# LSA 環境講演会

## 「気候変動にともなう脱炭素社会構築に向けた廃棄物行政と処分場のあり方」

令和 4(2022)年 6 月 20 日　北とぴあ 3 階「つつじホール」にて

(及び Microsoft Teams によるハイブリッド形式)

特定非営利活動法人　最終処分場技術システム研究協会

LSA 環境講演会

# 気候変動にともなう脱炭素社会構築に向けた
# 廃棄物行政と処分場のあり方

期　日　令和4(2022)年6月20日（月）
時　間　13:30～17:15
場　所　（財）北区文化振興財団「北とぴあ3階　＜つつじホール＞」
（及びMicrosoft Teamsによるハイブリッド形式）
住所：〒114-8503　東京都北区王子1－11－1
電話：03－5390－1100　http://www.kitabunka.or.jp/

開　会　　13時30分

【特別講演】13時35分～14時30分
“最近の廃棄物・資源循環行政の動向”
環境省　環境再生・資源循環局　廃棄物適正処理推進課　　山田浩司 殿

【講演１】　14時30分～15時15分
“気候変動にともなう脱炭素社会構築に向けた廃棄物行政と処分場のあり方”
環境省　環境再生・資源循環局　廃棄物適正処理推進課　　北垣芳彦 殿

＜休憩　15時15分～15時30分＞

【講演2】　15時30分～16時15分
“都市副産物のCO2固定化性能を活用したカーボンキャップチャー未来社会構想”
早稲田大学理工学術院　創造理工学部　社会環境工学科　　小峯秀雄 殿

【講演3】　16時15分～17時15分
“環境研究総合推進費　廃棄物最終処分場の長寿命化に伴う機能検査と
気候変動適応策の成果と今後の課題”
北海道大学大学院工学研究院　環境工学部門　環境工学分野
循環共生システム研究室　　石井一英 殿

閉　会　　17時15分

特別講演

# 最近の廃棄物・資源循環行政の動向

環境省
環境再生・資源循環局　廃棄物適正処理推進課
課長補佐　山田浩司

環境省
Ministry of the Environment

# 最近の廃棄物・資源循環行政の動向

令和４年６月

環境省環境再生・資源循環局
廃棄物適正処理推進課

1. 循環型社会・循環経済の概要
2. 循環経済への移行促進
3. 循環型社会形成推進交付金
4. 新型コロナウイルス感染症に係る廃棄物分野の対応
5. 災害廃棄物処理

（※”脱炭素化”及び“地域循環共生圏”については、講演１でご説明）

1

# 1. 循環型社会・循環経済の概要

2

3

## 廃棄物の適正処理～廃棄物行政の原点～

- 生活の中で必ず発生する「ごみ」や「し尿」は、適切に処理しなければ、市民の生活環境や公衆衛生への悪影響が直ちに懸念される。
- また、事業活動の中で発生する廃棄物の処理は、排出事業者にとってコストであり、適正な処理が進むように、適切な枠組みが整っていることが必要。
- 他方、迷惑施設と受け止められがちな廃棄物処理施設は、立地までに多くの労力が必要となることが多い。
- 戦後、我が国は、責任主体の明確化と廃棄物の処理を行う業や施設の許可制を軸とした必要な法規制と施設整備の支援により、廃棄物の適正処理を確保。

**経済成長の裏返し**

ゴミの増大と多様化

**市民、起業家の感覚**

処理施設への忌避感

- 適正処理困難物の出現
- ゴミ処理の押し付け合い
- 不法投棄

**生じる事態**

不法投棄件数

## 廃棄物の処理及び清掃に関する法律の概要（※改正法施行後）

**分類**

**廃棄物**　汚物又は不要物であって固形状又は液状のもの（放射性物質等を除く。）

- **一般廃棄物**：産業廃棄物以外の廃棄物（家庭から排出されるごみ等）
- **産業廃棄物**：事業活動に伴って生じた廃棄物のうち、燃え殻、汚泥、廃油、廃プラスチック類等

**有害使用済機器**：使用を終了し、収集された機器のうち、有害なもの

**国の役割**

- ○ 基本方針、廃棄物処理施設整備計画の策定
- ○ 技術開発・情報収集
- ○ 処理基準、施設基準、委託基準の設定
- ○ 廃棄物の輸出の確認、輸入の許可

等

**廃棄物処理に係る主な規制**

**市町村長**

**市町村**　処理責任
- 一般廃棄物処理計画の策定
- 一般廃棄物を生活環境保全上の支障が生じないうちに処理しなければならない
- 処理基準の遵守
- 委託基準の遵守

→ ・許可 ・報告徴収・立入検査 ・改善命令・措置命令

**一般廃棄物処理業者**
- 処理基準の遵守
- 再委託の禁止

**都道府県知事 政令市長**

→ ・許可 ・報告徴収 立入検査 ・改善命令

**一般廃棄物処理施設設置者**
- ・処理基準の遵守
- ・再委託の禁止

**排出事業者**　処理責任
- 産業廃棄物を自ら処理しなければならない
- 保管基準、処理基準の遵守
- 委託基準の遵守
- 管理票の交付・保存義務

← ・報告徴収立入検査 ・改善命令 ・措置命令 ・管理票に係る勧告

**産業廃棄物処理業者**
- 処理基準の遵守
- 再委託の原則禁止
- 管理票の回付・送付義務
- 優良事業者の認定

← ・許可 ・報告徴収立入検査 ・改善命令 ・措置命令 ・管理票に係る勧告

**産業廃棄物処理施設設置者**
- 維持管理基準の遵守
- 維持管理積立金の積立義務

← ・許可 ・報告徴収立入検査 ・改善命令 ・定期検査

**都道府県知事 政令市長**

→ ・報告徴収 立入検査 ・改善命令 ・措置命令

**有害使用済機器保管等業者**
- 届出義務
- 保管基準等の遵守

**特例・認定**

- ○**再生利用認定制度**　大規模再生利用を行う者を環境大臣が認定。（認定例）・廃肉骨粉をセメント原料として利用
- ○**広域認定制度**　廃棄物の減量等に資する広域的処理を行う者を環境大臣が認定。（認定例）・廃パソコン　・廃二輪自動車　・廃消火器
- ○**無害化認定制度**　石綿、ＰＣＢの無害化処理を行う者を環境大臣が認定。
- ○**熱回収施設設置者認定制度**　熱回収（廃棄物発電・余熱利用）の機能を有する施設の設置者を都道府県知事が認定。
- ○**優良認定制度**　優良な産業廃棄物処理業者を都道府県知事が認定

**罰則**

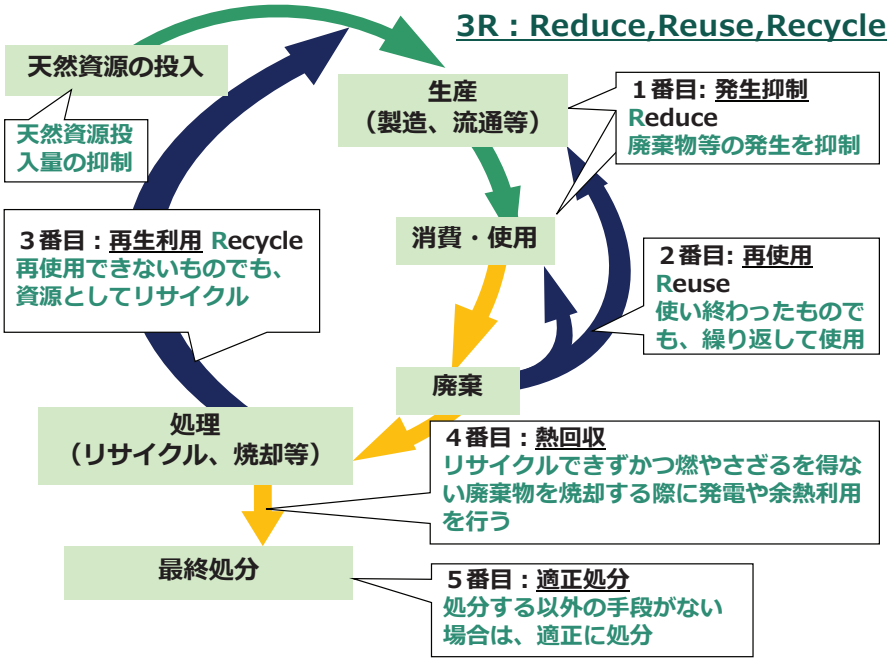
- ○**不法投棄・不法焼却・無許可営業**
  5年以下の懲役or１千万円以下の罰金又は併科
- ○**委託基準違反・改善命令違反**
  3年以下の懲役or３百万円以下の罰金又は併科
- ※　**法人の場合３億円以下の罰金刑**

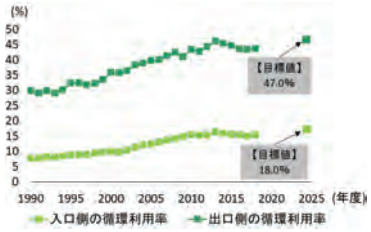


## 循環型社会づくり

環境省

我が国では、最終処分場の逼迫などを背景として、2000年前後から、**廃棄物等の発生抑制と適正な循環的利用・処分**により、天然資源の消費を抑制し、環境への負荷ができる限り低減される「循環型社会」づくりを進めている。




循環利用率

資源生産性

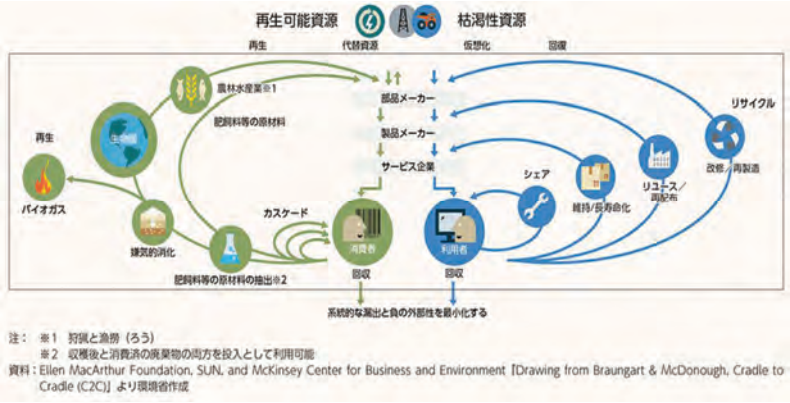
## 循環経済（サーキュラーエコノミー）への移行

環境省

- 廃棄物の増加のみならず、資源・エネルギー制約、食料需要、気候変動、生物多様性損失の深刻化など、人間の経済活動による地球の限界への懸念が世界的課題となっている。
- 近年、欧州を中心に、**大量生産・大量消費・大量廃棄型の線形経済から、資源が循環し、エネルギー消費を抑制する循環経済への移行**に向けた取組が進みつつある。
- 我が国でも、成長戦略のKPIとして、**2030年までに循環経済関連ビジネスの市場規模を80兆円以上**とする旨を位置づけ、循環経済への移行を推進することとしている。

**鍵となる取組**（例）

リユース、シェアリング、リペア、リファービッシュ、リマニュファクチャリング、リサイクルなど




SUSTAINABLE DEVELOPMENT GOALS

Plastics Smart

## 循環型社会を形成するための法体系

環境省

**環境基本法** H６.８完全施行

**環境基本計画** H29.４ 全面改正公表

**循環型社会形成推進基本法**（基本的枠組法） H13.１完全施行
- 社会の物質循環の確保
- 天然資源の消費の抑制
- 環境負荷の低減

**循環型社会形成推進基本計画**（国の他の計画の基本） H.15・３ 公表 H.30・６ 全面改正

### 廃棄物の適正処理

**廃棄物処理法** H.29・６ 一部改正

①廃棄物の発生抑制 ②廃棄物の適正処理（リサイクルを含む）
③廃棄物処理施設の設置規制 ④廃棄物処理業者に対する規制
⑤廃棄物処理基準の設定 等

### 再生利用の推進

**資源有効利用促進法** H13.４ 全面改正施行

①再生資源のリサイクル ②リサイクル容易な構造・材質等の工夫
③分別回収のための表示 ④副産物の有効利用の促進
**リサイクル（１R）→リデュース・リユース・リサイクル（３R）**

**プラスチック資源循環法** R4.4 施行 ← 素材に着目した包括的な法制度

[多種多様な個別物品の特性に応じた規制]

| 容器包装リサイクル法 | 家電リサイクル法 | 食品リサイクル法 | 建設リサイクル法 | 自動車リサイクル法 | 小型家電リサイクル法 |
|---|---|---|---|---|---|
| びん、ペットボトル、紙製・プラスチック製容器包装等 | エアコン、冷蔵庫・冷凍庫、テレビ、洗濯機・衣類乾燥機 | 食品残さ | 木材、コンクリート、アスファルト | 自動車 | 小型電子機器等 |
| H12.４ 完全施行<br>H18.６ 一部改正 | H13.４ 完全施行 | H13.５ 完全施行<br>H19.６ 一部改正 | H14.５ 完全施行 | H17.１ 本格施行 | H25.４ 施行 |

**グリーン購入法**（国が率先して再生品などの調達を推進） H13.４ 完全施行

※この他、「船舶の再資源化解体の適正な実施に関する法律」がある。（H30.6公布 未施行）

# 今後の廃棄物・資源循環行政の課題

環境省

**ミッション１**
**不変の原点の追求**

**廃棄物の適正処理を確保することで、生活環境を守る**

**ミッション２**
**時代の要請への対応**

**資源の循環を促すことで、ライフサイクル全体での環境負荷を減らす**

## 社会的背景

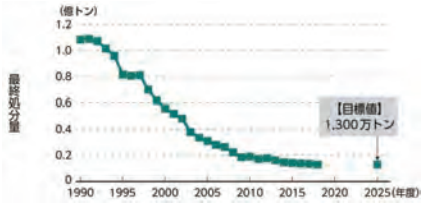
- 公衆衛生問題
- 公害問題

- 気候変動の顕在化
- 海洋プラスチック問題
- SDGs/ESG経営

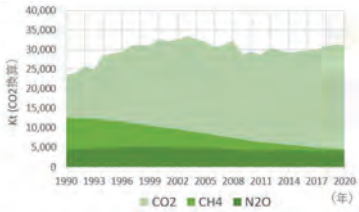
**大量生産・大量消費・大量廃棄の経済社会**

## 現状

■ 最終処分量




■ 廃棄物分野のGHG排出実績




## 今後の課題

- ○ 一般廃棄物処理施設の整備更新
- ○ 災害廃棄物の迅速な処理
- ○ PCBなどの有害廃棄物処理の推進
- ○ 不法投棄への対応
  （原状回復支援、電子マニフェスト）
- ○ 浄化槽の普及
- ○ 国際協力

- ○ 線形経済から循環経済（CE）への移行促進
  - ・プラスチック資源循環法の施行
  - ・ライフスタイル変革（食ロス、ファッションロス）
  - ・移行に対応する企業支援、異業種間の連携
- ○ 廃棄物処理のCN化
- ○ 暮らしの将来像を見据えた循環の仕組み作り
  （太陽光パネル、LIB、紙おむつ）
- ○ 国際協力

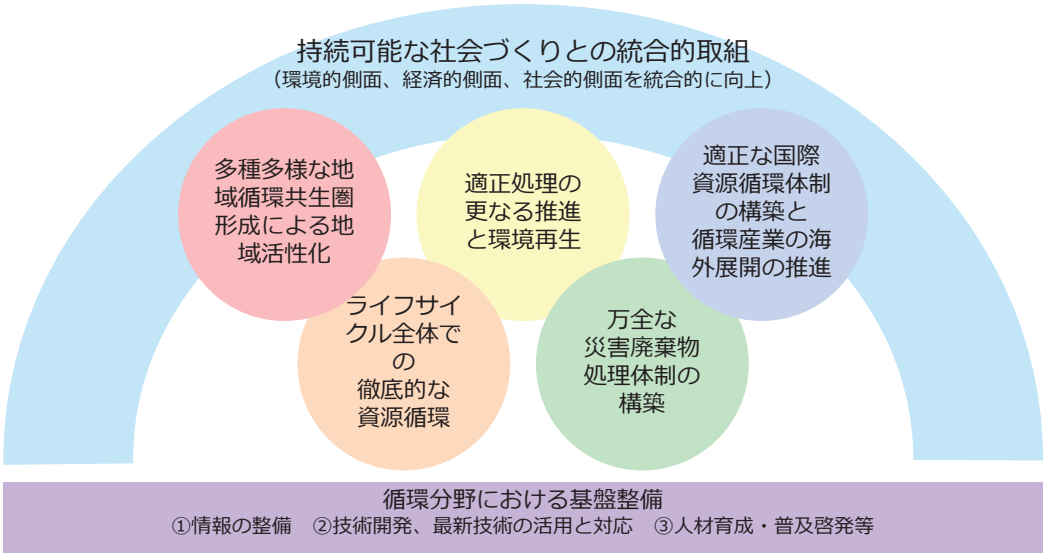
# 第四次循環型社会形成推進基本計画の概要

環境省

## 循環型社会形成推進基本計画（循環計画）とは

- 循環型社会形成推進基本法に基づき、循環型社会の形成に関する施策の基本的な方針、政府が総合的かつ計画的に講ずべき施策等を定めるもの
- 平成30年（2018年）６月19日に第四次循環計画を閣議決定

## 第四次循環計画の構成



## 第四次循環基本計画の第２回点検及び循環経済工程表の策定

**背景**

- 現行の**第四次循環基本計画**に、２年に１回程度、計画に基づく施策の進捗状況の評価・点検を行うことが明記。
- 令和３年10月22日に改訂された**地球温暖化対策計画**に、「サーキュラーエコノミーへの移行を加速するための工程表の今後の策定に向けて具体的検討を行う」と記載。
- 令和3年8月の循環部会で議論された**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）**に、ライフサイクル全般での資源循環に基づく脱炭素化の可能性について、各分野と意見交換を進めることが重要と記載。

**概要**

- 循環計画のうち「ライフサイクル全体での徹底的な資源循環」を重点点検分野と設定するとともに、これと密接に関連する分野（持続可能な社会づくりとの統合的取組、多種多様な地域循環共生圏形成による地域活性化、適正処理の更なる推進と環境再生、適正な国際資源循環体制の構築と循環産業の海外展開の推進など）について、点検評価を行うもの。
- 現行の**第四次循環基本計画の進捗点検**の評価・結果について、**循環経済工程表**として取りまとめる。
- 案の事前検討段階から広く国民の意見を反映させるために**パブリックコンサルテーション**を実施した上で、循環部会で審議を進め、本年夏頃目途に取りまとめる。

# 2. 循環経済への移行促進（プラスチック資源循環、企業との連携など）

## 廃プラスチックを巡る国際情勢　①

海洋プラスチックごみの多くが新興国・途上国から流出しているとも言われる。問題の解決に向けては、これらの国々を含む世界全体で取り組むことが重要。

**新興国・途上国を含むG20**において、**海洋プラスチックごみ対策のビジョンと実施枠組が共有**された。

### 大阪ブルー・オーシャン・ビジョン

・G20首脳が、**共通のグローバルなビジョンとして共有**
・他国や国際機関等にもビジョンの共有を呼びかけ（現在、**87の国と地域**が共有）

「社会にとってのプラスチックの重要な役割を認識しつつ、改善された廃棄物管理及び革新的な解決策によって、管理を誤ったプラスチックごみの流出を減らすことを含む、包括的なライフサイクルアプローチを通じて、2050年までに海洋プラスチックごみによる追加的な汚染をゼロにまで削減することを目指す。」

### G20海洋プラスチックごみ対策実施枠組

・G20持続可能な成長のためのエネルギー転換と地球環境に関する関係閣僚会合で採択
(1)G20各国は、以下の**自主的取組を実施**し、**効果的な対策と成果を共有・更新**することを通じた**相互学習を行う**
①適正な廃棄物管理、②海洋プラスチックごみ回収、
③革新的な解決策（イノベーション）の展開、④各国の能力強化のための国際協力など
(2)G20各国は、協調して、①国際協力の推進、②イノベーションの推進、③科学的知見の共有、④多様な関係者の関与と意識向上等を実施するとともに、G20以外にも展開

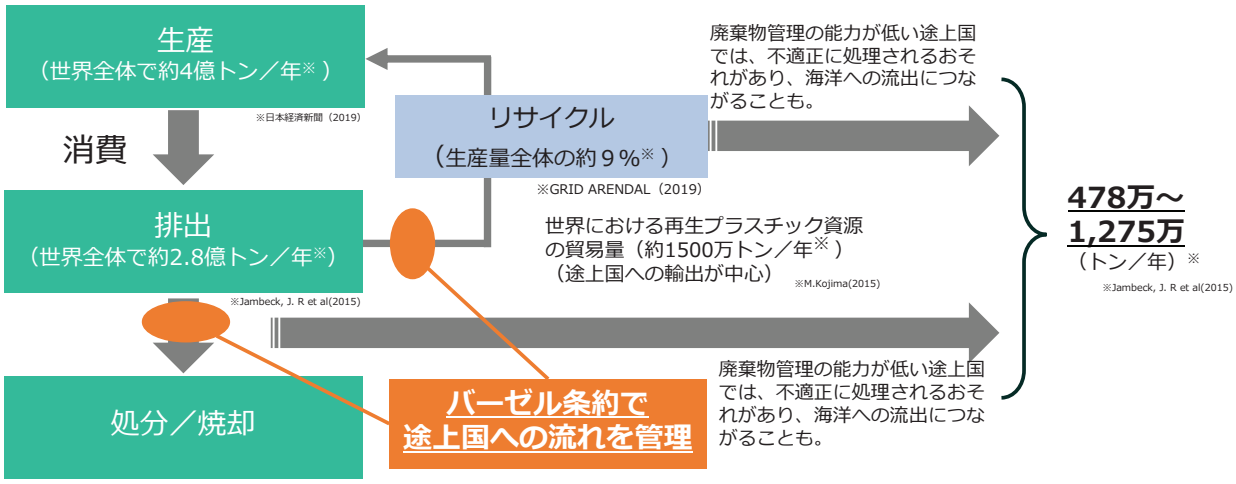
・上記をG20首脳が承認　「我々はまた、「G20海洋プラスチックごみ対策実施枠組」を支持する。」



## 廃プラスチックを巡る国際情勢　②

- 2017年に中国が国内での環境汚染等を理由に、プラスチックの輸入規制を実施。
- その後、中国に代わり東南アジア諸国へのプラスチックの輸出が増えたが、これらのプラスチックが、**輸入国におけるリサイクルの過程で不適切に処理され、環境汚染を引き起こしている**と指摘され、その結果、東南アジア諸国においても輸入規制が実施された。
- この問題の解決のため、有害廃棄物の越境移動等を規制するバーゼル条約の第14回締約国会議（COP14）において、**プラスチックの廃棄物を新たに条約の規制対象に追加**する条約附属書改正が決議された。改正附属書は2021年１月１日より発効され、我が国を含め、**国際的なプラスチックの輸出入の規制が強化**された。

<プラスチックの生産・処分の流れ>



# プラスチック資源循環戦略（概要）

令和元年５月31日

## 背景

◆廃プラスチック有効利用率の低さ、海洋プラスチック等による環境汚染が世界的課題
◆我が国は国内で適正処理・3Rを率先し、国際貢献も実施。一方、世界で2番目の1人当たりの容器包装廃棄量、アジア各国での輸入規制等の課題

## 重点戦略　基本原則：「3R＋Renewable」

| | |
|---|---|
| リデュース等 | ➢ ワンウェイプラスチックの使用削減(レジ袋有料化義務化等の「価値づけ」)<br>➢ 石油由来プラスチック代替品開発・利用の促進 |
| リサイクル | ➢ プラスチック資源の分かりやすく効果的な分別回収・リサイクル<br>➢ 漁具等の陸域回収徹底<br>➢ 連携協働と全体最適化による費用最小化・資源有効利用率の最大化<br>➢ アジア禁輸措置を受けた国内資源循環体制の構築<br>➢ イノベーション促進型の公正・最適なリサイクルシステム |
| 再生材<br>バイオプラ | ➢ 利用ポテンシャル向上（技術革新・インフラ整備支援）<br>➢ 需要喚起策（政府率先調達（グリーン購入）、利用インセンティブ措置等）<br>➢ 循環利用のための化学物質含有情報の取扱い<br>➢ 可燃ごみ指定袋などへのバイオマスプラスチック使用<br>➢ バイオプラ導入ロードマップ・静脈システム管理との一体導入 |
| 海洋プラスチック対策 | プラスチックごみの流出による海洋汚染が生じないこと（海洋プラスチックゼロエミッション）を目指した<br>➢ ポイ捨て・不法投棄撲滅・適正処理<br>➢ 海岸漂着物等の回収処理<br>➢ 海洋ごみ実態把握(モニタリング手法の高度化)<br>➢ マイクロプラスチック流出抑制対策(2020年までにスクラブ製品のマイクロビーズ削減徹底等)<br>➢ 代替イノベーションの推進 |
| 国際展開 | ➢ 途上国における実効性のある対策支援（我が国のソフト・ハードインフラ、技術等をオーダーメイドパッケージ輸出で国際協力・ビジネス展開）<br>➢ 地球規模のモニタリング・研究ネットワークの構築（海洋プラスチック分布、生態影響等の研究、モニタリング手法の標準化等） |
| 基盤整備 | ➢ 社会システム確立（ソフト・ハードのリサイクルインフラ整備・サプライチェーン構築）<br>➢ 技術開発（再生可能資源によるプラ代替、革新的リサイクル技術、消費者のライフスタイルのイノベーション）<br>➢ 調査研究（マイクロプラスチックの使用実態、影響、流出状況、流出抑制対策）<br>➢ 連携協働（各主体が一つの旗印の下取組を進める「プラスチック・スマート」の展開）<br>➢ 資源循環関連産業の振興<br>➢ 情報基盤（ＥＳＧ投資、エシカル消費）<br>➢ 海外展開基盤 |

**【マイルストーン】**

＜リデュース＞
①2030年までにワンウェイプラスチックを累積25%排出抑制
＜リユース・リサイクル＞
②2025年までにリユース・リサイクル可能なデザインに
③2030年までに容器包装の６割をリユース・リサイクル
④2035年までに使用済プラスチックを100%リユース・リサイクル等により、有効利用
＜再生利用・バイオマスプラスチック＞
⑤2030年までに再生利用を倍増
⑥2030年までにバイオマスプラスチックを約200万トン導入

◆アジア太平洋地域をはじめ世界全体の資源・環境問題の解決のみならず、経済成長や雇用創出 ⇒ 持続可能な発展に貢献
◆国民各界各層との連携協働を通じて、マイルストーンの達成を目指すことで、必要な投資やイノベーション（技術・消費者のライフスタイル）を促進



# プラスチックに係る資源循環の促進等に関する法律の概要　①

・第204回通常国会で成立　・令和3年6月11日公布　・令和4年4月1日施行

製品の設計からプラスチック廃棄物の処理までに関わるあらゆる主体におけるプラスチック資源循環等の取組（3R+Renewable）を促進するための措置を講じます。

## 背景

- 海洋プラスチックごみ問題、気候変動問題、諸外国の廃棄物輸入規制強化等への対応を契機として、国内における**プラスチックの資源循環**を一層促進する重要性が高まっている。
- このため、多様な物品に使用されているプラスチックに関し、**包括的に資源循環体制を強化**する必要がある。

## 主な措置内容

### 1.基本方針の策定

- 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、以下の事項等に関する**基本方針を策定**する。
  - ➢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

# プラスチックに係る資源循環の促進等に関する法律の概要 ②

## 主な措置内容

### 2. 個別の措置事項

**設計・製造**

【環境配慮設計指針】

●製造事業者等が努めるべき**環境配慮設計に関する指針**を策定し、指針に適合した製品であることを**認定**する仕組みを設ける。

➢認定製品を**国が率先して調達**する（グリーン購入法上の配慮）とともに、リサイクル材の利用に当たっての**設備への支援**を行う。

<付け替えボトル>

※⬇：ライフサイクル全体でのプラスチックのフロー

**販売・提供**

【使用の合理化】

●ワンウェイプラスチックの提供事業者（小売・サービス事業者など）が取り組むべき**判断基準を策定**する。

➢主務大臣の**指導・助言**、ワンウェイプラスチックを多く提供する事業者への**勧告・公表・命令**を措置する。

<ワンウェイプラスチックの例>

**排出・回収・リサイクル**

【市区町村の分別収集・再商品化】

●プラスチック資源の分別収集を促進するため、**容リ法ルートを活用した再商品化**を可能にする。

<プラスチック資源の例>

●市区町村と再商品化事業者が**連携して行う再商品化計画**を作成する。

➢主務大臣が認定した場合に、市区町村による**選別、梱包等を省略**して再商品化事業者が実施することが可能に。

【製造・販売事業者等による自主回収】

●製造・販売事業者等が製品等を**自主回収・再資源化する計画**を作成する。

➢主務大臣が認定した場合に、認定事業者は廃棄物処理法の**業許可が不要**に。

<店頭回収等を促進>

【排出事業者の排出抑制・再資源化】

●排出事業者が排出抑制や再資源化等の取り組むべき**判断基準を策定**する。

➢主務大臣の**指導・助言**、プラスチックを多く排出する事業者への**勧告・公表・命令**を措置する。

●排出事業者等が**再資源化計画**を作成する。

➢主務大臣が認定した場合に、認定事業者は廃棄物処理法の**業許可が不要**に。

**資源循環の高度化に向けた環境整備・循環経済（サーキュラー・エコノミー）への移行**



# プラスチックに係る資源循環の促進等に関する法律の政省令告示①

**①設計・製造段階**

## 環境配慮製品を国が初めて認定し、消費者が選択できる社会へ

- 製造事業者等向けに、構造・材料（素材代替・再生プラの利用など）を**設計指針**として明示。
- **同種の製品と比較して特に優れた製品**について国が認定し、認定製品を国が率先して調達。

<環境配慮製品の例>

リデュース：付け替えボトル

リサイクル：易解体性

代替素材：100%リサイクル素材

**②販売・提供段階**

## 使い捨てプラの使用を合理化し、ライフスタイル変革を加速

- **ポイント還元や有料化、代替素材への転換**などの取組を選択・実施。
- 多量提供事業者の要件は年間提供量が５t以上（小売店の場合は10店舗程度の事業規模に相当）。

| 小売店や飲食店等 |
|---|
| ●フォーク　●スプーン　●ナイフ<br>●マドラー　●ストロー |
| **宿泊施設** |
| ●ヘアブラシ　●くし　●かみそり<br>●シャワーキャップ　●歯ブラシ |
| **クリーニング店** |
| ●ハンガー　●衣類用カバー |

※事業活動の一部で上記の業種に属する事業を行っている場合は対象となる。

## プラスチックに係る資源循環の促進等に関する法律の政省令告示②

③排出・回収・リサイクル段階

### あらゆるプラの効率的な回収・リサイクルを促進

| | | これまで | | これから |
|---|---|---|---|---|
| 家庭 | 容器包装 | リサイクル | → | リサイクル |
| 家庭 | プラスチック製品 | 燃えるごみ等 | → | リサイクル |
| 産業廃棄物 | | 適正処理 | → | 3R |

<市町村によるプラスチック資源の分別収集のイメージ>

同じ素材なのに
リサイクルできる/できないが異なり
わかりにくい

容器包装
（リサイクル）

プラスチック製品
（燃えるごみ等）

わかりやすい分別

プラスチック資源の回収

プラスチック資源
（リサイクル）

円滑・適確に**事業者・自治体・消費者による取組**が実施されるよう**支援措置**を
R4年度予算要求に反映。国としても着実な制度運営に取り組む。

2030年までにサーキュラーエコノミー関連ビジネス市場規模 **80 兆円以上**を目指す。



## レジ袋有料化（2020年7月開始）の効果

### 1週間レジ袋を使用しなかった人の割合

| 有料化前（2020年3月） | | 有料化後（2020年11月） |
|---|---|---|
| 30.4% | → | **71.9%** |

出典）環境省アンケート調査

### レジ袋の辞退率

| | 有料化前 | | 有料化後 |
|---|---|---|---|
| コンビニエンスストア | 約23% | → | 約**75%** |
| スーパーマーケット | 約57% | → | 約**80%** |

### レジ袋の使用枚数

| | 有料化前 | | 有料化後 | 削減効果 |
|---|---|---|---|---|
| ドラッグストア | 約33億枚 | → | 約5億枚 | 約**84%**減少 |

出典）業界団体へのヒアリング

### レジ袋の国内流通量

| 有料化前（2019年） | | 有料化後（2021年） |
|---|---|---|
| 約20万t | → | 約**10万**t |

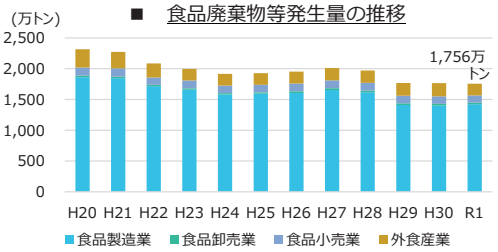
出典）日本経済綜合研究センター『包装資材シェア事典 2021年版』（2022年1月）

# 食品廃棄物の再生利用等の状況

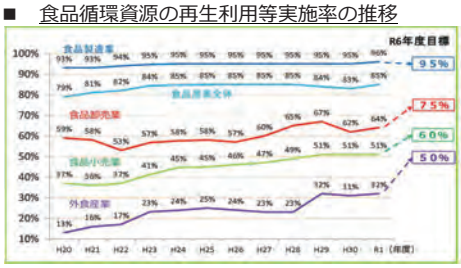
## 食品廃棄物の発生量及び再生利用等実施率の推移

- 発生量の約８割を占める食品製造業での再生利用実施率は96%と高いが、食品流通の川下に至るほど分別が困難となり、食品卸売業(64%)、食品小売業(51%)、外食産業(32%)の順に低下。

■ 食品廃棄物等発生量の推移




■ 食品循環資源の再生利用等実施率の推移




（資料）農水省資料より作成

## 登録再生利用事業者の現状及び再生利用事業計画（リサイクルループ）認定の現状

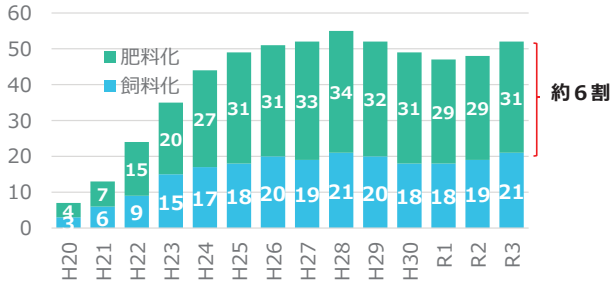
- 近年、登録再生利用事業者の数は減少傾向、再生利用事業計画の認定件数は増加傾向。
- 地域での取り組みにも偏在。

■ 登録再生利用事業者の事業の種別（令和３年７月末時点）

| 再生利用事業の種別 | 件数 |
|---|---|
| 肥料化事業 | ９４ |
| 飼料化事業 | ４２ |
| 油脂・油脂製品化事業 | ２４ |
| メタン化事業 | １２ |
| 炭化事業 | ２ |

（資料）環境省　注）一つの事業者が複数の再生利用事業を実施しているケースがあるため、事業別の件数の合計と登録再生利用事業者の総数とは一致しない。

■ 再生利用事業計画の認定状況（令和３年１０月末時点）






# 食品ロスの削減と食品リサイクルの推進

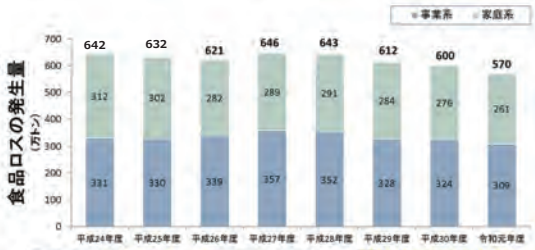
## 食品ロスの削減（食べられるのに捨てられる食品の削減）

**政府全体**

**食品ロス削減に関わる様々な関係者の連携を促し、フードチェーン全体で食品ロス削減国民運動を展開。**

- 食品ロス削減推進法に基本方針の策定（R2.3.31閣議決定）
- 食品ロス半減目標（2030年度まで、2000年度比）
- 自治体による食品ロス削減推進計画の策定を推進
- 食品ロス削減月間における周知啓発
- 「食品ロス削減全国大会」の開催。
- mottECOを用いた食べ残し持ち帰りの普及促進。
- 「1/3ルール」などの商習慣の見直し。

食品ロス量（令和元年度推計）




**環境省**

**自治体と連携し、家庭における食品ロス削減を推進。**

- 食品ロス組成調査等の自治体による食品ロス量把握の支援。
- 「3010運動POP」「すぐたべくん」など普及啓発ツールの提供。
- 「全国おいしい食べきり運動ネットワーク協議会」の活動支援。
- モデル事業の実施。

## mottECO普及活動について

**背景**

- ✓ 外食産業では、年間**１０３万トン**の食品ロスが発生しており、利用者による食べ残しの削減は重要な課題
- ✓ 食べ残しの削減には、まずは**「おいしく、適量を、残さず、食べきる」**ために、消費者と飲食店それぞれの工夫が必要
- ✓ 提供された料理がどうしても食べきれなかった場合には、消費者の**自己責任の範囲で**持ち帰ることができることが重要

mottECO

## フードドライブ実証（収集運搬課題解決に向けた実証）

**フードドライブとは**

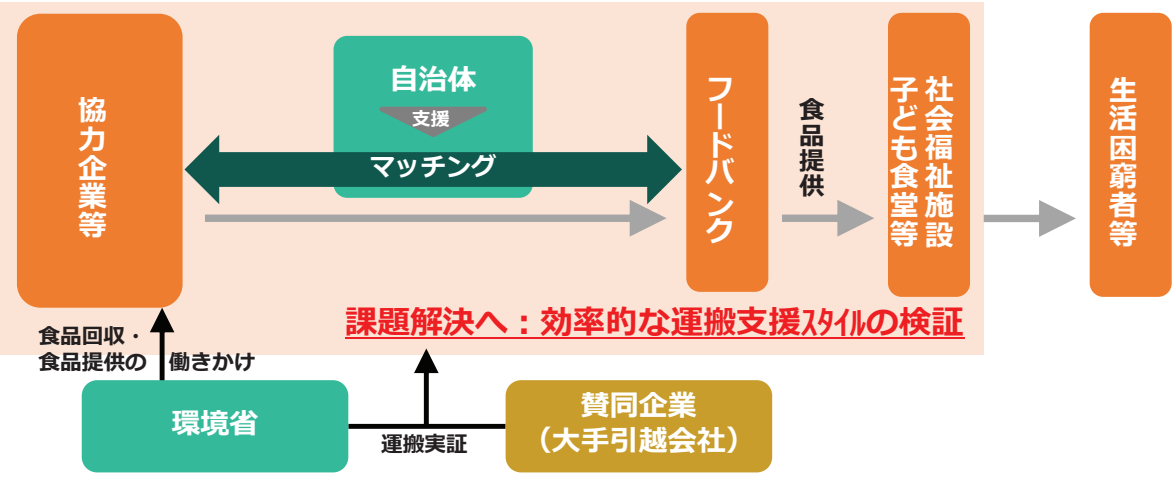
- 家庭で余っている食べ物を学校や職場などに持ち寄り、それらをまとめて地域の福祉団体や施設、フードバンクなどに寄付する活動で、近年、全国的に拡大している。
- 自治体とスーパーマーケットのように、複数の主体が連携して実施する場合もある。

**検証内容**

- 物流会社による回収と輸送を行い、物流会社が参画する際の課題を抽出
- フードドライブをさらに拡大していくための課題の抽出
- 協力いただく物流企業において持続可能的な支援のための課題の抽出

**方向性**

実証により課題把握等を行い、持続可能な支援方策を見いだし、横展開していく






## 循環経済パートナーシップ

環境省・経産省・経団連の官民連携による「**循環経済パートナーシップ**」を通じて、循環経済への更なる理解醸成、取組の促進、国際社会におけるプレゼンス向上を目指す。

**概要**

**Japan Partnership for Circular Economy**
**(J4CE：ジェイフォース)**

創設団体：環境省、経済産業省、日本経済団体連合会
構成員　：140企業・団体（3月31日時点）
事務局　：IGES（地球環境戦略研究機関）
発足　　：令和3年3月2日
https://j4ce.env.go.jp/

**具体的取組**

◆ 日本の先進的な循環経済に関する取組事例の収集と国内外への発信・共有
　➢ WEBサイトで**140事例**を公表
　➢ うち**28事例**についての注目事例集の作成
◆ 循環経済に関する情報共有やネットワーク形成
◆ 循環経済促進に向けた対話の場の設定

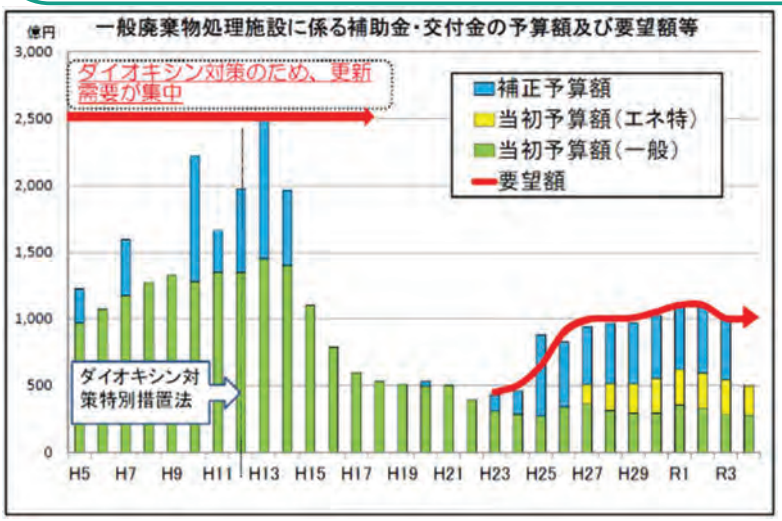
# 3. 循環型社会形成推進交付金





## 一般廃棄物処理施設整備への支援

- 市町村が行う地域の生活基盤を支えるための社会インフラである一般廃棄物処理施設の整備は、従来の「循環型社会形成の推進」という観点による支援に加え、「災害時の廃棄物処理システムの強靭化」及び「地球温暖化対策の強化」という２つの柱も打ち出し、支援の充実を図っている。
- 平成２年度以降、「ダイオキシン問題」対応のため、多くの市町村が一般廃棄物処理施設を更新。施設の耐用年数が20年程度であるため、現在、一般廃棄物処理施設の更新需要が増大。
- 適切に更新がなされない場合、地域でのごみ処理能力の不足や事故リスクが増大するなど、市町村にとって致命的な問題となるため、着実な支援を実施する必要があるが、更新需要の増大により自治体の要望額も大幅に増大。
- 令和４年度は、令和３年度補正予算（476億円）及び令和４年度当初予算（494億円）により970億円を確保。




