたり、国や都道府県へ求める支援策について

達成ブロック及び未達成ブロックにおける、国や県へ求める支援策は以下のとおりである。

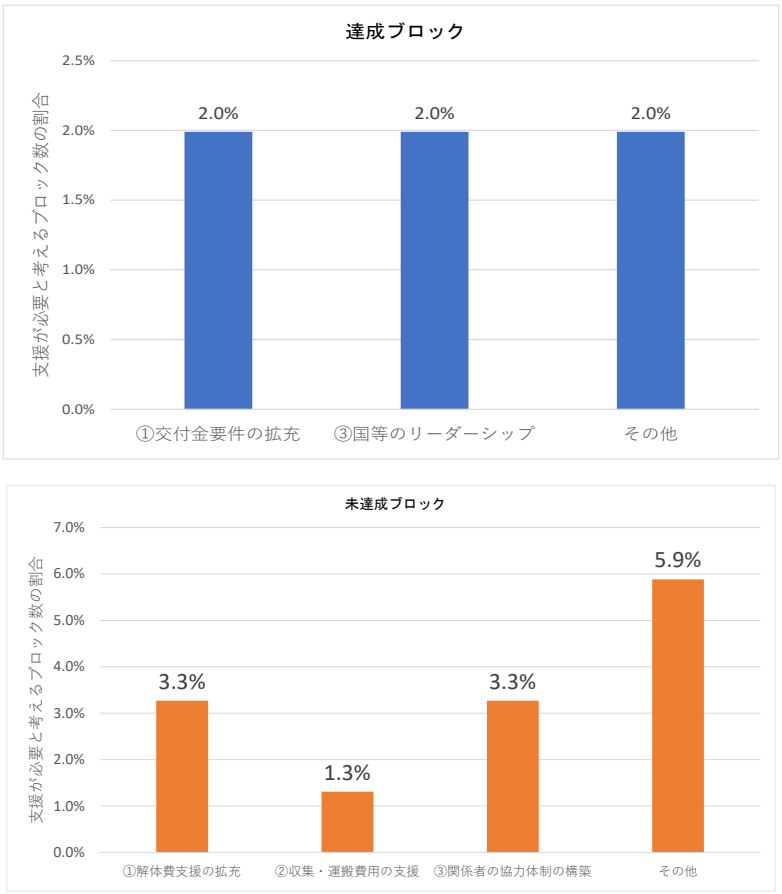



図 II-11　国や県へ求める支援策

国や県へ求める支援策については、達成ブロック及び未達成ブロックともに回答数が少ない結果となったが、得られた回答は財政的な支援やリーダーシップの発揮等となった。

(c) 課題認識のまとめ

広域化・集約化にあたり、都道府県と特別地方公共団体を含む地方公共団体における課題認識は概ね一致しており、①費用負担、②用地選定、③施設整備時期を課題として認識していることが明らかとなった。一方で、④災害対応性を課題とする割合は少ない結果となった。

特に施設整備時期の不一致を課題として認識している都道府県及び特別地方公共団体を含む地方公共団体が多く、今後の対応が必要であると考えられる。

また、特別地方公共団体を含む地方公共団体から国や都道府県へ求める支援としては、財政的な支援やリーダーシップの発揮等が挙げられており、特別地方公共団体を含む地方公共団体単独での解消が難しい課題（費用負担等）に対して、支援を求める特別地方公共団体を含む地方公共団体があることが明らかとなった。

4) 広域化･集約化計画策定時における都道府県間の差異について

(a) 広域化･集約化計画の策定時の配慮事項について

各都道府県において、広域化・集約化計画策定時に配慮した事項の数（①地理的条件、②処理手数料等、③次期施設整備予定等、④建設候補地の有無、⑤各特別地方公共団体を含む地方公共団体の財政状況、⑥その他より選択）と、都道府県ごとのブロックの達成状況は以下のとおりである。

広域化・集約化計画の策定時に配慮した事項の数は、最も多い都道府県では4項目、最も少ない都道府県では0項目となり、策定時の配慮事項の項目数には差が見られた。一方で、配慮事項の総数と各都道府県の広域化・集約化の達成割合に関連性は見られず、配慮事項の多さが必ずしも達成状況には寄与しない可能性が示唆された。

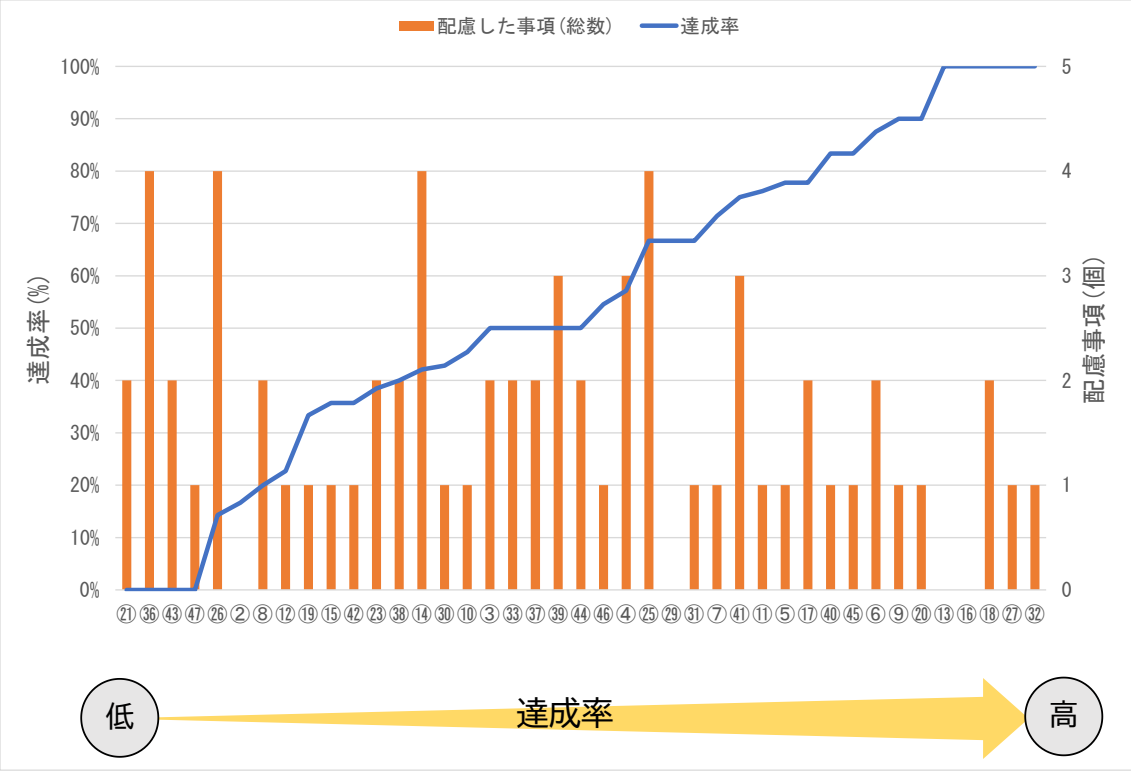



図 II-12　広域化・集約化計画の策定時の配慮事項

(b) 財政的メリットの試算状況について

広域化・集約化計画策定時における広域化等によるコストメリットの試算結果を以下に示す。

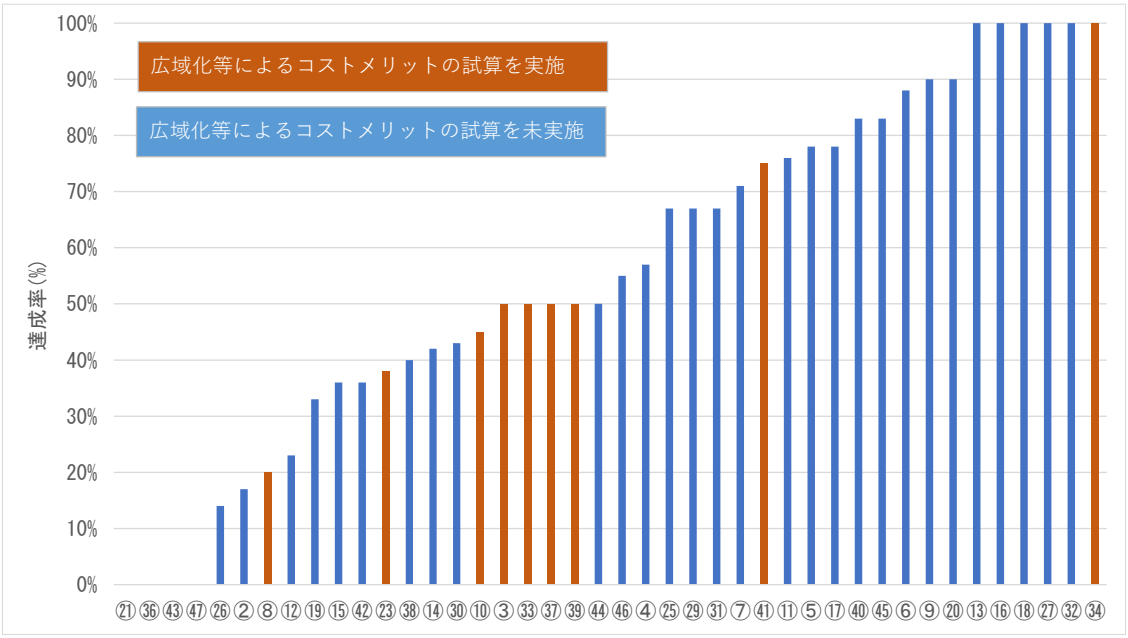



図 II-13　達成率とコストメリットの試算状況の関連性

達成率が高い都道府県の多くが試算を実施していない一方、達成率が相対的に低い都道府県で複数の試算団体がみられる結果となった。

(c) 特別地方公共団体を含む地方公共団体とのコミュニケーションについて

広域化・集約化の達成率と計画策定時の特別地方公共団体を含む地方公共団体へのヒアリング実施の有無に明確な関係性は見られなかった。

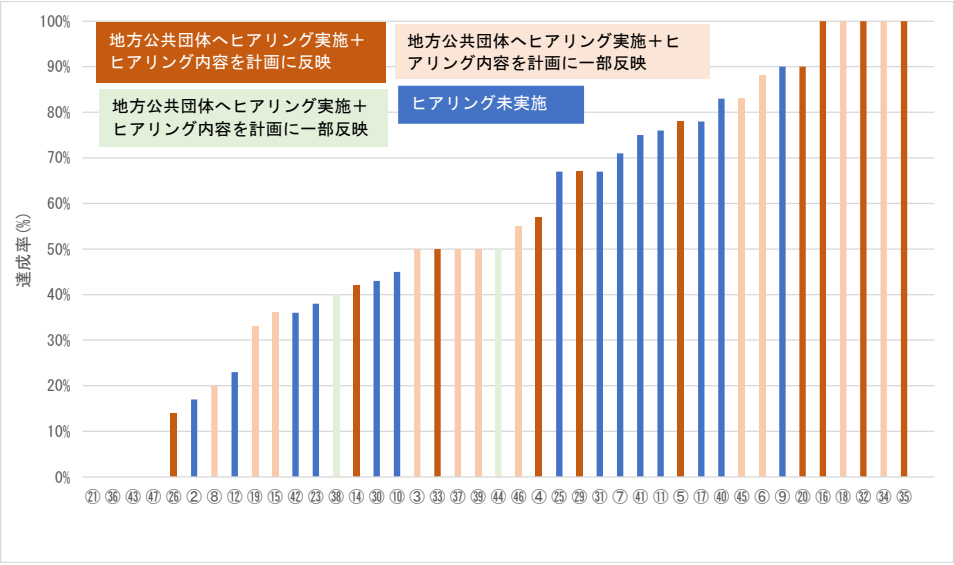



図 II-14　達成率と計画策定時のヒアリング実施状況の関連性

5) 総括

都道府県における課題については計画策定時の配慮事項、財政的メリットの試算状況及び特別地方公共団体を含む地方公共団体間のコミュニケーションの度合いについて差があることが明らかとなった。また、特別地方公共団体を含む地方公共団体における課題については、都道府県と特別地方公共団体を含む地方公共団体における課題認識は概ね一致しており、①費用負担、②用地選定、③施設整備時期、④災害対応性等を課題として認識していることが明らかとなり、特に施設整備時期の不一致を課題として認識している都道府県及び特別地方公共団体を含む地方公共団体が多く、今後の対応が必要であると考えられる。さらに、特別地方公共団体を含む地方公共団体から国や都道府県へ求める支援としては、財政的な支援やリーダーシップの発揮等が挙げられており、特別地方公共団体を含む地方公共団体単独での解消が難しい前述の課題（費用負担等）に対して、支援を求める特別地方公共団体を含む地方公共団体があることが明らかとなった。

（3）追加ヒアリングの概要

1) 追加ヒアリングの目的

7 月に実施した各都道府県及びブロック向けに実施したアンケート調査では、焼却施設の広域化・集約化における課題として、①費用負担の意思決定、②建設用地の選定、③整備時期が主な課題として挙げられた。これらについては「広域化・集約化に係る手引き（令和 2 年 6 月）」に費用の分担例等が記載されていることから、手引きの浸透により今後の解決が見込まれる。

一方、アンケート調査結果では、同一ブロック内の複数の焼却施設において、稼働年数の乖離年数が少ない（施設の稼働停止年度が近く広域化・集約化しやすい）にも関わらず、広域化・集約化の進んでいないブロックが複数存在する。そこで、これらのブロックについて追加ヒアリングを行うことで、アンケート調査では得られなかった課題を抽出することが重要であると考えられる。また、アンケート調査結果からは各都道府県が策定する広域化・集約化計画の内容及び運用方法に差があり、計画の見直しや広域化・集約化が進んでいない特別地方公共団体を含む地方公共団体に対する働きかけを行っている都道府県が存在する一方、これらのフォローアップを行っていない都道府県も存在していることが明らかとなった。この差を埋めることが広域化・集約化の推進に繋がる可能性があるため、これらの都道府県に対してフォローアップに係る課題を抽出することが重要であると考えられる。

以上より、都道府県及びブロックのそれぞれについて前述の内容を踏まえて追加ヒアリング先を抽出し、ヒアリングを行った。

2) 追加ヒアリングの対象及びヒアリング事項

(a) ヒアリング対象

計画のフォローアップを行っていない次の都道府県に対してヒアリングを行った。

表 II-2　追加ヒアリング対象（都道府県）

| 都道府県名（Check以降未実施） | | | |
|---|---|---|---|
| 1 | a県 | 7 | g県 |
| 2 | b県 | 8 | h県 |
| 3 | c県 | 9 | i県 |
| 4 | d県 | 10 | j県 |
| 5 | e県 | 11 | k県 |
| 6 | f県 | | |

| 都道府県名（Action以降未実施） | |
|---|---|
| 12 | l県 |
| 13 | m県 |
| 14 | n県 |
| 15 | o県 |
| 16 | p県 |
| 17 | q県 |
| 18 | r県 |
| 19 | s県 |

※計画のフォローアップを行っていない都道府県について

フォローアップを行っていない都道府県とは、計画の見直しや特別地方公共団体を含む地方公共団体間の調整を行っていない都道府県を指す。具体的には、アンケートの回答及び各都道府県の広域化・集約化計画の確認等を行い、PDCA サイクルに基づく計画の評価、見直し、改善策の立案及び新たな計画の策定のいずれも実施していない都道府県とする。

47 都道府県における各プロセスの実施状況を以下のとおり整理した結果、Check 以降が未実施である都道府県が 8 特別地方公共団体を含む地方公共団体あったことから、追加ヒアリングでは 8 特別地方公共団体を含む地方公共団体に対して未実施の理由についてヒアリングを行う。併せて、Check は行っているものの Action 以降が未実施の都道府県（＝H31 の通知以降に広域化・集約化計画を策定していない都道府県）に対してもヒアリングを行う。

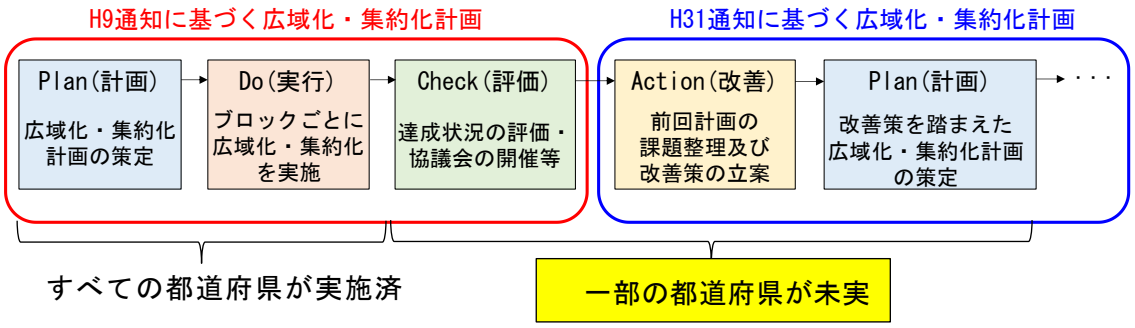



図 II-15　広域化・集約化計画の策定に係る PDCA サイクル

(b) 都道府県へのヒアリング事項

計画のフォローアップを行っていない 14 都道府県に対して以下の 3 点ヒアリングを行う。

●協議会の開催やブロック間の調整を行っていない理由(Check 未実施の理由)

●H31 通知に基づく計画を策定していない理由（Action 及び Plan 未実施の理由）

●何をもって広域化・集約化達成と判断しているか

(c) ブロック（特別地方公共団体を含む地方公共団体）へのヒアリング事項

広域化・集約化が未達成のブロックのうち、「ブロック内の施設間の稼働年数の乖離が 5 年以下のブロック」を抽出し、広域化・集約化に至らなかった理由の詳細理由をヒアリングする。

●稼働年数が近いにも関わらず広域化・集約化に至らなかった詳細理由

### （4）都道府県向け追加ヒアリング結果

#### (a) 協議会の開催やブロック間の調整を行っていない理由(Check)

協議会の開催やブロック間の調整を行っていない理由は以下のとおりである。

最も多い回答は「①都道府県からは特に働きかけをしない方針である」(6 団体)となっており、特別地方公共団体を含む地方公共団体の主体性を重んじるといった理由から特別地方公共団体を含む地方公共団体間の調整を含めて特別地方公共団体を含む地方公共団体に委ねている都道府県が複数見られた。

**表 II-3　協議会の開催やブロック間の調整を行っていない理由**

| 理由 | 都道府県数<br>(全9団体) |
|---|---|
| ① 都道府県からは特に働きかけをしない方針である | 6団体<br>b県、c県、e県<br>f県、g県、k県 |
| ② 都道府県内で広域化・集約化が難航することはなかった | 1団体<br>h県 |
| ③ 特別地方公共団体を含む地方公共団体から情報が得られない | 1団体<br>a県 |
| ④ 実施している（調査票の回答漏れ） | 1団体<br>d県 |

#### (b) H31 通知に基づく計画を策定していない理由（Action、Plan）

H31 通知に基づく計画を策定していない理由は以下のとおりである。

策定予定の都道府県は 6 都道府県（①＋③）となっており、未策定の理由としては特別地方公共団体を含む地方公共団体の協力が得られない、内部調整に時間を要している等が挙げられた。

また、策定予定のない都道府県は 10 都道府県（②＋④＋⑤）となっており、理由としては H9 通知に基づき策定した広域化・集約化計画は既に目標を達成しているため広域化・集約化は完了している、または H31 通知発出直前に計画改定を行っておりタイミングが合わなかった等が挙げられた。

**表 II-4　H31 通知に基づく計画を策定していない理由**

| 理由 | 都道府県数<br>(全19団体) |
|---|---|
| ① 近く策定予定（または前回ヒアリング後に策定した） | 3団体<br>b県、h県、p県 |
| ② 既に広域化・集約化は完了していると考えている | 4団体<br>c県、l県、m県、r県 |
| ③ 策定中あるいは策定予定であるが、特別地方公共団体を含む地方公共団体の協力が得られない、内部調整に時間を要している等 | 3団体<br>a県、d県、g県 |
| ④ H31の通知時点で特別地方公共団体を含む地方公共団体ごとに方針が決まっていたあるいは改定したばかりであった（タイミングが合わなかった） | 4団体<br>e県、f県、n県、q県 |
| ⑤ 策定予定はない | 2団体<br>k県、s県 |
| ⑥ その他※その他は「理由なし」1件,「計画は策定しているがブロックなし」が2件 | 3団体<br>i県、j県、o県 |

(c) 何を以て広域化･集約化と判断しているか

広域化・集約化の目指すところについては、H31 通知に基づくと考えている都道府県が 12 都道府県（①＋②＋③）となった。

一方、H9 の通知に基づき策定した広域化・集約化計画が既に目標を達成しており、これ以上の広域化・集約化は不要と解釈している都道府県が 3 都道府県となった。

表 II-5 H31 通知に基づく計画を策定していない理由

| 理由 | 都道府県数<br>(全19団体) |
|---|---|
| ① 300t/日以上を目指すことを前提としている | 2団体<br>b県、r県 |
| ② 収集運搬の制約があるため300t/日以上を目指すことが難しい | 9団体<br>e県、g県、h県、i県、j県<br>l県、n県、p県、q県 |
| ③ 震災により予定外の新設を行っており広域化・集約化を目指せていない | 1団体<br>a県 |
| ④ 300t/日未満であっても、H9の通知に基づき策定した広域化・集約化計画とおりであれば広域化・集約化は達成としている | 3団体<br>c県、f県、m県 |
| ⑤ その他※その他は特になしが3件、回答不可が1件 | 4団体<br>d県、k県、o県、s県 |

2) ブロック向け追加ヒアリング結果

(a) 稼働年数が近いにも関わらず広域化･集約化に至らなかった詳細理由

稼働年数が近いにも関わらず広域化・集約化に至らなかった詳細理由は以下のとおりである。「③将来的に広域化・集約化を行うことを前向きに検討している」が最も多く（5 ブロック）、その理由として H9 通知時点で新設が既に決まっていた施設等が建て替え時期に差し掛かっていることが挙げられた。

一方、「② 特に検討を進めていない」が次点で多く（4 ブロック）、都道府県等からの働きかけがあれば検討を進めやすかったといった意見が一部のブロックから挙げられた。

表 II-6 稼働年数が近いにも関わらず広域化・集約化に至らなかった詳細理由

| 理由 | ブロック数<br>(13ブロック) |
|---|---|
| ① 収集運搬に課題がある | 1ブロック（A） |
| ② 特に検討を進めていない（検討を進めるきっかけがない等） | 4ブロック<br>（B、C、H、K） |
| ③ 将来的に広域化・集約化を行うことを前向きに検討している | 5ブロック<br>（F、G、I、J、M） |
| ④ 回答不可※当時の経緯が不明、連絡がついていない等 | 3ブロック<br>（D、E、L） |

### 3) 追加ヒアリングの総括

都道府県向けの追加ヒアリング結果より、広域化・集約化を進めるにあたり特別地方公共団体を含む地方公共団体の主体性に任せて積極的な働きかけを行っていない都道府県が複数見られた。

一方、ブロック向けの追加ヒアリング結果からは、都道府県からの働きかけがないことで検討を進めるきっかけがなく、広域化・集約化の検討が開始できなかったといった意見も一部のブロックから挙げられた。したがって、広域化・集約化の促進にあたっては都道府県からの積極的な働きかけが重要であり、通知等を通じて都道府県に対し積極的な働きかけを求めることが必要であると考えられる。

また、H31 通知発出以降に広域化・集約化計画を策定していない都道府県のうち、300t/日以上に集約化されていないにも関わらず、過去に策定した広域化・集約化計画が達成されていること等を理由に広域化・集約化は達成されていると解釈している都道府県が存在することから、広域化・集約化の目標を明確に示す必要性が示唆された。

一方で、H31 通知発出以降に広域化・集約化計画を策定していない都道府県の中には内部調整等に時間を要している都道府県もあるため、広域化・集約化計画の策定にあたっては必要に応じて国からの働きかけ等も検討が必要である。

## 1.3 CCUS 設備の導入に向けた基礎情報の調査

### （1）廃棄物･資源循環分野の脱炭素化を取り巻く現状と課題

中長期シナリオでは、3R＋熱回収を最大限促進し、処理施設の広域化・集約化を進めたとしても、熱処理（焼却・熱分解）による相当な量の処理が引き続き必要であるとともに、メタン発酵等による生ごみの有効処理が必要であることが示された。加えて、同シナリオでは3R＋Renewableを基盤として資源循環・適正処理システムの脱炭素化を図る上での3つの重点対策領域が設定・提示されており、その一つが「地域の脱炭素化に貢献する廃棄物処理システム構築」とされている。従来 $CO_2$ を大気放出する焼却等が中心だった廃棄物・資源循環分野は、同分野からの GHG 排出を削減し CN を目指すとともに、産業界全体へのバイオマス由来炭素の主要な供給源として、処理システムを大きく変革していく必要がある。

廃棄物処理においては、製造業等と異なり、投入する廃棄物の量や性状(成分、熱量、含水率等)が常に変動し自律的に制御することができない。そのため、処理後のガスの量・性状も常に不安定で、安定的・効率的に炭素回収・利用ができず、他分野における炭素回収等の技術をそのまま活用することは難しい。また、今後廃棄物中のプラスチック比率の低下等の組成の変化と発熱量低下によりエネルギー収支の悪化が見込まれること、廃棄物処理施設の用地取得に大きな困難が伴う場合が多く炭素回収設備の設置のための用地取得が技術普及の大きな妨げとなること、地域ごとに廃棄物の量・性状が異なり処理の広域化・集約化に限界がある中でコスト制約・立地制約の課題があることなど、廃棄物・資源循環分野における CN 化や CCUS 設備の社会実装には多くの課題が存在する。

また、中長期シナリオ（案）の中では、廃棄物処理施設の施設寿命を 20~30 年として、2050 年度時点で存在する施設の約 4 割程度が 2030 年から 2040 年までの間に新設される可能性も示唆されている。したがって、新設の処理施設における設備導入のみならず、既存の処理施設への後付けでの設備導入となる可能性も考慮する必要がある。

廃棄物処理施設への CCUS 設備の導入は、廃棄物・資源循環分野の CN 化に貢献するだけでなく、バイオマス由来炭素の利用により他分野における排出削減にも寄与し得ることから、経済合理性・エネルギー自立を確保しつつ、化石由来＋バイオマス由来の炭素を回収・利用し、炭素循環の中心的な役割を担うことが期待される。

#### 1) 焼却

焼却処理は廃棄物の無害化・安定化・減量化に優れ、現状の日本においては FIT 制度下での売電により処理コストの低減が可能である一方で、含水率の高い厨芥類も燃焼するため潜熱分のエネルギーを喪失しており、近年は新設プラントにおいても廃棄物発電の発電効率向上は頭打ちとなっている。また、廃棄物中炭素のほぼ全量を $CO_2$ へ完全酸化して大気に排出していることや、排ガス全量を対象とする性状変動に対応した $CO_2$ の分離・回収技術が確立されていないことなどから、従来のエネルギー回収では今後想定されるバイオマス比率の高い炭素資源を十分有効利用できず、他の電源のゼロエミッション化に伴い廃棄物発電の環境価値が相対的に低下することが懸念されている。

また、廃棄物焼却施設は長寿命化が進められており、設置から 30 年程度使用され続けることが想定される。2030 年までに設置された施設が 2050 年以降も稼働を続けることを想定し、既存の焼却施設への $CO_2$ 分離回収設備の後付けや基幹改良のタイミングにおける設備導入も可能な技術が求められる。

### 2) 熱分解

廃棄物の熱分解、特にガス化技術の構想は欧州において先行したが、雑多で性状変動の大きい廃棄物特有の困難性があるところ、技術的に安定稼働に至らず、多くのプラントが建設から数年で廃止した経緯がある。一方、日本では、流動床などの独自技術の発展や、欧州から導入された技術の改善によって、今日まで長期稼働の実績を有する。その中には合成ガスを回収するガス化改質も含まれるが、その多くは初期（2000 年頃）にコンセプトが評価されて建設・稼働中である一方で、運転コスト（エネルギーコスト、メンテナンスコスト等）面の課題から近年は新規導入が進んでいない。

熱分解は処理物を完全酸化させないことが可能（廃棄物中炭素の一部は $CO_2$ まで酸化される）で、直接的に有用な合成ガス・熱分解油を得ることができるため、$CO_2$ と水素を原料とする場合よりも効率的にカーボンリサイクル燃料・化学品を製造できる可能性があり、水素を外部から供給する必要がある技術と比較して、相対的に早期の社会実装が期待できる。また、廃棄物に含まれる水素を活用するため、外部の水素供給インフラの整備を待たずに社会実装することが期待できる。

また、近年の世界的な脱炭素化の潮流においては、欧米を中心に、廃棄物から得た合成ガスを利用してメタノール等を製造するプロジェクトが進みつつある中で、当技術への注目が高まっている。

### 3) メタン発酵

プラスチック資源循環の進展等に伴い、化石資源由来の廃棄物の比率が低下し、有機性廃棄物の比率が上昇することが想定される。メタン発酵は小規模、低コストで分散型の処理が可能であるほか、地域の多様なバイオマス源を受け入れ可能で、バイオガスの回収・利用のほかにも発酵残渣の利用による輸入肥料の代替など、地域への多面的な効果が期待されるため、有効な処理方法となり得る。特に、厨芥類などの食品廃棄物は含水率が高く、運搬効率とエネルギー回収のバランスを勘案すれば、熱処理よりもメタン発酵技術による地域分散型処理が有利となり得る。

また、メタン発酵において発生するバイオガスには主成分のメタンのほかに $CO_2$ が 40~50%程度（「メタンガス化施設整備マニュアル（改訂版）」（環境省、2017 年 3 月）より）と高濃度に含まれ、例えば、このバイオガス中の $CO_2$ を分離せずに直接メタネーションすることができれば、バイオマス由来のメタン（バイオメタン）を効率的により多く回収できるなど、廃棄物処理と一体的かつ効率的な CCU が実現できる可能性があるにもかかわらず、現在は有効利用できていない。また、メタネーション施設は既存のメタン発酵施設への後付けや基幹改良における設備導入も技術的に可能であり、社会実装の可能性が高い。

メタン発酵技術は欧州が先行しているほか、バイオガスの直接メタネーションも欧米を中心に、触媒によるメタネーションと微生物等によるバイオメタネーションのどちらに関しても研究開発が実施されている。国内においてもバイオメタネーションの研究開発は活発に行われてきているが、廃棄物処理におけるバイオメタネーションは未だ商用化以前の段階にある。

## （2）廃棄物・資源循環分野における CCUS に関する既存の国内事業例

環境省の実施する「CCUS 早期社会実装のための環境調和の確保及び脱炭素・循環型社会モデル構築事業」では、既存の手法による焼却施設排ガス等からの $CO_2$ 分離回収や回収後のガスの有効活用技術の技術実証が、通常の焼却炉の 10 分の 1 程度のスケールで行われている。また、環境省の「既存のインフラを活用した水素供給低コスト化に向けたモデル構築実証事業」においては、生ごみから製造し

たバイオガス中の $CO_2$ をメタネーションする実証が実施されている。

国土交通省では、「下水道応用研究」の下水道施設における創エネルギー化技術において、下水汚泥を対象とした消化槽におけるメタネーションの実証が実施されている。

## 1.4 メタン発酵施設の導入促進に係る調査

### （1）コンサルタントに対するヒアリング調査

#### 1) 調査の目的

廃棄物分野の脱炭素化のため、より一層のメタン発酵施設導入促進に向けて、自治体におけるメタン発酵施設導入検討段階の実態と課題の傾向を把握するための調査（以下、II 1.4 （1）において「本調査」という。）を行うこととした。本調査では、自治体の施設整備基本構想、施設整備基本計画等の策定支援実績を有するコンサルタントを対象に、ヒアリング調査を実施した。

#### 2) 調査の概要

##### (a) ヒアリング対象

「持続可能社会推進コンサルタント協会 会員名簿 2022」において、『廃棄物関連業務 エネルギー回収推進施設』の業務実績を有する 33 社をヒアリング対象とした。

##### (b) 調査方法

###### a) ヒアリング調査票の送付・集計

調査対象の各社が過去 10 年程度において策定支援された施設整備基本構想、施設整備基本計画等を対象とした質問を設け、各社の回答を集計した。ヒアリング調査票の送付及び回収はメールにより行った。

###### b) ディスカッション形式のインタビュー

ヒアリング調査票の集計結果に関する内容を中心に、自治体のメタン発酵施設導入検討の実情についてより詳細な意見を伺うため、コンサルタント複数社によるディスカッション形式のインタビューを実施した。

##### (c) 調査実施期間

本調査の実施期間を以下に示す。

令和 4 年 11 月 28 日（月）　：各社にヒアリング調査票送付
令和 4 年 12 月 12 日（月）　：ヒアリング調査回答の締切
令和 5 年 1 月 6 日（金）　：ディスカッション形式のインタビュー実施

#### 3) ヒアリング調査票の回答集計結果

##### (a) 回答社数

ヒアリング調査対象 33 社のうち、22 社より回答を受領した。回答の集計にあたり、以下の条件で回答を除外した結果、集計対象は 19 社分となった。

- 質問 1 の選択肢①～④において、①は質問２、②は質問３、③は質問４、④は質問５に対応している。①～④において 0%と回答しているにもかかわらず、対応する質問で回答がある場合は、当該回答は集計から除外した。

| **質問１　メタン発酵施設導入の検討・未検討の割合について** |
|---|
| 施設整備基本構想・基本計画等において一般廃棄物（ごみ）の処理方式を検討されるうえで、メタン発酵施設の導入を検討するケースと検討されないケースの割合を御教示ください。 |
| ① メタン発酵施設の導入を検討するケース　⇒質問２を回答 |
| ②　うち、「採用」になるケース　⇒質問３を回答 |
| ③　うち、「不採用」になるケース　⇒質問４を回答 |
| ④ メタン発酵施設の導入を検討されないケース ⇒質問５を回答 |
| ※質問２　メタン発酵施設導入が検討される要因について |
| ※質問３　メタン発酵施設「採用」の理由について |

| |
|---|
| ※質問４　メタン発酵施設「不採用」の理由について |
| ※質問５　メタン発酵施設導入が検討対象から除外される要因について |

- 下水処理場の汚泥処理（汚泥消化・ガス発電）における一般廃棄物（生ごみ）を投入する検討事例の回答（1 社）を除外した。
- 全質問で「該当しない」を選択している回答（2 社）を除外した。

(b) 回答集計結果

a) 質問１の回答集計結果

| **質問１　メタン発酵施設導入の検討・未検討の割合について** |
|---|
| 施設整備基本構想・基本計画等において一般廃棄物（ごみ）の処理方式を検討されるうえで、メタン発酵施設の導入を検討するケースと検討されないケースの割合を御教示ください。 |
| ① メタン発酵施設の導入を検討するケース |
| ②　うち、「採用」になるケース |
| ③　うち、「不採用」になるケース |
| ④ メタン発酵施設の導入を検討されないケース |

| NO. | ① | ② | ③ | ④ |
|---|---|---|---|---|
| 1 | 100% | 0% | 100% | 0% |
| 2 | 100% | 0% | 100% | 0% |
| 3 | 100% | 0% | 100% | 0% |
| 4 | 100% | 0% | 100% | 0% |
| 5 | 95% | 0% | 95% | 5% |
| 6 | 100% | 5% | 95% | 0% |
| 7 | 100% | 10% | 90% | 0% |
| 8 | 100% | 10% | 90% | 0% |
| 9 | 80% | 0% | 80% | 20% |
| 10 | 100% | 25% | 75% | 0% |
| 11 | 90% | 18% | 72% | 10% |
| 12 | 80% | 8% | 72% | 20% |
| 13 | 60% | 0% | 60% | 40% |
| 14 | 70% | 20% | 50% | 30% |
| 15 | 50% | 0% | 50% | 50% |
| 16 | 50% | 0% | 50% | 50% |
| 17 | 50% | 5% | 45% | 50% |
| 18 | 10% | 5% | 5% | 90% |
| 19 | 1% | 0% | 1% | 99% |

**図 II-16　質問１の回答集計結果**

※各社の回答を「③の降順」、「②の降順」の順で整理

集計対象 19 社のうち、16 社において『③（導入検討の）うち、「不採用」になるケース』が 50%以上となっており、メタン発酵施設は導入検討をした上で不採用とされることが主な傾向としてみられる。

また、11 社において『④メタン発酵施設の導入を検討されないケース』があり、うち 5 社が 50%以上となっている。メタン発酵施設導入を検討せずに未採用とされるケースも確認される。

b) 質問２の回答集計結果

| **質問２　メタン発酵施設導入が検討される要因について** |
|---|
| 施設整備基本構想・基本計画等において一般廃棄物（ごみ）の処理方式の検討にあたって、メタン発酵施設の導入を実質的に検討されるうえでの要因を以下の各項目ごとに選択してください（最も件数が大きいと思われるものを「１」として、大きい順にご入力ください。）。<br>また、「⑦その他」を選んだ場合の詳細は〔その他〕欄に、回答内容の補足等がある場合は、〔備考〕欄にご記入ください。（自由記述） |
| ① 自治体からの指定・要請により検討（主に首長・議員の認識・意向に起因） |
| ② 自治体からの指定・要請により検討（主に地域住民の認識・意向に起因） |
| ③ 自治体からの指定・要請により検討（主に自治体職員の認識・意向に起因） |
| ④ 事業者からの指定・要請により検討（その他、プラント設置者・管理者等） |
| ⑤ 事業者からの提案により検討（主にコンサルタントに起因） |
| ⑥ 事業者からの提案により検討（主にプラントメーカーに起因） |
| ⑦ その他 |

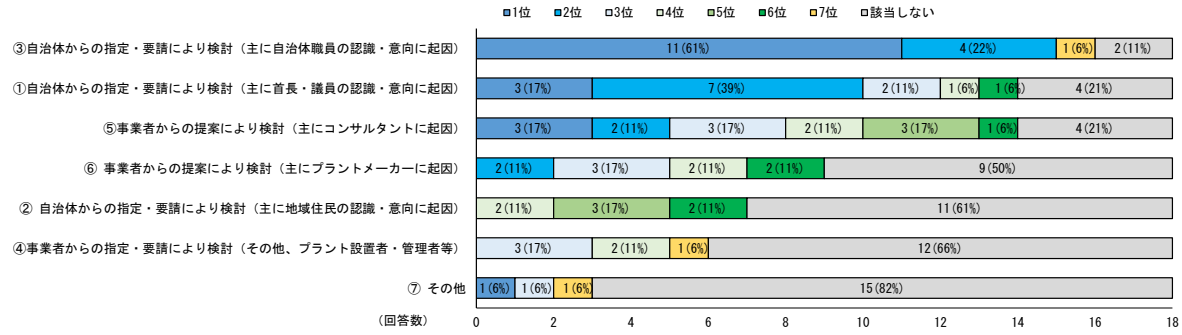



**図 II-17　質問２の回答集計結果**

※「該当しない回答数の昇順」、「上位順位回答数の降順」の順で整理

メタン発酵施設導入が検討される要因として、自治体職員の認識・意向が主な検討要因の傾向としてみられる。次いで、首長・議員の認識・意向、コンサルタントからの提案が傾向としてみられる。

⑦その他の回答内容

| 選択順位 | 回答内容 |
|---|---|
| 1 | 交付金対象となる処理方式であり、各種方式を検討する段階においては、採用の検討を行うことが一般的になっていると思われる。 |
| 3 | 基本構想・計画段階での委員会意見。 |
| 7 | 社会的要請（$CO_2$削減の流れ）。 |

自由記述の回答内容

| |
|---|
| 脱炭素社会に向けた流れの中、自治体として検討対象に入れざるをえない場合が多い。 |
| ③のみを選択したが、古い実績では議員、地域住民からの働きかけによって自治体職員より導入検討の要請もあった。 |
| ・採用になるところは首長等からの強い意向がある印象である。（①）<br>・首長が判断するために、自治体職員が提案して採用されるケースもある。（③）<br>・近年（過去５年程度）では、採用・不採用に関わらず、処理方式の一つとして技術紹介、採否の検討は行うことが標準となっている。（⑤）<br>・処理方式検討の俎上には基本的に考えられるものは挙げるので、逆にメタン発酵施設を省くには理由が必要となるのではないか。（⑤） |

c) 質問３の回答集計結果

| 質問３　メタン発酵施設「採用」の理由について |
|---|
| 施設整備基本構想・基本計画等において一般廃棄物（ごみ）の処理方式を検討した結果、メタン発酵施設が「採用」になるケースについて「採用」とする評価に与える影響の大きさを以下の各項目ごとに選択してください（最も影響が大きいと思われるものを「１」として、大きい順にご入力ください。）。<br>また、「⑦その他」を選んだ場合の詳細は〔その他〕欄に、回答内容の補足等がある場合は、〔備考〕欄にご記入ください。（自由記述） |
| ① 事業費（実負担額）の縮減が見込めるため |
| ② 温室効果ガス排出削減効果が高くなる見込みであるため |
| ③ 焼却施設単体整備と比較して、エネルギー回収率の向上が見込めるため |
| ④ メタン発酵施設を設けないとエネルギー回収が不可のため |
| ⑤ 液肥の有効活用ができるため |
| ⑥ 環境啓発や先進的な取組として対外的にアピールできるため |
| ⑦ その他 |

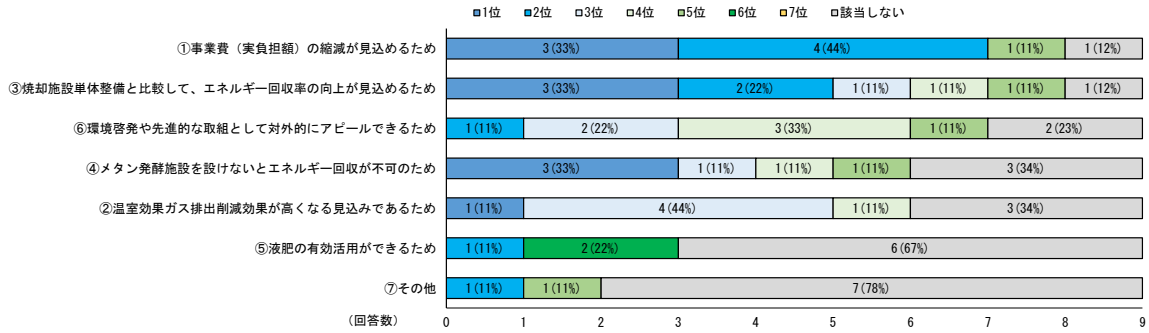



**図 II-18　質問３の回答集計結果**

※「該当しない回答数の昇順」、「上位順位回答数の降順」の順で整理

メタン発酵施設「採用」の理由として、事業費（実負担額）の縮減が見込めること、焼却施設単体整備と比較してエネルギー回収率の向上が見込めることが、主な傾向としてみられる。次いで環境啓発や先進的な取組として対外的にアピールできること、メタン発酵施設を設けないとエネルギー回収が不可であること等が傾向としてみられる。

⑦その他の回答内容

| 選択順位 | 回答内容 |
|---|---|
| 2 | ごみの減量と資源化率の向上のため。 |
| 5 | メタン発酵施設からの排水を下水道放流できる場合は、焼却施設でのエネルギー回収率の向上、事業費縮減につながることから、下水道放流できるかどうかも採否判断への影響があると思う。 |

自由記述の回答内容

| |
|---|
| 全体整備が下がるということではなく、小規模施設整備において1/2交付のメリットを踏まえた負担額縮減を理由にする場合が多いと思われる。また、温室効果ガス削減効果の定量的な根拠は現時点では明確ではなく、採用理由になりにくい。 |
| ・やはりエネルギー回収率の向上や事業費縮減（売電収入を含めた実負担額の縮減）がないと採用の判断は難しいと思われる。<br>・焼却単独と焼却＋メタン発酵施設併設を比較する場合、事業費実負担の縮減があれば採用しやすいが、ランニングも含めそこまでのメリットが出ない印象が大きい。<br>・メーカーは対焼却でフィーを決定しているのではと思われる。 |

d) 質問４の回答集計結果

| 質問４　メタン発酵施設「不採用」の理由について |
|---|
| 施設整備基本構想・基本計画等において一般廃棄物（ごみ）の処理方式を検討した結果、メタン発酵施設が「不採用」になるケースについて「不採用」とする評価に与える影響の大きさを以下の各項目ごとに選択してください（最も影響が大きいと思われるものを「１」として、大きい順にご入力ください。）。<br>また、「⑩その他」を選んだ場合の詳細は〔その他〕欄に、回答内容の補足等がある場合は、〔備考〕欄にご記入ください。（自由記述） |
| ① 事業費（実負担額）が高くなる見込みのため |
| ② 建設予定地における敷地の都合（面積・形状等）のため |
| ③ 工事期間が予定工期を超過する見込みのため |
| ④ 事業に参加可能な事業者が限られ競争性が低下するため |
| ⑤ 採用事例が少なく、安定稼働可否の判断が難しいため |
| ⑥ 地元住民からの合意を得ることが容易ではないと思われるため |
| ⑦ メタン発酵施設がなくてもエネルギー回収が可能なため |
| ⑧ 生ごみの分別がされていないため・生ごみの分別が難しいため |

| |
|---|
| ⑨ 許可業者や下水処理施設など、他施設において既に当該圏域の生ごみのリサイクル処理をされているため |
| ⑩ その他 |

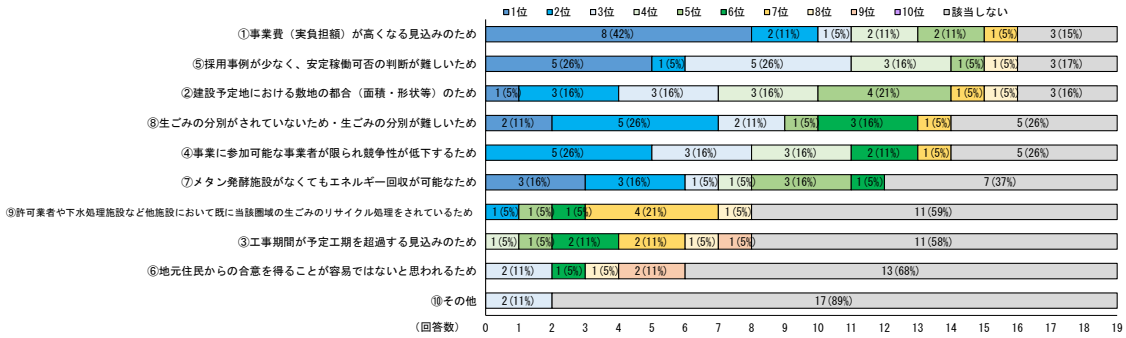



**図 II-19　質問４の回答集計結果**

※「該当しない回答数の昇順」、「上位順位回答数の降順」の順で整理

メタン発酵施設「不採用」の理由として、事業費（実負担額）が高くなること、事例数が少なく安定稼働可否の判断が難しいことが主な傾向としてみられる。次いで建設予定地における敷地の都合、生ごみの分別がされていないこと・生ごみの分別が難しいこと等が傾向としてみられる。

⑩その他の回答内容

| 選択順位 | 回答内容 |
|---|---|
| 3 | ①と関連するが、生ごみ以外の処理方式が必要になることや、発酵残さの堆肥利用が困難ということも挙げられる。 |
| 3 | 実績＆意欲のあるプラントメーカーが少なく、競争性に劣ると考えられるケースもある。 |

自由記述の回答内容

| |
|---|
| プラスチック資源循環促進法への対応に即した分別収集計画が未確定であることが採用に至らない一因となる場合がある。 |
| 開発メーカーによる売り込みが前面に出がちだが、コンサルタントとして、コストを含めた効果が期待できることを検証することが重要と考える。焼却技術に比べると経験値（実績）が伴っていないので、メーカーの出してくるコストも、安易に信用したＰＲを発注者にすすめるべきではない。回収したメタンガス、液肥を含めて有効利用の道筋を整えることも重要と考える。 |

e) 質問５の回答集計結果

| **質問５　メタン発酵施設導入が検討対象から除外される要因について** |
|---|
| 施設整備基本構想・基本計画等において一般廃棄物（ごみ）の処理方式の検討にあたって、メタン発酵施設の導入を実質的に検討対象から除外されるうえでの要因を以下の各項目ごとに選択してください（最も件数が大きいと思われるものを「１」として、大きい順にご入力ください。）。 |
| また、「⑦その他」を選んだ場合の詳細は〔その他〕欄に、回答内容の補足等がある場合は、〔備考〕欄にご記入ください。（自由記述） |
| ① 自治体からの指定・要請により検討（主に首長・議員の認識・意向に起因） |
| ② 自治体からの指定・要請により検討（主に地域住民の認識・意向に起因） |
| ③ 自治体からの指定・要請により検討（主に自治体職員の認識・意向に起因） |
| ④ 事業者からの指定・要請により検討（その他、プラント設置者・管理者等） |
| ⑤ 事業者からの提案により検討（主にコンサルタントに起因） |
| ⑥ 事業者からの提案により検討（主にプラントメーカーに起因） |
| ⑦ その他 |

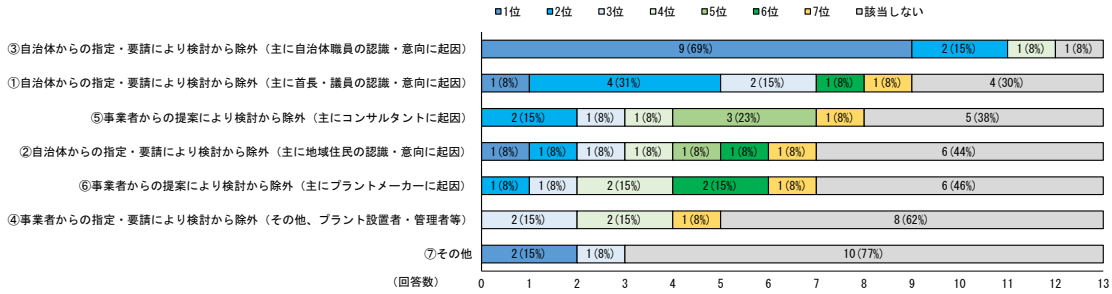



**図 II-20　質問５の回答集計結果**

※「該当しない回答数の昇順」、「上位順位回答数の降順」の順で整理

メタン発酵施設導入が検討対象から除外される要因として、自治体職員の認識・意向が主な検討要因の傾向としてみられる。次いで、首長・議員の認識・意向等が傾向としてみられる。

⑦その他の回答内容

| 選択順位 | 回答内容 |
|---|---|
| 1 | 検討段階で時間的余裕がない等の理由から検討対象から外れる場合があると考える。 |
| 1 | 誰かの意図で除外されることはなく、定量的あるいは定性的な評価により、結果的に採用または不採用になる。メタン発酵施設を導入する場合、何らかの工夫がないとコストアップになるため、自治体職員の熱意が重要になると考える。<br>なお、稀なケースになるが、メタン発酵施設を導入する方針が決定し事業者選定まで進んだ段階で市長が交代し、メタン発酵施設の整備を中止した事例も経験している。 |
| 3 | 基本構想・計画段階での委員会意見。 |

自由記述の回答内容

| |
|---|
| 発注者において、一定規模以上の施設であれば、シンプルなシステムからの熱回収で十分であるとの考え方が根強いと思われる。（シンプルなシステムが好まれる。） |
| ・メーカーに技術ヒアリングを行って採用すべき・採用すべきでないとの回答は条件によって出てくるが、それは採否判断の理由づけに用いられる程度である。<br>・メーカー営業が自治体内部でどこまで食い込んでいるかは自治体判断（特に上層部）に影響があると思われるが、そこまでの背景が見える場合と見えない場合がある。 |

### 4) ディスカッション形式のインタビュー

#### (a) 実施日時・実施方法

実施日時：令和 5 年 1 月 6 日（金）　15 時 00 分～17 時 00 分

実施方法：WEB 会議システムにより実施

#### (b) 参加者

**表 II-7　参加者一覧**

| 所属 | |
|---|---|
| コンサルタント | 株式会社エイト日本技術開発<br>東京支社 都市環境・資源・マネジメント事業部 |
| | 株式会社建設技術研究所<br>大阪本社 資源循環・エネルギー部 |
| | 中外テクノス株式会社<br>関西支社 環境事業本部 社会環境部 |
| | 株式会社東和テクノロジー |

| | |
|---|---|
| | 中日本建設コンサルタント株式会社<br>資源循環推進室 第１課 |
| | 復建調査設計株式会社<br>環境部 新エネ・資源循環課 |
| 環境省 | 環境再生・資源循環局 廃棄物適正処理推進課 |
| 事務局 | パシフィックコンサルタンツ株式会社<br>社会イノベーション事業本部<br>グリーン社会戦略部 環境・エネルギー政策室 |
| | パシフィックコンサルタンツ株式会社<br>大阪本社 国土基盤事業部 資源循環室 |

(c) 議事

議題１：メタン発酵施設が導入検討により「不採用」になる理由と、「採用」に向けた課題への対応方策案について

議題２：メタン発酵施設導入未検討の理由と、検討促進に向けた対応方策案について

(d) 議事要旨

※コンサルタント各社は一括して「出席者」と表記

a) 議題１：メタン発酵施設が導入検討により「不採用」になる理由と、「採用」に向けた課題への対応方策案について

① メタン発酵施設導入検討の結果「不採用」と判断されるタイミングの傾向について

出席者　当社では施設整備基本計画において、施設規模や敷地条件が見えてから不採用を判断する事例がほとんどである。なお、稀ではあるが、小規模施設において発注支援の段階で処理方式が決まった事例がある。施設整備基本計画の手前である施設整備基本構想では、処理方式を絞り込んだ事例はあまりない。

⇒事務局　施設整備基本計画において、処理方式は検討委員会で決められるのか。また、処理方式の判断材料として、メーカーヒアリング結果や文献を使用されているか。

⇒出席者　施設整備基本計画の段階で、委員会において処理方式を決める事例数は、半分程度と思われる。処理方式の判断材料として、ほとんどの事例ではメーカーヒアリング結果を用いる。処理方式別に、施設整備実績数からメーカーを絞り込み、過去に参加実績のあるメーカーにヒアリングを行う。特に、事業費における交付金とごみ質は処理方式の判断を重視する。

出席者　当社では、施設整備基本構想においても処理方式を絞り込む場合がある。基本構想では広く処理方式を比較し、実績・発注者の意向から、処理方式として合っているもの、合っていないものをある程度絞り込む段階で、この場合は、文献等の調査で絞り込みを行う。施設整備基本計画でさらに処理方式検討となった時にメタン発酵を含めて比較検討し、採用・不採用を決める。委員会実施は事例によるが、最近の事例では検討委員会に諮って処理方式を決めることが多い。施設整備基本計画段階で処理方式を決める場合は、メーカーヒアリングの結果の使用、も

しくはメーカーヒアリングを実施せずに実績数等で絞り込みをする場合がある。

出席者　先に回答された２社と概ね同じ。文献調査のみで不採用を判断する場合もあれば、その後のメーカーヒアリングで不採用を判断する場合もある。両者の割合は半々程度。また、文献調査結果、メーカーヒアリング結果をもとに、検討委員会で処理方式を諮る場合もある。

出席者　先に回答された３社と概ね同じ。施設整備基本構想の段階でメーカーヒアリングや委員会の立ち上げが行われ、不採用とされる事例が、最近少し増えている。

② 不採用の第一の理由は「事業費（実負担額）が高くなる見込み」である一方、採用の第一の理由も「事業費（実負担額）の縮減が見込める」である。

- どのような場合に事業費（実負担額）が高くなる（もしくは低くなる）のか。
- 要処理量が同一の場合に、「焼却」と「焼却・メタン発酵併設」を比較して、事業費（実負担額）が相違しうる条件があるか。
- 有機系廃棄物の処理のみであれば、「焼却」よりも、設備全体として簡素になる「メタン発酵」が安価にならないか。そうならない場合の課題は何か。

出席者　事業費が高くなる場合については、当社の見解では、施設規模によって変わると考えられる。当社におけるごみ処理施設でのメタン発酵の検討では、最近では焼却施設とメタン発酵施設のハイブリッド方式が処理方式に残り比較対象になる。その場合、焼却施設単独のほうがエネルギー回収量・売電量が稼げ、施設規模がある程度大きくなると事業費の実負担額が安価になると試算していることが多い。ポイントは施設規模になってくると考えている。

⇒事務局　施設規模の境界はどのあたりか。

⇒出席者　過去に実施したメーカーヒアリング結果等をもとにした試算では、150t/日以上であれば焼却施設単体で発電する方が、エネルギー回収量が高くなる見込みであった。

出席者　技術論ではないが、メーカーの差が大きいと思われる。メーカーの見積は、大手が高く、中堅の方が安くなる傾向にある。ハイブリッド方式の実績があるのは大手のみで、そこの平均と中堅の平均を比較すると、処理方式の差というよりメーカーの差により事業費の有利・不利が出る場合があり、結果的にハイブリッド方式の方が高くなる印象がある。また、小規模施設でハイブリッド方式を採用されている所は焼却施設が 24 時間運転であるが、焼却施設単独で准連続運転により人件費の縮減が可能な場合は、ランニングコストの差も出てくることがある。

事務局　事例により事業費（実負担額）の安価・高価に差があるが、その理由の一つとして、建設候補地における下水道放流可否が影響すると考えられる。また、メーカーにおいて、これらの条件や発注者の意向を踏まえてケースバイケースで見積を

使い分けている可能性があるのではないかと考えられる。

出席者　コスト感について、先程意見のあった 150t/日程度については適当な規模感と感じている。ハイブリッド方式に関しては、小規模（100t/日未満）の地域と、数百 t/日規模でしている地域の二つがある。小規模については、（排ガス冷却の）水噴射方式を採用することになる。水噴射方式を採用する理由として、排水の下水道放流不可もあるが、発電設備の設置が非効率的・不経済ということもある。そうなると、稼げるエネルギーはメタン発酵分のみになり、全体のエネルギー回収率がそんなに高くならず、また、収入に関しても一定の制約が出てくる。一方、焼却炉 100t/日前後、メタン発酵施設 数十 t/日クラス以上になってくると、高いエネルギー回収率や経済性も確保できるのではないか、という見立てはあると考えられる。以前から環境省ではハイブリッド方式に対して交付金の嵩上げにより促進をされているが、これは市町村の財政負担軽減につながることがあり、それを理由にメタン発酵施設導入に踏み切れた自治体もいる。また FIT 制度も追い風にはなっている。

ただしこの辺りについて、我々の肌感覚で申し上げると、時代背景によって変化してきている。ここ１，２年においては、経済性については色々検討必要であるが、脱炭素に向けて全量焼却でよいのかという意見は、現場の担当者からよく聞かれるようになっている。このあたりが採用に向けてのインセンティブになる可能性がある。

事業費については、先程から意見があるように、見積の安い・高いはあるものの、印象では、実績含めてマーケットでの寡占化がブレーキになっていると感じる。価格競争性が感じられない事業が多い。そういう中では、どうしても高止まりする傾向になることは仕方がない。コスト削減も、ある種の技術開発の方向性であるため、このための努力は必要と感じている。

出席者　ごみ質、ごみ量の伸び、敷地の広さの観点がある。ハイブリッド方式に対応可能なメーカーであっても、交付金 1/2 を加味しても、中々ハイブリッド方式の提案が出てこない。ごみ質にそれほど有機質が多くなく、ハイブリッド方式を提案すると、メタン発酵施設と焼却施設のトータルコストが高くなり、特に小規模施設はその傾向にあることが要因と思われる。

また、イニシャルコストは交付金 1/2 で補助をもらえるが、ランニングコストは補助がない。将来のごみ量の伸びが右肩下がりで、プラスチック資源循環促進法も関連して、将来的に有機分がどのように推移するかという経年のごみ質予測までは、施設整備基本計画等で検討することは中々ない。将来的なごみ量、更にその中に占める有機分を考慮すると不安が残り、ランニングコストが高くなる可能性がある。また、ガス発電だけでなく焼却施設でも発電を行う場合、焼却施設単体での発電と比較して設備費が高くなる。

また、敷地面積について、メタン発酵施設に係るガスタンクや前処理設備の設置に伴い、焼却施設単体と比較して 2 割程多く必要になる。

他にも要因はあると考えられるが、大きくは以上の理由が足かせになっていると考えられる。

出席者　有機系廃棄物処理のみであれば、メタン発酵施設の方が焼却施設より安価になる可能性はある。しかし、コンサルタントの業務においては、まず既存施設の老朽化に伴う可燃ごみ全体の検討がある。そのため、どうしてもハイブリッド方式を前提に考えるため、機器点数の多さ等を踏まえると、事業費が高くなる印象である。

⇒事務局　コンサルタント業務では、自治体のごみ処理システムをどうするかという検討になるため、どうしても焼却処理を含めた検討が必要であり、メタン発酵のみの検討にはならないと考えられる。

事務局　小規模な所はメタン発酵施設のみとし、残りの分は広域化・集約化により大規模な焼却施設を建設、もしくは近隣の既存施設に搬入という可能性を含めて、議題を設定した。ナイーブな想定ではあるが、御意見を頂きたい。

⇒出席者　我々の業務を前提に考えていたため、想定外としていた。環境省では従来広域化による 300t/日以上の焼却施設等を推進されていたが、先程の「残ったものを近隣の既存施設に搬入」ということであれば、当初からもっと大規模な施設になっているであろうと思われる。どうしても 100t/日程の自治体は、地理的な条件等により広域化から外れた所が多いと思われる。周辺の自治体が集まってどうにか 100t/日になっていると思われる。例えばその隣の政令指定都市に入れてほしいと言っても、上手くいかないと感覚的には考えられる。

出席者　我々の感覚としては、ハイブリッド方式でメリットが高いのは、小規模自治体にあると思う。100t/日以上であれば焼却施設単体で発電可能であり、それより施設規模があがっていけば、ごみ焼却発電で運営のメリットがでてくる。それに対して、メタン発酵施設を付加すると設備数が多くなり、建設費が高くなる。広域化で施設規模が大きくなるほど、メタン発酵施設導入から遠ざかっていくように考えられる。小規模施設で焼却施設では発電が難しい場合において、エネルギー回収を行う場合には、ハイブリッド方式により、交付金によりコストメリットがある。先程、施設規模が大きい場合の発言があったが、我々の感覚では逆であると考えている。

出席者　小規模自治体において、生ごみを分別収集してメタン発酵施設建設、更に消化液の液肥利用により、収集運搬、施設整備・運営費でみると、焼却施設単体よりもメタン発酵施設建設の方が安価になる見込みのため、事業を進めた事例がある。生ごみの分別・収集費用がかかるが、当該自治体では収集運搬は委託しており、競争性が働いていることから、収集運搬費が他の自治体と比較して安価な傾向にあった。結果的に、収集運搬費の増額分を加味しても、消化液を液肥利用するメタン発酵施設を建設する方が安くなった。メタン発酵施設導入において、排水処理設備を付けると費用が高くなるので、排水処理がポイントになると思われる。

出席者　メニューを提示するコンサルタントの役割・責任がかなり大事と考えている。廃棄物処理において、これまで適正処理、資源化という視点からアプローチし構想・計画が多かったが、今時点で考えるには脱炭素化においてどのように貢献できるのか、という視点を適切に提供する立場にあるのがコンサルタントだと思われる。自治体にも脱温暖化を本気で考えるところは多くなっている。そういう流れの中で、我々の役割はかなり責任重大であると思っている。例えば有機性廃棄物については焼却せずに済むのではないか、それが廃棄物処理全体の脱温暖化にどのように貢献するのか、という視点での検討・メニュー提示の努力をする必要があるのではないか、印象を受けた所である。

事務局　交付金事業として実施する上で自治体は地域計画を策定されるが、地域計画は市町村・一部事務組合単位で出されている。それを更に超えた行政の枠組みにおけるやり取りは中々難しいと思われる。コンサルとして何か役に立てないかと考えているが、環境省・都道府県が導ける方策があればよいのではと、今回のヒアリングを通じて思ったところである。

③ 不採用の第二の理由は「採用事例が少なく、安定稼働可否の判断が難しい」こと。しかし、採用事例が少ないことは全国共通である一方で、メタン発酵施設を採用している自治体もある。

- メタン発酵施設の安定稼働可否の判断が難しいとは、主に誰の意向であるか。また、コンサルタントとしてはメタン発酵施設の安定稼働に対する懸念はあるか。
- 採用事例数以外に、メタン発酵の安定稼働に懸念があるとする実例などを自治体に示された御経験や御知見はお持ちか。
- 安定稼働可否の判断を十分に行える、採用事例数の具体的な基準はあるか。また、どのような情報を、誰から示されれば安定稼働の判断が容易になるか。
- 採用された事例では、採用事例数の少なさや安定稼働可否の判断について、自治体やコンサルタントは懸念されたことはないか。

出席者　最終的には管理者・首長の判断になるところが多い。施設整備基本計画の段階で、庁内委員会もしくは学識者委員会を設ける場合は、有識者判断の後に管理者が判断をされる。

安定稼働という言葉の中に維持管理の 20～30 年間の話もあるが、採用実績が少なく、大規模修繕をされた事例がないことにもなる。小規模施設において、焼却施設が 1 炉構成の場合に、その 1 炉を大規模修繕する際のコストは、DBO 等の運営委託期間には入っていないことが多いので、25 年後・30 年後に何億円の補修費が必要か、その時にごみの外部持ち出しをせずに修理ができるのか、という答えがどこにもない。運営委託契約書には、「事業者の方で対応する」という回答にはなっているが、その実例が今のところまだ無い。某ハイブリッド処理施設でヒアリングをした際にもそのような契約になっていると自治体からは回答を頂けるが、本当に事業者が対応できるかは現時点では不明である。事業者責任でごみの外部持

ち出しをしたとしても、それは元々運営費に含まれているという契約にされていると思われる。そのような不確定要素があることから、将来的な、ごみ処理も含めた大規模修繕にかかる費用が見えておらず、補助金対象にならない運営費もあるので、判断材料としてマイナスの面もあると考えられる。

出席者　一つは下水道放流ができるか否か。液肥を冷却水等で使うと、安定稼働の関係で支障をきたす場合があることは、私共の携わった事例や、ホームページで公開されている事例で確認している。水処理において下水道放流が可能であれば、より安定した稼働が可能であると思われる。

出席者　発注者には長期運営に対する不安があるように感じている。誰の意向か、という点は、最終的な決定は委員会もしくは首長であるが、ごみ処理担当職員が不安を拭えないことも大きい。特に直営であれば未知の領域に踏み込むことに勇気がいる。ただし今後のことを考えると、直営は減り、長期包括運営委託やDBO等に代わっていっているので、メリットがあるならば採用もでてくると思われる。また、脱炭素を考えると、不安要素よりも意識が上回れば、不採用の理由にはならないように思われる。ごみ処理施設が検討から 10 年かかるので、今から検討する施設は 10 年後のことを考える必要がある。直近は、自治体職員は脱炭素のために新しい技術について、以前より積極的な印象であり、現状は採用事例が少ないことに不安があるが、今後は変わっていく可能性がある。

事務局　コンサルタントとしての懸念については、自治体の持つ不安と同じであると思っている。

出席者　新技術に対する不安は残っている。RDF、ガス化溶融炉等、国が推し進めていたものが淘汰されて、ストーカ方式が主流になっている。そのような状況を見てきたコンサルタントとしては、例えば政令指定都市のような数百 t/日規模の施設に新技術を設け、万が一トラブルが起きたときに、外部委託が難しい自治体もある。積極的に検討するのは小規模施設になるが、そこにおける安定稼働については、先程から話のあった長期的な点が大きいと思われる。町田市・鹿児島市はどのようなインセンティブを持って導入されたのか伺いたい。

⇒事務局　鹿児島市は弊社が計画策定支援をしたが、自分は担当者ではないため詳細を把握できていない。他の事例ではあるが、実績・安定稼働以外にも比較項目を設け、星取表の形式で検討したことはある。また、発注者が何に重点を置いているかも採用・不採用の判断に繋がる。

出席者　ハイブリッド方式を採用されている自治体にアンケート調査を実施したことがある。アンケートの結果、メーカーは異なるがトラブルが同一箇所で確認されている。技術的な問題をクリアできるかが、ポイントになる。我々の調査では、初号機はどうしてもトラブルがあり、経験を有するメーカーが数年前にクリアした課

題を、後から実績を作った別のメーカーに同様の課題がおきていることがあった。複数のメーカーが複数の納入実績を有し、技術的な課題がクリアになった時に、安定稼働がみえてくるのではないかと考えられる。

⇒環境省　同じところでトラブルが起きているとあるが、具体的にどのような点であるが。

⇒出席者　発酵槽の出口側でトラブルが起きているという話はよく聞く。

⇒環境省　連続稼働による支障であるか。

⇒出席者　清掃を行うことで、致命傷は避けられている。複数の施設で聞く話なので、技術的にネックになっていると思われる。

⇒出席者　発酵槽出口においてトラブルが発生している問題については、基本的にごみ質との相性が大きいとみている。欧州で採用されているメタン発酵槽においてもごみ質とのマッチングでトラブルが起きている。設定するごみ質との相性や設計の在り方について慎重に検討することが不可欠であり、必ずしも構造的な欠陥ではないので、対応方法はあると考えている。

⇒環境省　結果としてトラブルが発生するのは発酵槽出口であるが、要因としてはごみ質の影響が大きいという認識でよいか。

⇒出席者　仰るとおりで、更に言えば上流側での分別等で、相性のセッティングをすることが一つの方法である。

⇒事務局　市民に分別してもらうのか、施設で前処理による選別を行うのかも関係があると考えられる。

出席者　採用事例数の具体的な基準に関しては、今メタン発酵施設の導入を頑張っても、当分はストーカ方式が主流であることは変わらないだろうと考えられる。何件実績があれば安心というわけではなく相対比較になるので、昭和から数百件導入実績のあるものと新技術を比べると、安心感は中々得られ難い。実績数以外に、経済的なインセンティブや脱炭素などの優位性から導入を促進する必要があると考えられる。

事務局　大規模修繕事例がないこと、長期運営への不安、発酵槽出口への懸念事項等について意見を頂いたが、これらはハイブリッド方式における乾式メタン発酵方式が前提であるという認識でよいか。また、湿式メタン発酵方式についても乾式と同様の課題があるのか、もしくは別とみてよいか。

⇒出席者　発酵槽出口に関しては、湿式メタン発酵方式では問題ない。

事務局　施設整備基本計画等で処理方式を選定する際にメタン発酵施設が残るのは、可燃ごみ処理の観点からハイブリッド方式が多く、その場合の懸念事項として、今まで御教示いただいたことが例として挙げられるという認識でよいか。

⇒事務局　ハイブリッド方式で検討される場合は乾式メタン発酵方式が前提であるため、その解釈でよいと考える。

（異論なし）

④「敷地の都合により不採用」とする多くの場合は、「メタン発酵施設単体整備」よりも、「焼却施設・メタン発酵施設の併設」が主であるという理解でよいか。また、敷地の都合には具体的にどのような内容があるか。

事務局　敷地の都合により不採用とする場合は、「焼却施設・メタン発酵施設の併設」が主であると理解している。例えば現有施設敷地内での建替え時は、焼却施設のみしか想定できない。また先程の話にあった、メタン発酵施設建設により2割程面積が必要ということも影響していると思われる。

⑤「生ごみの分別」について、実情としてどの程度検討されるものであるか。（「生ごみ分別」＝「不可」という結論ありきの傾向になっていないか。）

出席者　生ごみの分別不可ありきというわけでもなく、分別しなくても前処理選別設備がある。生ごみを分別すれば効率的ではあるが、分別をすると生ごみ専用のピットを設ける等の別の課題がある。ある事例では、プラスチック類の専用ごみ袋やその分別収集費及び専用処理業者への委託費縮減と将来的な可燃ごみ量の減少予測から、プラスチック類の混焼を検討していた。そんな中ハイブリッド方式も俎上にのったが、プラスチック類の分別収集を廃止したにもかかわらず、機械選別で可燃ごみ中のプラスチック類の選別が必要になることに疑義が生じ、最終的にはストーカ方式の焼却施設単体整備を採用することとなった。ごみ処理経費全体の観点から議論し、処理方式が決まっている自治体もある。

出席者　ハイブリッド方式は別とした場合ではあるが、メタン発酵施設のみでみれば生ごみ分別が必要であり、不採用とする話が多い。
⇒事務局　今のお話は湿式メタン発酵方式との理解でよいか。
⇒出席者　メタン発酵施設単体でみると、湿式を想定している。
⇒事務局　承知した。乾式メタン発酵方式は市民に分別してもらう必要が無いことを売りにされている。