### 廃棄物焼却施設・老朽化の現状

全国１,０５６施設のうち
築20年超：４３４施設
築30年超：１８３施設
築40年超：　５５施設
（令和３年３月末時点）。

（施設耐用年数：１５～２０年程度）

老朽化して休止した処理施設

## 一般廃棄物処理施設に対する支援の充実について

環境省

- 市町村が行う地域の生活基盤を支えるための社会インフラである一般廃棄物処理施設の整備を支援するスキームとして「循環型社会形成推進交付金」がある。
- 循環型社会形成の推進という観点から本交付金により行ってきた廃棄物処理施設への支援に加えて、災害時の廃棄物処理システムの強靱化及び地球温暖化対策の強化という2つの柱を前面に打ち出し支援を充実。

**循環型社会形成の推進**

循環型社会形成の推進という観点から、老朽化した廃棄物処理施設の適切な更新等を支援することで、生活環境保全・公衆衛生向上を確保し、地域の安全・安心に寄与。

**災害時の廃棄物処理システムの強靱化**

大規模災害発生時における災害廃棄物の円滑・迅速な処理に向けた平時からの備えとしての地域の廃棄物処理システムを強靱化。

**地球温暖化対策の強化**

エネルギー対策特別会計を活用し、廃棄物処理施設への高効率廃棄物発電等の導入に向けた改良・更新を支援することで、地球温暖化対策を強化。

「循環型社会形成の推進」に加え、2つの柱を前面に打ち出すことで、地域にとって必要不可欠な一般廃棄物処理施設の整備を一層推進。

## 一般廃棄物処理施設の整備

環境省

【令和４年度予算額　49,442百万円（54,128百万円）】
【令和３年度補正予算額　47,600百万円】

**一般廃棄物処理施設の整備を支援します。**

### 1. 事業目的

① 市町村等が廃棄物の３R（リデュース、リユース、リサイクル）を総合的に推進するため、市町村の自主性と創意工夫を活かした広域的かつ総合的な廃棄物処理・リサイクル施設の整備を支援する。
② 平成当初以降にダイオキシン類対策のために整備した廃棄物処理施設の老朽化による、ごみ処理能力の不足や事故リスク増大といった事態を回避し、生活環境保全・公衆衛生向上を確保し、地域の安全・安心に寄与する。
③ 災害時のための廃棄物処理施設の強靱化及び地球温暖化対策の強化を推進する。

### 2. 事業内容

市町村等が行う一般廃棄物処理施設の整備には一時的に莫大な費用を要するため、交付金、補助金による支援が不可欠である。また、災害廃棄物処理の中核を担い地域のエネルギーセンターとして災害対応拠点となる一般廃棄物処理施設の強靱化を図る必要がある。
具体的には、以下の施設整備事業の一部を支援する。

・エネルギー回収型廃棄物処理施設（焼却施設、メタンガス化施設等）
・最終処分場
・マテリアルリサイクル推進施設
・有機性廃棄物リサイクル推進施設
・上記に係る調査・計画支援事業　等

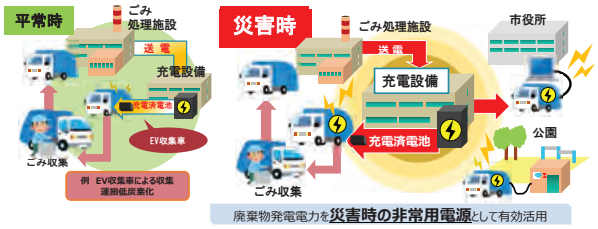
### 3. 事業スキーム

■事業形態　交付金、間接補助事業（補助率１／３（一部１／２）、定額）
■交付対象　市町村等
■実施期間　平成１７年度～

### 4. 施設整備の例

老朽化及び対策不足のため、災害時の事故リスクが懸念されている施設の整備

「盛土」を行い施設全体を周辺地盤より嵩上げすることで施設への浸水被害を回避




お問合せ先：　環境省　環境再生・資源循環局　廃棄物適正処理推進課　電話：03-5521-8337

## （参考）廃棄物処理施設整備計画

### 廃棄物処理施設整備計画とは

- 廃棄物処理法に基づき、計画期間に係る廃棄物処理施設整備事業の目標及び概要を定めるもの。
- 2018年度～2022年度を計画期間とする次期廃棄物処理施設整備計画では、人口減少等の社会構造の変化に鑑み、ハード・ソフト両面で、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整備を推進。

### 廃棄物処理施設整備計画の構成

**基本的理念**

（１）基本原則に基づいた３Ｒの推進
（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
（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

**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**

（１）市町村の一般廃棄物処理システムを通じた３Ｒの推進
（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
（３）廃棄物処理システムにおける気候変動対策の推進
（４）廃棄物系バイオマスの利活用の推進
（５）災害対策の強化
（６）地域に新たな価値を創出する廃棄物処理施設の整備
（７）地域住民等の理解と協力の確保
（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

**廃棄物処理施設整備事業の実施に関する重点目標**

- ごみのリサイクル率 ： ２１%→２７%
- 一般廃棄物最終処分場の残余年数 ： ２０１７年度の水準（２０年分）を維持
- 期間中に整備されたごみ焼却施設の発電効率の平均値 ： １９%→ ２１%
- 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%→ ４６%
- 浄化槽整備区域内の浄化槽人口普及率 ：５３%→ ７０%
- 合併処理浄化槽の基数割合 ： ６２%→７６%
- 省エネ浄化槽の導入による温室効果ガス削減量 ： ５万t-CO2→１２万t-CO2

# 4. 新型コロナウイルス感染症に係る廃棄物分野の対応

## 新型コロナウイルス感染症に係る廃棄物分野の対応

環境省

- 政府の新型コロナウイルス感染症対策本部で決定された**基本的対処方針において、廃棄物処理は「国民生活・国民経済の安定確保に不可欠な業務」として位置づけられ、緊急事態宣言時にも事業の継続が求められている。** ※生活ごみ(年間約4千万トン)、産業廃棄物(年間約3.8億トン)を適正処理
- 環境省としても、**医療提供体制の維持や国民生活・国民経済の安定のため、廃棄物処理体制の確保、現場での感染防止対策**等に全力で取り組んでいる。

### 具体的な対応

#### 適正処理・現場の感染防止の徹底

- 法令に基づく基準・マニュアル等の周知を行うとともに、家庭、医療機関、廃棄物処理を行う方等に向けたQ&Aやチラシ等を作成・周知。
  さらに、適正処理・感染防止・処理体制維持の対策を取りまとめ、「廃棄物に関する新型コロナウイルス感染症対策ガイドライン」を策定。
- ワクチンの接種に伴って排出される廃棄物の取扱いに係る留意事項を通知としてとりまとめるとともに、特に現場における対策や注意点をまとめたチラシを作成し、地方公共団体、業界団体及び医師会等に対して周知。

#### 廃棄物処理体制の維持

- 安定的な廃棄物処理体制の確保のため、BCPの策定、広域処理の実施、焼却炉の点検の頻度の柔軟な運用等について通知。
  感染拡大等により廃棄物の緊急処理が必要な際に、市町村長、都道府県知事又は環境大臣の指定した者が処理を行える制度を創設。
- 廃棄物処理業の資金繰り支援のため、廃棄物処理業を中小企業向けセーフティネット保証５号の指定業種に追加。また、政府の各種企業支援制度の内容等を随時周知。

新型コロナウイルス感染症に係るワクチン廃棄物の取扱いに関するチラシ



## 新型コロナウイルス感染症に係る廃棄物分野の対応（関連資料）

環境省

**～資料掲載ページ～**

- 新型コロナウイルス感染症に係る廃棄物の処理及び感染拡大への対応に関する通知等
  https://www.env.go.jp/recycle/waste/sp_contr/infection/coronatsuchi.html
- 新型コロナウイルス感染症に係る廃棄物対策について取りまとめた資料
  http://www.env.go.jp/recycle/waste/sp_contr/infection/coronakoho.html
- 廃棄物に関する新型コロナウイルス感染症対策ガイドライン
  http://www.env.go.jp/recycle/coronagaidorain.pdf

# 5. 災害廃棄物対策

32

33

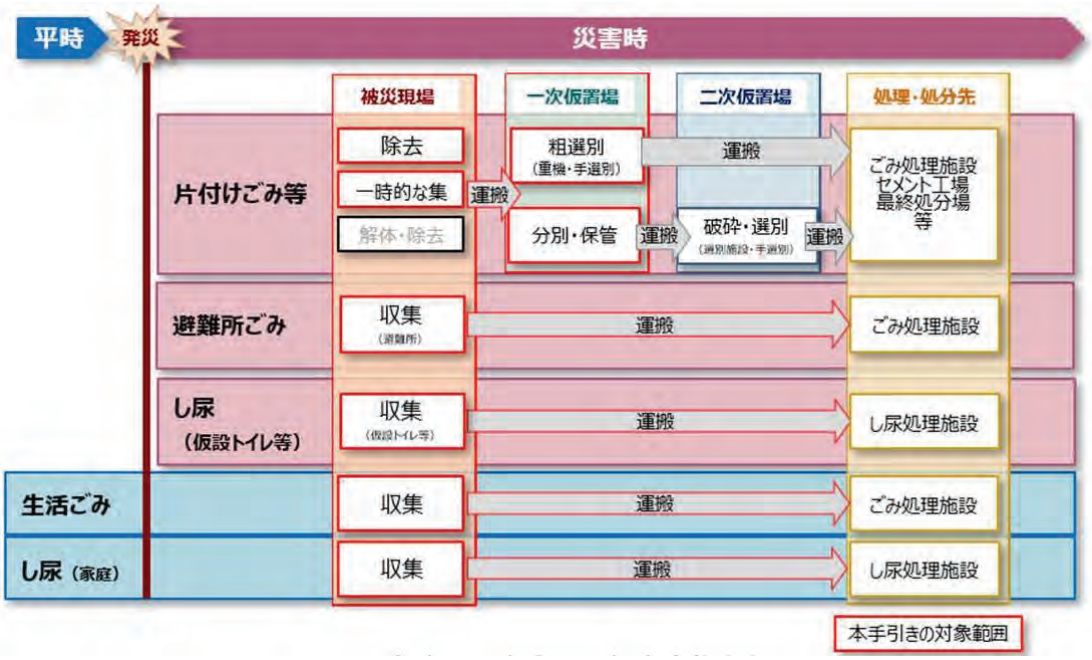
## 近年の大規模災害における災害廃棄物の発生量及び処理期間

| 災害名 | 災害の種別 | 発生年月 | 損壊家屋数［棟］ | | | | | | 災害廃棄物量［万トン］ | 処理期間 |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | | | 全壊 | 半壊 | 一部破損 | 床上浸水 | 床下浸水 | 焼損 | | |
| 東日本大震災 (※1) | 地震・津波 | H23年3月 | 122,005 | 283,156 | 749,732 | 1,489 | 9,786 | 火災(330件) | 3,100（津波堆積物1,100を含む） | 約3年（福島県を除く） |
| 阪神・淡路大震災 (※2) | 地震 | H7年1月 | 104,906 | 144,274 | 390,506 | | | 7,574 | 1,500 | 約3年 |
| 熊本地震 (※3)（熊本県） | 地震 | H28年4月 | 8,657 | 34,491 | 155,095 | | | 火災(15件) | 311 | 約2年 |
| 平成30年7月豪雨 (※4)（岡山県,広島県,愛媛県） | 水害 | H30年7月 | 6,603 | 10,012 | 3,457 | 5,011 | 13,737 | | 190 (※5) | 約2年 |
| 令和元年房総半島台風・東日本台風 (※6) | 水害 | R1年9~10月 | 3,650 | 33,951 | 107,717 | 8,256 | 23,010 | | 116 (※7) | 約2年（予定） |
| 新潟県中越地震 (※8) | 地震 | H16年10月 | 3,175 | 13,810 | 105,682 | | | 建物火災(9件) | 60 | 約3年 |
| 令和２年７月豪雨 (※9) | 水害 | R2年7月 | 1,621 | 4,504 | 3,503 | 1,681 | 5,290 | | 53.4 (※10)（土砂混じりがれきを含む） | (※11) 約2年（予定） |

(※1) 消防庁災害情報の合計（令和3年3月9日時点）
(※2) 消防庁災害情報の合計（平成18年5月19日時点）
(※3) 内閣府防災被害報告の合計（平成31年4月12日時点）
(※4) 主要被災３県の公表値の合計（平成31年１月９日時点）
(※5) 主要被災３県の合計（令和3年3月時点）
(※6) 内閣府防災被害報告の合計（令和２年４月10日時点）
(※7) 被災自治体からの報告の合計（令和３年8月末時点）
(※8) 内閣府防災被害報告の合計（平成21年10月27日時点）
(※9) 内閣府防災被害報告の合計（令和３年１月７日時点）
(※10) 被災自治体からの報告の合計（令和３年8月末時点）
(※11) 熊本県分のみ（令和３年7月末時点）
(※12) 内閣府防災被害報告の合計（令和３年12月3日時点）
(※13) 令和３年10月29日時点の調査における推計値
(※14) 内閣府防災被害報告の合計（令和３年11月16日時点）
(※15) 令和３年10月29日時点の調査における推計値

## 災害時の一般廃棄物処理に係る初動対応

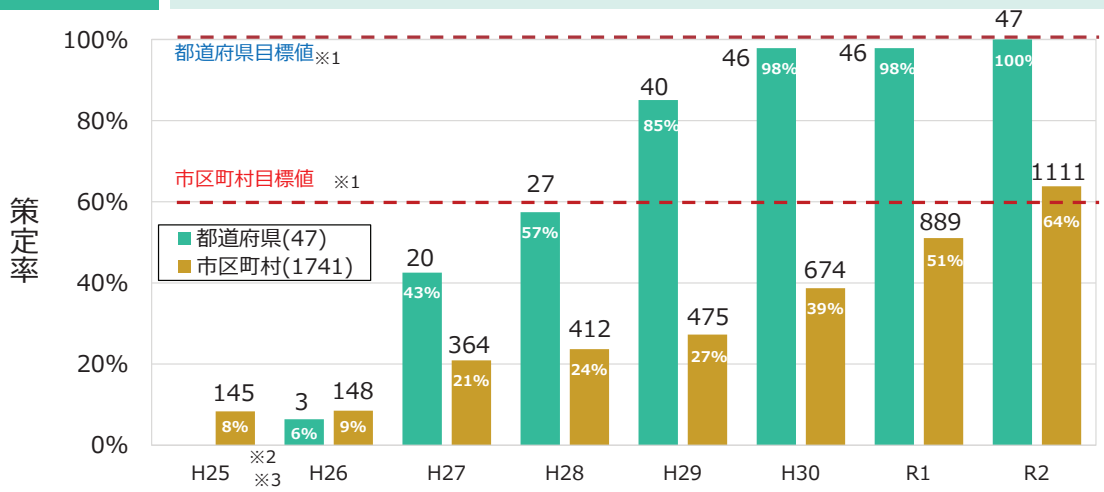
■ 災害時には、平時からの処理（生活ごみ等）と災害時に特有な処理（避難所ごみ等）を並行して実施することとなる。






## 災害廃棄物処理計画の策定状況（令和３年３月末時点）

| | 災害廃棄物処理計画について |
|---|---|
| 市区町村 | 自ら被災することを想定し、平時の備えや発生した災害廃棄物を適正かつ円滑に処理するための災害応急対策・復旧・復興対策等対応に必要な事項をとりまとめたもの |
| 都道府県 | 被災した市区町村等に対する支援を行うため、平時の備え、災害応急対策・復旧・復興対策等に必要な事項をとりまとめたもの |




※1.第４次循環型社会推進基本計画に基づく2025年度目標（都道府県：100%　市町村：60%）
※2.平成25年度以前は市町村の策定率のみ調査を実施。　※3.データの取得時点は各年度末

**今後の施策課題**

- 未策定自治体における計画策定促進
- 策定済み自治体における必要に応じた計画改訂促進

## 災害廃棄物処理支援員制度（人材バンク）について

### 制度の概要

○ 環境省から全国の地方公共団体に対し、災害廃棄物処理を経験し、知見を有する職員の推薦を依頼。地方公共団体の推薦を受けた職員を「災害廃棄物処理支援員」として名簿に登録。
○災害発生時には被災地方公共団体の要請により「災害廃棄物処理支援員」を派遣。
○災害廃棄物処理支援員による活動内容
・災害廃棄物処理の方針にかかる助言・調整等
・災害廃棄物処理の個別課題の対応にかかる助言・調整等
○災害廃棄物処理支援員への研修・訓練

静岡県熱海市の支援を行う
千葉県館山市職員
（令和3年7月大雨）
※環境省撮影

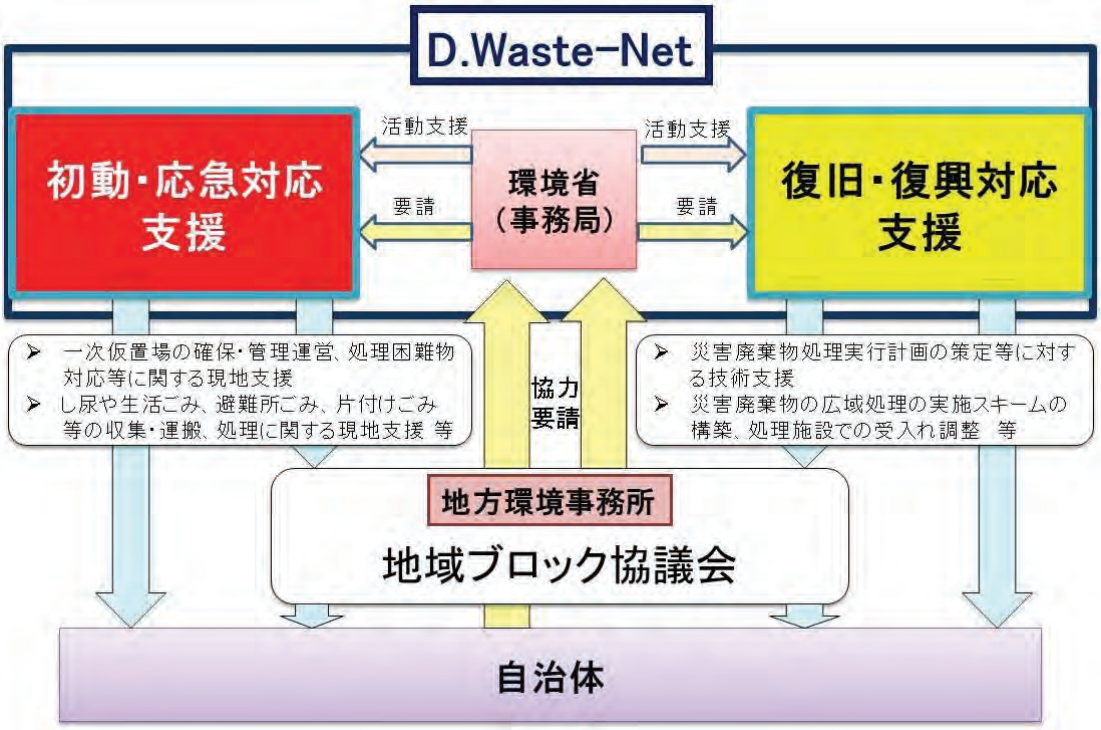
### 令和３年度の実績

○６月２日：人材バンク登録者の推薦依頼（事務連絡）
○７月31日：静岡県熱海市に支援員２名を派遣
○９月～10月：広島県北広島町に支援員１名を派遣
○１月14日：オンライン開催による研修（図上演習）
○２月10日：支援員向け研修用YouTube動画を限定公開
（収集運搬、仮置場、家屋解体、災害報告書）
○３月31日：災害廃棄物処理支援員マニュアルの作成
※令和４年３月末日時点：**登録者２５８名**

広島県北広島町の支援を行う
広島県坂町（令和3年8月大雨）
※広島県より写真提供



## 災害廃棄物処理支援ネットワーク（D.Waste-Net）の災害時の支援



## 地域ブロック協議会について

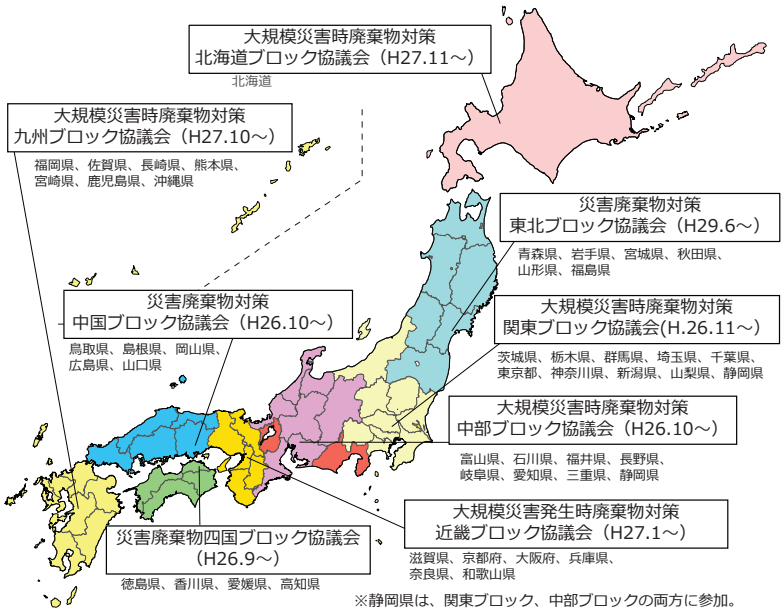
○　地域の災害廃棄物対策を強化すべく、地方環境事務所が中心となって、自治体や関係省庁、民間団体等の参画のもと、地域ブロック協議会を全国８箇所に設置。
○　平時からの備えとして、地域ブロック別の災害廃棄物対策行動計画の策定・見直し、地域ブロックにおける共同訓練の実施、自治体に対する処理計画の策定支援や訓練への協力を実施。

### 地域ブロック協議会の活動内容

①地域ブロック協議会の運営
②地域ブロック別の災害廃棄物対策行動計画等の見直し
③自治体等向けセミナー・見学の実施
④自治体の災害廃棄物処理計画策定支援
⑤地域ブロックにおける共同訓練の実施
⑥地域ブロック内における実態の基礎調査・技術調査
⑦発災した災害に関する災害廃棄物処理に関する記録誌等の作成

### 構成

**環境省、関係省庁地方支分部局、**
**都道府県、主要な市町村**
**廃棄物処理事業者団体、専門家　等**






## 環境省の災害廃棄物対策に関する現地支援体制（令和２年７月豪雨）

**関係機関（防衛省など）** ⇔ **環境本省**（災害廃棄物対策チーム　廃棄物適正処理推進課　・災害廃棄物対策室）⇔ **災害廃棄物処理支援ネットワーク（D.Waste-Net）**

（令和２年10月１日時点）

### 本省課長級、職員県庁に常駐派遣

**熊本県**
・派遣人数：のべ　95名
・派遣期間：７月６日～８月14日

**福岡県**
・派遣人数：のべ　29名
・派遣期間：７月９日～７月22日

**大分県**
・派遣人数：のべ　25名
・派遣期間：７月９日～７月20日

### 地方環境事務所職員等現地支援
・派遣人数：のべ　618名
・派遣期間：７月５日～
・派遣先：８県24市町村

### 収集運搬・処分現地支援
・支援自治体：福岡市、熊本市等
・支援開始：７月13日～
・支援先：人吉市、球磨村等

### D.Waste-Net現地支援
・派遣人数：のべ　372名
・派遣期間：７月７日～８月31日
・派遣先：４県

### 自治体職員現地支援
・支援自治体：常総市、横浜市等
・支援開始：７月10日～８月12日
・支援先：人吉市、球磨村等

## 災害時の一般廃棄物処理に関する初動対応の手引き

事前の備えとなる災害廃棄物処理計画の策定率向上へ向けた支援と並行して、計画未策定の市区町村が被災した場合でも、災害廃棄物の発生が復旧・復興を妨げることを極力防ぐため、発災後約3週間における初動対応の手引きを令和２年２月に策定（令和３年３月改訂）し、市区町村に周知。

| | | |
|---|---|---|
| 本編 | **第１章**<br>**本手引きの目的・位置づけ等** | 第１節 本手引きの目的・位置づけ<br>第２節 災害時に発生する一般廃棄物　第３節関係者との連携体制の必要性<br>第４節災害時初動対応の実態　第５節 本手引きの対象<br>第６節 本手引きの使い方　第７節 事前検討チェックリスト |
| | **第２章**<br>**災害時初動対応**<br>※災害時の活用 | 第１節 災害時初動対応の全体像<br>第２節 一般廃棄物処理の災害時初動対応<br>１）安全及び組織体制の確保　２）被害情報の収集・処理方針の判断<br>３）生活ごみ・避難所ごみ・し尿の収集運搬体制の確保<br>４）災害廃棄物の処理体制の確保　５）継続的な一般廃棄物処理体制の確保 |
| | **第３章**<br>**円滑かつ迅速な初動対応のための事前検討**<br>※平時の検討 | 第１節 概要<br>第２節 基本的事項<br>１）主な検討事項と連携体制　２）対象期間　３）検討体制<br>第３節 検討事項<br>１）職員の確保　２）災害時の組織体制と役割分担<br>３）関係連絡先リスト　４）被害状況チェックリスト　５）災害支援協定リスト<br>６）必要資機材及び保有資機材のリスト　７）仮置場の候補地リスト<br>８）初動対応時の業務リスト<br>第４節 教育・訓練の実施<br>１）教育　２）訓練<br>第５節 事前検討事項の継続的改善・見直し |
| | **用語の定義等** | 用語の定義<br>参考文献 |
| **参考資料** | **・様式集** | **・様式集　記入例**　　**・参考事例一覧** |



## 防衛省・自衛隊と環境省との連携対応マニュアル

○近年の大規模災害では広範囲に甚大な量の災害廃棄物が発生し、応援自治体等の支援を受け、環境省・自衛隊・ボランティアなどの関係者が連携して災害廃棄物の撤去を実施。
○環境省と防衛省は、それらの活動を通じて蓄積されたノウハウ等も踏まえ、**「災害廃棄物撤去に係る連携対応マニュアル」**を共同で策定(令和２年８月)

▶ 自衛隊の活動の効果を最大化することにより、災害廃棄物の撤去を加速化し、被災地の復旧・復興に繋げる。

**【主な内容】**

○関係機関の役割分担の明確化
※平時からの廃棄物部局で、仮置場候補地の選定、民間事業者との協定締結など、事前の備えを強化

○発災時の環境省・防衛省・県・市町村等による現地調整会議の開催

○関係機関の「顔の見える関係性」構築

○自衛隊の活動終了の手順

等

**自衛隊による撤去の様子**

長野県長野市

栃木県大平町

# （参考）





## 一般廃棄物処理におけるリチウム蓄電池等の現状と環境省の取組

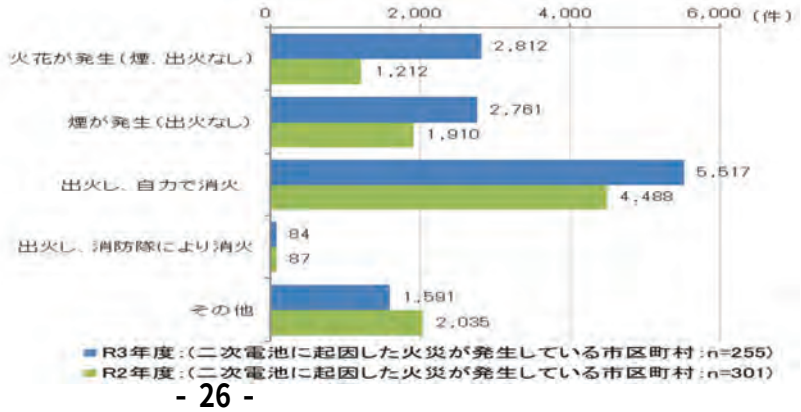
環境省

### 一般廃棄物処理におけるリチウム蓄電池等の現状

- リチウム蓄電池（リチウムイオン電池を含む二次電池）については、小型でエネルギー効率が高く、また経済的に優れていることから、その普及が進み、様々なモバイル機器に導入されている（以下「リチウム蓄電池等」という。）（廃棄物としての排出も増加傾向）。
- リチウム蓄電池等が廃棄物となった際に、**適切な廃棄物の分別区分として排出されず**（不燃ごみや容器包装プラスチック等）、パッカー車やごみ処理施設の**破砕機等で衝撃が加わった際に出火**し、**大規模な火災事故**につながるケースがある。
- 出火の原因になるものとしては、小型で安価なものが多い傾向がある（加熱式たばこ、モバイルバッテリー、ハンディクリーナー等：表面がプラスチックのものが多く、ユーザーとして危険性や適切な分別区分が把握しにくい。）。

火災等の発生は**人命にかかわるばかりでなく、地域のごみ処理の停滞や莫大な施設修繕費の発生等**につながる可能性がある。**各自治体において、早急な対策実施等の対応が必要。**

一般廃棄物処理における火災の年間規模別発生件数（令和２年度および３年度分）
（リチウム蓄電池等処理困難物対策集（令和４年３月31日）より）



## 一般廃棄物処理におけるリチウム蓄電池等の現状と環境省の取組

環境省

### 環境省としての取組（令和３年度まで）

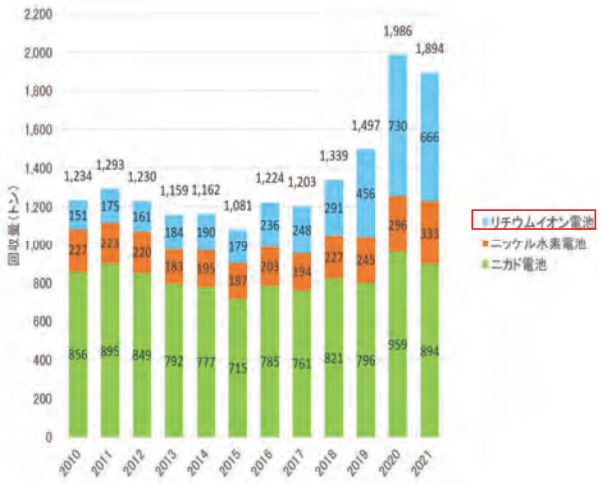
○ **広域認定制度**の活用（一社ＪＢＲＣによる小型二次電池の自主回収、加熱式たばこの品目追加等）
○ 市町村を対象とした、注意喚起のための事務連絡発出

**＜令和元年８月１日付け事務連絡＞**
- **市町村における処理体制の適正化**
- **リチウムイオン電池排出者への排出方法の周知**
- **一般社団法人JBRC が行う回収・リサイクル活動の活用検討**

**＜令和３年４月７日付け事務連絡＞**
- **令和２年度対策検討業務結果等について**
- **リチウム蓄電池等対策の広報資料について**
- **（改訂）一般廃棄物会計基準について**
- **広域認定制度の新たな対象品目の追加について**

○ 令和３年度リチウム蓄電池等処理困難物適正処理対策検討業務（リチウム蓄電池等の製品実態、処理実態、事故実態調査、先進市町村ヒアリング、有識者ヒアリング、基本的な対策検討を実施し、結果についてとりまとめ）
○ リチウム蓄電池の適正排出を普及啓発するための動画、ポスター、チラシ作成、公表
＜環境省ホームページにて詳細情報を掲載＞
https://www.env.go.jp/recycle/waste/lithium_1/index.html

一社ＪＢＲＣ回収実績（ＪＢＲＣホームページより）




※令和４年度回収量データは令和４年３月までの累計です。

### 環境省としての取組（令和４年度）

○ 令和４年度リチウム蓄電池等処理困難物適正処理対策検討業務（令和２年度から継続）
・**リチウム蓄電池等処理困難物対策集の公表（令和４年４月１日事務連絡）**
・市町村を対象としたコンサルティング、ヘルプデスクの設置等（予定）



## 一般廃棄物処理におけるリチウム蓄電池等の現状と環境省の取組

環境省

### 令和３年度モデル事業の実施結果（一例）

＜鳥取県中部ふるさと連合会（倉吉市、湯梨浜町、三朝町、北栄町、琴浦町＞

**具体的な実施内容**
○ ポスター、ホームページ、広報誌等での周知
○ 回収ボックスの設置（有害ごみボックス、有害ごみモデルステーションでの回収）
○ 事前・事後にアンケートを実施

広報誌による周知（鳥取中部ふるさと広域連合）

**実施結果**
○ 各実施期間を通して、有害ごみボックスで約17%、有害ごみモデルステーションで約23.8%の回収率がみられた。
○ アンケートにより、小型充電式電池の危険性の把握、適切分別方法等に対する意識の向上が見られた。

**今後の課題**
○ 情報提供に関する満足度の向上
○ 有害ごみの回収ボックス等の利用促進
○ 住民の負担感の軽減

鳥取県中部地域の排出量推計結果（鳥取中部ふるさと広域連合）　単位：kg

| | | | 4月 | 5月 | 6月 | 7月 | 8月 | 9月 | 10月 | 11月 | 12月 |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| 全体排出量（不燃ごみ・小型家電・有害ごみ） | | 実績値 | 101,570 | 99,480 | 88,160 | 70,790 | 82,430 | 88,630 | 97,850 | 85,910 | 91,880 |
| リチウムイオン電池等以外排出量 | | 推計値 | 101,120 | 99,040 | 87,803 | 70,456 | 82,066 | 88,246 | 97,398 | 85,542 | 91,486 |
| リチウムイオン電池等排出量 | | 推計値 | 450 | 440 | 357 | 334 | 364 | 384 | 452 | 368 | 394 |
| （リチウムイオン電池等の混入割合） | | 算出値 | 0.4% | 0.4% | 0.4% | 0.5% | 0.4% | 0.4% | 0.5% | 0.4% | 0.4% |
| 種類別 | リチウムイオン電池付小型家電 | 推計値 | 211 | 218 | 155 | 168 | 177 | 174 | 341 | 265 | 276 |
| | （リチウムイオン電池付小型家電の割合） | 算出値 | 46.9% | 49.5% | 43.4% | 50.3% | 48.6% | 45.3% | 75.4% | 72.0% | 70.1% |
| | 排出方法別（不燃ごみ・小型家電への排出割合） | 算出値 | 100.0% | 100.0% | 74.2% | 80.4% | 78.0% | 76.4% | 73.0% | 64.2% | 63.0% |
| | 排出方法別（有害ごみボックスへの排出割合） | 算出値 | － | － | 25.8% | 19.6% | 22.0% | 23.6% | 7.6% | 9.8% | 10.9% |
| | 排出方法別（有害ごみステーションへの排出割合） | 算出値 | － | － | － | － | － | － | 19.4% | 26.0% | 26.1% |
| | リチウムイオン電池単体 | 推計値 | 239 | 222 | 202 | 166 | 187 | 210 | 111 | 103 | 118 |
| | （リチウムイオン電池単体の割合） | 算出値 | 53.1% | 50.5% | 56.6% | 49.7% | 51.4% | 54.7% | 24.6% | 28.0% | 29.9% |
| | 排出方法別（不燃ごみ・小型家電への排出割合） | 算出値 | 100.0% | 100.0% | 29.2% | 27.1% | 28.3% | 28.1% | 50.5% | 49.5% | 49.2% |
| | 排出方法別（有害ごみボックスへの排出割合） | 算出値 | － | － | 70.8% | 72.9% | 71.7% | 71.9% | 35.1% | 35.0% | 35.6% |
| | 排出方法別（有害ごみステーションへの排出割合） | 算出値 | － | － | － | － | － | － | 14.4% | 15.5% | 15.3% |

有害ごみ（ボックス）での電池単体（LIB等）の回収開始

有害ごみ（ボックス）、有害ごみ（モデルステーション）でのLIB等の回収開始

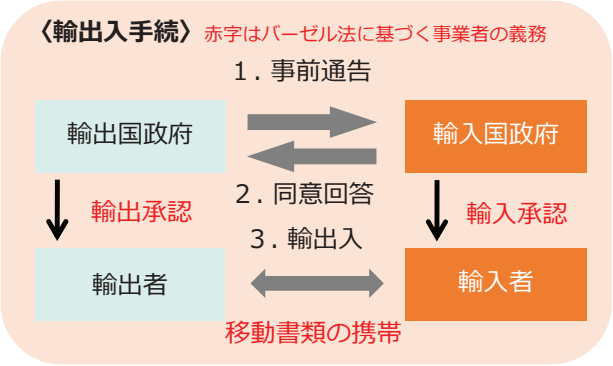
## バーゼル条約・バーゼル法について

### バーゼル条約（有害廃棄物の国境を越える移動及びその処分の規制に関するバーゼル条約）

- 成立：1989年バーゼル（スイス）で採択、1992年発効
- 経緯：1980年代、先進国から環境規制の緩い途上国への有害廃棄物の不適正輸出が多発
- 締約国数：188ヵ国１機関１地域
- 概要：・有害廃棄物の国内処理の原則・越境移動の最小化
  ・輸出先国への事前通告・同意取得義務、移動書類の携帯義務
  ・不法取引が行われた際の輸出者の国内引き取り義務

### バーゼル法（特定有害廃棄物等の輸出入等の規制に関する法律）

- 位置づけ：バーゼル条約の国内担保法
  （環境省と経産省の共管法）
- 概要：
  有害廃棄物等の輸出入に際して、
  輸出国と輸入　国の間での
  「事前通告及び同意」手続や
  「移動書類」の携帯等を義務付け。






## 廃プラスチック等の規制対象化

### バーゼル条約附属書改正（2021年1月発効）

- プラスチック廃棄物による海洋汚染の指摘を受け、バーゼル条約締約国会議（COP14）において、**プラスチックの廃棄物を新たに条約の規制対象に追加**する条約附属書改正が決議。
- これにより、全てのプラスチックの廃棄物（バーゼル条約の規制対象及び規制対象外を含む）が網羅的にバーゼル条約において規定された。
- 本附属書の改正を受け、我が国は廃プラ等を規制対象とするため、バーゼル法省令を改正。また、規制対象のプラスチックを判断するための**該非判断基準**を策定し、税関等と協力して輸出入管理を行っている。

〈途上国における廃プラの不適正処理〉

廃棄物管理の能力が低い国ではリサイクルの過程で環境中に流亡し、海洋汚染の懸念も。

→ **バーゼル条約で途上国への流れを輸出入の段階で管理**

〈該非判断基準に基づく輸出入管理〉

対象

税関の職員等が容易に判断でき、また、判断のばらつきが生じにくい基準を、汚れ、異物の混入、素材の単一性等の観点から策定。

→ **シップバック（返送）防止と円滑な輸出入環境確保の両立**

## 水銀に関する水俣条約について

- 水俣条約は、水銀及び水銀化合物の人為的な排出から人の健康及び環境を保護するため、水銀の人為的な排出を削減し、地球的規模の水銀汚染の防止を目指すものとして、平成29年８月16日に発効。
- 水俣条約を踏まえて水銀廃棄物に関しては、廃棄物処理法の政省令を改正し、新たに廃水銀等の特別管理廃棄物への指定（平成28年４月１日施行）や、水銀使用製品産業廃棄物、水銀含有ばいじん等の廃棄物区分を設定（平成29年10月１日施行）等を行った。

### 水銀廃棄物に関する今後の課題

#### 廃水銀等の最終処分場の確保

- 水俣条約により、令和２年末時点で水銀添加製品の製造・輸出入が原則禁止されたため、今後徐々に、有価物としての水銀の需要が縮小し、廃棄の必要性が増すことが見込まれる。
- 水俣条約を踏まえた廃棄物処理法の政省令改正やガイドライン改定により、廃水銀等の最終処分方法は規定されたものの、国内に廃水銀等の最終処分場が存在しない状況。

⇒国内における廃水銀等の最終処分場について、関心のある廃棄物処理業者や立地自治体との適切な役割分担のもと設置を促進

#### 水銀血圧計等の回収促進

- 水銀汚染防止法の附帯決議に基づいて、水銀血圧計等の回収（処理）促進を行っている。
- 医療機関や教育機関に関しては、日本医師会等や自治体の教育委員会等と協力して、集団で水銀血圧計等の回収を行うモデル事業の実施、マニュアルの策定を実施し、現在も継続して自主回収の普及促進事業を実施している。

⇒引き続き退蔵されている水銀使用製品等の回収促進を実施



## その他の主な有害廃棄物について

**石綿廃棄物**

- 石綿に関連する産業廃棄物は、廃棄物処理法において２つの分類に定義されており、**廃石綿等**は**特別管理産業廃棄物**としての規制を受け、**石綿含有産業廃棄物は通常の産業廃棄物に上乗せの規制**を受ける。
  - ◆**廃石綿等**･･･吹付け石綿、石綿を含む保温材など、飛散性が高く、人健康・生活環境被害を生ずるおそれがある性状
  - ◆**石綿含有産業廃棄物**･･･石綿含有スレート（波板、ボード）など、潜在的に人健康・生活環境被害を生ずるおそれがある性状（破砕等により飛散）
- 処理の基準（飛散防止、溶融・無害化、埋立処分等）についても廃棄物処理法において定められている。
- 今般、大気汚染防止法等の改正に伴い、新たに作業基準等が定められた石綿含有仕上塗材の廃棄物に関する取扱い等について整理を行い、**令和３年３月にマニュアルを改定**した。

**POPs廃棄物**

- 平成13年に採択されたストックホルム条約で残留性有機汚染物質(POPs)が指定され、平成21年以降に順次物質が追加されており、条約の規定によりそれらを含有する廃棄物は、POPsの特性を示さなくなるように分解等の適正な処理をする必要がある。
- 廃農薬類であるPOPsについては、平成16年度に**POPs廃農薬の処理に関する技術的留意事項**を、平成21年に指定されたPFOSについては、平成22年度に**PFOS含有廃棄物の処理に関する技術的留意事項**をそれぞれ策定しており、引き続き新規に指定される物質を含有する廃棄物の適正処理方法等に関して必要な検討を行っている。