⑥「参加可能な事業者が限られる」ことについて、実際、何社程度の参加になる見込みであるか。（乾式・湿式それぞれで。）また、焼却施設単体整備でも、最終的な参加事業数が限られていることもあるが、競争性を働かせる工夫はありえないか。

事務局　乾式メタン発酵方式の場合は、（ハイブリッド方式に）自社で対応可能なのが３社、他の焼却施設メーカーと組める１社の計４社と認識している。
⇒出席者　乾式メタン発酵方式において、ボイラタービン発電が付く規模の施設と、水噴霧の中小規模施設では事業条件が異なり、大体２社程度の参加になる感覚がある。湿式メタン発酵方式は、１，２年前のヒアリング結果では意欲のある所はあり、最終的な参加数は３、４社になる感覚がある。
⇒事務局　最終的な参加者数は１，２社が多い印象。湿式メタン発酵方式に対応できるメーカー数はどの程度であるか。

⇒出席者　対応可能なメーカーは７，８社あると思われる。

⑦ 以上のほか、重要と思われる不採用要因・課題と対応方策はあるか。（①～⑥に関連した議論を含む）

環境省　焼却施設単体で発電可能な大規模施設では、ハイブリッド方式のメリットが薄れ、焼却施設単体で発電ができない規模の施設では、メタン発酵施設導入の効果があることについて、ディスカッションに参加したコンサルタントにおける共通認識という理解でよいか。

⇒事務局　検討するというよりも、採用になるか否かという質問でよろしいか。

⇒環境省　そのとおり。

⇒出席者　概ねご認識のとおりと思われる。ただし去年・一昨年頃まではその傾向であったが、現時点では、パリ協定以降に脱温暖化への流れが加速する中で、潮目が変わってきていると感じている。自治体の方も脱温暖化は必要不可欠で、何ができるか考え始めている。その中で次の一手を本気で考えている方が多い。それに応えられる検討するためのノウハウを、コンサルタントは持つべきと思う。確認された内容について、今後もその傾向にあると考えてよいかは、慎重にみられたほうがよいと思う。

⇒出席者　自治体において脱炭素に対する機運は上がってきているが、実際に検討されている部局は行政改革推進本部や、ごみを主体としていない部局が、主体的に再エネ交付金等の検討をされている。我々の業務は施設の老朽化から来ており、私の肌感覚としては、自治体の上層部では脱炭素を検討していても、施設建替えの現場においては脱炭素の機運はもう一歩、二歩といったところという印象を受けている。

⇒事務局　最終的には費用の要素が自治体判断において大きく、先ほど意見が出たような次の一手に関連して、環境省様の施策に何かつながらないかと考えている。

環境省　プラスチック資源循環促進法に関連して、プラスチック類の分別が交付要件化したため、ごみ質が変わってくる可能性が高い。ごみの発熱量の観点から、含水率の高い有機性廃棄物を分別する方がよい、という波及もあり得るのでは、と考えている。そのようなことが効果的か、結局コストに影響するのか、御意見をいただきたい。

⇒出席者　ごみ質は今後影響すると考えている。脱炭素に向けて動いてきていることの追い風になるとは思われる。一方でごみ質がどの程度下がるかにより 100t/日未満の施設においてもハイブリッド方式が効果をもたらすかは、今時点では明確ではない。またメーカーの見解も収集できていないので、今後明確にしていく必要があると考えている。

⇒事務局　現有の焼却施設が稼働している状況でプラスチックの分別を始めたときにどのような影響があるか、交付要件がどうなっていくかは気になるところである。基幹的設備改良工事実施時にはプラスチック類の分別が要件になっており、施設側への影響や分別、選別施設について検討が必要になることが課題と考えている。DBO、

PFI 方式により、運営委託期間中に運営条件を変更することの難しさもあると思われる。

b) 議題２：メタン発酵施設導入未検討の理由と、検討促進に向けた対応方策案について

① 最近の傾向としては、メタン発酵施設導入を検討しないことはあるか。

事務局　最近は、仕様書の記載有無に係わらず、メタン発酵施設の導入を検討する傾向にある。ヒアリング調査票での質問では過去 10 年程度の事例を対象としていたため、５～６年よりもさらに前、10 年前であれば検討されない事例もあったと思われる。

出席者　最近の傾向としては、導入検討の深さは別として、施設整備基本構想で触れる程度も含めて検討されている。一方で意思決定の選択肢からは除外をしないが、初回打合せでストーカ方式を要望される自治体も一定数あるように思われる。その理由として、既設がストーカ方式であり、処理の安心感からそのような意見を出されている。自治体からそのような意見が出されれば、コンサルタントとしてはメタン発酵施設の積極的な導入までは踏み込まない。一方で交付金のメニューとしてある処理方式なので、定性的な議論で除外したという形をとるような提案をする。

⇒事務局　ストーカ方式処理の安心感について、既存施設が直営であればその傾向はあるように思われる。

② メタン発酵施設の導入を形式的に検討しないことについて自治体（職員、首長等）の認識・意向が検討の実質性や採用可能性に大きく影響することが多いと考えてよいか。

③ 自治体職員・首長が、メタン発酵施設導入を意思決定の選択肢から除外する主な理由は何か。その理由は何に基づいて認識されていると考えられるか。また、逆に自治体職員・首長が積極的にメタン発酵施設導入検討を推進される場合は、その理由は何か。

④ その他、メタン発酵施設導入未検討の理由と、検討促進に向けた対応方策案に係る内容について

出席者　②については、自治体の認識・意向の影響が大きいと考えられる。③については、自治体職員や議員は視察に行かれて、見られた施設が好印象であれば検討し、逆に視察した施設がたまたま上手くいってなければ、トラブルの発生を懸念される傾向にある。どこに視察に行かれるかも影響がありそうである。全ての自治体にあてはまるわけではなく、あくまで参考までに。

出席者　最近、視察に行った際は好印象であったが、コストが高く除外されたことがある。50t/日前後の施設においてもコストで採算が合わず除外されたことがある。一方、推進されている所は、脱炭素がメタン発酵施設導入のインセンティブに働いている。

出席者　ストーカ方式を決めた後に、議会からメタン発酵施設導入検討について意見を出

されることはある。後からメタン発酵施設、ハイブリッド方式を導入しなかった理由を求められることがある。収集運搬、分別、ごみ処理、最終処分まで、どのバウンダリーで考えるかにもよるが、定量的に、焼却施設単体よりも $CO_2$ 排出量が少なくなることを示せる資料が無いかメーカーに尋ねても、ハイブリッド処理の技術を有するメーカーであっても $CO_2$ 削減の定量化が難しいと回答される。感覚的には脱炭素を売りにしているが、そのような資料を一旦提示すると引っ込みがつかなくなるので、メーカーとしては焼却施設単体とハイブリッド方式の比較を定量化した資料は作成されていない。可能であれば環境省から、施設規模別に焼却施設単体とハイブリッド方式の $CO_2$ 削減率を比較した資料があれば望ましい。ごみ質について、交付要件により製品プラスチック、容器包装プラスチックの分別が前提になってくるのであれば、今の可燃ごみ、可燃性粗大ごみに製品プラスチックがどの程度含まれており、将来的に含まれなくなった場合、5 年後、10 年後、20 年後に種別、発熱量、有機分がどのように変化し、向こう 30 年を見据えればハイブリッド方式の方が適したシステムになるというような基本資料があれば望ましい。今後のリサイクル施設整備における処理ラインやスペースの設計において参考になる。

⇒事務局　ごみ質は、全国一律の比率提示は難しいと思われる。分別の区分や分別の協力率が影響するため、自治体ごとにごみ組成調査が必要と考えるが、ごみ組成調査結果がない自治体に対しては何か目安あればよいと思う。

⇒出席者　検討されている自治体に対して、ごみ質調査について提案することあるが、コストと手間から調査不可というところがある。

c) その他

事務局　当社では、文献調査においてエネルギー回収型廃棄物処理施設整備マニュアルによる交付要件等の確認や、メーカーヒアリング結果をよく使用する。文献調査により使用頻度の高い資料や、整理されることが望ましい資料があればご教示いただきたい。

⇒出席者　実績数から安定稼働の判断をする際は、メーカーから独自に得た実績数のデータベースを整理する。$CO_2$ 排出量の評価では各種マニュアル等を使用する。不足しているものとしては、メタン発酵施設に限らないが、公にされているデータベースが限られている。また、施設規模に対してのエネルギー回収等のメリットや、ごみ質の変化によりどの部分に影響するのか等の文献がないため、メーカーヒアリングなしでその辺りを評価できるかが不安である。

出席者　廃棄物の適正処理と温暖化対策・脱炭素化の接点について、先進的な都市ではどのような結びつきで議論されているか。従来は適正処理・安定処理の指標の中で計画を作成してきたが、脱炭素化は二律背反になりかねず、そこをどのように埋めるか悩んでおり、その延長にメタン発酵施設の課題があるように考えているため、質問をさせていただいた次第である。

⇒出席者　自治体において、脱炭素とごみ処理は別部署により検討されているが、先進的なところでは両者が密接に関与し、脱炭素側からごみ処理側にトップダウン的に活動されているように感じている。コンサルタントとして提案するというよりは、自治体のトップダウンの意見により、ごみ処理側が動きつつあると感じている。

⇒事務局　関東の温室効果ガス削減に関心の高い政令指定都市において、同様の話を聞いたことがある。

事務局　コンサルタント各社がデータベースを独自に有しているであろうことに関連して、環境省の一般廃棄物処理実態調査結果では検討に足りない事項はあるか御教示いただきたい。

⇒出席者　一般廃棄物処理実態調査結果もデータベースとして活用しているが、ただし実績はどうしても１年遅れになり、また自治体からは事業費確認の要望があることから、メーカーの各年度の整備状況を確認する必要がある。

⇒環境省　メーカーごとの実績というのは、自治体だけではなく、メーカーごとの整備実績も確認されているという理解でよいか。

⇒出席者　新聞や交付金交付状況から工事についてはわかるが、事業費等については整備をされたメーカーに確認する。大手のメーカーであれば他社メーカーの事例を我々よりも細かく把握されており、メーカー数社から確認させていただいている。

出席者　事業費に関して、環境省ホームページ（循環型社会形成推進交付金サイトのＱ＆Ａ・各種マニュアル等）に平成 23 年度時点の実績（廃棄物処理施設の入札・契約データベース（熱回収施設、し尿処理施設・汚泥再生処理センター））が公表されているが、２年に１回程度の頻度でも更新していただけると参考になる。また、当該データは、粗大ごみ処理施設やリサイクル施設が併設になっていると合計の事業費になるので、焼却施設やリサイクル施設ごとの費用がわかれば望ましい。実態として予定価格を検討するときは、表向きは合計金額が提示され、施設ごとの費用を公にすることは難しいと思われる。アップデートと施設ごとの内訳があれば、ありがたい。

出席者　自治体からは予定価格に対する落札率の情報を求められることがあり、メーカーヒアリングをもとに、焼却施設単体整備や、ハイブリッド方式の事例整理をしている。ハイブリッド方式は事例が少なく落札率が高いため、焼却施設単体の方が有利に見えている。

ごみ質の調査マニュアルについて、環整 95 号は焼却対象の可燃ごみを対象にしており、メーカーヒアリングではより細かいデータ（水分率、炭素率等、VS（有機物濃度）等）を求められる場合がある。メタン発酵施設検討のごみ質指標になるデータを、自治体は中々持っていない。メタン発酵施設整備も念頭においたごみ質調査マニュアルを整理していただけると、有意義であると思われる。

### (2) メタン発酵施設を導入した自治体及び民間企業へのヒアリング調査

#### 1) 調査の目的

廃棄物分野の脱炭素化のため、より一層のメタン発酵施設導入促進に向けて、先進的なメタン発酵施設導入事例の情報整理を目的として、メタン発酵施設を導入されている自治体及び民間企業にヒアリング調査（以下、II 1.4 (2) において「本調査」という。）を行うこととした。

#### 2) 調査の概要

##### (a) ヒアリング対象

ヒアリング対象は、最近メタン発酵施設を竣工し、環境省ウェブサイト「メタンガス化施設の導入事例等」に掲載されていない事例を対象とした。

表 II-8 ヒアリング対象

| 自治体／民間企業 | 自治体名・民間企業名 | メタン発酵施設規模 | 稼働開始年月 |
|---|---|---|---|
| 自治体 | 町田市 | 50t/日 | 令和4年1月 |
| | 豊橋市 | 531t/日 | 平成29年10月 |
| | 宮津与謝環境組合 | 20.6t/日 | 令和2年7月 |
| | 京都市 | 60t/日 | 令和元年10月 |
| | みやま市 | 130t/日 | 平成30年12月 |
| | 鹿児島市 | 60t/日 | 令和4年1月 |
| 民間企業 | オリックス資源循環㈱ | 100t/日 | 令和4年4月 |
| | ㈱Jバイオフードリサイクル | 120t/日 | 平成30年8月 |
| | 大栄環境㈱ | 320t/日 | 令和4年11月 |
| | ㈱富士クリーン | 73.08t/日 | 令和元年6月 |

##### (b) 調査方法

メタン発酵施設に係る基礎的な情報（施設規模、処理方式等）、メタン発酵施設の建設運転における取組のポイント等を質問として設け、各所の回答を整理した。ヒアリング調査票の送付及び回収はメールにより行った。

##### (c) 調査実施期間

本調査の実施期間を以下に示す。

令和 5 年 1 月 20 日（金）　：各所にヒアリング調査票送付
令和 5 年 2 月 20 日（月）　：ヒアリング調査回答の締切
令和 5 年 3 月 2 日（木）　：各所に追加ヒアリング調査票送付
令和 5 年 3 月 15 日（水）　：追加ヒアリング調査回答の締切

(d) ヒアリング調査結果

ヒアリング調査結果を以下に示す。

表 II-9　ヒアリング結果（自治体①）

| 項目 | 町田市 | 豊橋市 | 宮津与謝環境組合 |
|---|---|---|---|
| 人口※1 | 約42万人 | 約37万人 | 約4万人 |
| 稼働開始年月 | 令和4年1月 | 平成29年10月 | 令和2年7月 |
| メタン発酵施設処理能力 | 50t/日 | 531t/日 | 20.6t/日 |
| メタン発酵施設処理方式 | 高温乾式 | 中温湿式 | 高温乾式 |
| メタン発酵処理対象ごみの収集方式 | 混合収集<br>燃やせるごみ | 分別収集<br>生ごみ | 混合収集<br>可燃ごみ |
| 発電能力 | 250kW×3機 | 1,000kW×１機 | 90kW×3機 |
| 採用したメタン発酵システム | 乾式メタンコンバインドシステム | 湿式メタンシステム | 乾式メタンコンバインドシステム |
| メタン発酵施設年間処理量※1 | 14,046t/年<br>※令和4年1月から11月までの実績 | 68,409t/年 | 5,973.9t/年 |
| 事業系一般廃棄物年間処理量 | ― | 2,981t/年<br>（厨芥類2,981t/年） | ― |
| 生活系一般廃棄物年間処理量 | ― | 65,428t/年<br>（厨芥類13,563t/年、し尿1,442t/年、浄化槽汚泥50,423t/年） | 5,973.9t/年 |
| 事業系一般廃棄物の禁忌品 | （事業系一般廃棄物で受け入れる品目を下記のとおりに限定しており、禁忌品の定義はない。）<br>資源化できない紙類・生ごみ・木くず・繊維くず（化学繊維を除く）<br>資源化できない剪定枝・畳（プラスチック入りを除く）・ふとん | 石、ブロック、木くず、布類、紙類、陶器、金属等<br>毒物・劇物、殺虫・除草剤、薬品、たばこ等 | ― |
| 禁忌品の指定理由 | ― | 物理的な影響を及ぼすおそれがあるもの、生物処理上影響を及ぼすおそれのあるものを禁忌品に指定 | ― |
| 禁忌品投入防止の工夫 | ― | パンフレットやチラシで分別の協力を御願い | ― |
| 生活系一般廃棄物の禁忌品 | 有害性のあるもの（例：農薬、化学薬品、カーバッテリー）<br>危険性のあるもの（例：消火器、鍼灸の鍼、感染性のおそれのある在宅医療廃棄物）<br>引火性のあるもの（例：ガスボンベ、ガソリン、軽油、灯油、火薬類）<br>著しく悪臭を発するもの（例：汚泥）<br>家庭ごみの処理を著しく困難にし、又は家庭ごみの処理施設の機能に支障が生ずるもの（例：建築廃材、自動車、耐火金庫、タイヤ、ピアノ、ボウリングの球） | くすり、ガム、たばこ、食用油、切り花・雑草等 | 衣類、糸くず |
| 禁忌品の指定理由 | 町田市廃棄物の処理及び再利用の促進に関する条例第35条 | 物理的な影響を及ぼすおそれがあるもの、生物処理上影響を及ぼすおそれのあるものを禁忌品に指定。 | 破砕選別装置に巻き付くため、衣類及び糸くずは不燃ごみに分別 |
| 禁忌品投入防止の工夫 | 資源とごみの収集カレンダー（全戸配布）や出し方ガイド（主に転入者に配布）によるお知らせ、ホームページでの注意喚起等を実施。<br>また、小型充電式電池による火災があったため、令和4年7月から小型充電式電池の行政回収を開始 | パンフレットやチラシで分別の協力を御願い | 禁忌品である衣類や糸くずについて、構成市町の分別を「燃えるごみ」から「燃やさないごみ」に変更。各市町の分別辞典や広報、住民説明会等で啓発を実施 |
| 年間発電量※1 | 5,412,622kWh/年<br>※令和4年1月から12月までの実績 | 7,537,034kWh/年 | 1,761,366kWh/年 |
| 年間液肥・堆肥利用量※1 | ― | ― | ― |
| 既存のごみ処理方式 | 焼却処理 | 焼却処理 | 焼却処理 |
| 適切な維持管理のために設計・建設段階で配慮する点 | 種汚泥の確保。東京都から「産業廃棄物に該当する」との指導を受け、調整に時間を要した。 | 施設の点検・整備を考慮して、施設の計画・設計を行うべきと考える。 | 処理するごみ質や地域性にもよるが、破砕機や発電機の各部品がオーダーメイドであるため、故障してからの復旧に時間がかかる。あらかじめスペア部品の確保を念頭に置くことが重要。 |
| 取組の道のり | 平成18年度～平成20年度：ごみゼロ市民会議で町田市のごみ処理について議論<br>平成21年度～平成22年度：町田市廃棄物減量等推進審議会で町田市におけるごみの資源化や減量について基本的な方向性を議論<br>平成23年度：町田市一般廃棄物資源化基本計画策定「肥料としての資源化に適さない生ごみを集めてバイオガス化」<br>平成23年度～平成24年度：町田市資源循環型施設整備基本計画検討委員会で資源循環型施設（熱回収施設・資源ごみ処理施設）整備について議論<br>平成25年度：町田市資源循環型施設整備基本計画策定<br>平成25年度～令和3年度：町田リサイクル文化センター周辺地区連絡会にて周辺近隣住民と新しいごみ処理施設について協議 | 平成22年11月：国土交通省「新たなPPP/PFI事業」の提案募集に民間事業者からの提案に基づき応募<br>平成23年8月：国土交通省「先導的官民連携支援事業」に採択<br>平成24年3月：先導的官民連携支援事業調査完了<br>平成25年11月：事業実施方針等の公表<br>平成26年4月：募集要項等の公表<br>平成26年10月：優先交渉権者及び次点交渉権者の決定 | 平成25年度：組合設立、処理方式の検討を開始<br>平成26年度：処理方式を乾式メタンコンバインドシステムに決定<br>平成26年度：公募型プロポーザル方式により事業者を募<br>平成27年度：DBO事業者との交渉<br>平成28年度：DBO事業者と契約<br>平成28年度：ごみ処理施設本体工事を開始 |

| 項目 | 町田市 | | 豊橋市 | | 宮津与謝環境組合 | |
|---|---|---|---|---|---|---|
| | 平成27年度～平成28年度 | 町田市熱回収施設等事業者候補者選考委員会にて事業者の選考等に関する審議・審査 | 平成26年12月 | PFI事業契約の締結、設計着手 | 令和2年度 | ごみ処理施設の竣工、稼働開始 |
| | 令和3年度 | 町田市バイオエネルギーセンター供用開始 | 平成29年5月 | 試験運転開始 | | |
| | | | 平成29年10月 | 供用開始、維持管理・運営開始（20年間） | | |
| 取組のポイント | ・導入決定の決め手は、生活系可燃ごみの4割を占める生ごみの100%資源化の推進のため、バイオガス化施設を町田市一般廃棄物資源化基本計画に位置付けたことにある。<br>・導入にあたっての課題は、敷地面積が必要、高温乾式の技術をもつ事業者が限られていることがある。<br>・町田市では「生ごみ」を分別回収せず、「可燃ごみ」をバイオガス化することとしたため、紙などからもガスが得られる乾式を選定した。 | | ・汚泥処理施設の老朽化に伴い次の処理方法を検討している中、民間事業者から提案を受け導入した。<br>・汚泥を湿式にて発酵させる際に、生ごみと混ぜることで、効率よくバイオガスを発生させることができる。<br>・生ごみ収集にあたっては、地域の住民の協力が不可欠である。 | | ・導入の決め手は、売電収入による維持管理費の縮減効果、温室効果ガス削減効果、循環型社会形成促進交付金の交付率（エネルギー回収型廃棄物処理施設）<br>・単純焼却に比して建設費及び維持管理費がかさむことに対して、交付金や売電収入による費用縮減の説明は必要である。<br>・紙類等、固形状廃棄物の分解及び発酵の優位性から乾式を選定<br>・メタン発酵施設の安定稼働、効率化における運転上の工夫として、大型連休で廃棄物搬入量が低下する際は、事前にごみ供給量を調整し、ごみ枯れによる発電量低下を防いでいる。 | |

※1 令和３年度実績。なお、令和３年度実績ではない場合は、各回答に該当年度を記載

表 II-10　ヒアリング結果（自治体②）

| 項目 | 京都市 | みやま市 | 鹿児島市 |
|---|---|---|---|
| 人口※1 | 約145万人 | 約3.5万人 | 約59万人 |
| 稼働開始年月 | 令和元年10月 | 平成30年12月 | 令和4年1月 |
| メタン発酵施設処理能力 | 60t/日 | 130t/日 | 60t/日 |
| メタン発酵施設処理方式 | 高温乾式 | 中温湿式 | 高温乾式 |
| メタン発酵処理対象ごみの収集方式 | 混合収集<br>燃やすごみ | 分別収集<br>生ごみ | 混合収集<br>可燃ごみ |
| 発電能力 | 1,000kW×１機 | 25kW×４機 | － |
| 採用したメタン発酵システム | 乾式メタンコンバインドシステム | 湿式メタンシステム | 乾式メタンコンバインドシステム |
| メタン発酵施設年間処理量※1 | 15,101t/年 | 39,960t/年 | 13,757t/年<br>※令和４年１月から令和４年12月までの実績 |
| 事業系一般廃棄物年間処理量 | － | 414t/年<br>（厨芥類414t/年） | － |
| 生活系一般廃棄物年間処理量 | － | 39,546/年<br>（厨芥類1,257t/年、し尿15,518t/年、浄化槽汚泥22,771t/年） | 13,757t/年<br>（可燃ごみ11,484t/年、脱水汚泥2,273t/年） |
| 事業系一般廃棄物の禁忌品 | 水銀体温計・血圧計・蛍光管（ＬＥＤ除く）・充電式電池（リチウムイオン電池など）・充電式の電化製品・自動車用バッテリー、石油類の入った容器、可燃性粉末（アルミニウム、プラスチック）、プロパンボンベ、カセットボンベ、薬品、スプレー缶、花火、マッチ、ライター | 卵の殻、貝殻、豚骨などの大きい骨、プラスチック類、紙類、木・布類<br>金属類・その他（生花や固形化した油）、もち、酒かす、甲殻類の殻 | － |
| 禁忌品の指定理由 | 有害な物質を含むもの（乾電池、薬品類など）、収集や処理に危険を及ぼす危険のあるもの（リチウムイオン電池、石油類など）、爆発するおそれがあるもの（石油類、可燃性粉末、プロパンボンベなど）であるため。<br>※焼却施設で禁忌品とされているものと同様 | 卵の殻等はカルシウムの再石灰化による管の閉塞要因となるため。生花はスクリューコンベアに絡まるため。もち・酒かすは計器に付着し誤測の原因となるため。それ以外は発酵不可のため | － |
| 禁忌品投入防止の工夫 | 禁忌品のなかでも、特にトラブルの原因となるリチウムイオン電池については、混入を防ぐため、様々な媒体（京都市のホームページ、スマートフォンアプリ、市公式ＳＮＳ、市民しんぶん、ハンドブックなど）を通じて積極的に市民の皆様に啓発を実施している。 | 住民説明会での説明。生ごみに分別してはダメなものを明記したチラシの全戸配布。投入口での手作業による異物除去。投入後は破砕分別装置による機械除去 | － |
| 生活系一般廃棄物の禁忌品 | （事業系一般廃棄物の禁忌品と同じ） | 卵の殻、貝殻、豚骨などの大きい骨、プラスチック類、紙類、木・布類<br>金属類・その他（生花や固形化した油） | 農薬 |
| 禁忌品の指定理由 | － | （事業系一般廃棄物の禁忌品と同じ） | メタン発酵に支障をきたすため。 |
| 禁忌品投入防止の工夫 | － | （事業系一般廃棄物の禁忌品と同じ） | プラットホームでの搬入監視や、破袋検査を実施している。 |
| 年間発電量※1 | 5,458,180kWh/年 | 370,404kWh/年 | － |
| 年間液肥・堆肥利用量※1 | － | 11,403t/年 | － |
| 既存のごみ処理方式 | 焼却処理 | 焼却処理 | 焼却処理 |
| 適切な維持管理のために設計・建設段階で配慮する点 | － | スクリューコンベアやポンプの能力は想定する破砕物処理量以上の能力が必要と感じる。理由は瑕疵担保期間にたくさんチャレンジして動作停止や故障を経験したが、施設の改善ができた一方で、故障の応急処置をする現場作業員が疲弊し、資源化に消極的になった。動作停止の主たる原因はスクリューコンベアのつまり等であったため | ・ ごみ質によってバイオガス量が大きく変わってくるため、設計前のごみ質分析を入念に行うこと。<br>・ 種汚泥を作るための試験は時間がかかることから、受注者と入念に試験方法が妥当かどうか打合せを行い、早い段階で試験を実施すること。<br>・ 近隣での汚泥が種汚泥に適合しない場合を考慮し、種汚泥の入手先を早い段階で探しておくこと。<br>・ 膜精製においては不純物の除去が不十分な場合があり長期間の実負荷試験が必要であることから、引き渡し後でも受注者へ改善要求できる契約をしておくこと。 |
| 取組の道のり | 平成11年度～平成14年度：・バイオガス化技術実証研究ホテルや市場等の生ごみ、剪定枝や紙ごみ等を使用した実証研究を、民間事業者が主体となり京都市との連携により実施<br>平成15年12月：・一般廃棄物処理基本計画策定（京のごみ戦略２１）次期クリーンセンターにバイオガス化施設を併設することを記載<br>平成17年度：・家庭ごみ（都市ごみ）の簡易選別実証実験家庭ごみからバイオガス化の対象となる生ごみ・紙類を簡易に選別する装置を設置し、選別効果を確認する実験を実施。概ね問題なく選別できることを確認<br>平成20年度～平成21年度：・家庭からの生ごみ分別収集実験家庭で発生する生ごみ等を分別し、バイオガス化す | 平成23年度：東日本大震災に伴う原子力発電所の事故により、地域分散型の再生可能エネルギーを求める声の高まりが導入の大きなきっかけとなった。<br>平成24年度：再生可能エネルギー導入可能性調査より、生ごみ・汚泥系メタン発酵発電を利用した資源循環プロジェクトを選定<br>平成25年度：生ごみ・し尿汚泥系メタン発酵発電設備導入可能性調査より、メタン発酵施設の導入効果が高いと判断<br>平成25年度：生ごみ資源化を盛り込んだ市一般廃棄物資源循環基本計画を策定。新焼却施設の処理量に反映 | 平成23年度：バイオガス化施設整備の導入可能性調査<br>平成24年度：バイオガス施設整備基本計画策定<br>平成25年度：循環型社会形成推進地域計画策定<br>平成26年度：新南部清掃工場（ごみ焼却施設・バイオガス施設）整備基本計画策定 |

| 項目 | 京都市 | | みやま市 | | 鹿児島市 | |
|---|---|---|---|---|---|---|
| | | るモデル事業を実施。分別実施率が24%にとどまった。 | | | | |
| | 平成22年3月 | ・一般廃棄物処理基本計画策定（みんなで目指そう！ごみ半減！循環のまち・京都プラン）<br>南部クリーンセンター第二工場へのバイオガス化施設の併設を記載 ※第二工場＝現在の南部クリーンセンター（60t/日、1,000kW）<br>簡易選別実験及び分別収集実験の結果を踏まえ、従来どおりに排出、収集された燃やすごみを機械により生ごみ等とそれ以外の可燃ごみに機械選別し、バイオガス化とごみ発電（焼却）を併用する方式を採用 | 平成25年度 | 大木町の協力のもと以下を実施<br>・生ごみ収集モデル事業<br>一部のエリアで現行の生ごみ分別を市民に実施してもらい、収集業者に回収しもらうパイロット事業。以降４年間実施<br>・液肥散布モデル事業<br>大木町の液肥を頂き、地元農家に液肥による栽培をするパイロット事業。以降5年実施 | 平成27年度 | 各種調査（地盤調査・測量調査、生活環境影響調査、事業手法選定調査、基本設計） |
| | 平成25年度～令和元年度 | ・南部クリーンセンター第二工場建替え整備基本設計及び実施設計、既存施設解体工事、新築工事、プラント試運転 | 平成26年度 | バイオマス産業都市構想策定・認定 | 平成28年度 | 実施方針公表、特定事業選定 |
| | 令和元年<br>9月30日 | 南部クリーンセンター第二工場竣工 | 平成26年度 | 建設候補地を選定 | 平成29年度 | 事業者選定、特定事業契約等 |
| | | | 平成27年度 | バイオマスセンター地元説明、合意 | 平成29年<br>～令和3年度 | 新南部清掃工場（ごみ焼却施設・バイオガス施設）整備工事、設計施工監理 |
| | | | 平成28年度 | 山川南部小廃校（３月）、工事着手 | 令和4年1月 | 供用開始 |
| | | | 平成29年度 | 生ごみ分別説明会 | | |
| | | | 平成30年12月 | バイオマスセンター竣工 | | |
| | | | 令和元年度 | 第７回グッドライフアワード 環境大臣賞 優秀賞受賞 | | |
| | | | 令和3年度 | 第８回ディスカバー農山漁村の宝 奨励賞受賞 | | |
| 取組のポイント | ・エネルギー回収の最大化と温室効果ガスの削減、焼却施設の規模縮小、本市の建設費負担額の削減、売電額の増加などの効果が見込まれること、家庭ごみ（都市ごみ）の簡易選別実証実験において、概ね問題なく選別できることを確認できたこと、家庭から生ごみ分別収集実験において、分別実施率が24%にとどまったこと、こうしたことを踏まえ、焼却施設とメタン発酵施設を併設する方式（機械選別方式）を採用することとした。<br>・課題としてごみの中に混入したリチウムイオンバッテリーが、破砕・破袋装置で圧縮荷重を受けて後段の中間貯槽や、選別残さコンベアで発火する事態が相次いでいる。こうした事態を見越して、竣工当初から、装置内に火炎検知器と消火散水装置を設け、火炎を検知した場合は即座に機器を自動停止し、自動消火を行っている。<br>・メタン発酵方式については、業者提案により決定した。<br>・メタン発酵施設の安定稼働と効率化のため、生ごみなどが比較的多く含まれていると想定されるごみをごみピット内で選り分け、メタン発酵施設に投入する運用を実施している。 | | ・東日本大震災による地域分散型の再生可能エネルギーを求める声の高まりから事業発足となった。事業化した決め手となったのは、バイオマス産業都市構想が九州で初めて認定を受けたこと<br>・施設導入を進める課題としては以下の3つがある。<br>①バイオマスセンターの建設②原料となる生ごみの収集③液肥の利用<br>各課題は以下のとおり解決した。<br>①廃棄物処理施設が老朽化しており、施設の整理と、焼却場に至っては隣接する柳川市と共同の新焼却場を建設し、その費用負担を可燃ごみの投入量に応じて決定することでバイオマスセンターの費用対効果を説明。その他、$CO_2$削減や雇用の創出、循環型農業の推進をもって建設に至った。また、大木町のバイオマスセンターに建設候補地の住民を案内し、臭い等への不安を払しょくできた点も大きかった。<br>②平成25年から4年間、生ごみ収集モデル事業を実施。また平成30年に生ごみ分別説明会と題し、各行政区（自治会）の公民館計200か所に出向き、生ごみ分別について住民説明を実施。<br>③平成25年から大木町の液肥を利用し、液肥散布モデル事業を５年間実施<br>・中温湿式の選定理由は、臭気対策を万全にするため嫌気性発酵であるメタン発酵を選んだため。<br>・施設の安定稼働のためには液肥の安定利用が必須で、そのために農業者、JA、市役所、施設管理事業者兼散布事業者を中心に構成する液肥利用者協議会を発足。そこで液肥の散布計画（散布時期、散布作物、散布量）を決定し、生産量と同等の散布量に調整している。 | | ・本市の第二次環境基本計画においてバイオガス処理施設の整備を検討しており、旧南部清掃工場（焼却施設）の老朽化による建替に合わせて、焼却施設とバイオガス施設を一体整備することとなった。<br>・売ガス先である都市ガス業者へはバイオガスをそのまま供給するのではなく、純度の高いメタンガスへ精製してからガスを供給している。メタンガスに不純物を含まないよう受入条件が設けられているため、二酸化炭素、アンモニア、硫化水素、シロキサン及び水分等を除去するガス精製設備を導入している。条件を満たさなければガス供給を停止するため、ガス発生量と精製設備を常に監視しながらガス供給している<br>・乾式選定の理由は、①湿式と比べて処理できる紙ごみの量が多く、多少の異物混入にも発酵への影響が小さいこと ②湿式と比べて脱水処理水（消化液）は少量のため、水処理が容易であること ③湿式と比べてバイオガス量が多いことである。<br>・事業系と生活系一般廃棄物はごみピットへの投入扉で区別することにより、発酵に適した有機物が多いとされる生活系一般廃棄物をバイオガス処理施設へ投入している。 |

※1 令和 3 年度実績。なお、令和 3 年度実績ではない場合は、各回答に該当年度を記載。

表 II-11　ヒアリング結果（民間企業①）

| 項目 | オリックス資源循環株式会社 | 株式会社Jバイオフードリサイクル | 大栄環境株式会社 |
|---|---|---|---|
| 稼働開始年月 | 令和4年4月 | 平成30年8月 | 令和4年11月 |
| メタン発酵施設処理能力 | 100t/日 | 120t/日 | 320t/日 |
| メタン発酵施設処理方式 | 高温乾式 | 中温湿式 | 中温湿式 |
| 発電能力 | 806kW×2機 | 900kW×2機 | 1,000kW×2機 |
| 採用したメタン発酵システム | 乾式メタンコンバインドシステム | 湿式メタンシステム | 湿式メタンシステム |
| メタン発酵施設年間処理量※1 | （令和４年4月1日営業運転開始、運転開始１年未満であり回答辞退） | 25,193t/年 | 1,095t/年 |
| 産業廃棄物年間処理量 | － | 11,506t/年<br>（動植物性残渣6,624t/年、汚泥2,277t/年、廃酸廃アルカリ2,605t/年） | 1,095t/年<br>（動植物系残渣1,042t/年、汚泥・廃液等53t/年）<br>※令和４年11月から令和5年1月までの実績 |
| 事業系一般廃棄物年間処理量 | － | 13,687t/年<br>（食品廃棄物13,867t/年） | （実績なし） |
| 生活系一般廃棄物年間処理量 | － | － | （実績なし） |
| 産業廃棄物の禁忌品 | ガラスくず・コンクリートくず及び陶磁器くず、金属くず、廃酸、廃アルカリ（食品以外の物）、その他発酵対象物であっても長さ400mmを超える物 | 金属類、卵の殻、食品廃棄物以外のもの | 許可品目外、著しく発酵阻害となる物質 |
| 禁忌品の指定理由 | メタン発酵槽内生物又は前処理設備等に損害・損傷を与える可能性があるため | 設備の破損、操業への障害防止のため | － |
| 禁忌品投入防止の工夫 | 各排出者に啓蒙活動を行う事に加え収集運搬会社にも啓蒙活動を実施。また、排出者が特定出来る禁忌品が発見された場合は返却を実施 | ・禁忌品に記載した卵の殻は少量なら問題ない。大量に受け入れると設備に悪影響を及ぼすため、大量の場合には分別頂く様、排出事業者への協力を仰いでいる。<br>・食品廃棄物以外のものは事業停止に繋がる可能性もあるため禁忌品として呼びかけている。<br>・啓発、運営上の工夫としては、排出事業者や運搬会社に禁忌品のビラの配布、受け入れ時に禁忌品の混入を見つけたら、その写真を添付した不適物混入報告書を該当の排出事業者に送付し、再発防止をお願いしている。再発が止まらない場合、受け入れを停止する。 | － |
| 事業系一般廃棄物の禁忌品 | （産業廃棄物の禁忌品と同じ） | （産業廃棄物の禁忌品と同じ） | （産業廃棄物の禁忌品と同じ） |
| 禁忌品の指定理由 | － | － | － |
| 禁忌品投入防止の工夫 | － | － | － |
| 生活系一般廃棄物の禁忌品 | （産業廃棄物の禁忌品と同じ） | － | （産業廃棄物の禁忌品と同じ） |
| 禁忌品の指定理由 | － | － | － |
| 禁忌品投入防止の工夫 | － | － | － |
| 年間発電量※1 | （令和４年4月1日営業運転開始、運転開始１年未満であり回答辞退） | 9,954,182kWh/年 | （実績なし） |
| 年間液肥・堆肥利用量※1 | － | 236.4t/年<br>※令和4年10月から令和5年1月までの実績 | （実績なし） |
| 既存のごみ処理方式 | 焼却溶融 | 焼却処理・発酵残渣の肥料化 | 堆肥化 |
| 施設運用における自治体との協力 | ごみの分別区分の変更および変更内容の住民への周知。 | ・当施設で発生した発酵残渣の肥料利用に関して、農林水産省の「令和４年度みどりの食料システム戦略推進交付金」に採択されており、神奈川県農業技術センターをはじめ、横浜市農業振興課、農研機構、県内農家のなどと連携して県内の肥料利用促進に努めている。<br>・厚木市は神奈川県自治基盤強化総合補助金を利用し事業系一般廃棄物を当社に越境搬入して頂いている。<br>・鎌倉市は焼却炉をなくしていく方針で事業系ごみに関して排出事業者にリサイクル推進のためJバイオを紹介頂いている。（一部鎌倉市施設の生ごみの搬入実績あり） | － |
| 取組の道のり | 平成27年度　事業企画 | 平成28年3月　法人設立 | 令和元年度　設備建設計画立案・事業計画概要の策定 |
| | 平成28年度　埼玉県への事業立地申込（事業用地は、埼玉県営の工場団地内） | 平成29年3月　事業実施のプレスリリース | 令和元年度　事業計画周知・同意書取得・設置届出 |
| | 平成30年度　埼玉県設置の審査委員会による本事業審査 | 平成29年6月～平成30年7月　工場建設 | 令和2年度　事業計画書提出・事前協議会 |
| | 令和元年度　埼玉県との事業契約（事業用地の賃貸借契約含む）、地域との運営協定締結 | 平成30年8月　産業廃棄物処分業許可取得 | 令和2年度　施設設置工事着工 |
| | 令和2年度　廃棄物処理施設および事業許可、事業建設工事着手 | 平成30年8月　操業開始 | 令和3年度　1月22日　設置許可取得 |
| | 令和3年度　事業施設姿完成、調整・試運転実施 | 平成30年9月　一般廃棄物処分業許可取得 | 令和4年度　9月22日　業許可取得 |
| | 令和4年度　営業運転開始 | 令和元年12月　登録再生利用事業者の認定取得 | 令和4年度　11月1日より設備稼働開始（3月末迄メタン発酵槽の立ち上げ期間） |

| 項目 | オリックス資源循環株式会社 | 株式会社Jバイオフードリサイクル | 大栄環境株式会社 |
|---|---|---|---|
| | | 令和2年4月　廃酸・廃アルカリの処分許可取得<br>令和4年9月　発酵液、発酵残渣を「はまのしずく」「はまのみのり」として肥料登録<br>令和5年4月　ガスエンジン発電機3基目（出力780kW）増設 | 令和5年度　4月～メタン発酵槽の100%負荷開始 |
| 取組のポイント | ・ 焼却施設からの方式変更として本施設を導入する場合、導入前の受入ごみの大幅な変更が不要（なお、リサイクル効率の点からは、導入前に変更（バイオマス（生ごみ、紙ごみ、草木類）と非バイオマス（左記以外のプラスチック類等）を別区分とする。）できるのであればしておくことが望ましい）<br>・ 可燃ごみのリサイクル効率（≠リサイクル率）の向上（性質の異なるバイオマス、非バイオマスの混合処理（焼却）により、バイオマス、非バイオマス各々の性質に応じたリサイクルを適用することによる回収エネルギー等の向上）<br>・ 結果としての$CO_2$排出量の低減 | ・ 導入決定の決め手として、JFEグループとしてプラント設計・建設技術を保有していること、廃棄物処分の技術を保有、施設を運営していること、廃棄物発生量の多い首都圏の横浜に事業用地を確保していたことがある。また、JRグループの方針として、全社的に食品リサイクル率の向上に取り組む意志がある。両グループとも廃棄物処理を生業とする事業会社（J&T環境、JR東日本環境アクセス）を傘下に保有しており、双方の事業活動や得意分野を生かしながら、良好な協力関係のもとでスキーム構築が可能であった。<br>・ 施設導入にあたっての課題と対応策として、廃棄物保管庫を整備して短期間での大量受入や処理量調整が必要な成分のものなど多様な廃棄物を受入できる体制を準備した。そのほかに、様々な性状の廃棄物処理依頼に対応できるよう、設備、操業それぞれの改善を図っている。<br>・ 食品廃棄物だけを扱うメタン発酵施設単独の事業として計画したため、湿式を選択した。<br>・ メタン発酵施設の安定稼働、効率化における運転上の工夫として、多様な廃棄物を受け入れているため、それらの性状について日頃より把握し、処理バランスを制御している。<br>・ 発酵槽の加温にガスエンジンで回収した温水を利用している。また、排水は工場内の排水処理設備で浄化した後で、廃棄物の希釈に使う水として再利用している。<br>・ JFEGrの電力小売り事業者の㈱アーバンエナジーと排出事業者の間で電力の買取契約を結ぶことで、「電力のリサイクルループ」を構築している。また、J&T環境が運用するＥＶパッカー車で廃棄物を収集するサービスも提供している。<br>・ 発酵残渣の肥料利用による「農業のリサイクルループ」の構築を進めている。令和4年9月に発酵液を「はまのしずく」、発酵残渣を「はまのみのり」という名称で肥料登録を行った。現在、補助金も活用しつつ、大学、農業法人等と連携して農地へ液肥の散布試験を行って肥育効果を確認している。今後、農業法人や排出事業者とともにリサイクルループの構築を目指していく。 | ・ 発電の余熱を再利用し、37℃でメタン発酵槽を保温<br>・ 既設水処理施設をリニューアルし、中温湿式メタン発酵方式を採用 |

※1 令和 3 年度実績。なお、令和 3 年度実績ではない場合は、各回答に該当年度を記載

表 II-12　ヒアリング結果（民間企業②）

| 項目 | 株式会社富士クリーン | |
|---|---|---|
| 稼働開始年月 | 令和元年6月 | |
| メタン発酵施設処理能力 | 73.08t/年 | |
| メタン発酵施設処理方式 | 高温乾式 | |
| 発電能力 | 370kW×2機 | |
| 採用したメタン発酵システム | 乾式メタンコンバインドシステム | |
| メタン発酵施設年間処理量※1 | 14,500t/年 | |
| 産業廃棄物年間処理量 | 7,500t/年<br>（紙くず1,500t/年、動植物系残渣2,000t/年、汚泥4,000t/年） | |
| 事業系一般廃棄物年間処理量 | ― | |
| 生活系一般廃棄物年間処理量 | 7,000t/年 | |
| 産業廃棄物の禁忌品 | ― | |
| 禁忌品の指定理由 | ― | |
| 禁忌品投入防止の工夫 | ― | |
| 事業系一般廃棄物の禁忌品 | ― | |
| 禁忌品の指定理由 | ― | |
| 禁忌品投入防止の工夫 | ― | |
| 生活系一般廃棄物の禁忌品 | ― | |
| 禁忌品の指定理由 | ― | |
| 禁忌品投入防止の工夫 | ― | |
| 年間発電量※1 | 2,800,000kWh/年 | |
| 年間液肥・堆肥利用量※1 | ― | |
| 既存のごみ処理方式 | 焼却処理 | |
| 施設運用における自治体との協力 | 当該施設のある自治体から、収集運搬、処分業をはじめとする一般廃棄物処理に関する許可を頂き、本事業を運営している。一方、他自治体からは一般廃棄物の処理業務を受託し、メタン発酵施設での廃棄物処理を行っている。 | |
| 取組の道のり | 平成27年度 | NEDOプロジェクト「地域における混合系バイオマス等による乾式メタン発酵技術を適用したバイオマスエネルギー地域自立システムの事業性評価（FS） |
| | 平成28年度 | NEDOプロジェクト「地域における混合系バイオマス等による乾式メタン発酵技術を適用したバイオマスエネルギー地域自立システムの実証事業」 |
| | 平成29年度 | 実証事業プラント 乾式メタン発酵施設工事開始 |
| | 平成30年度 | 実証事業プラント 乾式メタン発酵施設竣工 |
| | 令和3年度 | NEDOプロジェクト「地域における混合系バイオマス等による乾式メタン発酵技術を適用したバイオマスエネルギー地域自立システムの実証事業」終了 |
| 取組のポイント | ・メタン発酵施設をはじめとするバイオマスエネルギーの導入を推進するためには、持続的かつ経済的に地域自立するシステムが重要である。当社の施設は山間部にあり立地面積が広大でないこと、廃棄物賦存量が多く見込めない地域内において多種多様な廃棄物を受け入れる必要があることなどから縦型乾式メタン発酵施設を採用した。<br>・施設の安定稼働においては、設備の予防保全のためICTの導入、マニュアルの電子化、長納期品の確保など、設備保全の管理をするとともに、メタン発酵プロセスの状況が把握できるよう施設運営を行っている。 | |

※1 令和 3 年度実績。なお、令和 3 年度実績ではない場合は、各回答に該当年度を記載

## 2.「廃棄物処理施設整備計画」の見直し案の作成

### 2.1 検討の流れ

廃棄物処理施設整備計画（以下、「施設整備計画」という。）は、現行の施設整備計画（以下、「現行計画」という。）が平成 30 年 6 月に閣議決定され、計画期間が平成 30 年度～令和 4 年度となっているが、計画期間が終了するため、今回新たに令和５年度～９年度を計画期間とする施設整備計画を策定すべく、本業務において検討を行った。

検討に当たっては、本業務にて設置した「廃棄物・資源循環分野の 2050 年カーボンニュートラル・脱炭素社会の実現に向けた検討会」（以下、「検討会」という。）にて議論を行った。検討会での議事は以下のとおりである。

表 II-13　検討会の各回の議事

| 回 | 日時 | 議事 |
|---|---|---|
| 第1回 | 令和4年<br>9月15日(木) | 議題１：これまでの経緯と、今年度の検討事項について<br>**議題２：次期廃棄物処理施設整備計画の策定について**<br>**（１）現行計画の策定経緯と現状について**<br>**（２）次期計画の策定方針について** |
| 第2回 | 令和4年<br>11月9日(水) | **議題１：廃棄物処理施設整備計画の策定について**<br>**（１）次期計画の骨子案について**<br>**（２）次期計画における目標・指標について**<br>議題２：廃棄物の減量その他その適正な処理に関する施策の総合的かつ計画的な推進を図るための基本的な方針の改定ポイントについて |
| 第3回 | 令和5年<br>2月3日(金) | **議題１：廃棄物処理施設整備計画の策定について**<br>**（１）次期計画の素案について**<br>**（２）次期計画における目標・指標について**<br>議題２：「廃棄物の減量その他その適正な処理に関する施策の総合的かつ計画的な推進を図るための基本的な方針」の変更について |
| 第4回 | 令和5年<br>2月28日(火) | **議題１：廃棄物処理施設整備計画の策定について**<br>**（１）次期計画（案）について**<br>**（２）次期計画における目標・指標について**<br>議題２：「廃棄物の減量その他その適正な処理に関する施策の総合的かつ計画的な推進を図るための基本的な方針」の変更について |

注：太字下線は施設整備計画に関する議事

また、第 44 回中央環境審議会 循環型社会部会においても、「１．基本的理念」「２．廃棄物処理施設整備及び運営の重点的、効果的かつ効率的な実施」のポイントについて議論を行った。

## 2.2 施設整備計画の構成等の変遷

これまでの施設整備計画の構成等の変遷は以下のとおりである。赤字は前回計画からの変更箇所であり、適宜見直しが行われている。

| 平成15（2003）年閣議決定 | 平成20（2008）年閣議決定 | 平成25（2013）年閣議決定 | 平成30（2018）年閣議決定 |
|---|---|---|---|
| 1.廃棄物処理施設の整備に係る計画の改革<br>2.整備計画の実施の前提<br>3.整備計画の活用とその意義 | 前文<br><br>1．基本的理念<br>（1）廃棄物処理の3R化の推進<br><br>（2）地域の自主性と創意工夫を活かした一般廃棄物処理施設の整備 | 前文<br><br>1．基本的理念<br>（1）3Rの推進<br>（2）強靱な一般廃棄物処理システムの確保<br><br>（3）地域の自主性及び創意工夫を活かした一般廃棄物処理施設の整備 | 前文<br><br>1．基本的理念<br>（1）基本原則に基づいた3Rの推進<br>（2）気候変動や災害に対して強靭かつ安全な一般廃棄物処理システムの確保<br>（3）地域の自主性及び創意工夫を活かした一般廃棄物処理施設の整備 |
| 第１章　廃棄物処理施設整備の重点的、効果的かつ効率的な実施<br>1 事業評価の厳格な実施<br>2 技術開発等を通じたコストの縮減<br>3 地域住民等の理解と協力の確保<br>4 事業相互間の連携の確保<br>5 既存の廃棄物処理施設の有効活用、ソフト施策との組合せ<br>6 廃棄物処理施設整備に係る工事の入札及び契約の適正化<br>7 民間資金・能力の活用 | 2．廃棄物処理施設整備の重点的、効果的かつ効率的な実施<br>（1）市町村の一般廃棄物処理システムの３Ｒ化改革<br>（2）地球温暖化防止にも配慮した廃棄物処理施設の整備<br>（3）廃棄物系バイオマスの利活用の推進<br>（4）効率的な事業の実施<br>（5）地域住民等の理解と協力の確保<br>（6）廃棄物処理施設の長寿命化・延命化<br>（7）災害対策<br>（8）廃棄物処理施設整備に係る工事の入札及び契約の適正化 | 2．廃棄物処理施設整備の重点的、効果的かつ効率的な実施<br>（1）市町村の一般廃棄物処理システムを通じた３Ｒの推進<br>（2）地域住民等の理解と協力の確保<br>（3）広域的な視野に立った廃棄物処理システムの改善<br>（4）地球温暖化防止及び省エネルギー・創エネルギーへの取組にも配慮した廃棄物処理施設の整備<br>（5）廃棄物系バイオマスの利活用の推進<br>（6）災害対策の強化<br>（7）廃棄物処理施設整備に係る工事の入札及び契約の適正化 | 2．廃棄物処理施設整備及び運営の重点的、効果的かつ効率的な実施<br>（1）市町村の一般廃棄物処理システムを通じた3Rの推進<br>（2）持続可能な適正処理の確保に向けた安定的・効率的な施設整備及び運営<br>（3）廃棄物処理システムにおける気候変動対策の推進<br>（4）廃棄物系バイオマスの利活用の推進<br>（5）災害対策の強化<br>（6）地域に新たな価値を創出する廃棄物処理施設の整備<br>（7）地域住民等の理解と協力の確保<br>（8）廃棄物処理施設整備に係る工事の入札及び契約の適正化 |
| 第２章　廃棄物処理施設整備事業の実施に関する重点目標及びその達成のため効果的かつ効率的に実施すべき事業の概要 | 3．廃棄物処理施設整備事業の実施に関する重点目標及びその達成のため効果的かつ効率的に実施すべき事業の概要 | 3．廃棄物処理施設整備事業の実施に関する重点目標及びその達成のため効果的かつ効率的に実施すべき事業の概要 | 3．廃棄物処理施設整備事業の実施に関する重点目標及びその達成ため効果的かつ効率的に実施すべき事業の概要 |
| 全体目標：廃棄物等の適正な循環的利用や処分のための施設等を整備し、循環型社会の形成を図る。 | 全体目標：生活環境の保全及び公衆衛生の向上を前提として、廃棄物等の適正な循環的利用や適正な処分のための施設等を整備し、循環型社会の形成を図る。 | 全体目標：生活環境の保全及び公衆衛生の向上を前提として、廃棄物等の適正な循環的利用及び適正な処分のための施設等を整備し、循環型社会の形成の推進を図る。 | 全体目標：生活環境の保全及び公衆衛生の向上を前提として、さらに資源循環及び気候変動対策の観点から、廃棄物等の適正な循環的利用及び適正な処分のための施設等を整備し、循環型社会及び低炭素社会の形成を統合的に推進する。 |
| ■ごみのリサイクル率：21%（2007年度）<br>■ごみ減量処理率：97%（2007年度）<br>■一般廃棄物最終処分場の残余年数：平成14年度の水準（14年分）を維持する。 | ■ごみ総排出量：約5,000万ｔ（2012年度）<br>■ごみのリサイクル率： 25%（2012年度）<br>■ごみ減量処理率：概ね100%（2012年度）<br>■一般廃棄物最終処分場の残余年数：平成19年度の水準（15年分）を維持する。<br>■ごみ焼却施設の総発電能力：約2,500メガワット（2012年度） | ■ごみのリサイクル率： 26%（2017年度）<br>■一般廃棄物最終処分場の残余年数：平成24年度の水準（20年分）を維持する。<br><br>■期間中に整備されたごみ焼却施設の発電効率の平均値：21%（2017年度） | ■ごみのリサイクル率： 27%（2022年度）<br>■一般廃棄物最終処分場の残余年数：平成29年度の水準（20年分）を維持する。<br><br>■期間中に整備されたごみ焼却施設の発電効率の平均値：21%（2022年度）<br>■廃棄物エネルギーを地域を含めた外部に供給している施設割合：46%（2022年度）<br>■浄化槽整備区域内の人口普及率：70%（2022年度）<br>■合併処理浄化槽の基数割合：76%（2022年度）<br>■省エネ型浄化槽の導入による温室効果ガス削減量：12万トン$CO_2$（2022年度）<br>【補助指標】先進的省エネ型浄化槽導入基数<br>家庭用42万基、中・大型18千基（2022年度） |
| ■し尿の衛生処理率：概ね100%（2007年度）<br>■汚水処理人口普及率：86%（2007年度）<br>うち、浄化槽処理人口普及率：11%（2007年度） | ■浄化槽処理人口普及率：12%（2012年度） | ■浄化槽処理人口普及率：12%（2017年度） | |
| ■産業廃棄物の適正な処理を推進する。<br>■負の遺産であるPCB廃棄物の処理を推進する。（注：H28年7月までに完了） | ■産業廃棄物の適正な処理を推進する。<br>■PCB廃棄物の適正な処理を推進する。（注：H28年7月までに完了）<br>■石綿含有廃棄物の適正な処理を推進する。 | ■産業廃棄物の適正な処理を推進する。<br>■PCB廃棄物の適正な処理を推進する。<br>■石綿含有廃棄物の適正な処理を推進する。<br>■水銀含有廃棄物の適正な処理を推進する。 | ■産業廃棄物の適正な処理を推進する。<br>■PCB廃棄物の適正な処理を推進する。<br>■石綿含有廃棄物の適正な処理を推進する。<br>■水銀含有廃棄物の適正な処理を推進する。 |

## 2.3 本文への記載事項の検討

### （1）現行の整備計画策定後の関連政策の動向

現行の整備計画策定後の関連政策の動向について一覧を以下に示す。

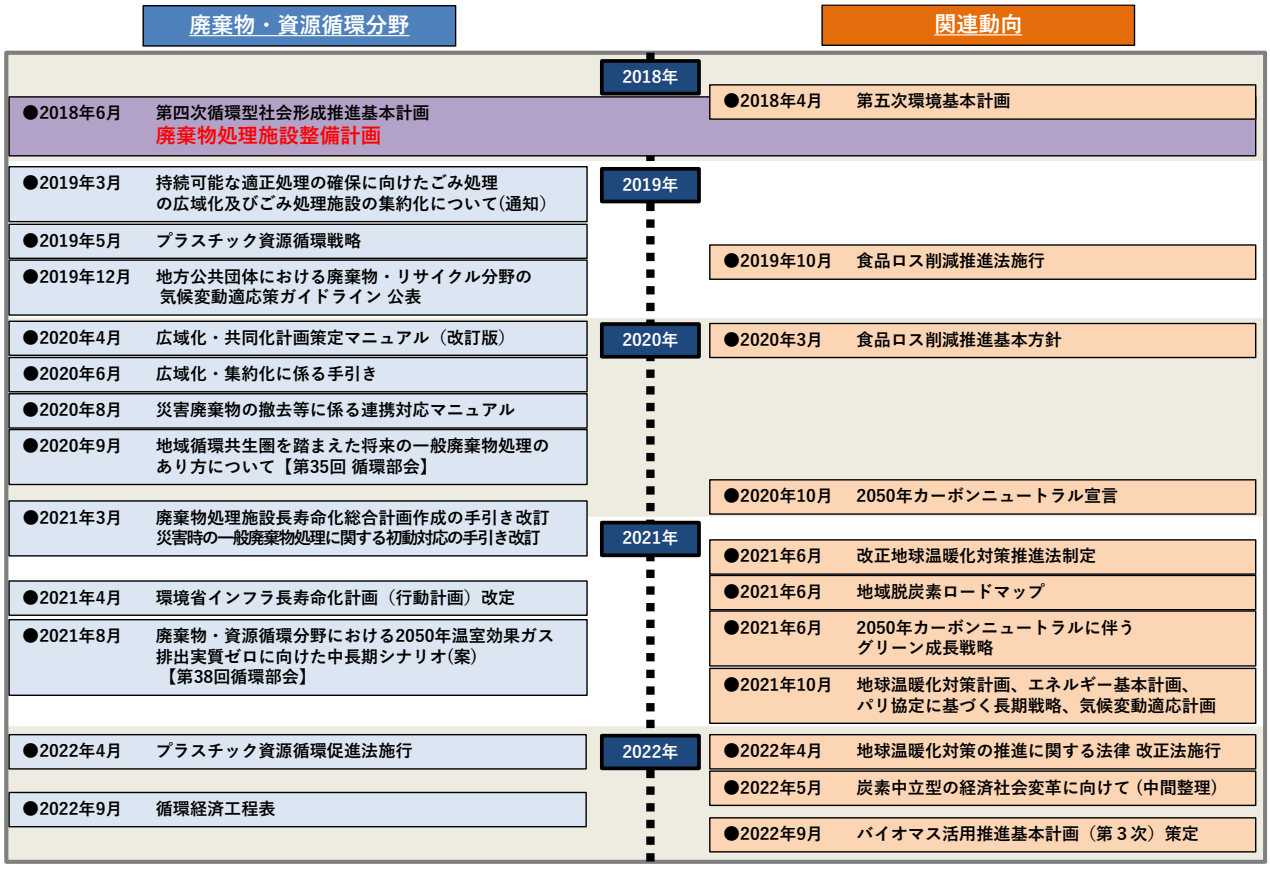



図 II-21　現行の施設整備計画策定後の関連政策の動向（一覧）

また、各計画等の概要を以下に示す。

2018 年

- **第五次環境基本計画（2018 年 4 月）**
  分野横断的な 6 つの「重点戦略」（経済、国土、地域、暮らし、技術、国際）が設定され、「地域循環共生圏」の理念が示された。
- **第四次循環型社会形成推進基本計画（2018 年 6 月）**
  7 つの柱ごとに将来像、取組、指標を設定。柱の一つとして、「多種多様な地域循環共生圏形成による地域活性化」が打ち出された。
- **廃棄物処理施設整備計画（2018 年 6 月）**
  廃棄物の処理及び清掃に関する法律第 5 条の 3 に基づき、5 年ごとに策定されるもので 2018 年度から 2022 年度の 5 ヶ年の計画。従来から取り組んできた 3R・適正処理の推進や気候変動対策、災害対策の強化に加え、地域に新たな価値を創出する廃棄物処理施設の整備について強調された。

2019 年

- **持続可能な適正処理の確保に向けたごみ処理の広域化及びごみ処理施設の集約化について(通知）（2019 年 3 月）**

  持続可能な適正処理の確保に向けた広域化・集約化に係る計画の策定、安定的かつ効率的な廃棄物処理体制の構築の推進を、各都道府県へ求める。

- **プラスチック資源循環戦略（2019 年 5 月）**

  第四次循環型社会形成推進基本計画において策定することが盛り込まれたもの。基本原則として「3R+Renewable」が示された。

- **食品ロス削減推進法施行（2019 年 10 月）**

  多様な主体が連携し、国民運動として食品ロスの削減を推進するために制定。

- **地方公共団体における廃棄物・リサイクル分野の気候変動適応策ガイドライン 公表（2019 年 12 月）**

  地方公共団体が廃棄物・リサイクル分野における気候変動影響への適応策を検討するための実務的手引きとして公表された。

2020 年

- **食品ロス削減推進基本方針（2020 年 3 月）**

  食品ロス削減推進法第 11 条の規定に基づき、基本方針が示され閣議決定された。

- **広域化・共同化計画策定マニュアル（改訂版）（2020 年 4 月）**

  汚水処理の事業運営に係る「広域化・共同化計画」のマニュアルを先行事例を整理し改訂が行われた。

- **広域化・集約化に係る手引き（2020 年 6 月）**

  広域化・集約化の推進に繋がるように、主体となる都道府県及び管内市町村に向けて、**2019 年発出の新規通知の解説を行うとともに、広域化・集約化を進める上で参考となる情報を整理**した。

- **災害廃棄物の撤去等に係る連携対応マニュアル（2020 年 8 月）**

  環境省、防衛省、自治体、ボランティア、NPO 等の関係者の役割分担や、平時の取組、発災時の対応等を整理した連携対応マニュアルを作成した。

- **地域循環共生圏を踏まえた将来の一般廃棄物処理のあり方について（2020 年 9 月）**

  あり方についてとりまとめがなされ、**3R＋Renewable や地域循環共生圏についても基本理念や基本的な考え方にて示された。**

- **2050 年カーボンニュートラル宣言（2020 年 10 月）**

  2050 年カーボンニュートラルの理念が示され、以降、脱炭素化に向けた動きが加速化。

2021 年

- **廃棄物処理施設長寿命化総合計画作成の手引きの改訂（2021 年 3 月）、環境省インフラ長寿命化計画（行動計画）の改定（2021 年 4 月）**

新経済・財政再生計画改革工程表 2020（令和２年 12 月 18 日経済財政諮問会議決定）を踏まえ、環境省インフラ長寿命化計画（行動計画）を改定し、併せて、各自治体が管理する廃棄物処理施設の効率的な長寿命化総合計画の策定と効果的な処理機能維持のための手引きを改訂した。

- **災害時の一般廃棄物処理に関する初動対応の手引きの改訂（2021 年 3 月）**

災害時の初動対応を円滑かつ迅速に実施するため、初動対応時の手順及び平時の事前検討事項を取りまとめた。

- **地域脱炭素ロードマップの策定（2021 年 6 月）**

国・地方脱炭素実現会議において取りまとめられ、重点対策の一つとして「資源循環の高度化を通じた循環経済への移行」が盛り込まれた。

- **2050 年カーボンニュートラルに伴うグリーン成長戦略の策定（2021 年 6 月）**

14 の重要分野（「資源循環関連産業」を含む）ごとに高い目標を掲げた上で現状の課題と今後の取組を明記し、あらゆる政策を盛り込んだ実行計画を策定。

- **廃棄物・資源循環分野における 2050 年温室効果ガス排出実質ゼロに向けた中長期シナリオ（案）の公表（2021 年 8 月）**

廃棄物・資源循環分野の 2050 年 GHG 排出実質ゼロ達成に向け、対象とする GHG 排出の範囲や GHG 削減対策の実施にあたっての基本的な考え方が整理された。

- **地球温暖化対策計画の閣議決定（2021 年 10 月）**

地球温暖化対策として、3R（廃棄物等の発生抑制・循環資源の再使用・再生利用）＋Renewable（バイオマス化・再生材利用等）を始めとするサーキュラーエコノミーへの移行及び循環経済工程表の今後の策定に向けた具体的検討が定められた。

- **パリ協定に基づく長期戦略の閣議決定（2021 年 10 月）**

地域において大幅な温室効果ガス排出削減を実現するには、循環型社会の構築や循環経済への移行が必要である旨が盛り込まれた。

- **気候変動適応計画の閣議決定（2021 年 10 月）**

国民生活・都市生活分野の施策の中では、廃棄物処理における適応策が平時からの備え（強靭化等）と災害時における廃棄物処理の観点から示された。

2022 年

- **プラスチック資源循環促進法施行（2022 年 4 月）**

プラスチックの資源循環の促進等を総合的かつ計画的に推進するため、「プラスチック廃棄物の排出の抑制、再資源化に資する環境配慮設計」、「ワンウェイプラスチックの使用の合理化」、「プラスチック廃棄物の分別収集、自主回収、再資源化」等の基本方針が策定。

- **地球温暖化対策の推進に関する法律 改正法施行（2022 年 4 月）**

2050 年までのカーボンニュートラルの実現を明記

- **中央環境審議会地球環境部会・総合政策部会炭素中立型経済社会変革小委員会（2022 年 5 月 12 日に中間整理公表）**

炭素中立型の経済社会変革に向けて、トータルな環境保全と炭素中立型の経済社会の視点において資源循環を位置づけ。2030 年・2050 年の方向性として、サーキュラーエコノミーの市場規模 2030 年に 80 兆円以上、2050 年までに廃棄物・資源循環分野における炭素中立の達成を提示。

- **循環経済工程表（2022 年 9 月）**

第四次循環基本計画の進捗状況第 2 回点検結果であり、温対計画の記載も踏まえ、点検結果報告書のIII-3 今後の方向性において循環経済工程表として取りまとめられたもの。「おわりに」では、「今後予定している廃棄物処理法に基づく基本方針や廃棄物処理施設整備計画の改定、廃棄物・資源循環分野の脱炭素に向けた実行計画づくりや第五次循環型社会形成推進基本計画を見据えて、本工程表に示した方向性を基礎として、取組の内容やスケジュール等の更なる具体化を図っていくことを強く期待する。」とされた。

さらに、以下に示す各種計画等について、今回の廃棄物処理施設整備計画に関連の深い部分等を抜粋・要約（一部加工）した。整理した結果を別添資料Ⅱ－１に示す。

①【2020/9/8　第 35 回　中央環境審議会循環型社会部会】
「地域循環共生圏を踏まえた将来の一般廃棄物処理のあり方について」
②【2021/8/5　第 38 回　中央環境審議会循環型社会部会】
「廃棄物・資源循環分野における 2050 年温室効果ガス排出実質ゼロに向けた中長期シナリオ(案)」
③【2022/8/25　第 43 回　中央環境審議会循環型社会部会】
「第四次循環型社会形成推進基本計画の進捗状況の第 2 回点検結果（循環経済工程表）」
④【2022/4/1 施行　令和 3 年法律第 60 号】
「プラスチック資源循環促進法」
⑤【2019/3/29　環循適発第 1903293 号】
「持続可能な適正処理の確保に向けたごみ処理の広域化及びごみ処理施設の集約化について(通知)」
⑥【2021/3 改訂または策定】
「廃棄物処理施設長寿命化総合計画作成の手引き」
⑦【2021/10/22 日閣議決定】
「気候変動適応計画」
⑧【2019/12/19　公表】
「地方公共団体における廃棄物・リサイクル分野の気候変動適応策ガイドライン」
⑨ 【2021/3 改訂】
「災害時の一般廃棄物処理に関する初動対応の手引き」
⑩【2022/9 策定】
「バイオマス活用推進基本計画（第 3 次）」
⑪【2022/5　中央環境審議会　中央環境審議会炭素中立型経済社会変革小委員会】
「炭素中立型の経済社会変革に向けて（中間整理）～ 脱炭素で我が国の競争力強化を～」
⑫【2022/9　第 30 回　産業構造審議会総会】
「経済秩序の激動期における経済産業政策の方向性」

### （2）次期計画へ反映すべきポイント

前述の内容を踏まえ、次期計画へ反映すべきポイントを以下のとおり整理した。

- 2050 年カーボンニュートラルにむけた脱炭素化の推進、
  将来的な CCUS 導入に向けた検討、
  生ごみやし尿など地域バイオマス対策等の徹底した取組、
  技術開発の推進による GHG 排出実質ネガティブの可能性、
  他分野の GHG 削減への貢献
- 「資源循環分野からの地域循環共生圏モデル（2050 年に向けたイメージ図）」で示す地域特性を踏まえた廃棄物処理の在り方、
  地域の循環システム基盤、
  多面的価値創出、
  連携先を念頭においた施設整備
- 災害対応の観点も含む持続可能な適正処理の確保、
  人口減少や少子高齢化、
  感染症拡大等の今後の社会動向に伴う廃棄物処理量・質の変化への対応、
  広域化・集約化や施設長寿命化を含む安定的・効率的な廃棄物処理施設整備、
  人材育成を含めた運営体制の強化、
  今後の技術動向にも柔軟に対応できるような施設整備、
  リチウム蓄電池等の排出量が増加している製品の適正処理・資源循環に向けた対応
- 金属系も含めたライフサイクル全体での徹底した資源循環の促進、
  リサイクルの高度化、
  分散型の資源回収拠点ステーション、
  国際情勢の変化への対応
- プラ資源の効果的な分別回収・再資源化、
  ごみ組成の変動への対応、
  3R+Renewable

### （3）施設整備計画（骨子案）の作成

前述の内容を踏まえ、施設整備計画の１．基本的理念～２．廃棄物処理施設整備及び運営の重点的、効果的かつ効率的な実施について、骨子案の作成を行った。

### （4）施設整備計画（案）の作成

前述の内容を踏まえ、前文～２．廃棄物処理施設整備及び運営の重点的、効果的かつ効率的な実施について、施設整備計画（案）の作成を行った。

## 2.4 目標･指標の検討

### （1）現行計画の目標･指標の項目と関連する他計画の指標

現行計画の定量的目標の項目について、ごみ・生活排水についてはその視点と合わせて、関連する他計画等の指標を整理した。ここで、関連する他計画とは、地球温暖化対策計画（表中では「温対計画」という。）、第四次循環型社会形成推進基本計画（表中では「循環基本計画」という。）、廃棄物処理法基本方針とし、廃棄物処理法基本方針については、令和 2 年 3 月 16 日の事務連絡で「令和 2 年度以降につきましては、第四次循環型社会形成推進基本計画等の目標を参考にして施策を進めてまいります。」とされているため、同通知に記載されている第四次循環型社会形成推進基本計画等の指標を記載した。