ご清聴ありがとうございました。

講演１

# 気候変動にともなう脱炭素社会構築に向けた廃棄物行政と処分場のあり方

環境省
環境再生・資源循環局　廃棄物適正処理推進課
係長　北垣芳彦

環境省
Ministry of the Environment

# 廃棄物・資源循環分野における脱炭素化に向けて

令和４年６月

環境省環境再生・資源循環局
廃棄物適正処理推進課

## 廃棄物・資源循環分野における脱炭素化に向けて

1. 廃棄物・資源循環分野の脱炭素化（CN）
2. 廃棄物・資源循環分野における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
3. 資源循環分野からの地域循環共生圏形成に向けて

# 1.　廃棄物・資源循環分野の脱炭素化（CN）

2

## 最近の動き

| | |
|---|---|
| 令和２年９月８日 | **第35回　中央環境審議会循環型社会部会**<br>「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」において、「**資源循環分野からの地域循環共生圏モデルのイメージ**（たたき台）」を提示 |
| 10月26日 | **第203回　臨時国会の所信表明演説**<br>菅義偉内閣総理大臣は「2050年までに、温室効果ガスの排出を全体としてゼロにする、すなわち**2050年カーボンニュートラル**、脱炭素社会の実現を目指す」ことを宣言 |
| 12月25日 | **「2050年カーボンニュートラルに伴うグリーン成長戦略」策定**<br>菅政権が掲げる「2050年カーボンニュートラル」への挑戦を、「経済と環境の好循環」につなげるための産業政策であり、**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、予算、税、規制改革・標準化、国際連携など、あらゆる政策を盛り込んだ実行計画を策定 |
| 令和３年４月22日 | **第45回　地球温暖化対策推進本部**<br>菅義偉内閣総理大臣は、「2050年目標と整合的で、野心的な目標として、**2030年度に、温室効果ガスを2013年度から46%削減**することを目指します。さらに、**50%の高み**に向けて、挑戦を続けてまいります。」と発言 |
| ６月９日 | **第３回　国・地方脱炭素実現会議開催**<br>**地域脱炭素ロードマップ**策定 |
| ８月５日 | **第38回　中央環境審議会循環型社会部会**<br>「**廃棄物・資源循環分野における温室効果ガス排出実質ゼロに向けた中長期シナリオ**(案)」を提示 |
| 令和４年４月１日 | **地球温暖化対策の推進に関する法律　改正法施行**<br>①パリ協定・**2050年カーボンニュートラル宣言等を踏まえた基本理念**の新設<br>②**地域の再エネを活用した脱炭素化を促進する事業**を推進するための計画・認定制度の創設<br>③脱炭素経営の促進に向けた企業の排出量情報のデジタル化・オープンデータ化の推進等 |
| ４月26日 | **脱炭素先行地域選定（第１回）**<br>国全体の2030年度目標と整合する削減を地域特性に応じて実現する地域 |

3

# 2050年カーボンニュートラルに伴うグリーン成長戦略

- 2020年10月、日本は、**「2050年カーボンニュートラル」**を宣言した。
- 温暖化への対応を、経済成長の制約やコストとする時代は終わり、国際的にも、**成長の機会と捉える時代**に突入。

→ 従来の発想を転換し、積極的に対策を行うことが、産業構造や社会経済の変革をもたらし、次なる大きな成長に繋がっていく。こうした**「経済と環境の好循環」を作っていく産業政策　＝　グリーン成長戦略**

- 「発想の転換」、「変革」といった言葉を並べるのは簡単だが、**実行するのは、並大抵の努力ではできない**。

➢ 産業界には、**これまでのビジネスモデルや戦略を根本的に変えていく必要**がある企業が数多く存在。

→ **新しい時代をリードしていくチャンス**の中、大胆な投資をし、イノベーションを起こすといった**民間企業の前向きな挑戦を、全力で応援　＝　政府の役割**

- 国として、可能な限り**具体的な見通し**を示し、**高い目標**を掲げて、**民間企業が挑戦しやすい環境**を作る必要。

→ **産業政策の観点**から、**成長が期待される分野・産業を見いだすため**にも、まずは、2050年**カーボンニュートラルを実現するためのエネルギー政策及びエネルギー需給の絵姿を示す**ことが必要。

→ こうして導き出された**成長が期待される産業（14分野）**において、**高い目標**を設定し、**あらゆる政策を総動員**。

【出典】https://www.cas.go.jp/jp/seisaku/seicho/seichosenryakukaigi/dai6/siryou1.pdf　4

# グリーン成長戦略　⑬資源循環関連産業

- リデュース、リユース、リサイクル、リニューアブルについては、法律や計画整備により技術開発・社会実装を後押ししている。廃棄物発電・熱利用、バイオガス利用については、既に商用フェーズに入っており普及や高度化が進んでいる。今後、これらの取組について、「国・地方脱炭素実現会議」等における議論を踏まえつつ、技術の高度化・効率化、設備の整備、低コスト化・デジタル化等により更なる推進を図る。
- 循環経済への移行も進めつつ、2050年までに、温室効果ガスの排出を全体としてゼロにする。

| | 現状と課題 | 今後の取組 |
|---|---|---|
| Reduce・Renewable | **法整備や計画策定より技術開発・社会実装を後押し**<br>・リデュース：循環基本法・基本計画・各種リサイクル法等により推進。<br>・バイオマス化・再生材利用：実証事業により、化石資源由来のプラスチックの再生可能なバイオマスプラスチック・紙などへの代替を推進。また、グリーン購入法等により、化石資源由来のプラスチックからバイオマスプラスチックへの代替を促進。 | **技術の高度化、設備の整備、低コスト化**<br>・リデュース：関係者間で使用済製品・素材に関する必要な情報を共有するためのシステムの実証。<br>・バイオマス化・再生材利用：「バイオプラスチック導入ロードマップ」を踏まえ、更なる再生利用拡大に向けた、**バイオマス素材の高機能化や用途の拡大・低コスト化に向けた技術開発・実証、リサイクル技術の開発・高度化、設備の整備、需要創出**。<br>・これらによる**国民生活において環境に配慮した製品の選択肢の拡充**や**地域での廃棄物焼却に伴う$CO_2$排出の低減**。 |
| Reuse・Recycle | **法整備や計画策定より技術開発・社会実装を後押し**<br>・リユース・リサイクル：循環型社会形成推進基本法及び同基本計画・各種リサイクル法等により取組を推進するとともに、グリーン購入法によりリサイクル製品の調達拡大を推進。また、国内での再生利用に向けたリサイクル技術の実証、設備の導入補助を実施。<br>・焼却施設排ガス等の活用：ごみ焼却施設においてCCUプラントが稼働済。加えて、廃棄物の焼却・ガス化に伴う排ガス等からメタンやエタノール等を生成する実証事業を実施。 | **技術の高度化、設備の整備、低コスト化**<br>・リサイクル：更なる再生利用拡大に向け、**リサイクル性の高い高機能素材やリサイクル技術の開発・高度化、回収ルートの最適化、設備容量の拡大**に加え、**再生利用の市場拡大**を図る。<br>・焼却施設排ガス等の活用：廃棄物処理施設から$CO_2$等を回収しやすくするための燃焼制御等や多様な不純物を含む低濃度の排ガスからの$CO_2$等の分離・回収・利用等の**技術開発や実証事業等を通じたスケールアップ、コスト低減**等を図り、**実用化・社会実装**に向けた取組を進める。<br>・これらにより、**廃棄物や排ガスを地域資源として活用した産業振興等、地域循環共生圏の創造**による持続可能な地域づくりを推進。 |
| Recovery | **商用フェーズに入っており普及や高度化が進んでいる**<br>・有機物の埋め立てによるメタン発生を回避するため、処理せざるを得ない廃棄物を焼却、ガス化してエネルギー回収を行う。<br>・廃棄物発電：ボイラー材料の技術開発等によりごみ焼却施設の発電効率を毎年向上させ、2018年度は平均13.58%を達成。<br>・熱利用：廃棄物焼却施設から発生する熱を熱導管で近隣の利用施設へ供給すること等により有効活用を推進。<br>・バイオガス化：中小廃棄物処理施設での焼却によるごみ処理量当たりのエネルギー回収量に限りがあることから、メタン発酵によるバイオガス化技術で廃棄物エネルギーを回収。<br>・焼却施設排ガス等の固定化：ごみ焼却炉の排ガス等から分離・回収した$CO_2$を固定化するラボレベルでの技術開発を実施。<br>・エネルギー回収効率の向上とコスト低減を図るには、一定以上の処理能力を有する施設を整備していく必要があり、廃棄物の広域的な処理や廃棄物処理施設の集約化を推進。 | **技術の高度化、設備の整備、低コスト化**<br>・廃棄物発電：未利用バイオマス資源の活用を進めつつ、今後のごみ質の大きな変化（プラ割合の減少に伴う生ごみ割合の増加等）によって、発熱量が小さくなり、発電効率の低下が懸念されることから、**低質ごみ下での高効率エネルギー回収を確保するための技術開発**を進める。<br>・熱利用：廃棄物焼却施設の運転効率の向上に加え、廃棄物焼却施設の立地条件が熱の活用度合いに大きく影響するため、遠方の利用施設に熱供給を行うための**蓄熱や輸送技術の向上並びにコスト低減**を促進する。<br>・バイオガス化：今後のごみ質の大きな変化に伴う**メタン化施設の大規模化を見据えた技術実証**事業を進めるとともに、下水道バイオマスの活用拡大のため、「下水道エネルギー拠点化コンシェルジュ事業」の充実など、地方公共団体における案件形成促進を2025年度まで集中的に取り組む。<br>・引き続き、**廃棄物の広域的な処理や廃棄物処理施設の集約化**を推進。<br>・これらにより、**地域循環共生圏の核となる地域に新たな価値を創出する施設整備**を推進。 |

5

## グリーン成長戦略　⑬資源循環関連産業の 成長戦略「工程表」

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

●具体化すべき政策手法：　①目標、②法制度（規制改革等）、③標準、④税、⑤予算、⑥金融、⑦公共調達等

| | 2020年 | 2021年 | 2022年 | 2023年 | 2024年 | 2025年 | ～2030年 | ～2040年 | ～2050年 |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | 循環経済への移行 | | | | | | | | 循環経済への移行も進めつつ、2050年までに、温室効果ガスの排出を全体としてゼロにする |
| Reduce・Renewable | ○リデュース<br>食ロス削減、サステナブルファッション、ワンウェイプラスチックの削減… | | | | | | | | |
| | ○Renewable<br>代替素材化（製品のバイオマス化・再生材利用等）の技術開発・実証 | | | 代替素材化（製品のバイオマス化・再生材利用等）導入拡大 | 代替素材化（製品のバイオマス化・再生材利用等）による製品の自立的普及拡大 | | | | |
| Reuse・Recycle | ○リサイクル<br>リサイクル技術の技術開発・実証 | | | リサイクル技術の導入、コスト低減 | リサイクル技術の普及拡大 | | | | |
| | ○焼却施設排ガス等の活用<br>焼却施設排ガス等の$CO_2$を活用したプラスチック原料等の製造実証・焼却施設の最適化等を通じた回収率向上 | | | コスト低減 | | | | | 更なるコスト低減による導入拡大 |
| Recovery | ○エネルギー回収の高度化・効率化<br>焼却施設の運転効率向上、生活系生ごみの大規模バイオガス化技術の確立、発電効率向上、バイオマス資源（下水道バイオマス・伐採木等）の活用拡大 | | | | | | メタン発酵エネルギー回収の向上、消化液等の有効活用 | 有機性廃棄物の一体処理によるコスト低減策の検討 | 先進事例の横展開、低コスト化 |
| | 先進事例の横展開 | | | | | | | | |
| | ○回収したエネルギー利用の高度化・効率化<br>排熱利用型地域熱供給、オフライン熱輸送の向上等 | | | | | | エネルギー回収の全体効率の向上策、導入拡大策の検討 | 低コスト化 | |
| | 先進事例の横展開 | | | | | | | | |

6

## 地域脱炭素ロードマップ対策・施策の全体像

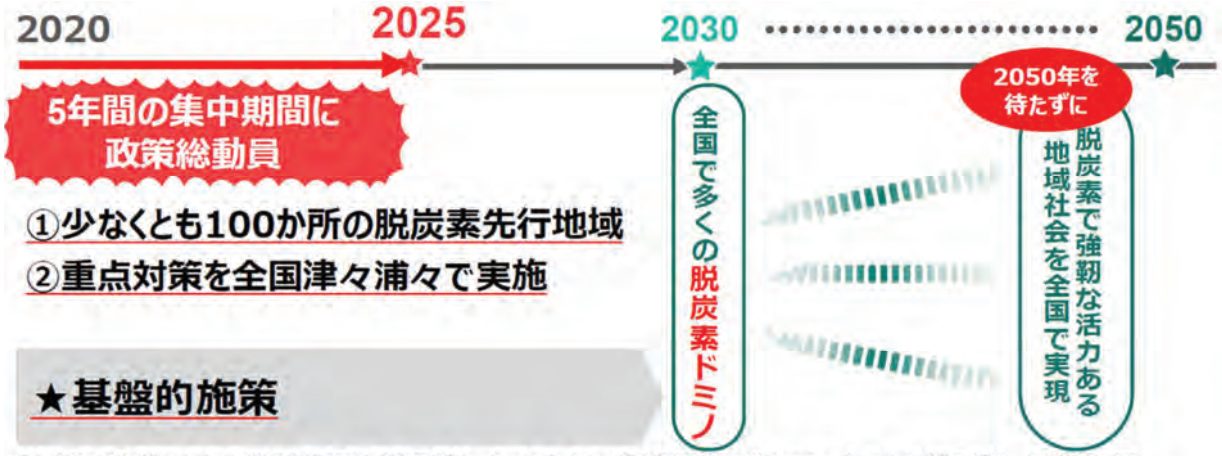
■ **足元から5年間**に政策を総動員し、人材・技術・情報・資金を積極支援

① 2030年度までに少なくとも**100か所の「脱炭素先行地域」**をつくる

② 全国で、重点対策を実行（自家消費型太陽光、省エネ住宅、電動車、食ロス対策など）

■ ３つの基盤的施策（①継続的・包括的支援、②ライフスタイルイノベーション、③制度改革）を実施

■ モデルを全国に伝搬し、2050年を待たずに脱炭素達成（**脱炭素ドミノ**）



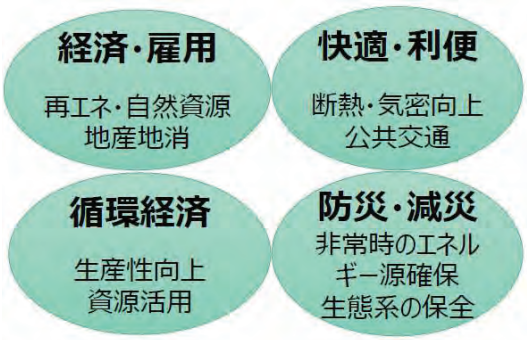

「みどりの食料システム戦略」「国土交通グリーンチャレンジ」「2050カーボンニュートラルに伴うグリーン戦略」等の政策プログラムと連携して実施する

【出典】https://www.cas.go.jp/jp/seisaku/datsutanso/dai3/siryou1-2.pdf

7

## 地域脱炭素ロードマップのキーメッセージ～地方からはじまる、次の時代への移行戦略～

地域脱炭素は、地域課題を解決し、地域の魅力と質を向上させる地方創生に貢献
① 一人一人が主体となって、**今ある技術**で取り組める
② **再エネなどの地域資源を最大限**に活用することで実現できる
③ 地域の経済活性化、**地域課題の解決に貢献**できる




- ✓ 我が国は、限られた国土を賢く活用し、面積当たりの太陽光発電を世界一まで拡大してきた。他方で、**再エネをめぐる現下の情勢は、課題が山積**（コスト・適地確保・環境共生など）。国を挙げてこの課題を乗り越え、**地域の豊富な再エネポテンシャルを有効利用していく**
- ✓ 一方、環境省の試算によると、約9割の市町村で、**エネルギー代金の域内外収支は、域外支出が上回っている**(2015年度)
- ✓ 豊富な再エネポテンシャルを有効活用することで、地域内で資金を循環させることが重要

【出典】https://www.cas.go.jp/jp/seisaku/datsutanso/dai3/siryou1-2.pdf

8

## 地域と暮らしに関わる分野別の促進施策①

### （1）地域共生・裨益型の再エネ利活用促進

① 建築物の屋根等の未利用スペースでの初期費用ゼロ型の**自家消費型太陽光発電の促進**
② 地域共生・裨益型の**優良再エネの顕彰**等
③ 既存の系統線や自営線等を活用した**地域再エネの地産地消/面的利用の推進**
④ 再エネ電気を積極的に利用する**需要家の見える化**
⑤ 自治体主導での再エネ電気・設備調達の**共同購入やリバースオークション**
⑥ 再エネ豊富地等での**再エネ活用型データセンターの構築促進**

### （2）住宅・建築物

① **庁舎や学校等の公共施設**の新築・改修時の省エネ性能向上の推進
② **地方自治体による住宅・建築物**の省エネ性能向上の推進
③ 建築物への**木材利用の促進**

### （4）地域経済・生活を支える産業（商工業・農林水産業）

① **中小企業**の省エネ・再エネ等の脱炭素化の取組の一層の推進
② **エネルギー企業の取組の推進**
③ ノンフロン・低GWP（地球温暖化係数）冷媒の普及や代替フロンの排出抑制の促進フロンの漏洩防止・回収と自然冷媒利用
④ **営農型太陽光発電やバイオマス**など農山漁村再エネの推進
⑤ ICTや未利用エネを活用するスマート農業
⑥ 農林業機械、漁船、用排水機等の脱炭素化
⑦ バイオマス産業都市構想の推進
⑧ 有機物の施用等による農地土壌への炭素貯留

### （3）まちづくり・交通・観光

① **ゼロカーボン・ドライブ**普及の基盤整備
② **コンパクト・プラス・ネットワークの推進**
③ **ウォーカブルな都市空間の形成の推進**
④ 公共交通機関の利用促進
⑤ **都市内のエリア単位の脱炭素化の推進**
⑥ 環境に配慮した優良な民間都市開発事業への支援等による都市再生の推進
⑦ 3D都市モデル(PLATEAU)等のデジタル技術やデータを活用したまちづくりの推進
⑧ **スマートシティの推進**
⑨ 2027年国際園芸博覧会開催によるグリーン社会構築に向けた取組の推進
⑩ 都市公園への再生可能エネルギーの導入推進
⑪ 船舶・鉄道・航空の次世代グリーン輸送機関の普及
⑫ 国立公園等における**観光拠点・ツアーの脱炭素化**

9

## 地域と暮らしに関わる分野別の促進施策②

### （５）循環経済への移行

① **プラスチック資源循環の促進**
② **食品廃棄ゼロ**を目指す先行エリアの創出
③ **循環型ファッションの促進**
④ **家庭ごみ有料化**等を通じたごみ減量化の推進
⑤ **使用済み製品等のリユース**の普及拡大
⑥ 地域の特性に応じた地域資源循環モデルの創出
⑦ 太陽光パネル、蓄電池等の脱炭素設備機器の循環利用メカニズムの構築
⑧ 広域的・効率的な**下水道バイオマス**等の有効利用による創エネ等の推進

### （６）自然の力を活かした脱炭素化

① 森林等の地域生態系の持つ**炭素固定機能の強化**
② **グリーンインフラやEco-DRR（生態系を活用した防災・減災）**の地域への実装
③ 里山資源の活用と里山未来拠点の形成
④ 国土全体での**生態系の保全・再生**

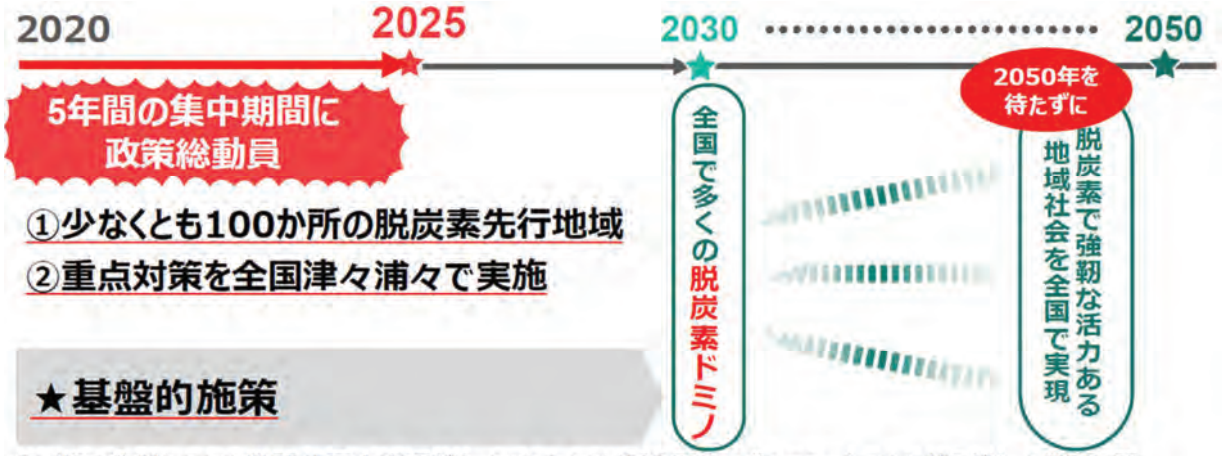
### （７）地域の生活・循環経済を支えるインフラ

① **廃棄物処理システムのトータルでの脱炭素化**
② **上下水道施設の脱炭素化**に向けた施設の更新・集約再編等
③ 広域的・効率的な**下水道バイオマス**等の有効利用による創エネ等の推進
④ **下水熱**の周辺地域内での活用
⑤ 過疎地域等におけるラストワンマイル配送の持続可能性の確保
⑥ 物流・人流を支える**商用車等の電動化・脱炭素化**
⑦ 脱炭素化に配慮した港湾機能の高度化等を通じた**カーボンニュートラルポート**の形成
⑧ **空港**における脱炭素化
⑨ 地域の主体によるライフラインとしての**配電網の維持**
⑩ 公共投資の判断時の**費用便益分析における$CO_2$排出の内部化**



## 地域脱炭素ロードマップ対策・施策の全体像

■ **足元から5年間**に政策を総動員し、人材・技術・情報・資金を積極支援
① 2030年度までに少なくとも**100か所の「脱炭素先行地域」**をつくる
② 全国で、重点対策を実行（自家消費型太陽光、省エネ住宅、電動車、食ロス対策など）
■ ３つの基盤的施策（①継続的・包括的支援、②ライフスタイルイノベーション、③制度改革）を実施
■ モデルを全国に伝搬し、2050年を待たずに脱炭素達成（**脱炭素ドミノ**）




「みどりの食料システム戦略」「国土交通グリーンチャレンジ」「2050カーボンニュートラルに伴うグリーン戦略」等の政策プログラムと連携して実施する

【出典】https://www.cas.go.jp/jp/seisaku/datsutanso/dai3/siryou1-2.pdf

# 地球温暖化対策推進法の一部を改正する法律

「2050年までの脱炭素社会の実現」を基本理念として法律に位置付け、政策の予見可能性を向上。

**長期的な方向性を法律に位置付け**
**脱炭素に向けた取組・投資を促進**

**地球温暖化対策の国際的枠組み「パリ協定」の目標や「2050年カーボンニュートラル宣言」を基本理念として法に位置付け**

- 地球温暖化対策に関する政策の方向性が、法律上に明記されることで、国の政策の継続性・予見可能性が高まるとともに、国民、地方公共団体、事業者などは、より確信を持って、地球温暖化対策の取組やイノベーションを加速できるようになります。
- 関係者を規定する条文の先頭に「国民」を位置づけるという前例のない規定とし、カーボンニュートラルの実現には、国民の理解や協力が大前提であることを明示します。

**地方創生につながる再エネ導入を促進**

**地域の求める方針（環境配慮・地域貢献など）に適合する再エネ活用事業を市町村が認定する制度の導入により、円滑な合意形成を促進**

- 地域の脱炭素化を目指す市町村から、環境の保全や地域の発展に資すると認定された再エネ活用事業に対しては、関係する行政手続のワンストップ化などの特例を導入します。
- これにより、地域課題の解決に貢献する再エネ活用事業については、市町村の積極的な関与の下、地域内での円滑な合意形成を図りやすくなる基盤が整います。

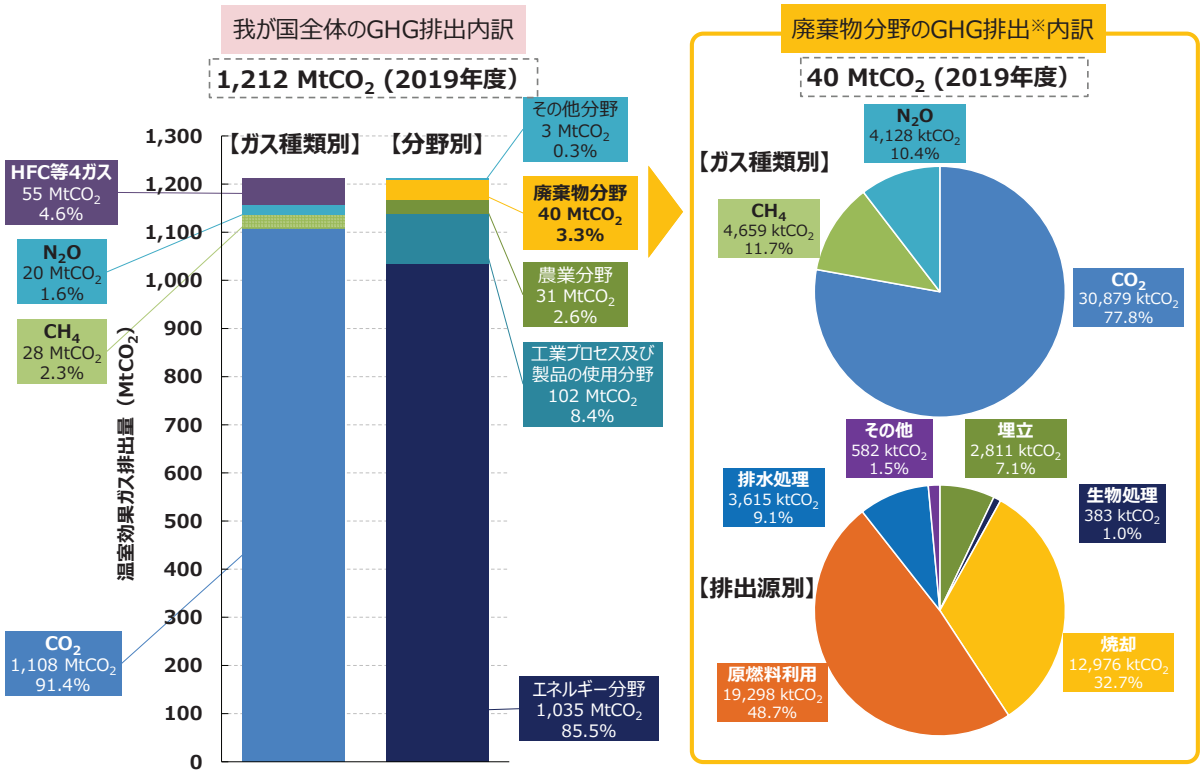
**ESG投資にもつながる**
**企業の排出量情報のオープンデータ化**

**企業からの温室効果ガス排出量報告を原則デジタル化**
**開示請求を不要にし、公表までの期間を現在の「2年」から「1年未満」へ**

- 政府として行政手続のデジタル化に取り組む中、本制度についてもデジタル化を進めることにより、報告する側とデータを使う側双方の利便性向上が図られます。
- 開示請求を不要とし、速やかに公表できるようにすることで、企業の排出量情報がより広く活用されやすくなるため、企業の脱炭素経営の更なる実践を促す基盤が整います。

## 2. 廃棄物・資源循環分野における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

# 我が国全体及び廃棄物分野のGHG排出量（2019年度）

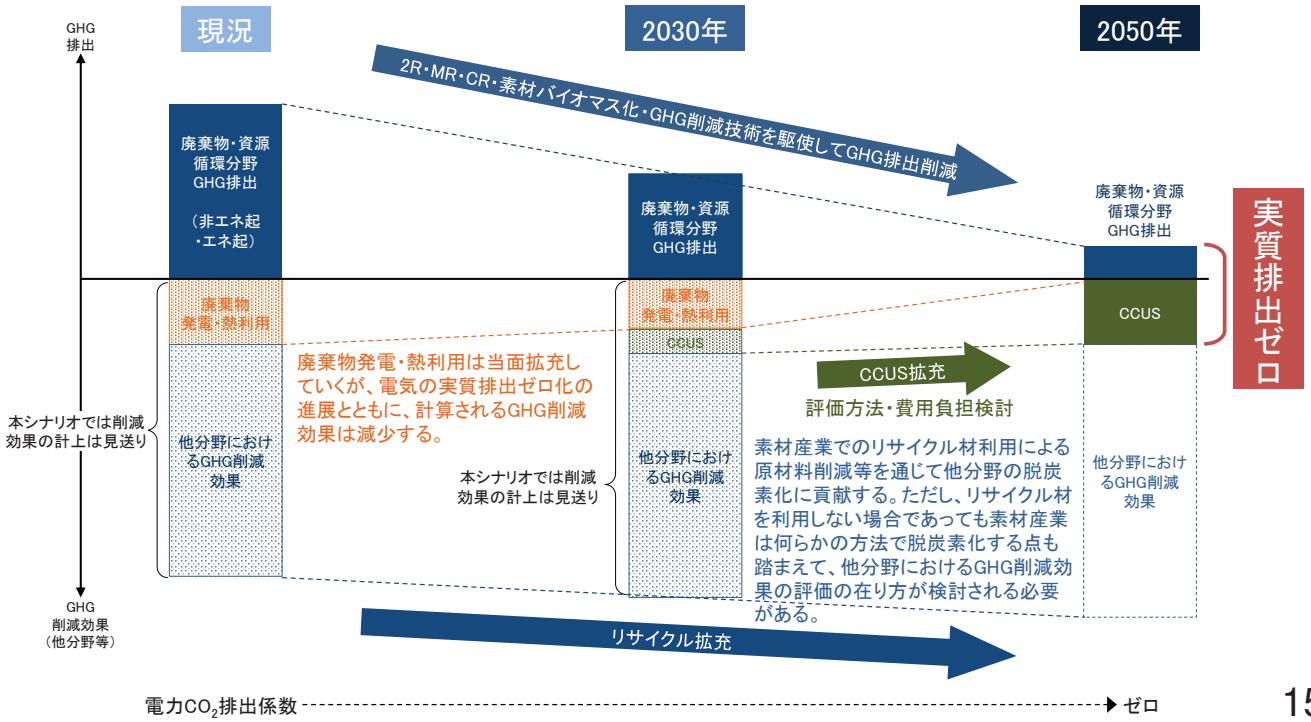



※「2019 年度（令和元年度）の温室効果ガス排出量（確報値）について」（環境省）におけるGHG排出分野の定義に基づき集計しており、後述する「廃棄物・資源循環分野のGHG排出」とは集計対象が異なる。
出典：（国研）国立環境研究所温室効果ガスインベントリオフィス，日本の温室効果ガス排出量データ（1990～2019年度）確報値をもとに作図

14

# 2050年CNに向けた廃棄物・資源循環分野の基本的考え方

・3R+Renewableの考え方に則り、廃棄物の発生を抑制するとともにマテリアル・ケミカルリサイクル等による**資源循環と化石資源のバイオマスへの転換**を図り、**焼却せざるを得ない廃棄物についてはエネルギー回収とCCUSによる炭素回収・利用を徹底**し、**2050年までに廃棄物分野における温室効果ガス排出をゼロ**にすることを目指す。




15

# 廃棄物・資源循環分野の中長期シナリオと温室効果ガス排出量の見通し

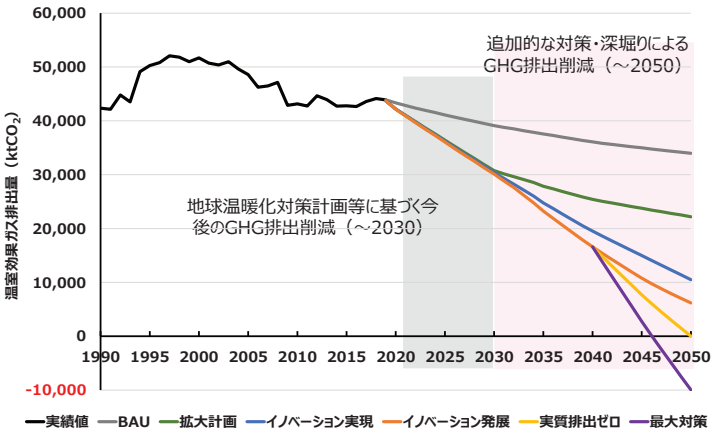
中長期シナリオ総括表

| 廃棄物・資源循環分野で想定するシナリオ | 2050年GHG排出量（千トン$CO_2$）試算結果※ | | | |
|---|---|---|---|---|
| | 非エネ起 | エネ起 | CCUS | 合計 |
| 【BAUシナリオ】<br>・現況年度（2019年度）付近の対策のままで2050年まで推移することを想定したシナリオ。<br>・以下で試算する各シナリオによる削減効果はBAUシナリオのGHG排出量との差分で示す。 | 29,602 | 4,367 | - | 33,968 |
| 【計画シナリオ】<br>・地球温暖化対策計画、プラスチック資源循環戦略、バイオプラスチック導入ロードマップ、プラスチック資源循環促進法等のGHG削減・資源循環に資する既存の計画・法制度や、業界団体等の目標値に基づき対策導入量を想定するシナリオ。 | 20,270 | 1,933 | - | 22,203 |
| 【拡大計画シナリオ】<br>・計画シナリオに加え、廃棄物処理施設や収集運搬車両等におけるエネルギー起源$CO_2$対策を計画シナリオの対策導入強度に準じて導入するシナリオ。 | 20,270 | 1,911 | - | 22,180 |
| 【イノベーション実現シナリオ】<br>・拡大計画シナリオをベースに、現状の技術開発動向等を踏まえ、各重点対策領域におけるGHG削減技術のイノベーションによる削減量の深掘りを見込むシナリオ。 | 9,031 | 1,468 | - | 10,499 |
| 【イノベーション発展シナリオ】<br>・イノベーション実現シナリオをベースに、現状の技術水準や技術開発動向では必ずしも十分に担保されない水準まで対策導入量の深掘りを見込むシナリオ。 | 6,164 | 0 | - | 6,164 |
| 【実質排出ゼロシナリオ】<br>・イノベーション発展シナリオをベースに、廃棄物・資源循環分野のGHG排出量を相殺する量のCCUS（本シナリオではCCSとして想定）導入を廃棄物処理施設で見込むシナリオ。 | 6,164 | 0 | -6,164 | 0 |
| 【最大対策シナリオ】<br>・実質排出ゼロシナリオをベースに、廃棄物処理施設におけるCCUS量を最大限まで見込むシナリオ。 | 6,164 | 0 | -16,138 | -9,975 |

※ 試算結果は現時点での推計値であり、今後の想定等の見直しにより変更する可能性がある。

16

# 廃棄物・資源循環分野の中長期シナリオと温室効果ガス排出量の見通し

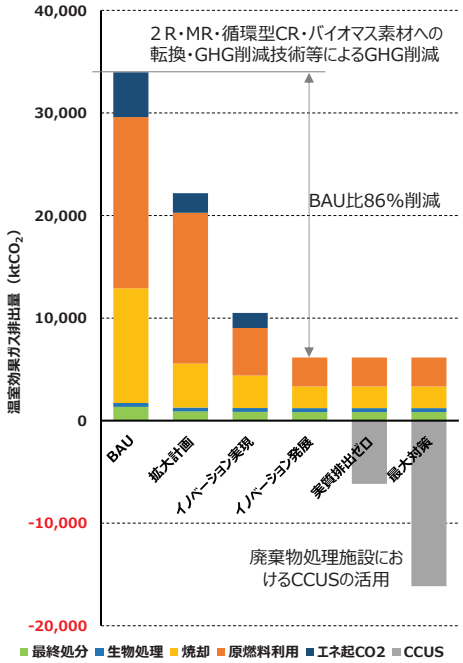



シナリオ別の廃棄物・資源循環分野の実質排出ゼロ化に向けた経路の試算結果

2050年のシナリオ別・排出源別のGHG排出量試算結果

| ($ktCO_2$) | | シナリオ | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | | BAU | 拡大計画 | イノベーション実現 | イノベーション発展 | 実質排出ゼロ | 最大対策 |
| 排出源 | 埋立 | 1,350 | 898 | 851 | 834 | 834 | 834 |
| | 生物処理 | 377 | 377 | 377 | 377 | 377 | 377 |
| | 焼却 | 11,172 | 4,299 | 3,167 | 2,126 | 2,126 | 2,126 |
| | 原燃料利用 | 16,703 | 14,696 | 4,636 | 2,827 | 2,827 | 2,827 |
| | エネ起$CO_2$ | 4,367 | 1,911 | 1,468 | 0 | 0 | 0 |
| | CCUS※ | 0 | 0 | 0 | 0 | -6,164 | -16,138 |
| | 合計 | 33,968 | 22,180 | 10,499 | 6,164 | 0 | -9,975 |

※ 廃棄物焼却施設から排出される排ガス中の$CO_2$をCCSした場合の削減効果を計上

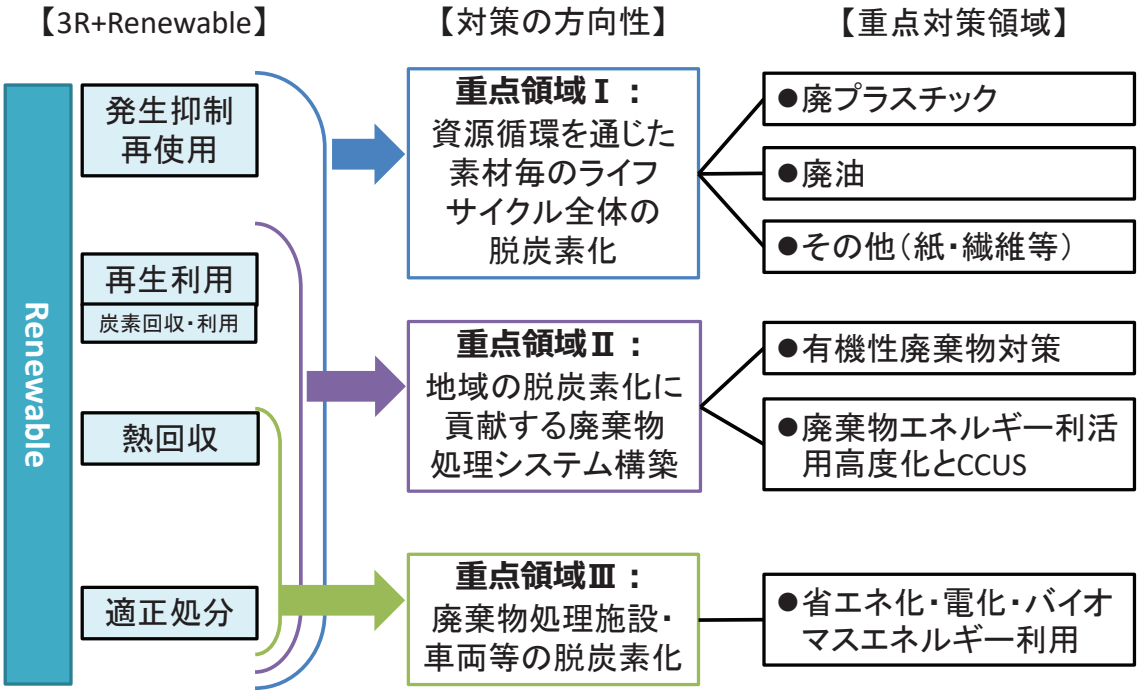



2050年のシナリオ別の廃棄物・資源循環分野のGHG排出量試算結果

17

## 重点対策領域

・廃棄物・資源循環分野の排出量に占める割合が大きい非エネ起GHGは、素材のライフサイクルとの関連が深い。
　⇒**非エネ起GHG排出量が大きい素材群に着目**。
・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。
　⇒**削減ポテンシャルが大きいと思われる処理方式**に着目。
・カーボンバジェット（累積総排出量削減）・高排出構造のロックイン回避の観点からも、**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。






## 廃棄物・資源循環分野の中長期シナリオからの示唆（全体）

- 2050年において、廃棄物処理施設（焼却施設・バイオガス化施設等）からの排ガス等の中の炭素の大半がバイオマス起源となり、廃棄物処理施設でCCUSを最大限実装できれば、ネガティブエミッションにより廃棄物・資源循環分野の実質ゼロ、さらには実質マイナスを実現できる可能性があることが示唆された。
- 同時に、これまでの計画等の延長線上の対策では不十分なことが明らかとなった。技術、制度面での対策のみならず、関係者が一丸となり、相当な野心を持って取り組む必要がある。
- 本分野のGHG排出量を可能な限り削減するという基本原則のもと、2R対策を可能な限り強化しつつ、重点対策領域におけるGHG削減に向けた取組を可能な限り進める必要がある。
- 今後、素材産業や製造業等における将来見通しに変化があれば、それらを取り込んで試算の更新を行っていく必要がある。また、本分野の実質排出ゼロの達成に向け、これらの産業と連携した対策を講じていくことも必要である。