結果を以下に示す。

**表 II-14　現行計画の定量的目標の項目・視点と、関連する他計画等の指標（ごみ・生活排水）**

| 項目 | 視点 | 同一指標 | 類似指標 |
|---|---|---|---|
| ごみのリサイクル率（一般廃棄物の出口側の循環利用率）（%） | 循環的利用への貢献 | 【循環基本計画】一般廃棄物の出口側の循環利用率　2025 年度目標：28%<br>【廃棄物処理法基本方針】一般廃棄物の再生利用量の割合　2025 年度目標：28% | ― |
| 一般廃棄物最終処分場の残余年数（年） | 最終処分場の残余容量確保による適正処理への貢献 | 【循環基本計画】一般廃棄物最終処分場の残余年数　2022 年度目標：20 年分を維持<br>【廃棄物処理法基本方針】一般廃棄物の最終処分量　2025 年度目標：20 年分を維持 | 【温対計画】廃棄物最終処分量の削減：有機性の一般廃棄物の最終処分量 2025 年度目標：20 千 t、2030 年度 10 千 t |
| 期間中に整備されたごみ焼却施設の発電効率の平均値（%） | 廃棄物発電の導入推進（効率向上）による脱炭素化への貢献 | 【循環基本計画】期間中に整備されたごみ焼却施設の平均発電効率　2022 年度目標：21% | 【温対計画】一般廃棄物焼却施設における廃棄物発電の導入：ごみ処理量当たりの発電電力量　2025 年度目標：321～382kWh/t、2030 年度 359～445kWh/t |
| 廃棄物エネルギーを地域を含めた外部に供給している施設の割合（%） | 外部への余熱利用の推進による新たな価値の創出への貢献 | 【廃棄物処理法基本方針】焼却された一般廃棄物量のうち発電設備を有する焼却施設で処理される一般廃棄物の割合（廃棄物エネルギーを地域を含めた外部供給している施設の割合）　2022 年度目標：46% | ― |
| 浄化槽整備区域内の浄化槽人口普及率（%） | 効率的な汚水処理施設整備の推進 | ― | ― |
| 浄化槽整備区域内の合併処理浄化槽の基数割合（%） | 合併処理浄化槽への転換の推進 | ― | ― |
| 省エネ型浄化槽の導入による $CO_2$ 排出削減量（t-$CO_2$） | 浄化槽由来の GHG 排出削減による脱炭素化への貢献 | 【温対計画】浄化槽の省エネルギー化：2013 年度の低炭素社会対応型浄化槽より消費電力を 26%削減した浄化槽の累積基数　2025 年度目標：63 万基、2030 年度 93 万基 | ― |
| 【補助指標】先進的省エネ型浄化槽導入基数（基） | | 【温対計画】浄化槽の省エネルギー化：中大型浄化槽の省エネ化の累積基数 2025 年度目標：2.2 万基、2030 年度 3.4 万基 | ― |

表 II-15　現行計画の定量的目標の項目・視点と、関連する他計画等の指標（産業廃棄物）

| 項目 | 同一指標 | 類似指標 |
|---|---|---|
| 産業廃棄物の適正な処理を推進する | ― | 【循環基本計画】産業廃棄物の排出量／産業廃棄物の再生利用量の割合／産業廃棄物の最終処分量／産業廃棄物の最終処分場の残余年数<br>【廃棄物処理法基本方針】<br>産業廃棄物の排出量／産業廃棄物の出口側の循環利用率／産業廃棄物の最終処分量／産業廃棄物最終処分場の残余年数 |
| PCB 廃棄物の確実かつ適正な処理を推進する | ― | ― |
| 石綿含有廃棄物の適正な処理を推進する | ― | 【循環基本計画】廃石綿等の処理量（中間処理、最終処分）※定性的指標／廃石綿等の処理施設数（中間処理、最終処分）※定性的指標 |
| 水銀含有廃棄物の適正な処理を推進する | ― | 【循環基本計画】廃水銀等の処理量（中間処理、最終処分）※定性的指標／廃水銀等の処理施設数（中間処理、最終処分）※定性的指標 |

また、地球温暖化対策計画における廃棄物関連指標の項目等について、以下のとおり整理した。

表 II-16　地球温暖化対策計画における廃棄物関連指標の項目等

| 項目 | 具体的な対策 | 指標 | 備考 |
|---|---|---|---|
| 20.廃棄物処理における取組 | プラスチック製容器包装の分別収集･リサイクルの推進 | プラスチック製容器包装廃棄物の分別収集量（万t） | |
| | 一般廃棄物焼却施設における廃棄物発電の導入 | ごみ処理量当たりの発電電力量（kWh/t） | 廃棄物処理施設整備計画に定める目標の達成に向けた取組 |
| | 産業廃棄物焼却施設における廃棄物発電の導入 | 産業廃棄物発電量（GWh） | |
| | 廃棄物処理業における燃料製造･省エネルギー対策の推進 | RPF製造量（千t） | |
| | EVごみ収集車の導入 | EVごみ収集車の導入台数 | |
| 23.高効率な省エネルギー機器の普及(家庭部門)(浄化槽の省エネルギー化) | 浄化槽の省エネルギー化 | 2013年度の低炭素社会対応型浄化槽より消費電力を26%削減した浄化槽の累積基数（万基） | |
| | 浄化槽の省エネルギー化 | 中大型浄化槽の省エネ化の累積基数（万基） | |
| 51.バイオマスプラスチック類の普及 | バイオマスプラスチック類の普及 | バイオマスプラスチック国内出荷量（万t） | |
| 52.廃棄物焼却量の削減 | 廃プラスチックのリサイクルの促進 | 廃プラスチックの焼却量（乾燥ベース（万t） | 廃棄物処理施設整備計画に定める目標の達成に向けた取組 |
| | 廃油のリサイクルの促進 | 廃溶剤のマテリアルリサイクル量（kt） | |
| 54. 廃棄物最終処分量の削減 | 廃棄物最終処分量の削減 | 有機性の一般廃棄物の最終処分量（千t）（乾重量ベース） | 廃棄物処理施設整備計画に定める目標の達成に向けた取組 |
| 55. 廃棄物最終処分場における準好気性埋立構造の採用 | 一般廃棄物最終処分場における準好気性埋立構造の採用 | 準好気性埋立処分量割合（%） | |
| | 産業廃棄物最終処分場における準好気性埋立構造の採用 | 準好気性埋立処分量割合（%） | |
| 57.下水汚泥焼却施設における燃焼の高度化等 | 下水汚泥焼却施設における燃焼の高度化等 | 高温焼却化率（%） | |
| | 下水汚泥焼却施設における燃焼の高度化等 | 新型炉･固形燃料化炉の設置基数（基/年） | |
| 68. 脱炭素型ライフスタイルへの転換 | 家庭における食品ロスの削減 | 家庭からの食品ロス発生量（万トン） | |

さらに、廃棄物処理法基本方針・施設整備計画と関連計画における目標・指標について整理した。

### （2）現行計画の目標達成状況

#### 1) 現行計画の目標値の達成状況

現行計画において目標値が定められているごみ・生活排水の目標・指標について、現時点での達成状況を、2020 年度実績値と 2022 年度目標値とを比較する形で以下に示す。

**表 II-17　現行計画の目標値の達成状況**

| 項目 | 2017 年度<br>実績値 | 2020 年度<br>実績値 | 2022 年度<br>目標値 |
|---|---|---|---|
| ①ごみのリサイクル率 | 20.2% | 20.0% | 27% |
| ②一般廃棄物最終処分場の残余年数 | 21.8 年 | 22.4 年 | 20 年<br>（2017 年度の水準（20 年分）を維持） |
| ③期間中に整備されたごみ焼却施設の発電効率の平均値 | 18.6% | 20.1% | 21%<br>（2018～2022 年度平均） |
| ④廃棄物エネルギーを地域を含めた外部に供給している施設の割合 | 40.2% | 40.9% | 46% |
| ⑤浄化槽整備区域内の浄化槽人口普及率 | 53.6% | 57.7% | 70% |
| ⑥浄化槽整備区域内の合併処理浄化槽の基数割合 | 64.5% | 67.3% | 76% |
| ⑦省エネ型浄化槽の導入による $CO_2$ 排出削減量<br>（補助指標：先進的省エネ型浄化槽導入基数） | 5 万トン $CO_2$<br>（家庭用 19 万基、中・大型 6 千基） | 7 万トン $CO_2$<br>（家庭用 33 万基、中・大型 9 千基） | 12 万トン $CO_2$<br>（家庭用 42 万基、中・大型 18 千基） |

2) 産業廃棄物に係る現行計画の目標に対する現状

産業廃棄物については、現行計画において定性的な目標のみ定められている。目標・事業の概要に対する現状を以下に示す。

表 II-18　目標・事業の概要に対する現状

**⑨産業廃棄物の適正な処理を推進する。**

【事業の概要（抜粋）】
- 廃棄物処理センター等の公共関与による処理施設の維持管理の適正化を支援し、信頼性の高い事業運営を推進

- 2020年度までに、廃棄物処理センター等が管理型最終処分場を整備する5事業に対して支援することで、公共関与型産業廃棄物処理施設の整備を促進し、産業廃棄物の適正な処理の確保を図った。

出典：令和4年版　環境白書／循環型社会白書／生物多様性白書

**⑩PCB廃棄物の確実かつ適正な処理を推進する。**

【事業の概要（抜粋）】
- 中間貯蔵・環境安全事業株式会社による拠点的広域処理施設の維持管理を支援し、期限内処理に向けた施策を推進

- 中間貯蔵・環境安全事業株式会社の全国5か所のPCB処理事業所において処理する体制を整備し、各地元関係者の理解と協力の下、その処理が進められている。
- 都道府県と協調し、費用負担能力の小さい中小企業者等による処理を円滑に進めるための助成等を行う「PCB廃棄物処理基金」を造成。
- 処理完遂に向けた方針について、令和３年９月２２日に、立地自治体に対して要請を実施。
- ポリ塩化ビフェニル廃棄物処理基本計画の変更について、令和４年５月31日に閣議決定・施行。

出典：令和4年版　環境白書／循環型社会白書／生物多様性白書、
第39回循環部会資料、環境省HP

**⑪石綿含有廃棄物の適正な処理を推進する。**

【事業の概要（抜粋）】
- 処理の過程で適切な対策と十分な管理を行いつつ、適正に処理

- 溶融等の高度な技術により無害化処理を行う者について環境大臣が認定した場合、都道府県知事等による産業廃棄物処理業や施設設置の許可を不要とする制度（無害化処理認定制度）により、2022年3月時点で2事業者が認定を受けている。

出典：令和4年版　環境白書／循環型社会白書／生物多様性白書

**⑫水銀含有廃棄物の適正な処理を推進する。**

【事業の概要（抜粋）】
- 「水銀に関する水俣条約」を踏まえた改正政令等に基づき、適正な処理を推進

- 「水銀に関する水俣条約」を踏まえた改正政令等に基づき、廃水銀等及び当該廃水銀等を処分するために処理したものの処分基準並びに廃水銀等の硫化施設の産業廃棄物処理施設への指定等について規定。
- 新たに水銀等の大気への飛散防止等の措置を規定するなど処理基準を強化し、基準について具体的に解説するための「水銀廃棄物ガイドライン」を策定。
- 2019年5月には水俣条約締約国会議の決議に基づく専門家会合を日本で開催。

出典：令和4年版　環境白書／循環型社会白書／生物多様性白書

【参考（PCB廃棄物）】

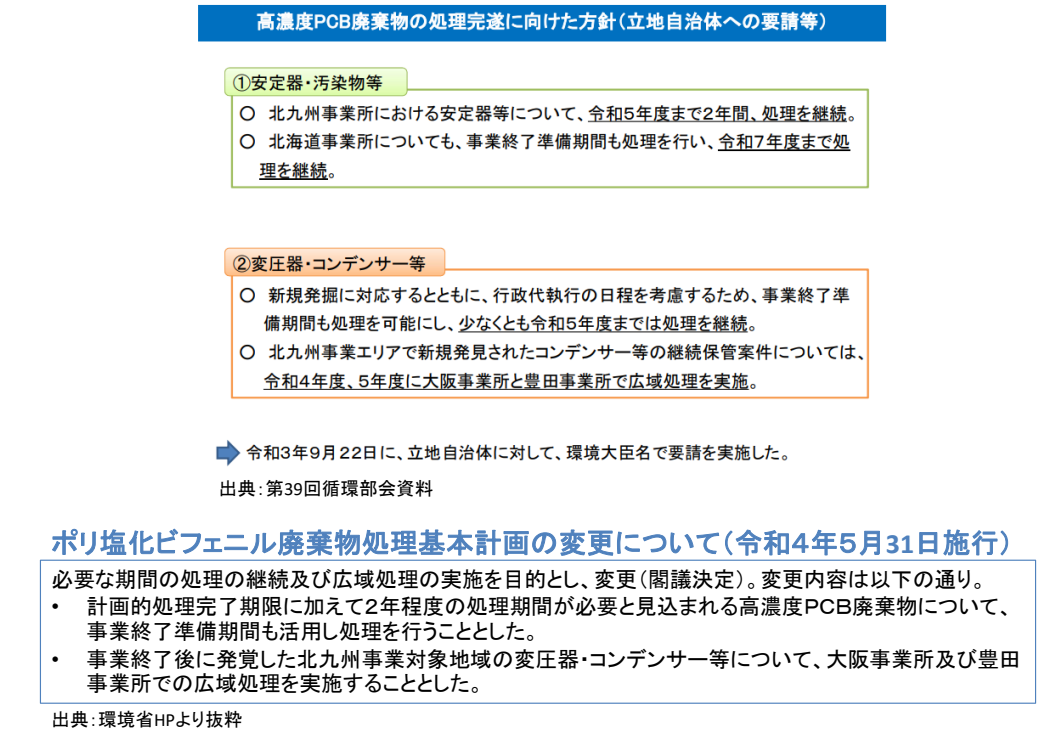






図 II-22　高濃度 PCB 廃棄物の処理完遂に向けた方針

### (3) 現行計画の目標・指標等に関するデータ分析

#### 1) 現行計画のごみの指標に関する分析

「①ごみのリサイクル率」「②一般廃棄物最終処分場の残余年数」「③期間中に整備されたごみ焼却施設の発電効率の平均値」「④廃棄物エネルギーを地域を含めた外部に供給している施設の割合」の４つの指標について、関連するデータの整理や分析等を行った。

また、①については代替指標の検討や「水分を除いたリサイクル率」と「炭素循環利用率」の試算、「廃棄物・資源循環分野における 2050 年温室効果ガス排出実質ゼロに向けた中長期シナリオ（案）」におけるリサイクル率の試算を行うとともに、③については欧州との比較についても行った。

#### 2) 民間委託状況の整理

民間委託状況について、各年版の「日本の廃棄物処理」のデータを用いて施設別・処理方法別に経年変化を整理した。

#### 3) 要望額調査データからの発電効率・外部エネルギー供給施設数割合等の整理

環境省が毎年、循環型社会形成推進交付金制度の運用のために各自治体から提出してもらっている要望額調査においては、「交付期間」「施設区分」「施設規模」「エネルギー回収率」等の項目が調査されている。本検討では、それらの調査項目を整理することで、今後の発電効率や外部エネルギー供給施設割合の見込み等について検討を行った。

### （4）次期計画の目標値（案）の検討

検討会で議論し、次期計画の目標値（案）は以下のとおりとした。

**表 II-19　次期計画の目標値（案）**

| 項目 | 2020 年度<br>実績値 | 2022 年度<br>見込み値 | 2027 年度<br>目標値 |
|---|---|---|---|
| ①ごみのリサイクル率 | 20.0% | 19.7%（注１） | 28% |
| ②一般廃棄物最終処分場の残余年数 | 22.4 年 | 22.4 年（注１） | 22 年<br>（2020 年度の水準（22 年分）を維持） |
| ③期間中に整備されたごみ焼却施設の発電効率の平均値 | 20.1% | 19.8%（注２） | 22%<br>（2023～2027 年度平均） |
| ④廃棄物エネルギーを地域を含めた外部に供給している施設の割合 | 40.9% | 41.7%（注１） | 46% |
| ⑤浄化槽整備区域内の浄化槽人口普及率 | 57.7% | 60.5% | 72.5% |
| ⑥先進的省エネ型浄化槽導入基数 | 家庭用 33 万基、<br>中・大型 9 千基 | 家庭用 42 万基、<br>中・大型 10 千基 | 家庭用 75 万基、<br>中・大型 2.7 万基 |

（注１）ここで示す見込み値は過去 6 年間の実績値を用いた対数近似による。

（注２）見込み値（単年度平均）は過去 5 年間の実績値を用いた対数近似により、ここで示す見込み値（期間中平均）は、計画期間を 2013～2017 年度、2018～2022 年度、2023～2027 年度とし、各期間中の見込み値（単年度）の単純平均にて算出。

### (5) 補助指標の検討

#### 1) 補助指標設定の背景･課題について

施設整備計画は、計画期間に係る廃棄物処理施設整備事業の実施の目標等を定める計画とされている。現行計画では、(2) 1)に示す７つの指標について定量的な目標値を設定し、計画期間における廃棄物処理施設の整備状況の進捗を評価することとしているものの、指標の設定に当たっては以下に示す課題がある。

そこで、これらの課題がある指標については、指標の目標達成状況や動向、今後の見込み等の分析を行うための参考情報として、補助指標の導入について検討した。

なお、補助指標は指標に関する課題への対応だけでなく、施設整備計画の事業の概要で示された内容の進捗を把握することができ、自治体計画策定時に参照できることが望ましく、2.3 (2) で示した次期計画へ反映すべきポイント等も踏まえたものとして複数の補助指標候補を検討した。

施設整備計画の目標･指標と設定に当たっての課題
- 廃棄物処理施設の整備は構想から竣工までに10年程度の時間がかかる場合があり 、指標の設定によっては計画策定からの5年間では当該指標に係る取組の進捗や効果を十分に把握できない可能性がある。
- 目標の実現には廃棄物処理施設整備事業以外の要因も大きく影響し、タイムラグも発生するため、5年間の取組の進捗と目標の達成の状況が必ずしも一致しない可能性がある。

#### 2) 各指標の課題と補助指標の検討

##### (a) ごみのリサイクル率

ごみのリサイクル率は、「ごみ総排出量」を分母、「総資源化量」を分子として算出されるため、排出抑制と資源化の取組の複合的な効果を示すものとなっており、分母分子それぞれ表 II-20 に示す課題が想定される。

表 II-20　ごみのリサイクル率に係る課題

| 項目 | 課題 |
|---|---|
| ごみのリサイクル率の分母<br>（一般廃棄物の排出量（ごみ総排出量）） | ・ごみのリサイクル率の分母（一般廃棄物の排出量（ごみ総排出量））に関して、一般廃棄物の排出量（ごみ総排出量）は着実に減少しており、今後もその傾向は継続することが見込まれる。 |
| ごみのリサイクル率の分子<br>（市町村等による総資源化量） | ・中間処理後再生利用量の推移をみると、2007年度までは増加傾向にあるものの、それ以降は横ばいとなっている。また、品目別で資源化量の推移をみると、特に紙類の減少傾向が顕著であり、2007年度と比べて直近年度は約60.8％程度となっている。また、金属類、ガラス類等も減少傾向にある。ペーパーレス化等の進展に伴う社会変容、容器類の薄肉化･軽量化など素材製造技術の向上、民間事業者による資源回収の進展等により、この傾向は継続することが想定される。よって、市町村等による資源化量全体としては、この先も減少していくことが見込まれる。<br>・一方で、プラスチックのように、今後一層の資源化が求められている素材･品目もある。<br>・このように、減少傾向のものと、資源化量の増加が期待されるものが複合化されており、成果が把握しづらい面がある。 |

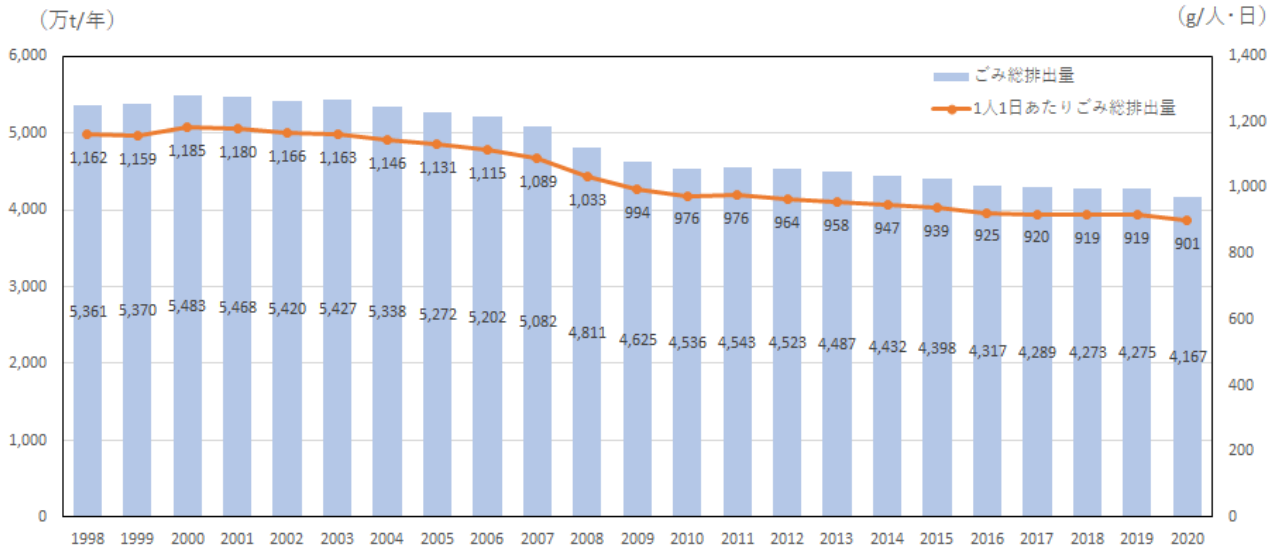



図 II-23　一般廃棄物の排出量（ごみ総排出量）の推移

出典：一般廃棄物処理実態調査より引用･算出（1 人 1 日あたりは同調査の人口を用いて算出）

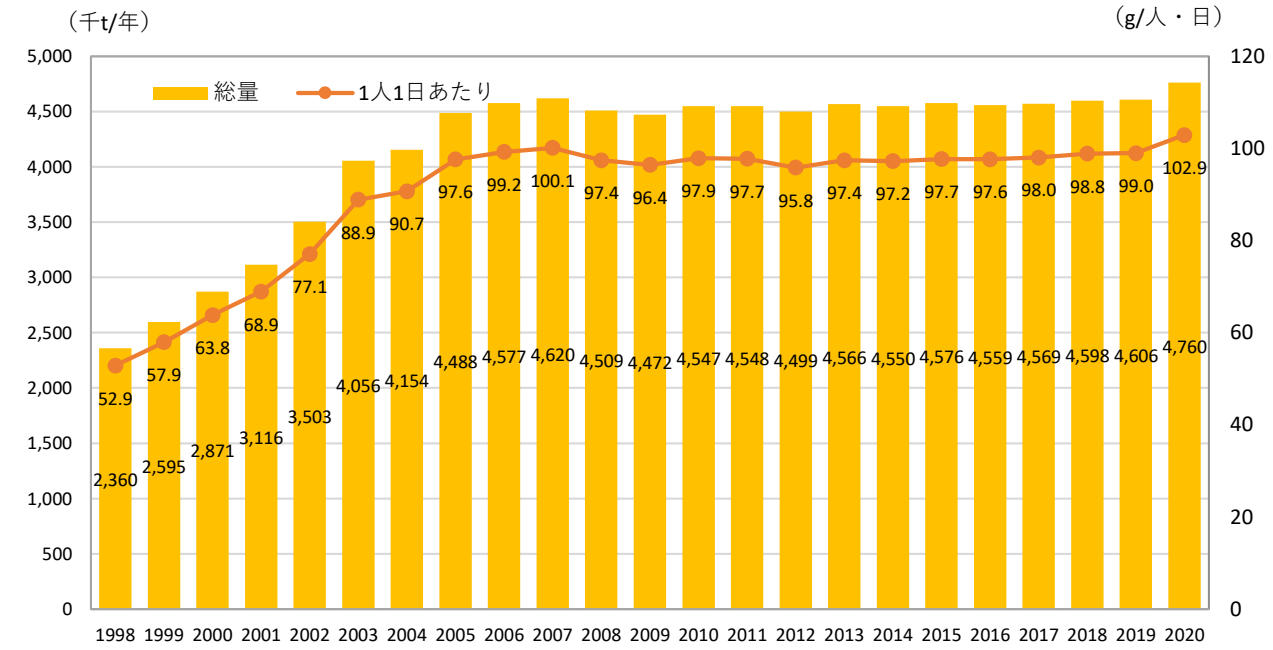



図 II-24 中間処理後再生利用量の推移

出典：一般廃棄物処理実態調査より引用･算出（1 人 1 日あたりは同調査の人口を用いて算出）

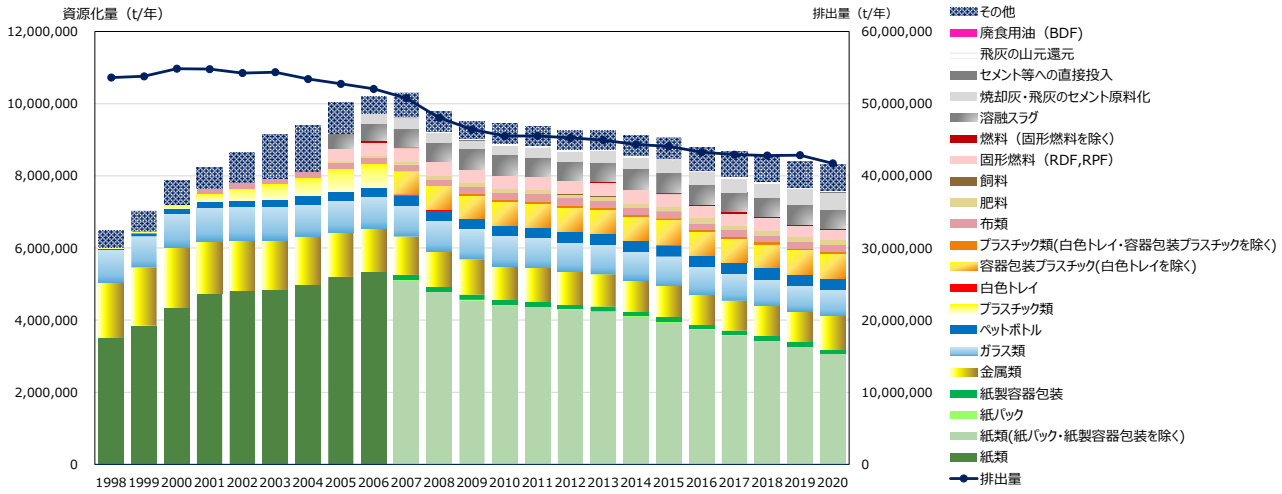



図 II-25　資源化品目別の資源化量の推移

出典：一般廃棄物処理実態調査より引用･算出

（1998～2020 年度の資源化量の内訳には集団回収量の内訳が含まれていなかったので集計した数値を使用）

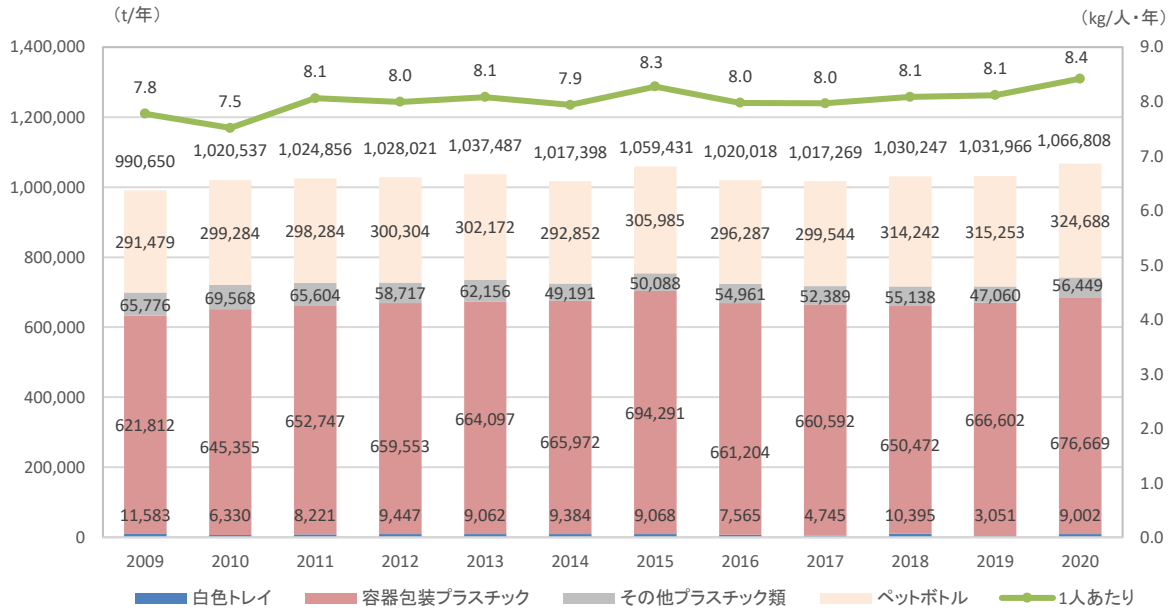



図 II-26　プラスチックの資源回収量の推移

出典：一般廃棄物処理実態調査より引用･算出（1 人あたりは同調査の人口を用いて算出）

一般廃棄物の排出量を減少させる取組は引き続き重要であり、ごみのリサイクル率とともに進捗を把握するべきであるため、「一般廃棄物の排出量」を補助指標とすることを検討した。

また、ごみのリサイクル率の分子の課題に関しては、資源化の対象の素材の中でも、特にプラスチックについては、プラスチック資源循環法の施行等による更なる資源化の推進が期待されるとともに、焼却回避による温室効果ガス排出削減の観点からも重要であり、リサイクル率とともに進捗を把握するべきであること、地球温暖化対策計画（令和 3 年 10 月 22 日閣議決定）において、「廃プラスチックのリサイクルの促進」により、2030 年度に「廃プラスチックの焼却量」を 278 万 t (乾燥ベース) まで削減することを目標としており、その際の $CO_2$ の排出削減見込量は 640 万 t-$CO_2$ としていることなどを踏まえ、「プラスチックの資源回収量」と「廃プラスチックのリサイクルの促進による $CO_2$ 排出削減量」を補助指標とすることを検討した。

### (b) 一般廃棄物最終処分場の残余年数

一般廃棄物最終処分場の残余年数は、その時点での国内の一般廃棄物最終処分場の残余容量と最終処分量から算定される数値であり、表 II-21 に示す課題が想定される。

**表 II-21　一般廃棄物の最終処分場の残余年数に係る課題**

| 項目 | 課題 |
|---|---|
| 一般廃棄物最終処分場の残余容量と最終処分量の関係 | ・最終処分量の減少により、一般廃棄物最終処分場の残余容量の減少傾向とは逆に、一般廃棄物最終処分場の残余年数は増加傾向となっており、一般廃棄物最終処分場の残余年数のみでは、廃棄物処理施設整備事業による一般廃棄物最終処分場の残余容量確保の成果を把握することが難しい。<br>・「一般廃棄物最終処分場の残余容量」の推移をみると、新規の一般廃棄物最終処分場の整備や既存の一般廃棄物最終処分場の嵩上げ等によりわずかに増加している年度もあるものの、総じて減少傾向にある。<br>・また、新規の一般廃棄物最終処分場の整備に当たっては、適地の少なさや地元合意の観点から計画から供用開始まで長期に及ぶことが多く、計画的に事業を進めることが求められる。 |
| 災害への備え | ・適正処理の確保のほか、南海トラフ地震をはじめとした大規模災害発生の可能性を考慮すると、単年度の最終処分量の傾向とは別に、一定程度の余裕をもった一般廃棄物最終処分場の残余容量を確保することが必要である。 |

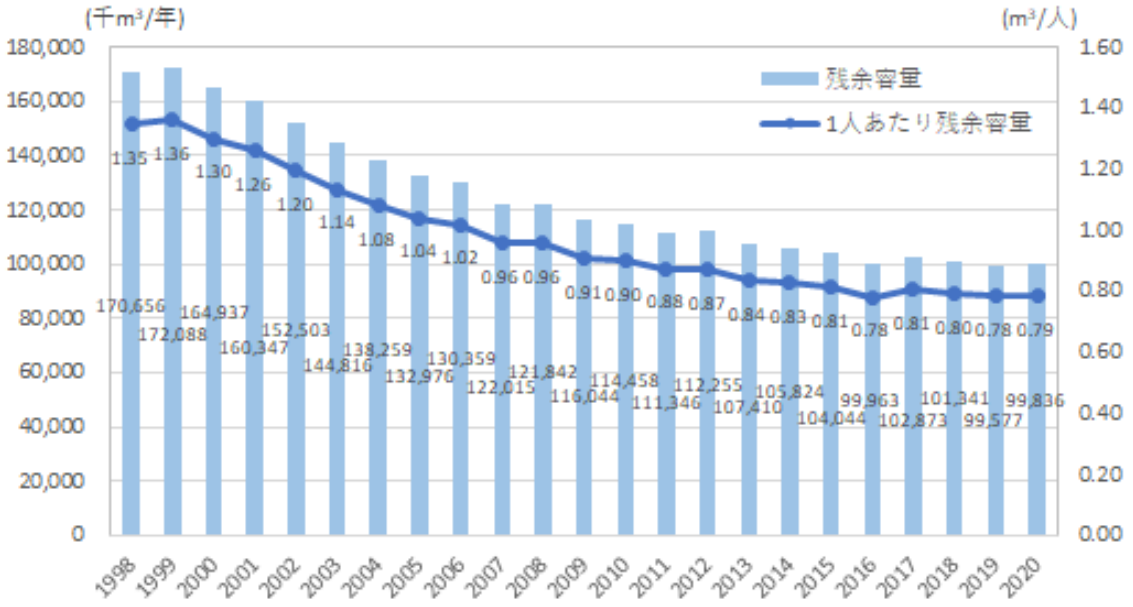



**図 II-27　一般廃棄物最終処分場の残余容量の推移**

出典：一般廃棄物処理実態調査より引用･算出（折れ線は 1 人 1 日あたり残余容量を示し、同調査の人口を用いて算出）

施設整備以外の要素（当該年度の最終処分量）にも影響される「一般廃棄物最終処分場の残余年数」だけでなく、一般廃棄物最終処分場の残余容量確保の重要性を正しく把握し、廃棄物処理施設整備事業による一般廃棄物最終処分場の確保状況をより直接的に評価するため、「一般廃棄物最終処分場の残余容量」を補助指標とすることを検討した。

(c) 発電効率（期間中平均）と外部エネルギー供給施設割合

一般廃棄物最終処分場の残余年数は、その時点での国内の一般廃棄物最終処分場の残余容量と最終処分量から算定される数値であり、表 II-22 に示す課題が想定される。

表 II-22　発電効率（期間中平均）と外部エネルギー供給施設割合に係る課題

| 項目 | 課題 |
|---|---|
| 広域化･集約化を含む施設規模の評価 | ・「一般廃棄物焼却施設の平均処理能力※1」の推移をみると、2000年度比で40%程度高くなっており、施設数が減少していることからも、広域化･集約化による一般廃棄物焼却施設の規模拡大が進んだと考えられる。<br>・一方、焼却処理量が減少していることもあり、合計処理能力の減少も見られることから、発電効率の向上に向けて広域化･集約化の加速化が求められる。 |
| 焼却以外のエネルギー回収の評価 | ・発電効率と外部エネルギー供給施設割合は、いずれも焼却施設でのエネルギー回収に対応する指標であり、焼却以外の施設による燃料利用・エネルギー回収に関する取組は評価できていない。 |
| 熱利用を含むエネルギー回収･供給の評価 | ・熱利用（プラント内プロセス用以外の熱利用）を含むエネルギー回収の程度については、発電効率の指標だけでは評価できないが、外部エネルギー供給施設割合により、ある程度評価に加味されている。<br>・一方で、外部エネルギー供給施設割合は施設数のみの評価であり、熱利用の程度や所内動力の多寡（省エネ対策）を含む外部エネルギー供給の量的な評価はできていない。<br>・今後、脱炭素化に向けた取組や地域に多面的価値を創出する廃棄物処理施設整備を推進するためには、熱利用等を含む外部エネルギー供給の量的な評価をしながら事業の進捗をモニタリングしていくことが肝要である。 |

※1　「一般廃棄物焼却施設の平均処理＝合計処理能力÷施設数」で定義し、移管、休止、新設（建設中）、廃止の施設を除外

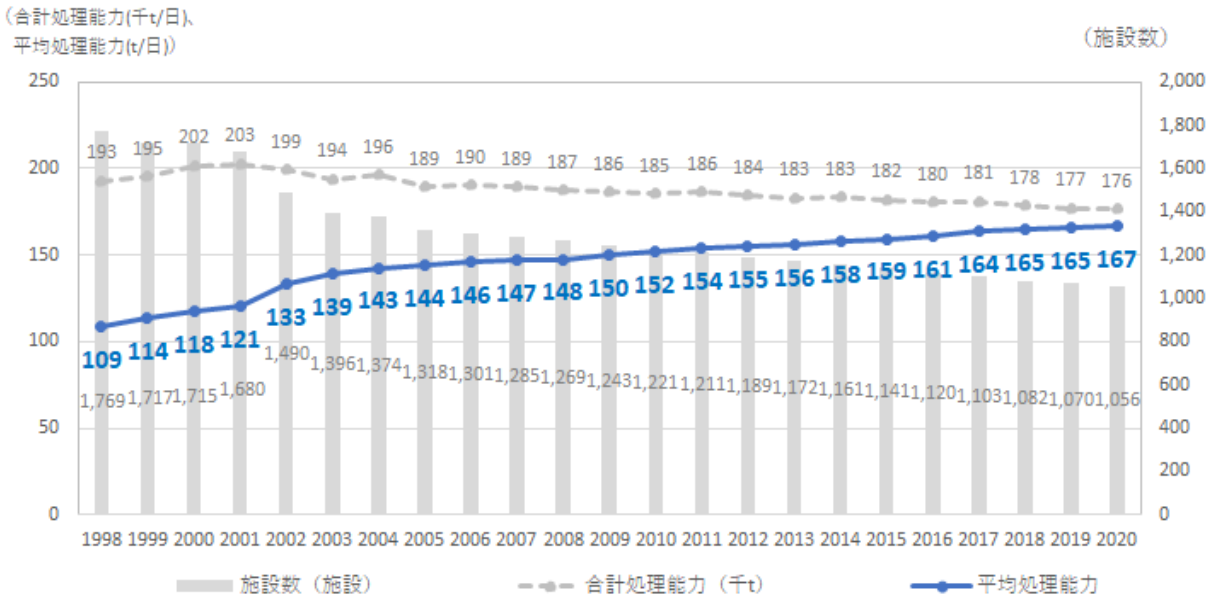



図 II-28　一般廃棄物焼却施設の平均処理能力の推移

出典：一般廃棄物処理実態調査（日本の廃棄物処理）より引用･算出

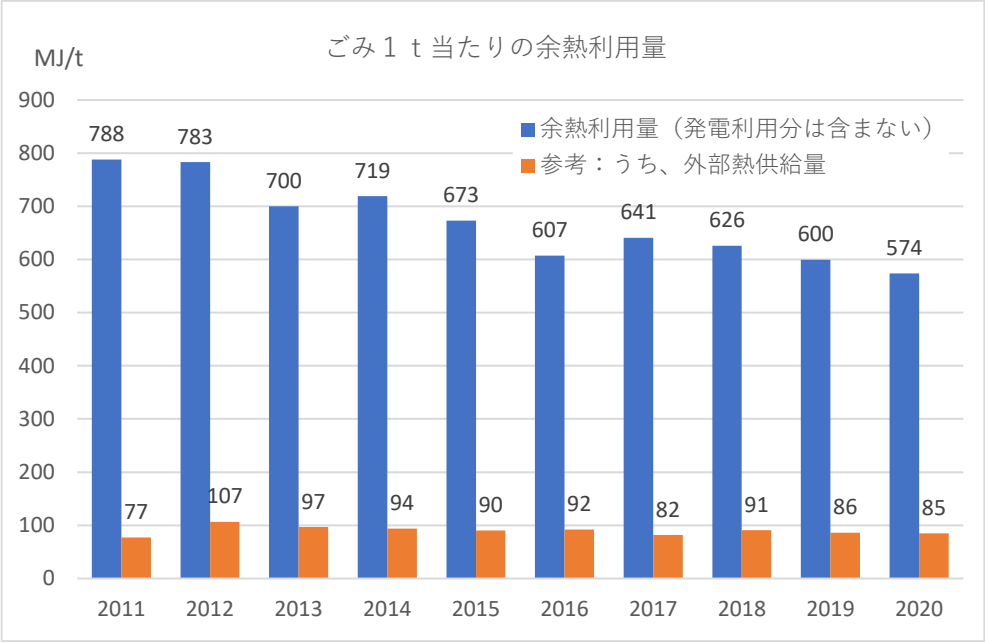



図 II-29　一般廃棄物焼却施設におけるごみ処理量当たりの余熱利用量の推移

出典：一般廃棄物処理実態調査より引用･算出

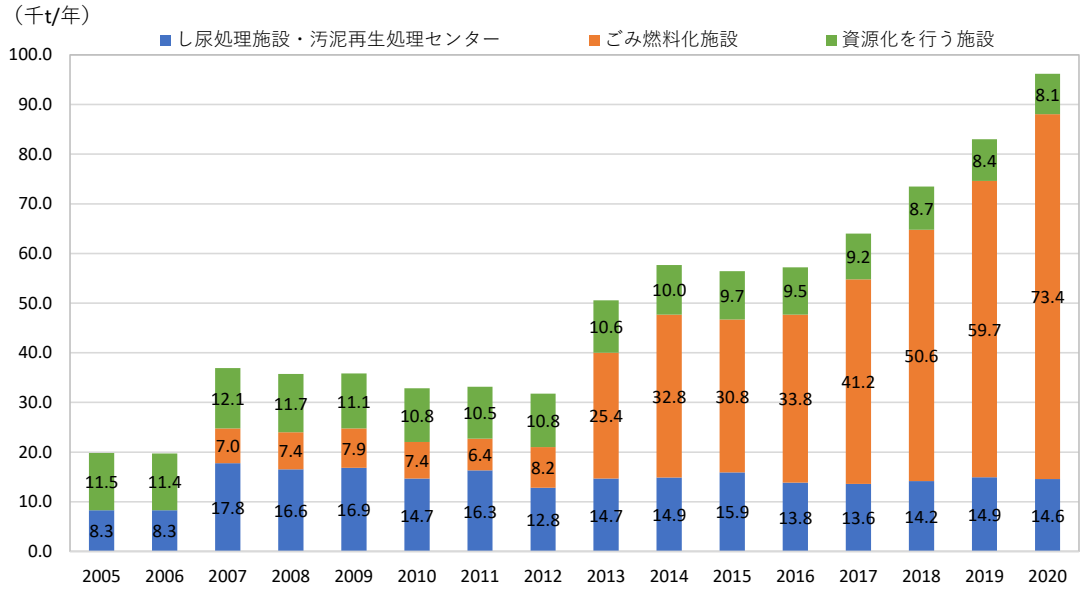



**図 II-30　メタン発酵施設における年間処理量の推移**

出典：一般廃棄物処理実態調査より引用･算出

発電効率に関して、高効率な発電を目指すためには、整備する施設の規模の拡大も重要な要素であるため、広域化･集約化の取組状況も評価できる「一般廃棄物焼却施設の平均処理能力」を補助指標とすることを検討した。

また、地球温暖化対策計画（令和 3 年 10 月 22 日閣議決定）において、「一般廃棄物焼却施設における廃棄物発電の導入」の対策により、2030 年度に「ごみ処理量当たりの発電電力量」を 359～445kWh/t とすることを目標としており、その際の $CO_2$ 排出削減見込量として 91～157 万 t-$CO_2$ としていることを踏まえ、「一般廃棄物焼却施設における廃棄物発電の導入による $CO_2$ 排出削減量」を補助指標とすることを検討した。

焼却以外のエネルギー回収の評価に関して、メタン発酵処理は、バイオマス由来のバイオガスを燃料利用することにより化石由来の燃料の使用を抑制し、温室効果ガスの排出を削減するとともに、含水率の高い有機性廃棄物を処理することで、プラスチック分別に伴う可燃ごみの単位発熱量の低下を補い、焼却発電効率の改善にも資するため、関連する補助指標として「メタン発酵施設における年間処理量」を補助指標とすることを検討した。

熱利用を含むエネルギー回収･供給の評価に関して、廃棄物焼却施設においては発電だけでなく熱利用についても推進を図っていくべきであり、現状では熱利用に関して量的評価ができていないことから、将来的な人口減少やごみの発生抑制に係る取組の推進等に伴い、処理量全体は減少傾向が想定されることも想定し、「一般廃棄物焼却施設におけるごみ処理量当たりの余熱利用量（発電利用を除く）」を補助指標とすることを検討した。

### (d) 浄化槽人口普及率

日本の汚水処理施設（下水道、集落排水、浄化槽等）の整備は、整備区域、整備方法、整備スケジュール等を設定した「都道府県構想」に基づき、各地方公共団体が効率的･効果的に実施しており、2026 年度の汚水処理施設の概成（＝汚水処理人口普及率 95%）を目指し、整備を進めているものの、合併処理浄化槽への転換を推進する公共浄化槽の整備が思うように進んでいないほか、共同浄化槽の整備の導入も進んでいないことなどもあり、浄化槽整備の更なる促進を図る必要がある。

また、改正浄化槽法では、浄化槽の管理向上を目指し、浄化槽台帳システムの効果的な運用を図ることとしているが、当該システムを活用した管理はまだ浸透していない。整備する浄化槽台帳による維持管理情報の把握･活用を進め、適正な維持管理の指導等の取組を積極的に推進する必要があることから、「浄化槽台帳により維持管理情報（保守点検・清掃・法定検査）を把握している都道府県数」を補助指標とすることを検討した。

### (e) 先進的省エネ型浄化槽の導入による $CO_2$ 排出削減量

先進的省エネ型浄化槽のうち、家庭用の小型合併処理浄化槽については、高効率ブロワ等の開発が進み、省エネ化が推進され導入･普及は進んでいる一方、集合住宅･店舗･医療施設等に設置されている中・大型合併処理浄化槽については省エネ化に向けた製品開発等の対応に遅れが出ており導入･普及が進んでいない状況である。

$CO_2$ 削減に関する観点からも先進的省エネ型浄化槽の導入促進は図っていくことが求められるとともに、地球温暖化対策計画（令和 3 年 10 月 22 日閣議決定）において、「浄化槽の省エネルギー化」の対策により、2030 年度に 2013 年度の低炭素社会対応型浄化槽より消費電力を 26%削減した浄化槽の累積基数を 93 万基、中・大型浄化槽の省エネ化の累積基数を 3.4 万基とすることを目標としており、その際の $CO_2$ 排出削減見込量として 12.3 万 t-$CO_2$ としていることを踏まえ、「先進的省エネ型浄化槽の導入による $CO_2$ 排出削減量」を補助指標とすることを検討した。

### 3) 補助指標（案）の設定

次期計画の指標（案）と補助指標（案）を表 II-23 に整理する。また、次期計画の目標･指標（案）と補助指標（案）の体系図を図 II-31 に示す。

表 II-23　次期計画の指標（案）と補助指標（案）の関係

| 次期計画の指標（案） | 補助指標（案） |
|---|---|
| ①ごみのリサイクル率 | ・一般廃棄物の排出量（ごみ排出量）<br>・プラスチックの資源回収量<br>・廃プラスチックのリサイクルの促進による$CO_2$排出削減量 |
| ②一般廃棄物最終処分場の残余年数 | ・一般廃棄物最終処分場の残余容量 |
| ③期間中に整備されたごみ焼却施設の発電効率の平均値 | ・一般廃棄物焼却施設の平均処理能力<br>・メタン発酵施設における年間処理量<br>・一般廃棄物焼却施設における廃棄物発電の導入による$CO_2$排出削減量<br>・一般廃棄物焼却施設におけるごみ処理量当たりの余熱利用量 |
| ④廃棄物エネルギーを地域を含めた外部に供給している施設の割合 | |
| ⑤浄化槽整備区域内の浄化槽人口普及率 | ・浄化槽台帳の活用により維持管理情報（保守点検･清掃･法定検査）を把握している都道府県数 |
| ⑥浄化槽整備区域内の合併処理浄化槽の基数割合 | ・先進的省エネ型浄化槽の導入による$CO_2$排出削減量 |




図 II-31　次期計画の目標･指標（案）と補助指標（案）の体系図

## 2.5 データの精査について

### （1）メタン発酵施設の年間処理量等に関するデータの精査

メタン発酵施設は一般廃棄物実態調査上では「ごみ燃料化施設」に分類されるが、汚泥再生処理センターや資源化施設にもメタン発酵施設が散見される。また、年間処理量の整理にあたり、し尿・汚泥等は処理工程を経てからメタン発酵施設に投入される場合が多く、一般廃棄物実態調査結果をそのまま用いて整理することは実際の処理量とは一致しないため、一般廃棄物実態調査結果を基に、以下に示すデータの精査を行った。

#### 1) 対象施設

メタン発酵施設の年間処理量は、一般廃棄物実態調査結果を基に処理量の推移を整理している。メタン発酵施設を有する施設は、一般廃棄物実態調査結果では、「ごみ燃料化施設」、「し尿処理施設・汚泥再生処理センター」及び「資源化等を行う施設」の施設に含まれているため、上記３つの一般廃棄物実態調査結果を基にメタン発酵施設を有する施設を抽出した。

#### 2) 対象廃棄物

メタン発酵施設は、施設の特徴から産業廃棄物を含む様々な種類の廃棄物を処理対象としている。本検討では、以下の理由から「生ごみ（厨芥類）」、「可燃ごみ」を対象としてメタン発酵施設における年間処理量を整理した。

- し尿汚泥、下水汚泥等は、し尿処理施設及び汚泥再生処理センターにおいて処理後の脱水汚泥をメタン発酵施設に投入するため、一般廃棄物実態調査結果からメタン発酵処理量を把握することが困難
- 家畜糞尿、集落排水汚泥等は、廃棄物の含水率が高く、かつ回収方法等により含水率の差が大きいため適正な数値の把握が困難

#### 3) 具体的な抽出方法

##### (a) ごみ燃料化施設

ごみ燃料化施設は、「施設の種類」で「メタン化」と回答された施設を抽出し、「年間処理量」を集計した。

##### (b) し尿処理施設・汚泥再生処理センター

し尿処理施設・汚泥再生処理センターは、2017 年度までは「資源化量_メタンガス（$m^3$/年）」に数値の記載がある施設、不明回答の場合でも「処理方式_資源化処理」で「メタン発酵」を回答した施設を抽出した。2018 年度以降は「資源化物量_メタン発酵（t/年）」に数値の記載がある施設を抽出した。抽出した施設の内、「有機性廃棄物」の「年間処理量」を計上した。

(c) 資源化施設

資源化施設は、2006 年までは「処理内容」で「メタン化」と回答された施設を抽出した。2007 年以降は、「施設区分」で「その他」、処理対象物で「生ごみ」を含む施設を抽出後、メタン発酵施設を有する施設を抽出した。メタン発酵施設を有する施設は、「全国のメタンガス化施設リスト」（環境省ホームページより）に記載のある施設と、上記資源化施設の内一致する施設を抽出した。

4) ヒアリング結果

ごみ燃料化施設及び資源化施設は、一般廃棄物実態調査結果において、処理対象物が明確でないため、下記施設に対してヒアリング調査を行い、廃棄物種類別の処理量を把握し、対象廃棄物のみを計上した。

＜ヒアリング調査対象施設＞

・豊橋市：豊橋市バイオマス利活用センター
・稚内市：稚内市バイオエネルギーセンター
・みやま市：みやま市バイオマスセンター ルフラン
・日田市：日田市バイオマス資源化センター
・山鹿市：山鹿市バイオマスセンター
・大木町：おおき循環センター

＜ヒアリング内容＞

ごみ種類別の年間処理量実績

5) メタン発酵施設処理量の推移（補助指標）

上記内容を踏まえ、集計したメタン発酵施設の処理量の推移を下図に示す。

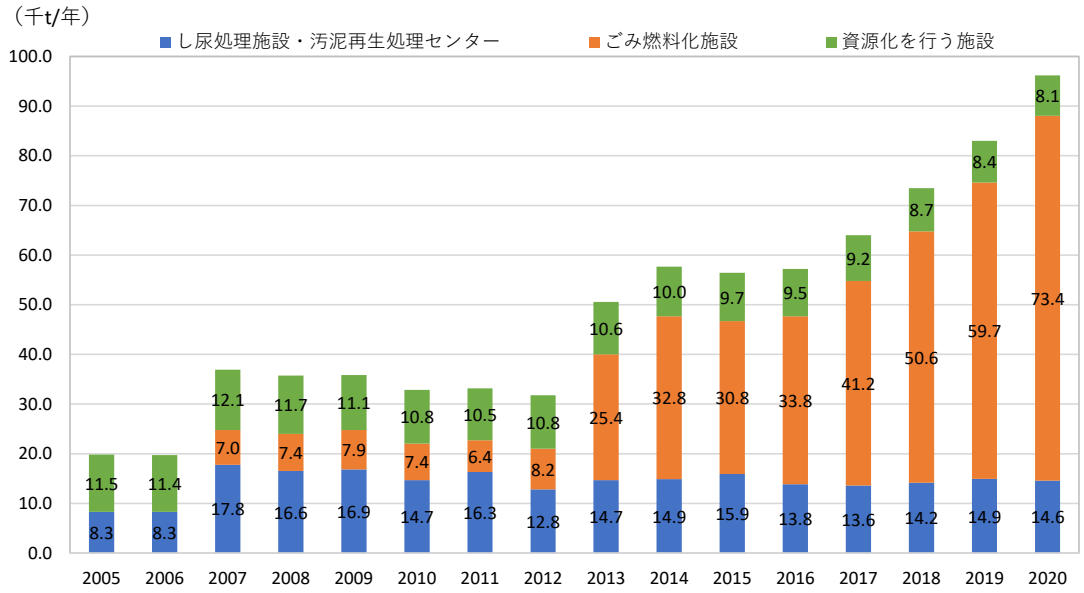



図 II-32　メタン発酵施設の年間処理量の推移（補助指標）

### 6) 一般廃棄物実態調査の改善案

メタン発酵施設に関して、一般廃棄物実態調査の改善案を以下に示す。

#### (a) ごみ燃料化施設

①メタン発酵施設における処理量の実態を把握するため、廃棄物種類別のメタン発酵施設への投入量の把握が望ましい。

②メタン発酵施設におけるメタンガス生産量を把握するため、「生成物生産量」の種類と量の把握（メタンガス、堆肥、液肥等）が望ましい。

③処理方式（湿式・乾式）の把握が望ましい。

#### (b) し尿処理施設・汚泥再生処理センター

①メタン発酵施設における処理量の実態を把握するため、廃棄物種類別のメタン発酵施設への投入量の把握が望ましい。

②メタン発酵施設の有無を明確化するため、資源化処理方式の把握が望ましい。

#### (c) 資源化施設

①メタン発酵施設はごみ燃料化施設での取り扱いが望ましい。

②施設区分「その他」の内容の確認が望ましい。

### （2）余熱利用量・発電電力量等に関するデータ整理及び精査

既存指標である、「期間中に整備されたごみ焼却施設の発電効率の平均値」及び「廃棄物エネルギーを地域を含めた外部に供給している施設の割合」には、2.4（5）1)にて示したとおり、数点の課題がある。ここでは、電気のみならず熱の視点も評価する「エネルギー回収」の視点から、複数の条件でデータを整理した。

#### 1) エネルギー回収率の試算

##### (a) 一般廃棄物焼却施設のエネルギー回収率（単年度平均）

###### a) 算出方法

当該年度が使用開始年度の施設を対象とし、各年度の値を算出。

$$エネルギー回収率(\%) = \frac{余熱利用量(MJ) + 総発電量(MWh) \times 3600}{年間処理量(t/年) \times 低位発熱量(kJ/kg)} \times 100$$

###### b) 結果

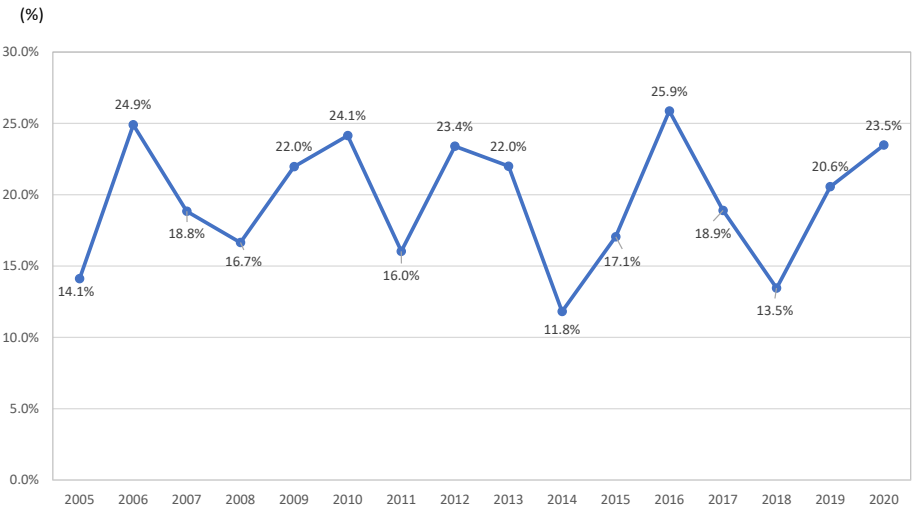



図 II-33　一般廃棄物焼却施設のエネルギー回収率（単年度平均）

出典：各年度の一般廃棄物処理実態調査より引用・算出
注１：1MWh=3,600MJ として換算。
注２：エネルギー回収量が不明の場合は、公称値を用いる。公称値も記載ない場合は 0 として計算。
注３：ごみの低位発熱量（実測値）の記載がない施設は除外。
注４：エネルギー回収率が 50%を上回る施設は除外。その他、数値が明らかに異常であると判断したもの（発電効率が公称に比較し著しく低い等）は除外。
注５：廃止施設は除外。

(b) 一般廃棄物焼却施設のエネルギー回収率（期間中平均）

a) 算出方法

当該年度が使用開始年度の施設を対象とし、各計画期間中の分母÷分子にて算出。

$$エネルギー回収率(\%) = \frac{余熱利用量(MJ) + 総発電量(MWh) \times 3600}{年間処理量(t/年) \times 低位発熱量(kJ/kg)} \times 100$$

b) 結果

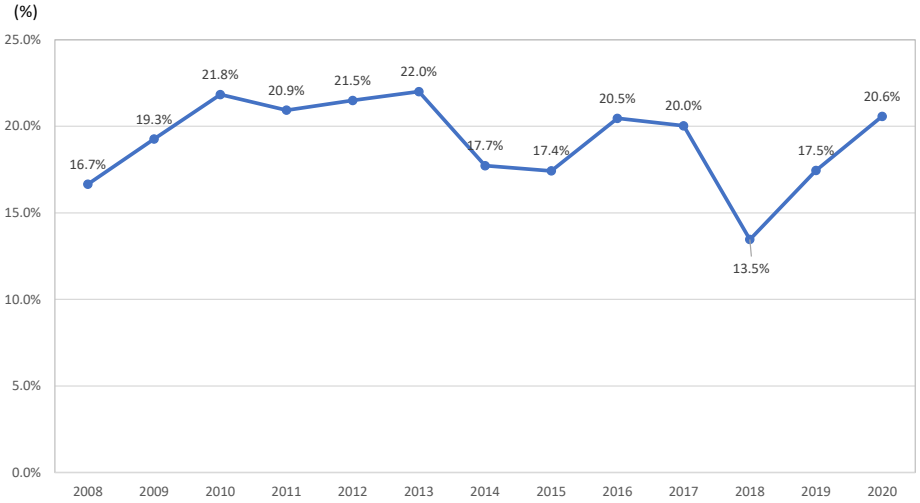



図 II-34　一般廃棄物焼却施設のエネルギー回収率（期間中平均）

出典：各年度の一般廃棄物処理実態調査より引用・算出

注１：1MWh=3,600MJ として換算。

注２：エネルギー回収量が不明の場合は、公称値を用いる。公称値も記載ない場合は 0 として計算。

注３：ごみの低位発熱量（実測値）の記載がない施設は除外。

注４：エネルギー回収率が 50%を上回る施設は除外。その他、数値が明らかに異常であると判断したもの（発電効率が公称に比較し著しく低い等）は除外。

注５：廃止施設は除外。

(c) 一般廃棄物焼却施設のエネルギー回収率（処理能力との加重平均等）（期間中平均）

a) 算出方法

当該年度が使用開始年度の施設を対象とし、各計画期間中の処理能力との加重平均※及び算術平均※として算出。

$$エネルギー回収率(\%) = \frac{余熱利用量(MJ) + 総発電量(MWh) \times 3600}{年間処理量(t/年) \times 低位発熱量(kJ/kg)} \times 100$$

※加重平均：処理能力に応じた加重平均値
※算術平均：処理能力にかかわらず、エネルギー回収率のみの平均値

b) 結果

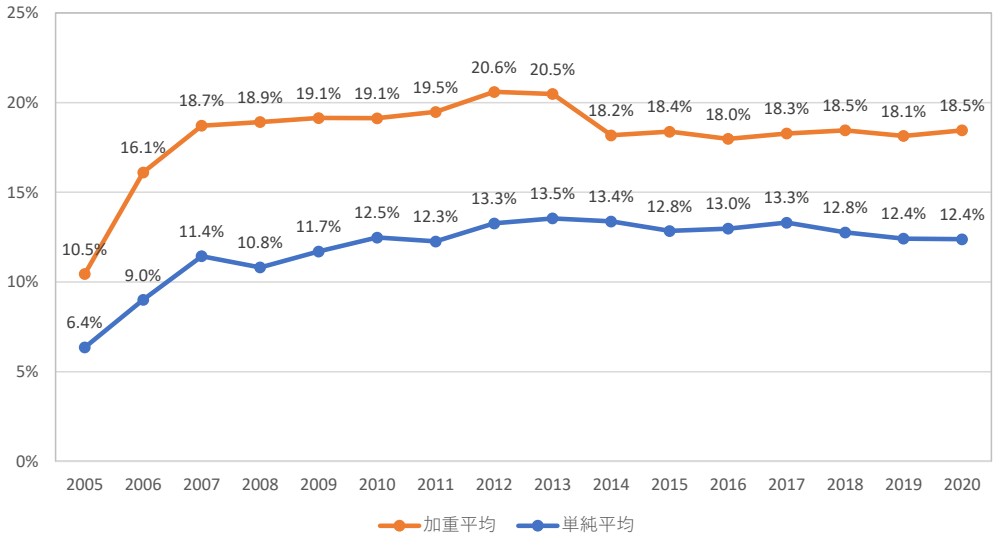



図 II-35　一般廃棄物焼却施設のエネルギー回収率（処理能力との加重平均等、期間中平均）

出典：各年度の一般廃棄物処理実態調査より引用・算出
注１：1MWh=3,600MJ として換算。
注２：エネルギー回収量が不明の場合は、公称値を用いる。公称値も記載ない場合は 0 として計算。
注３：ごみの低位発熱量（実測値）の記載がない施設は除外。
注４：エネルギー回収率が 50%を上回る施設は除外。
注５：廃止施設、使用開始年度が将来となる施設は除外。

なお、電気：熱＝1：0.46 とした場合（余熱利用量に 0.46 を乗じた場合）は以下のとおりとなる。

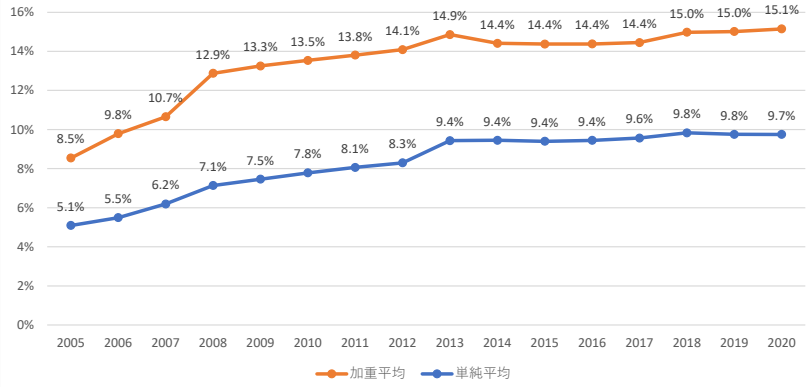



**図 II-36　一般廃棄物焼却施設のエネルギー回収率**
**（処理能力との加重平均等、期間中平均、0.46 換算）**

出典：一般廃棄物処理実態調査より引用・算出
注１：1MWh=3,600MJ として換算。
注２：エネルギー回収量が不明の場合は、公称値を用いる。公称値も記載ない場合は 0 として計算。
注３：ごみカロリーの記載がない施設は除外。
注４：エネルギー回収率が 50%を上回る施設は除外。
注５：電気と熱を生産するときに要する効率を反映した等価係数（電気：熱＝1：0.46）で換算。
注６：廃止施設、使用開始年度が将来となる施設は除外。

また、単年度平均値について、電気：熱＝1：0.46 とした場合（余熱利用量に 0.46 を乗じた場合）は以下のとおりとなる。

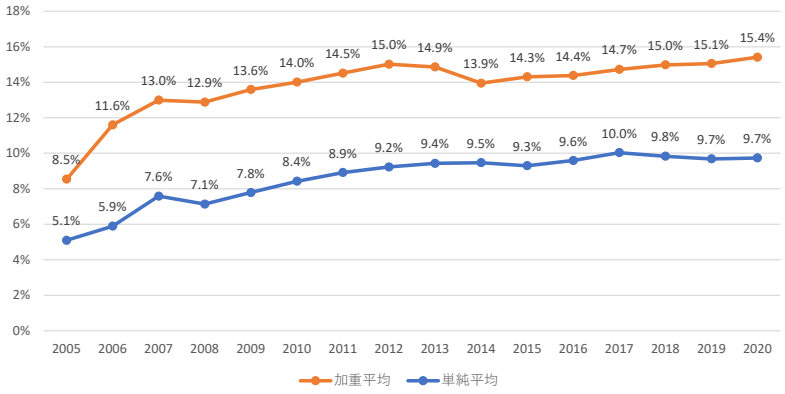



**図 II-37　一般廃棄物焼却施設のエネルギー回収率**
**（処理能力との加重平均等、単年度平均、0.46 換算）**

出典：一般廃棄物処理実態調査より引用・算出
注１：1MWh=3,600MJ として換算。
注２：エネルギー回収量が不明の場合は、公称値を用いる。公称値も記載ない場合は 0 として計算。
注３：ごみカロリーの記載がない施設は除外。
注４：エネルギー回収率が 50%を上回る施設は除外。
注５：電気と熱を生産するときに要する効率を反映した等価係数（電気：熱＝1：0.46）で換算。
注６：廃止施設、使用開始年度が将来となる施設は除外。

さらに、発電設備を持つ及び持たない施設の別の単年度平均値について、電気：熱＝1：0.46 とした場合（余熱利用量に 0.46 を乗じた場合）は以下のとおりとなる。

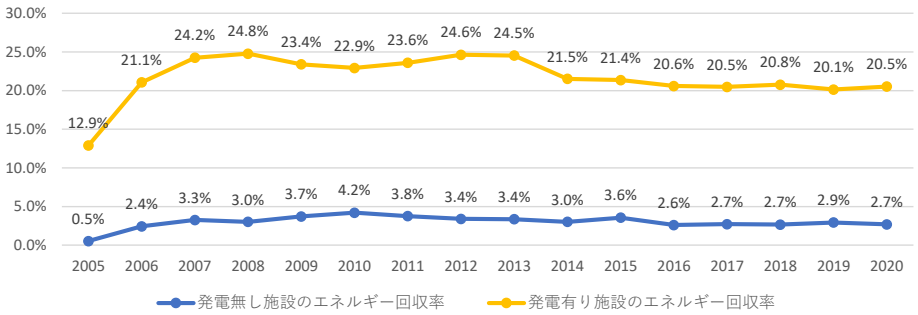



**図 II-38　発電有無別の一般廃棄物焼却施設のエネルギー回収率（単年度平均、0.46 換算）**

出典：一般廃棄物処理実態調査より引用・算出
注１：1MWh=3,600MJ として換算。
注２：エネルギー回収量が不明の場合は、公称値を用いる。公称値も記載ない場合は 0 として計算。
注３：ごみカロリーの記載がない施設は除外。
注４：エネルギー回収率が 50%を上回る施設は除外。
注５：電気と熱を生産するときに要する効率を反映した等価係数（電気：熱＝1：0.46）で換算。
注６：廃止施設、使用開始年度が将来となる施設は除外。

2) 全焼却施設のエネルギー回収量の試算

a) 算出方法

当該年度の実態調査結果を用いて、各年度のエネルギー回収量の合計値を算出。

*エネルギー回収量（PJ）＝余熱利用量（MJ）×0.46＋総発電量（MWh）×3600÷1,000,000,000*

b) 結果

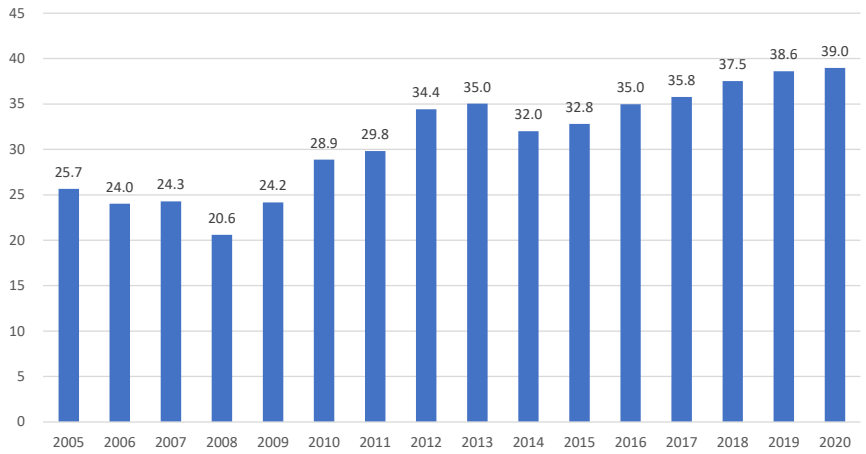



**図 II-39　一般廃棄物焼却施設のエネルギー回収量（0.46 換算）**

出典：一般廃棄物処理実態調査より引用・算出
注１：1MWh=3,600MJ として換算。
注２：エネルギー回収量が不明の場合は、公称値を用いる。公称値も記載ない場合は 0 として計算。
注３：ごみカロリーの記載がない施設は除外。
注４：エネルギー回収率が 50%を上回る施設は除外。
注５：電気と熱を生産するときに要する効率を反映した等価係数（電気：熱＝1：0.46）で換算。
注６：廃止施設、使用開始年度が将来となる施設は除外。

### 3) ごみ処理量当たりの余熱利用量・発電電力量の試算及びデータ精査

補助指標（案）の 1 つである「一般廃棄物焼却施設におけるごみ処理量当たりの余熱利用量」について、以下のとおりデータ整理及び精査を行った。

#### (a) 一般廃棄物焼却施設におけるごみ処理量当たりの余熱利用量

##### a) 算出方法

当該年度に稼働している施設を対象とし、焼却施設の余熱利用量及び年間処理量から算出。

$$一般廃棄物焼却施設におけるごみ処理量当たりの余熱利用量(GJ/t) = \frac{余熱利用量（実績値）(MJ)}{年間処理量(t)} \div 1000$$