## 廃棄物・資源循環分野の中長期シナリオからの示唆（重点対策領域）

- **本分野の最大のGHG排出を占める廃プラスチック対策**については、**MR・循環型CRの進展や原料への収率の向上、バイオマスプラスチックへの転換**に注力する必要がある。また、**廃油**については、先行する諸外国に倣った**廃潤滑油・廃溶剤等のMR**の実施に向け、新たに取組を進めていく必要がある。**紙おむつ・合成繊維くず**については、**MRの可能性を模索しつつ、素材のバイオマス化**も主眼に置いた対策を進めていく必要がある。いずれも現状の技術水準に加えて、**GHG削減技術の野心的なイノベーション**が求められる。また、これらの**新たな技術に対応した廃棄物回収・処理システムの対応**も求められる。
- 長期間使用される廃棄物処理施設は、2050年時点のエネルギー使用量を削減し、特に燃料の燃焼をできるだけ回避するためにも、**早期から脱炭素型の施設整備（更新）**を進めていくことが有効である。廃棄物・資源循環分野からのGHG排出量の大幅な削減を目指すシナリオでは、廃プラスチック等の３Rの大幅進展により処理される廃棄物の単位発熱量低下が見込まれることからも、し尿処理施設との統合処理も含め**メタン発酵等の導入必要性**が高まると同時に、処理施設の集約化を進めることなどにより**エネルギー収支を向上**することが期待できる。なお、これらの取組は、例えば2040年以降の新たな焼却施設の整備量にも関係することに留意が必要である。
- 廃棄物処理施設や収集運搬車両（EV）で使用する電気については、**再生可能エネルギーの導入**が進み、CO2排出係数がゼロになると仮定しており、本分野でもGHG削減に大きく貢献しているが、廃棄物処理施設から回収されたエネルギーの削減効果にも影響するため、実質排出ゼロに向けた状況等を注視していく必要がある。また、**バイオマス燃料の調達可能性**等についても十分に留意していく必要がある。

20

## 2050年温室効果ガス排出実質ゼロ実現に向けて

**廃棄物・資源循環分野の中長期シナリオ（案）**

**3R+Renewableを基盤とした資源生産性向上による脱炭素化**
（循環経済アプローチによる可能性）

| 対策の方向性 | 各対策の実現に向けた具体的な検討 深度化・精緻化 | 各種制度面の整備・推進の仕組みづくり |
|---|---|---|
| **重点領域Ⅰ：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** | ➢ 他分野との連携・調整<br>➢ 3R+Renewable概念の発展・深度化<br>➢ 素材ごとの検討熟度の向上<br>➢ 持続性の確保を前提とした適切な素材転換の推進 | • 環境整備による地域・民間の動きの促進<br>• 製造事業者、消費者等の意識改革・動向誘導<br>• 自治体の動きを支える人材面・制度面からの支援<br>• 取組時期の調整<br>• 国・社会全体の動きに合わせた制度検討 |
| **重点領域Ⅱ：地域の脱炭素化に貢献する廃棄物処理システム構築** | ➢ 地域に適したシステム、技術の選択・評価<br>➢ 生成物、エネルギーの有効利用に係る地域や動脈産業との連携<br>➢ CCUSに係る検討 | |
| **重点領域Ⅲ：廃棄物処理施設・車両等の脱炭素化** | ➢ 技術開発の推進、実装 | |

**中長期シナリオのアップデート**
技術の検討・選択／対策コストの検討／処理フローの検討／最新動向・情報の反映

21

## 収集車両（電動パッカー車）

・EVトラックシャシとの組み合わせで、走行から積込までを全て**電動化したパッカー車両は既に実現**。
・現在のリチウムイオン電池を前提にすると、容量約80kWhで走行距離100kmのトラックに架装すれば、積込を含め約85kmの走行距離が確保できるが、大容量バッテリパック重量も加わると、電費悪化に加え、最大積載量減少可能性があるため、バッテリを縮小し、休み時間中に急速充電でカバーする運用対策が考えられる。
・一方、バッテリパックを交換式とすれば、ごみ処理施設において交換することで、速やかに対応できる。
・電動化で、走行時に加え、積込も電動パワーユニットで騒音対策可能性が高まり、静粛化可能。

**電動パッカー車によるエネルギー使用量変化（対策ケース試算では両者の比率を使用）**

| | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|
| ディーゼル車 | 1.33 L/回 × | 6 回/日 × | 300日/年 | | ＝2400L/年 |
| 電動車 | 2.0kWh/回× | 6 回/日 × | 300日/年 | ÷充電効率 0.8 | ＝4500kWh/年 |

（算定条件） 車両：２ｔ積みプレス車 稼働条件：１日６回満載 稼働日数：25日/月×12か月＝300日/年

出典：松本典浩「ごみ収集車電動化技術とその評価」（2018年12月）極東開発工業(株) 技報 vol.6-2

バッテリ交換型EVパッカー車と給電・蓄電システム（電池ステーション）

https://www.city.tokorozawa.saitama.jp/kurashi/seikatukankyo/kankyo/ecotown/machi_eco_kouhyou.files/smartenergy.p

川崎市・所沢市は、バッテリ交換式EVパッカー車を2019年2月～3月に導入

EVごみ収集車（電池交換型）と電池ステーション

https://www.city.kawasaki.jp/kurashi/category/24-1-28-0-0-0-0-0-0-0.html

厚木市はEVパッカー車1台を2021年度内に導入し、稼働を開始

EVトラックを用いたごみ収集車のイメージ

出典：三菱ふそうトラック・バス株式会社ご提供資料

22

## 地方公共団体におけるバイオプラスチック等製ごみ袋導入のガイドライン

■ バイオマスに含まれる炭素分は成長過程において大気中のCO2を固定したものであるため、バイオマスは、再生産する限りにおいて、燃焼しても大気中のCO2は増加しないという特性（カーボンニュートラル）がある。

■「プラスチック資源循環戦略」（令和元年５月31日）において、マイルストーンとして2030年までにバイオマスプラスチックを約200万トン導入することを掲げており、重点戦略として、可燃ごみ指定収集袋等へのバイオマスプラスチックの使用を掲げている。

■ 地方公共団体でのごみ袋等へのバイオプラスチックの導入促進を目指すため、地方公共団体におけるバイオプラスチック等製ごみ袋導入のガイドライン（バイオマスプラスチック等編）を策定した。

＜バイオマスプラスチック等製ごみ袋導入により期待される効果（例）＞

| | 導入前 | 導入後 | 期待される導入効果（例） |
|---|---|---|---|
| ごみ袋の素材 / 処理方法 | 化石資源由来PE / 焼却 | バイオマスプラスチック / 焼却 | ✓ 焼却時の$CO_2$の削減（※導入前のシステムとの比較） |
| | 化石資源由来PE / 焼却 | プラスチックとの複合バイオ素材 / 焼却 | ✓ 焼却時の$CO_2$の削減（※導入前のシステムとの比較）<br>✓ 地域資源の有効活用<br>✓ 地域農業・産業の振興 |

23

## 市町村の３Ｒ化ガイドライン

- 市町村において３Ｒや熱回収等を進めるに当たっては、廃棄物処理システムの合理性・効率性を確認するための３つのガイドラインの普及を促進
- いずれも2007年度に策定され、2013年度に見直しを実施
- 2020年度に会計基準改訂、2021年度に有料化のガイドラインを改訂

**①一般廃棄物会計基準（コスト分析のガイドライン）**

◆市町村の一般廃棄物の処理に関する事業のコスト分析手法

◆目的　・納税者に対する事業のコスト内訳等の説明
・事業運営のあり方を検討するための基礎情報
・費用対効果の検証、検証に基づく事業の改善

**②一般廃棄物処理有料化の手引き（有料化のガイドライン）**

◆有料化導入を検討する際の検討手法を提示

◆内容　・料金体系、料金水準、徴収方法、収集体制の変更等
・円滑な導入及び実施（不法投棄等への対応）
・有料化制度の評価と見直し

**③一般廃棄物処理システム指針（分別収集区分や再生利用等に関するガイドライン）**

◆標準的な分別収集区分、区分に応じた再生利用、適正処分の方法を提示

◆一般廃棄物処理システムの評価（発生抑制、資源回収、エネルギー回収、最終処分割合、温室効果ガス、処理経費等）の考え方

今年度
改訂予定

24

# ３．資源循環分野からの地域循環共生圏形成に向けて

25

# 地域循環共生圏を踏まえた一般廃棄物処理のあり方のイメージについて

環境省

- 2050年カーボンニュートラルに向けた検討が加速しており、資源循環・廃棄物処理においても、対応が必要不可欠
- 「**資源循環分野からの地域循環共生圏(ローカルSDGs)の創造の推進」の重要性は不変**
- 今後、このイメージをより明確に、「2050年カーボンニュートラル」との整合を図っていく必要がある

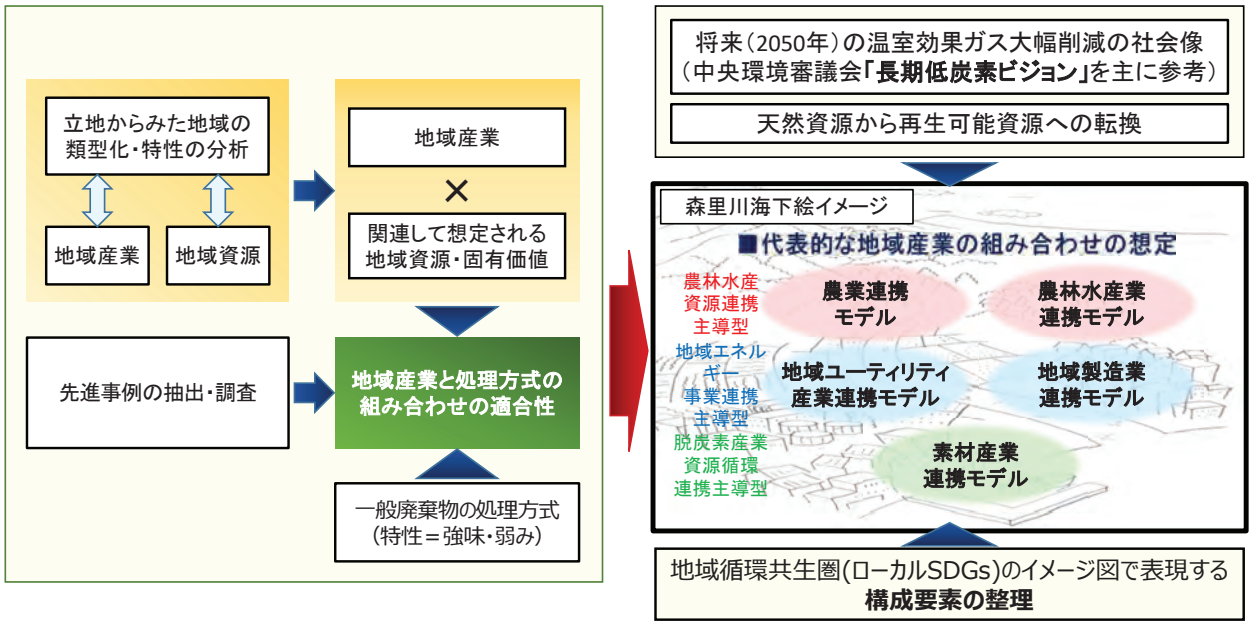



**図　地域循環共生圏(ローカルSDGs)を踏まえた一般廃棄物処理のあり方のイメージ**　6

27

## 構成要素の検討

### ①地上資源

○廃棄物/循環資源
- ・紙類　・繊維類
- ・厨芥類　・草木類
- ・廃食油
- ・プラスチック類
- ・ゴム・皮革類
- ・その他可燃物
- ・金属類・小型家電等
- ・ガラス類
- ・陶磁器類・土石類
- ・その他不燃物
- ・し尿・浄化槽汚泥
- ・家畜ふん尿、下水汚泥、動植物性残さ等

○生成物
- ・電気
- ・熱
- ・燃料
- ・CO2
- ・肥料
- ・金属
- ・焼却灰、飛灰

### ④性能指標

- ・住民１人当たり廃棄物排出量
- ・リサイクル率
- ・最終処分量

- ・住民１人当たりの地域資源・循環資源量
- ・地域の資源生産性

- ・ｴﾈﾙｷﾞｰ供給量（世帯数換算）
- ・地域内資金流入・流出
- ・構成主体数

### ②活動基盤／活動主体

○処理施設
- ・焼却施設　・粗大ごみ処理施設
- ・ごみ堆肥化施設
- ・ごみ飼料化施設
- ・メタン化施設　・ごみ燃料化施設
- ・その他の資源化等を行う施設
- ・し尿処理施設　・下水処理施設

○その他の活動基盤
- ・田・畑　・森林
- ・工場（化学、セメント、鉄鋼、非鉄、パルプ紙等）
- ・供給インフラ（地熱発電、水力発電、風力発電、太陽光発電、都市ガス管、熱導管等）
- ・店舗、事業所　・住宅　・公共施設

○活動主体
- ・行政（都道府県、市町村、国）
- ・事業者（農林水産業、製造業、卸売・小売業、金融・保険業、電気・ガス水道熱供給業）
- ・NPO・地域団体等
- ・地域住民
- ・その他関係者（投資家等）

→：熱　→：電気　→：資源

### ⑤効果

- ・地域の資金流出減
  - 化石燃料代替
  - 地域内の再生処理
  - インフラの有効活用
  - 外部肥料の減
- ・地域の資金流入増
  - 静脈産業育成
  - 農林水産品のブランド化
  - 観光促進
  - 新規ビジネス創出
  - 雇用の新規創出
- ・温室効果ガス削減
- ・災害時の廃棄物処理の継続
- ・停電時の電力供給
- ・地域課題の解決
- ・人のつながり

### ⑥目標

- ・循環型社会
- ・生物多様性の確保
- ・脱炭素社会
- ・地域経済活性化
- ・地域の防災力向上・強靭化

### ③技術要素

○処理・回収・転換技術
- ・焼却　・ガス化　・メタン化
- ・堆肥化　・飼料化　・炭化　・発酵乾燥
- ・発電　・熱回収　・CCUS
- ・油化　・フィードストックリサイクル

○利用技術・関連技術
- ・エネルギーマネジメント　・EV収集車
- ・地域熱供給・蓄熱輸送　・非接触型処理
- ・液肥利用　・バイオプラスチック
- ・プラント活用技術(前処理,触媒等)・バイオマス・リファイナリー

○その他周辺技術　・IoT・ICT　・3Dﾌﾟﾘﾝﾀｰ等製造技術　・脱炭素型製錬技術　・農林業機械電化等

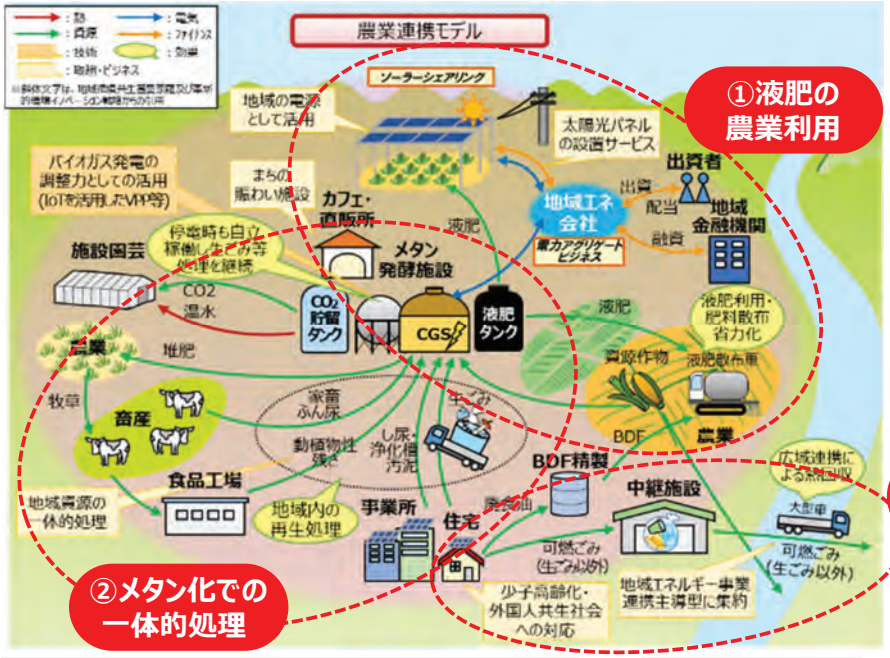
### ⑦留意点

- ・生活環境の保全・公衆衛生の向上（新型コロナをはじめとした感染症対策）　・気候変動対応　・災害対応
- ・人口減少・少子高齢化等への対応（地域福祉向上）
- ・処理システム・体制の確保・効率化（資源化率向上,広域化）
- ・分野間連携による地域活性化・地域産業の振興
- ・相互連携による全体最適化　・自立・分散型のｴﾈﾙｷﾞｰｼｽﾃﾑ
- ・プラスチック資源循環戦略　・各国の廃棄物輸入規制

28

## 主な取組と期待される効果　【農業連携モデル】

**液肥利用で肥料成分を循環利用するメタン発酵を中核とした地域のバイオマス資源活用と他モデルと連携した広域的処理の組合せにより高い水準の資源・エネルギー回収を行うモデル**




- ・発酵後の消化液を水田・畑地等で液肥として活用
- ・まちの賑わい施設として、まちの中心部などに整備

- ・農業生産コスト、肥料の散布労力の削減
- ・化学肥料の製造に伴うGHG排出量削減
- ・メタン発酵施設のエネルギー使用量・運転コストの削減

- ・生ごみ以外の可燃ごみは、他地域（地域エネルギー事業連携主導型モデルや脱炭素産業資源循環連携主導型モデル）と連携し、広域的な処理により高度な熱回収を実現（中小規模の単純焼却から転換）

- ・廃棄物の性状に応じた方式・規模による処理がもたらす処理の効率化とGHG排出量大幅削減

- ・水分率の高いバイオマスはメタン発酵しエネルギー回収
- ・し尿・浄化槽汚泥を生ごみと併せて処理
  （生ごみのエネルギーの有効活用により、資金流出をもたらす電気・燃料消費の多いし尿処理施設から転換）
- ・畜産が盛んな地域では家畜ふん尿も合わせた処理も

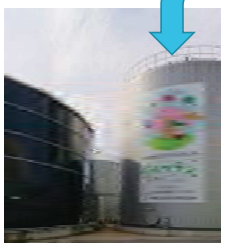
29

## 参考事例：南筑後地域における地域資源の一体的メタン発酵と農業利用

**①液肥の農業利用**

**②メタン化での一体的処理**

【メタン発酵】
- し尿
- 浄化槽汚泥
- 生ごみ



みやま市 ルフラン
2018年
（130t/日）

大木町 くるるん
2006年
（約40t/日）

【参考】前川　忠久ら「福岡県みやま市の資源循環施設に関する研究」大阪産業大学 人間環境論集、19、2020.3

【写真】https://www.env.go.jp/council/03recycle/mat01-3-32.pdf　（本部会での大木町長御発表資料）

### 農業生産コストの低減効果（大木町）

**●需給バランス**

液肥 5500t/年 ÷ 稲作元肥 5t/10a使用 稲作追肥 2t/10a使用 ＝ 液肥施用面積 80ha

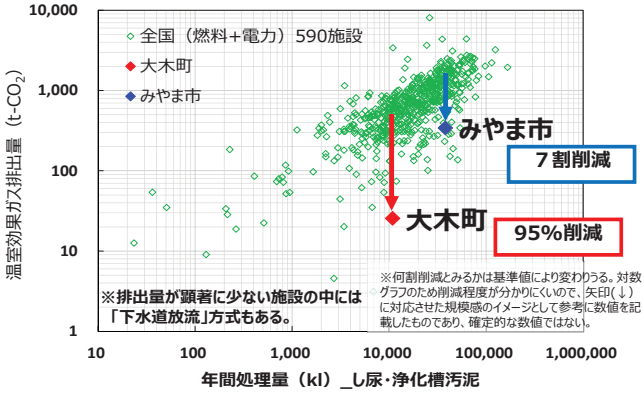
大木町の田耕地面積 973ha

**●コスト削減効果**

| 円/10a | 慣行農法 | 液肥＋化肥 | 液肥のみ |
|---|---|---|---|
| 肥料購入費 | 8,913 | 2,674 | 0 |
| 肥料散布費 | 2,073 | 1,564 | 1,400 |
| 肥料散布費用（合計） | 10,986 | 4,238 | 1,400 |

出典：畑中 直樹ら「福岡県大木町における生ごみ・し尿・浄化槽汚泥資源化の多面的効果に関する研究」環境情報科学 学術研究論文集 28(2014)などより引用・一部改変等により作成

### 全国のし尿処理施設のエネルギー起源CO2排出量との比較




出典：一般廃棄物処理実態調査データにおいて計算に必要となる項目の回答が一定充足していた施設を対象として環境省委託業務で試算。全ての回答が正確とは限らないが、全体的な傾向を見る上では有効と考えられる。なお、電気の排出係数は1kWh=0.55kgCO2/kWhとして計算した。



## 主な取組と期待される効果　【農林水産業連携モデル】

**農業連携モデルの取組に加え、廃棄物処理施設の余裕能力も活かして農林水産業等からのバイオマスを受け入れ地域へのエネルギー供給を拡大するモデル**

- ごみ・木質複合発電施設（焼却施設）周辺に余剰熱を活かしたビジネスを創出、産業の誘致
- 陸上養殖や施設園芸等地域産業へ熱供給

- 農業・水産業生産コストの削減
- 付加価値の高い農水産物の生産
- 加温等に用いられる化石燃料の削減（GHG削減）

- 正味でエネルギー供給施設となり得るなど十分なエネルギー回収を伴う焼却施設において、ごみ減量や災害対応を想定した余裕能力を活用し、農林水産業をはじめとする地域のバイオマスを受け入れて、地域へのエネルギー供給を拡大

- 未利用資源の有効活用等による地域産業への貢献
- バイオマスからの熱回収拡大による化石燃料削減及び外部への支払い減少

## 参考事例：廃棄物処理の余熱等を活用した農林水産業への熱・$CO_2$供給事例（国内）

①地域産業への熱供給

**加温している園芸用施設では、面積で約９割が石油利用等。**※

一方、廃棄物処理施設から園芸施設等への熱供給事例は国内でも複数ある。**化石燃料より廉価に供給し得るため、高付加価値の生産物や他産地との差別化に温度管理が効果的な生産物の実現や周年雇用にも貢献し得る可能性**がある。

※ 農林水産省「園芸用施設の設置等の状況」に基づく。

佐賀市での焼却施設の余熱・排ガス中$CO_2$の活用事例
出典：佐賀市資料（令和2年度一般廃棄物処理の脱炭素化に向けた廃棄物エネルギー利活用等に関する説明会）

焼却施設余熱からの温水暖房方式農業施設の事例
出典：環境省「廃棄物エネルギー利用高度化マニュアル」

タービン排気を活用し発電を犠牲にせずミョウガ栽培に熱供給している民間廃棄物処理施設の事例
出典：http://www.ichihara-new.com/

- ■ 木質系バイオマスボイラで規模の大きい園芸施設への供給事例が見られ始めており、中には、野菜栽培大規模園芸施設へ電気・熱・$CO_2$供給を行っている事例もある。
- ■ メタン発酵施設でバイオガスの利用のため$CH_4$と$CO_2$を分離する場合は、$CO_2$を低コストで抽出・利用できる可能性があるのではないか。



## 主な取組と期待される効果【地域製造業連携モデル】

**地域の工場の近傍や工業団地の一区画に廃棄物処理施設を立地させ、焼却施設蒸気や固形燃料を供給することで、地域の製造業の発展と化石燃料大幅削減の両立に貢献するモデル**

②ごみ燃料化

- 地域に有望な熱需要が存在しない場合などには、可燃ごみの固形燃料化により、一定距離内にある工場等へ燃料を供給

- 工場等における化石燃料（石炭等）ボイラからの転換によるGHG排出量削減

③ICT技術 EV収集車

- ICT技術による収集運搬の経路の効率化
- ごみ収集と中間処理の連携を通じた効率化
- ごみ収集車のEV化

①工場への蒸気供給

- 焼却施設で発生させた蒸気を自家発電には使用せず、高温蒸気を使う近隣の工場等へ供給

- 工場等で蒸気発生のために使用していた化石燃料の削減（代替）による大幅なGHG排出量削減（発電への利用と比較してGHG排出量削減効果や経済性が高い）
- 地域産業競争力の向上

## 参考事例：国内における近傍の工場への蒸気供給事例

**焼却施設の近傍の工場に対して、余剰蒸気の蒸気配管の敷設費用を民間負担で実現した事例がある。その後、発電設備導入後も、売電収入低下を補う単価で蒸気を売却しても、経済的に成立している。**

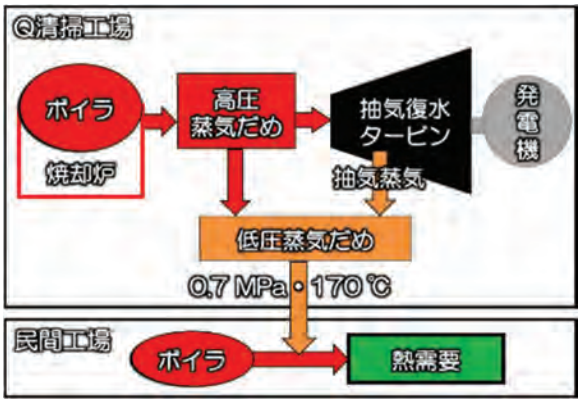
①工場への蒸気供給

### 技術概要

- 工場は通常既存の熱源機器を保有。ごみ焼却施設側の事情による供給可能蒸気量の変動等に対して柔軟に対応しやすい。

### 導入効果

- Q清掃工場では、発電設備が導入されておらず余剰蒸気が発生していた。隣接する民間工場からの供給要請とあいまって検討が行われ、平成９年度より蒸気配管による供給（高圧蒸気）が開始された。
- 現在は新設工場からの低圧蒸気（タービン抽気蒸気を優先）が主体。熱供給せずに発電するよりも、年間約1,500t-$CO_2$が削減されている（試算）。




**Q清掃工場から外部への熱供給によるCO2排出削減量の試算**

| | 実績（発電と熱供給を併用） | 仮想（外部へ熱供給せずに発電した場合） |
|---|---|---|
| 供給量 | 外部熱供給量 5.34 万 GJ／年 | 発電増加量 282 万 kWh（試算値） |
| 排出係数 | 0.057 t-CO2/GJ | 0.000555 t-CO2/kWh |
| CO2削減量 | 3,050 t-CO2/年 | 1,570 t-CO2/年 |
| 差し引き | 外部熱供給することで 1,480 t-CO2/年の純削減 | |

（「廃棄物エネルギー利活用高度化マニュアル」P.58より）

34

## 主な取組と期待される効果【地域ユーティリティ産業連携モデル】

**地域のエネルギーセンターとして市街地に立地させた廃棄物処理施設が他の都市インフラと連携、地域の民生部門の脱炭素化方策の選択・実現に電化の補完も含めて参画していくモデル**

④地域熱供給など

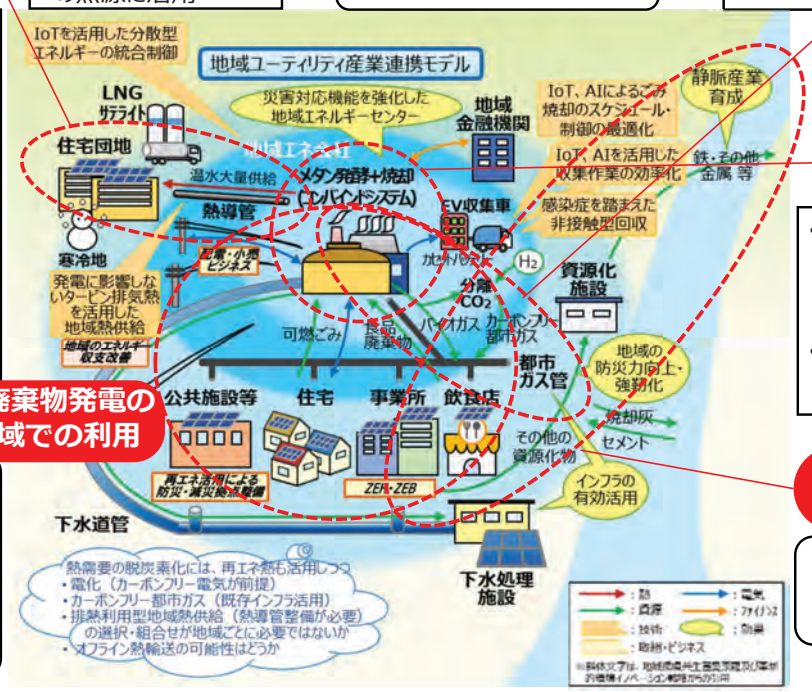
- 焼却施設の発電後の排熱を住宅団地等への面的な熱供給の熱源に活用

- 化石燃料代金の外部への支払い減少
- 市街地の脱炭素化に貢献

- メタン発酵施設からのバイオガスを都市ガスの原料として活用

③バイオガスを都市ガスへ

- 通常時は近傍の電力需要への供給や電力市場の状況にも応じ、柔軟にエネルギーを供給
- 防災拠点等の外部へ自営線等で送電することで、系統停電時も自立運転して地域の電源として機能




②コンバインドシステムなど

- メタン発酵と焼却のコンバインドシステムにより効率的にエネルギー回収
- 下水処理インフラとの連携も考えられる

⑤廃棄物発電の地域での利用

- 地域の防災能力向上
- 外部の電力への支払い減少
- 電力システムの柔軟性向上に寄与

①廃棄物からの物質回収の拡大

- 資源循環による温室効果ガス排出削減効果の最大化

35

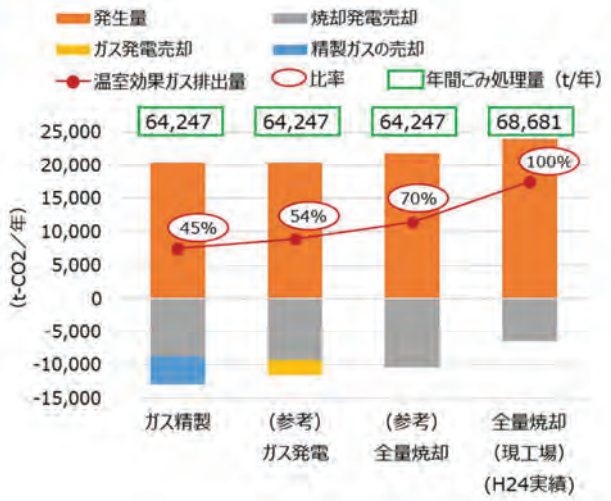
## 参考事例：鹿児島市における都市ガスへのバイオメタン供給

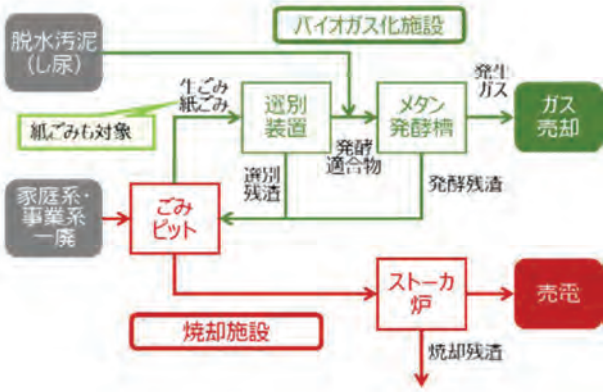
鹿児島市では、**バイオガス発生量が多い乾式メタン発酵を焼却発電と組み合わせ**たハイブリッド型の処理施設を整備中である。発生した**バイオガスは、都市ガス事業者に売却**予定であり、これによって、全量焼却やガス発電を併用する場合に比べて、温室効果ガス（**二酸化炭素**）**排出削減効果が大きくなる**ことが試算されている。

②コンバインドシステムなど

③バイオガスを都市ガスへ

**都市ガスへ供給を含む温室効果ガス排出量収支の試算例（ごみ焼却・メタン発酵一体型施設）**




**（事例）鹿児島市　新南部清掃工場**

※ 発生量には、燃料・電気の使用に伴うエネルギー起源の温室効果ガス発生量と、廃棄物燃焼に伴うCO2、メタン、一酸化二窒素の温室効果ガス発生量を算定対象とする。
※ 削減量には、電気とガスの売却に伴う温室効果ガス削減量を算定対象とする。
出典：鹿児島市「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【概要版】」（平成27年３月）より作成

出典：https://www.env.go.jp/recycle/waste/biomass/data/manual_r.pdf を一部改変



## 参考事例：廃棄物処理の余熱・排熱を活用した民生等への熱供給事例（国内）

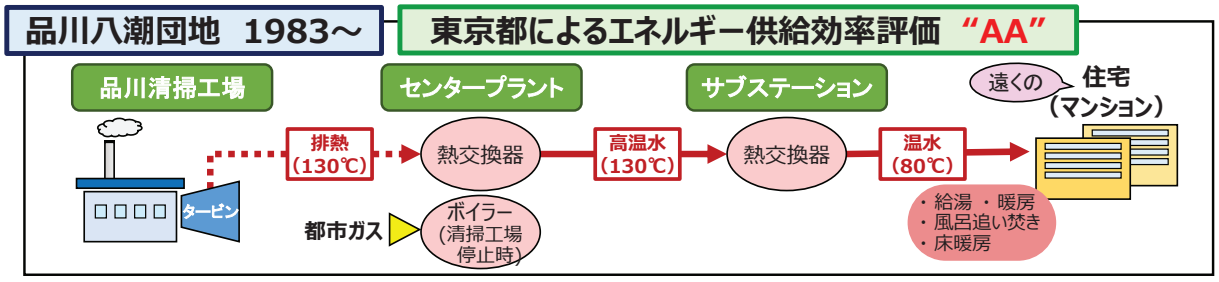
欧州では焼却施設で発電と併せて地域熱供給（地域暖房）を組み合わせ、高いエネルギー回収率を実現している例も多い。日本でも、過去には事例もあり、一部は継続されているが、蒸気利用方式では発電とのトレードオフとなりうる。

一方、発電後に大気等へと放出せざるを得ない、**大量だが数十度程度と低温の排熱（タービン排気）を有効に利用している事例も近年見られる**。（廿日市市：都市ガス工場でのLNG気化の熱源、ふじみ衛生組合：防災センター機能を備えた多機能複合施設の温水プール熱源）

今後、民生熱需要を脱炭素化していく上で、地域によっては、このような**排熱利用も併用すれば、電化等の脱炭素化方策を補完できる**のではないか。（例：寒冷地の住宅団地等）

④地域熱供給など

**焼却施設の余熱で床暖房等の多様なサービスも含む地域熱供給を実現している事例（東京都）**




図：東京熱供給株式会社ホームページ等を参考に作成
（エネルギー供給効率評価は東京都環境局公表の地域エネルギー供給実績報告書による）（2021.2月参照）

※排熱利用型の住宅団地への熱供給の事例としては、下水汚泥焼却排熱による六甲アイランド（神戸市）における事例（給湯予熱）がある。

## 主な取組と期待される効果【素材産業連携モデル】

**素材産業で廃棄物等を原材料やエネルギー源などの資源として循環的に利用することで産業の脱炭素化への移行に貢献しながら資源循環の拡大を同時に実現していくモデル**

①産業への蒸気供給

②プラスチック資源循環

③炭素循環プラント

- 使用済みプラスチックを、プラスチックとして再生利用する材料リサイクルの拡大に加え、プラスチック原料として循環させるフィードストックリサイクル（ケミカルリサイクル）も拡大。
- 併せて、バイオプラスチックの導入を拡大していく。

- プラスチックの燃焼等から発生する$CO_2$排出を回避
- プラスチックの化石資源依存率も低減することで、燃焼等から発生する化石由来$CO_2$排出量も削減

- 産業部門の化石燃料消費のうち例えばボイラ用途が集積している地域では、周辺部も含めて広域化・集約化した焼却施設から発生させた蒸気の全量を蒸気供給ネットワークを通じて工場群に送り出すなど、大規模な高温熱供給を行う。

- 重油等の化石燃料より廉価な熱を（将来的には炭素源も）を供給し、産業の競争力向上と温室効果ガスの大幅削減に貢献

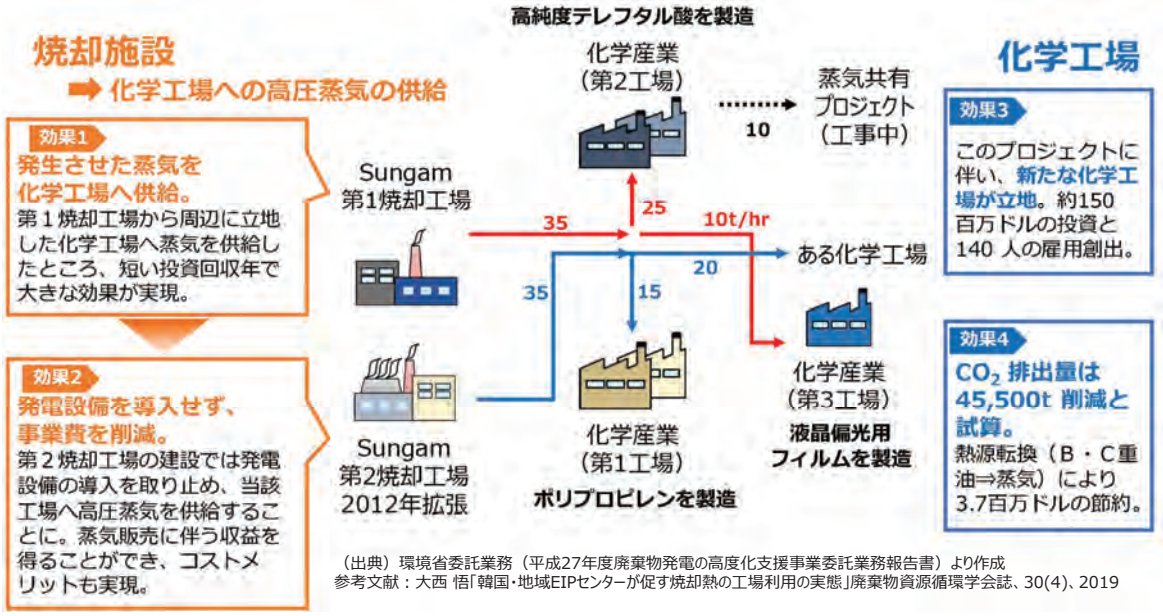
- 化学製品の原材料が将来的に化石資源から転換していく際に、廃棄物ガス化や焼却排ガス中の$CO_2$等を炭素源として供給



## 参考事例：国外における複数工場への蒸気供給事例

**韓国のウルサンでは、第１焼却工場からの蒸気供給プロジェクトの投資回収年数が短く、大きな効果が得られたことから、第２焼却工場では、発電設備も省略し、全量を蒸気供給型で整備した。**
**焼却施設側も経済的メリットを確保しつつ、化学工場側ではエネルギーコストが削減された。**

①産業への蒸気供給

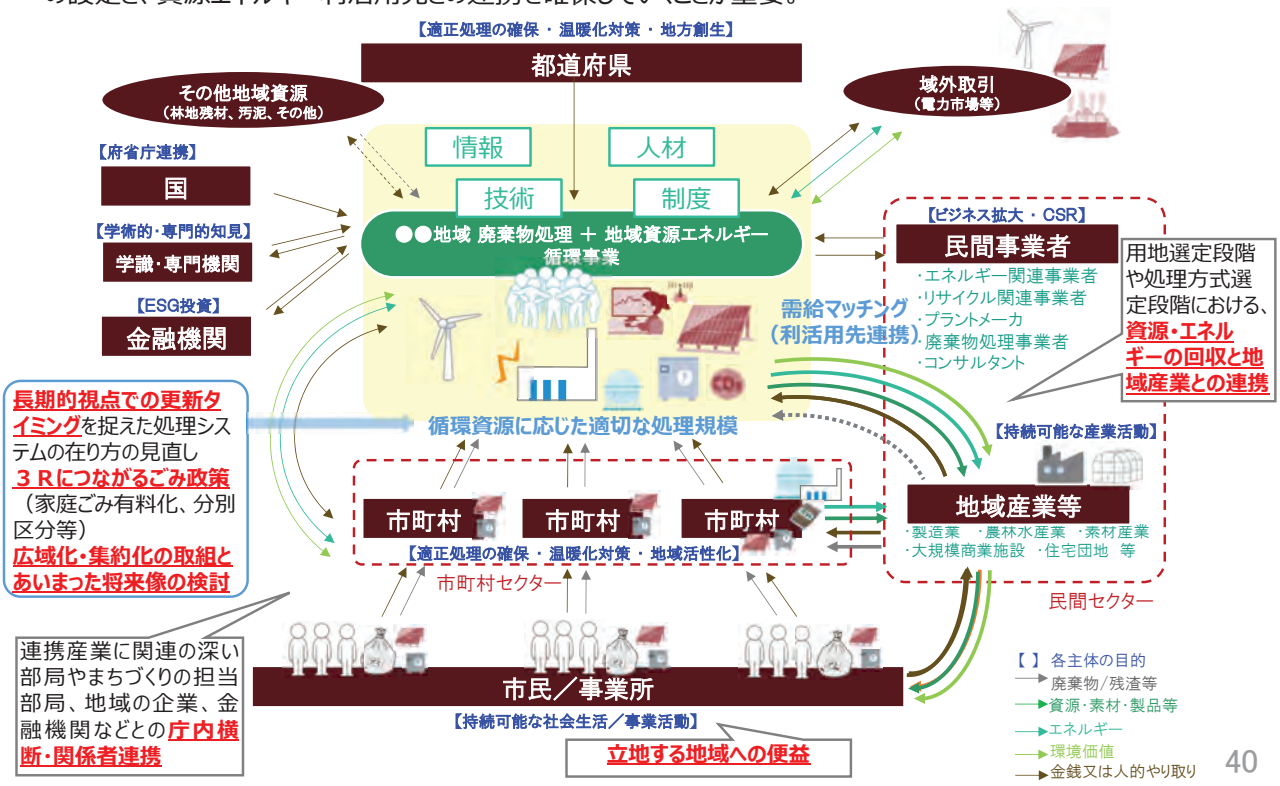



（出典）環境省委託業務（平成27年度廃棄物発電の高度化支援事業委託業務報告書）より作成
参考文献：大西 悟「韓国・地域EIPセンターが促す焼却熱の工場利用の実態」廃棄物資源循環学会誌、30(4)、2019

**他にも、規模等は必ずしも明らかではないが、ドイツ・ハンブルグ【→製油所】、ドイツ・シュタースフルト【→ソーダ工場】、ドイツ・クナザック【→化学工場】、スイス・ヴァインフェルデン【→製紙工場】などの事例がある模様。**
（出典）小野田弘士(2021)、産業廃棄物処理振興事業財団(2019)、令和元年度環境省委託業務報告書

## 仕組み・体制面の取組

◆ 地域循環共生圏に資する廃棄物処理施設の整備にあたっては、都道府県・市町村等の公共セクターと民間事業者・地域産業等の民間セクターが連携して、廃棄物処理＋地域資源エネルギー循環の枠組みと、必要な情報・技術・人材・制度等の確保に向けた構想・検討を長期的観点から進めることにより、適切な処理規模（処理単位）の設定と、資源エネルギー利活用先との連携を確保していくことが重要。






## 仕組み・体制面の取組

### 施設整備

需給マッチング（利活用先連携）

- 連携産業に関連の深い部局やまちづくりの担当部局、地域の企業、金融機関、府省庁などとの**関係者連携**
- 用地選定段階や処理方式選定段階における、**資源・エネルギーの回収と地域産業との連携**
- **立地する地域への便益**

循環資源に応じた処理を適切な規模で

- **長期的視点での更新タイミング**を捉えた処理システムの在り方の見直し
- **３Ｒにつながるごみ政策**（家庭ごみ有料化、分別区分等）
- **広域化・集約化の取組とあいまった将来像の検討**

地域循環共生圏の形成に向けた長期構想

### 基盤整備

情報　技術　人材　制度

地域循環共生圏に資する廃棄物処理施設の整備

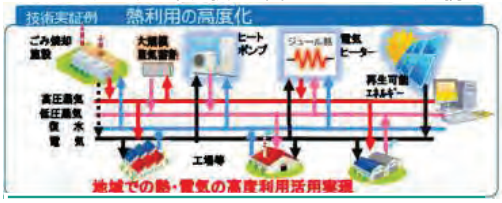
## 主な技術要素の方向性

### A．メタン化処理

今後のごみ質の変化（プラ割合が減少）に伴い、廃棄物に占める有機物の割合が大きくなり、メタン化施設の有効性が増すことが想定されるが、中間処理施設全体に占めるメタン化施設の割合は小さい状況が続いている。規模のメリットを活かした地域エネルギーセンター化への貢献を目指すとともに、回収したエネルギー利用の多様化や残渣の有効利用策の確保などを進めていくことで、メタン化処理技術の更なる普及を進めていく。

### B．大規模熱利用

電力システム改革やFIT制度の進展に伴い、ごみ発電による電力利用は進む一方で、熱として利用が不十分。廃棄物からの回収エネルギーのうち、発電に利用可能なのは20%程度であり、残りの熱をいかに効率的に利用できるか、特にエネルギー効率の高い高温での利用を促進することが、温暖化対策の観点からも重要な課題である。近年では蓄熱技術やヒートポンプなどの低温利用技術も普及していることから、熱の利用拡大を図るとともに、これらと連携した熱供給需給管理システムを確立することで、廃棄物の焼却排熱利用の高度化を目指す。




### C．フィードストックリサイクル

ケミカルリサイクルは、原料レベルで同一性能まで回復させた後に新たな製品として循環ラインに戻すことが可能なため、化学産業が貢献できる効果的な手法だと考えられており、モノマー化、ガス化、油化等による化学原料化（循環型ケミカルリサイクル）を対象として取り組むとされている。現状は廃プラスチック総排出量892万/年に対して、循環型ケミカルリサイクル処理量は23万ｔ/年のところ、あるべき姿の目標として、2030年には150万t/年、2050年に250万t/年とされている。

出典）一般社団法人日本化学工業協会「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 概要版」より

### D．ＣＣＵＳ

CCUSとは、排ガス中の二酸化炭素（Carbon dioxide）を分離・回収（Capture）し、有効利用（Utilization）、又は地下へ貯留（Storage）する技術。
特にCCSの技術を活用することで、大幅なCO2の削減を可能とするカーボンニュートラルな社会の実現が期待されている。
「カーボンリサイクル技術ロードマップ」(2019.6.7)では、2030年に向けては、CO2利用環境の確立（に向けた技術開発）とともに、水素の低コストでの利用を前提としない一部の用途について2030年頃からの普及が示されている。

出典）「環境省CCUS事業の概要」（平成31年3月5日）などより作成

Re-Style

限りある資源を未来につなぐ、今、暮らしできること。

# ご清聴ありがとうございました。

講演２

# 都市副産物の CO2 固定化性能を活用した カーボンキャプチャー未来社会構想

早稲田大学理工学術院
創造理工学部　社会環境工学科
教授　小峯秀雄

【参考文献】

① 土質系材料の $CO_2$ 固定化性能を活用した地域密着型カーボンキャプチャー構想と気候変動緩和策，地盤工学会
② 無機系の各種廃棄物の二酸化炭素固定特性と地域密着型カーボンキャプチャー構想，無機マテリアル学会
③ コンクリート供試体表面における $CO_2$ 固定化性能の評価，土木学会
④ 副産物・素材の CO2 固定化性能に基づく地域密着型カーボンキャプチャー構想の定量評価，土木学会

報　告

# 土質系材料の $CO_2$ 固定化性能を活用した地域密着型カーボンキャプチャー構想と気候変動緩和策

Community-based Carbon Capture Scheme Exploiting Carbon Dioxide Fixation Properties of Geo-material and Mitigation of Impact due to Climate Change

小　峯　秀　雄（こみね　ひでお）
早稲田大学理工学術院　教授

多　賀　春　生（たが　はるお）
早稲田大学大学院　修士課程

内　田　周　作（うちだ　しゅうさく）
早稲田大学大学院　修士課程

鈴　木　清　彦（すずき　きよひこ）
㈱ミダック　部長

## 1. はじめに

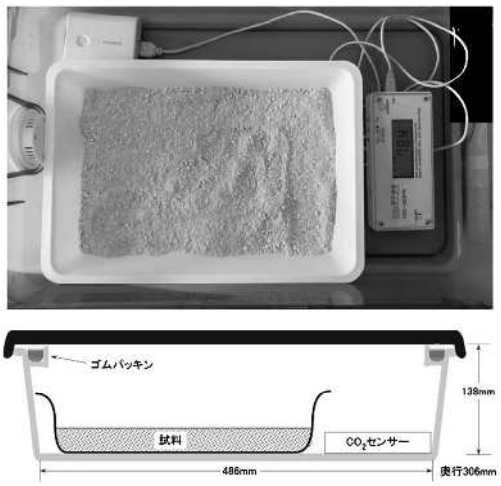
現在，温室効果ガスの排出削減と吸収の対策を行うことが気候変動の「緩和」策とされている[1]。具体的には，省エネルギーの推進や，再生可能エネルギー等の低炭素エネルギー，CCUS（Carbon dioxide Capture, Utilization and Storage）の実現と普及，植物による $CO_2$ の吸収源対策等が挙げられている。このような観点から，地盤工学が気候変動緩和策に貢献するプロジェクトとしては，CCUS の実現が最も大きいと考えられる。

一方，第一著者は1990年頃から，石炭火力発電所から排出される石炭灰の有効利用に際し，隘路となる環境負荷を低減する技術に関して萌芽的な研究を開始した。具体的には，火力発電所から排出される温水や $CO_2$ ガスを有効利用して，重金属である六価クロムやホウ素を洗い出す，若しくは不溶化するという原理で，その可能性を調査し，一定の効果があることを明らかにした[2),3)]。2005年頃になると，上記の方法の内，$CO_2$ を有効利用する方法は，地球温暖化対策の観点から考えれば，$CO_2$ の固定化という見方ができると考え，身近にできる CCS というコンセプトで研究を展開してきている[4)]。

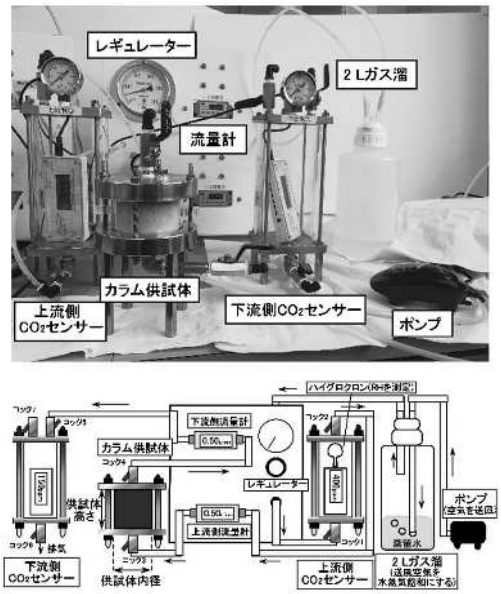
本稿では，著者らの進めてきた実験的研究，すなわち土質系材料の $CO_2$ 固定性能に関する実験的研究の成果概要を紹介しながら，その成果を活用した地域密着型カーボンキャプチャー構想と気候変動緩和策について提案してみたい。

## 2. 土質系材料の $CO_2$ 固定化性能に関する実験的研究成果の概要

著者らは，前章で述べたように様々な動機から，土質系をはじめとする種々の材料の $CO_2$ 固定に関して，図―1に示すようなバッチ試験装置及びカラム試験装置を活用して測定を行い，各材料の $CO_2$ 固定化データベースを構築・拡張している。本章では，著者らが実施してきた実験的研究及び各材料の測定結果の概要を述べ，その技術的展望を論じる。




(a)　バッチ試験の外観と模式図




(b)　カラム試験の外観と模式図

図―1　$CO_2$ 固定化実験装置の概要

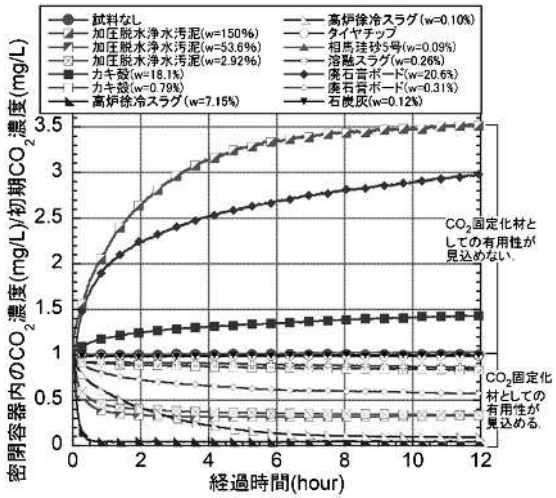
### 2.1　バッチ試験による様々な土質系材料の $CO_2$ 固定化性能

著者らは2018年12月現在，石炭灰，煤塵，流動砂，溶融スラグ，廃コンクリート，廃石膏ボードなど，廃棄物も含む様々な土質系材料の $CO_2$ 固定化性能を実験的に測定している。これらの材料の選定のポイントは，遊離カルシウムが含まれる可能性があるという点である。$CO_2$ 固定の基本メカニズムとして，遊離カルシウムと $CO_2$ の反応により炭酸カルシウムの生成・沈殿により固定化するという仮説に基づいている。本節では，この仮説の成立性の確認を目的に，多種多様な材料を選定しバッチ試験による予備的な実験的検討を通じて，既に発表された参考文献5)の研究成果を例示し，それらの $CO_2$ 固定化性能の一例を示す。

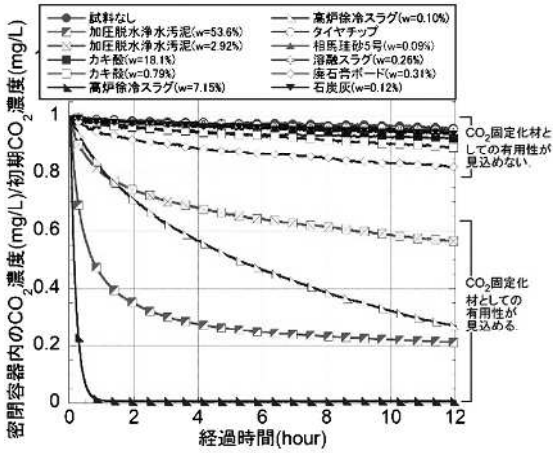
著者らの既往研究・参考文献5)で使用した試料は，浄水汚泥，溶融スラグ，徐冷スラグ，カキ殻など，$CO_2$ と反応性のある遊離カルシウムを含有する可能性のある物質を使用した。試験は，**図―1**(a)に示す，いわゆるバッチ試験であるが，密閉容器には9.5 L の容積のデシケーターを用いた。当該デシケーターに湿潤質量400.0 g の様々な上記試料を敷き均し，密閉した空間内での $CO_2$ 濃度の経時変化を計測した。初期 $CO_2$ 濃度は，大気濃度（500～1 000 mg/L）及び約4 500 mg/L の2ケースとした。使用した $CO_2$ センサーの測定範囲は0～5 000 mg/L であり，分解能は1 mg/L，精度は30 mg/L ±読み値の5%である。

**図―2**は，上記の実験結果の一例である。縦軸は，測定した密閉容器内の $CO_2$ 濃度を初期 $CO_2$ 濃度で除した濃度比（以下，$CO_2$ 濃度比と記す）である。$CO_2$ 濃度比が1.0以下の値をとることはすなわち，密閉容器内の試料が $CO_2$ を固定化することに起因し，密閉容器内の $CO_2$ 濃度比が小さくなる試料ほど，$CO_2$ 固定化性能が高いと評価した。**図―2**において，試料を設置しない状態での密閉容器内の $CO_2$ 濃度比の時間変化（**図―2**中の凡例で「試料なし」と表記したケース）を基準に，$CO_2$ 濃度比の低下が確認されるものを「$CO_2$ 固定化材としての有用性が見込めるもの」とし，一方，$CO_2$ 濃度比の低下が同程度のもの及び増加傾向にあるものを「$CO_2$ 固定化材としての有用性が見込めないもの」と評価した。

**図―2**(a)は，密閉容器内の初期 $CO_2$ 濃度を大気濃度（500～1 000 mg/L）としたときの各試料による $CO_2$ 固定化状況を示している。高炉徐冷スラグは，含水比 $w$＝7.15%において，試料をデシケーター内に入れた直後から約1時間で $CO_2$ 濃度比は0.04まで低下したことから有効な $CO_2$ 固定化材の可能性が高い。一方，加圧脱水浄水汚泥，カキ殻，廃石膏ボードにおいては，デシケーター内の $CO_2$ 濃度比が増加する傾向があった。加圧脱水浄水汚泥とカキ殻は，有機物が含有されていることが確認され，微生物による有機物分解により $CO_2$ が放出されたと推察される。実際，各試料の含水比を低下させた条件では，微生物の活動が抑制されたと考えられ[6]，




(a) 初期 $CO_2$ 濃度：大気濃度（500～1000 mg/L）




(b) 初期 $CO_2$ 濃度：約 4500 mg/L

**図―2**　密閉容器内の $CO_2$ の濃度比の変化

$CO_2$ 濃度比の低下が確認されたことからも，材料の $CO_2$ 固定には含水比や有機物の影響が大きいことを明らかにしている。廃石膏ボードについては，2018年12月現在も調査中であるが，試料に起因する pH に依存するものなどが考えられる。その他の試料では，**図―2**(a)中の凡例に記載されている含水比の状態では，優位な $CO_2$ 固定化性能は認められなかった。**図―2**(b)は，密閉容器内の初期 $CO_2$ 濃度を約4 500 mg/L としたときの $CO_2$ 濃度比の時間変化を示している。大気濃度で行った試験の結果と同様に，高炉徐冷スラグや含水比を低下させた加圧脱水浄水汚泥には，優位な $CO_2$ 固定化性能が認められる。

以上のように，廃棄物を含む土質系材料の中には，諸条件によっては $CO_2$ 固定化材料として活用できる可能性が認められた。2018年12月現在の実験的検討によれば，$CO_2$ 固定に寄与すると考えられる条件としては，試料に含まれる遊離カルシウム量に加えて，含水比，有機物含有量，pH などが考えられる。

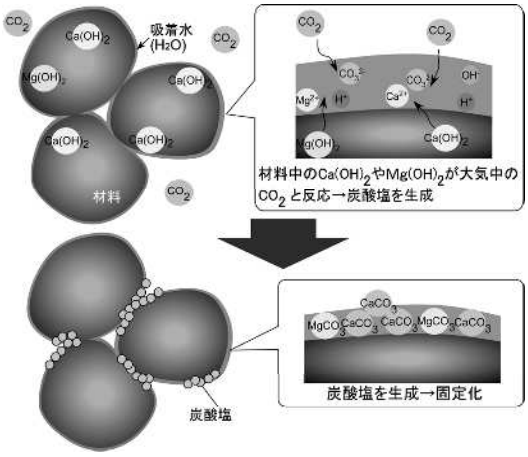
### 2.2　カラム試験による石炭灰の $CO_2$ 固定化性能

前節に述べたバッチ試験による検討結果より，遊離カルシウムを保有する材料を，有機物含有状況を考慮しつ

つ，適切な含水比とpH環境を制御することにより，$CO_2$固定化の可能性があると考えられる。著者らは，さらに実際に使用する環境を想定し，乾燥密度等を変化させた要素特性としての$CO_2$固定化性能を評価するべく，図―1(b)に示すカラム試験を，様々な材料に対して実施している[7)~9)]。参考文献7)では，前節のバッチ試験に供した試料で有効な$CO_2$固定化性能を示した高炉徐冷スラグを含む鉄鋼スラグ数種類に対して，カラム試験を実施し，それらの$CO_2$固定化性能について定量評価すると共に，影響因子の抽出や図―3に示す$CO_2$固定化のメカニズムについて推察した。なお，図―3に示すメカニズムの理解は，参考文献7)の発表段階(2014年）での知見に基づくものである。2018年12月現在では，試料と含水比の割合が結果として，試料の粒子周辺の水分のpH環境に影響を及ぼしていると考えられることから，より詳細な調査を進めている[10)]。

著者らは，参考文献8), 9)において，温室効果ガスを大量に排出している石炭火力発電所において，もう一つの廃棄物である石炭灰を利用して一定の$CO_2$固定ができれば，クローズド・システムとしてのカーボンキャプチャー施設としての提案ができると考え，基礎的な研究を進めている。本節では，その成果のごく一部を紹介し，石炭灰による$CO_2$固定の可能性を述べる。

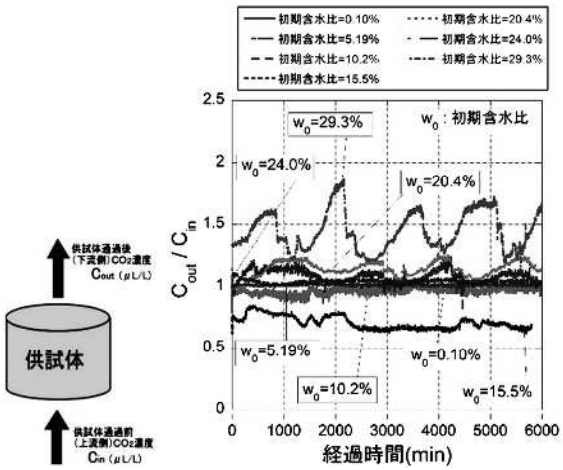
図―4は，カラム試験により得られた，大気（$CO_2$濃度：400～1 000 μL/L）をある石炭灰に通気した場合の$CO_2$固定の測定結果である。初期含水比は，自然含水比（0.10%), 5.19%, 10.2%, 15.5%, 20.4%, 24.0%及び29.3%に調整した。結果の整理方法としては，供試体通過前（上流側）$CO_2$濃度$C_{in}$（μL/L）と供試体通過後（下流側）$CO_2$濃度$C_{out}$（μL/L）を測定し，その比$C_{out}/C_{in}$を経過時間ごとに求めた。供試体作製後に$C_{out}/C_{in}$が低い値を示す，すなわち上流側濃度に対し，下流側濃度が低くなれば$CO_2$を固定化していると評価した。またその後，濃度比の上昇が確認できれば，該当条件下における$CO_2$固定化量が最大に達し，それ以上固定化できない状態に至ったものと考えた。



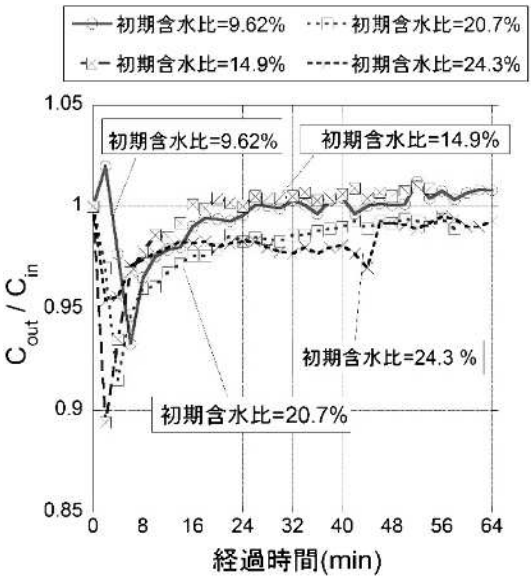

図―3　参考文献7)において推察した材料の$CO_2$固定化メカニズム

図―4から分かるように，初期含水比0.10%, 24.0%, 29.3%においては，試験開始から濃度比$C_{out}/C_{in}$の減少は認められず，$CO_2$の固定はほとんど生じなかったと判断される。一方，初期含水比が5.19%，10.2%，15.5%，20.4%の4条件においては，濃度比$C_{out}/C_{in}$が1以下の値を示すことから，これらの含水比条件において$CO_2$固定が生じていると考えられるとともに，前節のバッチ試験の結果からも推察されたように，$CO_2$固定に最適な含水比条件の存在も示唆された。

図―5は，$CO_2$濃度を4 500 μL/Lに調整した$N_2$と$CO_2$の混合ガスを通気した石炭灰の$CO_2$固定化試験の結果概要である。設定した初期含水比は9.62%, 14.9%, 20.7%及び24.3%である。この試験は，ガスの送流量を2.0 L/minと比較的大きく設定したため，試験時間が60分と短くなったが，図―5に示すように，いずれの条件でも$CO_2$固定の挙動が表れている。著者らは，このよ




図―4　大気（$CO_2$濃度：400～1 000 μL/L）を石炭灰に通気した場合の$CO_2$固定の測定結果



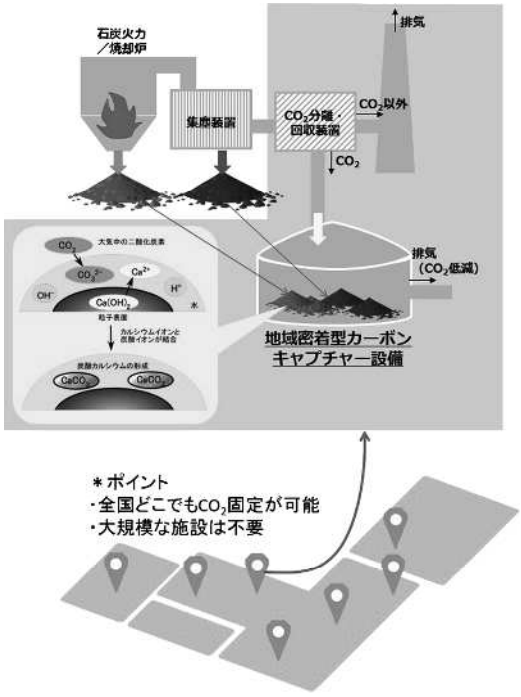

図―5　調整$N_2/CO_2$混合ガス（$CO_2$濃度：4 500 μL/L）を石炭灰に通気した場合の$CO_2$固定の測定結果

うな $CO_2$ 濃度の経時変化測定に加えて，試験後の試料に対して炭酸塩含有量試験も行い，実際に生成された炭酸塩の質量測定も行っており，図―3 に推察したようなメカニズムに基づく $CO_2$ 固定を確認している。著者らは，これらの実験結果から，使用した石炭灰においては，含水比が20％～25％付近が，最も $CO_2$ 固定が効率的であると推察した。以上から，石炭灰に対しても適切な含水比を設定することにより，石炭火力発電所から発生する $CO_2$ を炭酸塩として固定化できる可能性が示唆されたと考えている。

## 3. まとめ：種々の材料の $CO_2$ 固定化性能を活用した地域密着型カーボンキャプチャー構想と気候変動緩和策

前章までに，様々な廃棄物を含む土質系材料や石炭灰の $CO_2$ 固定化性能について参考文献の成果を引用しながら，極めて基礎的なデータを提示し，その可能性について概説してきた。著者らは，この他にも様々な産業廃棄物として排出される物質に対し，$CO_2$ 固定化材料としての可能性を調べると共に，その性能が最大限発揮できる含水比状態などを実験的に調べている[8),9)]。

今回紹介したように，日本全国で稼働している石炭火力発電所において，それぞれの石炭灰が $CO_2$ 固定化性能を有していれば，その最適な含水比状態を設計・制御することにより，地域に根差したカーボンキャプチャー施設としての機能を果たすことができると考えている。国家プロジェクトとして進めている CCS の実施とともに，各地域において，できる取り組みとして意義があるものと言える。図―6 は，上述の石炭火力発電所の地域密着型カーボンキャプチャー構想の全国展開を模式図として示したものである。このような構想が実現すれば，新しい概念の気候変動緩和策になるものと考える。今回は，廃棄物を含む土質系材料や石炭灰を対象に述べたが，燃焼系廃棄物の多くは，遊離カルシウムを保有している場合が多いことから，一般・産業廃棄物を活用した地域密着型カーボンキャプチャー施設の可能性も十分あり，$CO_2$ 固定化性能を保有する各種材料による新しい気候変動緩和策としての夢は大きく膨らむ。




図―6　石炭火力発電所の地域密着型カーボンキャプチャー構想の全国展開と新しい概念の気候変動緩和策

### 参　考　文　献


1）全国地球温暖化防止活動推進センター：IPCC 第 5 次評価報告書特設ページ，入手先〈http://www.jccca.org/ipcc/ar5/kanwatekiou.html〉（参照　2018.11.21）

2）小峯秀雄・片岡哲之・田中幸久・瀬戸井健一・赤木寛一：温水洗浄および炭酸ガス併用洗浄による石炭灰等の無害化技術に関する基礎研究―六価クロム除去・回収効果について―，第35回地盤工学研究発表会発表講演集，pp. 199～200, 2000.

3）Nohno, S., Komine, H., Yasuhara, K., Murakami, S., Ito, T. Konami, T., and Kudo, Y.: Experimental study on washing of coal fly ashes by water with carbon dioxide, –washing effect of chromium（VI）and boron–, ISSMGE's: 5th International Congress on Environmental Geotechnics, pp. 245–250, 2006.

4）小峯秀雄：無機系の各種廃棄物の二酸化炭素固定特性と地域密着型カーボンキャプチャー構想，無機マテリアル学会会誌 Journal of the Society of Inorganic Materials, Japan, Vol. 25, pp. 385～392, 2018.

5）海野　円・小峯秀雄・村上　哲：密閉容器を用いた各種廃棄物の二酸化炭素固定化特性に関する実験的調査と低炭素社会への貢献の可能性，第46回地盤工学研究発表会発表講演集，pp. 2211～2212, 2011.

6）田中信壽：環境安全な廃棄物埋立処分場の建設と管理，技報堂出版，p. 132, 2000.

7）海野　円・小峯秀雄・村上　哲・瀬戸井健一：低炭素社会形成のための鉄鋼スラグの二酸化炭素固定化量の定量評価と二酸化炭素固定化メカニズムの推察，地盤工学ジャーナル，Vol. 9, No. 4, pp. 469～478, 2014.

8）多賀春生・江原佳奈・小峯秀雄・鈴木清彦・杉本和聡・國弘　彩：小規模 CCS の構想に向けた各種廃棄物への二酸化炭素固定化における固定化量の定量的評価，第53回地盤工学研究発表会，2018.

9）多賀春生・小峯秀雄・井上陽介・井樋幸輝：地域密着型カーボンキャプチャーの構想に向けた石炭灰の含水比調整による二酸化炭素固定化量の評価，土木学会第73回年次学術講演会，2018.

10）石田剛朗・河合研至・市場大伍・佐藤良一：速度論に基づく高 pH 溶液中への二酸化炭素ガス溶解モデル，土木学会論文集 E, Vol. 66, No. 1, pp. 80～93, 2010.


（原稿受理　2018.12.25）

*Journal of the Society of Inorganic Materials, Japan* **25**, 385-392 (2018)　Review

特集　二酸化炭素の環境問題と利用

# 無機系の各種廃棄物の二酸化炭素固定特性と地域密着型カーボンキャプチャー構想*

小　峯　秀　雄**

## 1　はじめに

筆者は，土木工学分野において，無機材料の一つである「土」を対象として様々な研究と技術開発を行っている．「土」の定義は，固体である土粒子，液体である間隙流体，気体である間隙気体の3相(固相，液相，気相)から構成される集合体のことである(図1)．実際には，土粒子と間隙流体の境界には電解質の部位が存在し，この部分が極めて高い活性を有していて，大変興味深い挙動を醸し出すことがある．それは時には，地すべりを誘因する現象であったりすることもあるが，その一方で，優位な性能と見ることもでき，材料としての活用にもなっている．このような観点から，筆者の研究グループでは，「21世紀の社会に貢献するために，新しい視点で“地盤工学”を展開する」ことをスローガンに，福島第一原子力発電所の廃止措置，高レベル放射性廃棄物の地層処分，リニア中央新幹線建設や東京オリンピック・パラリンピックの施設建設に伴い発生する土壌汚染問題等の様々な社会で生じている課題の解決に貢献している．これに加えて，遊離カルシウムを保有する廃棄物等を活用して，二酸化炭素($CO_2$)を固定化する技術の基礎検討を進めており，このメカニズムに基づいて，地域に密着した小規模なカーボンキャプチャー構想を提案している．本解説では，この無機系の各種廃棄物の$CO_2$固定特性に関する基礎研究の成果を紹介するとともに，それを起点とする地域密着型カーボンキャプチャー構想について解説する．

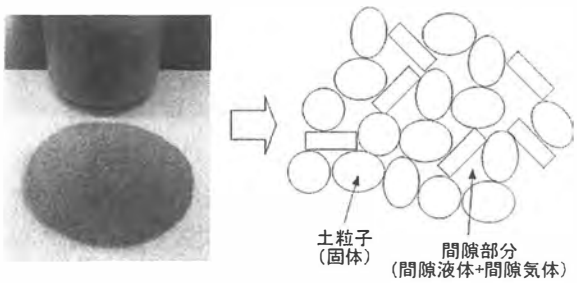



図1　土の三相構造

## 2　$CO_2$回収・貯留技術と地域密着型カーボンキャプチャー構想

世界中で$CO_2$やメタンガスなどの温室効果ガスによる地球温暖化が問題とされていることは，広く周知のことである．このような背景から，1990年初頭に，地球温暖化防止を目的とした「排ガスからの$CO_2$回収技術の開発研究」が国際的に開始された．1996年に北海のノルウェー沖Sleipner鉱区で天然ガスから$CO_2$を回収し，地中に圧入する事業が開始され，これをきっかけに，Carbon capture and storageすなわち$CO_2$の回収・貯留技術(CCS)が地球温暖化の対策の一つの可能性をもつとされ，多くの国でその研究開発が活発になった[1]．一方日本では，2011年の東日本大震災による福島第一原子力発電所事故の影響を受け，稼働の困難な原子力発電所から$CO_2$排出量の多い石炭火力発電所への依存が増える可能性があることから，$CO_2$排出量の削減や有効利用が，より一層重要な課題とされている[2]．国際エネルギー機関(IEA 2014)[3]の分析によると，地球の平均温度の上昇を2℃に抑制するためには，2050年に，世界の$CO_2$排出量を2009年比で約半分の15 Gt/年とする必要があり，自然体ケースの$CO_2$排出量55 Gt/年に対して40 Gt/年の$CO_2$の削減が必要である．そのため，$CO_2$の排出量削減技術や$CO_2$を地下へ貯留する技術の開発が進められている．その一例として，2011年から2050年までの$CO_2$削減寄与度が累積で14%とされているCCS技術の重要度が高まっている．CCSは$CO_2$を地下深くに送り込み，圧入・貯留するというものである．その概要図を図2に示す[3),4)]．

しかし現状の地中貯留のCCSの国内での実用化には，技術的課題に加え，社会受容性の課題等も多く，

* Carbon Dioxide Fixation Properties of Inorganic Wastes and Community-Based Carbon Capture Scheme

** Hideo KOMINE

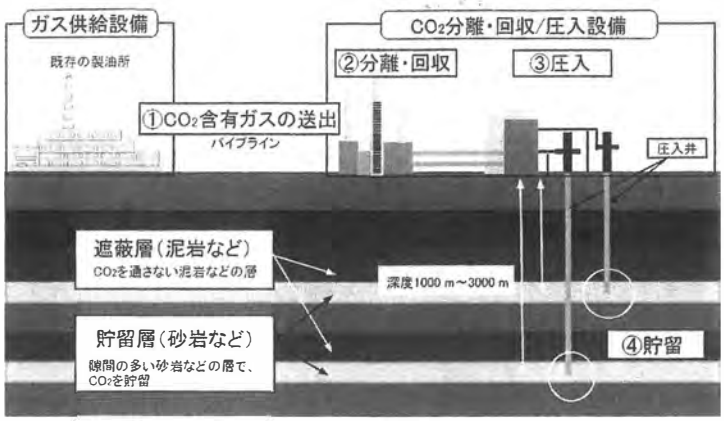



図2　現在考えられている Carbon capture and storage(CCS)の概念図

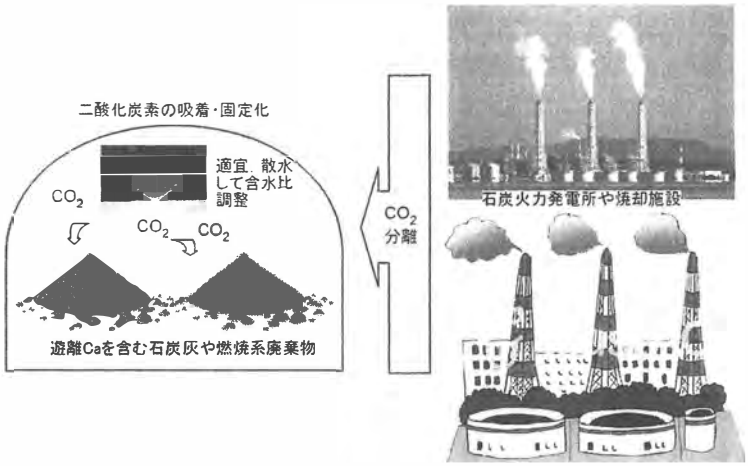



図3　筆者が提案する地域密着型カーボンキャプチャー構想の基本概念

不確実性が高い．そこで筆者が主宰する早稲田大学地盤工学研究室では，地中貯留とは異なる概念の $CO_2$ の固定化方法として，遊離カルシウムを保有する石炭灰や鉄鋼スラグなど各種廃棄物の活用を着想した．これらの物質を，$CO_2$ 固定化材として見直し，図3に示すように，大量の $CO_2$ を発生させる石炭火力発電所や焼却処理施設にサイロ等 $CO_2$ を固定化させる設備を併設するシステム，すなわち，地域に存在する各種廃棄物処分場を活用することから,「地域密着型カーボンキャプチャー構想」を提案している．次章以降，筆者の研究グループで実施している研究成果のうち，特に無機系の廃棄物の $CO_2$ 固定に関する結果に焦点を当てて成果の一部を紹介し，上述の構想の実現可能性について論じる．

## 3　各種廃棄物の溶出抑制研究の副産物としての $CO_2$ 固定化研究

筆者らは,「はじめに」で述べたように，土木工学分野において，石炭灰等の燃焼系廃棄物やトンネル掘削に伴う建設発生土の環境影響評価とその影響負荷低減に関する技術相談を頻繁に受けている．廃棄物や建設発生土からの重金属等イオンの溶出が発生する場合があり，廃棄物の有効利用促進や建設発生土処分の弊害になる事例がある．このような技術相談を受けている際に，発生直後の廃棄物や建設発生土からは重金属等イオンが溶出するものの，一定の期間後において同じ材料から重金属等イオンが溶出しにくくなる事象を，実務の現場において数多く経験した．石炭灰等の燃焼系廃棄物やトンネル掘削に伴う建設発生土には，重金属等とともに，カルシウムイオンなどの遊離性のある陽イオン成分を保有していることがあることから，筆者は，これらの事象は，大気中の $CO_2$ と石炭灰等の燃焼系廃棄物やトンネル掘削に伴う建設発生土が保有する遊離性の陽イオンとの反応により炭酸塩が粒子表面上に生成され，溶出しにくい状態となると仮説を立て，数種類の研究を進めてきた[5)-8)]．この仮説の概念図を，図4に示す．これらの研究の開始時点では，有害物質の溶出抑制の研究としてスタートした

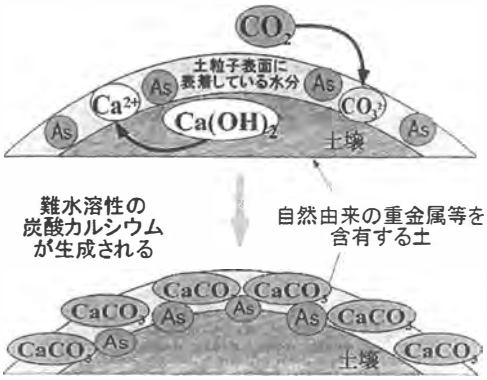



図4　$CO_2$ と土質系材料保有の遊離性陽イオンとの反応による炭酸塩生成の仮説の概念図

が，見方を変えると，無機系廃棄物の $CO_2$ 固定性能の評価に関する研究となる．すなわち，副産物的に，無機系廃棄物の $CO_2$ 固定化と CCS に寄与する研究としての新たな展開が見いだされたのである．

上記の観点から本解説では，はじめに，鉄鋼スラグの $CO_2$ 固定化研究の概要を紹介する．次に石炭灰の $CO_2$ 固定化に関する研究成果の概要とポイントを述べ，地域の社会活動に伴い発生する廃棄物を有効活用した $CO_2$ 固定の可能性や地域に存在する廃棄物処分場を活用した地域密着型カーボンキャプチャー構想とその展望を論じる．

## 4　鉄鋼スラグの $CO_2$ 固定性能と $CO_2$ 固定無機材料としての期待

鉄鋼スラグは，鉄鋼製品の製造過程で排出される副産物であり，排出過程の違いから，高炉スラグと製鋼スラグに大別される[9]．高炉スラグとは，銑鉄を製造する高炉で，鉄鉱石に含まれる鉄以外の成分と副原料の石灰石やコークス中の灰分が溶融分離回収されたものであり，冷却方法によって徐冷スラグと水砕スラグに分類される．一方，製鋼スラグは，鋼を製造する製鋼工程で排出される．冷却ヤードで放冷や散水により徐冷処理された後加工されたものを転炉系スラグと呼び，鉄スクラップを溶解・精錬する際に生成されたものを電気炉系スラグと呼ぶ[9]．高炉スラグおよび製鋼スラグは，それぞれ，年間 23,401 千 t および14,110 千 t 生産・排出されており[10]，有効利用が求められている．このような背景から，筆者は，新しい有効利用法を模索し，$CO_2$ 固定化材としての可能性を見出した．海野，小峯らは，文献[11]において，遊離 Ca を保有する鉄鋼スラグを $CO_2$ の固定化材料としての可能性を実験的に調べた．そして，鉄鋼スラグに含有される遊離 Ca の濃度と適切な含水状態のときに，炭酸カルシウムの生成が活発になることを明らかにしている[11]．使用した鉄鋼スラグは，表 1 に示す高炉徐冷スラグ，高炉水砕スラグ，エージング製鋼スラグおよび未エージング製鋼スラグの 4 種類である．図 5 は実施した $CO_2$ 固定化性能測定カラム型実験の外観と，図 6 には詳細な実験方法を示している．文献[11]では，大気圧環境下における数種類の $CO_2$ 固定化試験を行い，鉄鋼スラグのうち，Ca 溶出量の比較的大きい高炉徐冷スラグ，エージング製鋼スラグおよび未エージング製鋼スラグ（表 1）に高い $CO_2$ 固定の効果があることを明らかにした．一方，実施した試験を通じて，供試体の含水比の変化に伴い，$CO_2$ の固定化の程度に変化が生じることがわかった．図 7 に $CO_2$ の累積固定化量と供試体内部の含水比の時間変化を示す．これは，未エージング製鋼スラグを用いた $CO_2$ 固定化試験の試験期間を 24，72，96，120，192 時間に設定し，試験終了後に $CO_2$ 固定化量と供試体の含水比を測定したものである．供試体内部の含水比は，経過時間と共に減少していき，試験が終了する 200 時間経過後には含水比が約 1.5% となった．供試体の含水比が 2.0% 付近に達した 120 時間から，固定化される $CO_2$ の増加傾向が急激に低下していることがわかる．また，試験終了後の各供試体に加水し，含水比

表 1　参考文献 11）で使用した鉄鋼スラグと基本的性質

| 種　類 | 高炉徐冷スラグ | 高炉水砕スラグ | エージング製鋼スラグ | 未エージング製鋼スラグ |
|---|---|---|---|---|
| 外　観 | | | | |
| 土粒子の密度 | 2.96 g/cm$^3$ | 2.81 g/cm$^3$ | 3.39 g/cm$^3$ | 3.37 g/cm$^3$ |
| 自然含水比 | 6.66% | 4.72% | 6.70% | 8.47% |
| Ca 溶出量 | 440 mg/L | 5 mg/L | 740 mg/L | 790 mg/L |

を増加させたところ，図 8 に示すように $CO_2$ 濃度比が低下した後に 3.0%程度になった含水比を 10.0%の含水比に調整することにより，試料の $CO_2$ 固定化効果が回復することが認められた．これより $CO_2$ の固定化は，供試体の含水比状態の影響を大きく受けると考えられる．すなわち，$CO_2$ 供給と粒子が保有する遊離 Ca の反応による炭酸塩の生成に最適な含水比が存在することが推察される．

以上の研究成果を踏まえれば，鉄鋼スラグのうち特に，高炉徐冷スラグ，エージング製鋼スラグおよび未エージング製鋼スラグを活用し，それぞれの最適な含水状態を図 5，6 に示す要素的な実験結果に基づき明確にすることができれば，提唱している地域密着型カーボンキャプチャー構想に活用できる有力な材料の可能性がある．図 3 の左に模式的描いたサイロ状の構造物内を湿度制御や散水により，各材料を $CO_2$ 固定に最適な含水状態を保持することは技術的に十分に可能と考えられる．