##### b) 結果

ごみ処理量当たりの余熱利用量は、2011 年度以降の直近 10 年間は減少傾向にあり、そのうち外部供給量は横ばいないし微減となっている。

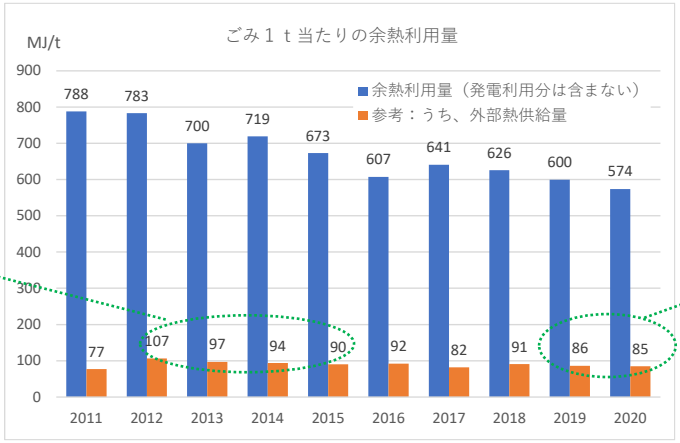



**図 II-40　ごみ処理量当たりの余熱利用量（及び外部熱供給量）**

注：当該年度の廃止施設を除く全施設の余熱利用量（発電用途を含めない数値の回答を求めている。）の実績値のうち、明らかな桁違いの回答だけを除いた（ただし、分母のごみ処理量からは除いていない）。実際のデータの状況としては、タービン発電機向けの蒸気投入量を余熱利用量（内部＋外部）に計上していると強く推認される回答が複数あるなど、数値の信頼性には疑問がある。例えば、タービン発電機向けの蒸気投入量を余熱利用量として誤って計上していた施設が、その誤りをある年度から訂正していくことでも、余熱供給量は経年的に低下し得る。

(b) 余熱利用量・発電電力量等に関するデータの精査

前述のとおり、ごみ処理量当たりの余熱利用量については、直近 10 年間の実績では減少傾向にあることが示された。しかし、当該結果に関して、「一般廃棄物処理実態調査結果」における余熱利用量及び外部熱供給量の回答値については、前述のとおり信頼性に疑問が残ることから、以下のとおり、除外条件を見直す（対象期間は 2005~2020 年度とする）ことでデータの精査を行った。

a) 除外条件の見直し（１つ目：発電効率から見た除外候補の検討）

**処理したごみからの供給エネルギー量に対する、実績ベースでの発電効率を試算**

① 除外条件

・発電効率（実績ベースでの試算値）が 35%を超過する施設を除く

・廃止施設を除く

※分子の余熱利用量及び外部熱供給量のみ除外、以下の除外条件も同様。

※廃止施設を除くのは(a)から継続、以下の除外条件も同様。

※但し、シャフト式ガス化溶融炉の場合は除外条件から除く

② 算出方法（発電効率（実績ベースでの試算値））

$$発電効率(\%) = \frac{総発電量(実績値)(MWh) \times 3600}{年間処理量(t/年) \times 低位発熱量(実測値)(kJ/kg)} \times 100$$

③ 除外施設数

当該条件による除外施設数は 278 であった。

※2005~2020 年度の全期間での除外数、以下の除外条件も同様。

b) 除外条件の見直し（2 つ目：余熱利用からみた除外候補の検討）

**処理したごみからの供給エネルギー量に対する、余熱利用量実績値を見る**

① 除外条件

・余熱利用効率（実績ベースでの試算値）が 100%を超過する施設を除く

・廃止施設を除く

② 算出方法（余熱利用効率（実績ベースでの試算値））

$$余熱利用効率(\%) = \frac{余熱利用量(実績値)(MJ)}{年間処理量(t/年) \times 低位発熱量(実測値)(kJ/kg)} \times 100$$

③ 除外施設数

当該条件による除外施設数は 17 であった。

c) 除外条件の見直し（3 つ目：発電、余熱利用からみた除外候補の検討）

**処理したごみからの供給エネルギー量に対する、発電量と余熱利用量の合計を見る**

① 除外条件

・エネルギー回収率（実績ベースでの試算値）が 150%を超過する施設を除く

・廃止施設を除く

※但し、シャフト式ガス化溶融炉の場合は除外条件から除く

② 算出方法（エネルギー回収率（実績ベースでの試算値））

$$エネルギー回収率(\%) = \frac{総発電量(実績値)(MWh) \times 3600 + 余熱利用量(実績値)(MJ)}{年間処理量(t/年) \times 低位発熱量(実測値)(kJ/kg)} \times 100$$

③ 除外施設数

当該条件による除外施設数は 794 であった。

d) 除外条件の見直し（４つ目：余熱利用量の実績値と仕様値･公称値の状況からみた除外候補の検討）

**余熱利用量実績値と、余熱利用量公称値の関係性を見る**

① 除外条件

・余熱利用量について、仕様値・公称値に対する実績値が 900%を超過する施設を除く

・廃止施設を除く

② 算出方法（ここでは仮に余熱利用量の実績値と仕様値･公称値の状況を「余熱利用状況（%）」とする）

$$余熱利用状況(\%) = \frac{余熱利用量(実績値)(MJ)}{余熱利用量(仕様値・公称値)(MJ)} \times 100$$

③ 除外施設数

当該条件による除外施設数は 61 であった。

e) 除外条件の見直し（５つ目：余熱利用量と外部熱供給量の状況からみた除外候補の検討）

**余熱利用量実績値と、うち外部熱利用量の関係性を見る**

① 除外条件

・余熱利用量に対して、うち外部熱供給量が超過する施設を除く

・廃止施設を除く

② 算出方法（ここでは仮に余熱利用量と外部熱供給量の状況を「余熱利用状況（MJ）」とする）

$$余熱利用状況(MJ) = 余熱利用量(MJ) - うち外部熱供給量(MJ)$$

③ 除外施設数

当該条件による除外施設数は 79 であった。

f) 除外条件の見直し（６つ目：発電、余熱利用からみた除外候補の検討）

処理したごみからの供給エネルギー量に対する、発電量と余熱利用量の合計を見る

① 除外条件

・エネルギー回収率（実績ベースでの試算値）が 90%を超過する施設を除く

・廃止施設を除く

※但し、シャフト式ガス化溶融炉の場合は除外条件から除く

② 算出方法（エネルギー回収率（実績ベースでの試算値））

$$エネルギー回収率(\%) = \frac{総発電量(実績値)(MWh) \times 3600 + 使用余熱利用量(MJ)^{※}}{年間処理量(t/年) \times 低位発熱量(実測値)(kJ/kg)} \times 100$$

※使用余熱利用量(MJ)とは、(i)余熱利用量の実測値、(ii)余熱利用量の仕様値、(iii)外部余熱利用量の仕様値、(iv)外部余熱利用量の実測値　の優先順位でデータを整理

③ 除外施設数

当該条件による除外施設数は 449 であった。

g) ６つの除外条件を適用した際の一般廃棄物焼却施設におけるごみ処理量当たりの余熱利用量

(2)(a)にて整理した、ごみ処理量当たりの余熱利用量について、上記の除外条件を適用した際の結果は、以下のとおりとなった（グラフは 2011 年度以降のみを示す）。

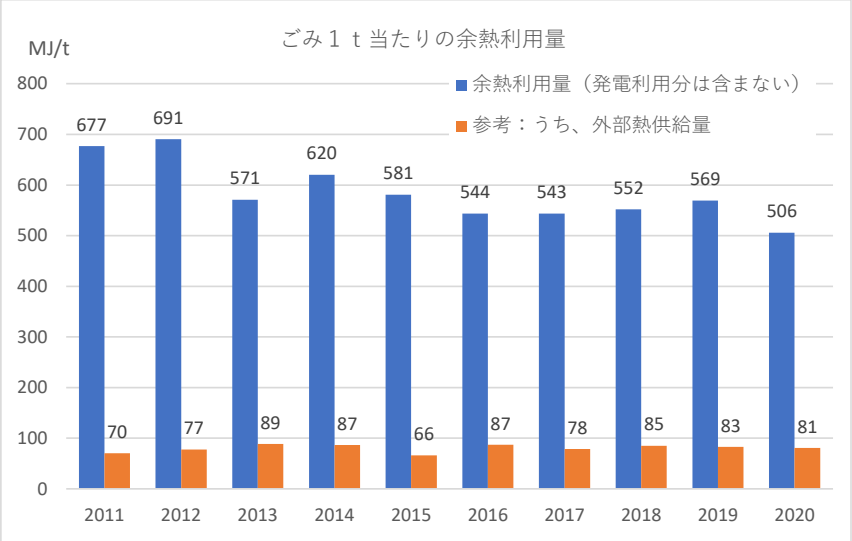



図 II-41　ごみ処理量当たりの余熱利用量（及び外部熱供給量）（６つの除外条件適用後）

除外条件を適用することで、ごみ処理量当たりの余熱利用量は各年 10%程度減少し、2020 年では、574MJ/t であったものが、506MJ/t に減少した。

(c) 個別ヒアリングの実施

除外条件の見直し（6 つ目）において、エネルギー回収率が 60～90%と算出された施設において、該当施設を保有する各自治体に個別にヒアリングを実施し、「一般廃棄物処理施設実態調査結果」における回答について、再度確認を行った。詳細について、別添資料（個別ヒアリング回答状況）に示す。また、ヒアリング結果反映後のごみ処理量当たりの余熱利用量を以下に示す。

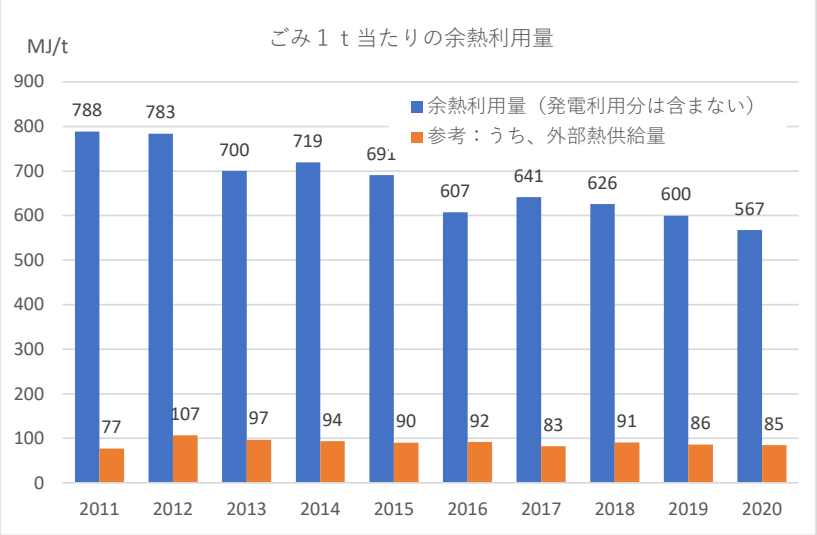



図 II-42　ごみ処理量当たりの余熱利用量（及び外部熱供給量）【ヒアリング結果反映】

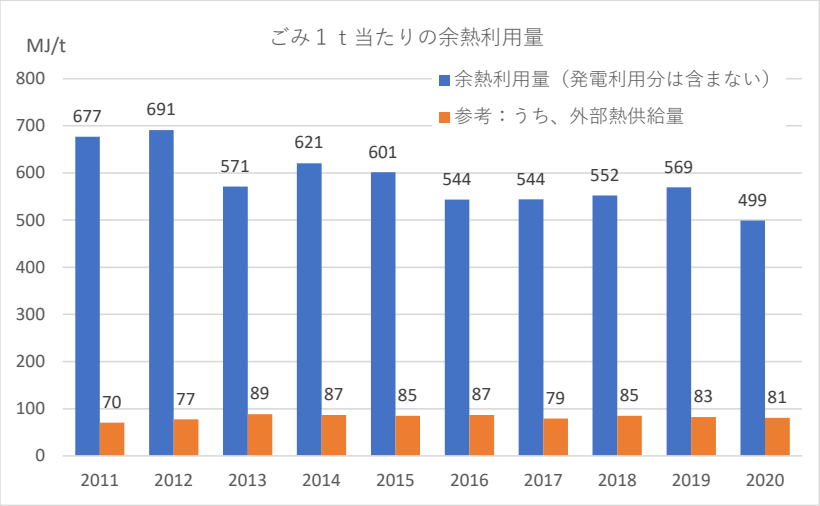



図 II-43　ごみ処理量当たりの余熱利用量（及び外部熱供給量）（６つの除外条件適用後）【ヒアリング結果反映】

(d) その他の検討（マリメッコチャートによる分析）

2011 年度及び 2020 年度における実態調査結果から、マリメッコチャートにより、年間処理量に対する余熱利用効率（年間処理量に対する余熱利用量）及び発電効率（年間処理量に対する発電量）の整理を行い、エネルギー回収の分布・連続性を確認することで、実態調査の回答結果の信頼性を確認した。確認結果を以下に示す。

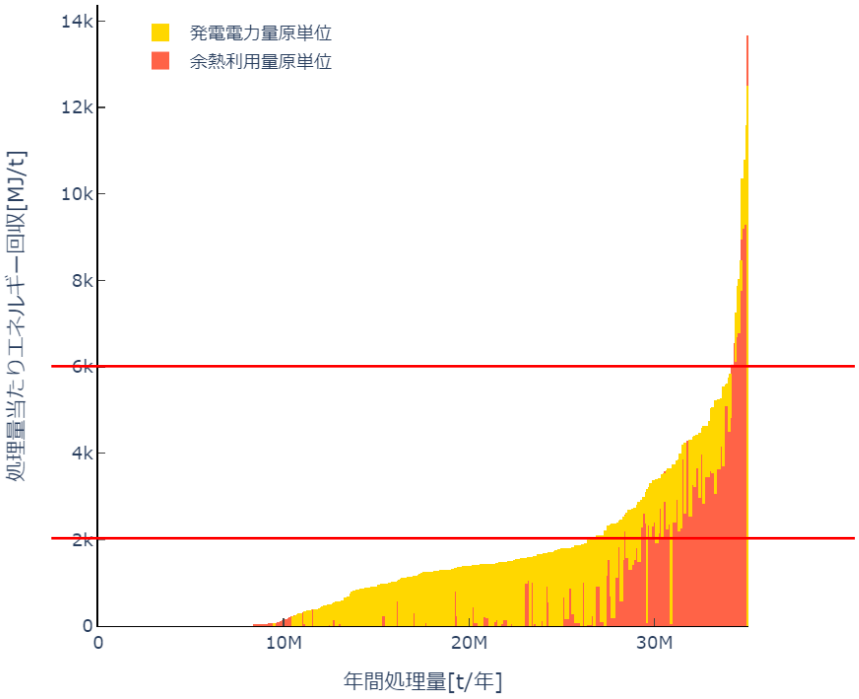



図 II-44　年間処理量に対する余熱利用量（2011 年度）

このグラフ（2011 年度）のとおり、ごみ処理量当たりのエネルギー回収量が（2,000MJ/t から）6,000MJ/t までは、発電効率と余熱利用効率の分布に連続性（発電効率も余熱利用も同程度増加推移している）があり、回答結果に大きな問題がないように見受けられる。

また、以下のグラフにて発電用の焼却熱量の原単位（=発電量（MJ 換算）÷発電効率÷年間処理量）で分布を確認した（2020 年度）ところ、発電用の焼却熱量の原単位が 12,000MJ/t を超過する点でデータの連続性が失われることが確認された。

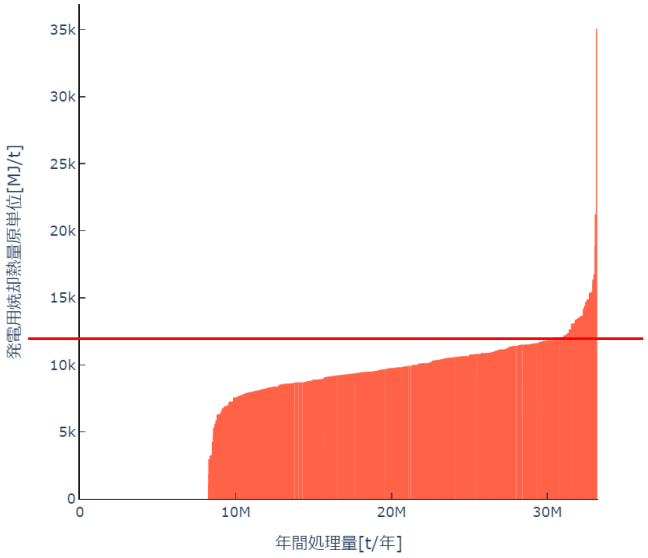



**図 II-45　年間処理量に対する発電量（2020 年度）**

以上から、年間処理量当たりの発電及び余熱利用に関しては、処理量当たりのエネルギー回収率が 6,000MJ/t を超過する施設に対して、今後スクリーニングの可能性があることが示唆された。

### 4) 一般廃棄物実態調査の改善案

余熱利用量・発電電力量等に関して、一般廃棄物実態調査の改善案を以下に示す。

#### (a) 余熱利用量に係る設問

①外部熱供給量については、余熱利用量のうちの外部熱供給量であることを改めて周知、さらにエラーチェックの追加等により、外部熱供給量が余熱利用量を決して上回ることが無いようにすることが望ましい。

②公称値に対して余熱利用量の実績値が大きく異なる場合、再確認を促す機能が追加されることが望ましい。

③より詳細な解析を行うためには、外部熱供給量を除く、場内利用の余熱利用について、具体的な利用方法（給湯、冷暖房等）を把握可能にすることで、解析のための判断材料の１つとすることも考えられる。

#### (b) 発電電力量に係る設問

①発電効率の設問について、高効率発電の推進について進捗把握ができるように「熱の有効利用を主目的として付加的に発電設備を設けている場合（バイナリー発電等）で、発電効率が極めて小さくなる場合は入力を不要とする」などの注釈を追記し、適切な回答が得られるよう工夫することが望ましい。

②余熱利用量と同様、公称値に対する発電効率の実績値が大きく異なる場合、再確認を促す機能が追加されることが望ましい。すなわち、実績値ベースでの発電効率（ごみ量及びごみの低位発熱量の実績から把握可能な入りのエネルギーに対する発電量の割合）がリアルタイムで算出され、エラーチェック等に利用されるようにすることが望ましい（なお、外部燃料を供給する処理方式の扱いについては要検討）。
③ごみ量及びごみの低位発熱量の実績から把握可能な入りのエネルギーに対する回収エネルギー（余熱利用量と発電量の合計）の割合がリアルタイムで算出され、エラーチェック等に利用されるようにすることが望ましい（なお、外部燃料を供給する処理方式の扱いについては要検討）。

# III. 資源循環を通じた素材毎のライフサイクル全体の脱炭素化に向けた検討

## 1. 関係分野で検討されている対策技術、戦略、計画による影響の検討

廃棄物・資源循環分野のカーボンニュートラル実行計画の策定に向けては、循環経済工程表（2022年 9 月）の中で、『「廃棄物・資源循環分野における 2050 年温室効果ガス排出実質ゼロに向けた中長期シナリオ(案)」（以下、中長期シナリオ案という）を元に、CCUS 等の技術の進展等を踏まえた廃棄物・資源循環分野における脱炭素技術の評価検証や、廃棄物処理システム及び施設整備の方針等の検討を進めることで、2050 年カーボンニュートラル実現に向けた取り組みを更に掘り下げていく。また、関係者との連携方策等について検討し、これらをまとめた実行計画の策定を進める。』と記載されているところである。本業務では、中長期シナリオ案を踏まえて、2050 年カーボンニュートラルの取組を進めていく上で必要となる情報、とりわけ関係分野において地球温暖化対策のために検討されている対策技術、戦略、計画等についての調査を実施し、廃棄物・資源循環分野と関係分野における連携方策等を検討することを目的とする。

### 1.1 調査方法

廃棄物・資源循環分野において、中長期シナリオ案を元に具体的な取組を進めていく上では、関係する分野の各主体とも連携しながら進めていくことが必要である。一方で、こうした関係分野においても 2050 年カーボンニュートラルに向けた取組が進むことが想定されるため、中長期シナリオ案で示された廃棄物・資源循環分野で見込まれる対策と関係分野におけるカーボンニュートラルに向けた取組との整合性の確認や具体的な連携方策を検討する上での基礎情報を整理していく必要がある。また、調査の前提として、廃棄物・資源循環分野と関係する分野を明らかにしていく必要がある。

#### （1）廃棄物･資源循環分野と関係する分野の整理（1.2）

廃棄物・資源循環分野とすでに何らかの関係のある分野、あるいは 2050 年カーボンニュートラルに向けて新たな関係が生じてくると考えられる分野を整理・抽出する。廃棄物・資源循環分野の取組については、中長期シナリオ案の重点対策領域で示された対策に必要に応じて取組を追加し、各取組について関係する分野を整理する。

中長期シナリオ案の重点対策領域Ⅰでは、“非エネ起 GHG 排出量が大きい素材群に着目”して対策が検討されているが、ライフサイクル全体の観点からはその素材を利用する製品や製品の利用先まで視野を広げた検討が必要である。また、中長期シナリオ案で対象とされた素材群は廃棄段階での GHG 排出量に着目することで抽出されたものであり、製造時や利用時に多くの排出を伴う素材について十分な検討がなされているわけではない。そこで、廃棄物・資源循環分野の関係分野の整理に当たって、第一に、「中長期シナリオ案の重点対策領域Ⅰの対象素材群に加えて、廃棄段階での温室効果ガス排出量は大きくないが、廃棄物・資源循環と連携することで製造等の段階で排出削減が可能な素材（具体的には金属）」について、「ライフサイクルの視点」から関係分野の整理を試みる。具体的には、循環型社会形成推進基本計画における「資源確保段階」「生産段階」「流通段階」「使用段階」「廃棄段階」のライフサイクルの段階の分類を元に「生産段階」を素材と製品に分けた上で、各段階における関係分野を整理する。

中長期シナリオ案の重点対策領域Ⅱでは、“廃棄物処理と他分野との連携を通じ、社会全体の $CO_2$ 排出削減による移行過程での貢献も可能”であることから“削減ポテンシャルが大きいと思われる処理

方式に着目”して対策が検討されており、対策の中身は「有機性廃棄物対策」と「廃棄物エネルギー利活用高度化と CCUS」となっている。「有機性廃棄物対策」における埋立回避を除けば、重点対策領域Ⅱは、他分野に廃棄物分野からエネルギー（電気、蒸気、燃料）を供給することで、他分野での削減に貢献する対策が中心である。そこで、第二の視点として「他分野へのエネルギー等の供給の視点」から関係分野の整理を試みる。

中長期シナリオ案の重点対策領域Ⅲでは、“廃棄物処理施設等からの排出の早期かつ着実な削減が必要”であることから、利用しているエネルギーの削減や脱炭素化、カーボンニュートラルなエネルギーを利用可能な車両や機材等の導入に関する対策が中心である。このため、“素材毎のライフサイクル全体”に関連しうる取組ではなく、廃棄段階での取組として限定されることから、本業務では関係分野としての整理は実施しない。

図 III-1 に分野間の関係性の概念図を示す。

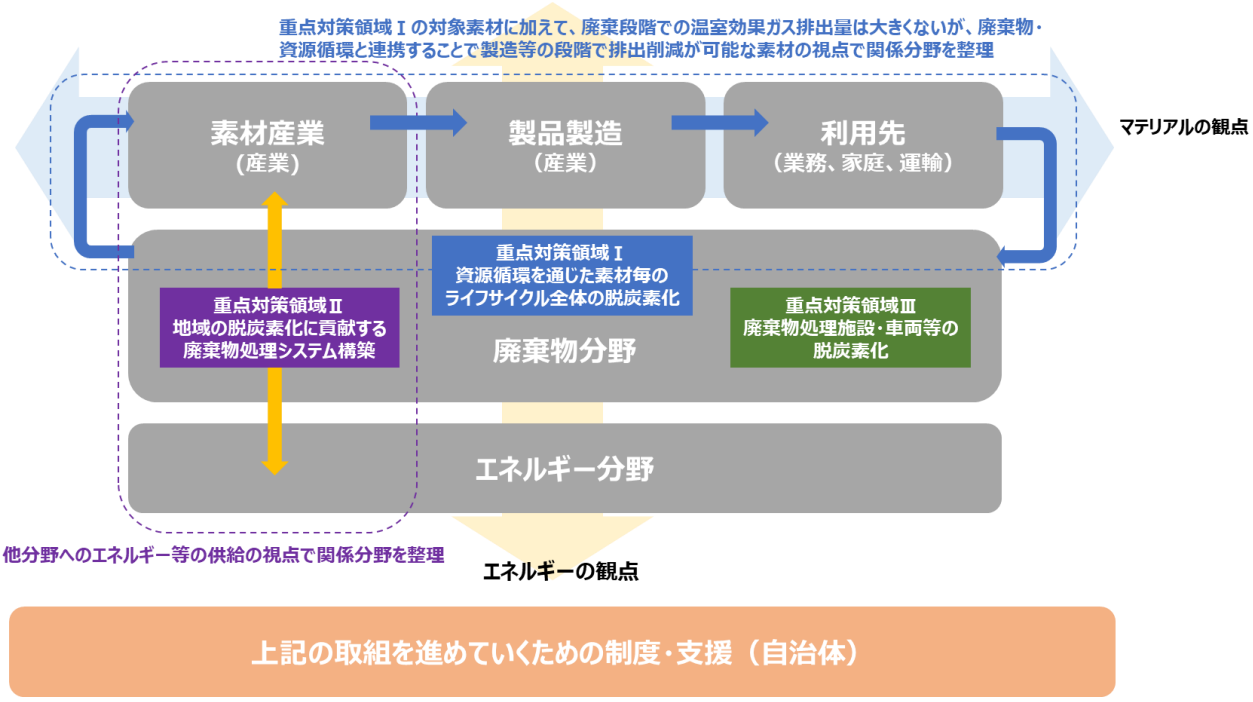



図 III-1　関係分野整理の基本的方針

### （2）関係各分野のカーボンニュートラルに向けた動向調査（1.3）

調査対象となる関係分野について 2050 年カーボンニュートラルに向けた取組を中心に調査を実施する。2030 年までの各分野の動向に関しては、基本的には温対計画・エネルギー基本計画を踏まえることとし、当該計画中で各分野において掲げられている内容（マクロフレームや対策）について整理する。2030 年以降は、パリ協定に基づく成長戦略としての長期戦略やグリーン成長戦略、クリーンエネルギー戦略（検討中）等の目指すべき方向性を定めた戦略類を踏まえつつ、産業部門に関しては、「トランジション・ファイナンス」に関する各分野のロードマップ（案）や業界団体が示す脱炭素ビジョンなどについて、各分野の国内生産規模、脱炭素化に資する技術革新等に関する事項を調査する。

## 1.2 廃棄物・資源循環分野と関係する分野の整理

### （1）中長期シナリオ案の重点対策領域 I に関係する分野の整理

#### 1) 廃プラスチック

廃プラスチック対策の基本的な考え方について、中長期シナリオ案では、「発生抑制・再使用・分別回収の推進」「MR の更なる推進」「循環型 CR の推進」「バイオプラスチックの更なる普及」「カーボンリサイクル技術によるプラスチック製造」「廃プラスチックの燃料利用」の方向性が示された。この基本的な考え方にのっとり、廃プラスチック対策として中長期シナリオ案に反映された具体的な取組を以下に示す。ここで、基本的考え方のうち、「カーボンリサイクル技術によるプラスチック製造」「廃プラスチックの燃料利用」については、シナリオへの反映は見送られており、今後の検討課題とされているが、関係分野の調査を通じてその動向や見通しを本業務において把握していくために取組として記載した。

表 III-1 廃プラスチック対策として中長期シナリオ案に反映された取組

| | 取組概要 | 想定値の例 |
|---|---|---|
| A | プラスチック製買物袋有料化 | |
| B | 3R 推進団体連絡会「容器包装 3R のための自主行動計画 2025」に基づく発生抑制 | |
| C | バイオマスプラスチック類導入 | 2030 年:200 万 t(～拡大計画)<br>2050 年:250 万 t(イノベ実現) |
| D | 日本化学工業協会「廃プラスチックのケミカルリサイクルに対する化学産業のあるべき姿」に基づく MR・循環型 CR 推進 | 2050 年 10 万トン |
| E | 循環型 CR 歩留まり、循環型 CR 収率向上 | |
| F | 発生抑制 | 2050 年：25% |
| G | カーボンリサイクル技術によるプラスチック製造（シナリオ未反映） | |

中長期シナリオ案での整理も踏まえつつ、プラスチックについて、素材・製品のライフサイクル毎に関係する分野を産業分類で抽出し、その概要及び取組との関連性を整理したものを以下に示す。

表 III-2　廃プラスチック対策の関係分野の整理

| ライフサイクル | 関係分野 | 概要 | 関連取組 |
|---|---|---|---|
| 資源確保 | 石油製品製造業 | 石油化学製品原料（ナフサ）を製造（現状） | C |
| | 農林水産業 | バイオマスプラスチックの原料供給源 | C |
| | 紙・パルプ・紙加工品製造業 | プラスチックの代替品としての紙製品を製造 | F |
| | 化学工業 | プラスチック原料の製造 | C,D,E,G |
| 製造(製品) | プラスチック製品製造業 | プラスチック製品の製造 | C,D,E,G |
| | (容器包装プラ利用産業)<br>※個別の産業分類ではない | 製品中及び製品容器・包装用のプラスチックの利用 | B,G |
| 流通 | 小売業 | 容器・包装用を含むプラスチック利用製品の販売<br>店頭におけるプラスチック・ペットボトル類の回収 | A |

| | | | |
|---|---|---|---|
| | 宿泊業・飲食サービス業 | 容器・包装用プラスチックの利用 | B,G |
| | 医療・福祉業 | 衛生用のプラスチック製品の利用 | - |
| 使用 | 一般消費者 | プラスチックを含む製品全般の利用、廃プラの発生 | B |
| 廃棄 | 紙・パルプ・紙加工品製造業 | 製紙工場における廃プラの熱利用（RDF、RPF） | - |
| | 化学工業 | MR・廃プラの循環型 CR | D |
| | プラスチック製品製造業 | MR・廃プラの循環型 CR | D |
| | 窯業・土石製品製造業 | セメント工場における廃プラの熱利用 | - |
| | 鉄鋼業 | 高炉・コークス炉におけるケミカルリサイクル（1way） | E |

2) 廃油

廃油対策の基本的な考え方について、中長期シナリオ案では、“単純焼却されている廃油の燃料利用を更に進めることは工場等における $CO_2$ 削減に貢献するが、今後、工場等での 2050 年実質排出ゼロ化に向けた取組が進むに伴い、燃料としての利用は減少する方向に向かうと考えられる”ことから、廃油の MR 普及、基油や溶剤のバイオマス化が方向性として示された。この基本的な考え方にのっとり、廃プラスチック対策として中長期シナリオ案に反映された具体的な取組を以下に示す。

表 III-3　廃油対策として中長期シナリオ案に反映された取組

| | 取組概要 | 目標値の例 |
|---|---|---|
| A | 焼却されている廃溶剤の MR | 2030 年 30% |
| B | 燃料化されている廃油の MR | 2050 年 80% |
| C | 焼却されている廃油の MR | 2050 年 30%(イノベ実現)<br>2050 年 50%(イノベ発展～) |
| D | 焼却せざるを得ない用途の油のバイオマス化 | 2050 年 10 万トン |

中長期シナリオ案での整理も踏まえつつ、プラスチック素材・製品のライフサイクル毎に関係する分野を産業分類で抽出し、その概要及び取組との関連性を整理したものを以下に示す。

表 III-4　廃油対策の関係分野の整理

| ライフサイクル | 関係分野 | 概要 | 関連取組 |
|---|---|---|---|
| 資源確保 | 石油製品製造業 | ・潤滑油製品等の製造 | A,B,C,D |
| 製造(製品) | 輸送用機械製造業 | ・エンジンオイルの利用（※主に自動車産業） | B,C |
| 流通 | 小売業（燃料小売） | ・ガソリンスタンド等からの廃エンジンオイル等の発生 | B,C |
| | 自動車整備業 | ・廃エンジンオイル等の発生 | B,C |
| 使用 | 一般消費者 | ・自動車の購入、利用、廃棄 | – |
| 廃棄 | 石油製品製造業 | ・再生重油等の製造 | B,C |
| | 廃棄物処理業 | ・廃油の焼却処理、リサイクルの実施 | B,C |

3) 廃タイヤ

廃タイヤ対策の基本的な考え方について、中長期シナリオ案では、“①タイヤの長寿命化による発生抑制、②使用済みタイヤのリトレッドによる再使用、③廃タイヤの循環型 CR による再原料化、④天然素材（天然ゴムやバイオマス由来のカーボンブラック等）割合の増加が挙げられる。”とされている。

表 III-5　廃タイヤ対策として中長期シナリオ案に反映された取組

| | 取組概要 | 想定値の例 |
|---|---|---|
| A | リトレッド | 2050 年 10%(イノベ実現)<br>2050 年 20%(イノベ発展) |
| B | 循環型 CR | 2050 年 80% |
| C | 石油成分のバイオマス化 | 2050 年 30%(イノベ実現)<br>2050 年 50%(イノベ発展～) |

中長期シナリオ案での整理も踏まえつつ、タイヤの素材・製品のライフサイクル毎に関係する分野を産業分類で抽出し、その概要及び取組との関連性を整理したものを以下に示す。

表 III-6　廃タイヤ対策の関係分野の整理

| ライフサイクル | 関係分野 | 概要 | 関連取組 |
|---|---|---|---|
| 資源確保 | 石油製品製造業 | ・タイヤ原料の供給 | B,C |
| | 農林水産業 | ・天然素材の供給 | C |
| | ゴム製品製造業 | ・タイヤ（リトレッド含む）の製造 | A,B,C |
| 製造(製品) | 輸送用機械製造業 | ・製品へのタイヤの利用（※主に自動車産業） | A,B,C |
| 流通 | 小売業 | ・タイヤの販売（※自動車小売業：タイヤ販売店） | － |
| 使用 | 一般消費者 | ・自動車の購入、利用、廃棄 | － |
| 廃棄 | 石油製品製造業 | ・循環型 CR の実施 | B |
| | 窯業・土石製品製造業 | ・セメント工場における廃タイヤの熱利用 | － |
| | 廃棄物処理業 | ・廃タイヤの焼却処理 | － |

4) 廃紙おむつ

廃タイヤ対策の基本的な考え方について、中長期シナリオ案では、“①タイヤの長寿命化による発生抑制、②使用済みタイヤのリトレッドによる再使用、③廃タイヤの循環型 CR による再原料化、④天然素材（天然ゴムやバイオマス由来のカーボンブラック等）割合の増加が挙げられる。”とされている。

表 III-7　廃紙おむつ対策として中長期シナリオ案に反映された取組

| | 取組概要 | 想定値の例 |
|---|---|---|
| A | MR | 2050 年 10%(イノベ実現)<br>2050 年 20%(イノベ発展) |
| B | バイオ素材化 | 2050 年 100%(イノベ実現~) |

中長期シナリオ案での整理も踏まえつつ、紙おむつの素材・製品のライフサイクル毎に関係する分野を産業分類で抽出し、その概要及び取組との関連性を整理したものを以下に示す。

表 III-8　廃紙おむつ対策の関係分野の整理

| ライフサイクル | 関係分野 | 概要 | 関連取組 |
|---|---|---|---|
| 資源確保 | 石油製品製造業 | ・紙おむつ原料（石油由来分）の供給 | A |
| | 農林水産業 | ・紙おむつ原料（生物由来分）の供給 | B |
| 製造(製品) | 紙・パルプ・紙加工品製造業 | ・紙おむつ製品の製造 | A,B |
| 流通 | 小売 | ・紙おむつ製品の販売 | － |
| 使用 | 一般消費者 | ・廃紙おむつの発生 | － |
| | 医療・福祉業 | ・廃紙おむつの発生（※医療・介護現場） | － |
| 廃棄 | 廃棄物処理業 | ・廃紙おむつのリサイクル、燃料化 | A |

5) 紙くず

紙くず対策の基本的な考え方について、中長期シナリオ案では、“リサイクルによる焼却回避だけでなく、本格的なペーパーレス化による発生抑制が求められる”とされている。

表 III-9　紙くず対策として中長期シナリオ案に反映された取組

| | 取組概要 | 想定値の例 |
|---|---|---|
| A | MR | 2050 年 60%(イノベ実現)<br>2050 年 75%(イノベ発展~) |
| B | 発生抑制 | 2050 年 20%(イノベ発展~) |

中長期シナリオ案での整理も踏まえつつ、紙の素材・製品のライフサイクル毎に関係する分野を産業分類で抽出し、その概要及び取組との関連性を整理したものを以下に示す。

表 III-10 紙くず対策の関係分野の整理

| ライフサイクル | 関係分野 | 概要 | 関連取組 |
|---|---|---|---|
| 資源確保 | 農林水産業 | ・紙原料の供給 | － |
| 製造(素材) | 紙・パルプ・紙加工品製造業 | ・パルプ・紙製品の製造 | － |
| 製造(製品) | (紙を利用した製品製造産業)<br>※個別の産業分類ではない | ・紙を利用した製品の製造 | B |
| 流通 | 小売 | ・梱包用の板紙類を含む紙利用製品の販売 | A,B |
| | 輸送事業者 | ・梱包用板紙の利用 | A,B |
| 使用 | 一般消費者 | ・紙くずの発生 | B |
| 廃棄 | 廃棄物処理業 | ・古紙の回収（古紙回収業） | A |

6) 合成繊維くず

合成繊維くず対策の基本的な考え方について、中長期シナリオ案では、“2R 対策（古着利用、リペアサービス、適正生産・在庫）、リサイクル対策（リサイクルしやすい商品設計、リサイクル PET の使用、ポリエステル・ナイロンの CR）、バイオマス化（天然繊維シフト、PLA、バイオ PET、PTT、バイオ PA 等のバイオマス素材化）といった取組が始められつつあり、今後、これらの対策を更に定着・発展させていくことが望ましい”とされている。

表 III-11　合成繊維くず対策として中長期シナリオ案に反映された取組

| | 取組概要 | 想定値の例 |
|---|---|---|
| A | MR | 2050 年 30%(イノベ実現~) |
| B | 循環型 CR | 2050 年 10%(イノベ実現)<br>2050 年 20%(イノベ発展~) |

中長期シナリオ案での整理も踏まえつつ、合成繊維の素材・製品のライフサイクル毎に関係する分野を産業分類で抽出し、その概要及び取組との関連性を整理したものを以下に示す。

表 III-12　合成繊維くず対策の関係分野の整理

| ライフサイクル | 関係分野 | 概要 | 関連取組 |
|---|---|---|---|
| 資源確保 | 石油製品製造業 | ・合成繊維原料の供給 | A,B |
| 製造(素材) | 繊維工業 | ・合成繊維の製造 | A,B |
| 製造(製品) | 輸送用機械製品製造業 | ・合成繊維を利用する製品の製造 | A,B |
| 流通 | 小売業<br>（織物・衣服・身の回り品） | ・衣類等の販売 | A,B |
| 使用 | 一般消費者 | ・合成繊維くずの発生 | A,B |
| 廃棄 | 廃棄物処理業 | ・合成繊維のリサイクル | A,B |
| | 小売業 | ・衣類等の店頭回収 | A,B |

7) 非鉄金属

非鉄金属の素材・製品のライフサイクル毎に関係する分野を産業分類で抽出し、その概要を整理したものを以下に示す。

表 III-13　非鉄金属に関係する分野の整理

| ライフサイクル | 関係分野 | 概要 | 関連取組 |
|---|---|---|---|
| 製造(素材) | 非鉄金属製品製造業 | ・非鉄金属製品の精錬 | — |
| 製造(製品) | 任意の製造業 | ・非鉄金属製品を利用する製品の製造 | — |
| 使用 | 一般消費者 | ・使用済み製品の発生 | — |
| 廃棄 | 廃棄物処理業 | ・使用済み製品からの金属類の回収 | — |

（2）中長期シナリオ案の重点対策領域Ⅱに関係する分野の整理

1) 素材産業における廃棄物のエネルギー等利活用

中長期シナリオ案の重点対策領域Ⅱの対策の中身は「有機性廃棄物対策」と「廃棄物エネルギー利活用高度化と CCUS」となっている。「有機性廃棄物対策」における埋立回避を除けば、重点対策領域Ⅱは、他分野に廃棄物分野からエネルギー（電気、蒸気、燃料）を供給することで、他分野での削減に貢献する対策が中心である。そこで、第二の視点として「他分野へのエネルギー等の供給の視点」から関係分野の整理を試みる。

ここで、エネルギー供給は、「素材産業における廃棄物の（直接的）エネルギー等利活用」と「廃棄物処理を通じたエネルギー分野等への電気・熱・燃料の供給」に分類することができる。前者について、素材産業では、石炭をはじめとする化石燃料の利用を前提とする従来プロセスにおいて、排出係数の比較的低い廃棄物をエネルギー利用することで温室効果ガス排出量の抑制を進めてきた経緯がある。

さらに、多排出産業である素材産業やエネルギー分野では、分野のカーボンニュートラルの手段として CCS が検討されており、廃棄物分野単体での貯留が困難であるならば、これらの分野と連携して CCS を進めていくことも検討の余地があると考えられる。

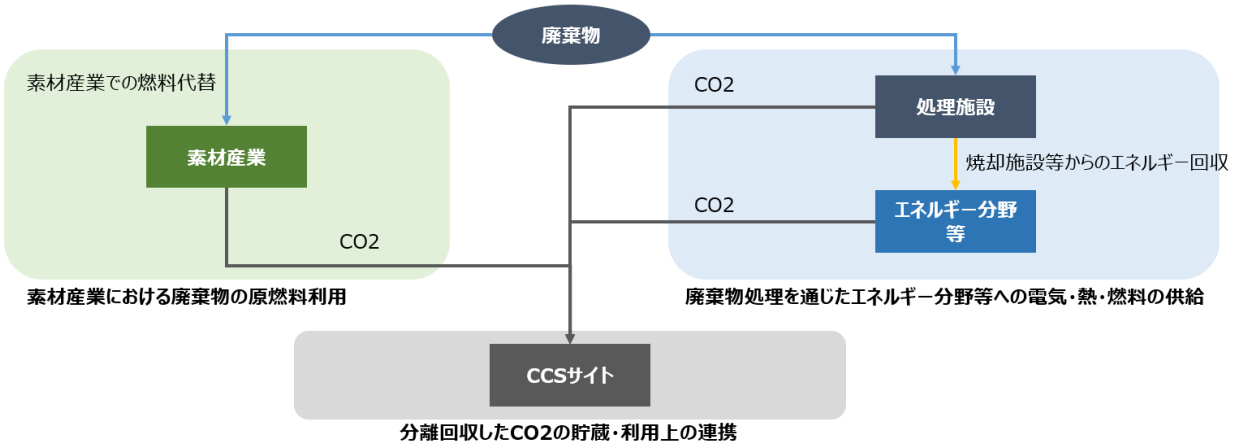



図 III-2　重点対策領域Ⅱを中心とした他分野へのエネルギー供給に関する整理

以上の 3 つの視点から、重点対策領域Ⅱに関係する分野を整理した内容を以下に示す。

表 III-14　重点対策領域Ⅱに関係する分野の整理

| 整理の視点 | 関係分野 | 概要 |
|---|---|---|
| **素材産業における廃棄物の原燃料利用** | 鉄鋼業 | コークス炉化学原料化法や高炉還元法によって国内の廃プラスチックを年間約 40 万トン程度受け入れている。 |
| | 窯業・土石製品製造業 | 廃プラや廃油、廃タイヤ等の廃棄物を燃料として利用しているほか、石炭火力発電所の石炭灰や高炉スラグ等、様々な廃棄物・副産物を受け入れている。 |
| | 紙・パルプ・紙加工品製造業 | 廃タイヤや RPF を燃料として利用している。 |
| | 電気業 | 焼却施設におけるエネルギー回収による電気を供給している。 |

| | | |
|---|---|---|
| **廃棄物処理を通じたエネルギー分野等への電気・熱・燃料の供給** | ガス業 | メタン発酵により製造したメタンガスを都市ガス原料として供給する事例も存在する。 |
| | 化学工業 | 廃棄物焼却時に発生する高温蒸気を化学工場等に供給することも想定される。（中長期シナリオ案） |
| | 石油製品製造業 | SAF 製造のための廃棄物の供給先として想定される。 |
| | 航空運輸業 | 廃棄物由来の SAF を航空機用の燃料として利用する利用先として想定される。 |
| **分離回収した CO2 の貯蔵・利用上の連携** | 電気業 | CCS 長期ロードマップ検討会に委員として参加（電気事業連合会） |
| | 鉄鋼業 | CCS 長期ロードマップ検討会に委員として参加（日本鉄鋼連盟） |
| | 窯業・土石製品製造業 | CCS 長期ロードマップ検討会に委員として参加（セメント協会） |
| | 紙・パルプ・紙加工品製造業 | CCS 長期ロードマップ検討会に委員として参加（日本製紙連合会） |
| | 化学工業 | CCS 長期ロードマップ検討会に委員として参加（日本化学工業協会） |
| | 石油製品製造業 | CCS 長期ロードマップ検討会に委員として参加（石油鉱業連盟） |

（3）調査対象分野の抽出

前項までの関係分野の整理の結果、廃棄物・資源循環分野は多くの関係者が考えられた。本業務ではその中から重点的に調査する分野を以下の通り、整理・選定した。選定の観点としては、廃棄物処理施設からの熱供給やガスの供給の観点から、「紙・パルプ・紙加工品製造業」「化学工業」「ガス業」の 3 分野を、中長期シナリオ案の作成後に分野における重点対策領域 I の対象素材のうち、取組が加速した「ゴム製品製造業」分野を、中長期シナリオ案では重点対策領域 I の素材の対象になっていないが、素材の循環利用によって、製造時等の排出削減に貢献できる「非鉄金属製造業」を選定した。選定した分野について、カーボンニュートラルに向けた動向を中心に調査を実施する。

表 III-15　本調査で重点的に調査する分野とその考え方

| 関係分野 | 重点的に調査する理由 |
|---|---|
| 紙・パルプ・紙加工品製造業（以下、製紙分野という） | ■ 当産業は排出係数の高い石炭の多消費産業であり、その代替として廃棄物燃料（RDF, RPF）をエネルギー利用している。<br>■ 石炭の多くは自家用発電に利用されるが、一部、熱も利用されており、廃棄物焼却施設からの回収熱から発生させた蒸気を供給すれば、廃棄物処理施設側でのエネルギー効率の向上及び製紙工場における化石燃料の抑制（関係分野での削減貢献）につながる。<br>■ 多排出産業であるため、業界としてカーボンニュートラルに向けてCCSを検討中であり、CCUSについての連携候補となりうる。 |
| 化学工業（以下、化学分野という） | ■ プラスチックをはじめとする化学品を供給する産業であり、循環型CR等の対策に関連の深い産業である。<br>■ 廃棄物焼却施設から発生させた蒸気の供給先として世界的にも例が多い産業である。廃棄物処理施設側でのエネルギー効率の向上及び化学工場における化石燃料の抑制（関係分野での削減貢献）につながる。 |

| | |
|---|---|
| | ■ 多排出産業であるため、業界としてカーボンニュートラルに向けてCCSを検討中であり、CCUSについての連携候補となりうる。 |
| ガス業（以下、都市ガス分野という） | ■ メタン発酵施設で製造したバイオガスのアップグレードにより都市ガス原料としてのバイオメタンを供給することで、当産業のガス体の脱炭素化に貢献できる。<br>■ また、下水汚泥や生ごみを対象とするバイオメタネーションに関する実証等も検討されている。<br>■ 焼却施設から発生する熱（温水）の供給を受けているガス工場も存在する。 |
| ゴム製品製造業（以下、タイヤ製造分野という） | ■ 中長期シナリオ案の重点対策領域Ⅰ対象素材である。また、自動車リサイクルWGにおいて検討を深めていくことが記載されている。<br>■ 中長期案の作成以降に当分野で各社がカーボンニュートラルに向けた動向が加速している。 |
| 非鉄金属製造業（以下、非鉄金属製造分野という） | ■ 廃棄段階で温室効果ガス排出量をほとんど発生させないが、地下等より採取する天然資源から生産する場合に比べて、使用後に再生利用して生産する方が、エネルギー使用量が少なくて済む場合が多いことから、温室効果ガス排出量の削減につながる。<br>■ また、脱炭素社会の実現の上で、再生可能エネルギーを大量導入していく際には、銅をはじめとする金属の必要量が大幅・急速に増大する。<br>■ 循環経済工程表において、「使用済製品等に含まれる金属を再生資源として動脈側に安定的に供給し、金属のリサイクル原料の処理量を2030年度までに倍増させることを目指す。」とされた。 |

（4）関係者に対するヒアリング調査

調査した分野について、抽出した分野における関係者へのヒアリング調査を下記の通り実施した。

表 III-16　ヒアリング先一覧

| 分野 | ヒアリング先 | 実施日 |
|---|---|---|
| 化学 | 東京大学大学院 工学系研究科 都市工学専攻<br>中谷 隼 准教授 | 2023年2月13日 |
| | 一般社団法人日本化学工業協会 | 2023年3月2日 |
| | 東京都環境局 資源循環推進部<br>古澤 康夫 資源循環推進専門課長 | 2023年3月10日 |
| タイヤ製造 | 住友ゴム工業株式会社（電話） | 2023年3月22日 |
| | 横浜ゴム株式会社（電話） | 2023年3月22日 |
| | TOYO TIRE株式会社 | 2023年3月24日 |
| | 日本ミシュランタイヤ株式会社（電話） | 2023年3月22日 |
| | 日本グッドイヤー株式会社（電話） | 2023年3月7日 |
| 都市ガス | 東京ガス株式会社 | 2023年3月9日 |
| | 大阪ガス株式会社<br>Daigasエナジー株式会社 | 2023年3月13日 |
| | 一般社団法人日本ガス協会 | 2023年3月15日 |
| 非鉄金属製造 | 東京大学大学院 工学系研究科<br>村上進亮 教授 | 2023年2月24日 |

## 1.3 関係各分野のカーボンニュートラルに向けた動向調査

### （1）化学分野に関する調査

前項までの整理にしたがって、化学分野と廃棄物・資源循環分野の関連性は以下の通りである。

表 III-17　化学分野と廃棄物・資源循環分野との関係性

| 重点対策領域 | 分類 | 関連性の概要 |
|---|---|---|
| 重点対策領域Ⅰ | 資源確保 | ・石油化学製品原料（ナフサ）を製造<br>・プラスチック原料の製造 |
| | 廃棄 | ・MR・廃プラの循環型CR |
| | 廃油 | ・潤滑油製品等の製造<br>・再生重油等の製造 |
| | 廃タイヤ | ・循環型CRの実施 |
| | 紙おむつ | ・紙おむつ原料（石油由来分）の供給 |
| 重点対策領域Ⅱ | 原燃料利用 | ・廃プラ・廃タイヤの循環型CR |
| | CCUS連携 | ・CCSによるカーボンニュートラル化を検討中の産業 |

以上の関連性の整理も踏まえ、2050 年カーボンニュートラルに向けた、廃棄物・資源循環分野と化学分野の連携策を検討するに当たって必要となる情報の調査を行う。具体的には、中長期シナリオ案で廃プラスチックの発生量（静脈側）を想定したことも踏まえて、当産業における生産量（動脈側）の見通しに加えて、化学産業における 2050 年カーボンニュートラルに向けた取組について調査する。ここで、本業務では、化学分野のうち、プラスチック原料を製造している「石油化学」について調査を行う。

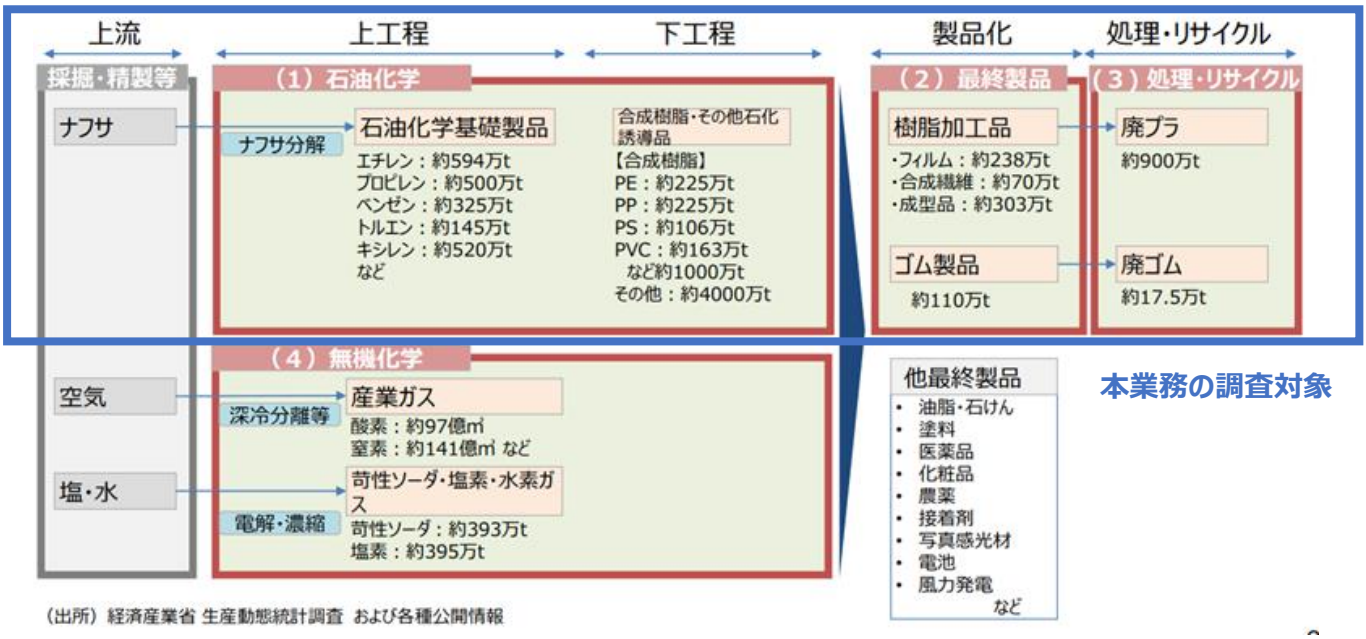



図 III-3　化学分野のマテリアルフローと本業務での調査対象範囲

出典：「「トランジションファイナンス」に関する化学分野における技術ロードマップ」（経済産業省, 2021 年 12 月）に追記

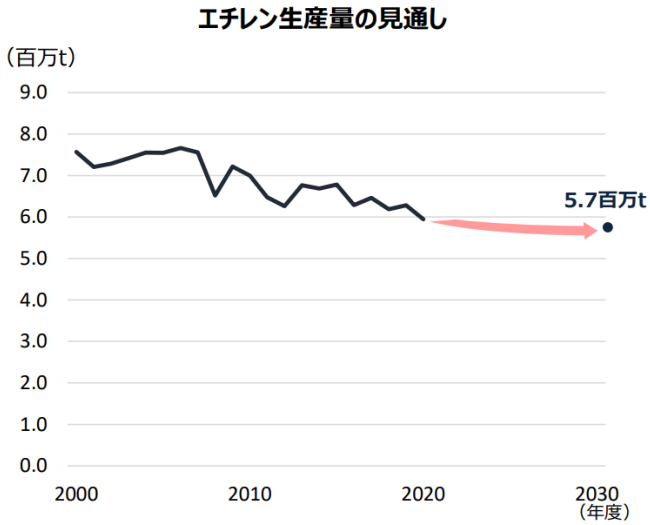
1) 化学分野の現状

(a) 生産量

図 III-3 に示す通り、石油化学基礎製品は原油を蒸留して得られるナフサを分解して生成される。ナフサは原油から石油精精製工場での常圧蒸留装置を用いて分解される。ナフサクラッカーによる熱分解を通して石油化学基礎製品であるエチレン、プロピレン、ブタジエン、ベンゼン、トルエン、キシレンなどが生成される。ナフサは 2020 年現在 3,972 万 kL 使用しており、そのうち 66%をカタール（20.5%）、アラブ首長国連邦（16.0%）をはじめとした中東（53.1%）となっている。

石油化学基礎製品が製造される石油化学の上工程では、石油化学協会によると、オレフェンとして、エチレン 594 万トン、プロピレン 500 万トン、ブタジエン 78 万トンが、芳香族として、ベンゼン 325 万トン、トルエン 145 万トン、キシレン 520 万トンが製造されている。下工程では、合成樹脂やその他の誘導品として、ポリエチレン 225 万トン、ポリプロピレン 225 万トン、ポリスチレン 106 万トンのほか、あわせて 1000 万トン程度が生産されている。

石油化学基礎製品のうち、エチレンは 2007 年の 774 万トンをピークに減少傾向にある。2020 年には、その生産量は 27 年ぶりに 600 万トンを下回る 594 万トンとなっている。「2030 年度におけるエネルギー需給の見通し」では、2030 年の生産量は 570 万トン程度と見積もられており、国立環境研究所の「2050 年脱炭素社会実現に向けたシナリオに関する一分析」では 2050 年の生産量は 541 万トンと見積もられている。




| | 将来見通し |
|---|---|
| 人口 | 126,440千人（2018）→ 101,923千人（2050） |
| 世帯数 | 53,889千世帯（2018）→ 47,241千世帯（2050） |
| GDP成長率 | 2020～2030 1.7%/年　2031～2050 0.5%/年 |
| 粗鋼生産量 | 10,289万トン（2018）→ 8,570万トン（2050） |
| セメント生産量 | 6,023万トン（2018）→ 6.039万トン（2050） |
| エチレン生産量 | 618万トン（2018）→ 541万トン（2050） |
| 紙板紙生産量 | 2,603万トン（2018）→ 2,348万トン（2050） |
| 機械製品生産量 | 100（2015）→ 141（2050） |
| 業務床面積 | 1,903百万m2（2018）→ 1,671百万m2（2018） |
| 運輸旅客 | 1,459（2018）→ 1,179 10億人km（2050） |
| 運輸貨物 | 411（2018）→ 419 10億tkm（2050） |

図 III-4 マクロフレームとしてのエチレン生産量の想定

出典：
【左図】「2030 年度におけるエネルギー需給の見通し」（資源エネルギー庁、2021 年 10 月）
【右図】「2050 年脱炭素社会実現に向けたシナリオに関する一分析」（国立環境研究所 AIM プロジェクトチーム, 2021）

(b) 製造工程等におけるエネルギー消費量及び $CO_2$ 排出量（現状）

2019 年度の我が国の $CO_2$ 排出量のうち、産業部門の $CO_2$ 排出量は 35%を占めており、このうち、約 15%を化学産業が占めている。化学産業ではエネルギー由来の排出量に加えて、その下流側で、プラスチックやゴム製品の製造・加工時のエネルギー由来排出量と、プラスチック製品やゴム製品が燃焼された際の非エネルギー起源排出のような潜在的な排出量も存在している。エネルギー由来排出量のおよそ半数程度は石油化学製品の製造時に排出されている。

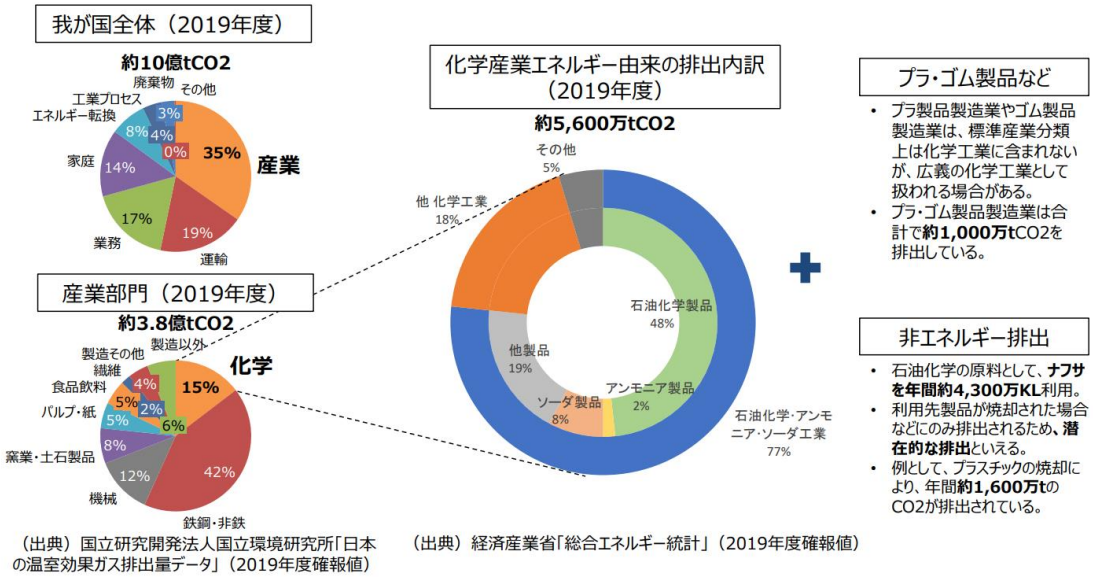
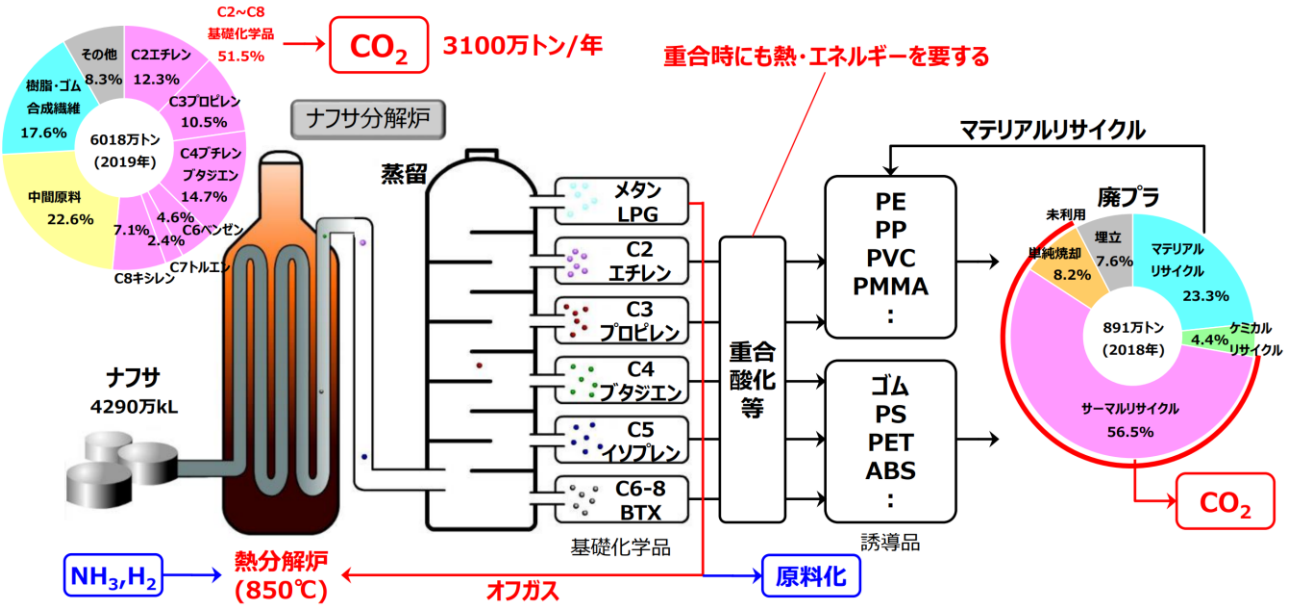



図 III-5　化学分野における CO2 排出構造

出典：「「トランジションファイナンス」に関する化学分野における技術ロードマップ」（経済産業省, 2021 年 12 月）

ナフサの熱分解炉では、基礎化学品の他、メタン等のオフガスが発生しており、炉の温度を 850℃に保つための熱源として利用されており、このオフガスが $CO_2$ 排出源となっている。コンビナート内で製造される樹脂等を用いて、様々な成形機械で加熱等によりプラスチック製品やゴム製品などの最終製品を製造している。なお、加工時においては電力や蒸気を中心にエネルギー利用されている。




（出典）：（左図）「化学品ハンドブック2020」国内生産量に「IDEA v.2.3」$CO_2$排出原単位を掛けて石油精製時の$CO_2$排出量を差し引いて算出
（右図）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　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

図 III-6　ナフサ分解炉を中心とする石油化学製品のフロー

出典：「「トランジションファイナンス」に関する化学分野における技術ロードマップ」（経済産業省, 2021 年 12 月）

2) 化学分野のカーボンニュートラルに向けた戦略・計画の調査

(a) 国による化学分野のカーボンニュートラルに関する計画等

a) エネルギー基本計画及び地球温暖化対策計画

化学分野（化学工業）個別の対策について、エネルギー基本計画及び地球温暖化対策計画において、「化学の省エネプロセス技術の導入」によって、2030年の省エネ量として144.1万kL（原油換算）が、「二酸化炭素原料化技術の導入」によって6.4kLが、「バイオ由来製品の導入促進」によって38.7kLが見込まれている。なお、「膜による蒸留プロセスの省エネルギー化技術の導入」、「非可食性植物由来原料による化学品製造技術の導入」、「微生物触媒による創電型廃水処理技術の導入」、「密閉型植物工場の導入」については、今後の導入が見込めないため除外されている。

表 III-18　地球温暖化対策計画で見込まれた省エネ量

| | | | | | | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| 化学工業 | 8. 化学の省エネプロセス技術の導入 | 石油化学 36%<br>苛性ソーダ、蒸気発生施設 20%<br>その他化学の効率向上 40% | 100% | 39.5% | 66.8 | 144.1 | 77.3 | 12.8 | 131.3 | 化学産業全般における設備更新や燃料転換といった様々な省エネルギー対策を通じ、エネルギー消費量を削減する。<br>※「石油化学の省エネプロセス技術の導入」、「その他化学の省エネプロセス技術の導入」を統合。特定の省エネ技術に限定せず、幅広い技術の導入を対象とするよう見直し。 |
| | 9. 膜による蒸留ﾌﾟﾛｾｽの省ｴﾈﾙｷﾞｰ化技術の導入 | 0% | (4%) | 0% | 12.4 | 0 | ▲12.4 | ― | ― | 蒸留ﾌﾟﾛｾｽに「分離膜技術」を導入することにより、蒸留塔における処理ｴﾈﾙｷﾞｰの大幅な削減を図る技術。<br>※今後の導入が見込まれないため除外。 |
| | 10. 二酸化炭素原料化技術の導入 | 0基 | 1基 | 0% | 0.5 | 6.4 | 5.9 | ― | 6.4 | 二酸化炭素等を原料にﾌﾟﾗｽﾁｯｸ原料等基幹化学品を製造する省ｴﾈﾌﾟﾛｾｽ。<br>※カーボンニュートラル基金の活用による技術進展を見込み省エネ量引き上げ。 |
| | 11. 非可食性植物由来原料による化学品製造技術の導入 | 0基 | (1基) | 0% | 2.9 | 0 | ▲2.9 | ― | ― | 非可食性ﾊﾞｲｵﾏｽ原料から機能性及びｺｽﾄの両面で競争力のある化学品を一気通貫で製造する省ｴﾈﾌﾟﾛｾｽ。<br>※今後の導入が見込まれないため除外。 |
| | 12. 微生物触媒による創電型廃水処理技術の導入 | 0% | (10%) | 0% | 1.4 | 0 | ▲1.4 | ― | ― | 工場廃水を対象として、発電しながら廃水処理を行う技術。<br>※今後の導入が見込まれないため除外。 |
| | 13. 密閉型植物工場の導入 | 0% | (20%) | 0% | 5.4 | 0 | ▲5.4 | ― | ― | 植物機能を活用した生産効率の高い省ｴﾈﾙｷﾞｰ物質型生産技術を確立。<br>※今後の導入が見込まれないため除外。 |
| | 14. バイオ由来製品の導入促進 | 0% | 4% | 新規 | 新規 | 38.7 | 45.4 | ― | 45.4 | バイオマス由来のプラスチックをはじめとするバイオ由来製品の導入を促進し、化石資源由来プラスチック等を代替することによって、化石資源由来製品の原料となる化石資源（主にナフサ）の使用量を削減。※新規追加 |
| | | | | 化学工業 計 | 89.4 | 195.9 | 106.5 | 12.8 | 183.1 | |

出典：「2030年度におけるエネルギー需給の見通し（関連資料）」（資源エネルギー庁, 2021年）

b) 「トランジションファイナンス」に関する化学分野における技術ロードマップ

「「トランジションファイナンス」に関する化学分野における技術ロードマップ」では、石油化学に関連する部分として、「ナフサ分解炉」「原料転換」「最終製品」「リサイクル」が対策として挙げられている。ナフサ分解炉の低炭素・脱炭素化に向けては、機器効率・エネルギー効率の改善や石炭から天然ガスへの燃料転換などが既に導入されている。さらに、今後はアンモニアや水素への燃料転換により低炭素燃料から脱炭素燃料へと移行していくほか、オフガスメタンをプラスチック等向けに原料化する技術の導入により、プラ等の製造時の排出削減にも貢献することが見込まれる。

| | 技術名 | 概要 | 排出係数/削減幅※1 | 実装年※2 | 参照先※3 |
|---|---|---|---|---|---|
| ナフサ分解炉 | BPT（エチレン製造設備） | ✓ 運転方法の改善、排出エネルギーの回収、プロセスの合理化、設備・機器効率の改善 | 39万t削減※2 | 既に導入 | ✓ 低炭素社会実行計画 |
| | 天然ガスへの燃料転換 | ✓ 立ち上げ時の石炭などの燃料を天然ガスに転換 | - ※5 | 既に導入 | ✓ 低炭素社会実行計画 |
| | アンモニア、水素等への燃料転換 | ✓ 石油・重油などからアンモニア、水素等への燃料転換<br>✓ アンモニア、水素バーナー等を利用 | 0.35 | 2030年代 | ✓ GI基金-社会実装計画 |
| | オフガスメタンの原料化 | ✓ ナフサ分解炉から排出されるメタン等のオフガスをプラスチック等向けに原料化 | 0～0.35 | 2040年代 | ✓ GI基金-社会実装計画 |

図 III-7　化学分野におけるナフサ分解炉に関連する技術

出典：「「トランジションファイナンス」に関する化学分野における技術ロードマップ」（経済産業省, 2021年12月）

原料転換による低炭素・脱炭素化については、原料のバイオマス化は一部で導入され始めている一方で、多くが今後の導入が見込まれる技術となっている。2020~2030年代には、バイオ原料製造時に排

出される $CO_2$ に対して CCS を実施（BECCS）するほか、$CO_2$ を原料として様々な化学品を製造する技術が導入される見込みである。$CO_2$ の電気分解・合成によるオレフィン等の製造も想定されている。2040 年代には人工光合成による水素製造も想定される。

| | 技術名 | | 概要 | 排出係数/削減幅※1 | 実装年※2 | 参照先※3 |
|---|---|---|---|---|---|---|
| 原料転換 | バイオマスによる原料転換 | 基礎化学品 | ✓ バイオマス利用により、メタノールやエタノールなどの化学品原料、もしくはエチレン・プロピレン・BTXなどの基礎化学品を生産 | 0~2.0※7<br>CO2吸収：3.14 | 既に導入 | ✓ グリーン成長戦略、IEA ETP2020、Material Economics、DECHEMA |
| | | ポリマー及び原料 | ✓ バイオマスを利用したバイオポリマー及びそのモノマー原料の生産<br>✓ バイオ原料となる植物育成 | - | 2030年代 | ✓ カーボンリサイクル実現を加速するバイオ由来製品生産技術の開発 |
| | バイオマスによる原料転換＋CO2回収 | | ✓ バイオマスを化学品とする際にCCSを実施（BECCS等を含む） | - | 2020年代 | ✓ IEA ETP2020 |
| | 水素・CO2からメタノール生産 | | ✓ 水素とCO2を原料とし、化学品原料であるメタノールを生産 | 0.6~<br>CO2利用：1.373t | 2030年代 | ✓ カーボンリサイクル技術ロードマップ<br>✓ IEA ETP2020<br>✓ DECHEMA |
| | MTO・ETO | | ✓ メタノールやエタノールからオレフィン（エチレン・プロピレンなど）を生産 | 0.0<br>（再エネ前提） | 2030年代 | ✓ GI基金-社会実装計画、Material Economics |
| | CO2からオレフィン等の炭化水素生産 | | ✓ CO2の電気分解・合成を利用した炭化水素の生産 | - | 2030年代 | ✓ ムーンショット型研究開発事業<br>✓ IEA ETP2020<br>✓ DECHEMA |
| | CO2を原料とした機能性化学品の生成 | | ✓ ポリカーボネート、ポリウレタン原料、DMCなどをCO2から生産 | 0.95、0.45tCO2/t削減(DRC、MDI)<br>0.35kgCO2原料化 | 2030年代 | ✓ GI基金-社会実装計画 |
| | CO2からメタン生産 | | ✓ 水素を利用したメタネーション | - | 2020年代 | ✓ 第１回メタネーション推進官民協議会（2021.6.28）<br>✓ IEA ETP2020 |
| | 人工光合成 | | ✓ 人工光合成により、メタノールなどの化学原料に利用する水素を生成する | 0.0<br>（再エネ前提） | 2040年代 | ✓ GI基金-社会実装計画 |