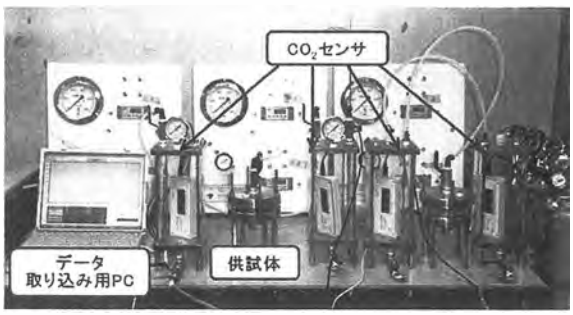
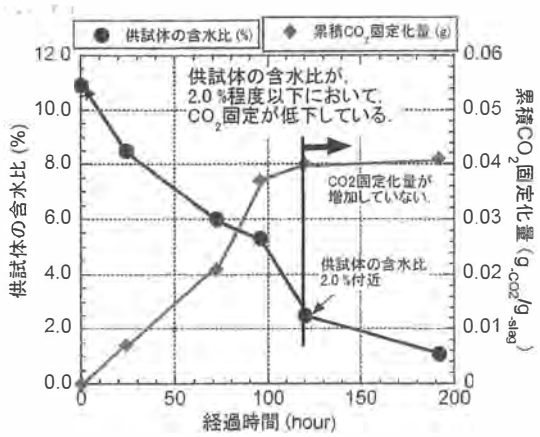



図 5　$CO_2$ 固定化性能測定カラム型実験の外観




文献[7]中の図に加筆

図 7　未エージング製鋼スラグ供試体内の含水比と $CO_2$ 固定化量の変化

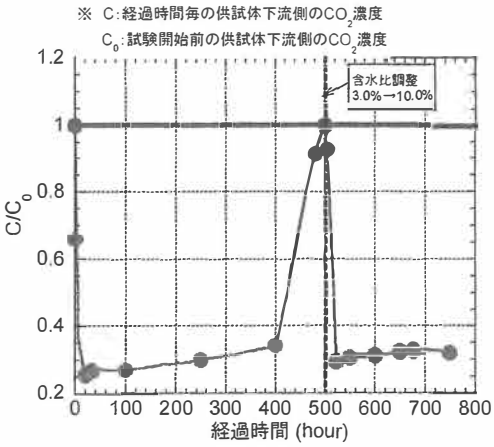



図 8　未エージング製鋼スラグにおける加水による $CO_2$ 固定化効果の回復

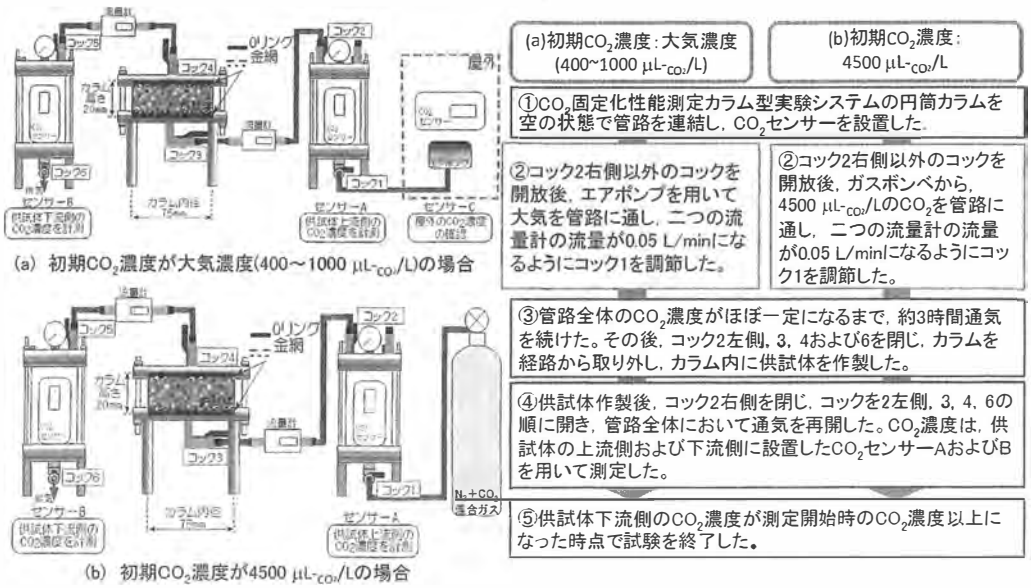



図 6　$CO_2$ 固定化性能測定カラム型実験システムと $CO_2$ 固定化試験の手順

## 5　石炭灰の $CO_2$ 固定性能と石炭火力発電所を地域密着型カーボンキャプチャー拠点へ

2011年の東日本大震災により，電力エネルギーの生産方法についての大変革が余儀なくされていることは周知の事実である．原子力による発電は，2011年以前よりも大幅に縮小せざるを得ず，また安定的かつ大容量の供給が技術的に未熟な再生エネルギーの状況の中，当面は，火力発電に依存するしかない状況である．一方，火力発電の燃料源は複数存在し，石炭は価格的にもっとも有利であるが，石炭火力発電所から排出される $CO_2$ の量が多量であることから，地球環境の面で批判が多い．加えて，石炭火力事業では大量の石炭灰が毎日排出されており，石炭灰埋立地に処分されている．筆者らは，この石炭灰の土木材料としての有効利用方策に関する研究を長く実施している中で，石炭灰には遊離カルシウムを相当量含有している場合が多いことから，石炭灰に $CO_2$ を接触させることにより，前述の鉄鋼スラグと同様に，$CO_2$ の固定化の可能性を予測し，実験的に調査した．

本解説では，その実験結果の一例を示しながら，石炭火力発電所から排出される石炭灰が，地域密着型カーボンキャプチャー構想を実現するうえでの無機材料になり得るかを述べる．筆者らは数多くの種類の石炭灰を入手しているが，今回は**表2**に基本的性質を示す石炭灰を使用した．以降に述べる石炭灰に関する実験は，図6に示す大気および $CO_2$ 濃度を4500 $\mu$L/Lに調整した $N_2$ と $CO_2$ の混合ガスと石炭灰を接触・反応させ，その固定化状況を測定する一定流量通気型 $CO_2$ 固定化試験を行った．

**図9**は，図6の装置において大気（$CO_2$ 濃度：400～1000 $\mu$L/L）を石炭灰に通気した場合の $CO_2$ 固定の測定結果である．初期含水比は，自然含水比(0.10%)，5.19%，10.2%，15.5%，20.4%，24.0%および29.3%に調整した．結果の整理方法としては，供試体通過前（上流側）$CO_2$ 濃度 $C_{in}$（$\mu$L/L）と供試体通過後（下流側）$CO_2$ 濃度 $C_{out}$（$\mu$L/L）を測定し，その比 $C_{out}/C_{in}$ を経過時間ごとに求めた．供試体作製後に $C_{out}/C_{in}$ が低い値を示す，すなわち上流側濃度に対し，下流側濃度が低くなれば $CO_2$ を固定化していると考えられる．またその後，濃度比の上昇が確認できれば，該当条件下における $CO_2$ 固定化量が最大に達し，それ以上固定化できない状態に至ったものと考えられる．

**図9**からわかるように，初期含水比0.10%，24.0%，29.3%においては，試験開始から濃度比 $C_{out}/C_{in}$ の減少は認められず，$CO_2$ の固定はほとんど生じなかったと考えられる．一方，初期含水比が5.19%，10.2%，15.5%，20.4%の4条件においては，濃度比 $C_{out}/C_{in}$ が1以下の値を示すことから，これらの含水条件において $CO_2$ 固定が生じていると推察されると

**表2**　使用した石炭灰の基本的性質と外観

| 外　観 | 土粒子の密度 (g/cm³) | 自然含水比 (%) | Ca溶出量 (mg/L) |
|---|---|---|---|
| | 2.27 | 0.10 | 160 |

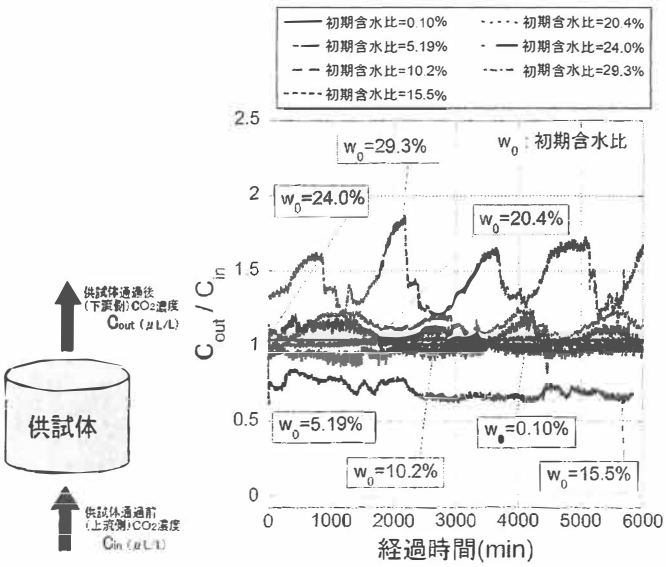



**図9**　大気（$CO_2$ 濃度：400～1000 $\mu$L/L）を石炭灰に通気した場合の $CO_2$ 固定の測定結果

ともに，$CO_2$ 固定に最適な含水状態の存在も示唆された．

これら $CO_2$ 固定が認められた 4 条件の $CO_2$ 固定化量を，以下の式(1)を用いて算出した．

$$M=\sum_{t=0}^{t_{end}}\left(V_{in}\times\frac{C_{in}-C_{out}}{10^6}\times\frac{T_0}{T}\times\frac{p}{p_0}\times\frac{M_{CO_2}}{V}\right)\quad(1)$$

ここに $V_{in}$ を通気流量(L/min)，ある時間における供試体下流側の $CO_2$ 濃度を $C_{out}$($\mu$L/L)，ある時間の供試体上流側の $CO_2$ 濃度 $C_{in}$($\mu$L/L)とする．また，理想気体の絶対温度(絶対零度)および圧力(大気圧)をそれぞれ，$T_0$(K)，$p_0$(Pa)とし，ある時間における絶対温度を $T$(K)，圧力を $p$(Pa)としている．$M_{CO2}$ は $CO_2$ の分子量，$V$ は気体 1 mol あたりの体積である．

式(1)より算出される $CO_2$ 固定化量を，その他の諸条件とともに表示した結果が**表 3** である．この表 3 より，初期含水比 20.4%の場合が最も固定化量が多く，0.045 g の $CO_2$ を固定化していることがわかった．また初期含水比 5.19%と 10.2%の場合を比べると，前者の条件の方が，固定化量が大きい．これは初期含水比 5.19%の場合，固定化の挙動が見られている間の $CO_2$ 濃度が 550 $\mu$L/L から 750 $\mu$L/L を推移しているのに対し，10.2%の場合は 100 $\mu$L/L から 250 $\mu$L/L を推移しているため，$CO_2$ 濃度の違いが固定化量に影響を及ぼしたものと考えられる．以上の結果から，今回使用した石炭灰の場合，初期含水比を 5.19～20.4%の範囲に調整することにより，比較的良好な $CO_2$ 固定化が可能と考えられる．この結果に基づき，石炭灰における含水状態を考慮した $CO_2$ 固定化のメカニズム概念図を**図10**のように提案する．すなわち，$CO_2$ 固定化のためには，ある程度の水分が必要であり，含水比が極めて少ない場合(図 10 左)では $CO_2$ 固定は進みにくい．そして，水分量が増えるにつれ，$CO_2$ が水に溶解し，それに伴い $CO_2$ 固定が進みやすくなるものと推察される(図 10 中央)．しかし，今回の石炭灰の場合は，初期含水比が 24.0%以上になると固定化の挙動が見られなかった．含水比が高い場合，図 10 右のように，土粒子の間隙に，土粒子との結合力により存在する吸着水(結合水)や，土粒子の微細な隙間にある水の表面張力により発生する力(毛管力)により支えられている毛管水および重力により自由に移動できる自由水が存在する．そのため，$CO_2$ が粒子の細孔まで入ることができず，粒子表面でのみしか反応できないことによるものと推察される．

次に $CO_2$ 濃度を 4500 $\mu$L/L に調整した $N_2$ と $CO_2$ の混合ガスを通気した石炭灰の $CO_2$ 固定化試験の結果概要を**図11**に示す．設定した初期含水比は 9.62%，14.9%，20.7%および 24.3%である．**表 4** に各初期条件とともに，先と同様に式(1)に基づき算出した $CO_2$ 固定化量を示す．今回は，ガスの送流量を 2.0 L/min と比較的大きく設定したため，試験時間が 60 分と短くなってしまっていたが，図 11 に示すように，いず

**表 3**　大気($CO_2$ 濃度：400～1000 $\mu$L/L)を石炭灰に通気した場合の一定流量通気型 $CO_2$ 固定化試験の諸条件と $CO_2$ 固定化量の算出結果(供試体高さ 10 mm，供試体直径 75 mm)

| 供試体 No. | 初期上流側 $CO_2$ 濃度 ($\mu$L/L) | 初期下流側 $CO_2$ 濃度 ($\mu$L/L) | 湿潤密度 (g/cm³) | 乾燥密度 (g/cm³) | 間隙比 | 飽和度 (%) | 試験時間 (min) | 初期含水比 (%) | 試験後含水比 (%) | 室内温度 (℃) | $CO_2$ 固定化量 (g) |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| 1 | 112 | 88 | 1.14 | 1.14 | 0.99 | 0.23 | 6000 | 0.10 | 0.184 | 27±1 | 0.000 |
| 2 | 564 | 566 | 0.86 | 0.82 | 1.76 | 6.69 | 5882 | 5.19 | 0.096 | 22±1 | 0.004 |
| 3 | 112 | 117 | 0.75 | 0.68 | 2.35 | 9.87 | 6000 | 10.2 | 0.115 | 27±1 | 0.002 |
| 4 | 288 | 215 | 1.02 | 0.88 | 1.57 | 22.5 | 5816 | 15.5 | 0.283 | 25±2 | 0.011 |
| 5 | 178 | 203 | 1.23 | 1.02 | 1.22 | 37.9 | 6000 | 20.4 | 0.143 | 29±1 | 0.045 |
| 6 | 433 | 411 | 1.42 | 1.15 | 0.98 | 55.7 | 5734 | 24.0 | 0.208 | 25±2 | 0.000 |
| 7 | 270 | 356 | 1.5 | 1.16 | 0.96 | 69.4 | 6000 | 29.3 | 0.318 | 26±1 | 0.000 |

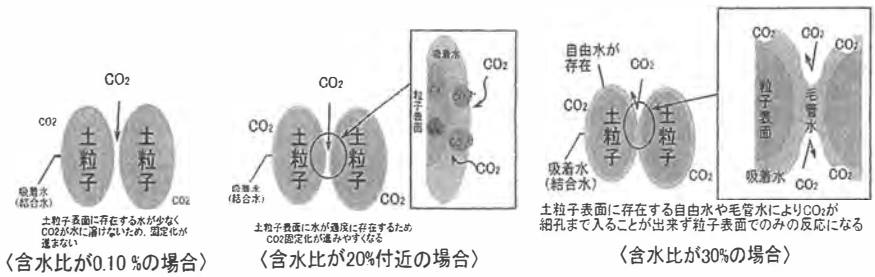



図10　石炭灰における含水状態を考慮した $CO_2$ 固定化のメカニズム推察図

れの条件でも $CO_2$ 固定の挙動が表れている．また表4に示すように，初期含水比20.7%および24.3%の場合，共に0.016gの $CO_2$ を固定化しており，最も $CO_2$ を固定化していることがわかった．また，大気を通気した図9および表3に示した結果と同様に，含水比が20～25%付近の範囲に最も $CO_2$ 固定が効率的に発生する最適な含水比があると推察できる．先に述べたように，今回はガスの送流量を大きく設定した条件のみの結果である．0.5 L/minなど，もう少し小さい送流量の条件での実験も必要と考えている．

なお，上記に述べた石炭灰の $CO_2$ 固定は，六価クロムなどの有害物質の溶出抑制にも効果があることが実験的にわかっている．本解説では，紙面の制限および $CO_2$ 固定に特化する主旨から論述しなかったが，$CO_2$ 固定による溶出抑制効果については，文献[5)-8)]を参照されたい．

## 6　まとめ：地域密着型カーボンキャプチャー構想の日本全土への展開

前章までに，鉄鋼スラグと石炭灰に関する $CO_2$ 固定化性能について極めて基礎的なデータを提示し，その可能性について概説してきた．筆者らは，この他にも様々な産業廃棄物として排出される物質に対し，$CO_2$ 固定化無機材料としての可能性を調べるとともに，その性能が最大限発揮できる含水状態などを実験的に調べている[12),13)]．

今回紹介したように，日本全国で稼働している石炭火力発電所において，それぞれの石炭灰が $CO_2$ 固定化性能を有していれば，その最適な含水状態を設計・制御することにより，地域に根差したカーボンキャプチャー施設としての機能を果たすことができる．国家プロジェクトとして進めているCCSの実施とともに，各地域でできる取り組みとして意義があるものといえる．**図12**は，上述の石炭火力発電所の地域密着型カーボンキャプチャー構想の全国展開を模式図として示したものである．今回は，石炭灰や鉄鋼スラグを対

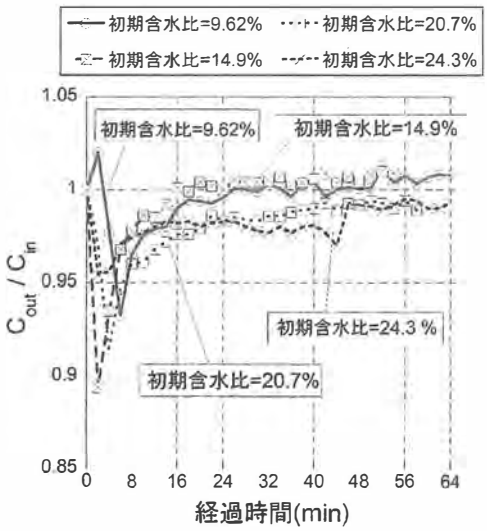



図11　調整 $N_2/CO_2$ 混合ガス($CO_2$ 濃度：4500 μL/L)を石炭灰に通気した場合の $CO_2$ 固定の測定結果

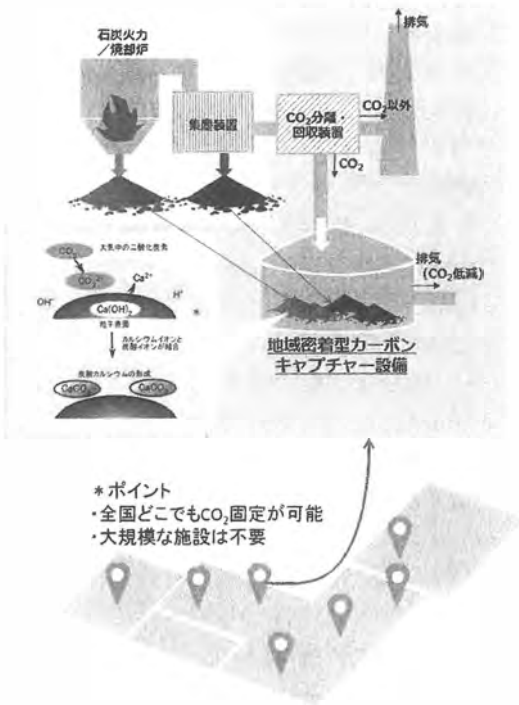



図12　石炭火力発電所の地域密着型カーボンキャプチャー構想の全国展開

表4　調整 $N_2/CO_2$ 混合ガス($CO_2$ 濃度：4500 μL/L)を石炭灰に通気した場合の一定流量通気型 $CO_2$ 固定化試験の諸条件と $CO_2$ 固定化量の算出結果(供試体高さ10 mm，供試体直径75 mm)

| 供試体No. | 初期上流側 $CO_2$ 濃度 (μL/L) | 初期下流側 $CO_2$ 濃度 (μL/L) | 湿潤密度 (g/cm³) | 乾燥密度 (g/cm³) | 間隙比 | 初期飽和度 (%) | 試験時間 (min) | 初期含水比 (%) | 試験後含水比 (%) | 室内温度 (℃) | $CO_2$ 固定化量 (g) |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| 1 | 4183 | 4189 | 0.62 | 0.57 | 3.01 | 7.25 | 64 | 9.62 | 8.75 | 25±1 | 0.010 |
| 2 | 4394 | 4268 | 0.73 | 0.64 | 2.57 | 13.2 | 54 | 14.9 | 13.0 | 22±1 | 0.010 |
| 3 | 4414 | 4464 | 1.05 | 0.87 | 1.61 | 29.3 | 58 | 20.7 | 18.9 | 22±1 | 0.016 |
| 4 | 4108 | 4172 | 1.45 | 1.16 | 0.95 | 57.9 | 64 | 24.3 | 21.6 | 25±1 | 0.016 |

象に述べたが，燃焼系廃棄物の多くは，遊離カルシウムを保有している場合が多いことから，一般・産業廃棄物を活用した地域密着型カーボンキャプチャー施設の可能性も十分あり，$CO_2$ 固定化性能を保有する無機材料としての夢は大きく膨らむ．

## 謝　辞

本解説で紹介した実験データの一部は，早稲田大学・地盤工学研究室が㈱ミダックと共同で行った研究の成果の一部である．また，2017 年度「早大理工総研—JXTG エネルギー FS 研究」として支援もいただいた．ここに関係各位に感謝する次第である．

## 文　献

1) 横山隆壽，“CCS(二酸化炭素の回収と貯留)の現状と展望”，キャノングローバル戦略研究所，http://www.canon-igs.org/research_papers/15028_yokoyama.pdf (2018.5.21).
2) 環境省，平成 27 年度の温室効果ガス排出量について，http://www.env.go.jp/press/103922.html, (2017.6.28).
3) IEA, Energy Technology Perspectives 2014, 2014.
4) 日本 CCS 調査㈱，苫小牧地点における CCS 大規模実証試験，http://www.japanccs.com/business/demonstration/index.php, (2017.5.10).
5) S. Nohno, H. Komine, K. Yasuhara, S. Murakami, T. Ito, T. Konami, Y. Kudo, ‘‘5th International Congress on Environmental Geotechnics’’, (2006) p. 245–250.
6) 南野慧子，小峯秀雄，安原一哉，村上　哲，小浪岳治，工藤章光，“第 40 回地盤工学研究発表会発表論文集”，(2005) p. 2669–2670.
7) 南野慧子，小峯秀雄，安原一哉，村上　哲，小浪岳治，工藤章光，“土木学会第 60 回年次学術講演会講演概要集”，(2005) p. 89–90.
8) 小峯秀雄，江原佳奈，井上陽介，夛賀都，片山浩志，阪本廣行，地盤工学会誌，**65**, No. 11/12, 28–31 (2017).
9) 鐵鋼スラグ協会：鉄鋼スラグの種類，http://www.slg.jp/slag/kind.html, (2018.5.12).
10) 鐵鋼スラグ協会：平成 28 年鉄鋼スラグ需給の概要，http://www.slg.jp/pdf/fs-161-01.pdf, 1–5 (2018).
11) 海野　円，小峯秀雄，村上　哲，瀬戸井健一，地盤工学ジャーナル，**9**, No. 4, 469–478 (2014).
12) 多賀春生，江原佳奈，小峯秀雄，鈴木清彦，杉本和聡，國弘　彩，“第 53 回地盤工学研究発表会”，(2018) p. 2299–2300.
13) 多賀春生，小峯秀雄，井上陽介，井樋幸輝，“土木学会第 73 回年次学術講演会”，Ⅶ-073，(2018) p. 145–146.

## 筆者紹介

**小峯秀雄**　早稲田大学理工学術院創造理工学部社会環境工学科教授

連絡先　東京都新宿区大久保 3-4-1(勤務先)

(2018. 5. 30 受付)
(2018. 6. 13 受理)

# コンクリート供試体表面における $CO_2$ 固定化性能の評価

早稲田大学　学生会員　○内田　周作，正会員　小峯　秀雄
早稲田大学　正会員　王　海龍，フェロー会員　後藤　茂
鹿島建設（株）　正会員　取違　剛

## １．はじめに

世界で進行している地球温暖化とともに，海面上昇や気候変動の問題が顕著に見られるようになり，世界的に低炭素社会を目指している．しかし，$CO_2$ 排出量について，国際エネルギー機関（IEA）の報告書 [1]によると，2014～16 年までほぼ一定だったが，2017 年では増加し 2018 年ではさらに大きくなっており，更なる地球温暖化対策を講じる必要がある．著者らの研究グループでは，コンクリート構造物が大気中の $CO_2$ を固定化すると解釈し，表面における $CO_2$ 固定化量を算出し，構造物表面における $CO_2$ 固定化量の試算を行っている．最終的には，コンクリートの打設から廃棄まで，全生涯で発生する $CO_2$ 発生量である $LCCO_2$(Life Cycle $CO_2$)の再評価を目標としている．

## ２．$CO_2$ 固定化のメカニズム

著者らはコンクリート中に存在している，遊離カルシウムを活用した $CO_2$ 固定化を提案している．そのメカニズムは，コンクリート表面から溶出されるカルシウムイオン $Ca^{2+}$と，$CO_2$ がコンクリート表面の水分に溶解し生じる炭酸イオン $CO_3^{2-}$との反応により，水に難溶性の炭酸カルシウム $CaCO_3$ が形成されるというものである．図 1 はコンクリート表面部付近において生じるであろう $CO_2$ 固定化のメカニズムを示したものである．

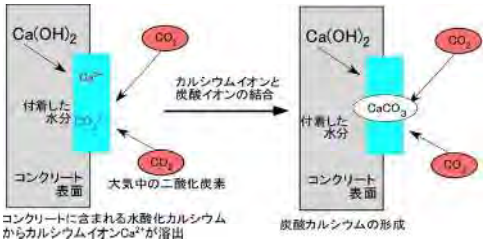



図 1　コンクリート表面の $CO_2$固定化のメカニズム

## ３．カラム型試験装置を用いた $CO_2$ 固定化量の定量的評価

本研究では，コンクリート供試体をカラムに設置し，供試体表面付近を $CO_2$ ガスが一定の流量で通過する環境を模擬的に再現する「一定流量通気型 $CO_2$ 固定化試験 [2]」を行った．図 2 は当該試験の模式図である．コンクリート供試体と空気が接触する部分を側面のみにするため，供試体の上面と下面をシールした後にカラム中央に設置して試験を始めた．本試験は，供試体表面付近を通過する前後の $CO_2$ 濃度を，それぞれ $C_{in}$(mg/L)と $C_{out}$(mg/L)として計測し，その比である $CO_2$ 濃度比 $C_{out}/C_{in}$ を求める．図 3 に示すように，$C_{out}/C_{in}$ の値が低下していると供試体は $CO_2$ を固定化していると判断できる．

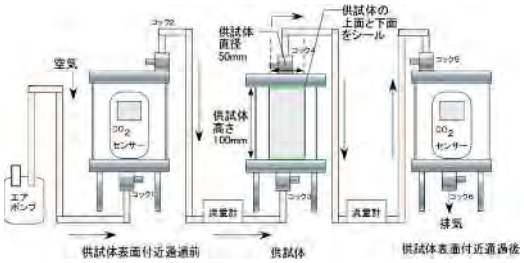



図 2　一定流量通気型 $CO_2$ 固定化試験の模式図

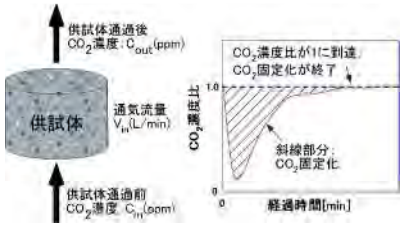



図 3　$CO_2$ 濃度比と経過時間の関係図

$CO_2$ 固定化量 M(g)については式(1)を用いて，供試体表面付近を通過する前後の $CO_2$ 濃度の差から固定化量を算出する．式(1)において $V_{in}$ は通気流量(L/min)，理想気体の絶対温度および気圧はそれぞれ，$T_0$ (K)，$p_0$(Pa)とし，ある時間における絶対温度を T(K)，気圧を p (Pa)としている．$M_{CO2}$ は $CO_2$ の分子量，V は気体 1mol あたりの体積である．$CO_2$ 固定化量を供試体の表面積で除すことで，単位表面積(1mm$^2$)当たりの $CO_2$ 固定化量(g/mm$^2$)を求める．

$$M = \sum_{t=0}^{t_{end}} \left( V_{in} \times \frac{C_{in} - C_{out}}{10^6} \times \frac{T_0}{T} \times \frac{p}{p_0} \times \frac{M_{CO_2}}{V} \right) \quad (1)$$

今回の試験では，セメントと水道水を水セメント比 60%で混合し，モールドに入れて水中養生を行うことで作製したセメントペースト硬化体と，参考文献 3)より提案されている $CO_2$ 吸収型コンクリート [3]の供試体を用いる．モールドの寸法は内径 50mm，高さ 100mm．セメントペースト硬化体を作製する際，水の割合が大きく材料分離が生じており，セメントと水を均一に混合するため，高機能特殊増粘剤「ビスコトップ 200LS-2」(花王ケミカル製品)を添加した．$CO_2$ 吸収型コンクリート [3]は，γ-CaO・$SiO_2$(以下 γ-$C_2S$)を始めとした混和材や細骨材を混入している．

キーワード　コンクリート，二酸化炭素，地球温暖化
連絡先　〒169-8555 東京都新宿区大久保 3-4-1 早稲田大学理工学術院 ＴＥＬ03-5286-2940

© Japan Society of Civil Engineers

試験条件について，供試体表面積は側面のみの表面積，空気流量は 0.5±0.02 L/min として室内空気を通気し，試験期間は 1 週間(10080min)とした．表 1 は二つの供試体における試験条件と結果，表 2 は $CO_2$ 固定化量と供試体表面積より算出した単位表面積当たり $CO_2$ 固定化量について示す．図 4 は $CO_2$ 濃度比の時間推移，図 5 は試験開始時からの累積 $CO_2$ 固定化量の時間推移を示す．

表 1　各試料の試験条件および $CO_2$ 固定化量

| 試料名 | 供試体高さ [mm] | 供試体直径 [mm] | 供試体表面積 [mm²] | 水粉体比 W/P [%] | 初期上流側 $CO_2$ 濃度 [ppm] | $CO_2$ 固定化量 M[g] | 備考 |
|---|---|---|---|---|---|---|---|
| セメントペースト硬化体 | 95.1 | 50.2 | $1.50\times10^4$ | 60.1 | 521 | 0.454 | 水道水，セメントと増粘剤で作製 |
| $CO_2$ 吸収型コンクリート 3) | 100 | 50.1 | $1.57\times10^4$ | 28.0 | 542 | 1.28 | 水道水，セメント，混和材細骨材と混和剤で作製 |

表 2　各試料のおよび単位表面積当たり $CO_2$ 固定化量

| 試料名 | $CO_2$ 固定化量 M[g] | 供試体表面積 [mm²] | 単位表面積当たり $CO_2$ 固定化量 [g/mm²] | 単位表面積当たり $CO_2$ 固定化量 [g/m²] |
|---|---|---|---|---|
| セメントペースト硬化体 | 0.454 | $1.50\times10^4$ | 0.0000303 | 30.3 |
| $CO_2$ 吸収型コンクリート 3) | 1.28 | $1.57\times10^4$ | 0.0000817 | 81.7 |

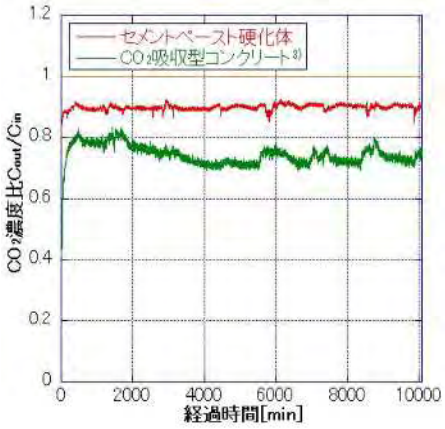


図 4　各供試体における $CO_2$ 濃度比 $C_{out}/C_{in}$

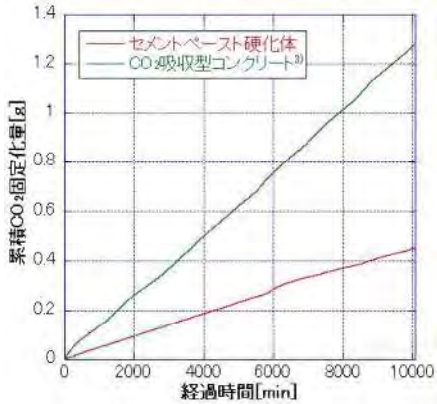


図 5　各供試体における積算 $CO_2$ 固定化量

図 4 から，二つの供試体とも $C_{out}/C_{in}$ は 1 を下回っていることから，$CO_2$ 固定化性能があると考えられる．二つの供試体を比較すると $CO_2$ 吸収型コンクリート 3)の $C_{out}/C_{in}$ がより低い値を維持しているため，セメントペースト硬化体よりも $CO_2$ 吸収型コンクリート 3)の $CO_2$ 固定化量が大きいと推察できる．図 5 の累積 $CO_2$ 固定化量より，いずれの供試体も累積 $CO_2$ 固定化量は，経過時間と共に大きくなる．1 週間経過時点において，$CO_2$ 吸収型コンクリート 3)の方が，セメントペースト硬化体の 3 倍程度の $CO_2$ を固定している．要因として，$CO_2$ 吸収型コンクリート 3)は $\gamma$-$C_2S$ を始めとした多様な物質で作製されており，セメントよりも $CO_2$ と反応しやすいことが考えられる．表 2 より式(1)から算出した結果からも，$CO_2$ 吸収型コンクリート 3)の $CO_2$ 固定化量が大きく，単位表面積当たり $CO_2$ 固定化量についても，2 つの供試体はほぼ同じ寸法であるため，$CO_2$ 吸収型コンクリート 3)がセメントペースト硬化体の 3 倍程度の $CO_2$ を固定する結果となった．なお，今回の実験は，前述のように，1 週間という試験期間を設定したが，この期間では $CO_2$ 固定は完了していないと考えられる．本結果より，コンクリート構造物を想定すると，1 週間で 1m² 当たり 30g 程度の $CO_2$ を固定化し，$CO_2$ 吸収型コンクリート 3)では 1 週間で 1m² 当たり 80g 程度の $CO_2$ を固定化できると推察する．

## 4．結論

セメントペースト硬化体と $CO_2$ 吸収型コンクリート 3)に対して $CO_2$ 固定化試験を行い，以下の知見を得られた．

1. 2 つのコンクリート供試体は $CO_2$ 固定化性能があると考えられ，特に $CO_2$ 吸収型コンクリート 3)はセメントペースト硬化体の 3 倍程度の $CO_2$ を固定化した．
2. コンクリート構造物を想定すると，1 週間で 1m² 当たり 30g 程度の $CO_2$ を固定化し，$CO_2$ 吸収型コンクリート 3)では 1 週間で 1m² 当たり 80g 程度の $CO_2$ を固定化できると推察する．

**参考文献**　1)国際エネルギー機関(IEA) : Global Energy & $CO_2$ Status Report The latest trends in energy and emissions in 2019．2)海野円・小峯秀雄・村上哲・瀬戸井健一：低炭素社会形成のための鉄鋼スラグの二酸化炭素固定化量の定量評価と二酸化炭素固定化メカニズムの推察，地盤工学ジャーナル，Vol.9，No.4，469-478(2014 年 12 月).3)関健吾・横関康祐・取違剛・小林聖・高柳達徳・木村彩永佳： $CO_2$ 排出量ゼロ以下の環境配慮型コンクリート『$CO_2$-SUICOM®』の開発，鹿島技術研究所年報，Vol.61，91-96，(2013 年 9 月 30 日)

© Japan Society of Civil Engineers

# 副産物・素材の $CO_2$ 固定化性能に基づく地域密着型カーボンキャプチャー構想の定量評価

早稲田大学理工学術院　正会員　○小峯　秀雄
早稲田大学大学院　創造理工学研究科　学生会員　多賀　春生
（株）ミダック　非会員　鈴木　清彦

## １．背景と目的

気候変動の緩和策として, 省エネルギーの推進や再生可能エネルギー等の低炭素エネルギー, CCUS（Carbon dioxide Capture, Utilization and Storage）の実現と普及，植物による $CO_2$ の吸収源対策等が挙げられている．経済産業省等では大規模な施設による二酸化炭素回収・貯留技術を進めているが，著者らは，それと併行して，まだ注目されていない各地域においても実施できる身近な地域密着型の CCUS 技術も必要と考えている．

著者らは，いくつかの副産物・素材が遊離 Ca を多量に保有することに着目し，$CO_2$ 固定に優れた新素材としての可能性を見出した [1)~4)]．そして，この性能を活用して地域に密着した産業廃棄物処分場をカーボンキャプチャー施設と見なせることを提案している [1),2)]．本論文では，現在まで取得してきた各副産物・素材の $CO_2$ 固定性能データに基づき，具体的な産業廃棄物処分場を例に挙げて，地域密着型のカーボンキャプチャー施設としての性能の試算を行う．

## ２．既往研究事例における各副産物の $CO_2$ 固定化性能の概要

著者らの研究グループでは，各福産物・素材の $CO_2$ 固定化性能データを，図 1 に示すカラム型 $CO_2$ 固定化試験により測定し，表 1 に一例を示すように提示してきた．

表 1　各副産物・素材の $CO_2$ 固定化性能データの一例

| 試料 | エージング製鋼スラグ | 未エージング製鋼スラグ | ペーパースラッジボイラー煤塵（水蒸気飽和あり） | ペーパースラッジボイラー煤塵（水蒸気飽和なし） | ペーパースラッジボイラー煤塵（初期含水比調整あり・水蒸気飽和あり） |
|---|---|---|---|---|---|
| 単位質量当たりの $CO_2$ 固定化量（g-$CO_2$/g-sample） | 0.030 | 0.041 | 0.078 | 0.019 | 0.076～0.086 |
| 初期含水比（%） | 8.47 | 10.8 | 11.5 | 11.5 | 50.0, 54.4, 60.1, 64.2, 68.3, 72.0 の 5 種類 |
| 試験後含水比（%） | 0.98 | 1.12 | 9.87 | 4.93 | 34.8, 40.5, 42.2, 48.6, 36.7, 28.1（上記初期含水比に対応） |
| 乾燥密度（$Mg/m^3$） | 0.97 | 0.95 | 0.38 | 0.38 | 0.26～0.30 |
| 備考欄 | カラム試験（水蒸気飽和なし） | カラム試験（水蒸気飽和なし） | カラム試験（水蒸気飽和あり） | カラム試験（水蒸気飽和なし） | カラム試験（初期含水比調整あり，水蒸気飽和なし） |
| 参考文献 | 海野円ら [4)] | 海野円ら [4)] | 多賀春生ら [5)] | 多賀春生ら [5)] | 多賀春生ら [5)] |

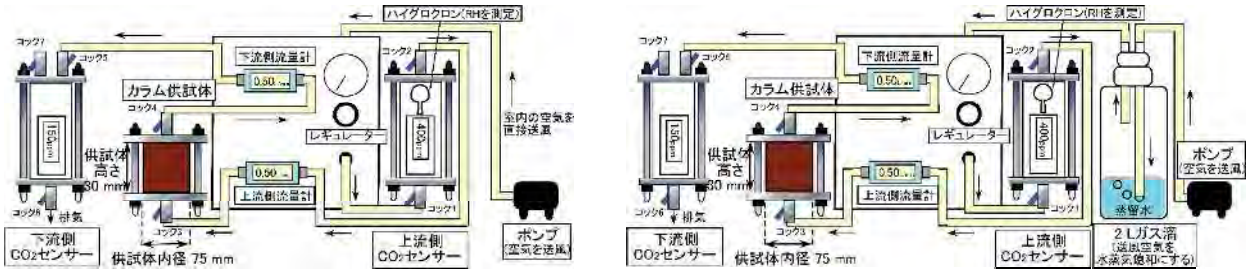



図 1　カラム型 $CO_2$ 固定化試験（左：水蒸気飽和システムなし，右：水蒸気飽和システムあり）

著者らの研究 [1)~4)] から，各副産物・素材の $CO_2$ 固定は，その含水比状態に大きく影響されることが分かっている．図 1 に示すカラム型試験装置では，送入する $CO_2$ の相対湿度を制御できるものとそうでないものの両

キーワード　地球温暖化，緩和策，$CO_2$ 固定，副産物，都市環境
連絡先　〒169-8555　東京都新宿区大久保 3-4-1，58 号館 2 階 03 室　ＴＥＬ03-5286-2940

© Japan Society of Civil Engineers

方で実験を行い，データベースを作成している．例えば表 1 に示すように，ペーパースラッジボイラー煤塵（PS 灰）では，水蒸気飽和システム“あり”と“なし”の場合では，$CO_2$ 固定化性能が大きく異なり，“あり”の場合の $CO_2$ 固定化性能は，“なし”と比べて 3 倍以上の能力を有していることが分かる．また，素材の初期含水比の調整も，$CO_2$ 固定に有効であることも分かっている [5]．表 1 に示す PS 灰の場合，初期含水比を 60～80%に調整し，水蒸気飽和した $CO_2$ を送風することにより，素材質量の 8%程度の $CO_2$ 固定が可能である．

## ３．想定産業廃棄物処分場の仕様から算出される施設の $CO_2$ 固定化潜在的能力の試算

前章で概説した各副産物・素材の $CO_2$ 固定化性能データを基に，具体的に産業廃棄物処分場の仕様を設定して $CO_2$ 固定化の潜在能力の試算を行う．施設の潜在的 $CO_2$ 固定化量は，以下の式(1)により算出できる．

$$M_{CO_2-Facility} = \left(V_{cover} \times \rho_{d-cover} \times m_{CO_2-unit\ cover}\right) + \sum_{i=1}^{N} \left\{ (V_{mat})_i \times (\rho_{d-mat})_i \times \left(m_{CO_2-unit\ mat}\right)_i \right\} \quad (1)$$

ここに，$M_{CO_2-Facility}$：施設全体の潜在的 $CO_2$ 固定化量（Mg），$V_{cover}$：覆土の容量（$m^3$），$\rho_{d-cover}$：覆土の平均乾燥密度（$Mg/m^3$），$m_{CO_2-unit\ cover}$：覆土の単位質量当たりの $CO_2$ 固定化量（g-$CO_2$/g-sample），$N$：副産物・素材の種類数（種目），$(V_{mat})_i$：$i$ 種目の副産物・素材の容量（$m^3$），$(\rho_{d-mat})_i$：施設内における $i$ 種目の副産物・素材の平均乾燥密度（$Mg/m^3$），$\left(m_{CO_2-unit\ mat}\right)_i$：$i$ 種目の副産物・素材の単位質量当たりの $CO_2$ 固定化量（g-$CO_2$/g-sample）

今回の試算においては，覆土について，次に想定する副産物・素材と同じ $CO_2$ 固定化性能を保有すると仮定した．副産物・素材単位質量当たりの $CO_2$ 固定化量 $m_{CO_2-unit\ mat}$ としては，表 1 に例示したデータに基づき，表 2 に示すように，2 種類の値，すなわち 0.01（比較的 $CO_2$ 固定の性能が低い場合を想定）と 0.08（表 1 の PS 灰のように比較的 $CO_2$ 固定の性能が高い場合を想定）を設定した．さらに，上記仮定の下，副産物・素材の種類数はそれぞれ 1 種類と仮定した．想定した施設は，（株）ミダックが 2022 年 4 月以降に稼働を予定している奥山の杜クリーンセンターの管理型最終処分場 [6]を参考に設定した．同施設は，埋立面積 104,458 $m^2$，埋立容積 3,125, 591 $m^3$ とされている．施設内での素材の乾燥密度を 0.4 $Mg/m^3$ と比較的緩い状態での締固めを想定した．表 2 に試算結果を示す．およそ，12,500～100,000 ton（表 2 では Mg 表示）と試算される．

表 2　想定した施設全体の潜在的 $CO_2$ 固定化量の試算結果

| $m_{CO_2-unit\ mat}$，$m_{CO_2-unit\ cover}$ (g-$CO_2$/g-sample) | 0.01 | 0.08 |
|---|---|---|
| 副産物・素材の種類数 $N$（種目） | 1 | |
| $V_{cover} + \sum_{i=1}^{N}(V_{mat})_i$ ($m^3$) | 3125591 | |
| $\rho_{d-cover}$，$(\rho_{d-mat})_i$ ($Mg/m^3$) | 0.4 | |
| 施設内の副産物・素材全質量（Mg） | 1250236.4 | |
| $M_{CO_2-Facility}$ (Mg) | 12502.364 | 100018.912 |

表 3　想定した施設表面を森林にした場合に試算される $CO_2$ 固定化量の試算

| | |
|---|---|
| 森林 1ha 当たりの炭素 C 固定量(Mg/ha.year) | 3.8 [8] |
| 森林 1ha 当たりの $CO_2$ 固定量(Mg/ha.year) | 13.92 |
| 施設面積（ha） | 10.446 |
| 施設面積相当森林の $CO_2$ 固定量（Mg/year） | 145.457 |

一方，参考文献 7), 8)で提示されている森林 1ha の 1 年間当たりの平均的炭素 C 固定量（Mg/ha.year）に基づき，同施設の埋立面積に森林を育成させることを想定した場合に，その森林が 1 年間当たり固定化する $CO_2$ 量を試算した結果を表 3 に示す．その結果，同施設相当の森林面積の $CO_2$ 固定は年間 145 ton（表 3 では Mg 表示）となる．表 2 および表 3 の結果から，同最終処分場には，同施設面積相当の森林 86 年～689 年の $CO_2$ 固定が潜在的に可能であると試算される．

## 参考文献


1) 小峯秀雄：土質系材料の $CO_2$ 固定化性能を活用した地域密着型カーボンキャプチャー構想と気候変動緩和策，地盤工学会誌, 67(4), 16-19, 2019.
2) 小峯秀雄：無機系の各種廃棄物の二酸化炭素固定特性と地域密着型カーボンキャプチャー構想，無機マテリアル学会会誌, 25, 385-392, 2018.
3) Umino, M., Komine, H., Murakami, S., Yasuhara, K., Setoi, K., Watanabe, Y. Iron and steel slag properties and mechanisms for carbon dioxide fixation in a low-carbon society, Geotechnical Engineering Journal of the SEAGS & AGSSEA, 48(1), 82-89, ISSN 0046-5828, 2017.
4) 海野 円，小峯 秀雄，村上 哲，瀬戸井 健一：低炭素社会形成のための鉄鋼スラグの二酸化炭素固定化量の定量評価と二酸化炭素固定化メカニズムの推察，地盤工学ジャーナル，9(4), 469-478, 2014 年
5) 多賀春生，小峯秀雄，後藤茂，王海龍，鈴木清彦，杉本和聡，國弘彩：カラム型試験システムを用いた土質系廃棄物の $CO_2$ 固定化特性の実験的評価，第 54 回地盤工学研究発表会（さいたま市），pp. 2145-2146.
6) （株）ミダック： みだコロジー2019～みんなの環で地球をキレイに～【2019 年 2 月 1 日発行】，【１．最終処分場の設置許可取得について】，入手先 <http://www.midac.jp/mail/backnumber/201902.txt>, 2019（参照 2020.01.20）.
7) （独）森林総合研究所 温暖化対応推進拠点：1 年当たりの森林の材木（幹・枝葉・根）による炭素吸収の平均的な値，入手先< http://www.ffpri.affrc.go.jp/research/dept/22climate/kyuushuuryou/documents/page1-4-per-year.pdf>（参照 2020.01.20）.
8) 林野庁関東森林管理局：森林の二酸化炭素吸収力，入手先<https://www.rinya.maff.go.jp/kanto/iwaki/knowledge/breathing.html>（参照 2020.01.20）.