※1：排出係数は各プロセスのものであり、誘導品・樹脂生産といった下流工程は含んでいない。
※2：社会実装計画については導入拡大・コスト低減フェーズの開始年を、IEAの場合はAvailable Yearを参照。
※3：実装年の参照先には下線を付加。

図 III-8　化学分野における原料転換に関連する技術

出典：「「トランジションファイナンス」に関する化学分野における技術ロードマップ」（経済産業省, 2021 年 12 月）

最終製品製造の低炭素・脱炭素化については、高効率化や軽量強化部材（セルロースナノファイバー等）の普及による石油由来素材の削減が 2020 年代から見込まれている。また、2035 年以降には $N_2O$ 等の $CO_2$ 以外の GHG 削減技術の導入が掲げられている。

リサイクル技術については、廃プラスチックのマテリアルリサイクルのさらなる推進のほかに、廃プラ・廃ゴムからガス化、油化、熱分解等によりオレフィンを製造するケミカルリサイクル技術の研究開発が進められており、グリーンイノベーション基金事業での技術開発によって 2030 年代に実装される見込みである。

| | 技術名 | | 概要 | 排出係数/削減幅※1 | 実装年※2 | 参照先※3 |
|---|---|---|---|---|---|---|
| 最終製品 | 高効率生産技術 | | ✓ 機能性化学品の生産に際し、従来のバッチ法ではなくフロー法による連続生産などを行う | 2030:491万t/年<br>2050:1,170万t/年 | 2020年代 | ✓ 革新的環境イノベーション戦略、NEDO資料 |
| | 軽量強化部材（セルロースナノファイバー等） | | ✓ 多様なCNFの複合技術により、自動車用等の軽量強化材料を製造。石油由来素材の削減に資する技術など。 | 373万tCO2<br>/年削減※4 | 2020年代 | ✓ NEDO資料※4 |
| | $N_2O$等抑制技術 | | ✓ 排ガス・半導体ガス処理、排水/汚泥/廃棄物/バイオマス、処理、農業分野等における$N_2O$等抑制技術（CO2以外のGHG抑制技術） | - | 2035年代 | ✓ NEDO資料※5 |
| リサイクル | マテリアルリサイクル | | ✓ 廃プラスチックからプラスチック製品を生産等 | 0~1.0 | 一部既に導入 | ✓ 革新的環境イノベーション戦略<br>✓ IEA ETP2020<br>✓ Material Economics など |
| | ケミカルリサイクル | 廃プラ | ✓ ガス化、油化、熱分解等により、廃プラスチックからオレフィンを生産 | 0.8 | 2030年代 | ✓ GI基金-社会実装計画<br>✓ Material Economics |
| | | 廃ゴム | ✓ ガス化、油化、熱分解等により、廃ゴムからオレフィンを生産 | 1.2 | 2040年代 | ✓ GI基金-社会実装計画<br>✓ Material Economics |

※1：排出係数は各プロセスのものであり、誘導品・樹脂生産といった下流工程は含んでいない。
※2：社会実装計画については導入拡大・コスト低減フェーズの開始年を、IEAの場合はAvailable Yearを参照。
※3：実装年の参照先には下線を付加。
※4：NEDO 炭素循環社会に貢献するセルロースナノファイバー関連技術開発　説明資料の令和12年度時点の成果目標より抜粋
※5：NEDO 温室効果ガスN2O の抑制分野の技術戦略策定に向けて Vol. 105 2021 年 6 月

図 III-9　化学分野における「最終製品」「リサイクル」に関連する技術

出典：「「トランジションファイナンス」に関する化学分野における技術ロードマップ」（経済産業省, 2021 年 12 月）

(b) 業界団体による石油・化学分野のカーボンニュートラルに関する戦略、計画

a) 一般社団法人日本化学工業協会

日化協は 2021 年 5 月に「カーボンニュートラルへの化学産業としてのスタンス」を策定・公表している。本スタンスでは、化学産業における GHG 排出の発生メカニズムを特定した上で、生産活動における GHG 排出削減の取組および製品・サービスを通した削減貢献の考え方を定め、併せてイノベーションとその社会実装の完遂に向けて政府へ要望することをまとめている。

カーボンニュートラルの実現においては、循環型社会の視点に立ったライフサイクルでの取組・評価が重要であり、同協会は、バリューチェーンパートナーと協働し、製品の使用・廃棄段階を含めた GHG 排出削減の仕組み構築と、その評価方法の確立などの社会実装の課題に取り組むとしている。

表 III-19 「カーボンニュートラルへの化学産業としてのスタンス」の概要

| 項目 | 概要 |
|---|---|
| 化学産業としてのCNに対する貢献要素 | ソリューションンプロバイダーとして、以下に取り組むとされている。<br>① 原料の炭素化<br>② エネルギー利用極小化へのプロセス、構造の転換<br>③ 製品のライフサイクルを通した GHG排出削減<br>④ 炭素循環社会に向けた技術・ビジネスモデルの海外への展開<br>※化学産業におけるGHG排出削減貢献範囲は、当面はScope1+2範囲としている。 |
| 化学産業のCNに対する取り組みの基本骨子 | 1） 化学産業における GHG 排出の発生メカニズムと削減の取り組み<br>・ 生産活動におけるGHGの発生源として、化石資源の原料使用、自家発電設備等の化石燃料使用、購入電力・蒸気等の使用が挙げられている。<br>・ 上記のGHG排出削減として、プロセスの合理化（収率向上、廃棄物削減含む）、革新技術の導入（省エネルギー、BAT、DX、電化等）、自家発電設備の燃料切り替え：燃料の低（LNG等）・循環（メタネーション等）・脱炭素化（水素・アンモニア）、購入電力への切り替え、再エネの利用、カーボンリサイクル技術の開発、$CO_2$ の分離回収・利用（CCU・人工光合成等）、クレジット利用を挙げている。<br>2） 製品・サービスを通したGHG排出削減貢献の考え方<br>・ 社会全体でのGHG削減貢献例として、クリーンエネルギーの創出（発電素子や風力活用の軽量高強度部材、水素製造技術など）に必要な素材と、その安定活用に必要な技術（電池用部材など）の提供、軽量化、長寿命化、高効率化を実現する製品の提供、製品原料の炭素循環の推進（新たな化石資源由来の投入炭素量を削減）を挙げている。<br>・ 特に、製品原料の炭素循環の推進については、廃プラスチックの原料利用により、ケミカルリサイクル及びマテリアルリサイクルを拡大し、エネルギーリカバリーの最小化すること、バイオマスの原料利用を図っていくことが記載されている。 |
| CN取り組みにおける政府への要望 | バリューチェーン全体でイノベーションとその社会実装の完遂にあたり、以下を要望している。<br>① 安定・安価なユーティリティの供給の拡大<br>② 従来技術の高効率化・省エネルギー化等の低炭素に向けたインセンティブ付与<br>③ 研研究開発投資、設備投資および燃料・材料資材の選択等におけるコスト上昇を社会全体で負担する、国際的に整合性の取れた仕組みの構築究開発支援 |

出典：カーボンニュートラルへの化学産業としてのスタンス（一般社団法人日本化学工業協会, 2021 年）

(c) 個社による石油・化学分野のカーボンニュートラルに関する戦略、計画の調査

国や業界団体の資料に加えて、カーボンニュートラルに向けた化学分野の個社の個別の取組内容について、売上高上位 2 社について調査を実施した結果を以下に示す。

表 III-20　個社のカーボンニュートラルに向けた取組概要

| 個社 | カーボンニュートラルに向けたビジョンや具体的な対策 |
|---|---|
| 三菱ケミカル株式会社 | **（カーボンニュートラルに向けたビジョン等）**<br>・ 株式会社三菱ケミカルホールディングスは、2021年10月に「2050年カーボンニュートラル実現に向けた方針について」を発表している。<br>・ 当資料では、同グループが、2030年度までに温室効果ガス排出量をグローバルで29%削減（2019年度比）すること、2050年までにGHG排出量を実質ゼロとするカーボンニュートラルを達成することを掲げている。<br>・ 2030年度の目標達成に向けては、製造プロセスの合理化、自家発電用燃料転換等による削減のほか、2030 年度における世界各国・地域における電源構成に基づく $CO_2$ 排出係数が低減されることを前提とした削減（外部要因）が想定されている。<br>・ 2050年に向けては、各国政府・機関・企業等のイニシアティブによる「$CO_2$ フリーの電力供給」「水素・アンモニア等のサプライチェーンの確立及び低価格化」「カーボンニュートラルに向けた研究開発・設備投資への補助」（外部要因）を前提として、製造プロセスの合理化継続、バイオマス原料の活用や $CO_2$の原料化等のイノベーションの実装、さらには植林等によるカーボンオフセットを含め、GHG 排出量の実質ゼロを目指す。<br>**（マテリアル・ケミカルリサイクル促進に向けた取組）**<br>・ 三菱ケミカル株式会社（MCC）とENEOS株式会社は、MCC茨城事業所において、プラスチック油化共同事業を実施することを発表（2021年7月）。当該共同事業では、外部から調達した廃プラスチックを、英Mura Technology社の超臨界水技術を導入する新設備にて化学的に液化し、油化処理を行う。製造された油（リサイクル生成油）は、両社の既存設備である石油精製装置およびナフサクラッカーにおいて原料として使用される。<br>・ 当該事業における原料プラスチックについては、リファインバース株式会社から原料となる廃プラスチックを調達する。<br>**（バイオプラスチック導入促進に向けた取組）**<br>・ コハク酸と1,4-ブタンジオールを原料とする生分解性プラスチックを石油由来から植物由来に転換したBioPBS™を開発している。また、植物由来原料であるイソソルバイドを使用したバイオエンジニアリングプラスチックであるDURABIO™も開発しており、自動車部品として多くの採用実績がある。<br>**（$CO_2$を原料とする化学原料製造）**<br>・ グリーンイノベーション基金事業の「$CO_2$等を用いたプラスチック原料製造技術開発」プロジェクトにおいて、アルコール類からの化学品製造技術の開発として、同社が幹事企業を務める形で「人口光合成型化学原料製造事業化開発」がテーマとして採択されている。 |
| 住友化学株式会社 | **（カーボンニュートラルに向けたビジョン等）**<br>・ 同社は、2021年12月に、2050年のカーボンニュートラル実現に向けて、取り組み方針や活動目標をはじめとするグランドデザインを策定している。同社グループとして、温室効果ガス（GHG）排出量を13年度比で30年度までに50%削減、50年までにカーボンニュートラルの実現を目指すことを掲げる。<br>・ 「カーボンニュートラルに貢献する製品やソリューションを提供すること」について、GHG排出量削減に資する製造技術・製品の提供、製品のCarbon Foot Printの評価に取り組むとしている。「さまざまなパートナーと連携の上、カーボンニュートラルに資する製品・技術の開発を促進し、早期の社会実装に向けた取り組みを自らがけん引していくこと」の中では、炭素循環社会の構築、GHG排出量の削減につながる革新的製造プロセス技術の開発と早期の社会実装に取り組むとしている。「カーボンネガティブ技術の開発など、長期的な課題に挑むこと」としては、土壌炭素貯留技術の開発等のカーボンネガティブ技術の開発やCCU技術の開発に取り組むとしている。<br>**（マテリアルリサイクル・ケミカルリサイクル促進に向けた取組）**<br>・ 同社は、製造プロセスに使用したプラスチック再生資源の量について、30年度までに年間20万トンを目指すとの目標を掲げている。また、マテリアルリサイクルおよびケミカルリサイクル技術を活用して得られたプラスチック製品を新ブランド「Meguri™」として展開している。<br>・ アクリル樹脂のケミカルリサイクル実証設備を愛媛工場に新設。同社は、アクリル樹脂を高品質に再生する技術を開発し、再生したMMA（メチルメタクリレート）モノマーは、化石資源を原料とした材料と同等の品質で、従来品と比べて製品ライフサイクル全体のGHG排出量を60%以上削減できる見込み。<br>・ 同社は株式会社資生堂、積水化学工業株式会社、とプラスチック製化粧品容器を分別すること |

| | |
|---|---|
| | なく資源化・原料化を経て、再生する一連の循環モデル構築に向けた取組を開始することと発表。資生堂は回収スキームの構築と再生ポリオレフィンの活用、積水化学は廃棄物をガス化し微生物を利用してエタノールに変換するBRエタノール技術を用いたプラスチックの原料化、住友化学はエタノールからエチレンを製造する技術を用いて、従来の化石資源を原料とした製品と同等の品質を持つ再生ポリオレフィンの提供を担当。<br>**（$CO_2$を原料とする化学原料製造）**<br>・ グリーンイノベーション基金事業の「$CO_2$等を用いたプラスチック原料製造技術開発」プロジェクトにおいて、アルコール類からの化学品製造技術の開発として、同社の「$CO_2$等を原料とする、アルコール類及びオレフィン類へのケミカルリサイクル技術の開発」がテーマとして採択されている。 |

出典：

- 2050 年カーボンニュートラル実現に向けた方針について（三菱ケミカル株式会社, 2021 年 10 月）
- プレスリリース「ENEOS と三菱ケミカル共同のプラスチック油化事業実施について～国内最大規模のプラスチックケミカルリサイクル設備を建設～」（ENEOS 株式会社・三菱ケミカル株式会社, 2021 年 7 月）
- 「ケミカルリサイクル原料プラスチックの調達について」（三菱ケミカル株式会社, 2021 年 7 月）
- 「KAITEKI Solution Center Solution2 バイオプラスチック」（三菱ケミカルウェブサイト）（https://www.mcgc.com/kaiteki_solution_center/solution/02.html）(最終閲覧日：2023/3/24)
- 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 実施予定先一覧
- プレスリリース「2050 年カーボンニュートラル実現に向けたグランドデザインを策定 ～30 年度 GHG 排出量 50%削減の新目標と取り組みを決定～」（住友化学株式会社, 2021 年 12 月）（https://www.sumitomo-chem.co.jp/news/detail/20211210_2.html）(最終閲覧日：2023/3/24)
- プレスリリース「資生堂、積水化学、住友化学の 3 社協業によるプラスチック製化粧品容器の新たな循環モデル構築に向けた取り組みを開始」（株式会社資生堂・積水化学工業株式会社・住友化学株式会社,2022 年 7 月）（https://www.sumitomo-chem.co.jp/news/detail/20220706.html）(最終閲覧日：2023/3/24)

### 3) 化学分野のヒアリング調査

前項までの整理を踏まえて、化学産業のカーボンニュートラルに向けた取組やプラスチック資源循環に関しての知見を得るため、表 III-21 の通り、有識者・業界団体、自治体へのヒアリング調査を実施した。

表 III-21　化学分野のヒアリング調査概要

| 実施日 | ヒアリング先 | ヒアリング概要 |
|---|---|---|
| 2023年2月13日<br>10:30~12:15 | 東京大学大学院工学系研究科都市工学専攻<br>中谷 隼 准教授 | ✓ プラスチック資源循環についての現状と課題<br>✧ プラ資源循環はいかにあるべきか<br>✧ 中長期シナリオ案への御意見<br>✧ 廃プラのマテリアルフローの推計データの利用可能性<br>✓ プラスチック資源循環の今後のために注目すべき技術について<br>✧ マテリアルリサイクルについて<br>✧ ケミカルリサイクルについて<br>✧ プラスチック素材代替に係る技術について |
| 2023年3月2日<br>10:00~12:00 | 一般社団法人<br>日本化学工業協会 | ✓ 化学産業のカーボンニュートラルの考え方に関する事項<br>✓ プラスチック資源循環に関する事項<br>✧ プラスチック類のリサイクルについて<br>✧ 原料転換に関する想定について<br>✓ 化学産業における製造プロセスの脱炭素化（エネルギー由来の炭素）に関連して、 廃棄物・資源循環分野が連携できる領域に関する事項<br>✧ 焼却施設から化学工場等への蒸気供給のニーズや実現可能性について<br>✧ 化学分野としてのCCSの考え方について |
| 2023年3月10日 | 東京都環境局<br>資源循環推進部<br>資源循環推進専門課長<br>古澤 康夫 氏 | ✓ プラスチック資源循環の促進について<br>✓ 地域と連携した拠点回収について（リユース容器ほか）<br>✓ 焼却施設の温水利用について（リユース容器洗浄、廃プラスチック洗浄等） |

有識者、業界団体、自治体へのヒアリング調査の概要を以下に示す。

表 III-22　化学分野のヒアリング調査結果

**東京大学 中谷 隼 准教授　へのヒアリング概要**

**（バイオマスプラスチックについて）**

- バイオマスプラ250万トンは、原料の調達先を具体化すべき。①海外でプラまで製造する、②海外の原料から国内でプラを製造する、③日本国内で原料調達して製造する、の３パターンについて、温室効果ガス排出量の算定ルールも考慮して、国としてどこを狙うのかといった議論や整理がなされていない気がする。
- 中長期シナリオ案の廃プラのリサイクル、バイオマス分の計算における製品寿命の仮定が気になる。製品ごとの寿命データを整理して、寿命次第では2050年も石油由来の廃プラが出てきてしまう、といった議論をしなくていいのか。製品の長寿命化を考える場合に、発生量や比率が変わってくる。インベントリの計算に使う場合は、慎重な議論が必要。
- バイオマスだから燃やしてもいいという考え方は問題がある。バイオマス炭素を循環させれば炭素固定と同じ効果が得られる。化石かバイオマスかの炭素の由来で、廃棄物処理のオプション間の優劣に変化はないはずである。関連して、指定ごみ袋にバイオマス由来プラを利用することは慎重になるべき。バイオマスプラの環境に対する効果は用途を問わず同じであるため、プラの付加価値を考えると、例えば自動車や家電などに利用したほうが経済合理的である。バイオマスプラの量が限られているのであれば、受容性を確保しやすい用途から入れたほうがいいのではないか。

**（マテリアルリサイクルについて）**

- 白色トレーだけではなく、透明トレーの回収も始まっているが、発泡トレー自体の回収量が伸びていない。量よりも、市民参加というシンボリックな取組として大事にしたい。トレーの店頭回収は、スーパーと客がwin-winになっているうえに、動脈側の販路の流れを活用しており、人流が変わらないので極めて合理的である。ベースがない状態で取り組むのは難しいと思っている。（市役所での回収はベースとなる人流がない）
- PETボトルのリサイクル樹脂はバージンの2～3倍すると聞く。収率を無視するとPETボトル1本あたり3円程度が原価に載ってくる。飲料メーカー各社が2030年までに100%サステナブルPET（リサイクルPET＋バイオマスPET）にするという目標を立てているが、バイオマスPET原料となるバイオエチレングリコールを製造しているメーカーは世界で1社のみであるため、必然的にリサイクルPETを使わざるを得なくなっている。価格よりも量の確保が最優先になっている。
- リサイクル用途はパレット以外にも探せばあるかもしれない。パレットにしている理由は販路があるからだと聞く。一方で、強度がバージン材の90%以上になったとしても、色やにおいの問題から食品に接触する用途に使えないと、大きい市場が狙えないため難しい部分があると感じている。

**（循環型ケミカルリサイクルについて）**

- 中長期シナリオ案の循環型CRの「収率」の定義を整理したほうがよい。例えば、リファイナリからの生成物の総量が90%だったとしても、ナフサ成分に戻る割合が高々10%～20%程度だった場合に収率90%の循環といえるのか。
- 循環型CRは、製造側で受入可能なプラの状態と排出側の廃プラの状態まで踏み込んだ議論が必要である。きれいなプラを前提として技術開発した結果、きれいなプラを取り合うような事態になる恐れがあるため、役割分担が必要ではないか。PETリサイクルでは、すでに取り合いが起こっており、繊維産業やシート産業が調達できなくなっている。複合プラ（複数の樹脂が複層になったものなど）や混合プラなどが循環型CRの対象とする領域として考えられる。
- 今の感覚ではガス化の実現可能性が高いように感じている。ガス化は受入条件が緩く、多少の異物混入も問題ない。収率やエネルギー消費量の問題はあるが、廃プラの受入可能性という点では、ナフサクラッカーに要求水準の高いものを入れるよりは、ガス化の方が活かすことができる場面が多いと思っている。都市ごみを対象としたガス化を通じた化学品製造は、選別が必要ないため、最後のセーフティネットとしてオプションになる。一方で、既存の焼却施設の更新のタイミングでしか導入できないことが課題ではないか。ポリスチレンのCRは一部で具体的に動き始めているが、回収が相当なボトルネックになるのではないか。

**（回収・選別・破砕等について）**

- 選別機メーカーでは、欧州の二社が有名で、国内のリサイクラーも導入しているが、日本の容リプラのような組成の複雑なものを選別しても、どうしても別の種類の樹脂が10%程度混ざってしまい、結局パレットにしている。ポリエチレンとポリプロピレンを選別した後、任意の組成に調整して再度混合してパレットにできるというメリットはあるらしい。高度選別では収率が多少上がるくらいが限界ではないか。
- 循環型CRと高度選別の組合せは良いのではないか。CRにあたって除外したい素材を確実に除外するという役割が

有望。混合プラは高度選別にかけた後でCRし、初めから純粋なものをMRするという役割分担がいいのではないか。

- 選別機ですべて対応はできないので、性能を活かすのであれば、投入の段階でモノをある程度絞る必要があるのではないか。選別機で対処可能なレベルまで消費者がどれだけ協力してくれるかが肝要かと思われる。

**(その他)**

- プラスチックのマテリアルフローに関するデータは、様々なところで作成されている。一昨年度に環境省でも作成していたものがあるはずである。環境省で蓄積・保管されてきているデータをまずは掘り起こすことが有用ではないか。
- 一廃の可燃ごみ中の廃プラを計算して再資源化量に加えると530万トンくらいで、プラスチック循環利用協会の数値とずれている。循環協の数値は生産量に用途ごとの製品寿命をかけて排出の総量を出しており、製品寿命のずれは大きく影響しないが、課題は一廃と産廃の配分の想定である。配分係数が製品種類ごとに根拠の設定が困難なものも少なくないとすれば、トータルでの一廃と産廃の比率は信用しすぎないほうがよいように思われる。

**一般社団法人日本化学工業協会　へのヒアリング概要**

**（2050年カーボンニュートラルのイメージについて）**

- 「カーボンニュートラルへの化学産業としてのスタンス」と第二回CCS長期ロードマップ検討会（2022年2月）提出資料の原料転換部分について、前者はプラスチックに限定してイメージしたもの、後者は化学産業全体を対象としてイメージしたものだと理解してほしい。現在、廃棄されているプラスチックは約1000万トンあり、マテリアルリサイクル（MR）、ケミカルリサイクル（CR）を進めた上で、残りをバイオマスにするというのが前者の資料である。一方で、プラスチックも含めて化学品は全体で約3000万トン生産されており、プラスチック以外の部分についても、バイオマスや$CO_2$を原料として製造していくというのが後者のCCSロードマップのイメージ図である。
- 後者の化学品全体のイメージの中で、「廃棄物（ケミカルリサイクル）」と記載しているのは、MRとCRは並列ではなく、廃プラのカスケード的な利用が望まれると考えるためである。例えば現状の製品は、品質としてオーバースペックであるため、MRで品質が多少落ちても再利用できる。ただし、いつかはミニマムスペックに到達することになり、その時点で廃プラはMRではなくCRに回ることになると考えている。そのため、MR、CRとは記載せず、「廃棄物」としている。また、化学産業の主なテリトリーとしてはCRなので、カッコ書きで【ケミカルリサイクル】としている。
- 3000万トンの化学品には概算で2700万トンくらいの炭素（現状は化石由来）が含まれている。端的には、この供給源がどうなるかという話になる。地表上の炭素に限定して選択肢を考えると、リサイクル、バイオマス、$CO_2$の3つしかない。$CO_2$は空気中、廃棄物由来の炭素、工場排ガス中の$CO_2$なんでもよい。バイオマスについては、今から増やした分しかカーボンニュートラルに寄与しないので限界がある。キーテクノロジーの一つがCRである。
- CCSは業界としてどうするかとのレベルではない。最後に排出されてしまうCO2をオフセットするのはCCSしかない。いかにこの量を少なくするかが重要で、どのようにCCUを進めていくかは化学産業の使命であると考えている。

**（リサイクルと化学品製造プロセスのエネルギー消費の考え方について）**

- 一般論としてCRなど手間をかけるほどより多くのエネルギーを消費することになる。エネルギー側の電気が再エネ、原子力等で脱炭素化されていて、熱源としてのカーボンフリーな水素やアンモニアが供給されるのであれば、循環によってエネルギー消費が増加してもCO2は排出されない。現状では、エネルギー側が脱炭素化されていないため、循環すればCO2排出量が増加するということになりかねない。化学産業としては世の中に便利なモノを提供していくことが目的であって、電気・熱・燃料はカーボンフリーなものを買ってこればよいという考え方もある。エネルギー源は国としてどうするかという政策的問題も大きい。
- 化学産業におけるScope1+2の$CO_2$の排出として、自家用発電・自家用蒸気由来の$CO_2$と外部から購入する電気・蒸気のエネルギー消費に伴う$CO_2$に加えて、化学反応によって出る$CO_2$の3つがある。前者についてはエネルギーキャリアをどうするかという問題であるが、反応に伴って出てくる$CO_2$は、その化学反応が必要とされる限り削減のしようがない。また、現在のサプライチェーンで言えば、国内で約3000万トン消費されているナフサのうち約2000万トンがナフサクラッカーに入る。クラッカーでの分解反応にエネルギーが必要になる。ここで、クラッカーから出るオフガスにはメタンが含まれており、現在はそのメタンを分解反応用のエネルギーに利用している。化学産業のエネルギー由来排出量のうち20%程度はクラッカーで副生するメタンであることも認識する必要がある。
- リサイクルがエネルギー消費削減の方向性と一致するかどうかはプロセスによって異なる。$CO_2$排出だけを問題とするのであれば、是非は別として、プラスチックは燃やすこともリサイクルもせず、埋め立てたらよいといった極端な話になる。循環型社会とカーボンニュートラル社会とが混ざった議論になってしまうが、循環を考えた場合に、炭素の循環は非常に重要な概念である。燃やしてから$CO_2$を分離回収するよりはそのままリサイクルできたほうが効率的である。その際に消費するエネルギーはネットゼロに近づくと考えると、リサイクルは脱炭素・循環型社会形成に資する取組になる。
- エネルギーと炭素循環の連動を考えると、要因が複雑に絡み合い議論が難しい。経済活動に伴うエネルギー利用を

すべて太陽エネルギーで賄うことと、生活を営む上での炭素循環はまったく別物であるとの考え方が重要。炭素循環するためにはエネルギーが必要であり、どの方法が最も$CO_2$排出影響が少ないかとの観点が必要である。毎年4億トンのプラスチックが世界で生産されており、現在のエネルギーシステムでは、循環させない方が、$CO_2$排出量が少ないと思われるが、それでいいのかという話であり、最終的にエネルギーがネットゼロになる場合の炭素循環を描くことが重要である。まだ、実装されていない技術に対して、コストやエネルギー消費の議論をするのは時期尚早であると感じる。

**（回収・選別の考え方について）**

- 動静脈連携は国際的なルールがどうなっていくかに注意すべきである。日本は静脈側のシステムが諸外国より優れている。整備が進んでいない海外の国々にマッチしたルールが主流化した場合に、日本のシステムに適合しないルールになってしまうかもしれない。今、そのことを議論しても仕方がないので、国内独自の事を考えると、今の回収ループでどれだけ選別を細かくできるかの検討が重要になるのではないか。
- 処理技術ごとに制約があるので、受入れるときの条件によって、リサイクルシステムも変わらざるを得ない。分別・選別するシステムのパーツを細かい区分で考えておいて、後で統合する方が柔軟に対応できるだろう。

**（バイオマスプラスチックについて）**

- バイオマスプラスチックについて、総論的な議論に終始することが多く、具体的な調達先については想定できていない状況ではないか。例えば、短期的には、内燃機関自動車の減少に伴って行き場を失うエタノールをエチレンにするような動向だってありうる。パーム油や植物油については、化学工業での生産に見合う量が原料として確保できるかは疑問である。在るべき未来の姿を考えれば、廃棄された化学品はすべてリサイクルして、回収ロス等で焼却に回ってしまう量を補うためにバイオマス原料を調達するという社会が作れるかどうかだと思われる。
- バイオプラスチックが優先導入されうる用途については、逆に教えてほしい。メーカー側は消費者の意向で製品を製造しているため、もし消費者が費用負担をしてでもバイオマスプラスチックを望む用途があればメーカーは喜んで生産するだろう。本質的には消費者の価値観が重要ではないか。リサイクル品、バイオマス品に価値があるということの社会での認識が重要である。

**（焼却施設からの蒸気供給のニーズについて）**

- 焼却施設に限らずとも、必要な温度・圧力の蒸気が供給されるのであればニーズはある。圧力も低い場合には、二次加熱で調整すればよいので、そこが問題の本質ではないだろう。一番の問題は立地条件だろう。化学工場が焼却施設に合わせて移転立地するほどの強力なメリットがあるかというとそこまでのメリットがないのではないか。また、化学工場に近接する場所に焼却施設を整備する場合も同じではないか。
- 国内では、化学工場の新設需要が増えているわけではないことも、日本国内で事例がない構造的要因である可能性はある。プラントで生じる廃棄物や副生物を自家発電か隣のプラントかは問わず、投入することは昔から取り組まれている。国内でスクラップアンドビルドしてまで焼却施設の蒸気を使うことの経済合理性がないのでやらない、ということではないか。

**東京都環境局資源循環推進部　古澤康夫氏 へのヒアリング概要**

**（プラスチック資源循環の促進について）**

- （中長期シナリオ案に引き続く）「令和４年度廃棄物・資源循環分野における2050 カーボンニュートラル実行計画等検討業務」の検討会では、「廃棄物分野自体の脱炭素化」＋「他分野への貢献（$CO_2$削減効果）」という整理になっているが、環境政策としては「プラスチック製造（石油化学）から廃プラスチックの処理に至るまでのプラスチック資源循環全体」をどのように脱炭素化するのかという観点が必要である。これが一般廃棄物（一廃）由来の$CO_2$の脱炭素化にとって最重要課題である。
- プラスチック資源循環全体を脱炭素化するには、リデュース、リユースによる使い捨てプラスチックの大幅な削減に加えて、水平リサイクル（或るプラスチック使用製品を同じ製品に戻す場合だけでなく、資源循環全体として元の品質のプラスチックが得られるようなプロセスを含む。）が必要になる。いわゆる循環型ケミカルリサイクル（CR）だけではプラスチックに戻る収率に限界がある。高品質なマテリアルリサイクル（MR）と組み合わせる必要がある。①樹脂の種類を減らすなどの環境配慮設計②ソーティングセンターでの樹脂別、色別の高精度の選別と洗浄、③選別後のプラスチックを高品質な樹脂にリサイクルする、というプロセスが必要になると考えている。
- 日本として、再生樹脂の価格の方向性が出ていないと感じている。欧州はバージン樹脂への課税などがある。カーボンプライシングの枠組みの中で実施するというやり方もある。そのような政策強化により多少価格が上がっても再生樹脂が受け入れられるようになれば、プラ資源循環が回り出す。

- 今後、再生樹脂の価値が上がったときに、現在PETで生じているような競争が起こるのか、うまくルールを整備したうえでの競争になるのか、そのあたりはこれからの部分である。
- まず大事なのは方向性である。廃棄物・資源循環分野に閉じた範囲の脱炭素化という話ではバウンダリが小さくなってしまっている。環境行政が直接所管する廃棄物分野が、他の分野での脱炭素化をリードし、社会全体の脱炭素化のためにどういう政策が必要かという議論をしていくべきである。廃棄物分野の脱炭素化を鉄鋼分野等の脱炭素化と同じレベルで議論していてはいけないと思う。各分野が2050年脱炭素化に向けたロードマップを作り始めている中で、マルチセクトラルなことを考えていかないといけない。例えば、廃棄物発電により電力部門の$CO_2$削減に貢献しているという発想ではなく、廃棄物と電力の全体をゼロにするという考え方。鉄鋼や化学、セメントなど、プラ資源循環が関わっているすべての分野を脱炭素化するにはどうすればよいかを考える必要がある。脱炭素化された世界では、コークス炉原料化、高炉還元、セメント原燃料、アンモニア化学原料化に化石燃料由来プラスチックは使えない。そういう利用の仕方ではなく、プラ製造そのものを代替する手段として水平リサイクルに廃プラを使っていく方向に進む必要がある。
- 東京都では、バイオプラ供給量は限定されると考えており、そうするとメインは水平リサイクルになるが、その前に徹底的に量を減らす必要がある。
- 都内にソーティングセンターやその後の高度リサイクル施設が建設されるわけではないので、都市部で集めた廃プラを近郊のソーティングセンターに送り、さらにそれを工業地帯（首都圏であれば京浜、京葉、鹿島）の化学工場等に送ることになるが、その物流についても考える必要がある。

**（地域と連携した拠点回収について（リユース容器ほか））**

- 学会が中心となって実験を進めている拠点回収のことだが、自治体が設置する回収拠点に市民が資源物を持ち込むときに、製造・販売事業者が自主回収・再資源化（例、プラ新法第39条）を行う使用済み容器等の回収拠点が一緒にあれば、市民に便利で、事業者はコストが減る。自治体は場所だけ提供すればよい。
- 拠点でリユースびんの回収を行うことも考えられる。東京23区では、瓶をなるべくリユースできるような収集をしている。具体的には、パッカー車ではなくコンテナに入れたまま割らずに収集し、リターナブルな瓶とワンウェイの瓶で分けて、リターナブルな瓶は瓶に戻している。その中で、東京23区向けにリターナブル瓶の商品を販売してはどうかという話があり、2022年4月から日本ガラスびん協会のプロジェクトで、23区限定でeコマース販売を行っている。同じような仕組みを拠点回収を行う自治体に広げていくことができるのではないか。回収したリユースびんについては全国びん商連合会のネットワークが全国的にあるため、そのルートに乗せられるはずである。地域の飲食店等でリユース瓶を集めている事業者はまだいらっしゃるのでその事業者に回収を担ってもらえるはずである。また、eコマースであればそういう地域に限定した販売が容易である。
- ※自主回収の状況：事業者にとっては使用済み容器の自主回収は運搬コストの負担が大きい。自治体でスペースのあるところにロットも作れる形で保管できるのであれば、自主回収の実験を実施したいという動きは広まるのではないか。市民にシャンプーボトルやマヨネーズ容器などを持ってきてもらい、メーカーが引き取る。産業界では食品メーカーなども含めて、自主回収の実証実験を大規模に実施したいという希望もある。

**（焼却施設の温水をリユース容器の洗浄等に使う可能性について）**

- リユース容器洗浄に利用する温水は低温でよい。プラスチック製容器は50℃程度、ガラスびんは80℃程度である。普通は都市ガスでボイラーを焚いていると思う。焼却施設で発生する温水を使うことも考えられる。清掃工場の熱量全体のうちでは微々たる量であるが、地域の2Rに貢献するという意義は大きい。
- 清掃工場内で会議室1部屋ほどのスペースが確保できれば、近隣で収集されるリユース容器を持ってきて洗浄することはできる。リユース容器を使った店から洗浄施設まで持っていき、また各店に戻さないといけないため、物流のコストが問題である。繁華街がすぐ近くにあるような都市型の清掃工場に洗浄機を置くというビジネスモデルもあり得る。
- 廃プラのリサイクルでは、ソーティングセンター選別後に温水で洗浄することで品質を上げることができる。敷地が十分に確保できる地域では、ソーティング施設と清掃工場の併設で、マテリアルリサイクルの高品質化に温水を活用できるのではないか。

**（その他）**

- 中長期シナリオ（案）では焼却施設数がかなり減る試算になっているが、環境省としても焼却炉を減らす方向に進むべきと考えていると思う。世の中を大きく変えるためには、早い段階からそういう議論をしていくべき。焼却をゼロにするというのは、ハレーションがあまりに大きく、プラントメーカーや自治体からは焼却技術がなければ廃棄物の処理はできないという声もあがるだろうが、そうかといって今までの処理体系のままで脱炭素化が実現できるというのは非現実的。

2050年の脱炭素化に向けて、経済社会そのもの、資源の使い方そのものを大きく変えていくというメッセージを強く出したうえでの議論が必要である。

- 自治体が脱炭素化について真剣に考えていかないといけない。実際は、ほとんどの自治体はあまり考えていないのではないか。イメージが持ちにくいのだろう。
- 中長期シナリオ（案）の次のステップでは、廃棄物だけでなく他部門も含めたマルチセクターで考えて、環境政策・廃棄物政策が社会全体の脱炭素化をリードしていくという、インパクトあるメッセージを発信することが必要である。マルチセクター、かつ、バックキャスティングでの検討が必要である。そういった議論を環境省からされていくことを大いに期待している。

4)「化学分野」と廃棄物・資源循環分野の連携方策の考察・検討

本業務の調査を踏まえて、製紙分野の脱炭素化に向けた動向が廃棄物・資源循環分野の脱炭素化に与える影響について、以下の通り、考察・整理した。

表 III-23 化学分野での取組が廃棄物・資源循環分野の脱炭素化に与える影響についての考察

| 本業務の調査結果（化学分野） | 廃棄物・資源循環分野の脱炭素化に与える影響 |
|---|---|
| **（ケミカルリサイクルに関する事項）**<br>・循環型ケミカルリサイクルに関しては、熱分解やモノマー化、油化など様々な技術があるほか、対象となるプラスチックの種類も多様である。<br>・中長期シナリオ案で見込んだ、循環型ケミカルリサイクルの性能指標としての「歩留まり率」や「収率」について、出口と入り口の状態も含めた明確な定義が必要であること、熱分解やモノマー化、油化等の異なる技術について、歩留まり率や収率が異なってくること、また、複合材や単一素材等の想定が必要である。 | ・処理物の状態（物質、混合/単一等）によって、ケミカルリサイクルの性能が変わる可能性があり、処理が容易で単一な用途ものしかケミカルリサイクルが導入されないようなことも考えられる。<br>⇒処理物の状態と技術の適合性の整理や、処理物の状態を考慮した将来の廃プラスチック発生量の細分化に関する整理が必要である。<br>・各技術（ガス化、油化、モノマー化）の導入時に想定されている生成物が化学品だけではない可能性もある。<br>⇒各技術によって得られる生成物が、プラスチック原料としてそのまま利用できるのか、後段で別の処理・プロセスが必要かに関する調査・整理が必要である。 |
| **（石油化学製品の原料の転換に関する事項）**<br>・バイオマスプラスチックについては、化学分野におけるカーボンニュートラルに向けた取組として位置づけられる。一方で、その原料の調達先や製造場所、製品用途については、具体的な想定がなされていない。※個別調査ではバイオマスプラスチックは自動車部品への利用が多い。<br>・$CO_2$を原料とする化学品原料についても、CCUや人工光合成といった技術開発が実施されており、地球温暖化対策計画でも導入が見込まれている。 | ・バイオマスプラスチックについて、原料の想定ができておらず、中長期シナリオ案において見込んだ量が確保できない可能性も生じる。<br>⇒種類別の原料の調達の想定の整理やその妥当性の確認、バイオマスプラスチックの導入が想定される製品の整理が必要である。<br>・廃棄物由来、石油燃料由来、バイオマス由来に加えて、$CO_2$から製造された化学品が市場に投入され、社会に普及・蓄積され、廃プラスチックとして発生する可能性。<br>⇒$CO_2$から製造されたプラスチックに関して、研究機関によるレポート等で見込まれている普及量等の整理・調査が必要である。また、その場合の$CO_2$の排出量の考え方に関する検討も必要である。 |
| **（製造プロセスの脱炭素化に関する事項）**<br>・ケミカルリサイクルによって（輸送等も含めて）エネルギー消費量が増加してしまう可能性も考えられ、リサイクルを進めることが、製造プロセスの脱炭素化に直接貢献するとは限らないことが指摘された。<br>・製造プロセスの脱炭素化について、現在、具体的に検討が進むのは、ナフサ分解炉（850℃）に関するものが中心である。焼却施設等からの蒸気供給について、化 | ・中長期シナリオ案では、廃棄物・資源循環分野の排出削減対策として、循環型ケミカルリサイクルの導入を見込んでいるが、循環型ケミカルリサイクルのプロセスにおいて、中には、従来プロセスより多くのエネルギー消費を伴うプロセスが存在する可能性があり、十分にエネルギー供給側が脱炭素化されていない移行段階で排出を増加させてしまう懸念がある。 |

| | |
|---|---|
| 学産業においてニーズがある具体的用途は整理されていない。一方、コストが見合えば、蒸気供給も実現しうることが指摘された。 | ・ 化学工場への蒸気供給ニーズは存在するものの、経済合理性についてどのくらいで供給可能かが十分に情報共有なされていないことも想定される。<br>⇒焼却施設からの蒸気供給コストに関する情報収集・整理・試算等が必要である。 |

（2）製紙分野の動向調査

前項までの整理にしたがって、製紙分野と廃棄物・資源循環分野の関連性は以下の通りである。

表 III-24　製紙分野と廃棄物・資源循環分野との関係性

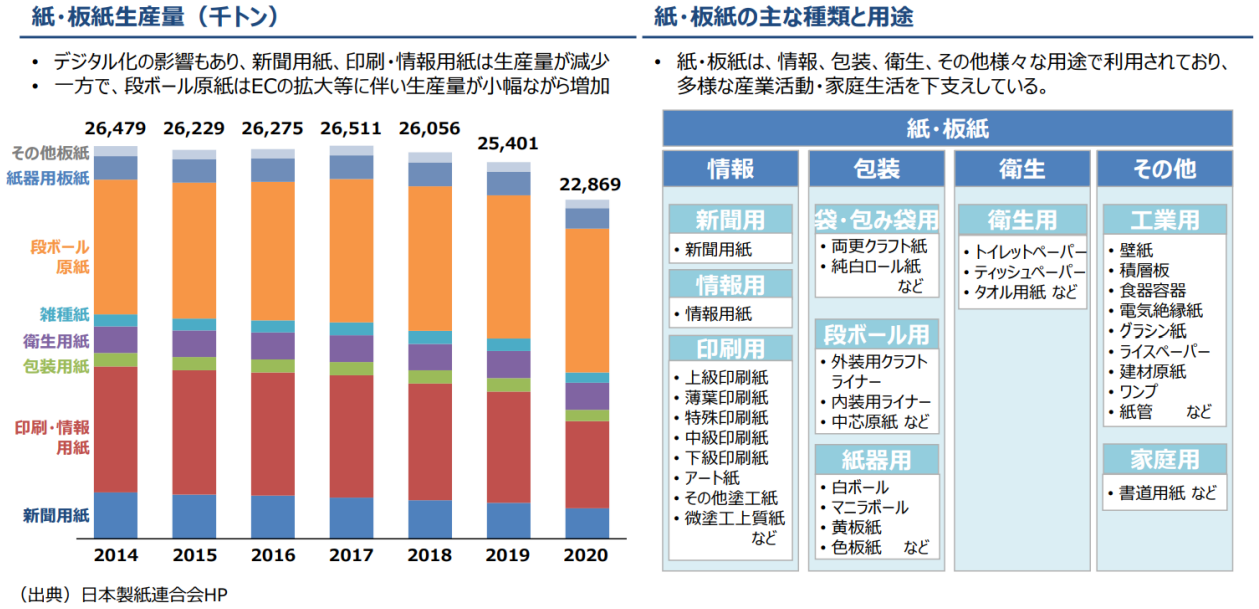
| 重点対策領域 | 分類 | 関連性の概要 |
|---|---|---|
| 重点対策領域Ⅰ | 廃プラ | ・ プラスチックの代替品としての紙製品製造<br>・ 製紙工場における廃プラの燃料利用（RPF,RDF） |
| | 廃タイヤ | ・ 製紙工場における廃タイヤの燃料利用 |
| | 廃紙おむつ | ・ 紙おむつ製品の製造 |
| | 紙くず | ・ パルプ・紙製品の製造<br>・ 紙くずのマテリアルリサイクル |
| 重点対策領域Ⅱ | 燃料代替 | ・ 廃プラ・廃タイヤを含む廃棄物の燃料利用 |
| | CCUS連携 | ・ CCSを検討中の産業（CCS長期ロードマップ検討会に委員として参加） |

以上の関連性の整理を踏まえ、2050 年カーボンニュートラルに向けた、廃棄物・資源循環分野と製紙分野の連携策を検討するに当たって必要となる情報の調査を行う。具体的には、中長期シナリオ案で紙くずの発生量（静脈側）を想定したことも踏まえて、当産業における生産量（動脈側）についてその見通しに加えて、製紙産業における 2050 年カーボンニュートラルに向けた取組について調査する。

1) 製紙分野の現状

(a) 紙・板紙の生産量

日本製紙連合会によると、紙・板紙の年間生産量について、国内の紙の生産量は 2000 年頃から減少傾向にあり、2019 年の生産量はピーク時（2000 年）から約 3 割減少している。また、2020 年には前年（2019 年）から大幅に減少している様子が確認でき、新型コロナウイルス感染症の感染拡大の影響が大きく表れているものと考えられる。一方で、国内の板紙の生産量は横ばい傾向にあったが、2020 年には紙の生産量の減少に伴い、板紙の生産量が紙の生産量を近年では初めて上回った。また、2021 年には、さらに板紙の生産量が増加し、ピーク時（2000 年代）に迫る需要まで増加した。紙・板紙の内需は全体として減少傾向にあるものの、段ボール原紙や紙器用板紙の需要は増加傾向にある。




（出典）日本製紙連合会HP

図 III-10　紙・板紙生産量の推移及びその利用用途

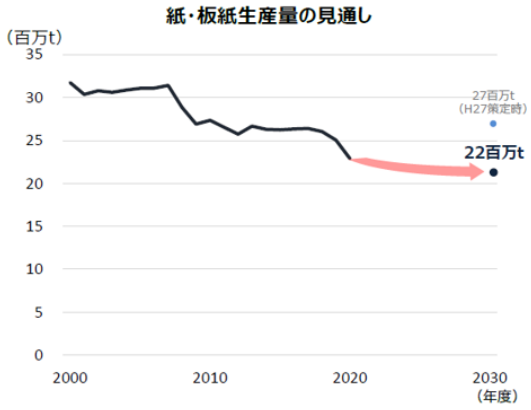
出典：「トランジションファイナンスに関する紙・パルプ分野における技術ロードマップ」（経済産業省, 2021 年 12 月）

紙・板紙の輸出量は 2021 年に約 220 万トンで生産量の約 9%を占めており、段ボール原紙や塗工印刷用紙の割合が大きい。紙・板紙の輸入量は約 100 万トンで生産量の約上級印刷用紙や紙器用板紙、塗工印刷用紙の割合が大きい。また、製紙原料消費量は横ばい傾向にあり、その内訳はパルプが約 4 割、古紙が 6 割で推移している。

パルプの生産量は 2021 年に 779 万トン程度で、その輸入依存率は 16.5%である。パルプの輸入先としては米国、ブラジル、カナダの 3 国で 7 割を占める。

古紙の回収率及び利用率は 2021 年にそれぞれ 81.1%、66.0%となっており、世界でもトップクラスの回収率・利用率となっている。紙用には、新聞古紙が 56.3%、上級古紙が 31.8%、雑誌古紙が 10.2%消費されている状況にある。また、板紙用には段ボール古紙が 76.6%、雑誌古紙が 15.7%消費されている。また、国内の古紙は海外へも輸出されており、2021 年には 237 万トンが海外へ輸出された。中国において 2017 年より古紙の輸入規制が段階的に強化され、2021 年には全面禁止となったことを受け、輸出先は台湾や韓国、ベトナム等への輸出が増えている。なお、この輸出については、「紙の品種に応じた最適な原料を使用し、品質を保ちつつ需給や価格を踏まえたバランスが重要であり、その上で国内において余剰した古紙は東南アジア等へ輸出されている。」（「トランジションファイナンスに関する紙・パルプ分野における技術ロードマップ」（経済産業省, 2021 年 12 月））とされている。

2030 年の紙・板紙の生産量の見通しは、経済産業省が示した「2030 年におけるエネルギー需給の見通し（関連資料）」において、製紙業界の「低炭素社会実行計画」に基づき、2,156 万トンと見積もられている。2050 年の紙・板紙の生産量の見通しは、国立環境研究所の「2050 年脱炭素社会実現に向けたシナリオに関する一分析」における 2050 年のマクロフレームとして、2,348 万トンと見積もられている。これは、2018 年比で約 11%減少する見通しであるが、「2030 年におけるエネルギー需給の見通し（関連資料）」に示された 2030 年の生産量よりも約 9%多い。




| | 将来見通し |
|---|---|
| 人口 | 126,440千人(2018) → 101,923千人(2050) |
| 世帯数 | 53,889千世帯(2018) → 47,241千世帯(2050) |
| GDP成長率 | 2020～2030 1.7%/年　2031～2050 0.5%/年 |
| 粗鋼生産量 | 10,289万トン(2018)→ 8,570万トン(2050) |
| セメント生産量 | 6,023万トン(2018)→ 6.039万トン(2050) |
| エチレン生産量 | 618万トン(2018)→ 541万トン(2050) |
| 紙板紙生産量 | 2,603万トン(2018)→ 2,348万トン(2050) |
| 機械製品生産量 | 100(2015)→ 141(2050) |
| 業務床面積 | 1,903百万m2(2018) → 1,671百万m2(2018) |
| 運輸旅客 | 1,459 (2018) → 1,179 10億人km(2050) |
| 運輸貨物 | 411 (2018) → 419 10億tkm(2050) |

図 III-11　マクロフレームとしての紙・板紙生産量の想定

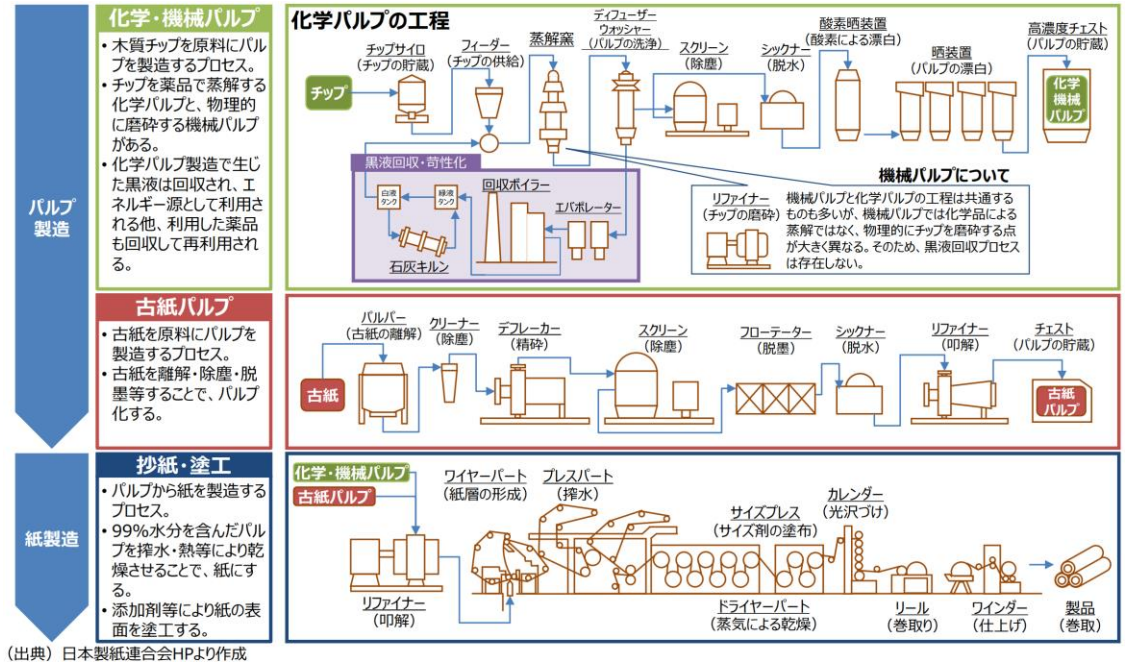
出典：
【左図】「2030 年度におけるエネルギー需給の見通し」（資源エネルギー庁、2021 年 10 月）
【右図】「2050 年脱炭素社会実現に向けたシナリオに関する一分析」（国立環境研究所 AIM プロジェクトチーム, 2021）

### (b) 製造工程等におけるエネルギー消費量及び $CO_2$ 排出量（現状）

紙の製造工程は大きく分けて「パルプ製造」工程と「紙製造」工程があり、「パルプ製造」工程は化学パルプ、機械パルプと古紙パルプによって異なる。化学パルプは木質チップを薬品で蒸解することで樹脂（リグニン）を溶質して取り出した繊維を洗浄・漂白してパルプを製造する。機械パルプは木質チップを物理的に磨砕し、洗浄・漂白してパルプを製造する。古紙パルプは、古紙を離解・除塵・

脱墨することでパルプを製造する。

パルプ製造工程のエネルギー消費量は、化学/機械/古紙パルプによって異なる。化学パルプの製造工程では、電気より熱を消費するプロセスが多く、総合してほかの方式より生産量当たりのエネルギー消費量が大きい。一方で、黒液の回収工程において消費量以上の熱を回収することができる。機械パルプはチップの磨砕に多くの電気を消費する。古紙パルプは、熱が不要で、電気を消費するプロセスであり、化学パルプ工程と比較してエネルギー消費量は少ない。紙・パルプ・紙加工品製造業における電力消費に占める自家用発電の割合は、84%と他の分野に比べて大きい。電気に比べ、熱の利用割合が大きい。



（出典）日本製紙連合会HPより作成

図 III-12　パルプ及び紙の製造工程

出典：「トランジションファイナンスに関する紙・パルプ分野における技術ロードマップ」（経済産業省, 2021 年 12 月）

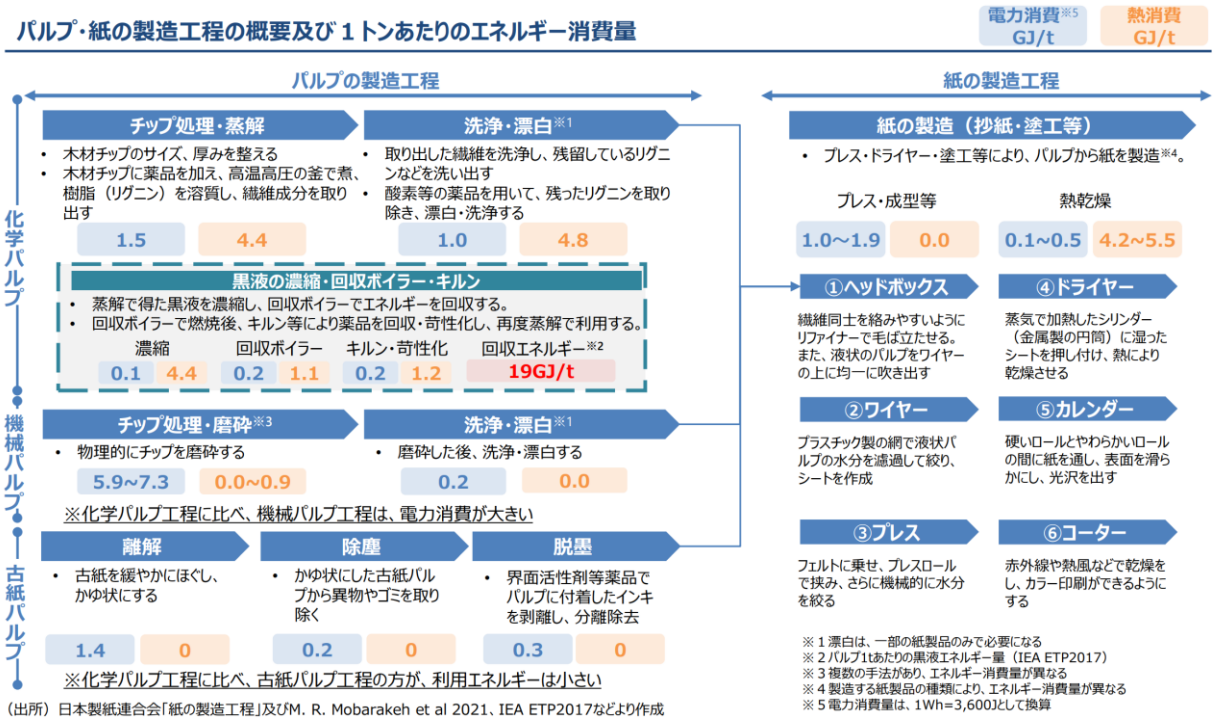



図 III-13　各工程におけるエネルギー消費量

出典：「トランジションファイナンスに関する紙・パルプ分野における技術ロードマップ」（経済産業省, 2021 年 12 月）

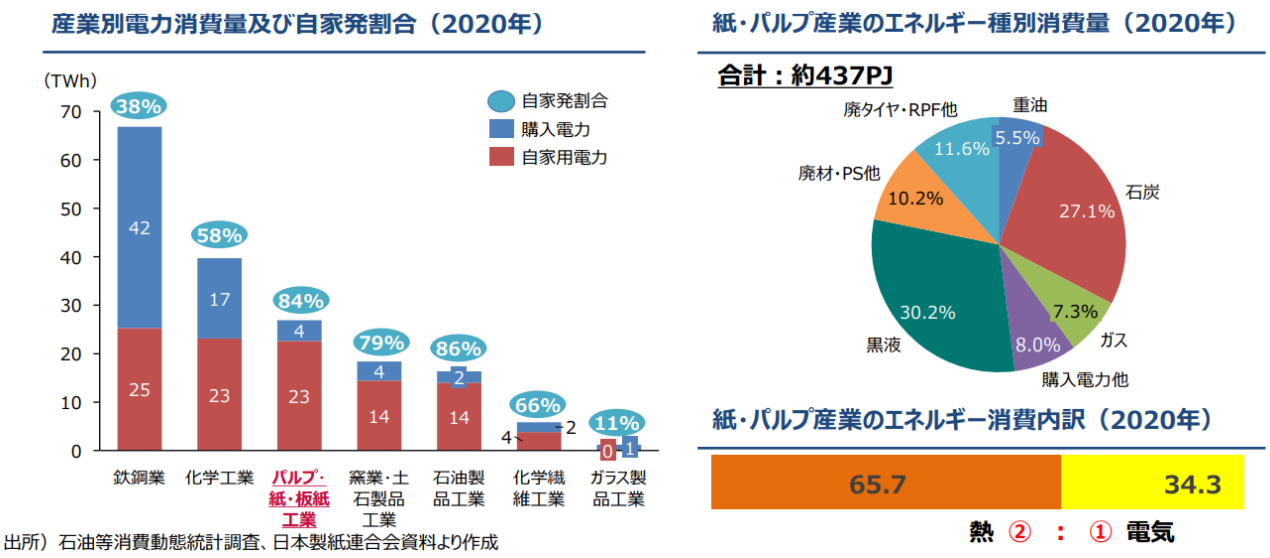



図 III-14　製紙分野における自家発電割合及びエネルギー消費量の構成

出典：「トランジションファイナンスに関する紙・パルプ分野における技術ロードマップ」（経済産業省, 2021 年 12 月）

### 2) 紙・パルプ分野のカーボンニュートラルに向けた戦略・計画の調査

#### (a) 国による製紙分野のカーボンニュートラルに関する計画等

##### a) エネルギー基本計画及び地球温暖化対策計画

製紙分野（紙・パルプ・紙加工品製造業）個別の対策について、エネルギー基本計画及び地球温暖化対策計画において、「高効率古紙パルプ製造技術の導入」によって、2030 年の省エネ量として 3.9 万 kL（原油換算）が見込まれている。「高温高圧型黒液回収ボイラの導入」については、今後の導入が見込めないため除外されている。

表 III-25 地球温暖化対策計画で見込まれた省エネ量

| 業種 | 省エネルギー対策名 | 導入実績 | 導入・普及見通し | 進捗率 | 省エネ量 万kL | | | 見直し後省エネ量内訳 | | 概要 |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | | 2012FY | 2030FY | 2019FY | 見直し前 | 見直し後 | 差分 | うち電力 | うち燃料 | |
| 紙・パルプ・紙加工品製造業 | 19. 高効率古紙ﾊﾟﾙﾌﾟ製造技術の導入 | 11% | 41% | 47% | 3.6 | 3.9 | 0.3 | 3.9 | – | 古紙ﾊﾟﾙﾌﾟ工程において、古紙と水の撹拌・古紙の離解を従来型よりも効率的に進めるﾊﾟﾙﾊﾟｰを導入し、稼働ｴﾈﾙｷﾞｰ使用量を削減する。<br>※算出根拠を見直し。 |
| | 20. 高温高圧型黒液回収ﾎﾞｲﾗの導入 | – | – | 0.0% | 5.9 | 0 | ▲5.9 | – | – | 濃縮した黒液(ﾊﾟﾙﾌﾟ廃液)を噴射燃焼して蒸気を発生させる黒液回収ﾎﾞｲﾗで、従来型よりも高温高圧型で効率が高いものを更新時に導入する。<br>※今後の導入が見込まれないため除外。 |
| | | | パルプ・紙加工品製造業 計 | | 9.5 | 3.9 | ▲5.6 | 3.9 | 0.0 | |

出典：「2030 年度におけるエネルギー需給の見通し（関連資料）」（資源エネルギー庁, 2021）

b)「トランジションファイナンス」に関する紙・パルプ分野における技術ロードマップ

「「トランジションファイナンス」に関する紙・パルプ分野における技術ロードマップ」において、脱炭素化に向けた手法として、紙製造プロセスにおける省エネ・高効率技術の導入、燃料転換、$CO_2$ 回収・固定・再利用技術の導入、植林面積拡大・吸収量の多い樹種の開発、市中焼却処理量の減少、化石資源由来の化学製品の代替といった手法が整理されている。このうち、市中焼却処理量の減少に関しては、中長期シナリオ案における発生抑制やマテリアルリサイクルの方向性に合致する。また、化石資源由来の化学製品の代替に関しては、廃棄物分野における廃プラスチックからの $CO_2$ 排出抑制に寄与する取組である。

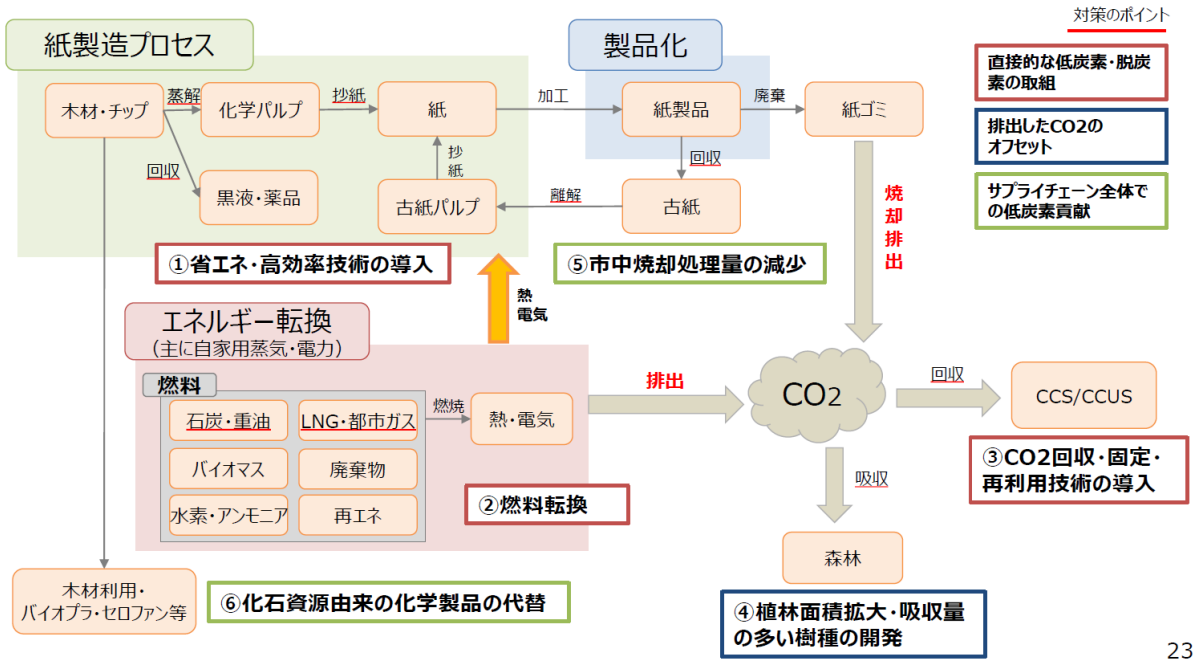



図 III-15 紙・パルプ分野の脱炭素化の方向性

出典：「トランジションファイナンスに関する紙・パルプ分野における技術ロードマップ」（経済産業省, 2021 年 12 月）

製造プロセスに関する技術としては、ベストプラクティスとしての省エネ・高効率に加えて、例えば、パルプ製造における石灰燃焼工程や抄紙工程を電化する技術が挙げられる。古紙パルプの製造工程は電気の消費がほとんどであるため、抄紙工程が電化された場合には、カーボンニュートラルな電気を利用することを前提として、古紙リサイクルによる紙・板紙生産工程での削減に貢献できる量がさらに増加することも考えられる。



| | 技術名 | 概要 | 排出係数※1 | 実装年※2 | 主な参照先 |
|---|---|---|---|---|---|
| 製造プロセス | 省エネ・高効率（ベストプラクティス） | ✓ 製造工程の見直し（統合・短縮等）<br>✓ エネルギー管理の徹底（エネルギー管理システムの導入、管理方法の見直し等）<br>✓ 老朽化設備省エネ・高効率化更新、LED照明採用 | – | 既に導入 | ✓ 低炭素社会実行計画　等 |
| | 高効率パルプ製造等 | ✓ 蒸解で生産される化学パルプを水ではなく蒸気で洗浄等 | 省エネ - 30~40% | 2020年代 | ✓ M.R. Mobarakeh　等 |
| | キルンの脱炭素化 | ✓ パルプ製造における石灰燃焼工程を電化<br>✓ キルン不使用の新たな薬品回収技術 | 0.0~ | 2030年代 | ✓ 製紙業界 地球温暖化対策長期ビジョン |
| | ドライシートフォーミング | ✓ 水の代わりに空気を使用することで、乾燥工程のエネルギーを削減。廃水削減も可能。 | 省エネ - 50% | 2030年代 | ✓ M.R. Mobarakeh　等 |
| | 高効率プレス技術 | ✓ 熱を用いたプレスで乾燥時の熱需要削減や機械圧と空気圧を組合せ等の省エネ技術。 | 省エネ - 8~40% | 2030年代 | ✓ M.R. Mobarakeh　等 |
| | 高濃度抄紙 | ✓ 抄紙機入口の原料濃度について、従来の0.5~1%から3%程度に高め、成形速度の向上やプレス工程での省エネに資する技術。 | 省エネ - 8% | 2030年代 | ✓ M.R. Mobarakeh　等 |
| | 抄紙機ドライヤーの電化 | ✓ 抄紙工程において化石燃料を活用した乾燥設備を電化（CN電源が前提） | 0.0~ | 2030年代 | ✓ 製紙業界 地球温暖化対策長期ビジョン |
| | 高効率乾燥技術 | ✓ 熱及び圧力を使用した機械的脱水や高圧条件における乾燥による効率化技術。製品の質・生産性向上に資するものも存在。※3 | – | 2030年代 | ✓ M.R. Mobarakeh　等 |
| | ガス乾燥 | ✓ 蒸気の代わりにガス燃焼で生じたガスを用い、エネルギー効率を向上。生産性向上に資する場合も存在。 | 省エネ- ～20% | 2030年代 | ✓ M.R. Mobarakeh<br>✓ Lingbo Kong et al　等 |

※1：排出係数は下工程も含んだもの。既存技術の排出係数をもとに、対象技術による削減幅より算出。削減幅は、当該工程における削減幅として記載。
※2：社会実装計画については導入拡大・コスト低減フェーズの開始年を、IEAの場合はAvailable Yearを参照。
※3：Impulse Dryingは脱水工程前の機械的な脱水を改善することで、乾燥率、生産性、質の向上につながる。Condebelt Dryingは2つの鉄のベルトを用いた乾燥方法で、乾燥効率向上の他、質にも影響。板紙生産に向
※4：一部技術は既に導入段階にあるが、開発中の技術も存在。



**図 III-16　紙・パルプ分野の「製造プロセス」に関連する技術**

出典：「トランジションファイナンスに関する紙・パルプ分野における技術ロードマップ」（経済産業省, 2022 年 3 月）

原燃料製造による低炭素・脱炭素化については、パルプ製造時に木材から分離されるリグニンをバイオ燃料やバイオ化学品の原料として活用する技術の導入開発による、化石資源由来の化学製品削減への貢献が見込まれている。このリグニンを化学品にも活用できた場合には、国内におけるバイオマスプラスチック等の生産量増加に資する取組となる。また化学パルプ製造時に生じる黒液を燃料利用することで、エネルギーを回収する技術の開発が進められている。製紙工程は大量の熱・電力が必要であり、自家発割合が高いため、黒液のガス化によるエネルギー効率化によって化石燃料の使用を削減できる可能性がある。

| | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|
| 原燃料製造 | リグニンの分離 | ✓ 木材等からリグニンを分離し、バイオ燃料として使用（化学品にも活用可能） | – | 2020年代 | ✓ IEA ETP2020<br>✓ M.R. Mobarakeh |
| | 黒液のガス化 | ✓ パルプ化プロセスの副産物である黒液をガス化し、効率的にエネルギーを回収 | 排出削減10% | – | ✓ IEA ETP2020<br>✓ M.R. Mobarakeh |
| | スマート林業 | ✓ 自動化機械や森林クラウドと整合したICT生産管理システム等の開発、センシング技術を活用した造林作業の低コスト化・省力化 | – | 既に一部で導入※4 | ✓ 革新的環境イノベーション戦略等<br>✓ グリーン成長戦略<br>✓ スマート農林水産業の展開について |

**図 III-17　紙・パルプ分野の「原燃料製造」に関連する技術**

出典：「トランジションファイナンスに関する紙・パルプ分野における技術ロードマップ」（経済産業省, 2022 年 3 月）

製紙分野はエネルギー消費量に対する自家発割合が 8 割以上と高く、自家用発電・蒸気による低炭素化にむけて一部の技術はすでに導入されている。廃棄物分野と関連する技術としては、プラスチックやタイヤ、RPF、RDF 等をエネルギー利用することによって、化石燃料の使用を代替している。一方で、プラスチックやタイヤについても化石由来であるために排出削減には寄与するもののその燃焼によって生じた $CO_2$ は製紙産業での排出として計上される。今後、カーボンニュートラルな水素・アンモニア等への燃料転換に伴って、廃棄物の燃料利用に伴う排出が当産業で相対的に大きくなった場合には、将来的にプラスチック等の廃棄物の受入量が減少する可能性も考えられる。



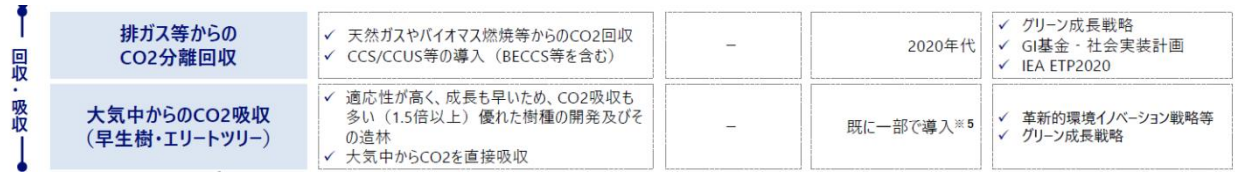
| | 技術名 | 概要 | 排出係数※1 | 実装年※2 | 主な参照先 |
|---|---|---|---|---|---|
| 自家用発電・蒸気 | 省エネ・高効率化 | ✓ 高効率発電設備やCHPの導入<br>✓ エネルギー管理システム等の導入 | – | 既に導入 | ✓ 低炭素社会実行計画<br>✓ グリーン成長戦略 |
| | 天然ガスへの燃料転換 | ✓ 燃料を天然ガスに転換（混焼・専焼） | 0.32~0.415 ※3<br>(kgCO2/kwh) | 既に導入 | ✓ 低炭素社会実行計画<br>✓ グリーン成長戦略　など |
| | バイオマスへの燃料転換 | ✓ 燃料をバイオマスに転換（混焼・専焼） | 0.0~<br>(kgCO2/kwh) | 既に導入 | ✓ 低炭素化実行計画<br>✓ IEA ETP2020 |
| | 廃棄物のエネルギー利用 | ✓ プラスチックやタイヤ、RPF、RDF等の廃棄物エネルギーを活用 | –※4<br>(kgCO2/TJ) | 既に導入 | ✓ 低炭素化実行計画<br>✓ グリーン成長戦略 |
| | 太陽光発電への転換 | ✓ 自家用電力を太陽光発電に切り替える | 0.0<br>(kgCO2/kwh) | 既に導入 | ✓ グリーン成長戦略<br>✓ IEA ETP2020 |
| | 水素・アンモニア等への燃料転換 | ✓ 水素発電、アンモニア混焼、石炭ボイラーやガスタービンにおけるアンモニア専焼 | 0.0~ | 2020年代以降 | ✓ GI基金・社会実装計画<br>✓ グリーン成長戦略<br>✓ IEA ETP2020 |
| | 直接電気加熱 | ✓ 電気ボイラーから熱を生成 | 0.0~<br>(kgCO2) | 2030年代 | ✓ M.R. Mobarakeh　等 |
| | ヒートポンプにおける排熱回収 | ✓ プロセスからの排熱を回収し、中温（160°C程度）に変換 | 0.0~<br>(kgCO2) | 2030年代 | ✓ M.R. Mobarakeh　等 |

※1：排出係数は下工程も含んだもの。既存技術の排出係数をもとに、対象技術による削減幅より算出。削減幅は、当該工程における削減幅として記載。
※2：社会実装計画については導入拡大・コスト低減フェーズの開始年を、IEAの場合はAvailable Yearを参照。
※3：天然ガス火力発電（従来型LNG火力・GTCC）の発電量あたりCO2排出量を記載
※4：利用する廃棄物の種類等により排出係数は異なる
※5：一部地域では既に導入されているが、日本は国土が南北に長く各地域にあった樹種の選定・開発が必要であり、実証段階という面もある。

図 III-18　紙・パルプ分野の「自家用発電・蒸気」に関連する技術

出典：「トランジションファイナンスに関する紙・パルプ分野における技術ロードマップ」（経済産業省, 2022 年 3 月）

また、製紙産業では、前述の通り、黒液等のバイオマスを燃料に利用しているため、$CO_2$ の分離・回収・貯留ができた場合には、BECCS によるネガティブエミッションの効果も期待できる。また、原料供給源として、国内に広大な森林を所有・管理する企業も多く、社有林等での早生樹やエリートツリーの導入によって $CO_2$ 吸収量を増加できる可能性があり、社会全体のカーボンニュートラルに寄与できる。



| | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|
| 回収・吸収 | 排ガス等からのCO2分離回収 | ✓ 天然ガスやバイオマス燃焼等からのCO2回収<br>✓ CCS/CCUS等の導入（BECCS等を含む） | – | 2020年代 | ✓ グリーン成長戦略<br>✓ GI基金・社会実装計画<br>✓ IEA ETP2020 |
| | 大気中からのCO2吸収（早生樹・エリートツリー） | ✓ 適応性が高く、成長も早いため、CO2吸収も多い（1.5倍以上）優れた樹種の開発及びその造林<br>✓ 大気中からCO2を直接吸収 | – | 既に一部で導入※5 | ✓ 革新的環境イノベーション戦略等<br>✓ グリーン成長戦略 |

※1：排出係数は下工程も含んだもの。既存技術の排出係数をもとに、対象技術による削減幅より算出。削減幅は、当該工程における削減幅として記載。
※2：社会実装計画については導入拡大・コスト低減フェーズの開始年を、IEAの場合はAvailable Yearを参照。
※3：天然ガス火力発電（従来型LNG火力・GTCC）の発電量あたりCO2排出量を記載
※4：利用する廃棄物の種類等により排出係数は異なる
※5：一部地域では既に導入されているが、日本は国土が南北に長く各地域にあった樹種の選定・開発が必要であり、実証段階という面もある。

図 III-19 紙・パルプ分野の「CO2 回収・吸収」に関連する技術

出典：「トランジションファイナンスに関する紙・パルプ分野における技術ロードマップ」（経済産業省, 2022 年 3 月）

### (b) 業界団体による製紙分野のカーボンニュートラルに関する戦略、計画

#### a) 日本製紙連合会

製紙連は、「「製紙業界－地球温暖化対策長期ビジョン 2050」カーボンニュートラル産業の構築実現」を 2021 年 1 月に発表している。製紙産業は、紙を安定供給するだけではなく、「持続的な森林経営」による森林の循環・活性化、「古紙利用」による紙のリサイクル、バイオマスエネルギーや可燃性廃棄物の積極的な利用による化石エネルギーの削減などで持続可能な地球環境の維持と低炭素社会の実現に向け貢献してきたとした上で、2050 年という不確実な将来を展望し、製紙業界としてのあるべき姿や方向性を考えたとき、今後さらに貢献可能な分野として、以下の 3 分野を掲げている。

表 III-26 「製紙業界ー地球温暖化対策長期ビジョン 2050」の概要

| 項目 | 概要 |
|---|---|
| 生産活動における省エネ・燃料転換の推進による $CO_2$排出量削減 | 2013年度に製紙業界が排出した$CO_2$量2,100万tを削減することを目標としており、対策とその削減量の目安は以下の通り。<br>1） 最新の省エネルギー設備・技術の積極導入等による省エネの推進（20%程度削減）<br>※2030年以前でも従来型石炭ボイラは導入しないと明記<br>2） 自家発設備における再生可能エネルギーの利用比率拡大（40%程度削減）<br>3） 製紙に関連した革新的技術（イノベーション）の実用化に挑戦（10%程度削減）<br>4） エネルギー関連革新的技術の積極的採用（30%程度削減）<br>・ CCS、CCUS（二酸化炭素回収・貯留・有効利用技術）→ネガティブエミッションに言及<br>・ カーボンニュートラルなガス及びプラスチック廃棄物のエネルギー利用<br>・ カーボンニュートラルな購入電力の利用 |
| 環境対応素材の開発によるライフサイクルでの $CO_2$ 排出量削減 | 削減の目安として、製紙業界の2013年度排出量の20%に相当する420万 t を見込む<br>1） セルロースナノファイバー（CNF）の社会実装の推進<br>・自動車の軽量化に繋がるほか、建材や家電製品でもCO2排出量削減への寄与が期待<br>2） 化石由来のプラスチック包材に替わる紙素材の利用<br>・酸素や水蒸気等のバリア性を付与して内容物の劣化等を抑える高機能な包材等<br>3） 化石由来製品からバイオプラスチック素材、バイオ化学品への転換<br>・非可食な木質バイオマスを原料としたバイオプラスチックやバイオ化学品に転換<br>✧ セルロース：燃料用エタノールやポリ乳酸やPE等の汎用樹脂<br>✧ ヘミセルロース：フルフラール等からの汎用樹脂（ポリウレタンやPETなど）<br>✧ リグニン：自動車分野向けの従来型フェノール樹脂だけでなく添加剤等に展開 |
| 植林による $CO_2$吸収源としての貢献拡大 | 以下の取組によって、$CO_2$の吸収・固定を促進する<br>1） 持続可能な森林経営の推進<br>2） 環境適応性や成長量が高い林木育種の推進 |

出典：「製紙業界ー地球温暖化対策長期ビジョン 2050」（日本製紙連合会, 2021 年 1 月）

(c) 個社による製紙分野のカーボンニュートラルに関する戦略、計画の調査

国や業界団体の資料に加えて、カーボンニュートラルに向けた製紙分野の個社の個別の取組内容について、売上高上位 2 社について調査を実施した結果を以下に示す。

表 III-27 個社のカーボンニュートラルに向けた取組概要

| 個社 | カーボンニュートラルに向けたビジョンや具体的な対策 |
|---|---|
| 王子ホールディングス株式会社 | **（カーボンニュートラルに向けたビジョン等）**<br>・ 王子ホールディングス株式会社は、2020年9月に制定した「環境ビジョン2050」において、ネット・ゼロ・カーボンと自然との共生を掲げている。<br>・ ネット・ゼロ・カーボンにおいては、“海外植林推進と森林保全により「森のリサイクル」を進め、生産活動による温室効果ガス排出量を上回る$CO_2$を吸収・固定”、“エネルギー消費の効率化、再生可能エネルギーの利用拡大により、生産活動による温室効果ガス排出量を削減”、“ステークホルダーとの協働によりバリューチェーンにおける温室効果ガス排出量を削減”の方向性が提示。<br>・ また、循環型社会形成に向けて“古紙利用の拡大による「紙のリサイクル」を推進”、“製造工程における「水のリサイクル」を推進”の方向性が掲げられている。<br>**（CNF等の化石由来プラスチック代替技術に関する取組）**<br>・ 環境省の「脱炭素社会を支えるプラスチックなど資源循環システム構築実証事業」（令和元年～3年度）を通して、木質由来のポリ乳酸、およびポリエチレンの作製に成功。今後、これら木質由来バイオマスプラスチックの普及を目指し、大量合成法の確立と用途展開を進める。<br>・ 可燃ごみ中の一般的なラミネート紙の石油由来プラスチック層の燃焼に伴う$CO_2$排出量削減のた |

| | |
|---|---|
| | めに植物由来のポリ乳酸を使用したラミネート紙を開発。<br>・ 同社では、紙パッケージ導入によってプラスチック包装（石油由来品）よりも60%の$CO_2$排出量削減になるとの効果を「一般社団法人 日本LCA推進機構」のサポートのもと計算している。主には、廃棄（焼却）時の排出削減効果が大きいが、加工や素材製造・原料入手工程での排出量もプラスチック包装よりも低いことが示されている。 |
| 日本製紙株式会社 | **（カーボンニュートラルに向けたビジョン等）**<br>・ 日本製紙グループは、「2030ビジョン及び中期経営計画2025」において、2030年のGHG排出量を2013年比で45%削減する目標を掲げている。同グループは3つの循環、『持続可能な森林資源の循環』、『技術力で多種多様に利用する木質資源の循環』、『積極的な製品リサイクル』を軸に、木質資源の特性を活かしたそれぞれの循環を強化させることによって、循環型社会構築への寄与と事業成長の両立を実現していくことを掲げている。<br>**（製造工程での排出削減に向けた取組）**<br>・ 同社グループは、パルプ製造時に副産物として生成される黒液や建築廃材などに加えて、国内外における木質バイオマス集荷網を通じて木質バイオマス燃料を適切に調達しており、2021年度における木質バイオマスエネルギー量は、日本国内の非化石エネルギー総供給量（原子力・水力を除く）の3.4%に相当する。<br>・ 建築廃材などの木質バイオマス燃料や、使用済みタイヤ、RPFなどの廃棄物燃料を燃焼できるボイラや高効率ボイラも導入。また、段ボール原紙の生産工程で発生するペーパースラッジや古紙粕を工場内で固形化し、工場を稼働するエネルギーとして利用している。これによって石炭使用量の削減に加え、廃棄物の資源化による廃棄物最終処分量の低減にも貢献。<br>・ 同社は、NEDOの委託事業で、株式会社タクマと協力して、バイオマス発電所における省エネルギー型$CO_2$分離回収技術および集約技術の調査・開発を行っている。この調査事業を通じて、同社はCCUS技術の実用化と循環型社会の実現に貢献することを目指す。 |

出典：
- 「環境ビジョン 2050」（王子ホールディングス株式会社, 2020 年 9 月）（https://ojiholdings.disclosure.site/ja/themes/191/）
- 「グリーンイノベーションによる新たな価値創造」（王子ホールディングス株式会社ウェブサイト掲載資料）（https://ojiholdings.disclosure.site/Portals/0/pdf/top/green_innovation_2022.pdf）
- 「日本製紙グループ 2030 ビジョン及び中期経営計画 2025」（日本製紙株式会社, 2021 年 5 月）
- 「日本製紙グループ ESG データブック 2022」（日本製紙株式会社）
- プレスリリース「バイオマス発電施設における省エネルギー型 $CO_2$分離回収に関する調査　NEDO CCUS 研究開発・実証関連事業に採択」（日本製紙株式会社, 2021 年 10 月）（https://www.nipponpapergroup.com/news/year/2021/news211011005036.html）

### 3)「製紙分野」の脱炭素化に向けた動向が廃棄物・資源循環分野の脱炭素化に与える影響の考察

本業務の調査を踏まえて、製紙分野の脱炭素化に向けた動向が廃棄物・資源循環分野の脱炭素化に与える影響について、以下の通り、考察・整理した。

表 III-28　製紙分野の脱炭素化が廃棄物・資源循環分野の脱炭素化に与える影響の考察

| 本業務の調査結果（製紙分野） | 廃棄物・資源循環分野の脱炭素化に与える影響 |
|---|---|
| **（石油化学製品の代替に関する事項）**<br>・ プラスチック製品から紙製品への切り替えによって、$CO_2$削減につながることを、LCAの結果を踏まえて、発信している企業もある。<br>・ ラミネート紙等、紙くず由来の$CO_2$排出量の要因となっている製品について、石油由来の成分からバイオマス由来の成分に切り替えることで、廃棄段階での$CO_2$削減を図る企業もある。<br>・ また、今後の技術開発として、非可食な木質バイオマスを原料として、バイオプラスチックやバイオ化学品の製造によって社会全体での排出削減に貢献していく方向性が示されている。 | ・ 短中期的には、プラスチック製品の紙製品への代替によって、廃プラの発生量が抑制され、紙くずの発生量が増加する可能性がある。一方で、紙くずからの排出の要因となっている化石由来のラミネート紙などについてもバイオマス化等の対策が実施されていくことも想定される。<br>・ 中長期的には、製紙分野から木質バイオマス由来を中心にバイオマスプラスチックの供給によって、石油由来のプラスチック製品が減少していくことも想定される。（中長期シナリオ案と整合する方向性） |

| | |
|---|---|
| **（製造プロセスの脱炭素化に関する事項）**<br>・ 製紙分野においては、排出量削減のために、RPFやRDF等を燃料として活用している。将来の脱炭素化に向けては、自家発電の石炭火力を水素やアンモニア等に転換していくことが検討されている。<br>・ また、当分野においてCCSによる排出削減も業界として検討されているところであり、当分野では黒液等のバイオマス燃料も多く利用されていることから、ネガティブエミッションが果たしうることも示唆されている。<br>・ 化学パルプと古紙パルプの生産量当たりのエネルギー消費量は、古紙パルプのほうが小さく、電気を使用するプロセスが主となっている。 | ・ 製紙分野で水素・アンモニアによる脱炭素化が進んだ場合に、化石燃料由来である廃プラスチックを利用した固形燃料（RPFやRDF）や廃タイヤの使用が忌避される可能性がある。（※製紙連の資料では「カーボンニュートラルな」プラスチック廃棄物との記載あり）<br>・ 一方で、例えば、廃棄物分野から供給されたRDF等も含めて、当分野でのCCSが実現する場合には、当分野から排出される$CO_2$だけでなく、廃棄物分野における主に、化石燃料由来の廃プラスチックや廃タイヤからの$CO_2$排出削減策としてのCCSの一つの形として考え得る。<br>・ 古紙リサイクルを促進することで、資源循環分野における排出量削減に加えて、製紙分野の脱炭素化にも貢献しうるが、古紙は現在でも相当量利用されている状況にある。（※一部は海外（主に東南アジア）へ輸出。） |

### （3）タイヤ製造分野の動向調査

タイヤ製造分野では、中長期シナリオ案の重点対策領域 I 対象素材であるタイヤを製造する産業である。中長期シナリオ案では、廃棄段階の GHG 削減の観点での対策に着目したが、当分野におけるタイヤ製造時のエネルギー起源の二酸化炭素排出量削減との整合等について調査を実施する。また、中長期シナリオ案の作成以降に、当分野でのカーボンニュートラルに向けた動向が加速していることも踏まえ、各社の取組を中心に調査を行う。

#### 1) タイヤ製造分野の現状

##### (a) タイヤの生産・供給

日本自動車タイヤ協会によれば、2022 年の新車用タイヤ販売本数は、四輪車用は 3,478 万本（昨年度比 98.8%）、二輪自動車用で 106 万本（昨年度比 114.1%）である。四輪車用の内訳は、トラック・バス用で 112 万本、小形トラック用で 497 万本、乗用車用で 2,868 万本である。二輪自動車用の内訳は、建設車両用で 10.3 万本、産業車両用で 21.0 万本、農業機械用で 46.4 万本である。日本のタイヤ産業は、2021 年の製品出荷金額で 1 兆 1,463 億円の規模である。

タイヤ生産ゴム量は 2007 年がピークであり、その後、減少傾向にある。輸出先としては北米や欧州が、輸入先はアジアや欧州が多くの割合を占めている。

##### (b) 製造工程等におけるエネルギー消費量及び $CO_2$ 排出量（現状）

ゴム製品の製造工程におけるエネルギー利用について、製造工程は「原材料の保温」「精錬」の後に、「部材準備」「製品形成」「加硫」「仕上げ・検査・出荷」となっている。冬季にはゴムが硬くなるのを防ぐため、「原材料の保温」（熱）を利用する。原料ゴムに配合剤を混ぜる「精錬」は主に電力を使用する。「製品形成」では電力を消費し、「加硫」では特に多くの熱を消費する。総合すると、タイヤ・ゴム業界では、その製造工程において、熱と電力を 4：6 の比率で利用している。このため、熱の有効利用が $CO_2$ 排出量削減に有効であり、コジェネレーションシステムの導入が進んでいる。

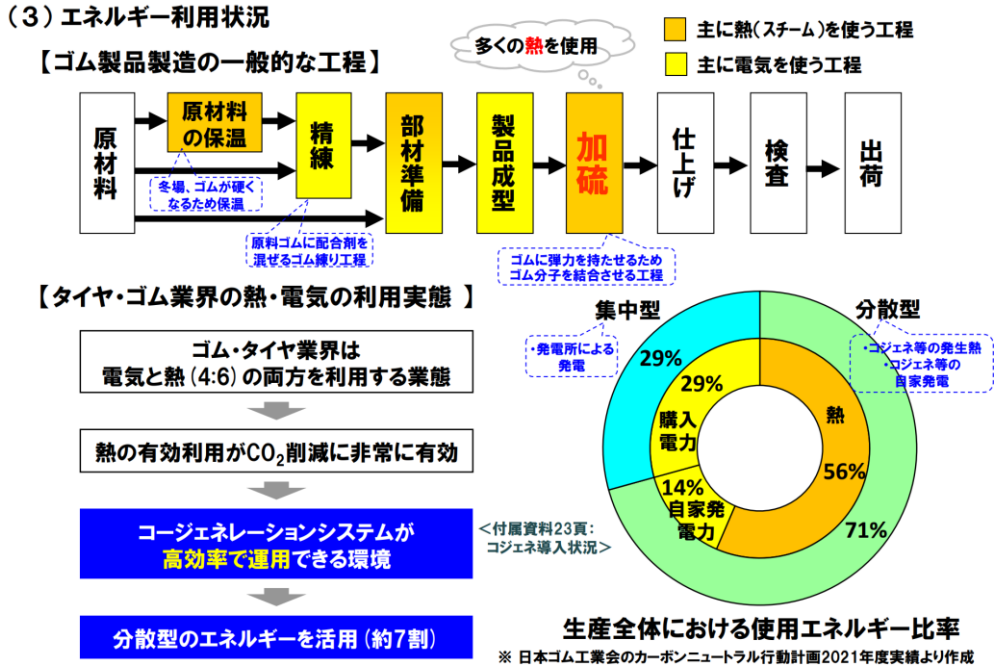



図 III-20　タイヤ・ゴム製造のエネルギー消費実態

出典：2022 年度第 1 回産業構造審議会 産業技術環境分科会 地球環境小委員会 化学・非鉄金属ワーキンググループ、資料 6-1 日本ゴム工業会説明資料

また、タイヤ製品においては、製品使用（車輌走行）時の $CO_2$ 排出量がライフサイクル全体の 87.6%と最も大きい。したがって、転がり抵抗の低減（低燃費タイヤ：低ロスゴム、軽量化など）が総排出量抑制に効果的である。タイヤ業界としては、ライフサイクル全体での $CO_2$ 削減に貢献度が大きい高機能製品の販売・普及に努力しているが、そのための高機能ゴムや軽量化は生産段階のエネルギー原単位悪化方向であり、カーボンニュートラル行動計画や省エネ法クラス分け制度と相反していることが、制度上の課題として提起されている。

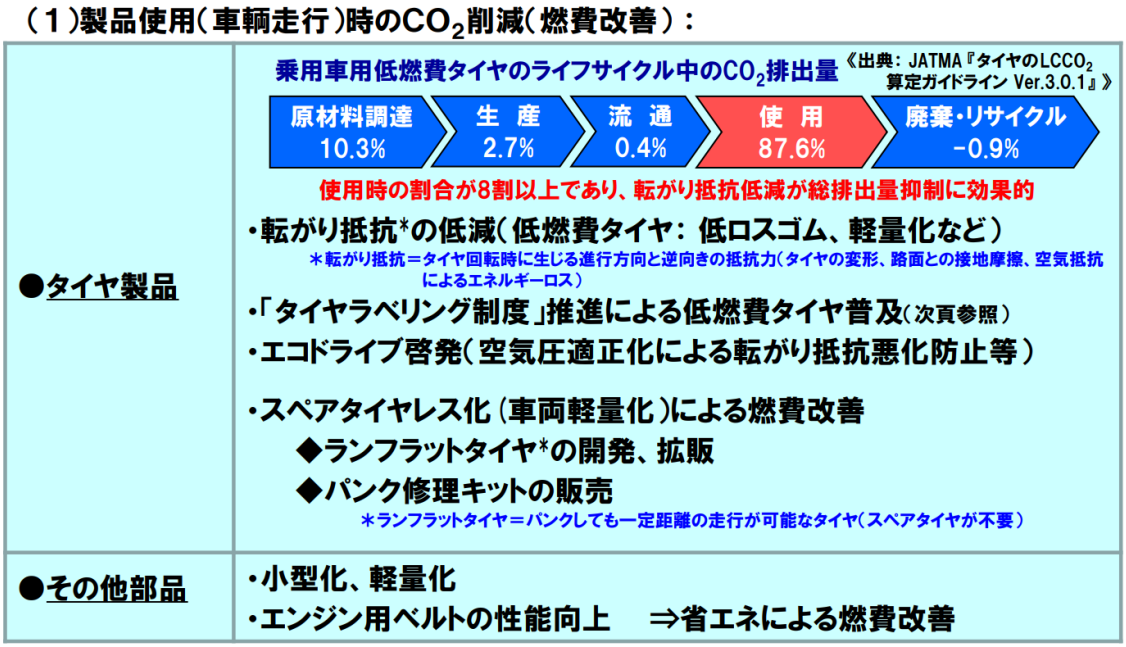



図 III-21　タイヤのライフサイクル中の CO2 排出量

出典：2022 年度第 1 回産業構造審議会 産業技術環境分科会 地球環境小委員会 化学・非鉄金属ワーキンググループ、資料 6-1 日本ゴム工業会説明資料

2) タイヤ分野のカーボンニュートラルに向けた戦略・計画の調査

(a) 業界団体によるタイヤ製造分野のカーボンニュートラルに関する戦略、計画

a) 一般社団法人 日本ゴム工業会

ゴム工業会は、「日本ゴム工業会の地球温暖化対策長期ビジョン」（2022 年 1 月）の中で、「ゴム製品製造業は、ゴムを原料として、製品製造時の加硫工程等で多くのエネルギーを使用する業態のため、これまでも生産活動においてコジェネレーションシステムを含め高効率機器の導入などにより、省エネルギー化を図るとともに、大幅なエネルギー転換も進め、低炭素社会の構築に貢献してきた」ことを踏まえつつ、今後は更に脱炭素化へ向けて、業界として Scope1，2 のうち生産段階での範囲で、2050 年までにカーボンニュートラルを進めることとしている。なお、主力のタイヤ製品では、「ライフサイクル全体の $CO_2$ 排出量のうち、使用段階（車走行時）が約 8 割を占め、使用段階での削減効果が大きいことから、タイヤ転がり抵抗係数の低減対策、効果定量化を進めている例も有り、Scope3 も含めた削減目標は今後の検討課題とする。」としている。

表 III-29 「日本ゴム工業会の地球温暖化対策長期ビジョン」の概要

| 項目 | 概要 |
|---|---|
| 生産活動における$CO_2$排出量を2050年までに実質ゼロにするための削減対策 | 1） 省エネルギー対策<br>・ 生産プロセス／製造方法の改善、高効率機器／省エネ設備等への更新、素材の研究開発、遮熱塗装による断熱リフォーム （空調機の電力削減）、省エネルギー活動の強化、生産体制（集約・統廃合）による削減、生産エネルギーの少ない製品設計、など<br>2） エネルギー転換<br>・ 電力・エネルギー調達先の変更 （再生可能エネルギー由来の電力、水素、アンモニア、バイオマスなど）、自家発電 （太陽光パネルの設置・継続運転、水力発電の導入）、PPA（電力販売契約。敷地内での業者による再生可能エネルギー発電を購入）、再生可能エネルギー証書・グリーン電力証書等の利用、生産機械等の電化（製造工程での動力を化石燃料から電力を使用する機器へ更新）、新エネルギー対応の生産機器等導入<br>3） $CO_2$回収・オフセット<br>・ $CO_2$回収 （CCUS 等、$CO_2$の回収・利用・貯留の技術を、企業単位で導入）、植林／森林管理 （$CO_2$吸収・固定の促進）、JCM（二国間クレジット制度）、ほかオフセット等のクレジット活用 （補完的対策） |
| その他（生産活動以外）の取組による削減 | 前述の通り、生産活動以外の範囲についてはまだ算定に含める段階ではないが、引き続き$CO_2$排出の削減に資する活動を行い、国内のカーボンニュートラルに貢献していく。<br>・ 革新的素材の研究開発｛サステナブル材料（調達・廃棄・リサイクル段階における貢献）、高機能材料（使用段階における貢献）等｝<br>・ 主力のタイヤ製品｛生産（新ゴム量ベース）で8割を占める｝の、車装着時（使用段階）における低燃費性能（転がり抵抗低減）の更なる向上。<br>・ リトレッドタイヤの更なる普及促進（調達・生産・廃棄段階における貢献）<br>・ 製品の軽量化 (調達・使用・廃棄段階における貢献)<br>・ 本店・支店・販売店への再生可能エネルギー導入、省エネ活動<br>・ 電気自動車、ハイブリッド車への乗り換え （燃料使用削減）<br>・ サプライヤーへの削減要請 |

出典：「日本ゴム工業会の地球温暖化対策長期ビジョン」（日本ゴム工業会, 2022 年 1 月）

(b) 個社によるタイヤ分野のカーボンニュートラルに関する戦略、計画の調査

国や業界団体の資料に加えて、カーボンニュートラルに向けたタイヤ製造分野の個社の個別の取組内容について、調査を実施した結果を以下に示す。

表 III-30 個社のカーボンニュートラルに向けた取組概要

| **個社** | **カーボンニュートラルに向けたビジョンや具体的な対策** |
|---|---|
| ブリヂストン | ・ 現状約30%の天然材料、リサイクル材料、持続可能な材料の比率を2050年までに100%にする。<br>・ 天然ゴムに対する保護や育成の技術開発及びグアユール（植物）からの天然ゴム製造技術開発を進める。<br>・ 米ランザテック社の炭素回収・ガス発酵技術を用い、廃タイヤからエタノール等の化学品を製造し、PET樹脂や界面活性剤等に利用する。また、同社のガス発酵技術によりブタジエンを直接製造する。<br>・ ENEOSとの使用済タイヤの精密熱分解によるケミカルリサイクル技術開発事業がNEDO・GI基金事業に採択される。 |
| 住友ゴム工業 | ・ バイオマス原材料とリサイクル原材料を活用し、2050年にサステナブル原材料比率を100%にする。<br>・ タイヤラベル、商品包装材、販促ツール等のプラスチック使用量を2030年までに2019年度比で40%削減する。<br>・ 廃タイヤ由来のカーボンブラックに代替する（最大で20～70%を代替）。また、廃タイヤ由来の熱分解油の事業化を推進する。 |
| 横浜ゴム | ・ バイオマス原料からバイオブタジエンを生成する世界初の新技術の開発に成功（理化学研究所と日本ゼオンとの共同事業）。 |

| | |
|---|---|
| | ・日本ゼオンとのエタノールからの高効率ブタジエン合成事業及び植物資源からのブタジエン、イソプレン製造事業がNEDO・GI基金事業に採択される。 |
| TOYO TIRE | ・バイオマス原材料やリサイクル材料を使いこなす「技術を鍛える」ことに注力する。<br>・NEDO、産総研、先端素材高速開発技術研究組合（ADMAT）との共同研究により、バイオエタノールからブタジエンを大量合成し、従来と同等の性能を持つ自動車用タイヤの試作および一連のプロセスの実証に成功。 |
| 日本ミシュランタイヤ | ・リサイクル素材と再生可能素材だけでタイヤを生産する。2020年の実績（28%）を2030年までに40%に、2050年に100%にする。<br>・使用済みタイヤをリサイクルする熱分解テクノロジーの大規模な開発・事業化を目指してEnviro社（本社：スウェーデン）との提携を進める。<br>・天然ゴムに関して、森林破壊や児童労働、非合法農薬が使われていないか等、トレーサビリティの確保されたものの使用に努める。 |
| 日本グッドイヤー | ・2030年までにサステナブル素材100%のタイヤを開発する。2022年1月発表では70%のデモタイヤを開発した。 |

出典：各社プレスリリース

3) タイヤ製造分野のヒアリング調査

前項までの整理を踏まえて、タイヤ製造分野のカーボンニュートラルに向けた取組や資源循環に関しての知見を得るため、以下の通り、企業へのヒアリング調査を実施した。具体的には、各社における 2050 年 CN に向けた取組内容、中長期シナリオ案（2021 年 8 月）と各社検討内容との共通点・相違点等についてヒアリングを実施した。ヒアリングの結果、中長期シナリオ案と各社検討内容との類似性が確認された。

表 III-31 タイヤ製造分野のヒアリング概要

| 実施日 | ヒアリング先 | ヒアリング調査の結果概要 |
|---|---|---|
| 2023年3月22日<br>(電話) | 住友ゴム工業<br>株式会社<br>（タイヤ技術本部） | ✓ 主な取組として、①バイオマス原材料とリサイクル原材料を活用したタイヤのサステナブル原材料化（2030年目標：40%、2050年目標：100%）、②リトレッドタイヤの促進、等を実施。 |
| 2023年3月22日<br>(電話) | 横浜ゴム株式会社<br>（CSR企画部） | ✓ サステナブル原料化・リトレッドタイヤの促進、の2本柱の取り組みを行っている。その他、工場等の省エネ化やエコタイヤでの燃費向上、植樹などの取り組みも行っており、$CO_2$削減に寄与。 |
| 2023年3月24日 | TOYO TIRE<br>株式会社<br>（環境衛生推進部） | ✓ 主な取組として、①バイオマス原材料とリサイクル原材料を活用したタイヤのサステナブル原材料化、②リトレッドタイヤの促進、等を実施。 |
| 2023年3月22日<br>(電話) | 日本ミシュランタイヤ<br>株式会社<br>（広報部） | ✓ 主な取組として、①リサイクル素材と再生可能素材によるタイヤの生産（2020年実績：28%、2030年目標：40%、2050年：100%）、②リトレッドタイヤの促進、等を実施。それらに加え、タイヤの性能向上を通じて低燃費化を実現し、$CO_2$削減に貢献する取り組みを実施。 |
| 2023年3月7日<br>(電話) | 日本グッドイヤー<br>株式会社<br>（マーケティング本部） | ✓ 主な取組として、2030年までのサステナブル素材100%のタイヤの開発、を推進。既にサステナブル素材90%のデモタイヤを開発済。 |

4) タイヤ製造分野の脱炭素化が廃棄物・資源循環分野の脱炭素化に与える影響の考察

本業務の調査を踏まえて、タイヤ製造分野の脱炭素化に向けた動向が廃棄物・資源循環分野の脱炭素化に与える影響について、以下の通り、考察・整理した。

表 III-32　タイヤ製造分野の脱炭素化が廃棄物・資源循環分野の脱炭素化に与える影響の考察

| 本業務の調査結果（タイヤ製造分野） | 廃棄物・資源循環分野の脱炭素化に与える影響 |
|---|---|
| **（製造プロセスの脱炭素化に関する事項）**<br>・ 当分野では、製造時における温室効果ガス排出量の削減に向けた取組としては、省エネ、エネルギー転換、$CO_2$ 回収・オフセットが主な方向性として位置づけられており、タイヤ製品の資源循環による製造時の排出削減については、少なくとも業界団体資料では、位置付けられていない。<br>**（製造段階以外での排出削減に関する事項）**<br>・ 生産活動以外での排出削減については、車両走行時の排出削減に向けた取組やリトレッドタイヤの普及促進が位置付けられている。<br>・ 一方で、生産活動以外の排出削減のための高機能タイヤ製品の製造は、エネルギー消費原単位を悪化させる方向になることも問題提起されている。 | ・ タイヤ製造分野の製造時の排出削減（Scope1,2）について、資源循環から貢献可能な部分については、具体的に位置付けられておらず、高機能タイヤ製品と同様にタイヤ製品のリサイクル等の対策がエネルギー消費原単位の悪化を招く場合には、取組が進まなくなる恐れがある。<br>⇒中長期シナリオで見込んだ対策による製造時の排出削減の定量的分析等の調査が必要である。 |

### （4）都市ガス分野の動向調査

厨芥等の含水率の高い有機性廃棄物からメタン成分が半分程度含まれるバイオガスが得られる「メタン発酵施設」について、中長期シナリオ案では焼却施設との同時導入によって導入拡大を図っていくことが想定されている。このバイオガスに含まれるバイオメタンを、発電だけでなく、都市ガス原料とすることで都市ガスのカーボンニュートラル化にも貢献できる余地がある。なお、バイオガスにおけるメタン以外の主要成分は二酸化炭素であるが、微生物や酵素を利用してメタンを生成するバイオメタネーションはメタン発酵と相性がよい。

また、焼却施設からは、プラスチック類由来に加えて、バイオマス由来の $CO_2$ が発生しており、今後のプラスチックリサイクル促進やバイオマスプラスチックの導入でさらに化石比率が低減されることも想定される。中長期シナリオ案では、廃棄物・資源循環分野でのCCUSの導入がなければ実質ゼロに達することは難しいこと、一方で、バイオマス由来の炭素の存在でCCUSによって当分野での排出マイナス（≒他分野での削減貢献）が見通せることが示唆され、都市ガス分野におけるメタネーションもCCUの一つの選択肢と考えられる。

そこで、中長期シナリオ案で見込んだ対策の拡充及びその実現に向けて、都市ガス分野との連携の可能性やその課題について調査を行う。

#### 1) 都市ガス分野の現状

##### (a) 都市ガスの生産・供給

電力や都市ガスに用いられるLNG（液化天然ガス:Liquefied Natural Gas）の供給国は、中東・豪州・東南アジア・ロシア・米国など多角化しており、原油（中東依存度 89%）に比較して供給途絶リスクは低い。天然ガスは日本の一次エネルギー国内供給の約 22%を占めており、その用途としては電力用が約60%、都市ガス用が約33%となっている。都市ガス販売量は、2019年度で375.8億立方メートルである。2007 年度までは右肩上がりで推移し、それ以降はゆるやかな漸増傾向にある。用途別では、家庭用・商業用が漸減傾向、工業用が増加傾向にある。

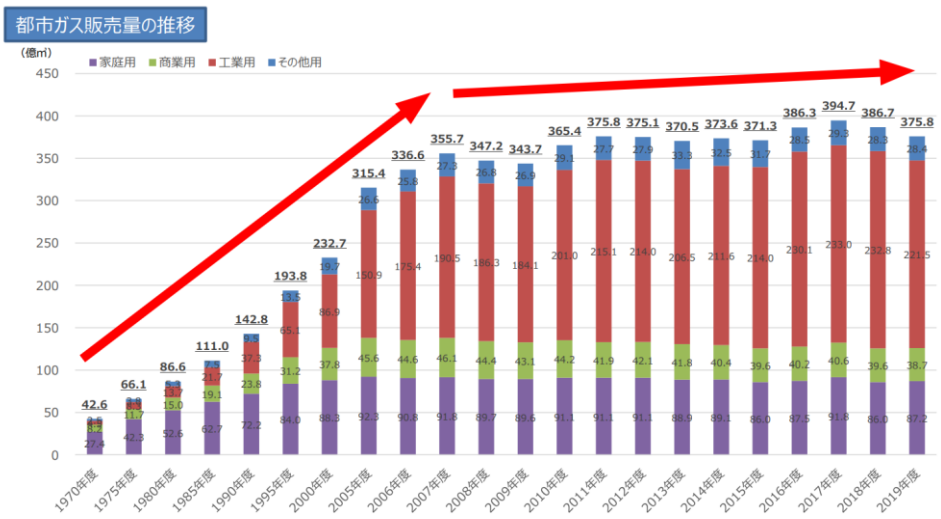



**図 III-22　都市ガスの国内販売量の推移**

出典：「「トランジションファイナンス」に関するガス分野における技術ロードマップ」（経済産業省、2022年2月）

天然ガス価格について、2020年頃までは日本のLNG価格は米国や欧州の天然ガス価格と比較して割高な傾向にあった。特に2011年～2014年頃がピークで米国の天然ガス価格の3倍程度となっていた。一方で、ロシアによるウクライナ侵攻の影響も受けて、欧州の天然ガス価格は 2022 年以降急激な増加

を記録しており、2021 年 4 月と比較して、2022 年 5 月は 5 倍以上の価格となっている。

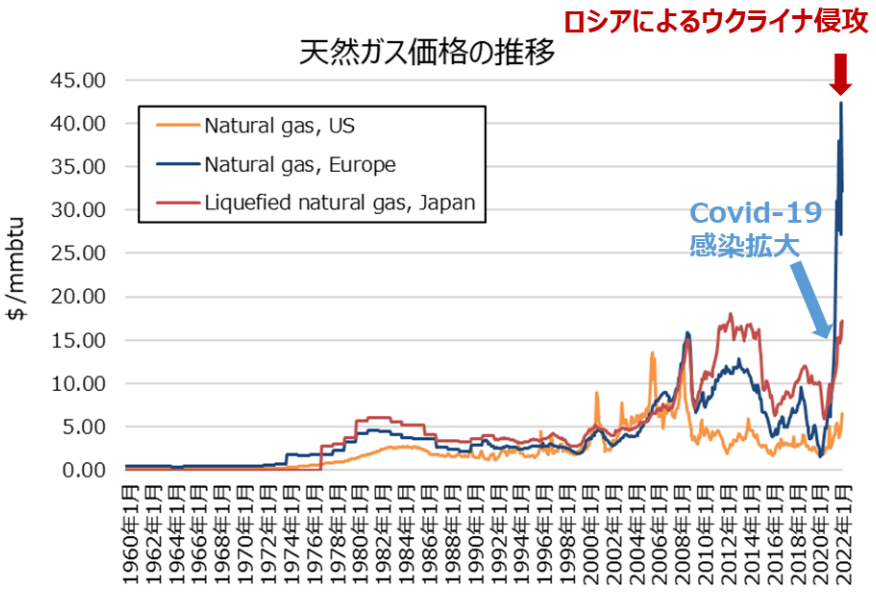



**図 III-23　天然ガス価格の推移**

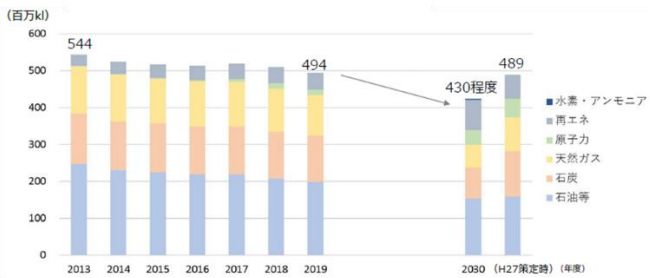
出典：Commodity Markets, Monthly prices（World Bank）よりパシフィックコンサルタンツ作成

2030 年におけるエネルギー需給見通しでは、エネルギー転換・省エネの結果として、天然ガスの一次エネルギー供給量は 2030 年度に 2013 年度比で 37%削減される見込み。結果として 2030 年度の天然ガスの一次エネルギー供給量は再生可能エネルギーの一次エネルギー供給量よりも小さくなる見込み。

**日本の一次エネルギー供給量**

| [百万kl] | 2013年度 | | 2030年度 | |
|---|---|---|---|---|
| 石油等 | 233 | 43% | 130 | 31% |
| 石炭 | 137 | 25% | 80 | 19% |
| 天然ガス | 127 | 23% | 80 | 18% |
| 原子力 | 2 | 0% | 40 | 9~10% |
| 再エネ | 46 | 8% | 100 | 22~23% |
| 水素・アンモニア | 0 | 0% | 2 | 1% |
| 合計 | 544 | 100% | 430 | 100% |

※2030年度の数値は概数であり、合計は四捨五入の関係で一致しない場合がある




日本のエネルギー種別一次エネルギー供給量の推移

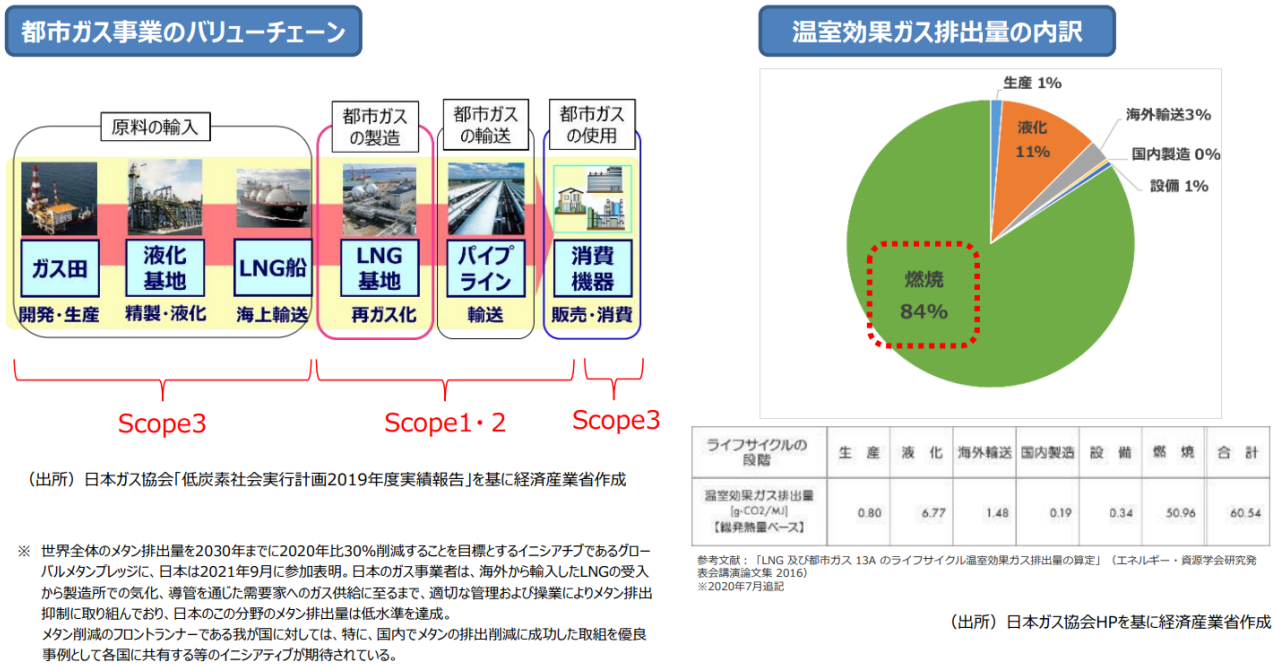
**図 III-24　2030 年に想定される天然ガスの一次エネルギー供給量**

出典：「2030 年におけるエネルギー需給の見通し（関連資料）」（資源エネルギー庁, 2021 年 9 月）

IEA の NZE シナリオでは、天然ガスは石炭・石油とは対照的に 2020 年代後半までトランジション燃料として増加が許されるものの、新たなガス田開発はこれ以上必要ないとしている。シナリオ上、2030 年代には年間 5%のペースで減少するとされており、2040 年代以降は減少のペースは落ちることを見込む。天然ガスの生産量は 2020 年には化石燃料の中で最小であったが、2050 年においては最大となる見込みである。地域別の生産量を見ると、すべての地域において 2050 年には 2020 年比で減少していることが確認された。2030 年にかけては、中東・北米で顕著に増加する様子が確認された。一方で、ヨーロッパについては 2020 年以降単調に減少している様子が確認された。（※2021 年の時点の資料であり、2022 年以降、最新の世界情勢を反映したものではない）

(b) 製造工程等におけるエネルギー消費量及び $CO_2$ 排出量（現状）

都市ガスの供給量から $CO_2$ 排出量を計算すると約 0.9 億トンとなり、これは日本の $CO_2$ 排出量の約 1 割を占める。都市ガスのライフサイクルは、ガス田での天然ガス採掘である「生産」、液化基地での天然ガスの液化を行う「液化」、LNG 船による輸送である「海外輸送」、都市ガス製造を指す「国内製造」、国内供給のためのガス導線、ホルダーの設備建設を指す「設備」、ガス利用時の「燃焼」から構成されている。「生産」では燃焼消費 $CO_2$、フレア燃焼 $CO_2$、$CH_4$ ベント、設備建設 $CO_2$ が発生する。「液化」では、これに追加して原料中の $CO_2$ が、「海外輸送」では燃焼消費 $CO_2$、設備建設時 $CO_2$、冷熱利用効果、「設備」では設備建設時 $CO_2$ が、「燃焼」では燃焼時の $CO_2$ が発生する。温室効果ガス排出の多くは燃焼段階で排出されている。（「LNG 及び都市ガス 13A のライフサイクル温室効果ガス排出量の算定」（エネルギー・資源学会研究発表会講演論文集 2016）より）




| ライフサイクルの段階 | 生産 | 液化 | 海外輸送 | 国内製造 | 設備 | 燃焼 | 合計 |
|---|---|---|---|---|---|---|---|
| 温室効果ガス排出量 [g-CO2/MJ]【総発熱量ベース】 | 0.80 | 6.77 | 1.48 | 0.19 | 0.34 | 50.96 | 60.54 |

参考文献：「LNG 及び都市ガス 13A のライフサイクル温室効果ガス排出量の算定」（エネルギー・資源学会研究発表会講演論文集 2016）
※2020年7月追記

（出所）日本ガス協会「低炭素社会実行計画2019年度実績報告」を基に経済産業省作成

※ 世界全体のメタン排出量を2030年までに2020年比30%削減することを目標とするイニシアチブであるグローバルメタンプレッジに、日本は2021年9月に参加表明。日本のガス事業者は、海外から輸入したLNGの受入から製造所での気化、導管を通じた需要家へのガス供給に至るまで、適切な管理および操業によりメタン排出抑制に取り組んでおり、日本のこの分野のメタン排出量は低水準を達成。
メタン削減のフロントランナーである我が国に対しては、特に、国内でメタンの排出削減に成功した取組を優良事例として各国に共有する等のイニシアティブが期待されている。

（出所）日本ガス協会HPを基に経済産業省作成

図 III-25　都市ガス分野の温室効果ガス排出量

出典：「「トランジションファイナンス」に関するガス分野における技術ロードマップ」（経済産業省、2022 年 2 月）

2) 都市ガス分野のカーボンニュートラルに向けた戦略・計画の調査

(a) 国による都市ガス分野のカーボンニュートラルに関する計画等

a) エネルギー基本計画及び地球温暖化対策計画

エネルギー基本計画には、「天然ガスは化石燃料の中で $CO_2$ 排出量が最も少ないため、天然ガスへの燃料転換等によって熱需要の低炭素化に貢献できるとともに、供給サイドにおいてメタネーション等の技術が確立すれば、既存インフラや設備を利用可能な合成メタン等が天然ガスを代替できるようになるため、燃料転換等を行った需要サイドは将来的に合成メタン等の供給を受けることにより、2050 年に向けてコストを抑えつつより円滑な脱炭素化への移行が期待できる。」「2030 年には、既存インフラへ合成メタンを 1%注入し、その他の手段と合わせてガスの 5%をカーボンニュートラル化するとともに、2050 年には合成メタンを 90%注入し、その他の手段と合わせてガスのカーボンニュートラル化を目指す。」と記載されている。

b) 2050 年カーボンニュートラルに伴うグリーン成長戦略

グリーン成長戦略においては、「2030 年には、既存インフラへ合成メタンを 1%注入し、水素直接利用等その他の手段と合わせて 5%のガスのカーボンニュートラル化を目標とする。2050 年までには、既

存インフラに合成メタンを 90%注入し、水素直接利用等その他の手段と合わせてガスのカーボンニュートラル化達成を目指す。加えて 2030 年頃において、船舶分野におけるガス燃料として合成メタン等の供給開始を目指す。」との目標が記載された。供給コストに関しては「2050 年に現在の LNG 価格（40~50 円/$Nm^3$）と同水準」を目指す。将来の想定については、「2050 年カーボンニュートラルの実現に向けて、合成メタンの生成のために相当量の水素の確保が必要となり、合成メタンのコストを低く抑えるためには、水素コストが相対的に安価な海外で生成した合成メタンを国内に輸送することが有効と考えられる。これらを踏まえ、合成メタンの導入などガスの脱炭素化に向けた海外サプライチェーン構築を進めていく。2020 年代後半には海外から国内へ合成メタンの輸送を開始し、2030 年代には全国的な導入拡大を進めていき、コスト低減を図りながら、2040 年代には商用化の実現を目指す。」との見通しが示された。

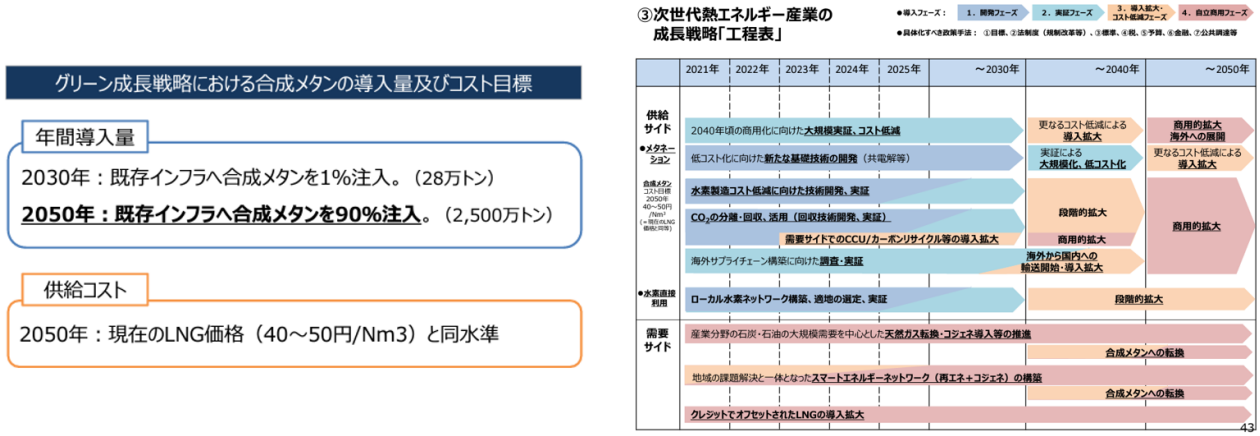



**図 III-26　グリーン成長戦略における合成メタンに関する目標**

出典：2050 年カーボンニュートラルに伴うグリーン成長戦略（内閣官房他, 2021 年 6 月）

また、「$CO_2$ 削減量のカウントについて、カーボンニュートラルに資する方向での検討を速やかに行う。」とされたことを受け、メタネーション推進官民協議会の「$CO_2$ カウントに関するタスクフォース」において「合成メタン利用の燃焼時の $CO_2$ カウントに関する中間整理」が取りまとめられ、原排出者（回収）側と利用側とで $CO_2$ 排出の取り扱いに関する考え方を 4 案が提案された。

このうち、排出削減の二重カウントを認めないことを前提とした制度とする場合には、「案 1 は EU-ETS の改正案の考え方と近く、合成メタンだけでなく合成燃料も含めたカーボンリサイクル燃料の今後の国際的な制度の整合性まで想定した場合の重要性も考慮すると、合成メタンを含むカーボンリサイクル燃料の利用促進の観点からは、本タスクフォースとしては、案 1 を基に各種国内制度の検討が進められることが望ましい。」と結論付けられた。排出削減の二重カウントを認め得る制度とする場合には、「国内制度等は、国のインベントリの考え方とは切り離して設計することも可能であるから、排出削減の二重カウントを認め得る前提の制度等であれば、$CO_2$ 回収とカーボンリサイクル燃料利用の双方の誘因を最大化する観点からは、本タスクフォースとしては、案 4 の、$CO_2$ の回収側（原排出）と合成メタンの利用側の双方で計上しない制度が望ましい。」とされた。

ここで、上記の議論・整理は化石燃料由来の $CO_2$ を利用する場合のアカウンティングの整理であり、バイオマス由来であればアカウンティングの方法によらず回収側・利用側ともに排出ゼロとみなしうる。

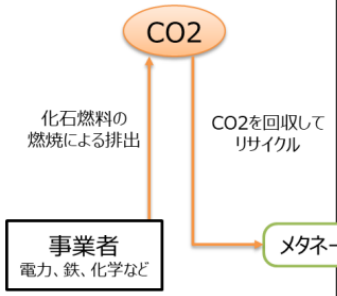
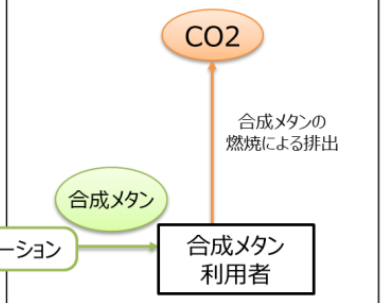
<table>
<tr><th colspan="2"></th><th>原排出者（回収）側</th><th>利用側</th></tr>
<tr><td colspan="2">合成メタン利用に伴う<br>CO2の挙動</td><td> 
</td><td> 
</td></tr>
<tr><td rowspan="4">国内制度における<br>CO2排出の取扱い<br>に関する考え方</td><td>案１</td><td>CO2原排出者で排出計上</td><td>排出ゼロ</td></tr>
<tr><td>案２</td><td>排出ゼロ</td><td>合成メタン利用側で排出計上</td></tr>
<tr><td>案３</td><td>排出を按分</td><td>排出を按分</td></tr>
<tr><td>案４</td><td>排出ゼロ</td><td>排出ゼロ</td></tr>
</table>

図 III-27　合成メタンの燃焼による CO2 排出の取り扱いに関する考え方

出典：「合成メタン利用の燃焼時の $CO_2$ カウントに関する中間整理」（メタネーション推進官民協議会 ＣＯ２カウントに関するタスクフォース, 2022 年 3 月）

### c)「2050 年に向けたガス事業の在り方研究会」の中間整理

「2050 年に向けたガス事業の在り方研究会」の中間整理では、脱炭素化・高いレジリエンスに資するガスの役割とともに、ガス体の変遷のイメージが示された。足元では石炭から天然ガスへの燃料転換を進めるとともに、CCUS の導入やクレジット活用による CN-LNG を進めていくイメージが示されている。2050 年にはそのほとんどを合成メタンで供給し、今世紀後半には水素・アンモニアの直接供給を拡大するイメージも想定されている。

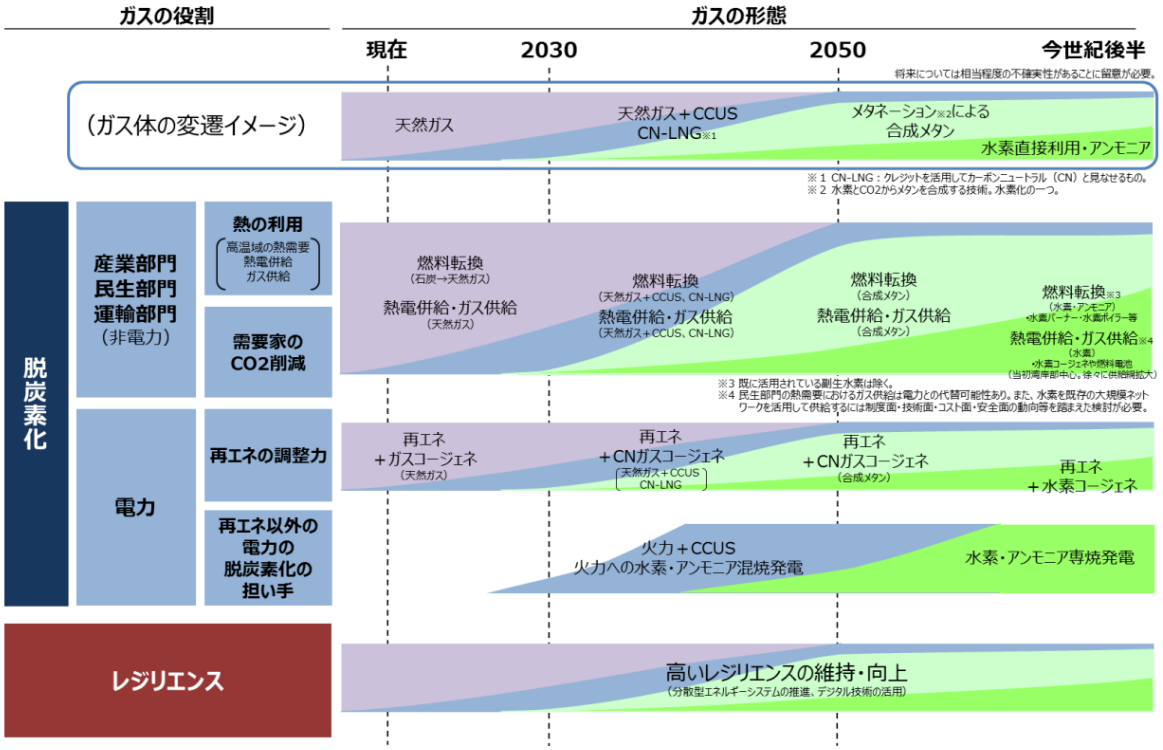



図 III-28　2050 年に向けたガス体の遷移イメージ

出典：「2050 年に向けたガス事業の在り方研究会中間とりまとめ」（経済産業省、2021 年 4 月）

当研究会においても、バイオガスは都市ガス分野の脱炭素手段の一つとして位置づけられ、とりま

とめとして、2050 年を見据えた対応の方向性においては「(民) 自治体・民間事業者等との連携の推進、地域資源活用の可能性の把握」が、2030 年に向けた具体的な取組として「(民) ガス事業者自らの主体的な取組の推進、日本ガス協会等による積極的な支援（地域におけるポテンシャル可能性調査等の実施)」が記載されている。

表 III-33　バイオガスの導入促進に対する具体的な取組（抜粋）

| 役割 | 手段 | 主な課題 | 2050年を見据えた対応の方向性 | 2030年に向けた具体的な取組 |
|---|---|---|---|---|
| 脱炭素化に資するガスの役割 | 水素直接利用 | ● 安価な水素供給<br>● 需要側機器等での対応<br>● 国内輸送・貯蔵のためのインフラ整備 | ● (官民)国内外の水素サプライチェーンの構築・大型化等<br>● (官民)水素の燃焼特性等に対応した機器の社会実装<br>● (官民)費用対効果の高いエリア等での水素専用導管の整備等 | ● (官民)水電解装置の大型化等のための技術開発を通じた低コスト化<br>● (官民)国際水素サプライチェーン構築のための技術開発・実証<br>(官民)水素発電や水素バーナー等の実装に向けた技術開発等<br>● (民)地域におけるポテンシャル可能性調査等の実施、適地・事業者の選定（地方ガス事業者の参画）、モデル事業の検討 |
| | バイオガス | ● バイオガスの導入促進 | ● (民)自治体・民間事業者等との連携の推進、地域資源活用の可能性の把握 | ● (民)ガス事業者自らの主体的な取組の推進、日本ガス協会等による積極的な支援（地域におけるポテンシャル可能性調査等の実施） |

出典：「2050 年に向けたガス事業の在り方研究会中間とりまとめ」（経済産業省、2021 年 4 月）

現在のエネルギー供給構造高度化法では、その供給区域内等で、効率的な経営の下においてその合理的な利用を行うために必要な条件を満たすバイオガス（余剰バイオガス）の 80%以上を利用することが目標とされており、一定規模以上の一般ガス事業者（東京ガス、大阪ガス、東邦ガス）については、目標に関する計画の作成及び経済産業大臣への提出が求められている。なお、ガス事業者の受入条件に合致しないバイオガスや、発電事業などの他の用途に利用されるバイオガスについては、余剰バイオガスではないと整理されている。

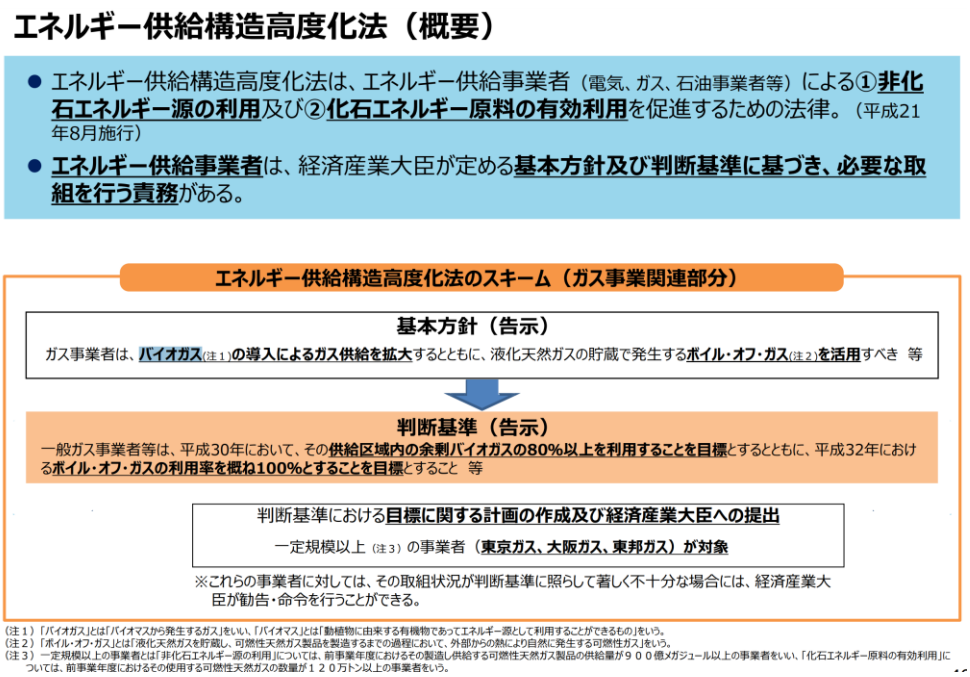



図 III-29 エネルギー供給構造高度化法における余剰バイオガスの利用目標

出典：「2050 年に向けたガス事業の在り方研究会中間とりまとめ」（経済産業省、2021 年 4 月）

d)「トランジションファイナンス」に関するガス分野における技術ロードマップ

都市ガスについては、製造工程での省エネ、天然ガス網の整備、燃料転換、天然ガスの高度利用、分散型エネルギーシステムの実装がすでに実施されている。2030 年代には都市ガス原料を天然ガスから合成メタンへ転換、サバティエ反応を用いたメタネーション、国内外サプライチェーンの構築を進め、2040 年代を目安に、サバティエ反応より効率的なメタネーション技術の実装が進む見込みである。



| | 技術名 | 概要 | 排出係数※1 | 実装年※2 | 主な参照先※3 |
|---|---|---|---|---|---|
| 都市ガス 天然ガス | 都市ガス製造工程での省エネ | ✓ 冷熱利用設備等による省エネ | – | 既に導入 | • 低炭素社会実行計画 |
| | 天然ガス供給網の整備 | ✓ 天然ガスの利用拡大に向け供給インフラを強化 | – | 既に導入 | • グリーン成長戦略 |
| | 燃料転換 | ✓ 需要サイドの燃料転換に必要な設備等の設置等 | – | 既に導入 | • グリーン成長戦略 |
| | 天然ガスの高度利用 | ✓ エネルギー計測や高効率ボイラー等により省エネ | – | 既に導入 | • エネルギー基本計画<br>• グリーン成長戦略 |
| | 分散型エネルギーシステム | ✓ スマートエネルギーネットワーク（エネルギーの面的利用）・コージェネレーション・燃料電池などの普及拡大により省エネ | – | 既に導入 | • エネルギー基本計画<br>• グリーン成長戦略 |
| | 都市ガス原料を天然ガスから合成メタンへ転換 | ✓ 都市ガス原料を合成メタンに転換し都市ガス使用時のCO2排出をゼロに | 最大100%削減 | 2030年代 | • グリーン成長戦略 |
| 合成メタン | メタネーション（サバティエ反応） | ✓ 水素とCO2からメタンを合成 | 最大100%削減 | 2030年代 | • グリーン成長戦略<br>• IEA-ETP2020 |
| | メタネーション（革新的技術） | ✓ サバティエ反応によるメタネーションと比べ、より高効率にメタンを合成する革新的技術（共電解等） | 最大100%削減 | 2040年代 | • グリーン成長戦略<br>• GI基金-社会実装計画※5<br>• IEA-ETP2020 |
| | 国内外サプライチェーン構築 | ✓ 液化基地、LNG船、受入基地、パイプライン等の既存インフラにおける合成メタンの併用等 | – | 2030年代 | • グリーン成長戦略<br>• IEA-ETP2020 |

※１：既存技術の排出係数をもとに、対象技術による削減幅より算出。削減幅は、当該工程における削減幅として記載。
※２：社会実装計画については導入拡大・コスト低減フェーズの開始年を参照。
※３：実装年の参照先には下線を付加。
※４：転換前の燃料構成により削減幅は異なる
※５：グリーンイノベーション基金における研究開発・社会実装計画。

64

図 III-30　都市ガス分野のカーボンニュートラルに向けた技術

出典：「「トランジションファイナンス」に関するガス分野における技術ロードマップ」（経済産業省、2022 年 2 月）

また、都市ガスに限らず、LP ガスの脱炭素化を進めるための共通の基盤的技術である、水素の製造・輸送・利用に関する技術や、工場・その他の都市ガス利用機器からの $CO_2$ 分離回収、DAC の実用化が、脱炭素化に向けた方向性として示されている。水素については、2020 年代後半に国内外での水電解と、液体水素運搬船や液体炭化水素をキャリアとして海外からの輸送を、2030 年代にローカルネットワークの構築が想定されている。また、アンモニアのオンサイト活用が 2020 年後半をめどに見込まれている。CCUS 関連では、2020 年代前半に都市ガス利用危機から排出される $CO_2$ の回収分離が、2030 年代に鉄鋼工場や発電所、化学工場などから排出される $CO_2$ を回収、利用、貯蔵をし、2040 年代には大気中から $CO_2$ を直接回収する DAC の実装が見込まれている。




図 III-31　都市ガス分野のカーボンニュートラルに向けた技術（共通技術）

出典：「「トランジションファイナンス」に関するガス分野における技術ロードマップ」（経済産業省、2022 年 2 月）

### (b) 業界団体によるガス分野のカーボンニュートラルに関する戦略、計画

#### a) 日本ガス協会

日本ガス協会の「カーボンニュートラルチャレンジ 2050」（2020 年 11 月）では、2050 年におけるガスの内訳イメージとして、CN メタンにより 90%、水素直接利用により 5%、バイオガス等により 5%を供給することを示している。CN メタンの定義として、日本ガス協会では“脱炭素製造された水素と $CO_2$ を合成したメタン”としており、2040 年にかけては、水素を LNG 火力発電所等からの $CO_2$ と合成することを想定しており、2040 年頃からは水素をバイオ由来や空気中の CO2 と合成することが想定されている。2030 においては、中間的目標として、CN メタンを都市ガス導管へ 1%以上導入することを掲げている。ここで、バイオガスの他には、天然ガス+CCUS、カーボンニュートラル LNG、海外貢献、DACCS、植林等を含んで 5%である。

また、同アクションプラン（2021 年 6 月）では、アクションプランとして、「Action1：2030 年 NDC 達成への貢献」「Action2：メタネーション実装への挑戦」「Action3：水素直接供給への挑戦」を定めている。

表 III-34　日本ガス協会による 2050 年ガスのカーボンニュートラル実現に向けた姿

**2050年ガスのカーボンニュートラル実現に向けた姿（日本ガス協会）**

| | 脱炭素化の手段 | 2050年※ |
|---|---|---|
| ガス自体の脱炭素化 | 水素（直接利用） | 5% |
| | カーボンニュートラルメタン | 90% |
| | バイオガス | 5% |
| 脱炭素化に資する手立て | 天然ガス＋CCUS | |
| | カーボンニュートラルLNG | |
| | 海外貢献 | |
| | DACCS | |
| | 植林 | |

※上記数値はイノベーションが順調に進んだ場合の到達点の一例を示すもの
水素や$CO_2$等は政策等と連動し、経済的・物理的にアクセス可能であるという前提

出典：「2050 年に向けたガス事業の在り方研究会中間とりまとめ」（資源エネルギー庁, 2021 年 4 月）

(c) 個社による都市ガス分野のカーボンニュートラルに関する戦略、計画の調査

国や業界団体の資料に加えて、カーボンニュートラルに向けた都市ガス分野の個社の個別の取組内容について、売上高上位 2 社について調査を実施した結果を以下に示す。

表 III-35　個社のカーボンニュートラルに向けた取組概要

| 個社 | カーボンニュートラルに向けたビジョンや具体的な対策 |
|---|---|
| 東京ガス株式会社 | **（カーボンニュートラルに向けたビジョン等）**<br>・ 東京ガスは、2019年11月に東京ガスグループ経営ビジョン「Compass2030」を発表。同資料においては、東京ガスグループの事業活動全体で、顧客（供給先）も含めて排出するCO2をネット・ゼロにすることに挑戦することを表明。上記を受けたロードマップの中で、ガスの脱炭素化については、カーボンニュートラルメタン（CNメタン）について、メタネーション技術を小規模な実証から始め、2040年以降に商用拡大することを目指している。また、メタネーションの原料としての水素の製造技術について低コスト化を目的とした技術確立・実用化を実施する。<br>**（バイオガスの都市ガス原料としての受入状況）**<br>・ バイオエナジー城南島工場において、食品残渣由来のバイオガスを都市ガス導管への注入・受入を実施（2010年~2019年）。当該事業の都市ガス導管へのガス受入量は、約80万$m^3N$/年程度。<br>**（触媒メタネーションや革新的メタネーション技術に関する実証・技術開発）**<br>・ 同社はグリーンイノベーション基金事業の「CO2等を用いた燃料製造技術開発」プロジェクトにおいて、合成メタン製造に係る革新的技術開発として、株式会社IHI、国立研究開発法人宇宙航空研究開発機構と共同で「低温プロセスによる革新的メタン製造技術開発」が採択された。<br>・ 同社は、大阪ガス、東邦ガス、三菱商事と、米国テキサス州・ルイジアナ州における合成メタン（e-methane）（以下「合成メタン」）の製造、キャメロンLNG基地およびLNG船・受入基地等の既存LNGサプライチェーンを活用した合成メタンの液化・輸送、ならびに2030年の日本への合成メタン導入開始に向けた共同での詳細検討に着手。2030年に13万トン/年の合成メタンを製造し、日本へ輸出することを目指す。<br>・ 同社は、2022年3月より、鶴見区末広町にある横浜テクノステーションでメタネーションの実証試験を開始。実証試験は、太陽光由来の電気による水電解装置・メタネーション装置の実力値や課題の把握、カーボンニュートラルメタン製造から利用までの一連の技術・ノウハウの獲得を目指す。横浜市は、末広地区内にある資源循環局鶴見工場の排ガスから分離回収する$CO_2$（主にバイオマス由来）や、環境創造局北部下水道センターの消化ガス、再生水など 、環境負荷の低い資源を原料として提供する。<br>**（バイオメタネーションに関する技術開発・実証）**<br>・ 同社は、SyntheticGestalt株式会社および国立大学法人東京工業大学とバイオリアクターによ |

| | |
|---|---|
| | るメタネーションの技術実証に向けた産学共同研究を開始している。当該共同研究は、技術実証に向けた基礎研究であり、SyntheticGestalt がもつAIを活用した酵素機能予測モデルによる酵素探索技術や、東京工業大学がもつメタン生成菌と酵素の培養条件の最適化技術などを活用し、反応速度を大幅に向上させた改良メタン生成菌の開発を目指す。 |
| 大阪ガス | **（カーボンニュートラルに向けたビジョン等）**<br>・ 大阪ガスは2050年カーボンニュートラル達成を宣言しており、「Daigasグループ　カーボンニュートラルビジョン」において「2050年カーボンニュートラル実現」として2030年度までに$CO_2$排出量を1,000万トン削減することを目標に掲げている。排出削減の主軸として「再生可能エネルギーや水素を利用したメタネーションを軸とした都市ガス原料の脱炭素化」や「再生可能エネルギー導入を軸とした電源の脱炭素化」を挙げている。<br>・ また、同資料の2050年カーボンニュートラルに向けたロードマップにおいては、メタネーションについては、既往のメタネーション技術に加えて革新的技術であるSOEC共電解についても普及・拡大を目指す。また、メタネーションだけでなく、ローカル水素ネットワークを利用した水素の直接利用やバイオガスについてもガス体の脱炭素化に向けて取り組む。<br>**（バイオガスの都市ガス原料としての受入状況）**<br>・ 同社は、神戸市、神鋼環境ソリューションと、神戸市東灘処理場内で発生するバイオガス「こうべバイオガス」の都市ガス導管への注入を実施。（2009年～2021年）<br>**（触媒メタネーションや革新的メタネーション技術に関する実証・技術開発）**<br>・ 同社は、グリーンイノベーション基金事業の「$CO_2$等を用いた燃料製造技術開発」プロジェクトにおいて、合成メタン製造に係る革新的技術開発として、国立研究開発法人産業技術総合研究所と共同で「SOEC メタネーション技術革新事業」が採択された。<br>・ 同社は、大阪ガス、東邦ガス、三菱商事と、米国テキサス州・ルイジアナ州における合成メタン（e-methane）（以下「合成メタン」）の製造、キャメロンLNG基地およびLNG船・受入基地等の既存LNGサプライチェーンを活用した合成メタンの液化・輸送、ならびに2030年の日本への合成メタン導入開始に向けた共同での詳細検討に着手。2030年に13万トン/年の合成メタンを製造し、日本へ輸出することを目指す。<br>**（バイオメタネーションに関する技術開発・実証）**<br>・ 同社は、京都大学、株式会社NJS、大阪市と共同で、国交省の令和4年度下水道応用研究に採択された、下水処理場で発生するバイオガスを活用したバイオメタネーションのフィールド試験を2022年に開始。大阪市の海老江下水処理場で新たに設置する小規模な試験装置に下水汚泥と水素を投入し、下水汚泥をバイオガス化しながら$CO_2$と水素を微生物によりメタン合成するバイオメタネーションを実施。<br>・ 同社は、大阪市や大阪広域環境施設組合の協力のもとで、再エネ由来の水素と生ごみを発生させて製造したバイオガスとをメタネーション紙、製造されたメタンを配管で輸送し、都市ガス消費機器で利用するというサプライチェーン構築を目指す実証事業を2022年度に開始。（※環境省の「令和4年度既存のインフラを活用した水素供給低コスト化にむけたモデル構築実証事業」） |