© Japan Society of Civil Engineers

講演３

# 環境研究総合推進費
# 廃棄物最終処分場の長寿命化に伴う機能検査と
# 気候変動適応策の成果と今後の課題

北海道大学大学院工学研究院
環境工学部門　環境工学分野　循環共生システム研究室
教授　石井一英

令和4年度　LSA環境講演会
日時：2022年6月20日（月）13:30～
場所：北とぴあ　つつじホール
「気候変動にともなう脱炭素社会構築に向けた廃棄物行政と処分場のあり方」

16:15～17:15

環境研究総合推進費

# 廃棄物最終処分場の長寿命化に伴う機能検査と気候変動適応策の成果と今後の課題

課題番号：3-1906
体系的番号：JPMEERF20193006）
研究実施機関：令和元年度～令和３年度

北海道大学大学院工学研究院
教授　　石井一英



## 1. 最終処分場長寿命化と機能･定期検査

GOOD

3R推進により、
最終処分量が減少

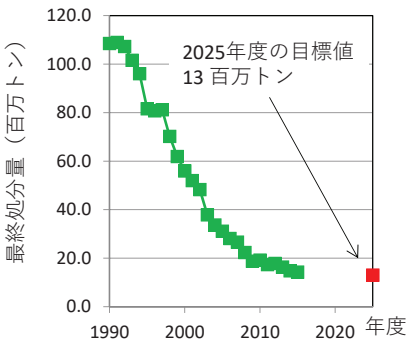



図1　最終処分量の推移（循環白書2018）

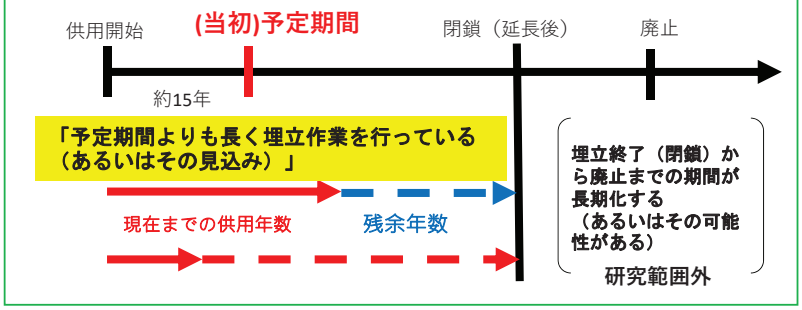
GOOD

・計画よりも長寿命化
・最終処分場の確保

**長寿命化に伴う課題の実態が不明！**

**老朽化に伴うハード上のトラブル？**

**本研究での長寿命化の定義**



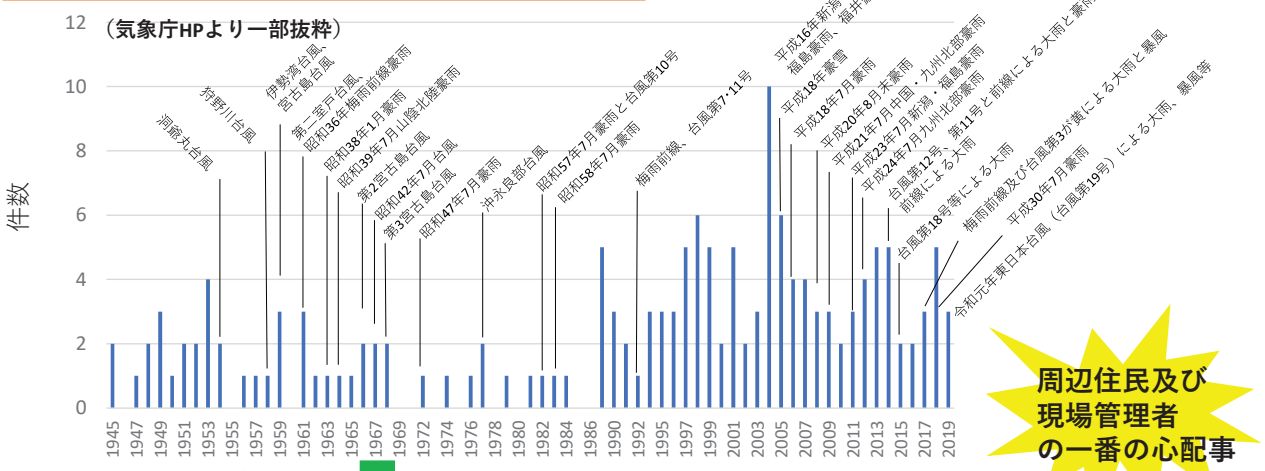

**機能検査・定期検査制度の対象になっていない！**

**機能検査・精密機能検査**（廃掃法第4条の5第1項第14号、第5条）
→ **焼却施設・し尿処理施設のみが対象**

**定期検査制度**（廃棄物処理施設の定期検査ガイドライン、H23年）
→ **一般廃棄物・産業廃棄物**の焼却施設と**最終処分場**など
都道府県が実施　（市町村の設置を除く、構造基準のみのチェック）

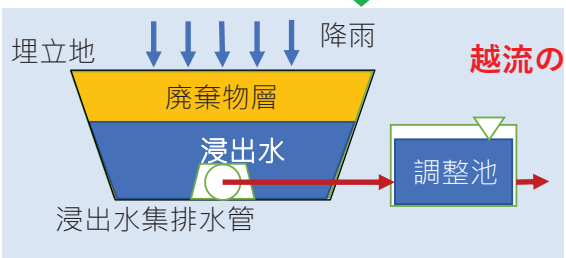
# 2. 雨の降り方の変化と浸出水管理

**災害をもたらした気象事例は増える一方！**




**周辺住民及び現場管理者の一番の心配事**

**雨の降り方の変化**




**越流の危険**

**調整池と浸出処理の容量不足！**

- **浸出水発生抑制策**
- **浸出水処理施設リニューアル**
  - 調整池や浸出水処理**規模やプロセスの見直し**
  - **簡易・バイパス処理**



# 3. 研究目的・ゴール・アウトカム

## ＜本研究の目的＞

一般廃棄物最終処分場及び産業廃棄物管理型最終処分場を対象に、

**①長寿命化及び近年（将来）の気候変動による維持管理上の課題、機能検査実施状況の実態を明らかにする。**

**②実態調査に基づき機能改善策も含めた**
**A）機能検査・**
**B）気候変動適応マニュアルを策定する。**

**③特に浸出水処理施設のリニューアルとコスト削減策を提案する。**

## ＜研究目標＞

**全体**

一般廃棄物最終処分場及び産業廃棄物管理型最終処分場を対象に、長寿命化及び近年（将来）の気候変動による**維持管理上の課題及び機能検査実施状況の実態を明らかにした上で、機能検査・気候変動適応マニュアルを策定すること、及びに浸出水処理施設のリニューアルとコスト削減策を提案すること。**

**○機能検査／気候変動適応マニュアルの完成**
- 長寿命化への対応の必要性、機能検査の内容、具体的問題対応策
- 気候変動適応の必要性、具体的適応策

**○浸出水処理施設の改良・リニューアルの際の設計指針の提案**
- 想定すべき降雨強度の考え方
- 浸出水発生量と質に応じた処理施設規模とプロセスの考え方

## ＜アウトカム＞

**環境政策への貢献**

- **長寿命化を想定した機能検査マニュアルの作成**
- **気候変動適応マニュアルの作成**
  - **特に雨の降り方の変化に適応するための浸出水管理方策の提案**

- 廃棄物処理施設長寿命化総合計画作成の手引き（し尿処理施設・汚泥再生処理センター編）
**→浸出水処理施設編の提案**

# 4. 研究内容の全体像

5

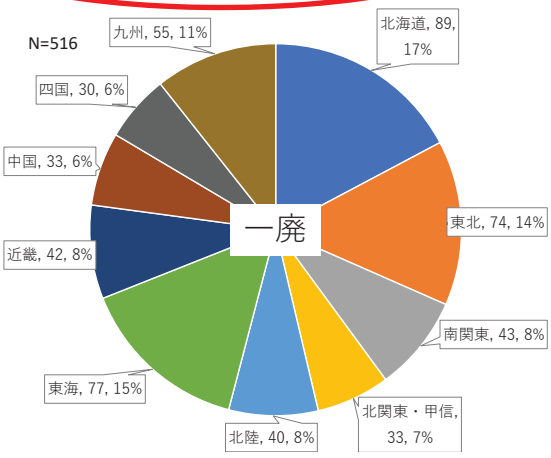
| 研究項目 | 1年目 | 2年目 | 3年目 | 成果 |
|---|---|---|---|---|
| ①実態調査<br>①-1　（石井）<br>機能検査の実態調査<br>①-2　（落合）<br>気候変動による維持管理上の課題調査（ゲリラ豪雨多発・温度上昇による影響） | ◇アンケート＆ヒアリング調査による実態把握<br>・長寿命化の実態と問題対応内容（コスト、期間）<br>・内部貯留や越流の危険性<br>・浸出水量と質に応じた浸出水処理施設の改良・更新の必要性<br>◇機能検査の実施<br>・浸出水処理施設の機能検査（1件） | ◇問題対応の事例調査（10件）<br>◇機能検査の実施（2件） | | ①（別冊1）<br>長寿命化及び気候変動による維持管理上の課題と機能検査実施状況の実態調査結果（アンケート結果） |
| ②機能検査マニュアルの策定（石井） | | ◇マニュアル（案）の作成 | ◇マニュアル完成 | ②-1（別冊2）<br>長寿命化を想定した機能検査マニュアル（環） |
| 気候変動適応マニュアルの策定 | | NPO最終処分場技術システム研究協会の協力を得て、ワーキングを構成 | | ②-2（別冊3）<br>気候変動適応マニュアル（特に雨の降り方の変化に適応するための浸出水管理方策）(環)<br>③（別冊3に掲載）<br>廃棄物処理施設長寿命化総合計画作成の手引き※（浸出水処理施設編）（環）<br>※し尿処理施設・汚泥再生処理センター編は存在<br>＜①～③のまとめ＞<br>④既存・新規最終処分場の機能検査と浸出水処理施設リニューアルの考え方（環） |
| ③浸出水処理施設のリニューアルとコスト削減策の提案（石井、落合） | ◇浸出水発生量予測モデルの構築<br>モデルA<br>ガス抜き管を考慮した浸出水発生量予測モデル<br>モデルB<br>Deep Learningを用いた発生量予測モデル | ◇浸出水発生量・水質の予測モデルの完成<br>・量→質予測への展開<br>・両モデルを実現場に適用し有効性を確認<br>◇浸出水処理プロセスのモデル化<br>・浸出水処理施設リニューアルのための処理負荷増加可能性の検討<br>・リニューアルに必要な施設整備コスト及び維持管理コスト見積もりモデル | ◇2100年までの最大降雨予測データによる全国浸出水発生量予測<br>◇浸出水処理施設リニューアルケーススタディ<br>◇気候変動を考慮した浸出水処理施設のリニューアル計画と設計手法 | |

# 5.①長寿命化及び気候変動による維持管理上の課題と機能検査実施状況の実態調査

6

- 調査対象
  - 一般廃棄物最終処分場（以下、一廃）　：1635件（全国：949通送付）
    - ※H29年度一般廃棄物処理実態調査（環境省）より
  - 産業廃棄物管理型最終処分場（以下、産廃）　：全国：180通送付
    - ※全産連から提供を受けた送付先リストより
- 日程：2019年9月25日送付、10月31日〆切
- 回答
  - 一廃：516件（403通、返送率42.5%）
  - 産廃：66件（57通、返送率31.7%）

※これ以降は、主に一廃の結果を示す。



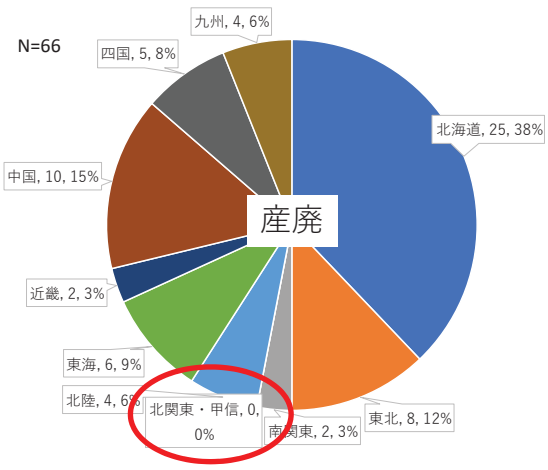




図4. 回答の地域分布と地域ごとの返送率

## 6. 回答が得られた最終処分場の供用年数分布と母集団との比較

**両者の分布に大きな違いは無い＝代表性の確認**

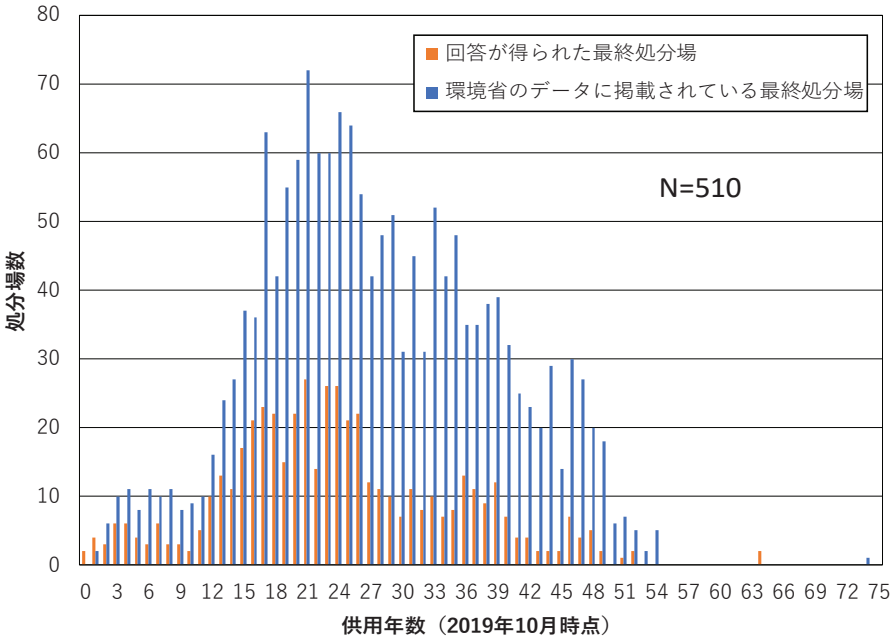


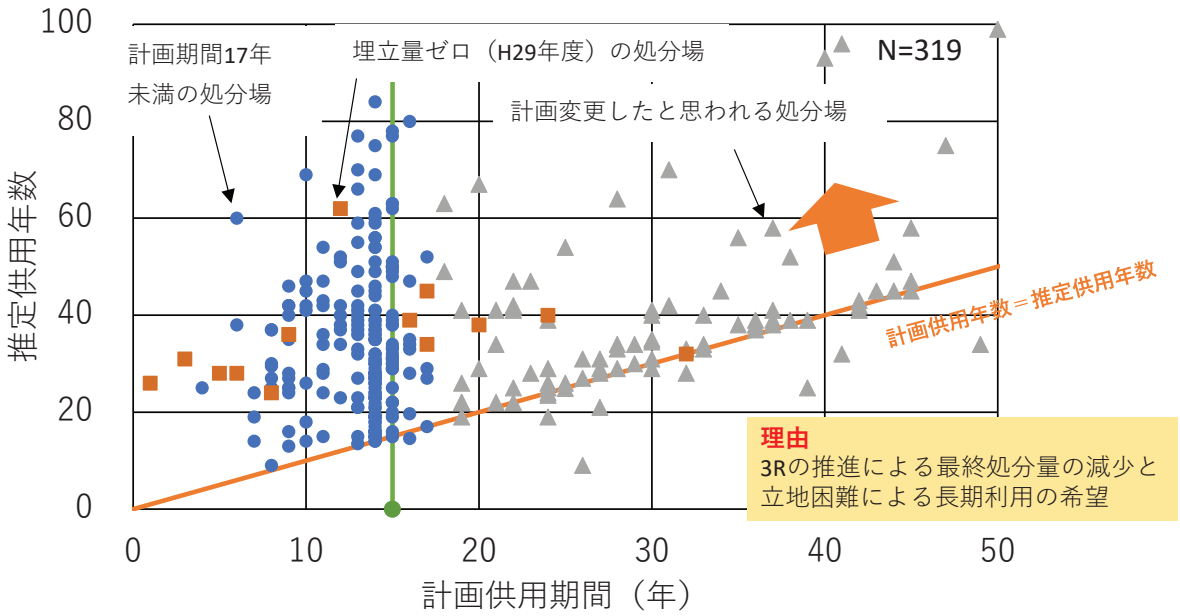

図5　回答が得られた一般廃棄物最終処分場の供用年数分布の母集団との比較



## 7. 推定供用年数

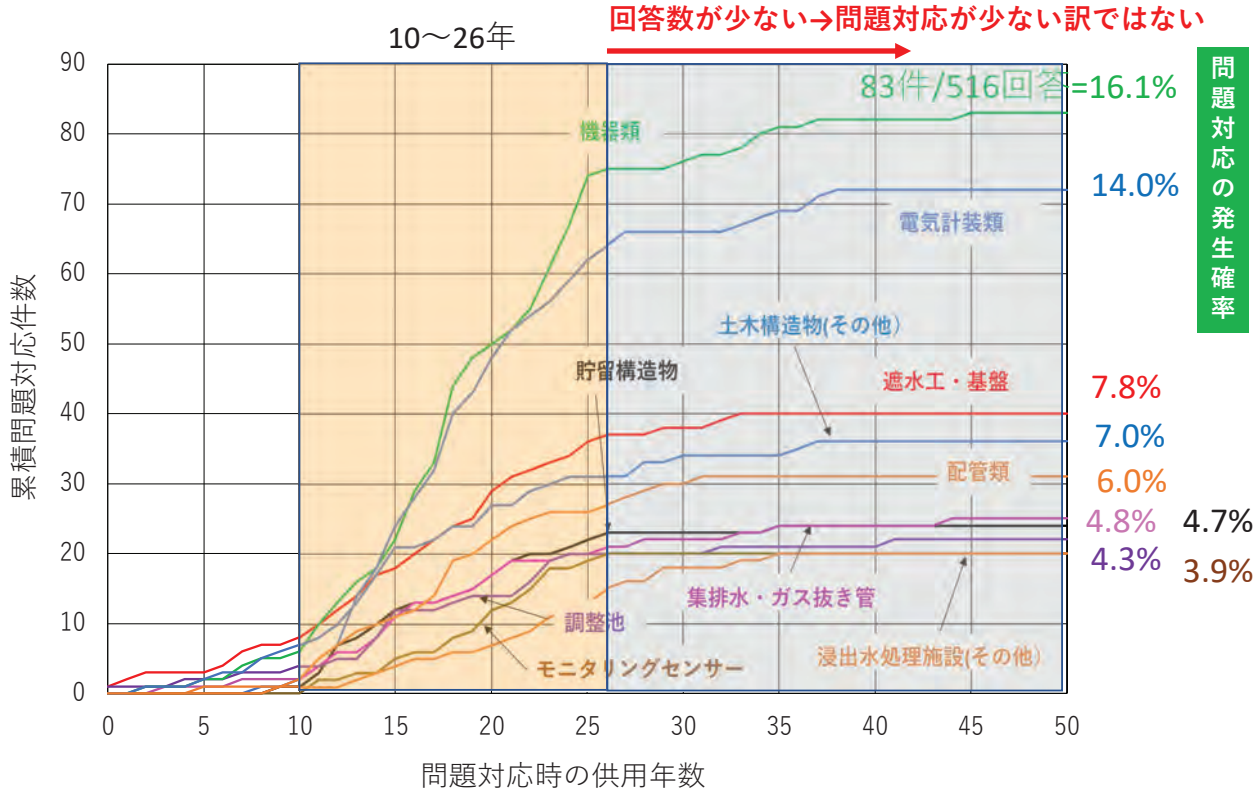
### （＝これまでの供用年数＋残余年数）

**当初計画供用年数を超過（推定）　294件/319件＝92%**



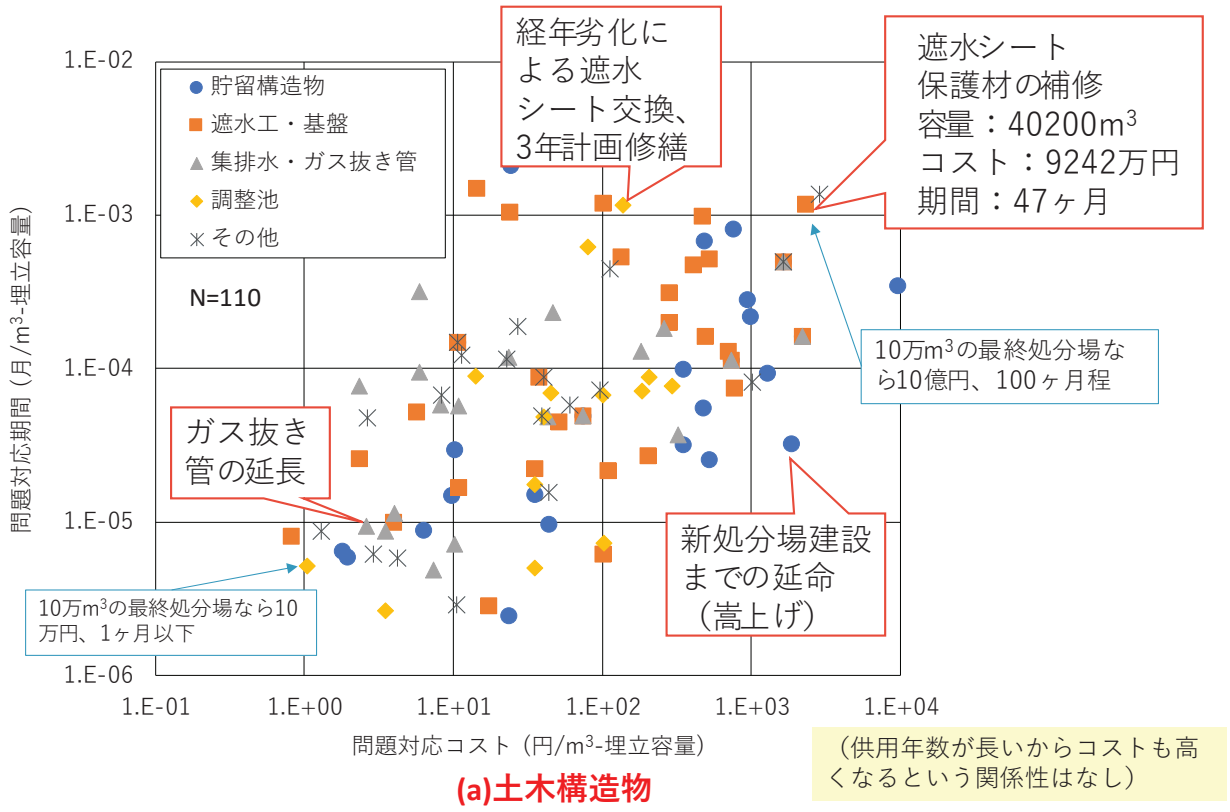

当初の計画供用期間と2019年10月時点の**推定供用年数**の関係

# 8. 長寿命化のために行った問題対応の内容と発生確率






# 9．長寿命化のために行った問題対応のコストと期間

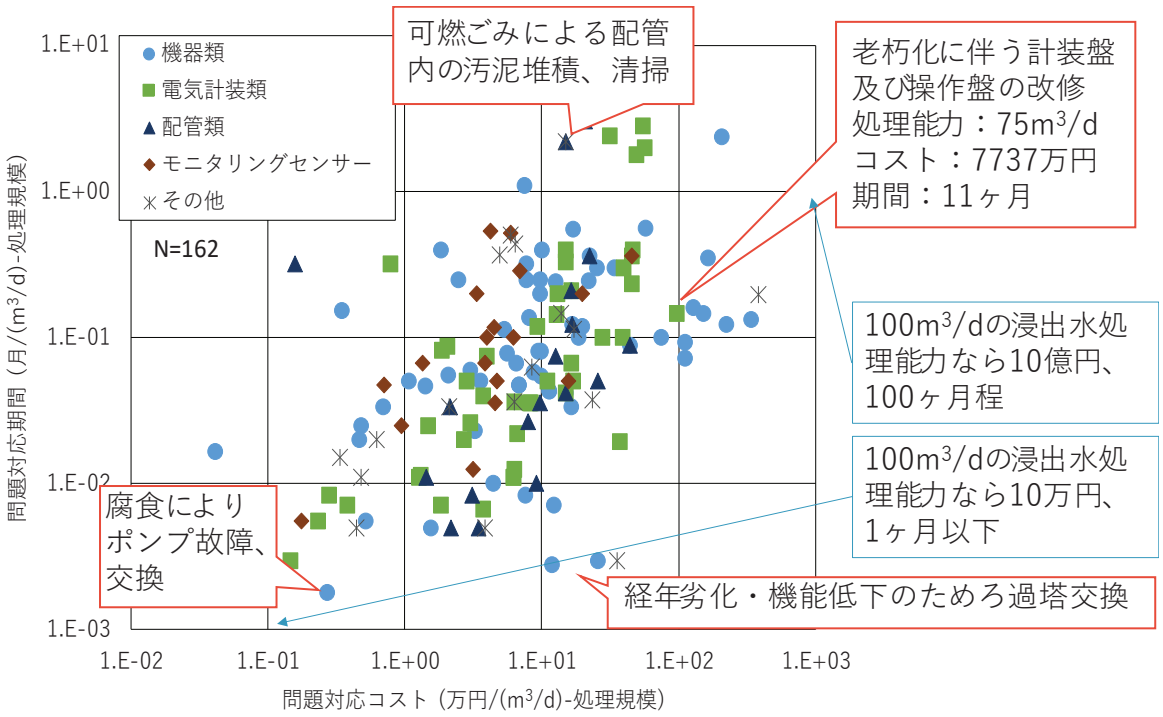



（供用年数が長いからコストも高くなるという関係性はなし）

図8　一般廃棄物最終処分場の問題対応にかかった期間とコスト

## 10・長寿命化のために行った問題対応のコストと期間

11




**(b)浸出水処理施設**

（供用年数が長いからコストも高くなるという関係性はなし）

図9　一般廃棄物最終処分場の問題対応にかかった期間とコスト

## 11・長寿命化のために行った問題対応のコスト

12

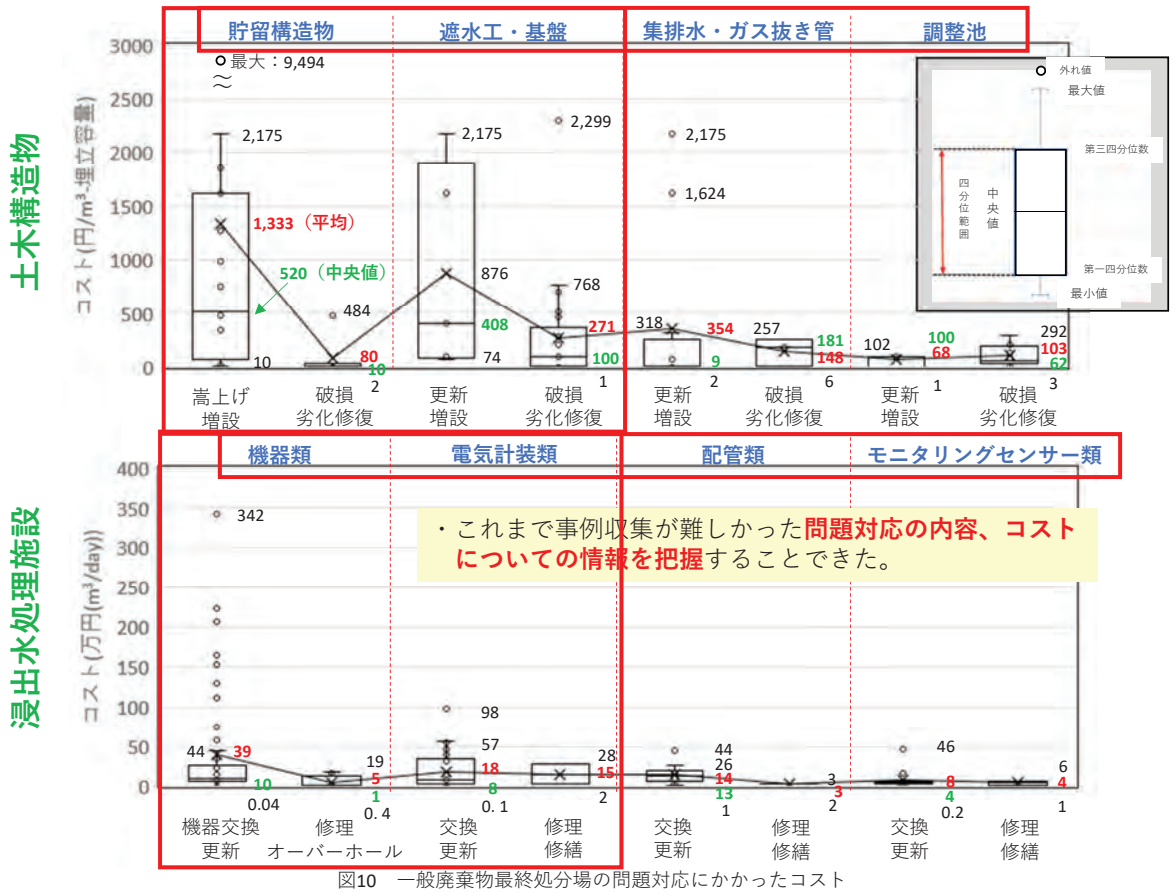



図10　一般廃棄物最終処分場の問題対応にかかったコスト

# 12・内部貯留について

**原因** 雪解け（北海道・東北・北陸）
豪雨時・梅雨など降雨の多い時

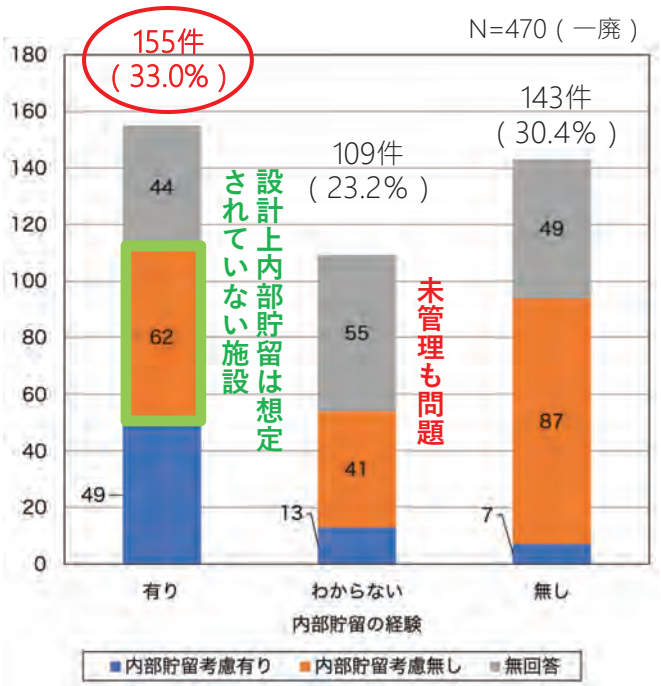



図11　内部貯留の経験の有無

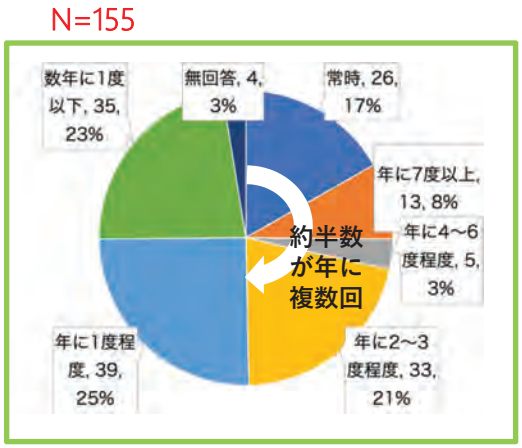



図12　内部貯留の頻度

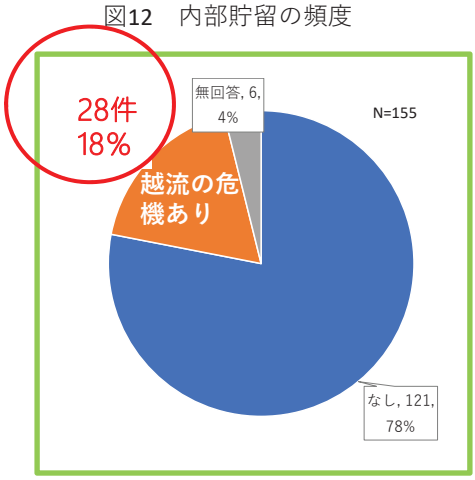



図13　越流危機の有無



# 13・浸出水水質について

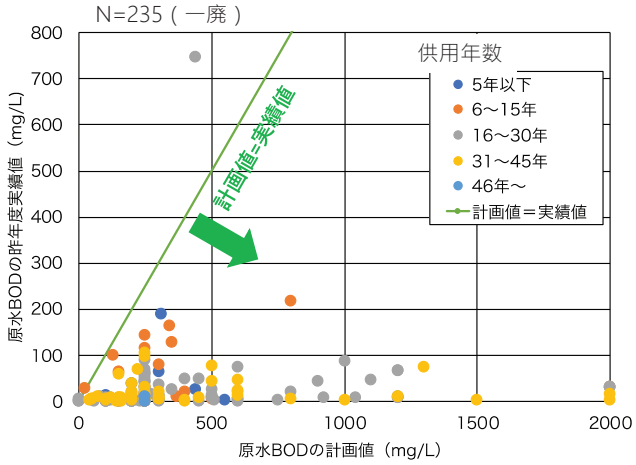



図14　原水BOD濃度の計画値と2018年度実績値の比較

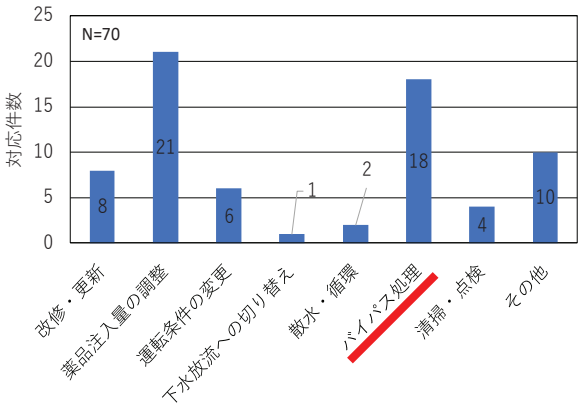



図15　浸出水量・質の経年変化への対応の種類

供用年数の増加

COD, T-Nについても同様の傾向

浸出水のBOD濃度低下傾向 → 負荷量の余裕がある

バイパス処理による対応が意外と多い

**○今後の方向性**

・今後の雨の降り方の変化に対応するために、**処理負荷量の余裕分を有効に利用し、バイパス処理や簡易処理による処理量増加**を検討する（維持管理計画の変更が必要）。

**→内部貯留が緩和できる。**

# 14．災害（豪雨・猛暑・台風・地震※など）への問題対応状況

15

※気候変動とは関係ないが、長寿命化とは関連

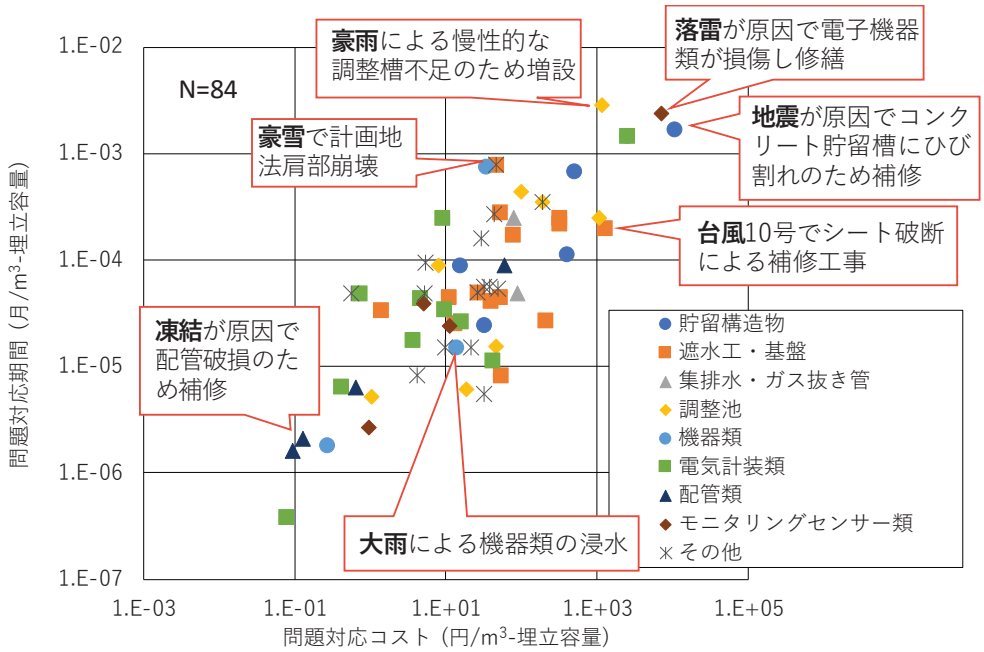



図16　気候変動と思われる事項及び災害への問題対応にかかったコストと期間

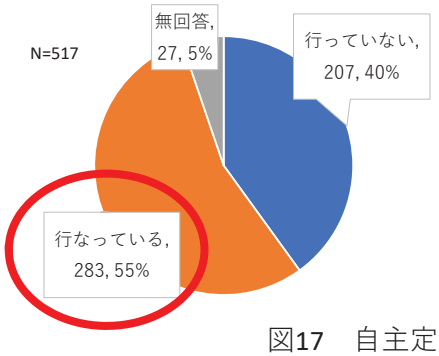
**※猛暑による微生物処理への影響に関する回答は無かった。**
**（遮水工シートの劣化、苛性ソーダ溶液の水分蒸発により結晶化して送液配管の閉塞）**