出典：


・ 「東京ガスグループ 経営ビジョン Compass 2030」（東京ガス株式会社, 2019）
・ プレスリリース「日本初、食品残さ由来バイオガスの都市ガス導管への注入・受入の開始について」（東京ガス株式会社, 2011）（https://www.tokyo-gas.co.jp/Press/20110126-01.html）(最終閲覧日：2023/3/24)
・ 「「グリーンイノベーション基金事業／CO2 等を用いた燃料製造技術開発プロジェクト」に係る実施体制の決定について」（NEDO, 2022 年 4 月）（https://www.nedo.go.jp/koubo/EV3_100249.html）(最終閲覧日：2023/3/24)
・ プレスリリース「米国キャメロン LNG 基地を活用した日本への合成メタン（e-methane）導入に関する詳細検討の実施について」（東京ガス, 2022 年 11 月）（https://www.tokyo-gas.co.jp/news/press/20221129-01.html）(最終閲覧日：2023/3/24)
・ プレスリリース「横浜市と東京ガスがメタネーションの実証試験に向けた連携協定を締結」（東京ガス, 2022 年 1 月）（https://www.tokyo-gas.co.jp/news/press/20220118-01.html）(最終閲覧日：2023/3/24)
・ プレスリリース「バイオリアクターによるメタネーションの技術実証に向けた産学共同研究の開始について」（東京ガス, 2021 年 10 月）（https://www.tokyo-gas.co.jp/news/press/20211013-01.html）(最終閲覧日：2023/3/24)
・ 「Daigas グループ カーボンニュートラルビジョン」（大阪ガス株式会社, 2021 年 1 月）
・ プレスリリース「日本初、神戸市東灘処理場において、下水道バイオガスである「こうべバイオガス」の都市ガス導管注入を開始します」（大阪ガス株式会社, 2010 年）
（https://www.osakagas.co.jp/company/press/pr_2010/1191341_2408.html）(最終閲覧日：2023/3/24)
・ プレスリリース「メタネーションに関する下水処理場でのフィールド試験の開始について～国土交通省の令和 4 年度下水道応用研究に採択～」（大阪ガス株式会社, 2022 年）
（https://www.osakagas.co.jp/company/press/pr2022/1305412_49634.html）(最終閲覧日：2023/3/24)

・ プレスリリース「都市部における再エネ由来水素と生ごみ由来バイオガスを活用したメタネーションによる水素サプライチェーン構築・実証事業の開始について」（大阪ガス株式会社, 2022 年 3 月）
（https://www.osakagas.co.jp/company/press/pr2022/1306105_49634.html）(最終閲覧日：2023/3/24)

### 3) 都市ガス分野のヒアリング調査

前項までの整理を踏まえて、都市ガス分野のカーボンニュートラルに向けた取組やプラスチック資源循環に関しての知見を得るため、以下の通り、業界団体、企業へのヒアリング調査を実施した。

表 III-36 都市ガス分野のヒアリング概要

| 実施日 | ヒアリング先 | ヒアリング概要 |
|---|---|---|
| 2023年3月9日<br>13:00~14:00 | 東京ガス株式会社 | ✓ 同社のカーボンニュートラルの絵姿と廃棄物・資源循環分野（環境省中長期シナリオ案など）との関連性<br>✧ 同社のカーボンニュートラルに向けた取組<br>✓ バイオガスや将来的には廃棄物炭素由来合成メタンの都市ガス原料としての受入可能性<br>✧ 同社におけるバイオガス活用の想定<br>✧ バイオメタン受入に係る諸制度・課題<br>✧ 焼却排ガス中$CO_2$による合成メタンのニーズ・実現可能性 |
| 2023年3月13日<br>17:15~18:00 | 大阪ガス株式会社<br>Daigasエナジー株式会社 | ✓ 同社のカーボンニュートラルの絵姿と廃棄物・資源循環分野（環境省中長期シナリオ案など）との関連性<br>✧ 同社のカーボンニュートラルに向けた取組<br>✓ バイオガスや将来的には廃棄物炭素由来合成メタンの都市ガス原料としての受入可能性<br>✧ 同社におけるバイオガス活用の想定<br>✧ バイオメタン受入に係る諸制度・課題<br>✧ 焼却排ガス中$CO_2$による合成メタンのニーズ・実現可能性 |
| 2023年3月15日<br>10:00~11:30 | 一般社団法人<br>日本ガス協会 | ✓ 都市ガスのカーボンニュートラルに向けた取組に関する事項<br>✧ 「カーボンニュートラルチャレンジ2050」について<br>✓ バイオガスや将来的には廃棄物炭素由来合成メタンの都市ガス原料としての受入可能性<br>✧ 都市ガス分野のカーボンニュートラルにおけるバイオメタンの位置づけ<br>✧ バイオメタン受入に係る諸制度、課題について<br>✧ 焼却排ガス中の $CO_2$ 等を活用したメタネーションのニーズや実現可能性について |

企業、業界団体へのヒアリング調査の概要を以下に示す。

表 III-37 都市ガス分野のヒアリング調査結果

| 東京ガス株式会社、Daigasエナジー株式会社・大阪ガス株式会社 へのヒアリング概要 |
|---|
| **（2050年カーボンニュートラルの想定について）**<br>・ メタネーションの実施場所については、国内・海外のどちらもスコープに入れた検討をしているとの御回答があった。一般論としては、再エネ及び再エネ由来の水素が安く、既存のLNGサプライチェーンをそのまま利用できるため、量的には海外から調達するeメタンが多くなるだろうが、国内調達もケースバイケースで実施していくとの御意見があった。（2社ともに国内で実証中の事業がある）<br><br>**（バイオガスの受入について）**<br>・ バイオガスの受入については、具体的な数値目標はないとの御回答があった。 |

- 想定されるバイオガスの原料としては、都市ごみや下水汚泥が主には想定されるとの御回答があった。そのほかに、家畜糞尿や農業残渣も想定されるのではないかとの御意見があった。受入形態については、ガス工場が近ければガス工場、そうでなければ導管注入となるだろうとの御回答があった。
- エネルギー供給構造高度化法でのガス事業者としての責務としての余剰バイオガス活用について、バイオガスの発生源・発生量を定期的に調査しているとの御回答があった。
- バイオガスを導管注入する場合には、「バイオガス購入要領」で定められた品質基準を満たす必要があり、そのための、熱量調整や付臭が必要であるとの御回答があった。このためのコストアップは、プラントの大規模化によって抑制しうるのではないかという御意見があった。
- eメタンの熱量の問題（ブタンやプロパンによる熱量増加）については、カーボンニュートラルLPGの調達や熱量制度として標準熱量を下げていく方向性があるとの御意見があった。（※「2050年に向けたガス事業の在り方研究会中間とりまとめ」では、"2050年カーボンニュートラルの実現に向けた最適な熱量制度について、ガス事業制度検討ＷＧで検討が行われ、現時点では移行期間を15～20年として、2045～2050年に標準熱量を40MJ/㎥へ引き下げることが合理的であるとされた。"と記載されている。）
- 欧州では、日本ほど都市化されていない場所に立地しているため、比較的、メタン発酵のプラントサイズが大きいのではないかとの御意見があった。また、欧州はパイプラインで天然ガス成分そのものの変動があるため、LNGが原料である日本よりは、多少、バイオガスの導入で成分が振れてもかまわないといった事情があるかもしれないとの御意見があった。
- 現状では、バイオガス発電のFIT価格が高いために、ガスとして売ることの経済的メリットがないことが課題であるとの御意見があった。

**（焼却排ガス中の二酸化炭素を利用したメタネーションについて）**

- 焼却排ガス中の$CO_2$はメタネーションの炭素源として位置付け得るとの御回答があった。ただし、焼却排ガスの場合は、化石由来とバイオマス由来の炭素が混在していることの評価の難しさがあるとの御意見があった。
- 触媒系メタネーションの場合は、硫黄系や重金属による触媒へのダメージがあるため、事前にこれらの不純物を除去してメタネーションする必要があるとの御意見があった。

**（廃棄物・資源循環分野に期待する事項について）**

- 廃棄物・資源循環分野に期待する事項として、以下のような御意見があった。
  - ✓ 移行期の取組も重要である。移行期には、石炭や重油等を天然ガスに変えていき、将来的にはeメタンを供給することが必要である。焼却施設においては、助燃剤としての重油等の石油系燃料を都市ガスに変えていくという部分でも廃棄物分野のカーボンニュートラルに貢献できると考える。
  - ✓ 廃棄物分野ではメタン発酵を導入する清掃工場が増えるとよいと思う。日本は焼却の技術水準が高いということがあって導入が進んでいないようにも思われる。
  - ✓ 自治体とコミュニケーションする中で、清掃工場や処理場の範囲内でのカーボンニュートラルが第一義だと考えられていると感じており、もう少し地域全体での最適化という視点も重要だと感じる。例えば、下水処理場であれば、消化ガスがあった場合に、カーボンニュートラルのためにその熱量を発電に回して水処理の電力として使いたいと考えられている。将来的に、ガスよりも電気のほうが、再エネが入りやすいとすると、電気は外から調達してカーボンニュートラルにし、ガスはガスとして利用した方が効率的ではないか。2050年に向けて方針を明確に打ち出せば変わっていくと思われる。
  - ✓ 下水処理場の消化タンクの能力が余っている場所があるのではないかと思う。そうした施設に廃棄物やバイオマスを投入してバイオガス量を増やす（神戸市で取り組まれている）ようなことも重要ではないか。こうした場合に、下水処理側では下水を安定的に処理することがミッションであるので、消化汚泥が増えたり、管理の手間が増えたりすることを進めていくことにはハードルがあるのではないか。そうした部分は、国からの働き掛けも有効だと感じる場面があるし、首長のリーダーシップも大きい。

**一般社団法人日本ガス協会　へのヒアリング概要**

**（2050年カーボンニュートラルの想定について）**

- eメタンの導入に向けては、①コストの値差補填、②$CO_2$のカウントルール（国際的なルールと国内のSHKのルール）、③環境価値取引の仕組みの検討が必要であり、この3つについて優先順位は設けておらず、同時に進めているという状況。
- ①については、水素アンモニアの動向も踏まえて検討していく必要があり、資源エネルギー庁　電力・ガス事業部ガス

市場整備室と連携している。

- 国内の$CO_2$カウントについては、$CO_2$カウントタスクフォースの中間整理で利用者側の$CO_2$排出ゼロとする方向性が示された。海外のカウントルールは、まずは国家間の交渉が必要になるため民間だけでの対応は難しいと考えており、経産省や環境省とも相談しながら進めており、官民一体となって進めるよう議論を進めている。
- ③の環境価値取引に関しては、非化石証書のような案をJGAとして作成してメタネーション推進官民協議会などで紹介している。
- 国内と海外のメタネーションの想定については、両方大事だと思っている。国内でも実証が進んでおり、これはエネルギーの自給率向上に資するものであるため、海外に限定せず、双方で進めていく必要がある。ただし、国内のガス全量を賄うためには相当のボリュームが必要になるため、国内だけでは厳しいと思っている。結局は安価な水素が大量に必要になることも考えると、将来的には海外でのメタネーションの割合が大きくなることが想定される。
- eメタンの導入拡大に伴う都市ガスの熱量については、2021年4月にガス事業制度検討ワーキンググループにおいて、「現時点では2045～2050年に標準熱量の引き下げを実施することとし、事前の検証を行った上で2030年に移行する最適な熱量制度を確定させることとする」といった結論が出された。
- カーボンニュートラルチャレンジにおける水素の想定について、導管に混入して供給することは現段階では考えていない。コンビナートのような一部の地域で水素専用導管を利用することを想定している。eメタンは水素キャリアであると認識しており、メタンにすれば既存のインフラと需要側の設備がそのまま利用できることが利点である。ヨーロッパも従前は水素を直接利用することを想定していたが、最近はメタネーションの案件も増えてきているようであり、雰囲気の変化を感じている。
- eメタンの燃焼に伴う$CO_2$排出量の考え方について、排ガスであろうと大気中であろうと、もともと大気中に存在するはずだったものを利用しているという点で同じであり、由来は関係ないといった考え方もある。世界的には、バイオマスやDACの$CO_2$を利用するのであればよいといったような論調が欧州を中心にあるが、官民協議会などでも各委員からeメタンの利用による削減量について、由来は関係ないと考える意見も聞かれる。一方で、$CO_2$を利用するために火力発電を使い続けるということは本末転倒であり、どこかで発生してしまっている$CO_2$をうまく活用するということだと思う。$CO_2$をループさせて使い続けるのが良いのではないかといった意見もある。また、LCCO$_2$の考えに基づくと、バイオマス由来や水素も本当にカーボンニュートラルかという議論も今後されると思われる。
- 排出係数がゼロの都市ガスの小売メニューを提供したいと思っているガス事業者も存在する。営業側からは、カーボンニュートラルに向けた機運の中で、そのようなメニューは必須との意見が聞かれる。その環境価値分、価格は高くことになると思う。
- $CO_2$カウントルールの国際的な動向はガス協会としても把握に努めているところである。IPCCやISOなどでどのように記載があるか、どのような議論がなされているのか、内容をどう解釈できるか、情報収集・検討を進めている。欧州は、DACやバイオマスしか認めないような論調があるが、例えば、ドイツ国内でも、政党によって主張が異なるような側面もあり、足並みがそろっているわけではないと思われる。

**（バイオガスの受入について）**

- カーボンニュートラルチャレンジにおける2050年のバイオガスについて、その他の脱炭素化の手立ても含めて5%としており、バイオガスだけの具体的な数値は定めておらず、したがって、原料や受入形態も具体的には想定していない。
- 現状で、バイオガスを都市ガス原料に利用しているガス事業者は5社（東京ガス、大阪ガス、東邦ガス、北陸ガス、日本ガス）のみである。近年は、導管注入の事例は縮小傾向であると聞く。現状では、発電してFITで買い取ってもらうほうが事業者にとって利益になるので、あえて都市ガスとして供給しようとする事業者がいない。熱量調整や付臭が必要になることも課題になってくるだろう。エネ庁でも、バイオガスは脱炭素の手段として位置づけており、どのくらいのポテンシャルがあるかを検討しているが、食品残渣等の原料を集めるのが難しいということが課題だと認識されている。下水処理場ではすでに消化槽が導入されている施設も多く、新しい設備の導入が大規模には見込めない状況から、どれだけ集めても数パーセント以下にしかならないのではないか。
- 一方で、バイオガスの利用は、地方においてカーボンニュートラルを進めるための大切な選択肢だと思っている。協会としては、成功事例の共有や意見交換を行う勉強会を実施しており、鹿児島市南部清掃工場での勉強会には11社参加いただいた。当該勉強会では、バイオガス関連の補助金の紹介をしている。この事例はガス事業者の経営者が高い志を持たれており、それが成功要因であるようにも感じられた。
- エネルギー供給構造高度化法における余剰バイオガスの定義は、「効率的な経営の元においてその合理的な利用を行うために必要な条件を満たすバイオガス」とされており、最も効率的に使った上で、余剰となった利用可能なものという理解。受入条件は、東京ガス、大阪ガス、東邦ガスの大手ガス事業者3社がバイオガス購入要領で定めている。
- バイオガスの環境価値については、SHK制度でバイオガスの燃焼による$CO_2$排出量は計上しない方向性が示され

た。事業者別・メニュー別排出係数の新設が想定されており、後者については、証書の仕組みとセットで届けることとなり、需要家が環境価値分を負担する形となる。このルールがeメタンの$CO_2$のカウントルール整備にもつながるのではないか。

- ガス事業で自己託送サービスは聞いたことがない。「他人から供給された」かどうかに関わらず、ガスは燃焼した時点で排出になる。バイオガスを燃焼したものはゼロカウントされるため、オンサイトで燃焼させれば利用側の排出削減となる。
- 規制と支援は一体だと言われている通り、エネルギー供給構造高度化法で規制と国からの支援はセットで考える必要があると認識している。地方部において、こうした規制（と支援）を広げていくことは難しそうだという印象。地方部に限らずバイオガスの都市ガス原料利用のためには、（高度化法の）目標ありきの取組ではなく、社会的なニーズがあることが取組を進める上では重要ではないか。神戸市では供給側で調整したガスを導管注入しており、条件が揃うのであればほかの場所でも同様の取組ができる可能性はある。近年、より低い排出係数の都市ガスの需要家ニーズは高まっていると感じる。ただ、価格は高くなるため、その部分については支援が手厚くならないといけないと思う。発電だけではなく、都市ガス側にもFITのようにバイオガス導入促進につながる制度があればよい。

4) 都市ガス分野の脱炭素化が廃棄物・資源循環分野に与える影響の考察・検討

本業務の調査を踏まえて、都市ガス分野の脱炭素化に向けた動向が廃棄物・資源循環分野の脱炭素化に与える影響について、以下の通り、考察・整理した。

表 III-38　都市ガス分野の脱炭素化が廃棄物・資源循環分野の脱炭素化に与える影響の考察

| 本業務の調査結果（都市ガス分野） | 廃棄物・資源循環分野の脱炭素化に与える影響 |
|---|---|
| **（バイオメタンに関する事項）**<br>・都市ガス分野の脱炭素化の手段として、バイオガスは明確に位置付けられうる一方で、量的にはガス全体の数%以下となる見通しである。<br>・バイオガスの原料は、都市ごみや下水汚泥など利用できるものは幅広く想定されうる。また、受入の形態も、個別の案件に応じて、原料としてガス工場に受け入れる場合や導管注入する場合のどちらも想定されうる。<br>・課題としては、現状ではFITの売電単価が高いために、都市ガス原料としてバイオガスを利用する経済的インセンティブが働いていない。さらに、導管注入する場合には、ガス事業者が定める基準まで、供給側でガスを精製（熱量調整や付臭）する必要があり、このために追加的コストが生じる。 | ・中長期シナリオ案では、メタン発酵により生じたバイオガスは発電利用するシナリオを検討しているが、バイオガスを都市ガス原料として利用することも都市ガス分野の削減に貢献対策。<br>・一方で、バイオガス発電の売電単価が高い現状においてはFIT売電するよりも都市ガス原料としたほうが経済合理的になるような支援がない限りは実現性に乏しい。<br>・コスト面では熱量調整や付臭の必要がないガス工場周辺に立地させることで有利になる。この場合、都市部においては、大規模なメタン発酵施設を整備可能な用地が確保できるかが主な課題となりうる。 |
| **（廃棄物から得られる$CO_2$のメタネーション）**<br>・メタネーションの実施場所として、国内・海外のどちらかに限定はされないが、安価なグリーン水素（再生可能エネルギー）の調達が見込まれる海外での製造が量的には多くなるのではないかという見通しが示された。<br>・国内の実証では、清掃工場からの排ガスを利用したメタネーションや生ごみのメタン発酵後のバイオガス中の$CO_2$を原料とするメタネーションの実証が実施されている状況にある。<br>・焼却排ガスからのメタネーションの課題として、技術的には、不純物（触媒に影響を与える成分等）の除去が課題である。また、プラスチックの化石燃料由来の$CO_2$が含まれることになるが、排出量のカウントルールについて、複数の案が提起されているものの、整理中の段階にある。 | ・焼却排ガス中の$CO_2$の活用先について、合成メタンもその一つの候補として位置づけられる。<br>・焼却排ガス中の$CO_2$から製造した合成メタンについては、現状の整理として方向づけられている「$CO_2$原排出者側」に排出量を帰属させるルールとなった場合には、廃棄物・資源循環分野での排出削減とはカウントされないことになる。一方で、燃焼しても$CO_2$が（カウント上は）排出されない合成メタンによる従来の天然ガスの代替によって都市ガス分野への削減貢献が生じる。※バイオガス中の$CO_2$を活用する場合には上記の整理によらず、合成メタンの燃焼に伴う排出は計上されない<br>・制度として削減の二重計上が認められる場合には、廃棄物分野でもCCUが当分野での削減として認められる。※ただし、社会全体として化石燃料由来分の$CO_2$は大気中に放出される。 |

### （5）非鉄金属製造分野の動向調査

中長期シナリオ案では、廃棄物・資源循環分野の非エネルギー起源の温室効果ガスを対象にしており、このため、廃棄段階で、炭素を主に含有する物質ではない金属については、特段の対策が検討されず、残渣輸送を含む輸送時の $CO_2$ 排出量に間接的に寄与しているのみであった。一方で、廃棄物に含まれる金属について、動脈側に戻していくことを通じて、当該分野での製造プロセス等での排出削減に寄与することも考えられる。したがって、中長期シナリオ案では、重点対策領域に位置付けられていなかった非鉄金属製造分野の動向調査を行う。ここで、対象は国内で新地金が製造精されている銅、鉛、亜鉛、ニッケルを対象とする。

#### 1) 非鉄金属製造業の現状

##### a) 非鉄金属の生産･供給

非鉄金属の精錬について、国内では、銅、鉛、亜鉛、ニッケル、フェロニッケル地金の製造・販売が主要企業 16 社によって実施されている。

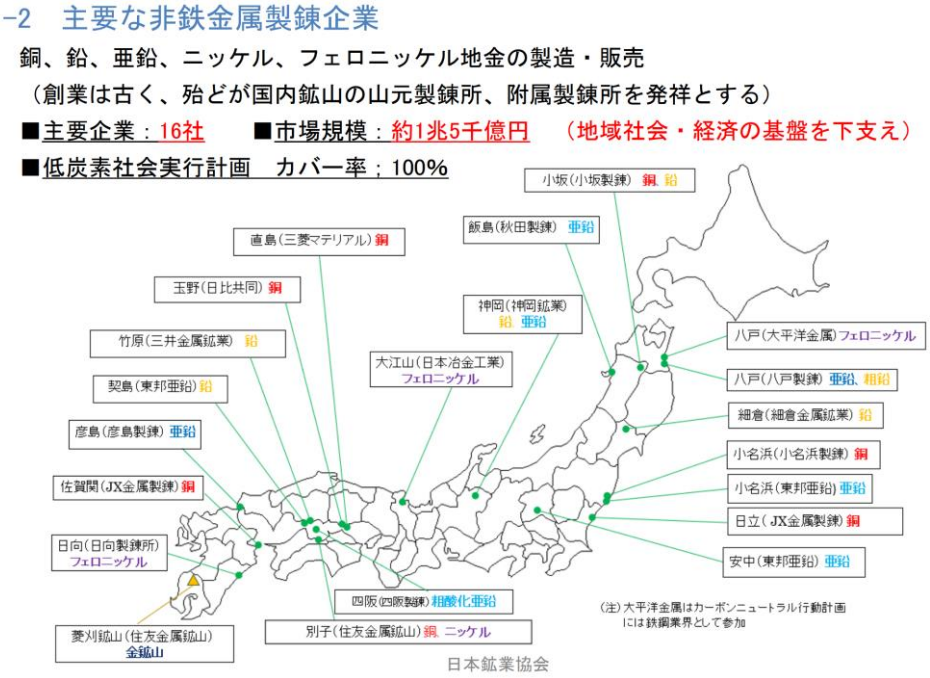



**図 III-32　主要な非鉄金属精錬企業**

出典：2021 年度第 1 回 産業構造審議会 産業技術環境分科会 地球環境小委員会 資源・エネルギーワーキンググループ
資料 8-1　日本鉱業協会説明資料

##### b) 製造工程等におけるエネルギー消費量及び $CO_2$ 排出量（現状）

非鉄金属精錬業 16 社の 2020 年度の $CO_2$ 排出量は 340.7 万 t-$CO_2$ であり、2013 年比で 20%程度の削減率となっている。$CO_2$ 排出削減の潜在課題として、原料鉱石・精鉱品位の低下、不純物の増加がある。

2020 年度における排出量増減要因として、減少要因については設備の高効率機器への更新や生産プロセスの合理化、燃料転換の取組による部分と、フェロニッケルの減産が影響しているとされている。当分野の $CO_2$ 排出構造として、まず、金属別の $CO_2$ 原単位については、銅が最小であり、次いで、鉛、亜鉛、ニッケル、フェロニッケルの順に大きい。特にフェロニッケルについては、銅の原単位の 8 倍以上となっている。一方で、金属別の生産量では、銅が 65%、亜鉛が 21%、鉛が 8.2%、フェロニッケル

が 3.5%、ニッケルが 2.3%となっており、フェロニッケルが非鉄金属全体に及ぼす影響は、銅や亜鉛ほど大きくない。

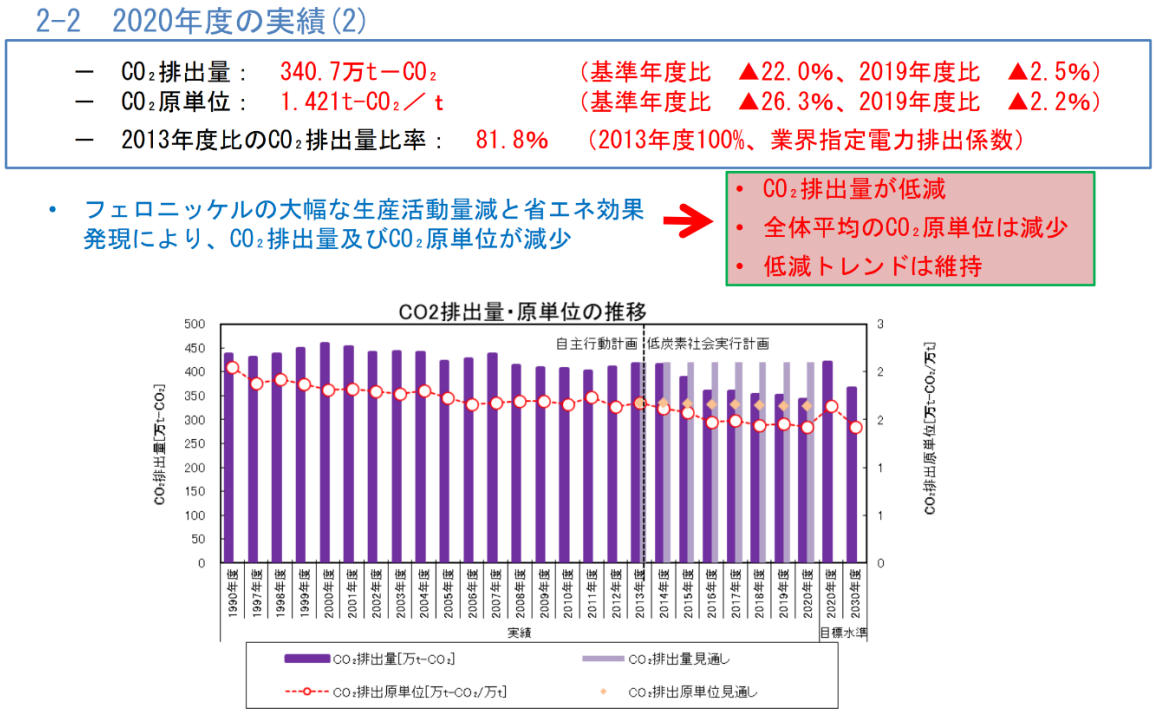



図 III-33　主要な非鉄金属精錬企業による $CO_2$ 排出量（2020 年度）

出典：2021 年度第 1 回 産業構造審議会 産業技術環境分科会 地球環境小委員会 資源・エネルギーワーキンググループ 資料 8-1　日本鉱業協会説明資料

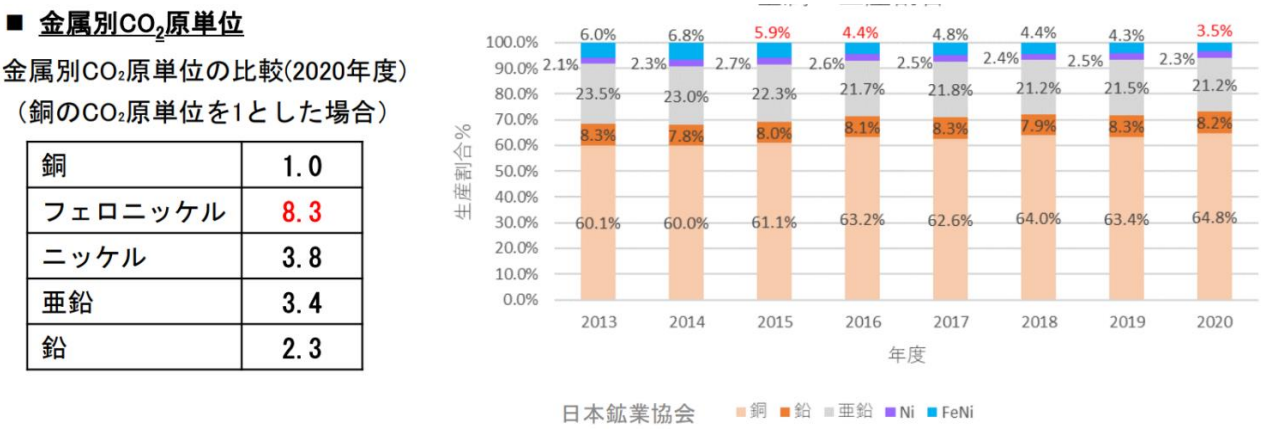



図 III-34　金属別の排出原単位及び生産量に占める比率

出典：2021 年度第 1 回 産業構造審議会 産業技術環境分科会 地球環境小委員会 資源・エネルギーワーキンググループ 資料 8-1　日本鉱業協会説明資料

非鉄金属の中で生産量が多い銅について、その製造プロセスを以下に示す。精錬工程と動力工程で多くのエネルギーを消費している。動力工程においては酸素製造に多くの電力が消費されている。

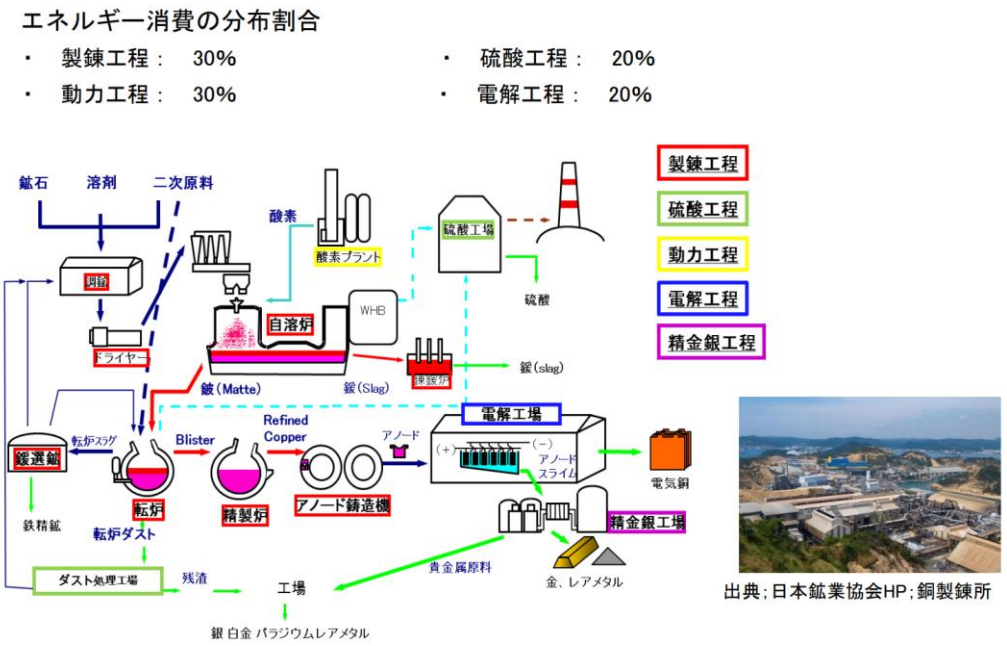



図 III-35　銅製錬プロセスの概要

出典：2021 年度第 1 回 産業構造審議会 産業技術環境分科会 地球環境小委員会 資源・エネルギーワーキンググループ 資料 8-1　日本鉱業協会説明資料

## 2) 非鉄金属製造分野のカーボンニュートラルに向けた戦略・計画の調査

### (a) 国による非鉄金属分野のカーボンニュートラル等に関する計画等

#### a) GX 実現に向けた基本方針

GX 実現に向けた基本方針の中で、「資源循環産業」の中で、「金属リサイクル原料（廃電子基板、廃蓄電池）の処理量倍増」が目標として掲げられている。（循環経済工程表の内容を踏襲）

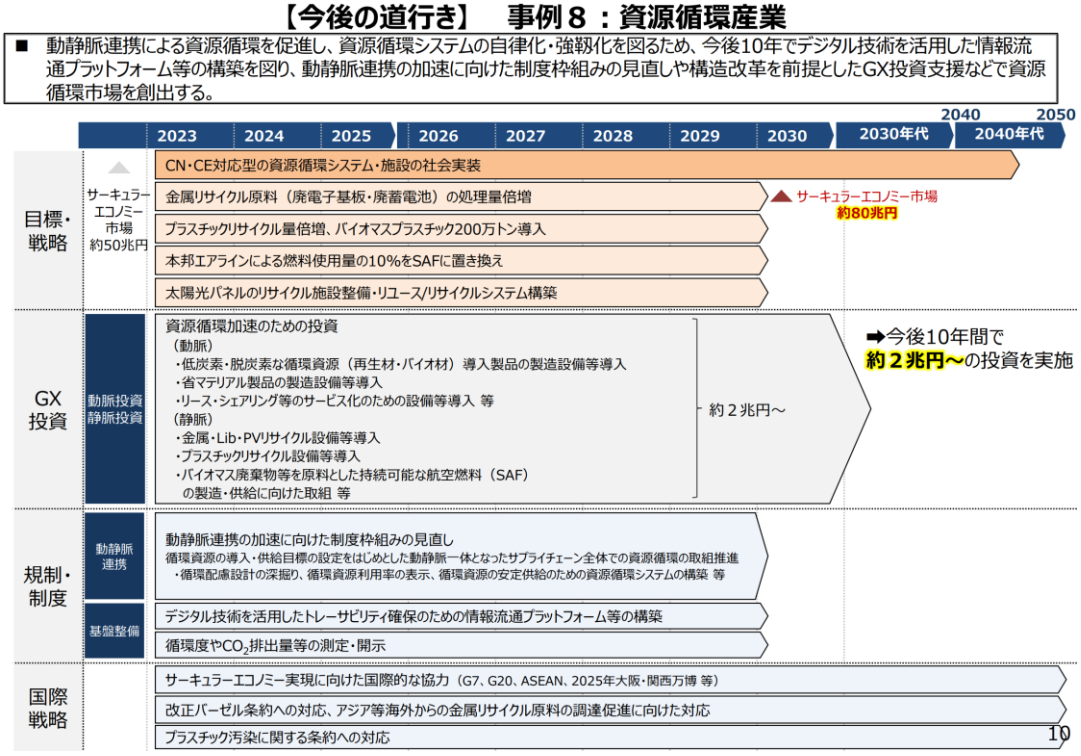



図 III-36　資源循環産業の今後の道行き

出典：GX 実現に向けた基本方針参考資料（2023 年 2 月）

b) 循環経済工程表

循環経済工程表における、「素材毎の方向性」の中で、「ベースメタルやレアメタル等の金属」については以下の通り記載されている。

＜参考：循環経済工程表＞

- 金属の資源循環について、発生抑制や再使用の取組による天然資源採取の最小化や国内外における金属回収の徹底により、ライフサイクル全体での最適化を図っていく。
- 脱炭素社会の実現に必要な金属の確保や、持続可能な社会の構築に向けて、また、資源制約への対応の観点からも、**銅や亜鉛、アルミニウムなどのベースメタルや、ニッケル、コバルトなどのレアメタルについて、あらゆる使用済製品等からの金属回収を徹底し、我が国の都市鉱山を有効に活用**する。このため、使用済み小型家電等の回収について消費者・住民への周知や利便性の高い回収方法の提供等により、分別・回収に対する幅広い国民の参画が得られるように努める。AI 等を活用した廃小型家電の選別システム、リサイクル技術の高度化・効率化、リサイクル事業者等による人材の確保・育成やデジタル技術の活用による動静脈連携による資源循環促進に向けた取組を支援していく。
- また、**我が国の再資源化技術を最大限活用して、アジアを中心とした国々で処理・再資源化が困難な使用済製品等からの金属の再資源化に向けた取組を支援**する。
- こうした国内外からの循環資源の回収を進めることで、使用済製品等に含まれる金属を再生資源として動脈側に安定的に供給し、**金属のリサイクル原料の処理量を2030年度までに倍増させることを目指す。**

(b) 業界団体による非鉄金属製造分野のカーボンニュートラルに関する戦略、計画

a) 日本鉱業協会

日本鉱業協会は、2021 年 2 月に同協会内に「カーボンニュートラル（CN）推進委員会」及び「革新的技術開発ワーキンググループ（WG)」を設置し、会員の非鉄大手８社とともに、学識経験者、経済産業省資源エネルギー庁鉱物資源課、独立行政法人石油天然ガス・金属鉱物資源機構（JOGMEC）の支援を得て、当分野が 2050 年カーボンニュートラル達成のために、今後取り組んで行くべき対策について「2050 年カーボンニュートラル実現に向けた非鉄金属業界の取り組みについて」の中で報告している。

表 III-39 「2050 年カーボンニュートラル実現に向けた非鉄金属業界の取り組みについて」概要

| 項目 | 概要 |
|---|---|
| 5つの対策領域 | ① リサイクル処理原料拡大に向けた対策<br>② 中長期の革新的技術課題への対策<br>③ 他産業と協働したCNへの貢献のための対策<br>④ 再生可能エネルギー、植林等による$CO_2$吸収等の対策<br>⑤ マテリアルフロー情報の整備、ライフサイクルアセスメント(LCA)の検証等の対策 |
| 22テーマと特に優先して業界が共同して取り組むべきテーマ<br><br>◆：<br>**特に優先するテーマ** | ・ 多様な廃棄物を利用可能とする高効率回収技術、有害物質管理技術、粉砕・選別技術等の開発<br>・ リサイクル原料に含まれる忌避物質の効率的除外のための低減・分離技術等の開レアメタル等未回収元素の回収技術の開発<br>・ レアメタル等未回収元素の回収技術の開発<br>・ 製錬プロセスの熱・生成物を利用した水素製造技術及び化石燃料・還元剤の代替のための水素バーナー技術等の開発<br>・ 反応余剰熱を有効活用する製錬技術の開発<br>・ 製錬工程廃熱の有効利用のための低温熱源の有効利用技術等の開発<br>・ 製錬工程等からの排出$CO_2$のCCS・CCUS技術の開発 |

| | |
|---|---|
| | ・ 回収$CO_2$のプロセスでの活用のための中和処理、固定化技術の開発<br>・ 溶鉱炉で使用するコークスをバイオ燃料等に代替するための技術開発<br>・ リサイクル原料の選別技術高度化、分離回収物の再資源化技術の開発<br>**◆ バイオ、廃プラ等脱炭素に資するエネルギー源を利用した非鉄金属リサイクル促進技術の開発**<br>・ 休廃止鉱山跡を利用したエネルギー創成と$CO_2$固定技術の開発<br>**◆ 製錬所等における徹底した省エネ実現のための熱電素子、新エネルギーストレージ材料等の開発**<br>・ LiBのリユース、リサイクルシステム構築による再生可能エネルギーの活用促進<br>・ 廃プラの代替燃料化、ケミカルリサイクルの推進<br>・ 鉱山重機のハイブリッド化、電気化による化石燃料消費削減の推進<br>・ BDF利用、バイオマス発電等、廃棄物エネルギー拡大の推進<br>・ 坑内水等を利用した小水力発電の推進<br>・ 工場遊休地や鉱山地形等を活用した太陽光発電、風力発電、水力発電等の推進<br>・ 地熱発電における蒸気減衰防止技術の開発、未利用熱水・蒸気利用のための<br>・ 発電機の導入の推進<br>・ 鉱山跡地や堆積場等の植林による$CO_2$吸収源の拡大<br>**◆ 非鉄金属リサイクルを念頭に置いたMFAとLCAのデータベース確立と発信** |

(c) 個社による非鉄金属製造分野のカーボンニュートラルに関する取組の調査

国や業界団体の資料に加えて、カーボンニュートラルに向けた非鉄金属製造分野の個社の個別の取組内容について、調査を実施した結果を以下に示す。

表 III-40 個社のカーボンニュートラルに向けた取組概要

| 個社 | カーボンニュートラルに向けたビジョンや具体的な対策 |
|---|---|
| JX金属株式会社 | ・ 同社は、JX金属グループ環境目標（長期目標）として、「2030年度までに$CO_2$自社総排出量2018年度比50%、2050年度ネットゼロ」を目標としている。ここで、本目標はScope1（還元剤由来分の$CO_2$を含む）及び2を対象としている。目標達成に向けては、$CO_2$フリー電力の導入、再生可能エネルギーの創出、エネルギー消費量の低減、燃料転換や抜本的なプロセス開発が施策として掲げられている。<br>・ 同社は、銅精鉱処理の余剰熱を活用する「グリーンハイブリッド製錬」構想のもと、リサイクル原料比率（原料投入比率もしくは製品中の含有比率）を2040年に50%以上とすることを目標にしているほか、焼却・溶融技術を用いた産業廃棄物の無害化処理事業では、埋立処理を必要とする二次廃棄物を発生させない「ゼロエミッション」を目標としている。 |
| 住友金属鉱山株式会社 | ・ 同社は、「ありたい姿とKPI指標及び目標」の中で、GHG排出量を2013年度以下に抑え、“2050年までにGHG排出量ネットゼロ”に向けた計画を策定し、諸施策を推進するとしており、「GHG排出原単位を2013年度比26%以上削減」、「低炭素負荷製品GHG削減貢献量の拡大600千t-$CO_2$以上」を目指す。<br>・ 同社は、21中期経営計画の期間中に、GHG排出量削減に向けた投資として、ICP制度適用も含めた設備投資（ボイラー燃料転換、太陽光発電等）に50億円、スコープ3まで含めたGHG排出量削減に関する試験研究投資70億円の計120億円を投資する。また、水素還元技術による次世代ニッケル精錬プロセスを検討する。 |
| 東邦亜鉛株式会社 | ・ 同社は、Scope1及びScope2のGHG排出量の削減目標として、2030年に2013年度比38%削減、2050年にカーボンニュートラル達成を目指すとの目標を掲げる。<br>・ 2030年に向けては「省エネ」「再エネ電力」「低炭素負荷製造プロセス開発」を、2050年に向けては、上記に加えて、「非化石由来の燃料及び還元剤の実操業導入」「次世代低炭素技術（CCS等）の導入」を図る。 |
| DOWAホールディングス株式会社 | ・ 同社グループは、2050年までにカーボンニュートラルの達成を目指すことを長期目標としており、中間目標として、2013年比でエネルギー起源$CO_2$を製造所で38%以上、オフィス等で51%以上削減することを掲げる。 |

| | |
|---|---|
| | ・ 目標達成に向けて同社は、「水力発電」「太陽光発電」「廃熱発電」「バイオマス発電」の活用を進めているほか、 製錬や溶融事業で使用するコークスや石炭などの代替燃料として、植物を原料として製造する固形燃料「バイオコークス」の研究を進める。 |
| 日鉄鉱業株式会社 | ・ 同社グループは、2050年度までにScope1,2のカーボンニュートラルを目指す。また、中間目標として、2030年度に2013年度比で国内エネルギー起源$CO_2$の38%以上の削減を目指す。<br>・ 同社の製造プロセスとして、生石灰製造に伴い発生するプロセス由来の非エネルギー起源$CO_2$（約 100千t-$CO_2$）については、今後の技術動向を注視し、CCUS等の新技術が社会実装可能となった際に導入を推進することで、より一層の$CO_2$排出削減に取り組む。 |
| 古河機械金属株式会社 | ・ 同社は、$CO_2$排出量（スコープ1，2）の約80%を占める電力については再生可能エネルギー由来の電力に転換し、約20%を占める非電力を含めてカーボン・ニュートラルを進める方針を示している。また、ネットゼロを実現するために、スコープ3の算定を進めるとともに、社有林の活用による$CO_2$ 吸収施策も検討中である。 |
| 三井金属鉱業株式会社 | ・ 同社は、中期の$CO_2$排出量削減目標として、「2030年度までに$CO_2$排出量をグローバルで38%削減する(2013年度比)」、長期の$CO_2$排出量削減目標として、「2050年度までにカーボンニュートラル(Net 排出ゼロ)を目指す」ことを掲げる。<br>・ 目標達成に向けては、「工程改善」「調達電力の改善」に加えて、「新技術の導入（水素、合成燃料等、吸収、回収、再利用技術）」に取り組む。 |
| 三菱マテリアル株式会社 | ・ 同社は、2030年度までにScope1,2のGHG排出量を2013年度比で47%削減する目標を掲げる。また、当初は、2050年としていたカーボンニュートラルの実現を当初より5年前倒しして、2045年に達成することを公表している。特に、加工事業はほかの事業に先駆けて使用する電力の実質$CO_2$フリーとすることとしている。<br>・ 目標達成に向けては、「省エネ」、「技術改善」、「再エネ電力」、「CCUS」、「オフセット」に取り組む。 |

出典：「非鉄大手 8 社のサステナビリティとカーボンニュートラルに向けての方針（リンク集）」（日本鉱業協会ウェブサイト）を基に下記から作成

- 「$CO_2$ ネットゼロに向けて」（JX 金属株式会社）（https://www.jx-nmm.com/sustainability/carbonneutral.html）(最終閲覧日：2023/3/24)
- 「Sustainability Report 2022」（JX 金属株式会社）
- 「11 の重要課題とありたい姿」（住友金属鉱山株式会社）（https://www.smm.co.jp/sustainability/vision/task/#section02）(最終閲覧日：2023/3/24)
- 「統合報告書 2022」（住友金属鉱山株式会社）
- 「気候変動リスク及び機会に関するシナリオ分析の実施について」（東邦亜鉛株式会社）
- 「統合報告書（DOWA REPORT）」（DOWA ホールディングス株式会社）
- 「TCFD 提言に基づく情報開示について」（日鉄鉱業株式会社）
- 「2022 年 3 月期 決算説明プレゼンテーション資料」（古河機械金属株式会社）
- 「脱炭素社会の実現に向けた中長期 $CO_2$ 排出量削減目標について」（三井金属株式会社）
- 「気候変動戦略」（三菱マテリアル株式会社）（https://mmc.disclosure.site/ja/themes/92#sec3）(最終閲覧日：2023/3/24)

### 3) 非鉄金属製造分野のヒアリング調査

前項までの整理を踏まえて、非鉄金属製造分野のカーボンニュートラルに向けた取組やプラスチック資源循環に関しての知見を得るため、以下の通り、有識者へのヒアリング調査を実施した。

表 III-41 非鉄金属製造分野のヒアリング調査概要

| 実施日 | ヒアリング先 | ヒアリング概要 |
|---|---|---|
| 2023年2月24日<br>13:00~14:45 | 東京大学大学院<br>工学系研究科<br>村上進亮 教授 | ✓ 金属資源循環についての現状と課題認識<br>✧ 金属資源循環と2050年までのカーボンニュートラル化の関係性<br>✧ 金属資源循環を量と質の面で強化すべきターゲット<br>✧ 金属資源のマテリアルフローの推計データの利用可能性について<br>✧ 金属の将来需要<br>✓ 金属資源循環の今後のために着目すべき技術について<br>✧ 回収（収集運搬を含む）・破砕選別等について<br>✧ リサイクル技術について |

有識者へのヒアリング調査の概要を以下に示す。

表 III-42　非鉄金属製造分野におけるヒアリング調査結果

**東京大学　村上進亮 教授　へのヒアリング概要**

**（金属資源と2050年カーボンニュートラルの関係性について）**

- 「金属のライフサイクルに伴って排出される温室効果ガス排出量の削減」の観点では、生産量当たりの削減効果という文脈では、鉄よりも非鉄の方が削減の余地が大きくインパクトが大きい可能性がある。
- 「GX実現に向けた基本方針」の金属リサイクルのターゲットとしては、「（エネルギーシステムなどの）CN化に伴って必要となる金属の調達及び適正処理の確保」という観点に近い。一方で非鉄業界としては、天然資源の低品位化によるGHG発生量増加を防ぐためのリサイクルという側面もある。
- 天然資源の低品位化による処理プロセスの増加に伴って、$CO_2$排出量も増加する可能性がある。それを、資源循環により回避できるかも可能性がある一方で、忌避物質混入の懸念もある。忌避物質の混入は、資源循環への悪影響や、少なくともコスト高、エネルギー消費高につながる可能性があり、検討の重要性が高い。天然資源の低品位化の典型例としては、銅の不純物としてヒ素が増えていることなどが挙げられる。

**（金属資源循環を量と質の面で強化すべきターゲットについて）**

- 回収のポテンシャルが高い発生源は小型家電くらい。データを見ると、粗大・不燃ごみの手選別をしている場合に回収量が圧倒的に多い。プラスチック資源循環促進法によりプラスチックのカテゴリに小型家電が混入するのではないかという懸念がある。現場の方はトラブルの観点からLiBの混入を心配するが、これらは同様の問題を別の観点から見ていると言える。大きく分別回収の組合せが変わり得るため、金属資源循環分野のリサイクルは後退する可能性もある。
- 不燃・粗大ごみ処理施設の破砕前での手選別は高齢者雇用にもつながっている。LiBによる火災の問題が出てきてからは破砕前に手選別をしている施設は増えているのではないか。それが小型家電を分けることにもなり、自治体分回収量にもカウントされる。
- 産廃は基本的に何らかの処理はされており、追加でできることは鉄くずの前処理くらいではないか。民間ベースであり、マスとして大きな部分を見逃しているケースは少ない。事業系一廃も金属は少ないのではないか。家電リサイクル法に入らない業務用家電は、家電リサイクル法の中に含めて処理した方が良いと考える。PVパネルは素材として低価値であり、国内循環としてはリユースもできていない状況である。仕組みがないと難しいだろう。

**（金属資源のマテリアルフローの推計データの利用可能性、将来の金属需要について）**

- 循環側であらゆる元素が揃っている包括的な調査はないのが現状である。入口側のリサイクル率の観点だと、金属種別の鉱物資源化に関するデータをJOGMECが持っている。ただし、マイナーメタルは企業数が少なく、公開すると個社情報になってしまうので公開できない。天然資源の自給率も同様である。従って、個別の学術論文を見るしかないが、横並びで揃っているとは言い難い。
- トレーサビリティの確保は基本的にはリサイクル推進に貢献すると思うが、混ぜてマスバランス法という話になると、細かい情報が入手できない可能性がある。日本の非鉄業界は企業数が多く、技術がそれぞれで違っているため、一概には言えない部分が多い。メーカーが情報を開示されたがらない傾向はありえるので、日本全体で広く情報共有することは相当ハードルが高いのではないか。
- 将来の各種金属生産量の推計として整理されているものは少ない。公開されており比較的網羅性が高いのは、国際資源パネル（IRP）が間接的に論文を整理しているもの。低炭素技術関係は、IRPやアメリカのCritical Material Instituteというバーチャル研究機関がデータを集めている。

**（回収（収集運搬を含む）・破砕選別等について）**

- 回収はソースセパレーションが一番であるが、強いて言えば、分別カテゴリを工夫することが挙げられる。
- 金属資源循環に限らず、センシングによりごみが集まり次第回収するようなオンデマンド収集・運搬ができれば効率は上がるかもしれないが、大規模社会実験をしてみないとわからない。

- 回収は効率と分別区分の細かさが相対する。破砕選別に求められる性能は後段のリサイクル技術によって変化する。粗大・不燃ごみを自動でパーツとして破砕する機械は、画像AI選別にも繋がりやすく、そのような技術開発・導入が進むと良い。小型家電リサイクルの現場（認定事業者）には導入されてきている。
- 自治体が破砕する前によけることが大事であり、小さい自治体でそれが大変であれば、大規模ソーティングセンターの設置にもつながり得る。ソーティングセンターの事業主体（自治体か民間企業か）は制度的な問題であり、やりやすい方を選択すれば良い。国としてソーティングの部分を検討できていない印象がある。AIの進度は非常に早いので、AI等役に立つ部分は勇気を出して検討を進めることも大事と考える。どこかで一カ所くらい大規模ソーティングの実証をやってみてもいいと思う。ソーティングセンターを導入すべきなのは個別のリサイクル法が関係する部分ではなく、ASR以外でシュレッダーに投入されているもの。
- 国内で有望な選別機メーカーはなく、補助事業で導入される機械も最近は中国製が多い。日系の機械メーカーを育てるという観点でも、AI選別に大きく変わるタイミングはチャンスである。
- アルミは基本的に国内循環しかないが、今後、電気自動車の普及により自動車エンジンがなくなるとアルミのカスケード先がなくなるため、高度循環に取り組み始めている。
- セメント企業は廃棄物を最後に処理する役割を担っており、様々な情報を持っている。

**（リサイクル技術について）**

- 非鉄分野では革新的な技術はないかもしれないが、元素として問題意識を持っている人が多いのはニッケルか。ステンレスをステンレスに戻せていないことと、バッテリーマテリアルであることが理由である。
- コバルトは回収可能であることはわかっているが、製造側が脱コバルトに向かっている。
- リチウムはLiBからの回収がコバルトなどより難しく、注力されているところである。経済性を担保してリチウムの循環が実現できるかどうかでLiB全体のリサイクルの在り方が変わってくるのではないか。
- 鉛は基本的に蓄電池の板などであり、複雑な形態ではないためあまり難しくない。
- 亜鉛は単体で集めるのが厳しい。処理技術の問題ではなく、マテリアルフローの整理が重要である。

**（その他）**

- CNとサーキュラーエコノミー（CE）は必ずしも一致しない。CNは前提であり、CO2排出の観点から循環側を変えるというよりは、CNによらずCEは進めていくのではないか。
- セメント産業は、動脈産業と静脈産業の両方に関係する業界であり、仮にクリンカを減らさざるを得なくなった場合に、廃棄物等をセメント製造に投入できず、輸出もできないとなると、様々なところに影響が出る。これはCNとCEの両方に関係するが、どちらも厳しくなった時にどちらを優先するのかなどは、その可能性の検討も含めて考えないといけない。循環基本計画との関連でも重要ではないか。

4) 非鉄金属製造分野の脱炭素化が廃棄物・資源循環分野に与える影響の考察・検討

本業務の調査を踏まえて、非鉄金属製造分野の脱炭素化に向けた動向が廃棄物・資源循環分野の脱炭素化に与える影響について、以下の通り、考察・整理した。

表 III-43　非鉄金属製造分野の脱炭素化が廃棄物・資源循環分野の脱炭素化に与える影響の考察

| 本業務の調査結果（非鉄金属製造分野） | 廃棄物・資源循環分野の脱炭素化に与える影響 |
|---|---|
| **（製造プロセスの脱炭素化に関する事項）**<br>・企業の目標としては、まずは、Scope1,2の範囲でカーボンニュートラルを目指す方向性が示されている。<br>・カーボンニュートラルの実現に向けて当分野が取り組むテーマとして特に優先するものの中に「バイオ、廃プラ等脱炭素に資するエネルギー源を利用した非鉄金属リサイクル促進技術の開発」との項目がある。 | ・当分野のカーボンニュートラル化のために、廃プラスチック等の原燃料利用需要が高まる可能性。（※プラスチックの化石由来・バイオマス由来に関する記載は確認されなかった） |

## 2. 循環型社会、ライフスタイルや社会変容を通じた循環経済が廃棄物・資源循環分野の脱炭素化に与える影響の検討・整理

### 2.1 循環経済が廃棄物・資源循環分野の脱炭素化に与える影響の整理（文献調査）

#### （1）循環経済による GHG 削減効果に関する集約

##### 1) IPCC 第 6 次評価報告書第 3 作業部会報告書における循環経済・シェアリングの GHG 削減効果に関する集約

IPCC 第 6 次評価報告書第 3 作業部会報告書の第 5 章（Demand, services and social aspects of mitigation）5.3.4（Transformative Megatrends）において、気候変動緩和の革新的な潮流となり得るものとして循環経済、シェアリング、デジタル化が注目を集めており、デジタル化はシェアリングと循環経済を促進させていることが記されている（同報告書 Fig. 5.11）。ここで循環経済とシェアリングは分けられているが、資源の効率化が図られるという点でシェアリングの一部は循環経済に含まれるとも書かれている。

シェアリング・循環経済戦略の現状からの相対的な GHG 削減ポテンシャルについて、72 の研究における 185 の観察結果が整理されており（同報告書 Fig. 13 a)）、いくつかの戦略では観察数が少ない（例：集約的な利用、個人間の中古品取引・住居・移動のシェア、長寿命化、軽量化）、多くの戦略で GHG 削減効果のばらつきが大きい（例：ライドシェア、代替素材の利用、再利用、リサイクル）、いくつかの戦略では GHG 排出量の増加が見られる（例：カーシェア、ライドシェア）ことなどがわかる。

##### 2) Koide et al.（2022）[7]における循環経済による GHG 削減効果の集約

上述 1)の IPCC 報告書の後に公表された研究成果で、耐久・半耐久消費財について、サービス化、プーリング（同時利用）、シェアリング、レンタル、リース、リユース、リファービッシュ（再整備）・リマニュファクチャリング（再製造）、アップグレード・モジュール化、修理、耐久性の 10 種類の循環経済の施策を対象とし、100 文献・1500 シナリオの定量的・定性的分析より、GHG 削減効果のこれまでの知見を明らかにしている。

分析の結果、リユース、プーリング、サービス化、アップグレード、シェアリングには中～高程度の GHG 排出削減効果が見込まれ、リースや耐久性向上による効果は限定的であった。さらに、いくつかの施策において、輸送の増加や使用パターンの変化等により GHG 排出削減効果の一部が打ち消される「リバウンド効果」や、排出削減分よりも増加分が大きいために結果的に GHG 排出量が増大する「バックファイア効果」のリスクが大きいことが示唆された。特に、レンタル、シェアリング、サービス化は、対象製品や状況次第ではバックファイア効果が生じるリスクが相対的に高いことが明らかになった。

[7] R. Koide, S. Murakami, K. Nansai (2022) Prioritising low-risk and high-potential circular economy strategies for decarbonisation: A meta-analysis on consumer-oriented product-service systems. Renewable and Sustainable Energy Reviews, Volume 155, 111858. https://doi.org/10.1016/j.rser.2021.111858

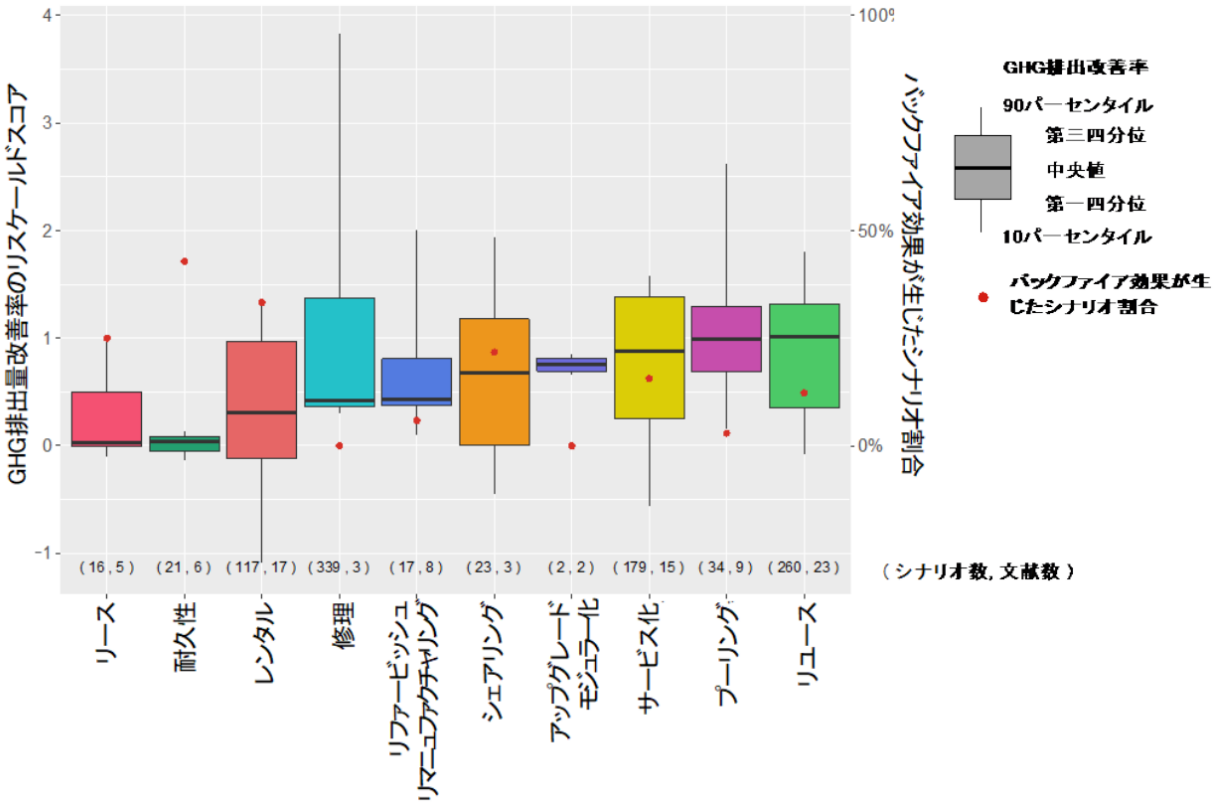



図 III-37　全製品の横断的な分析による GHG 排出改善スコアとバックファイア効果

出典：国立環境研究所ウェブサイト「サーキュラーエコノミーを脱炭素化につなげるための必須条件を解明」[8]（原著作者による図 5 の日本語訳）

© 2021 R. Koide, S. Murakami, K. Nansai. Published by Elsevier Ltd. This is an open access article under the CC BY license (http://creativecommons.org/licenses/by/4.0/).

### （2）循環経済による GHG 削減効果に関する定量的な分析事例の整理

循環経済による GHG 削減効果に関する定量的な分析事例を調査した（表 III-44）。多様な素材・製品を分析対象とした文献を１）、特定の素材・製品を分析対象とした文献を２）で紹介する。

[8] https://www.nies.go.jp/whatsnew/20211215/20211215.html（2023 年 3 月 13 日閲覧）

表 III-44 調査対象とした定量分析事例の概要

| 文献 | The Circularity Gap Report 2021 | RESCUE | Ohno et al. (2021) | 資源効率性と気候変動 | Watari et al. (2022) |
|---|---|---|---|---|---|
| 発行者（著者）・年 | Circle Economy (2021) | ドイツ環境庁（2020） | Hajime Ohno et al. (2021) | UNEP (2020) | Takuma Watari et al. (2022) |
| 概要 | 循環経済の取組によるGHG削減ポテンシャルを推計 | 2050年CNと高い資源効率を達成するためのシナリオ分析 | 消費財をリサイクルすることによるGHG排出削減ポテンシャルを推計 | 住宅建物、軽量車両の生産・使用における物質効率性の向上によるGHG削減可能性量を分析 | セメント・コンクリートの供給側と需要側における$CO_2$排出削減策による削減効果を推計 |
| 定量化等の手法 | ・産業連関分析（EXIOBASEに交通等データを補足）<br>・モデルと手法は、Wood et al. (2017), Vita et al. (2019), Donati et al. (2020)を参考 | ・セクタ別モデル、エネルギーシステムモデル、原材料使用モデル（産業連関分析を内包）のソフトリンク | ・産業連関分析（2011年の家計消費データとI-O表を使用、炭素含有量に着目） | ・材料効率と気候変動を評価するためのマテリアルシステムモデル（ODYM-RECC v.2.2）<br>・社会経済シナリオ：LED, SSP1,SSP2<br>・ストック・フローを考慮 | ・物質フローモデルと物理化学モデルの組み合わせ |
| 対象：地理 | 43ヵ国とその他5地域を３つのグループに統合 | ドイツ | 日本 | G7各国、中国、インド | 日本 |
| 対象：素材・製品 | 住宅：建材（木材、セメント・鉄鋼等）、燃料、家電等<br>栄養：プラスチック、燃料、食品、肥料　等<br>移動：鉄、アルミ、燃料、乗用車・鉄道・航空機、サービス等<br>情報：紙、機器等<br>消耗品：プラスチック、ゴム、繊維、石油/燃料、繊維製品、衣料、機器、家具、サービス等<br>医療・健康：プラスチック、医療機器等 | ・原材料（原材料需要の指標に採用されている原材料）：バイオマス、金属鉱石、非金属鉱石、化石燃料<br>・製品：274の製品分野 | 消費財 | 住宅建物、軽量車両 | ・セメント、コンクリート<br>・コンクリートの用途は、住宅を含む11の用途（建築物、インフラ、一次産業） |
| GHG排出量のバウンダリ | サプライチェーン（生産）、使用段階 | 上流の原料も含めたドイツ経済全体の排出量を推計 | 直接削減量（焼却量の減少、それに伴うエネルギー回収量の減少）、間接削減量（材料・製品の生産段階） | 生産・使用段階 | 生産段階、輸送、炭酸化（$CO_2$の吸収） |
| 循環経済オプション、選定方法 | ・社会ニーズ（住宅、栄養、移動、コミュニケーション、消耗品、医療・健康、サービス）に対し、21の循環経済シナリオを設定<br>・Ivanova et al. (2020)の対策リストを基本とし、査読論文や「drawdownプロジェクト」の情報に基き補足した800の対策を整理・分類 | ［GreenMeシナリオ］<br>・リサイクル材料の使用<br>・リサイクル率の向上<br>・耐久性の高い素材の使用<br>・軽量化等 | ・マテリアルリサイクル<br>・フィードストックリサイクル | ・省物質設計<br>・物質代替<br>・製造歩留りの改善<br>・より集約的な使用<br>・使用後回収の改善と物質のリサイクル<br>・回収、再生品製造および部品の再利用<br>・製品寿命の延長 | ・原材料を効率的に使用する設計<br>・廃材の削減<br>・集中的な利用<br>・長寿命化<br>・解体部品の再利用<br>・骨材への再生利用<br>・解体廃材の長期備蓄 |

### 1) 多様な素材・製品を対象とした分析事例

#### (a) The Circularity Gap Report 2021 における分析手法

The Circulariry Gap Report 2021（Circle Economy[9]、2021 年）における GHG 削減効果の定量化手法及び循環経済オプションの設定方法等を調査した。調査の対象とした資料を表 III-45 に示す。なお、2022 年報告書も公表されているが、定量化手法は 2021 年報告書と同様である。

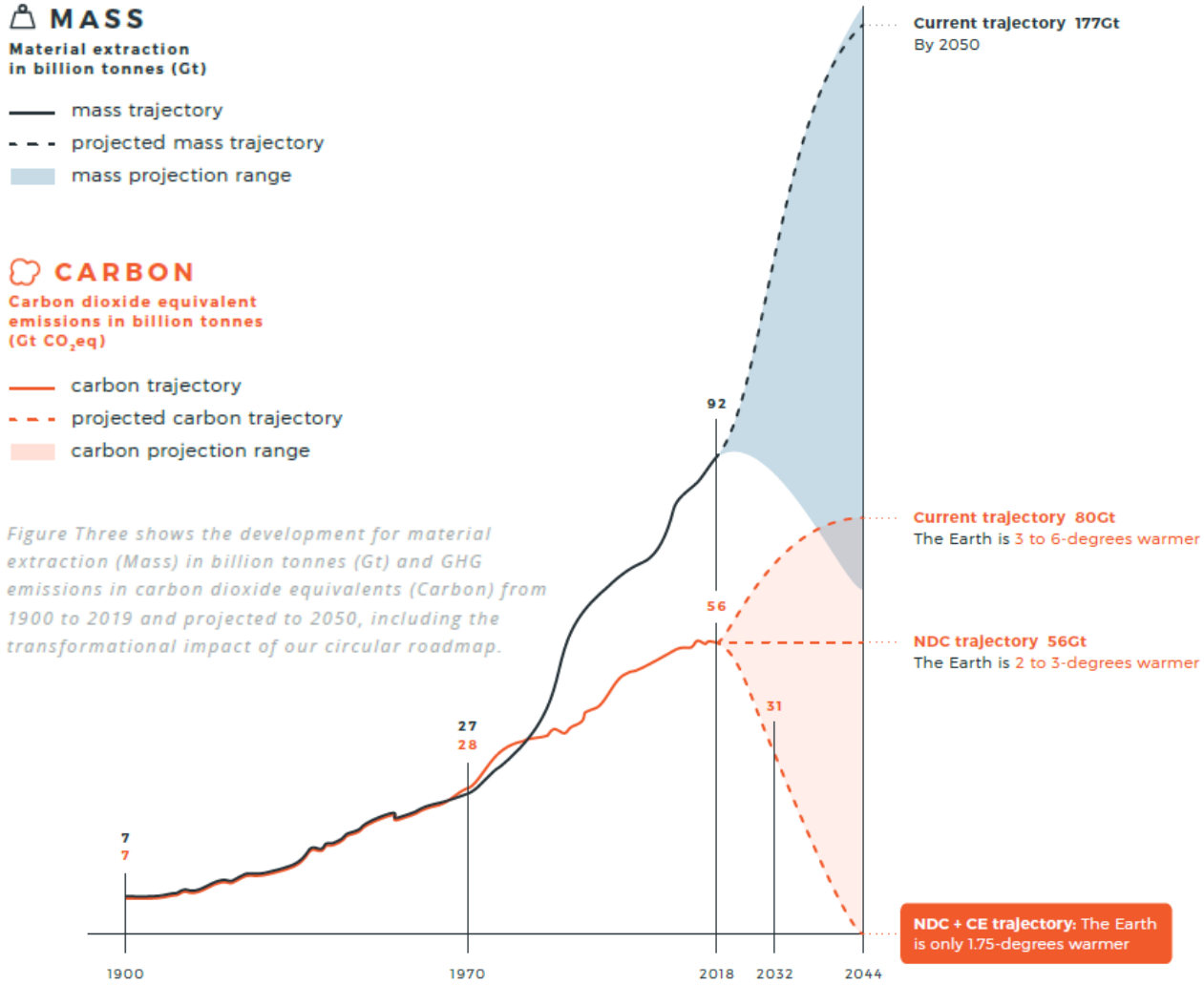
表 III-45　The Circularity Gap Report 2021 関連資料

| 発行機関 | 資料名 | 発行年月 | 備考 |
|---|---|---|---|
| Circle Economy | The Circularity Gap Report 2021 | 2021年1月 | 報告書本体 |
| | Annex | （記載なし） | 計算結果、パラメータ等のエクセルファイル |
| | Methodology Document | （記載なし） | 使用したデータ、モデル、シナリオ設定方法の概要 |

#### a) 分析結果の概要

国が決定する貢献（Nationally Determined Contribution, NDC）に加え、報告書で提案されている循環経済に関する対策を講じることで、世界全体の GHG 排出量は 2030 年に 332 億 t-CO2 まで減少し、2044 年にはネットゼロ（正味排出量ゼロ）を達成できるとしている（図 III-38）。

[9] アムステルダムに拠点を置く国際的組織であり、企業、都市、国に対して循環経済に関する取組の助言等を行っている。




「Current trajectory」：現在と同様の政策のシナリオ
「NDC trajectory」：NDC が達成された場合のシナリオ
「NDC+CE trajectory」：NDC に加えて、報告書で提案されている対策が取られた場合のシナリオ
単位：物質の採取量（10 億 t）、GHG 排出量（10 億 t-CO2eq）

**図 III-38　The Circularity Gap Report 2021 における物質の採取量と GHG 排出量の推移**

出典：The Circularity Gap Report 2021（Circle Economy、2021 年）Figure 3 を一部改変
(This work is licensed under a Creative Commons Attribution-ShareAlike 4.0 International License)

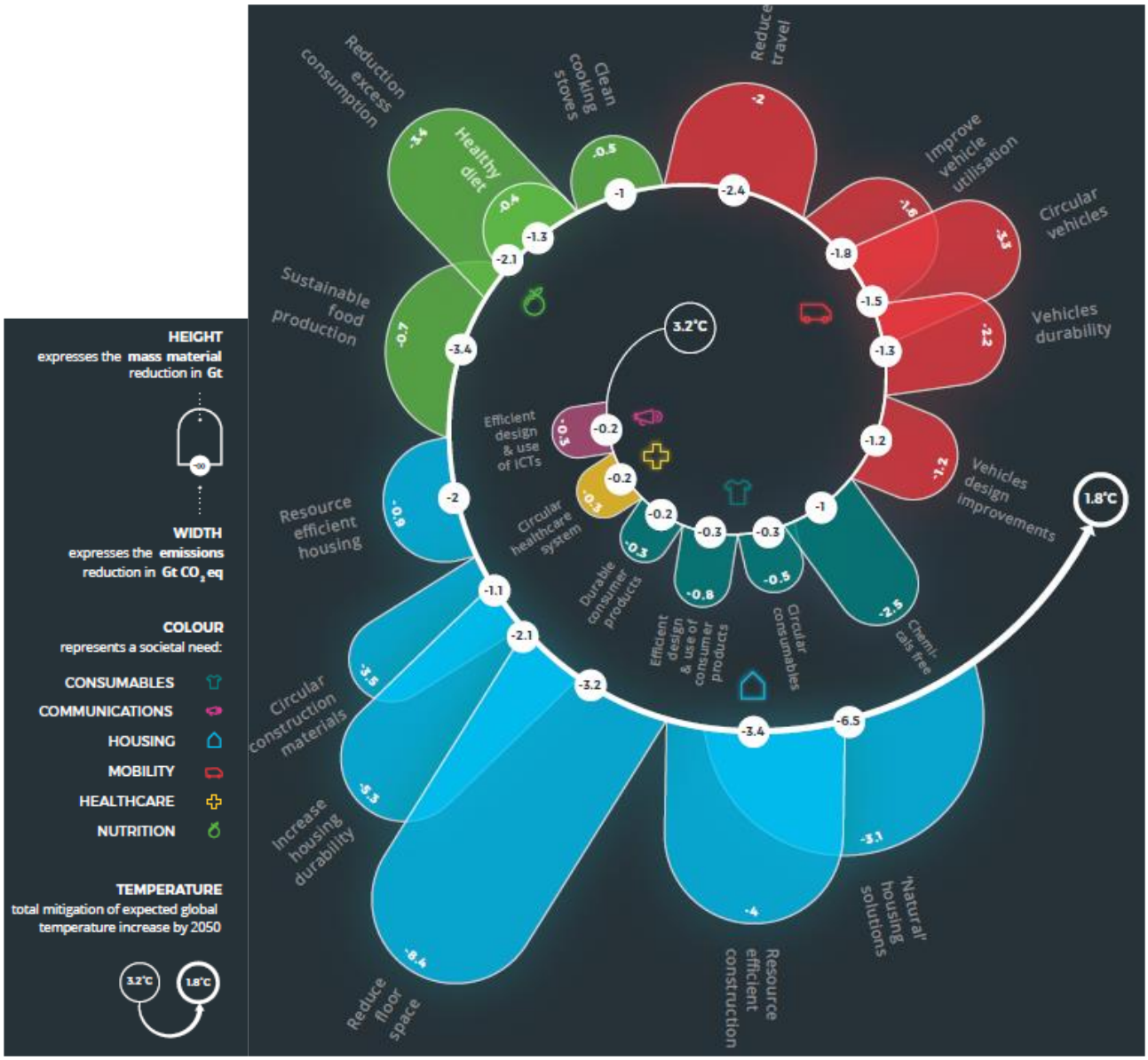
本分析では、社会ニーズを 7 に分類し、各社会ニーズに対して 1 あるいは複数のシナリオ（合計 21 シナリオ）を設定している（表 III-46）。さらに、各シナリオには 1 あるいは複数の対策が含まれる。各シナリオについて、経済活動の変化の種類（家計需要の変化、産業需要の変化、代替等）、導入地域、導入率、変化が生じる産業等を設定している。NDC の実現と 21 のシナリオに含まれる対策の実施により、2032 年におけるサーキュラリティ[10]は 2 倍（8.6%→17%）、気温上昇は 2℃未満と推定されている。

[10] 物質消費量の合計（天然資源採掘量+循環的物質投入量）に占める循環的物質投入量の割合。

表 III-46　The Circulariry Gap Report 2021 におけるシナリオ

| 社会ニーズ | シナリオ |
|---|---|
| 住宅 | 床面積の削減<br>資源効率的な住宅<br>“エコ”な住宅<br>資源効率的な建築<br>住宅の耐久性向上（長寿命化）<br>循環型建築材 |
| 栄養 | 健康的な食生活<br>過剰摂取の削減<br>持続可能な食糧生産<br>衛生的な料理用コンロ |
| 移動<br>（モビリティ） | 移動の削減<br>自動車の利用効率の向上<br>長寿命化<br>設計の改善<br>循環型自動車（生産におけるリサイクル材利用量の向上） |
| 情報 | 機材の効率的な設計・利用 |
| 消耗品 | 効率的な設計・利用<br>長寿命化<br>有害化学物質等の排除（ケミカルフリー）<br>循環型消耗品（生産におけるリサイクル材利用量の向上） |
| 医療・健康 | 循環型医療・健康（長く使える機材の購入など） |
| サービス※ | － |

※「サービス」の対策は他の社会ニーズに反映




21 のシナリオに対して、物質の削減量（箱の高さ、数値は白文字）と、GHG 削減量（箱の幅、数値は白抜き黒文字）を算出している。箱の重なりは、複数のシナリオが総合的にどの程度 GHG を削減するかを示す。全シナリオの対策を実施した場合、2050 年における気温上昇量は 1.8℃に抑えられる。

**図 III-39　各シナリオによる物質循環と GHG 排出への影響**

出典：Circle Economy (2021) The Circularity Gap Report 2021, Figure 4 (p.40)　を一部改変
(This work is licensed under a Creative Commons Attribution-ShareAlike 4.0 International License)

### b) 分析手法

モデルと分析手法は、Wood et al. (2017)[11], Vita et al. (2019)[12], Donati et al. (2020)[13]を踏まえており、産業連関分析を用いている。I-O データを使ってベースラインの環境負荷（GHG 排出量）を計算し、それ

[11] Wood, R., Moran, D., Stadler, K., Ivanova, D., Steen‐Olsen, K., Tisserant, A., & Hertwich, E. G. (2017). Prioritizing consumption‐based carbon policy based on the evaluation of mitigation potential using input‐output methods. Journal of Industrial Ecology, 22(3), 540-552.

[12] Vita, G., Lundström, J. R., Hertwich, E. G., Quist, J., Ivanova, D., Stadler, K., & Wood, R. (2019). The environmental impact of green consumption and sufficiency lifestyles scenarios in Europe: connecting local sustainability visions to global consequences. Ecological economics, 164, 106322

[13] Donati, F., Aguilar-Hernandez, G. A., Sigüenza-Sánchez, C. P., de Koning, A., Rodrigues, J. F., & Tukker, A. (2020). Modeling the circular economy in environmentally extended input-output tables: Methods, software and case study. Resources, Conservation and Recycling, 152, 104508.

をシナリオにおける環境負荷（GHG 排出量）と比較している。環境負荷は、世界の家計（Build, Grow, Shift の 3 地域に区分、分け方は後述）の消費によるインパクトをで表され、以下のフットプリントの式において、y は家計の需要である。

$$\boldsymbol{fp = s(I - A)^{-1}y + dhe}$$

シナリオは、消費、生産方法、導入率（uptake rate）の変化に関するパラメータで表される。技術変化の係数（0～１）、浸透の係数（0～１）が対策の導入率を決定する。家計（y, 生産額ごとの最終需要額）の代替パターンと、産業における生産方法（マトリックス A, 技術係数）の変化の見通しをモデル化している 。以下の３タイプがある。

- 家計需要の変化（y の変化）：消費量の減少あるいは異なる財の消費
- 産業の需要の変化（A の変化）：産業間で生産方法や投入が変化する
- 家計と産業の需要の変化（y, A の変化）：いくつかのシナリオは家計需要と生産方法の同時変化

分析に使用されているデータを以下に示す。

**表 III-47　分析に使用されているデータ**

| データ | 出典 | データの内容等 |
|---|---|---|
| I-Oデータ | EXIOBASE v3.7 (doi: 10.5281/zenodo.3583071) [14] | ・ Environmentally extended tables<br>・ 43か国とその他5地域について、164の産業及び/あるいは200の財に関する生産と消費のデータ。資源とGHG排出量データも整備。<br>・ データの最終年：エネルギー（2015年）、GHG（2016年)、マテリアル（2013年）、その他（例：土地、水）（2011年）<br>・ GHGはEDGARデータベース[15]を用いて2018年データに更新。その際、マテリアルとGHGは合計量に基づいて更新、産業への分配はEXIOBASEでのベースライン年（マテリアルは2013年、GHGsは2016年）におけるシェアに基づく。<br>・ 各国のマテリアルフローは、IRP資料[16]に基づいて2017年データに更新。 |
| 補足データ（上記 I-O データの補足） | IEA[17], CAIT[18], ICCT | 旅客輸送関連の排出量データ |
| | WGBC, Urge-Vorsats et al. (2015)[19] | 国内の調理・暖房データ |
| | FAO | 土地利用・土地利用変化及び森林（LULUCF）の排出データ |

[14] Stadler, Konstantin, Wood, Richard, Bulavskaya, Tatyana, Södersten, Carl-Johan, Simas, Moana, Schmidt, Sarah, Usubiaga, Arkaitz, Acosta-Fernández, José, Kuenen, Jeroen, Bruckner, Martin, Giljum, Stefan, Lutter, Stephan, Merciai, Stefano, Schmidt, Jannick H, Theurl, Michaela C, Plutzar, Christoph, Kastner, Thomas, Eisenmenger, Nina, Erb, Karl-Heinz, Tukker, Arnold. (2019). EXIOBASE 3 (3.7) [Data set]. Zenodo.

15 EDGAR データベース：Olivier, J. G., Schure, K. M., & Peters, J. A. H. W. (2020 revision). Trends in global CO2 and total greenhouse gas emissions. PBL Netherlands Environmental Assessment Agency, 5.

16 https://www.resourcepanel.org/global-material-flows-database

17 IEA: https://www.iea.org/data-and-statistics?country=WORLD&fuel=CO2%20emissions&indicator=TotCO2

18 CAIT: https://www.climatewatchdata.org/data-explorer/historical-emissions?historical-emissions-data-sources=cait&historical-emissions-gases=co2&historical-emissions-regions=All%20Selected&historical-emissions-sectors=total-including-lucf%2Ctransportation&page=1&sort_col=country&sort_dir=ASC

19 Urge-Vorsats et al. (2015): Ürge-Vorsatz, D., Cabeza, L. F., Serrano, S., Barreneche, C., & Petrichenko, K. (2015). Heating and cooling　energy trends and drivers in buildings. Renewable and Sustainable Energy Reviews, 41, 85-98.

| データ | 出典 | データの内容等 |
|---|---|---|
| 廃棄物・二次資源(secondary resources)に関するデータ | EXIOBASE v3.3.18 Supply-and-Use (MR-HSUT) and Input-Output Tables[20] | ・ 43ヵ国とその他５地域のデータ（2000-2011年）<br>・ 複数の単位を使用（有形財は質量、無形財はTJ、サービスはユーロ）<br>・ 世界の各産業の産業廃棄物発生強度（廃棄物量 t/セクター生産額 Mユーロ）、サービスと家計（household）のmunicipal waste発生強度（municipal廃棄物発生量 t／人）を推計<br>・ 各産業の産業廃棄物発生強度：EXIOBASE（ベースライン：2011年、v.3.4とそれ以前）とセクター生産量（2016年、v.3.7）を使い、セクター生産量と廃棄物発生量の間に線形の関係を仮定して2016年廃棄物発生量を推計。<br>・ Municipal waste発生強度：UNEPの人口データを使用。 |

出典：Methodology Document より作成

エコロジカルフットプリント（EF）、人間開発指数（Human Development Indicator）の比率より、43ヵ国と 5 地域を３つのグループ（Shift countries, Build countries, Grow countries）に統合している（各国のグループは Annex「Regions」シートを参照、日本は Shift 地域）。

- Shift: HDI が高く、一人あたり EF も高い
- Build: HDI が低く、一人あたり EF も低い
- Grow: HDI が低く、一人あたり EF は中程度

### c) 循環経済オプションの設定方法

以下に挙げる研究成果等を使用している（重要度の高い順に並べている。下線の論文は、IPCC6 次評価報告書第 3 ワーキンググループでも引用されている）。最初の Ivanova et al. (2020) の対策リストを基本とし、査読論文や「drawdown プロジェクト」（https://drawdown.org/）の情報に基づいて補足した合計 800 の対策について、対策の種類や一人あたり CO2eq 排出量で分類し、70 の対策タイプに整理している（同じタイプに属する対策の CO2eq 削減ポテンシャルの平均値が、各タイプの平均 CO2eq 削減ポテンシャルとなる）。さらに絞り込むため、２つの評価基準（マテリアルフットプリントとサーキュラリティ[21]との関係性、NDCs への追加性（additionality））を使用している。これらの基準は、循環経済の課題と気候変動の課題との関係、パリ協定に基づくコミットメントに対するサーキュラー戦略の追加性に関係する。

最終的に、対策タイプは 21 のシナリオに分類されている（表 III-46）。

- Ivanova, D., Barrett, J., Wiedenhofer, D., Macura, B., Callaghan, M., & Creutzig, F. (2020). Quantifying the potential for climate change mitigation of consumption options. Environmental Research Letters, 15(9), 093001.
- Vita, G., Lundström, J. R., Hertwich, E. G., Quist, J., Ivanova, D., Stadler, K., & Wood, R. (2019). The environmental impact of green consumption and sufficiency lifestyles scenarios in Europe: connecting local sustainability visions to global consequences. Ecological economics, 164, 106322.

[20] https://www.exiobase.eu/index.php/data-download/exiobase3hyb

21 Global Circularity Indicator は、ある経済におけるマテリアル消費量の合計（世界的には、天然資源採掘量と二次的マテリアル投入量の合計）に占める二次的マテリアルの割合を示す

- Moran, D., Wood, R., Hertwich, E., Mattson, K., Rodriguez, J. F., Schanes, K., & Barrett, J. (2020). Quantifying the potential for consumer-oriented policy to reduce European and foreign carbon emissions. Climate Policy, 20(sup1), S28-S38.
- Donati, F., Aguilar-Hernandez, G. A., Sigüenza-Sánchez, C. P., de Koning, A., Rodrigues, J. F., & Tukker, A. (2020). Modeling the circular economy in environmentally extended input-output tables: Methods, software and case study. Resources, Conservation and Recycling, 152, 104508.
- Hertwich, E. G., Ali, S., Ciacci, L., Fishman, T., Heeren, N., Masanet, E., ... & Wolfram, P. (2019). Material efficiency strategies to reducing greenhouse gas emissions associated with buildings, vehicles, and electronics—a review. Environmental Research Letters, 14(4), 043004.


### (b) Resource Efficient Pathways towards Greenhouse Gas Neutrality (RESCUE)における分析手法

ドイツが 2050 年にカーボンニュートラルを達成するため、資源効率向上に係るシナリオを検討した調査「RESCUE Study（Resource Efficient Pathways towards Greenhouse Gas Neutrality）」がドイツ環境庁により行われ、2019 年に報告書が公表されている。表 III-48 の資料を対象として、定量化手法等を調査した。

表 III-48　調査の対象とした RESCUE Study 関連資料

| 発行機関 | 資料名 | 発行年 | 備考 |
|---|---|---|---|
| ドイツ環境庁 | Resource-Efficient Pathways towards Greenhouse-GasNeutrality –RESCUE Summary Report | 2019年 | サマリー報告書（英語） |
| | Transformationsprozess zum treibhausgasneutralen und ressourcenschonenden Deutschland | 2020年 | 最終報告書（ドイツ語） |

#### a) 分析結果の概要

想定されている 6 つのシナリオにおいて、原材料の需要の指標である RMC（Raw Material Consumption）の 2050 年の値は、2010 年と比較して少なくとも半減する結果となっており、そのうち材料の使用効率向上に焦点を当てたシナリオでは 68%減少している（同シナリオにおける 2050 年の GHG 排出量は 1990 年比で 97%減）。

#### b) 分析手法

6 つのシナリオの GHG 排出量と原材料の定量評価には、分野毎に 5 つのモデル（輸送／建築物／農業／エネルギーシステム／原材料使用）が使用されており、これらはリンクしている。資源利用量の定量化は、原材料使用モデル（URMOD モデル）で行われている。

URMOD モデルは、上流の原材料使用も含めたドイツ経済全体の材料使用量とそれに伴う GHG 排出量を推計するモデルであり、各シナリオにおけるバイオマス／金属鉱石／非金属鉱石／化石燃料の需要量の指標である RMC（Raw Material Consumption）の算定に使用される。原材料使用モデルの基本的な構造は、産業連関分析と同様である。

#### c) シナリオの設定方法

6 つのシナリオが設定されている（表 III-49）。

表 III-49 RESCUE Study におけるシナリオの概要

| シナリオ | 概要 |
|---|---|
| GreenEe1 ／ GreenEe2 | すべての部門でエネルギー効率の向上に焦点を当てた行動が取られる。全国民が脱炭素化やエネルギー削減、資源の保全等について認識し、政策枠組みにも反映される。GreenEe1シナリオの下では、製品の輸出が進み、GreenEe2では製品の輸出入のバランスが取れた状態になる。 |
| GreenLate | カーボンニュートラルに向けて変容するプロセスがGreenEeシナリオより遅く、エネルギー効率向上もGreenEeシナリオほど積極的に行われない。したがって、カーボンニュートラルを達成するためには、より短期間で削減をする必要が出てくる。 |
| GreenMe | 材料の使用効率向上に焦点を当てたシナリオであり、リサイクル材料の使用やリサイクル率の向上、耐久性の高い素材の使用や軽量化等の方策が推進される。 |
| GreenLife | GreenEeシナリオとGreenMeシナリオで取られる方策に加え、環境に良い生活様式や行動変容が促進される。 |
| GreenSupreme | 上記の5シナリオの中から、最適な方策が取られる。 |

出典：Umweltbundesamt (2019) Resource-Efficient Pathways towards Greenhouse-Gas Neutrality-RESCUE Summary Report より作成

材料の使用効率向上に焦点を当てた「GreenMe」シナリオでは、例えば以下のような対策が見込まれている。

- 薄い太陽光発電パネルの使用
- 風力発電施設の耐久性向上
- 自動車・車両の軽量化
- 建設分野における代替材料の使用（例：繊維強化コンクリート）、木材やバイオマス素材の断熱材としての使用

### (c) 消費財をリサイクルすることによる GHG 削減効果

日本を対象として、様々な消費財をリサイクルすることによるGHG削減効果を定量化したOhno et al. (2021)[22]の定量化手法等を調査した。

#### a) 分析結果の概要

直接的な削減ポテンシャル（焼却量の減少による GHG 削減ポテンシャル、焼却量の減少に伴うエネルギー回収量の減少も考慮）は $12.8\times10^6$ t-$CO_2$、間接的な削減ポテンシャル（天然素材の生産、材料生産、製品製造の段階での GHG 削減ポテンシャル）は $17.5\times10^6$ t-$CO_2$ となり、焼却によるエネルギー回収ポテンシャル（$3.9\times10^6$ t-$CO_2$）を上回った。

#### b) 分析手法

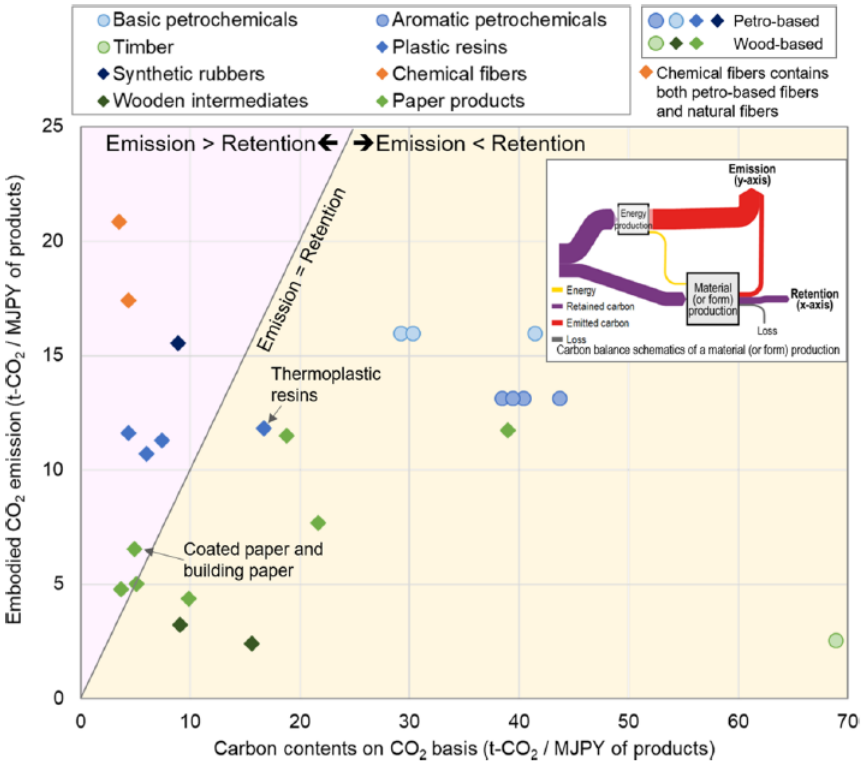
2011年の家計消費データとI-O表を用いて、産業連関分析と同様の手法により、消費財をリサイクルすることによるGHG排出削減ポテンシャルを推計している。GHG排出削減ポテンシャルは、直接削減量（焼却量の減少、それに伴うエネルギー回収量の減少も考慮）[23]と間接削減量（天然素材の生産、材料生産、製品製造の段階での GHG 排出量の削減）[24]の合計量としている。直接削減量は各製品の物理的構成要素から算出し、間接削減量は上流のサプライチェーンにおける $CO_2$ 排出量から算出している

[22] Hajime Ohno, Yosuke Shigetomi, Andrew Chapman, Yasuhiro Fukushima (2021) Detailing the economy-wide carbon emission reduction potential of post-consumer recycling, Resources, Conservation and Recycling, Volume 166, 105263

[23] 算出対象となっているのは、焼却によるごみ由来の GHG 排出量の減少（エネルギー回収量の減少による GHG 削減効果の減少も考慮）。

[24] 対象となっている素材は、プラスチック用樹脂、合成ゴム、化学繊維、中間財としての木材、紙製品

（図 III-40）。




横軸は炭素含有量（$CO_2$ベース）、縦軸は生産に伴う $CO_2$ 排出量（いずれも生産額 100 万円あたり）

**図 III-40 材料・製品の炭素含有量と生産過程での $CO_2$ 排出量**

出典：Ohno et al. (2021), Figure 3

© 2020 Hajime Ohno, Yosuke Shigetomi, Andrew Chapman, Yasuhiro Fukushima. Published by Elsevier B.V. This is an open access article under the CC BY license (http://creativecommons.org/licenses/by/4.0/).

#### c) シナリオの設定方法

分析で考慮されているリサイクル手法は、マテリアルリサイクルとフィードストックリサイクルである。

### 2) 特定の素材・製品等を対象とした分析事例の整理

#### (a) 資源効率性と気候変動における住宅及び軽量車に関する分析手法

国連環境計画より 2020 年に公表された「資源効率性と気候変動（低炭素未来に向けた物質効率性戦略）」における GHG 削減効果の定量化手法を把握することを目的として、表 III-50 に示す資料を調査した。なお、公益財団法人地球環境戦略研究機関による政策決定者向け要約の日本語仮訳も参考にした。

表 III-50　調査の対象とした資源効率性と気候変動関連資料

| 発行機関 | 資料名 | 発行年 | 備考 |
|---|---|---|---|
| 国連環境計画（UNEP） | Resource Efficiency and Climate Change Material Efficiency Strategies for a Low-Carbon Future[25] | 2020年 | 報告書（完全版） |
| | Supplementary Material A | | モデルの説明、G7各国・中国・インドのGHG削減シナリオ |
| | 資源効率性と気候変動<br>低炭素未来に向けた物質効率性戦略<br>政策決定者向け要約 | | 公益財団法人地球環境戦略研究機関（IGES）による仮訳 |
| ー（論文） | Pauliuk, S., Fishman, T., Heeren, N., Berrill, P., Tu, Q., Wolfram, P., Hertwich, E.G., 2020. Linking Service Provision to Material Cycles – A New Framework for Studying the Resource Efficiency-Climate Change Nexus (RECC). J. Ind. Ecol. https://doi.org/10.1111/jiec.13023 | 2020年 | 「資源効率性と気候変動」で使用されているモデルに関する論文 |

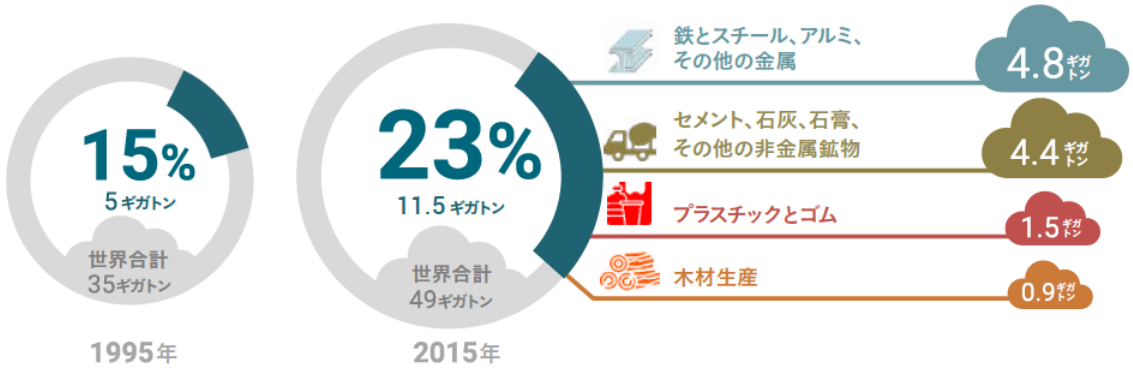
a) 分析結果の概要

① 世界の現状と GHG 削減可能量

2015 年におけるマテリアル（原料となる物質）の生産に伴う GHG 排出量は 11.5 Gt $CO_2$-eq であり、世界の GHG 排出量の 23%を占める。また、量及び割合は 1995 年に比べて増加している（

図 III-41）。

住宅分野及び自動車利用に係る資源効率性戦略による GHG 削減可能量（2016 年～2060 年の累積）は、それぞれ 8 Gt $CO_2$-eq 以上、約 12 Gt $CO_2$-eq と推計されている（図 III-42）。




単位：$CO_2$ 換算

図 III-41　世界のマテリアル（原料となる物質）生産に伴う GHG 排出量と全排出量に占める割合

出典：「資源効率性と気候変動」（UNEP、2020 年）公益財団法人地球環境戦略研究機関による仮訳　図 1 を仮訳

© United Nations Environment Programme, 2020

[25] IRP (2020). Resource Efficiency and Climate Change: Material Efficiency Strategies for a Low-Carbon Future. Hertwich, E., Lifset, R., Pauliuk, S., Heeren, N. A report of the International Resource Panel. United Nations Environment Programme, Nairobi, Kenya.

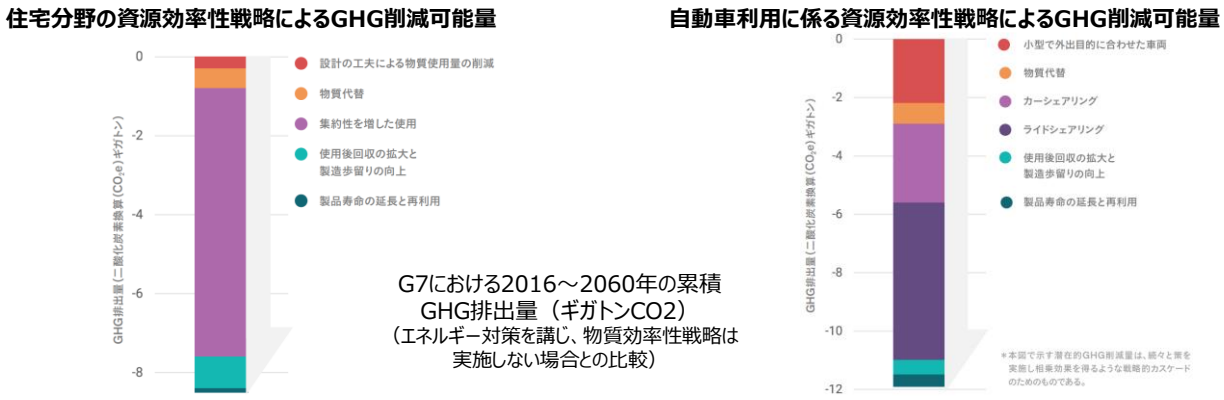


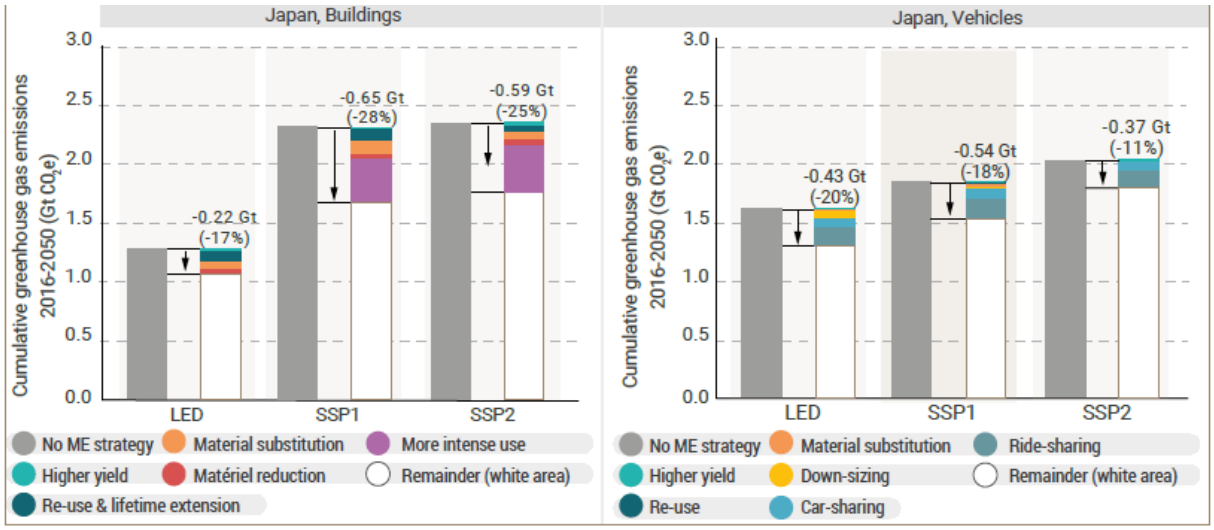

図 III-42　G7 における住宅分野及び自動車利用に係る資源効率性戦略による GHG 削減可能量
（2016 年～2060 年の累積）

出典：「資源効率性と気候変動　政策決定者向け要約」（UNEP、2020 年）公益財団法人地球環境戦略研究機関による仮訳　図 6、図 8 を一部改変

© United Nations Environment Programme, 2020

② 日本の GHG 削減可能量

G7、中国、インドの国別の結果は、Supplementary Material A で紹介されている。日本は、G7 の中でも物質効率化による GHG 削減効果が比較的大きく、削減効果が最も高い物質効率化策は、住宅の集約的な使用とされている。（計算では、一人あたり床面積を 2060 年までに最大 20%減少させている。図 III-43 の紫色部分にあたり、対策無しの場合と比較して、SSP1 シナリオで 12%、SSP2 シナリオで 22%、累積 GHG 排出量を削減する効果があるとしている。）




Left: life-cycle GHG emissions from residential buildings; Right: fleet-wide life-cycle GHG emissions from passenger vehicles. Colored areas illustrate the reduction potential compared to a situation without the implementation of any ME strategy (gray bar).

図 III-43　日本の GHG 削減可能量（左が住宅、右が軽量車）

出典：「資源効率性と気候変動」（UNEP、2020 年）Supplementary Material A, Figure S11 (p.175)より一部抜粋

© United Nations Environment Programme, 2020

b) 分析手法

分析に使用されているモデルの概要は Pauliuk et al. (2020)[26]に示されている。RECC モデル (ODYM-RECC：材料効率と気候変動を評価するためのマテリアルシステムモデル)は、製品や材料のストックとフローに関する動的モデルを統合したものであり、LCA、工学的な計算も可能である。

シナリオは、気候変動研究で用いられる社会経済シナリオ「SSP」（Shared Socioeconomic Pathways）の 5 シナリオのうち、概ねパリ協定に沿って GHG 排出削減が実施される 2 シナリオ（SSP1, SSP2）と、1.5℃上昇の達成のために開発された LED（Low Energy Demand）シナリオを採用している。

c) 資源効率戦略の設定方法

表 III-51 の取組オプションについて、実施しやすい順に取組オプションを追加するカスケード式で分析している。

表 III-51　物質効率戦略とモデルでの仮定

| Strategy | Residential buildings | Light duty-vehicles |
|---|---|---|
| Using less material by design – light-weighting 省物質設計 | Lighter buildings: Using less material by optimized design and engineering without loss in functionality. | Smaller vehicles: Segment shift from large vehicles (light trucks, sports utility vehicles) to smaller ones (passenger cars). |
| Material Substitution 物質代替 | Construction materials with lower life-cycle emissions are used. Wooden buildings have fewer life-cycle emissions than concrete or brick buildings. While other material options exist, wood is particularly effective because of its carbon sequestration capacity. | Material is substituted to achieve less operational energy demand. Replacing steel with aluminium (considered here), carbon fibre, magnesium or high-strength steel reduces life-cycle emissions, because lower vehicle weight saves fuel in the use phase. |
| Improvement of fabrication yield 製造歩留りの改善 | Fabrication yield improvements (FYI) reduce the amount of material scrap used in the fabrication and manufacturing process, thereby lessening the demand for material input from the manufacturing sector. | |
| Improvement of End-of-Life (EoL) recovery rate 使用後回収の改善 | The improvement of the EoL recovery rate increases the share of materials salvaged as scrap from discarded products. This increased recycling eventually leads to a displacement of primary materials by secondary materials. | |
| Diversion of scrap 製造時に排出されるスクラップの利用 | Manufacturing scrap, like trimmings or cuttings, is diverted into other manufacturing units to make smaller components. This avoids re-melting and may reduce costs. | |
| More intensive use (fewer products are required to provide the same basic service) より集約的な使用 | Peer-to-peer lodging, increased household size/ cohabitation and shift from single to multi-family houses. | Car-sharing (shift from the personal car to cars from a shared fleet) and ride-sharing (driving patterns where people with same or similar driving destinations share a ride) are considered. |
| Product lifetime extension 製品寿命の延長 | Better design (facilitating repurposing of a product), increased repair and enhanced secondary markets. | |
| Recovery, remanufacturing and reuse of components 回収、再生品製造および部品の再利用 | Replacement of the production of spare parts or even primary products. | |

出典：「資源効率性と気候変動」（UNEP、2020 年）Table 4 に加筆
© United Nations Environment Programme, 2020

① 将来における住宅の形状

Taylor et al. (2015)[27]を参考にして将来における住宅の原型（表 III-52）を設定し、エネルギー使用量、使用する材料、材料の使用量等を想定している。

[26] Stefan Pauliuk, et. Al. (2020) Linking Service Provision to Material Cycles – A New Framework for Studying the Resource Efficiency-Climate Change Nexus (RECC), Revised manuscript for JIE, special issue on Material Efficiency for Climate Change Mitigation

27 Taylor, Z., Mendon, V., Fernandez, N., 2015. Methodology for Evaluating Cost-Effectiveness of Residential Energy Code Changes. https://www.energycodes.gov/methodology-evaluating-cost-effectiveness-residentialenergy-code-changes.

表 III-52　Taylor et al.（2015）における住宅の原型

| Parameter | Single-family home | Multi-family home |
|---|---|---|
| Conditioned floor area | 221 $m^2$ (plus 110 $m^2$ of conditioned basement, where applicable) | 112 $m^2$ per unit, or 2007 $m^2$ total (plus 112 $m^2$ of conditioned basement on ground-floor units, where applicable) |
| Footprint and height | 1.5 m by 6.7 m, two-story, 2.6 m high ceilings | Each unit is 12.2 m wide by 9.1 m deep, with 2.6 m high ceilings. The building footprint is 36.6 m by 19.8 m. |
| Area above unconditioned space | 110 $m^2$ | 111 $m^2$ on ground-floor units |
| Area below roof/ceilings | 110 $m^2$ | 111 $m^2$ on top-floor units |
| Perimeter length | 46 m | 113 m (total for the building) |
| Gross exterior wall area | 240 $m^2$ | 474 $m^2$ per story |
| Window area (relative to cond. floor area) | 15% equally distributed to the four cardinal directions | 23% of gross exterior wall area, excluding walls facing the interior breezeway |
| Internal gains | 91 MJ/day (2015 IECC, Table R405.5.2) | 58 MJ/day per unit, 1038 MJ/day total (2015 IECC, Table R405.5.2) |

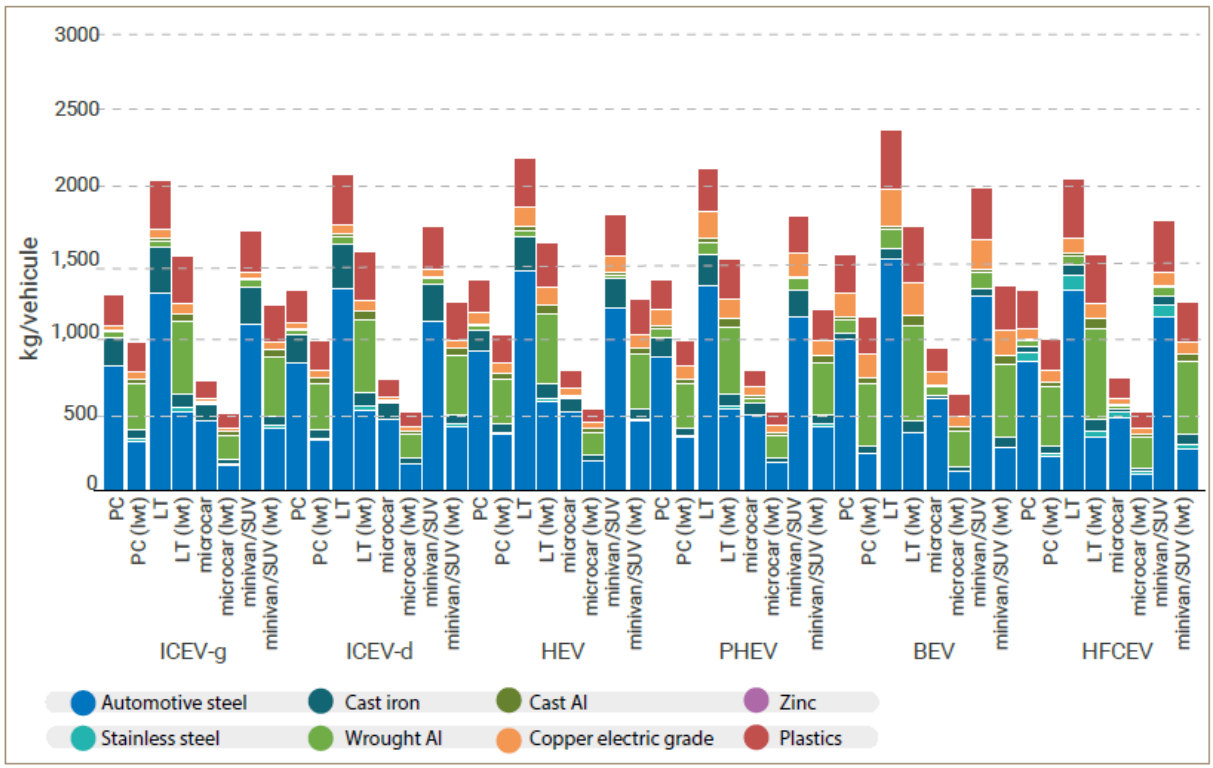
「Single-family home」の「Footprint and height」の「1.5m by 6.7m」は、Taylor et al.(2015)を確認した結果、正しくは「16m by 6.7m」と思われる。

出典：「資源効率性と気候変動」（UNEP、2020 年）Supplementary Material A, Table S1 (p.160)

© United Nations Environment Programme, 2020

② 将来における交通需要、軽量車の材料構成

将来における各国の交通需要量（person-km）を専門家の合意プロセスを経て決定し、交通需要量を ODYM-RECC モデルに入力することで将来の軽量車の所有台数を算出している。また、将来における軽量車の材料構成の想定は図 III-44 のとおり示されている。




(PC= passenger car; LT= light truck; lwt= lightweight design). Relevant materials from batteries are included (Lead-acid battery for ICEV; Ni-MH for HEV and HFCEV; Li-ion for PHEV and BEV)

図 III-44　将来における軽量車の材料構成

出典：「資源効率性と気候変動」（UNEP、2020 年）Supplementary Material A, Figure S2 (p.163)

© United Nations Environment Programme, 2020

(b) 日本のセメント･コンクリート部門における循環経済施策の分析

Watari et al. (2022)[28]は、セメント・コンクリートの供給側と需要側における計 16 の $CO_2$ 排出削減策を調査し、日本の当該部門における 2050 年カーボンニュートラルの達成方法についてモデル分析を実施して検討している。定量化手法と想定されている循環経済の施策の概要を調査した。

a) 分析結果の概要

供給側の対策（図 III-45 の青色・緑色の対策）と需要側の対策（図 III-45 の桃色の対策）を実施することで、2050 年カーボンニュートラル達成が見込まれた。

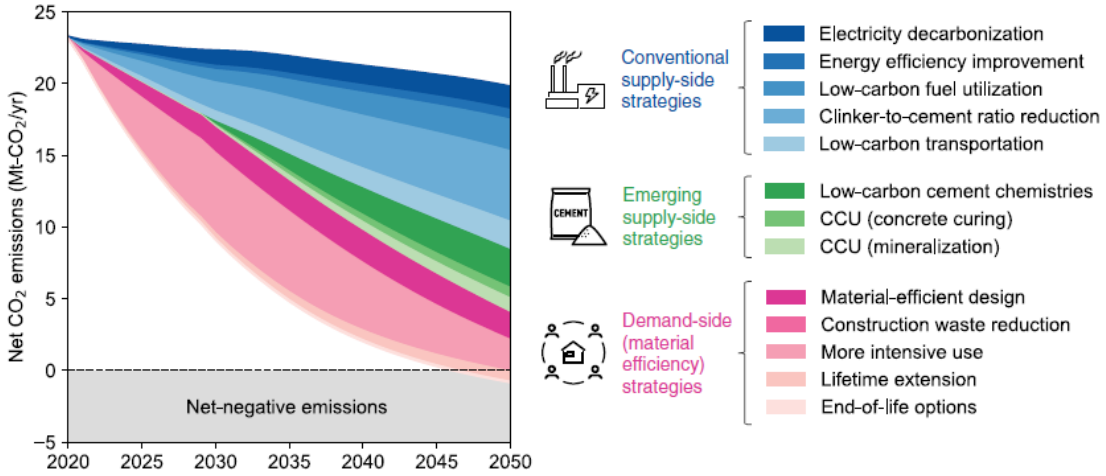



図 III-45　日本におけるセメント・コンクリート部門のカーボンニュートラル達成経路

出典：Watari et al. (2022) Fig.3

© Takuma Watari, Zhi Cao, Sho Hata, Keisuke Nansai 2022. This article is licensed under a Creative Commons Attribution 4.0 International License (http://creativecommons.org/licenses/by/4.0/.)

b) 分析手法

モデルは、社会経済における素材の流れを解析する物質フローモデルと、素材生産・利用・解体に伴う $CO_2$ 排出・吸収量を推計する物理化学モデルを組み合わせている。検討の対象としたコンクリートの用途は、住宅を含む 11 の用途（建築物、インフラ、一次産業）。

c) 需要側の対策

需要側の対策（図 III-45 の桃色の対策）として、①原材料を効率的に使用する設計、②廃材の削減、③集中的な利用、④長寿命化、⑤解体部品の再利用、⑥骨材への再生利用、⑦解体廃材の長期備蓄を想定している（⑤～⑦は End-of-life options に含まれる）。対策による効果は様々な研究成果を用いている。なお、木材等の他の材料への転換は考慮されていない。対策間の影響は考慮されている（例：長寿命化による廃棄物の減少）。

[28] Takuma Watari, Zhi Cao, Sho Hata, Keisuke Nansai (2022) Efficient use of cement and concrete to reduce reliance on supply-side technologies for net-zero emissions. Nature Communications, 4158, Volume 13

表 III-53　需要側の対策（モデル分析での設定）

| | |
|---|---|
| Material-efficient design | A 15% reduction in cement content in concrete and a 13% reduction in concrete intensity of buildings and infrastructure |
| Construction waste reduction | A 1% reduction in construction waste generation |
| More intensive use | A 20% reduction in building floor space per capita and a 9% reduction in infrastructure stock per capita |
| Lifetime extension | A 90% increase in building lifetime and a 30% increase in infrastructure lifetime |
| Component reuse | A 15% reuse rate of demolished building concrete |
| Downcycling | A 10% downcycling rate of demolished concrete |
| Waste stockpiling | Extension of waste stockpiling period to one year |

出典：Watari et al. 2022, supplementary information, p.s26 より一部抜粋

© Takuma Watari, Zhi Cao, Sho Hata, Keisuke Nansai 2022. This article is licensed under a Creative Commons Attribution 4.0 International License (http://creativecommons.org/licenses/by/4.0/.)

## 2.2 循環経済が廃棄物・資源循環分野の脱炭素化に与える影響を定量化する際の試算方針

2.1 に挙げられていないものも含め、試算のアプローチとしては大まかに以下の 2 種類があると思われる。

- **エネルギーシステムモデルを用いた分析**（将来時点までを計算することが多い）
  - ✓ エネルギー基本計画策定過程において参考とされた RITE の DNE モデル分析では、需要変容としてカーシェア・ライドシェアの劇的な拡大を想定したシナリオが含められた。RITE は、経済産業省委託事業により、エネルギー需要サイドに焦点を当てた国際研究プロジェクト EDITS を IIASA の研究を得て実施中（20 程度の研究機関が参加）。
  - ✓ 環境省（地球環境局）では、本年度より「需給一体の脱炭素化対策・施策検討委託業務」を実施。DX と循環経済に着目している。
- **マテリアルフロー・ストック側からのアプローチ**（フローの削減に着目して単年度でのポテンシャルを推計する場合もある）
  - ✓ 産業連関分析（最も単純な形式としては単年のフローの分析）では、比較的広範な部門（分野）を対象に計算が可能。（例：Circularity Gap Report, Ohno et al.）
  - ✓ 将来推計とはいえないが、具体的に試算していく場合には有望なアプローチと考えられる。
- **エネルギーシステムモデルとマテリアルフロー・ストック側からのアプローチを統合したモデリング**
  - ✓ 循環経済オプションに焦点を当てたものではないが、マテリアルフロー・ストックとエネルギーシステムモデルを組み合わせた長期シミュレーションとして、例えば安達ら(2015)[29]がある。しかし、相当のモデリング作業が必要となり、ベースとなるモデルがない中で限られた期間内で実施することは現実的な困難性が大きい。

上記を踏まえ、試算方針例を表 III-54、試算に向けた整理として調査文献における循環経済に関する対策（住宅）を表 III-55 に示す。

**表 III-54　循環経済が廃棄物・資源循環分野の脱炭素化に与える影響の定量化方針例**

| 検討項目 | 試算方針（案） |
|---|---|
| 定量化手法 | 産業連関分析 |
| 対象（地理） | 日本　（アルミニウムの一次生産など国内に生産工程がない部分は課題） |
| 対象（素材） | ①プラスチック・廃油<br>②バイオマス<br>③ベースメタルやレアメタル等の金属<br>④土石・建設材料 |
| 対象（製品） | ①建築物（主に住宅）<br>②自動車<br>③小電・家電<br>④温暖化対策等により新たに普及した製品や素材<br>⑤ファッション |
| GHG排出量のバウンダリ | 生産、消費段階 |
| 循環経済オプション、選定方法 | • 循環経済オプションの種類は「資源効率性と気候変動」（UNEP）を基本とする。<br>• 循環工程表で対象とする取組について「The Circularity Gap Report 2021」等、レビューした文献を参考にシナリオ化する。 |

**※循環経済工程表で示された対象について試算可能性（シナリオ設定、データ・パラメータの入手可能性）を検討・整理**
実際には、例えば新たに普及した製品や素材は、産業連関表に対応する部門がないなど短期的な試算は困難なことも想定される。

[29] 安達 毅, 時松 宏治, 村上 進亮, 安岡 理恵子, 井伊 亮太「エネルギー消費を考慮した長期需給モデルの開発と非鉄金属資源の持続的供給評価に関する研究」エネルギー・資源学会論文誌 (2015) 36 巻 3 号, p. 1-10. https://doi.org/10.24778/jjser.36.3_1

表 III-55　調査文献における循環経済に関する対策［住宅］

| 項目・Step ※１ | The Circularity Gap Report 2021 | 「資源効率性と気候変動」 | Watari et al. (2022)※３ |
|---|---|---|---|
| ①使用後回収の改善と物質のリサイクル【Step1～】 | • 建築資材における再生材使用量の増加（S_23 循環型建築材） | • スチールの回収率は90%より大きいと想定<br>• コンクリートのリサイクルは想定していない<br>• その他材料の回収率：アルミニウム87%（+8pp）、銅78% (+15pp)、プラスチック18% (+52pp)、木材30% (+0pp) カッコ内のppは材料効率の高いシナリオにおける回収率の増加分（2060年）報告書p.41 | • 廃コンクリートのダウンリサイクル率10% |
| ②製造歩留りの改善【Step1～】 | (報告書からは読み取れない) | (報告書からは読み取れない) | • 建築廃棄物を1%削減 |
| ③回収、再生品製造および部品の再利用【Step2～】 | (報告書からは読み取れない) | • スチール製部品を29%、コンクリート部品を27%再利用（2060年・全シナリオ）報告書p.41 | • 解体した建築物より発生するコンクリートの再利用率15% |
| ④製品寿命の延長【Step2～】 | • モジュール方式化と修理可能性による建築部材の平均寿命の増加<br>• 改修と修理による商業用・住宅用建物の平均寿命の増加<br>• オフィスビルの平均寿命の増加（28年→70年）、共同住宅の平均寿命の増加（40年→90年）（S_16 住宅の耐久性向上（長寿命化）） | • 現状より90%の増加（全シナリオ・改修は考慮していない。既存住宅のクリーンエネルギーへの移行は考慮）報告書p.41 | • 建築物の寿命を90%増、インフラの寿命を30%増 |
| ⑤物質代替【Step3～】 | • 低炭素の自然建材の使用（セメント、アルミ、鉄鋼を木やレンガなどの自然素材に置き換える）（S_14 “エコ”な住宅のうち(d)） | • コンクリート・レンガ製の壁などを同一の熱抵抗である木材で代替（内側での断熱）。スチール製の梁を木材で代替（新規住宅での導入割合：LED 85%, SSP1 50%, SSP2 10%））報告書p.40-41 | （木材等への材料転換を考慮していない） |
| ⑥省物質設計【Step4～】 | • ベアリングエレメント（軸受要素）の少ない設計/軽量化（金属製品、セメント、瀝青（れきせい）炭製品に対する支出の減少、石材、木材、その他の非金属鉱物、砂、粘土などの自然素材に対する支出の増加。）（S_15 資源効率的な建築のうち(a)） | • 壁やスラブに使用される鉄筋コンクリートを20%、梁に使用されるスチールを15%減少させる。（2050年における新規住宅での導入割合：LED 85%, SSP1 55%, SSP2 35%）報告書p.41 | • コンクリート中のセメント含有率15%減、建築物及びインフラのコンクリート強度13%減 |
| ⑦より集約的な使用【Step5～】 | • 住宅ストックの拡大抑制（S_12床面積の削減） | • 「より集約的な使用」実施前の一人あたり床面積（㎡/人・**日本※2**）：39（2015年）、30（LED, 2060年）、39（SSP1, 2060年）、46（SSP2, 2060年）報告書 Table 6, p.40<br>• 実施後の想定：LED 0%, SSP1 -20%, SSP2 -20%<br>• 集合住宅への移行（%）：80%程度（LED）報告書p.40 | • 建築物の一人あたり床面積20%減、一人あたりインフラストックを9%減 |
| その他 | • 使用段階におけるエネルギー消費量に関する内容もある。 | • 戸建と集合住宅に対し、4種類のエネルギー効率を想定（「基準を満たしていない」「標準」「効率的」「ZEB」）。SSP2では新規に建設される住宅の約半数が高い効率あるいはZEBと想定　報告書p.40 | • 解体廃材の備蓄を1年間に延長 |

※１：「項目」の①～⑦は、「資源効率性と気候変動」における気候変動に向けた物質効率性戦略（報告書 p.28-29）、「Step」は同報告書で設定されている実施しやすさを踏まえた評価の順序
※２：2015 年の実績値を踏まえて設定
※３：素材はコンクリート・セメントのみで、住宅以外の建築物・インフラ・一次産業を含む

# IV. 廃棄物・資源循環分野の 2050 年カーボンニュートラル・脱炭素社会の実現に向けた検討会及び有識者ヒアリングの開催

## 1. 検討会の設置・運営

本業務の実施にあたって、学識経験者及び資源循環分野関係専門家等を含む「廃棄物・資源循環分野の 2050 年カーボンニュートラル・脱炭素社会の実現に向けた検討会（令和 4 年度）」を設置し、政策や技術等を検討するとともに、海外事例等を参考としつつ、実現に向けた課題や手法等を整理することを目的に検討会の運営を行った。検討会委員は 16 名とし、オンラインと会場（主に事務局）のハイブリッド形式で開催した。

### 1.1 検討会委員

**表 IV-1　検討会委員名簿**

| 氏名 | 所属・役職 |
|---|---|
| 粟生木 千佳 | 公益財団法人地球環境戦略研究機関 持続可能な消費と生産領域 主任研究員 |
| 浅利 美鈴 | 京都大学大学院 地球環境学堂 准教授 |
| 大久保 規子 | 大阪大学大学院 法学研究科 教授 |
| 大熊 洋二 | 公益社団法人全国都市清掃会議 専務理事 |
| 大迫 政浩 | 国立研究開発法人国立環境研究所 資源循環領域 領域長 |
| 大塚 直 | 早稲田大学 法学部 教授 |
| 小野田 弘士 | 早稲田大学大学院 環境・エネルギー研究科 教授 |
| 倉持 秀敏 | 国立研究開発法人国立環境研究所 資源循環領域 副領域長 |
| 酒井 伸一<br>【座長】 | 公益財団法人京都高度技術研究所 副所長 |
| 高岡 昌輝 | 京都大学大学院 工学研究科 教授 |
| 田中 朝都 | 一般社団法人日本環境衛生施設工業会 技術委員会 委員長 |
| 飛田 実 | DOWA ホールディングス株式会社 取締役 |
| 橋本 征二 | 立命館大学 理工学部 環境都市工学科 教授 |
| 古澤 康夫 | 東京都 環境局 資源循環推進部 資源循環推進専門課長 |
| 見山 謙一郎 | 専修大学 経営学部 特任教授 |
| 村上 進亮 | 東京大学大学院 工学系研究科 教授 |

※五十音順
※敬称略、第 4 回検討会時点の所属・役職

## 1.2 検討会開催経過

検討会は、令和 4 年 9 月、11 月及び令和 5 年 2 月（2 回）の 4 回に渡って開催した。各検討会の開催経過は表 IV-2 のとおりである。

**表 IV-2　検討会開催経過**

| 検討会 | 検討内容 |
|---|---|
| 第 1 回検討会 | ○これまでの経緯と、今年度の検討事項について<br>○現行の廃棄物処理施設整備計画の策定経緯と現状について<br>○次期廃棄物処理施設整備計画の策定方針について |
| 第 2 回検討会 | ○検討会（第 1 回）の指摘事項<br>○次期廃棄物処理施設整備計画の骨子案について<br>○次期廃棄物処理施設整備計画における目標・指標について<br>○「廃棄物の減量その他その適正な処理に関する施策の総合的かつ計画的な推進を図るための基本的な方針」の改定ポイントについて |
| 第 3 回検討会 | ○検討会（第 2 回）の指摘事項<br>○次期廃棄物処理施設整備計画の素案について<br>○次期廃棄物処理施設整備計画における目標・指標について<br>○「廃棄物の減量その他その適正な処理に関する施策の総合的かつ計画的な推進を図るための基本的な方針」の改定ポイントについて |
| 第 4 回検討会 | ○検討会（第 3 回）の指摘事項<br>○次期廃棄物処理施設整備計画（案）について<br>○次期廃棄物処理施設整備計画における目標・指標について<br>○「廃棄物の減量その他その適正な処理に関する施策の総合的かつ計画的な推進を図るための基本的な方針」の変更について |

### （1）第 1 回検討会

日時　令和 4 年 9 月 15 日（木）10 時 00 分～12 時 00 分

場所　オンライン（Webex）・航空会館（座長・事務局）

### （2）第 2 回検討会

日時　令和 4 年 11 月 9 日（水）9 時 00 分～12 時 00 分

場所　オンライン（Webex）・航空会館（事務局）

### （3）第 3 回検討会

日時　令和 5 年 2 月 3 日（金）9 時 00 分～12 時 00 分

場所　オンライン（Webex）・航空会館（事務局）

### （4）第４回検討会

日時　令和 5 年 2 月 28 日（火）13 時 00 分～16 時 00 分

場所　オンライン（Webex）・航空会館（座長・事務局）

## 2. 有識者ヒアリング実施概要

検討会を実施するうえで必要となる専門的な内容の検討のため、有識者へのヒアリングを表 IV-3 に示すとおり実施した。

表 IV-3　ヒアリング実施概要

| No. | 実施日時 | 対象者 | ヒアリング概要 |
|---|---|---|---|
| 1 | 令和 4 年 5 月 18 日（水）<br>10：00～12：30 | 公益財団法人京都高度技術研究所<br>副所長　酒井伸一 氏 | ・ 業務全体概要の説明<br>・ 施設整備計画見直し案の検討方針について<br>・ 「資源循環を通じた素材毎のライフサイクル全体の脱炭素化に向けた検討」の全体方針について |
| 2 | 令和 4 年 6 月 29 日（水）<br>10：00～12：00 | 公益財団法人京都高度技術研究所<br>副所長　酒井伸一 氏 | ・ 次期施設整備計画の構成と見出しについて<br>・ 次期施設整備計画の指標と処理システムの在り方について |
| 3 | 令和 4 年 8 月 27 日（土）<br>15：30～17：30 | 公益財団法人京都高度技術研究所<br>副所長　酒井伸一 氏 | ・ 2050 年 CN に向けた今後の施設整備方針について<br>・ 施設整備計画の改訂について<br>・ 施設整備事業の実施に関する重点目標の進捗状況 |
| 4 | 令和 4 年 9 月 12 日（月）<br>16：00～17：30 | 公益財団法人京都高度技術研究所<br>副所長　酒井伸一 氏 | ・ 次期施設整備計画の策定方針について |
| 5 | 令和 4 年 10 月 20 日（木）<br>11：00～12：30 | 公益財団法人京都高度技術研究所<br>副所長　酒井伸一 氏 | ・ 次期施設整備計画の骨子案及び目標・指標について<br>・ 廃掃法基本方針の改定方針について |
| 6 | 令和 4 年 10 月 21 日（金）<br>13：30～15：30 | 国立環境研究所　資源循環領域<br>主任研究員　河井紘輔 氏<br>京都大学 環境安全保健機構<br>附属環境科学センター　教授<br>平井康弘 氏 | ・ 将来のごみ排出量の推計について<br>・ 紙おむつについて<br>・ 紙おむつ以外も含めた将来量・組成等の設定について |
| 7 | 令和 4 年 11 月 7 日（月）<br>17：30～19：30 | 公益財団法人京都高度技術研究所<br>副所長　酒井伸一 氏 | ・ 次期施設整備計画の骨子案及び目標・指標について<br>・ 廃掃法基本方針の改定方針について<br>・ 各種調査結果について |
| 8 | 令和 4 年 12 月 9 日（金）<br>14:00～16:00 | 公益財団法人京都高度技術研究所<br>副所長　酒井伸一 氏 | ・ 次期施設整備計画の骨子案及び目標・指標について<br>・ 廃掃法基本方針の改定方針について<br>・ 脱炭素型処理施設のイメージと Renewable について<br>・ 総排出量の指標化について |
| 9 | 令和 5 年 1 月 24 日（火）<br>13:00～14:30 | 公益財団法人京都高度技術研究所<br>副所長　酒井伸一 氏 | ・ 次期施設整備計画（素案）及び目標・指標について<br>・ 2050CN に向けた施設整備の早期の推進等に向けた検討について<br>・ 廃掃法基本方針の改定方針について |
| 10 | 令和 5 年 2 月 22 日（水）<br>14:00～15:30 | 公益財団法人京都高度技術研究所<br>副所長　酒井伸一 氏 | ・ 次期施設整備計画（案）及び目標・指標について<br>・ 廃掃法基本方針の改定方針について |

# V. 廃棄物・資源循環分野における 2050 カーボンニュートラル実行計画骨子案の作成

Ⅰ.～Ⅳ.の結果を踏まえ「廃棄物・資源循環分野における 2050 年温室効果ガス排出実質ゼロに向けた中長期シナリオ（案）」（以下、「中長期シナリオ（案）」という。）を具体的に実行するために必要な事項を整理した「廃棄物・資源循環分野における 2050 年カーボンニュートラル実行計画骨子案」（以下、「実行計画骨子案」という。）の検討を以下のとおり行った。また、温室効果ガスインベントリの算定方法に基づき定量的な検討を行い、整理を行った。

## 1. 目次の検討

実行計画骨子案の目次は、以下のとおり設定した。

はじめに
第一章　本計画の目的・位置づけ
第二章　廃棄物・資源循環分野における2050年温室効果ガス排出実質ゼロに向けた中長期シナリオ（案）の概要
第三章　3R+RENEWABLEを基盤とした資源生産性向上による脱炭素化の可能性
第四章　重点対策領域I　現状と求められる取組
第五章　重点対策領域II　現状と求められる取組
第六章　重点対策領域III　現状と求められる取組
第七章　横断的な取組
第八章　中長期シナリオ（案）のアップデートと本計画の進捗管理

## 2. 章ごとの検討

### 2.1「第一章 本計画の目的・位置づけ」について

実行計画骨子案の目的・位置づけは、「循環経済工程表」を参考に、以下のとおりとした。

- 本計画は、中長期シナリオを元に、2050 年 CN 実現に向けて必要となる取組を更に掘り下げて示すものであり、本計画に記載の事項は、環境省の施策・事業に反映させていくほか、廃棄物・資源循環分野の関係者や関係分野へのメッセージとなることを期待するものである。
- なお本計画には、CCUS 等の技術の進展等を踏まえた廃棄物・資源循環分野における脱炭素技術の評価検証結果や、廃棄物処理システム及び施設整備の方針等の検討結果、各産業分野と意見交換を行いながら、主要な素材について脱炭素につながる資源循環の取組による排出削減ポテンシャルの分析を行った結果を反映している。

**＜参考＞循環経済工程表（抜粋）**

5. 廃棄物処理システムの方向性
令和３年８月に循環部会で議論した「廃棄物・資源循環分野における2050年温室効果ガス排出実質ゼロに向けた中長期シナリオ（案）」を元に、CCUS等の技術の進展等を踏まえた廃棄物・資源循環分野における脱炭素技術の評価検証や、廃棄物処理システム及び施設整備の方針等の検討を進めることで、2050年カーボンニュートラル実現に向けた取り組みを更に

掘り下げていく。また、関係者との連携方策等について検討し、これらをまとめた実行計画の策定を進める。

実行計画の策定に向けては、循環経済アプローチの推進などにより資源循環を進めることによる社会全体での温室効果ガス削減ポテンシャルについても分析を行うとともに、官民で連携して方策の検討を行う。具体的には、各産業分野と意見交換しながら、主要な素材（鉄鋼、プラスチック、セメント等）について、各産業分野で既に検討している脱炭素実現に向けた中長期のビジョンやシナリオを踏まえて、脱炭素につながる資源循環の取組による排出削減ポテンシャルの分析を行い、廃棄物・資源循環分野の脱炭素に向けた実行計画づくりに反映させていく。

### 2.2「第二章 中長期シナリオ（案）の概要」について

本章は、令和 3 年度に作成された「中長期シナリオ（案） 解説書」の以下の頁を参考に作成した。

| 項目 | | 解説書該当ページ |
|---|---|---|
| 1. 2050 年 CN・脱炭素社会の実現に向けて廃棄物・資源循環分野が果たす役割 | | P.16 |
| | 1.1 3R+Renewable を基盤とした資源生産性向上による脱炭素化 | P.7 |
| | 1.2 資源循環・適正処理システムの脱炭素化 | P.8 |
| 2. 重点対策領域 | | P.8 |
| 3. 2050 年 CN に向けた廃棄物・資源循環分野の基本的考え方 | | P.9 |
| 4. 2050 年に実質ゼロ化する廃棄物・資源循環分野の GHG 排出と将来シナリオにおける見通し | | |
| | 4.1 2050 年に実質ゼロ化する廃棄物・資源循環分野の GHG 排出の定義（案） | P.10 |
| | 4.2 2050 年温室効果ガス排出実質ゼロに向けた廃棄物・資源循環分野の中長期シナリオ | P.11,12 |

### 2.3「第三章 3R+RENEWABLE を基盤とした資源生産性向上による脱炭素化の可能性」について

#### （1）循環経済アプローチによる社会全体での温室効果ガス削減ポテンシャルの分析事例

本章では、本業務での調査結果に基づき、日本を対象とした循環経済アプローチによる社会全体での温室効果ガス削減ポテンシャルの国内外におけるこれまでの分析事例について取りまとめた。

#### （2）関連分野における脱炭素実現と廃棄物・資源循環分野の脱炭素化との関係性

本章では、本業務で調査した関連分野における脱炭素実現に向けた中長期のビジョンやシナリオの調査の結果等に基づき、関連分野における脱炭素実現と廃棄物・資源循環分野の脱炭素化との関係性について、これまでの調査範囲の中での整理を取りまとめた。

### 2.4「第四章 重点対策領域Ⅰ 現状と求められる取組」について

本章では、循環経済工程表に記載の内容や令和 3 年度調査及び本調査の結果、検討会における委員御指摘事項等を踏まえ、現状と課題、具体的な取組について整理・検討を行った。

### 2.5「第五章 重点対策領域 II 現状と求められる取組」について

本章では、循環経済工程表に記載の内容や令和 3 年度調査及び本調査の結果、検討会における委員御指摘事項等を踏まえ、現状と課題、具体的な取組について整理・検討を行った。

### 2.6「第六章 重点対策領域 III 現状と求められる取組」について

本章では、循環経済工程表に記載の内容や令和３年度調査及び本調査の結果、検討会における委員御指摘事項等を踏まえ、現状と課題、具体的な取組について整理・検討を行った。

### 2.7「第七章 横断的な取組」について

本章では、第四章から第六章までででは記載しきれない、あるいは共通して実施することが望ましい取組について、文献調査やヒアリング調査を含む各種調査結果、関連する検討会等での御指摘事項、関連計画の内容等を踏まえ整理・検討を行った。

### 2.8「第八章 中長期シナリオ（案）のアップデートと本計画の進捗管理」について

本章では、廃棄物・資源循環分野の 2050CN を実現するために必要な関係者（関係省庁、地方公共団体、関連分野、消費者、学識者・有識者等）との連携方策や中長期シナリオの随時見直しの方針、本計画の進捗管理方法（PDCA）について記載することを想定している。

### 3. 温室効果ガスインベントリの算定方法に基づく定量的な検討について

一般廃棄物について、将来の非エネルギー起源の温室効果ガス排出量を推計するベースとなる、現状の成り行き（現状以上の発生抑制等の対策を行わない）の場合における廃棄物中の化石由来炭素量について、温室効果ガスインベントリの算定方法に基づき、下記の 3 種類の方法で 2050 年までの推計を行い、整理した。

「①人口変化のみを考慮するケース」では、一人当たりのごみ排出量とその組成が現状から変化しないと仮定し、将来の人口減少のみを考慮した。「②一人当たりのごみ排出量変化（総量）を考慮するケース」では、人口減少に加えて、過去 5 年間の一人当たりのごみ排出総量を対数近似することにより、一人当たりのごみ排出量の変化を考慮した。組成については現状の組成のまま一定であると仮定した。「③一人当たりのごみ排出量変化（総量）を考慮するケース」では、人口減少に加えて、過去 5 年間の一人当たりのごみ排出量を組成別に対数近似することにより、組成ごとの排出量の変化を考慮した。

①~③の方法による 2030 年、2040 年、2050 年の廃棄物中の化石由来炭素量（CO2 換算）の推計結果を下表に示す。

表 V-1　推計方法別の化石由来炭素量（kt-CO2）

| | 2030年 | 2040年 | 2050年 |
|---|---|---|---|
| ①人口減少のみ | 12,492 | 11,632 | 10,688 |
| ②人口減少＋一人当たり発生量変化（総量） | 12,272 | 11,360 | 10,398 |
| ③人口減少＋一人当たり発生量変化（組成別） | 12,583 | 11,822 | 10,928 |

本報告書に記載の環境省以外の第三者の知的財産権が関与する内容については、二次利用の了承を得られていない。