# 15．施設点検について

16

**小規模の施設で点検が行われていない。**

## (1)自主的点検の有無



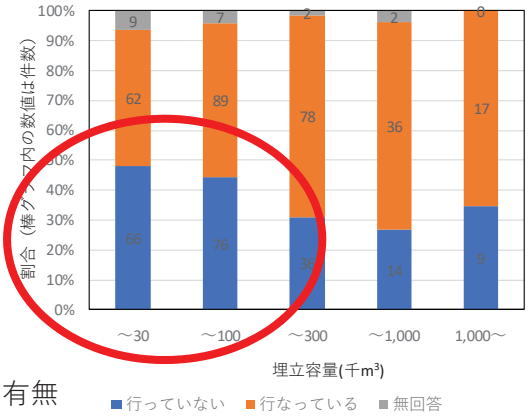
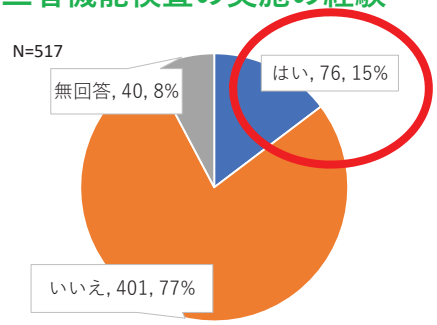




図17　自主定期点検の有無

## (2)第三者機能検査の実施の経験




第三者による機能検査の必要性、その内容や具体的実施方法に関する情報周知が必要

図18　第三者機能検査の有無

# 16. ①実態調査のまとめ

17

| | 一般廃棄物最終処分場 | 産業廃棄物最終処分場 |
|---|---|---|
| 長寿命化 | ・**供用年数＞計画供用年数：60%(N=319)**<br>・残余年数を考慮した<br>**推定供用年数＞計画供用年数：92%**<br>（30年～100年）<br>3Rの推進による最終処分量の減少と立地困難による長期利用の希望 | ・**供用年数＞計画供用年数：14％(N=50)**<br>・残余年数を考慮した<br>**推定供用年数＞計画供用年数：54%**<br><br>事業採算面が重視されることから、長寿命化の傾向は一廃ほどではない |
| 長寿命化に伴うトラブル | ・**浸出水処理施設**（耐用年数を迎える機器類や電気計装類）<br>・**遮水工・基盤**<br>への問題対応の割合が**供用10年以降増加** | ・**常に問題発見し対応**<br>・**モニタリングセンサー類**<br>・**浸出水処理施設、貯留構造物**<br>が**供用28年以降**問題対応増加 |
| 内部貯留 | 33.0％（N=470）<br>内、74.0％（N=155）が年に1度以上<br>18％（N=155）が越流危機<br>対応事例：**浸出水の循環・パイパス・簡易処理、キャッピング等による雨水分離対策等** | 34.0％（N=61）<br>内、44.0％（N=34）が年に1度以上<br>9％（N=34）が越流危機 |
| 点検 | 自主点検実施せず：**40%（小規模実施少）**<br>第三者機関による機能検査：15%<br><br>第三者による機能検査の必要性、その内容や具体的実施方法に関する情報周知が必要 | 自主点検実施せず：**15%**<br>第三者機関による機能検査：14%<br><br>都道府県による定期検査や自主点検が充実する中で、第三者による機能検査の必要性や定期検査や自主点検との違いを今後明確にしていく必要 |

・**災害（豪雨・猛暑・台風・地震など）への問題対応状況は84件**（一般廃棄物）が報告され、気候変動が進行した場合に懸念される**問題対応の内容、及び予防対策の事例、要したコストと期間**について明らかにした。

# 17.②長寿命化を想定した機能検査マニュアルの作成

18

機能検査マニュアルの目次

はじめに

**1. 機能検査の必要性と普及に向けた課題**
1.1 機能検査、精密機能検査及び定期検査の法律等の位置づけ
1.2 機能検査のメリットと課題
1.2.1 機能検査の必要性とメリット
**1.2.2 機能検査の課題と提案**

**2. 長寿命化の観点からの機能検査項目と検査方法**
(**LSA最終処分場機能検査者資格認定テキストより一部抜粋**)
2.1 機能検査の全体像
2.2 全体計画に関して
2.3 土木構造物
2.4 被覆型最終処分場
2.5 浸出水処理施設
**2.6 機能検査を踏まえた長寿命化の視点からの助言**

**3. 機能検査と連携した気候変動を考慮した浸出水管理方策**（別冊3にも記載）
3.1 既存最終処分場への対応
3.2 新規最終処分場への対応

参考資料

**提案**
①全ての最終処分場を定期検査（構造基準）対象へ
②定期検査状況の報告と公表を義務化（環境省への報告含む）
③計画共用年数延長時の第三者による機能検査（維持管理も対象）の義務化
④軽微な変更あるいは変更申請時の第三者による機能検査を義務化（特に交付金措置事業）
⑤上記の前提として、定期検査方法、実施事例、機能検査（実施機関や団体、内容費用）に関する情報を公開

**助言**
1）残余年数に応じた最終処分場の管理について
・残余年数が短い場合（例えば10年以下）
・残余年数が著しく長い場合（15～20年以上）
2）浸出水処理施設への対応
・処理プロセスの簡素化の検討
・曝気量、薬品量などのコスト削減策の検討
・豪雨時の処理量の増加可能性の検討
・今後の設備・機器類の更新、改良について
3）緊急時の対策について
・豪雨時の対策（内部貯留、調整池仮設、バイパス処理や緊急放流など、住民協議事項）
4）BCP対策（停電時、アクセス不能、作業中断）

# 18.②気候変動適応マニュアルの作成
## （特に雨の降り方の変化に適応するための浸出水管理方策）

### 気候変動適応マニュアルの目次


はじめに
1. 現行の最終処分場気候変動ガイドラインと本研究による追記事項
2. 雨の降り方の変化による浸出水管理の考え方
2.1 現状の浸出水処理施設等の設計の課題
2.2 ガス抜き管を考慮した浸出水発生量予測モデル
2.3 使用した気象予測データについて
2.4 2100年までの最大降雨予測データによる全国浸出水発生量予測
3. 一般的な浸出水発生抑制策
3.1 浸出水発生抑制策
3.2 雨水排除の具体的な考え方
4. 浸出水処理施設リニューアルケーススタディ
4.1 A最終処分場の現状
4.2 浸出水発生量シミュレーション
4.3 浸出水処理施設の規模設計
4.4 コストの検討
5. 気候変動を考慮した浸出水処理施設のリニューアル計画と設計手法
5.1 条件別浸出水処理施設リニューアルフロー
5.2 リニューアル設計手法の整理
5.3 浸出水処理施設リニューアル費用の考え方
6. 廃棄物処理施設長寿命化総合計画作成の手引き～浸出水処理施設編の提案
6.1 現状と課題の整理
6.2 最終処分場の延命化計画の考え方
6.3 最終処分場浸出水処理施設のリニューアルについて
7. 機能検査と連携した気候変動を考慮した浸出水管理方策（別冊2にも記載）
7.1 既存最終処分場への対応
7.2 新規最終処分場への対応
8. 今後検討すべき課題


**降雨量が増加した場合に対する浸出水処理施設への影響**として、
- 将来の浸出水発生量予測
- 浸出水発生抑制策
  （覆土・シートによる埋立作業面積の最小化、埋立地内雨水排除工の強化など）
- 浸出水処理施設の規模や処理プロセスの見直し
  （簡易・バイパス処理の検討）
- 越流回避のための緊急対策検討

**積雪量や降雪量の増加に対して**は、
- 雪解け時の浸出水発生量予測が今後重要

**ガス抜き管を考慮した浸出水発生量予測モデルによる2100年までの最大降雨予測データによる全国浸出水量発生量予測**

一般的な構造 **N処分場モデル**（ピーク値バラ）

× **過去の豪雨**（2000~2021年で年間※2総降水量が最大の年） ＝ 予測年間※2総浸出水量（過去豪雨）

比較

× **将来想定される豪雨**（2006~2100年で年間※2総降水量が最大の年） ＝ 予測年間※2総浸出水量（将来豪雨）

**CMIP5をベースにしたCDFDM手法による日本域バイアス補正気候シナリオデータ**
データ提供元：国立環境研究所　内容：最低・最高・平均気温、降水量、全天日射量などの日データ

**全8通りの将来気象予測データ（2006～2100年）**

**地球気候モデル（4種）**
- MRI-CGCM3（日本，気象庁気象研究所）
- **MIROC5（日本，東京大学/NIES/JAMSTEC）**
- GFDL-CM3（アメリカ，地球物理流体力学研究所）
- HadGEM2-ES（イギリス，ハドレーセンター）

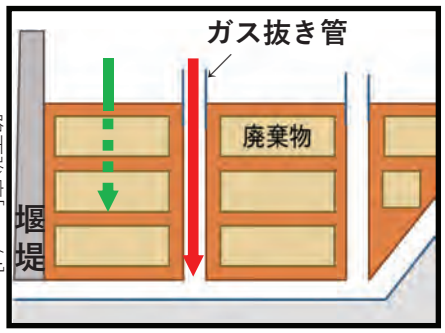
× **RCPシナリオ（2通り）**
- RCP2.6（平均1.0℃上昇）
- **RCP8.5（平均3.7℃上昇）**

# 19. モデルの考え方

| モデルの種類 | ＜Ⅱ 豪雨等時の浸出水処理施設対応＞ | ＜Ⅲ 気候変動適応＞ |
|---|---|---|
| | **既存・新規の処分場の設計に有効** | |
| ガス抜き管を考慮した浸出水量発生量予測モデル（物質収支モデル）<br>**本日の発表** | ・覆土やキャッピング等の**雨水排除設計に利用**<br>・日単位でだけではなく、**1時間単位の浸出水発生量予測**ができる可能性 | ・**将来の気象シナリオと連携**することで、既存の処分場のみならず、新規最終処分場の調整地と浸出水処理施設の**規模設計に利用** |
| | **既存処分場の維持管理に有効** | |
| Deep Learningを用いたモデル（現地時系列データによる回帰モデル）<br>処分場固有のモデル（高精度）<br>**量と質の両方** | **気象予測サービスとの連携による浸出水量・質の予測**（週単位）<br>↓<br>事前に調整池の水位を低くする、簡易キャッピングなどの対応可能 | （外挿になるが）精度は落ちるが<br>↓<br>**10～30年先を想定した豪雨対策「簡易・バイパス処理」**へ適用可能 |

## 20 モデルに必要な要素 21

降雨強度と浸出水発生量の実測データ（A処分場H30.7/1～8/31）




埋立地断面図

**既存モデル**

設計マニュアルに記載[3)]

①合理式

$$Q = \frac{C}{1000} \times I \times A$$

Q：浸出水量[m³/日] C：浸出係数
I：降雨量[mm/日] A：埋立面積[m²]

②時間遅れを考慮した水収支モデル（田中ほか1980）

ガス抜き管を考慮せず、**一次元**の流れで計算

既往研究

③埋立地の浸出水漏水・溢流量推定モデル[4)]（花田ら2006）

ガス抜き管を考慮した**断面二次元**モデル、実処分場へ未適用

参考

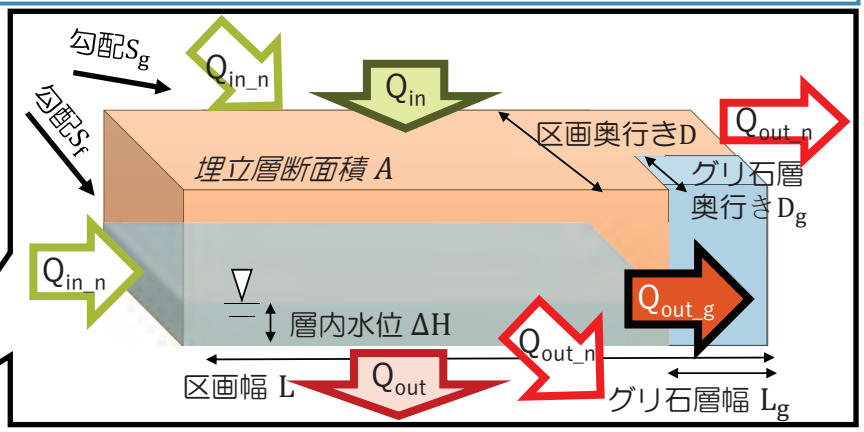
▶ **ガス抜き管を考慮した実処分場に適用可能な三次元数値モデルを開発し、処分場の設計・気候変動対策に利用**

3)全国都市清掃会議：廃棄物最終処分場整備の計画・設計・管理要領　2010改訂版
4)花田ら（2006）：埋立地からの浸出水漏水・溢流量推定モデルの作成

## 21 モデルの計算方法-区画の水収支- 22

基本の仕組み：処分場を要素ごとに層分けし、各層の水の流出入を計算

基本単位となる「区画」




水平方向の流れ：Darcyの法則

$$Q_{out_g} = \Delta H \cdot D_g \cdot K_4 \cdot S_g$$

$$Q_{out_n} = \Delta H \cdot (L - L_g) \cdot K_4 \cdot S_f$$

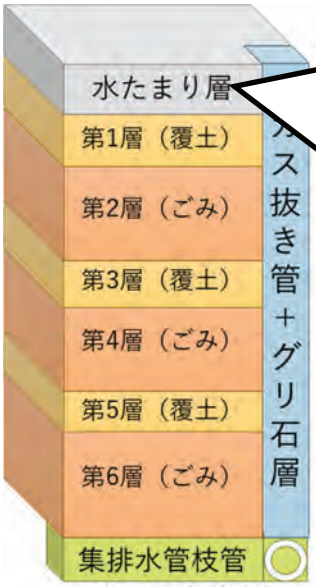
$$Q_{out_n} = \Delta H \cdot (D - D_g) \cdot K_4 \cdot S_g$$

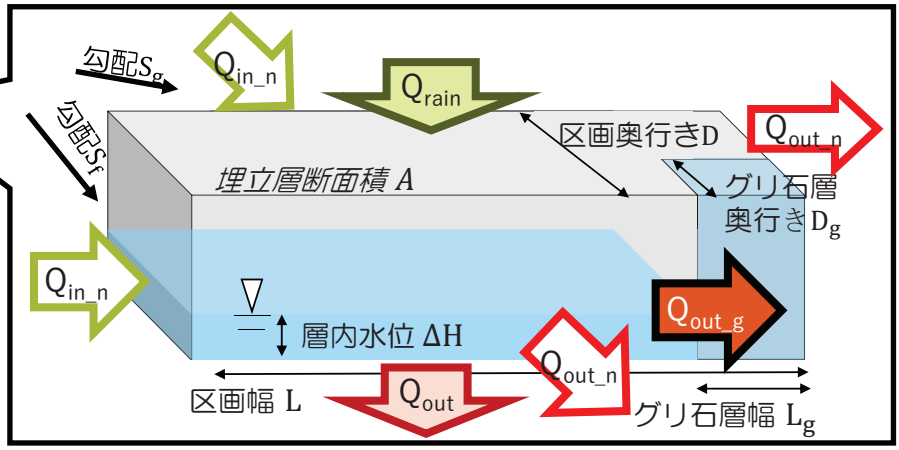
垂直方向の流れ：タンクモデル

$$Q_{out} = \frac{\Delta H \cdot A \cdot C_4}{dt} \quad \text{ただし} \quad \frac{Q_{out}}{A} \leq k_{in5}$$

$K_4$：第4層の飽和透水係数[m/h] $C_4$：第4層の流出係数[-] dt：計算単位時間[h] $k_{in5}$：第5層の最大浸透能[m/h]

## 22 水たまり層の水収支 23




蒸発：はじめに降雨から差し引く

$$\mathrm{Rain} - E$$

水平方向の流出：埋立層と同じ

$$Q_{out_g} = \Delta H \cdot D_g \cdot K_p \cdot S_g$$

$$Q_{out_n} = \Delta H \cdot (L - L_g) \cdot K_p \cdot S_f$$

$$Q_{out_n} = \Delta H \cdot (D - D_g) \cdot K_p \cdot S_g$$

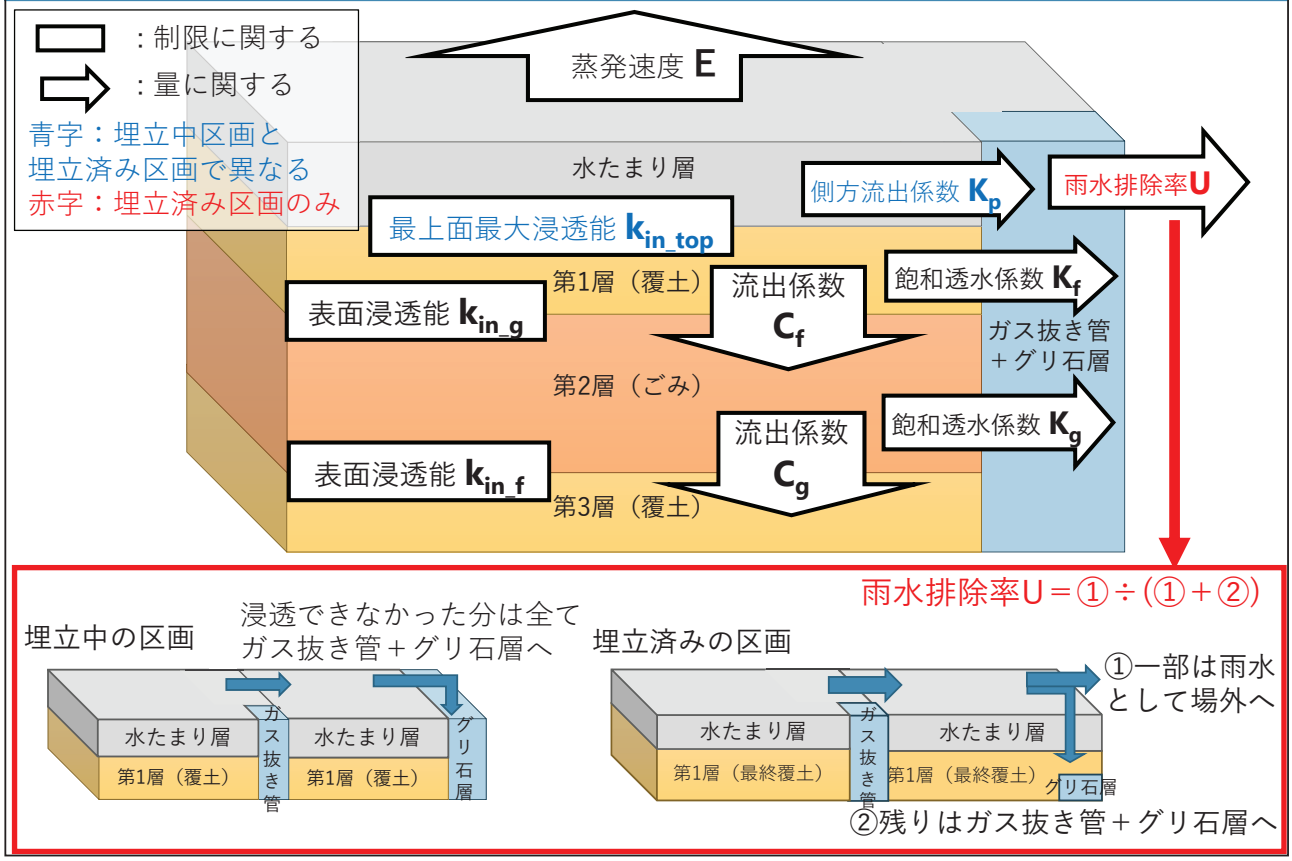
垂直方向の流出：水平方向の流出量を差し引いた残り

$$Q_{out} = \frac{\Delta H \cdot A}{dt} - Q_{out_g} - Q_{out_n}$$

ただし $\dfrac{Q_{out}}{A} \leq k_{in_top}$

E：蒸発速度[mm/h] $K_p$：水たまり層の側方流出係数[m/h] $k_{in_top}$：最上面最大浸透能[m/h]

## 23 パラメータのイメージ図 24



## 24 モデルの実処分場への適用手順（N処分場） 25

①実処分場

埋立量（面積・深さ）
集排水管,ガス抜き管の位置

3Dデータ化

②３Dモデル

簡略化

③区画分け

着色エリア(61%)
→埋立済み

| | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|
| | | 8-1<br>57<br>5.7 | 8-2<br>61<br>6.4 | 8-3<br>67<br>6.2 | 8-4<br>50<br>5.0 |
| | | 7-1<br>64<br>7.3 | 7-2<br>47<br>9.1 | 7-3<br>53<br>9.2 | 7-4<br>47<br>6.4 |
| | | 6-1<br>61<br>9.1 | 6-2<br>55<br>10.7 | 6-3<br>57<br>10.3 | 6-4<br>43<br>10.3 |
| 5-1<br>67<br>8.9 | 5-2<br>65<br>19.7 | 5-3<br>65<br>19.4 | 5-4<br>57<br>20.3 | 5-5<br>55<br>11.3 | |
| 4-1<br>47<br>7.3 | 4-2<br>54<br>14.6 | 4-3<br>50<br>14.4 | 4-4<br>52<br>13.5 | 4-5<br>43<br>8.7 | |
| | | 3-1<br>49<br>9.1 | 3-2<br>48<br>9.5 | 3-3<br>50<br>8.7 | 3-4<br>49<br>7.2 |
| | | 2-1<br>51<br>7.8 | 2-2<br>45<br>10.8 | 2-3<br>54<br>10.7 | 2-4<br>54<br>9.6 |
| | | 1-1<br>50<br>2.9 | 1-2<br>48<br>5.4 | 1-3<br>54<br>6.4 | 1-4<br>79<br>6.4 |

第三埋立エリア
第二埋立エリア
第一埋立エリア

区画名称
一辺の長さ[m]
平均深さ[m]

ガス抜き管

＋

調整池
4567 $m^2$

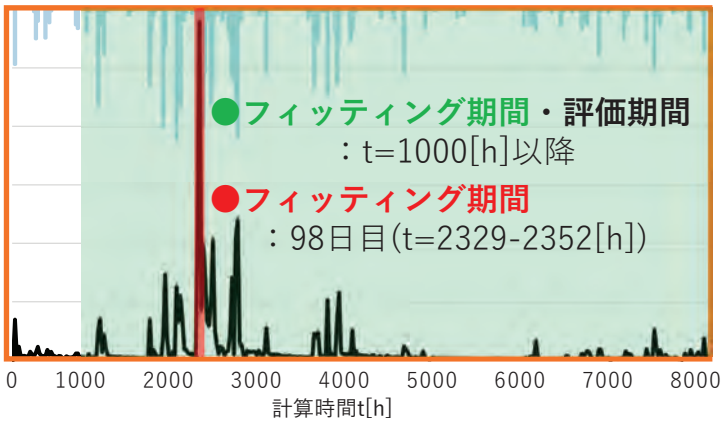
④浸出水量予測モデル

モデル化

パラメータ
フィッティング

## 25 パラメータフィッティング（N処分場） 26

●**計算期間**：2020年度の365日間（8760[h]）




**対象パラメータ　11個**

- 蒸発速度E
- **雨水排除率U**
- 水たまり層の側方流出係数$K_p$（埋立中区画・埋立済み区画）
- 表面浸透能$k_{in}$（埋立中最上層・埋立済み最上層・覆土層・ごみ層）
- 飽和透水係数K（覆土層・ごみ層）→表面浸透能の x 倍とする
- 流出係数C（覆土層・ごみ層）

### フィッティング方法

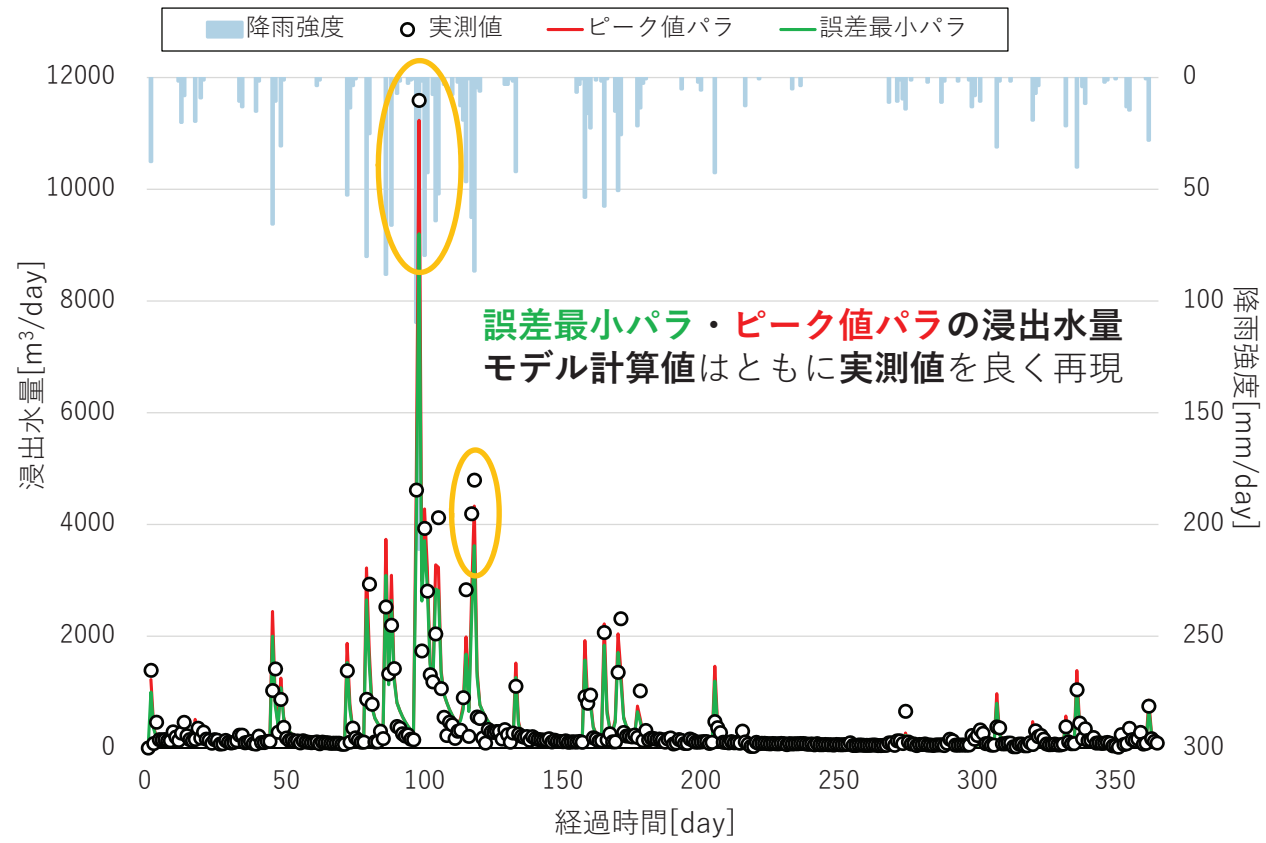
①**誤差最小パラメータ**：フィッティング期間の計算値と実測値の誤差二乗和が最小になるまで、青字のパラ→黒字のパラ→青字…でフィッティングを繰り返す

②**ピーク値パラメータ**：①の結果から**雨水排除率U**のみを変化させ、最大ピークの日の誤差二乗和が最小になるようにフィッティング

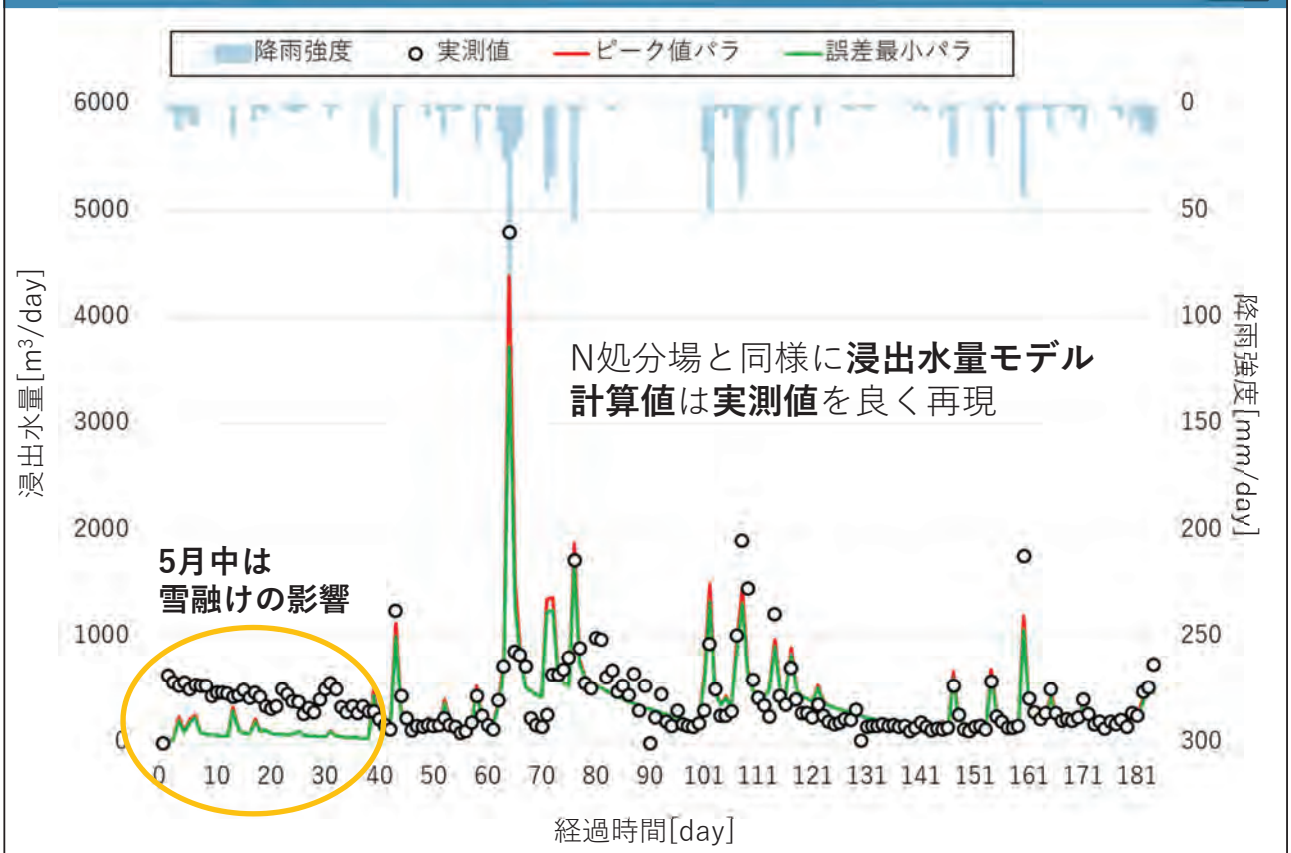
### モデルの評価

フィッティングした年と別の年（2-3年分）のデータを用いて、
パラメータ含めたモデルの評価

## 26 浸出水量実測値とモデル計算値の比較（N処分場） 27




## 27 浸出水量実測値とモデル計算値の比較（A処分場） 28



## 28 モデルの評価（N処分場・A処分場） 29

| 誤差最小パラ（上段）<br>ピーク値パラ（下段） | 福岡県N処分場 | 北海道A処分場<br>※夏季(5-10月)のみ |
|---|---|---|
| 実測値-計算値グラフの傾き[-]<br>1以下＝計算値＜実測値で過小評価の傾向 | 0.82<br>0.97 | 0.83<br>0.90 |
| 実測値-計算値グラフの決定係数$R^2$ [-] | 0.88<br>0.89 | 0.85<br>0.86 |
| 平均一日絶対誤差[$m^3$/day] | 127<br>133<br>≪処理能力1600 $m^3$/d | 84<br>86<br>≪処理能力600 $m^3$/d |
| 最大浸出水量の日の誤差（実測値-計算値）[$m^3$/day] | 2583<br>1498<br>≪調整池容量45000 $m^3$ | 1083<br>850<br>≪調整池容量16000 $m^3$ |

**傾きが1に近く、決定係数0.8以上であり**
**処分場の浸出水処理能力や調整池容量を考えると誤差も十分に小さく**

▶ **特にピーク値パラメータにおいて、高い精度のモデルを構築できた**

## 29 将来想定される豪雨時の浸出水量予測 30

**全国の県庁所在地**※1を対象に

一般的な構造
**N処分場モデル**
（ピーク値パラ）

× **過去の豪雨**（2000~2021年で年間※2総降水量が最大の年） ＝ 予測年間※2総浸出水量（**過去豪雨**）

比較

× **将来想定される豪雨**（2006~2100年で年間※2総降水量が最大の年） ＝ 予測年間※2総浸出水量（**将来豪雨**）

**CMIP5をベースにしたCDFDM手法による日本域バイアス補正気候シナリオデータ**
データ提供元：国立環境研究所　内容：最低・最高・平均気温、**降水量**、全天日射量などの日データ

**全8通りの将来気象予測データ（2006～2100年）**

**地球気候モデル（4種）**
- MRI-CGCM3（日本，気象庁気象研究所）
- **MIROC5（日本，東京大学/NIES/JAMSTEC）**
- GFDL-CM3（アメリカ，地球物理流体力学研究所）
- HadGEM2-ES（イギリス，ハドレーセンター）

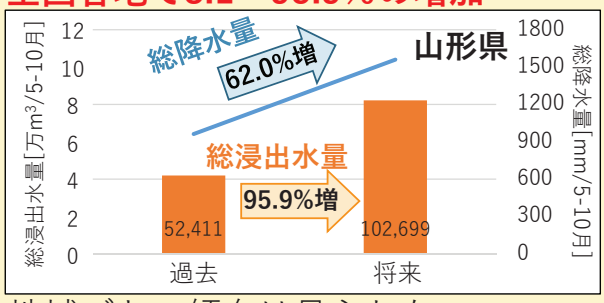
× **RCPシナリオ（2通り）**
- RCP2.6（平均1.0℃上昇）
- **RCP8.5（平均3.7℃上昇）**

※1：北海道はA処分場の座標と釧路市、福岡県はN処分場の座標
※2：豪雪地帯（北海道・宮城県を除く東北地方・北陸地方・長野県・鳥取県）については5-10月

## 30 過去豪雨時と比較した将来豪雨時の浸出水量の傾向 31

$$\left(\frac{\text{予測年間※2総浸出水量（将来豪雨）}}{\text{予測年間※2総浸出水量（過去豪雨）}} - 1\right) \times 100 = \text{総浸出水量の最大増加率[\%]}$$

- **過去豪雨と比較して総浸出水量が**
  **全国各地で3.1～95.9%の増加**




- 地域ごとの傾向は見られない
- **豪雪地帯外の35地点中24地点において、**
  **冬季（11-4月）よりも**
  **夏季（5-10月）のほうが増加率が高い**

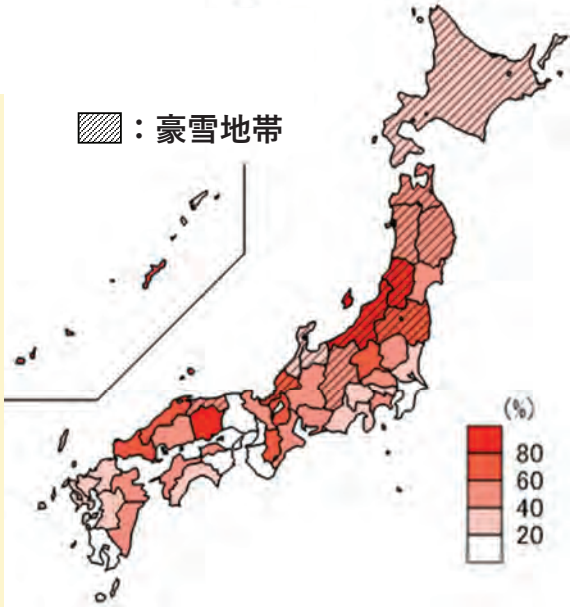



図1：全国の総浸出水量の最大増加率※1

※1：北海道はA処分場の座標と釧路市の平均値
※2：豪雪地帯（北海道・宮城県を除く東北地方・北陸地方・長野県・鳥取県）については5-10月

## 31 雨の降り方の違いが浸出水発生へ与える影響（徳島県） 32

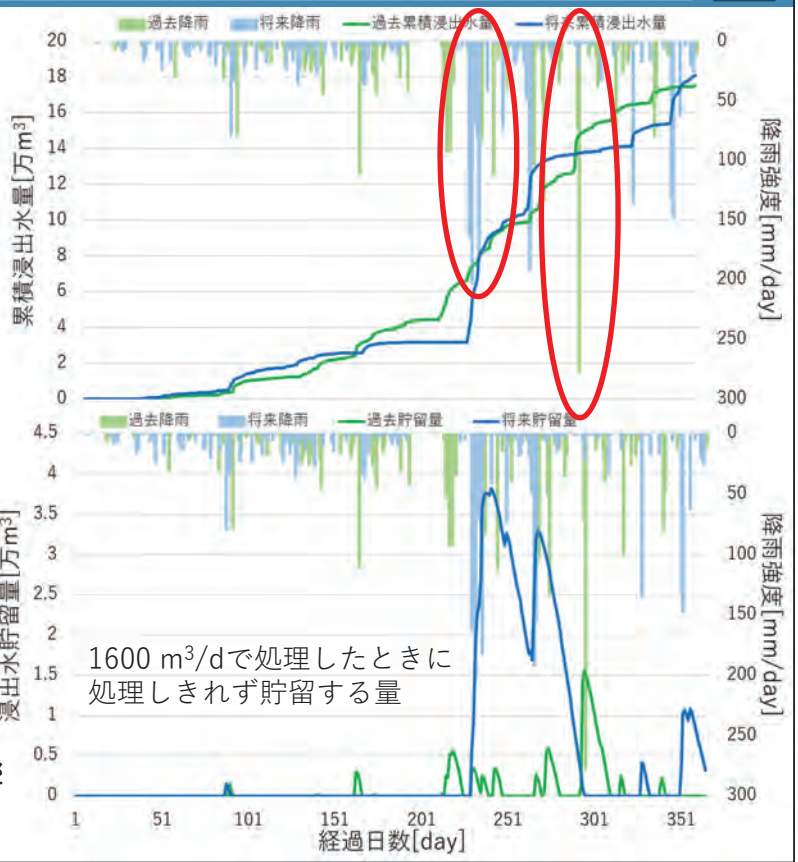
| 総降水量 | | |
|---|---|---|
| 過去[mm] | 将来[mm] | 増加率[%] |
| 2612 | 2836.6 | 8.6 |
| **総浸出水量** | | |
| 過去[m³] | 将来[m³] | 増加率[%] |
| 174967 | 181167 | 3.1 |

**同程度**

**2倍以上の大きな差**

| 浸出水貯留量（最大値） | |
|---|---|
| 過去[m³] | 将来[m³] |
| 15575 | 38226 |

**雨の降り方の違いによる影響**



## 32 雨の降り方の違いが浸出水発生へ与える影響（三重県） 33

| 総降水量 | | |
|---|---|---|
| 過去[mm] | 将来[mm] | 増加率[%] |
| 2072 | 3017.4 | 45.6 |

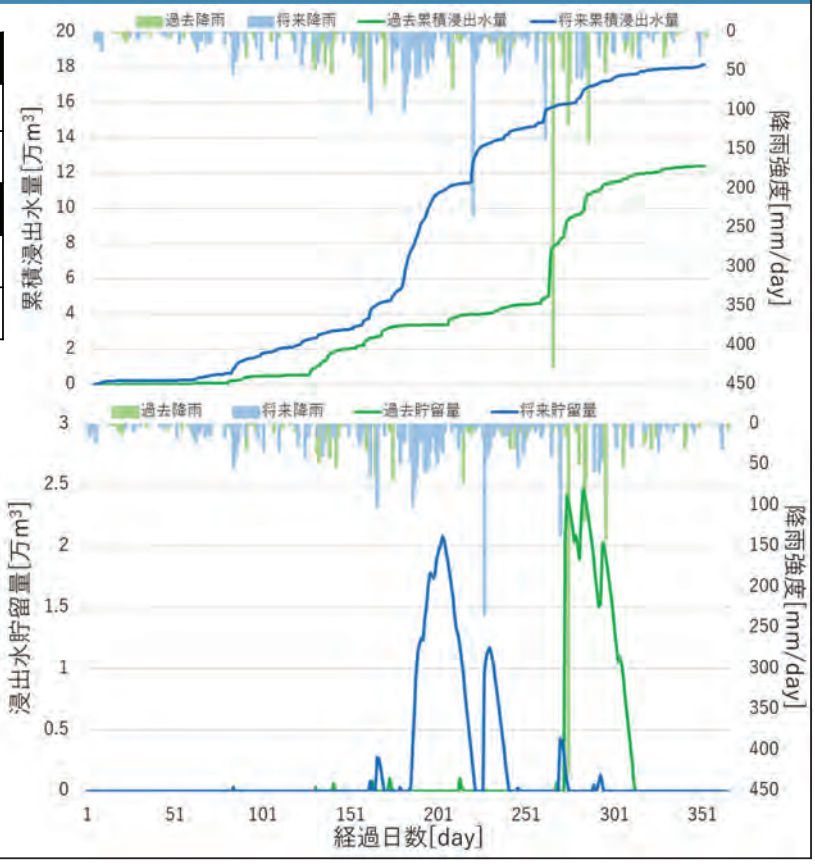
| 総浸出水量 | | |
|---|---|---|
| 過去[m³] | 将来[m³] | 増加率[%] |
| 124045 | 181385 | 44.7 |

**約45%の増加**

**過去豪雨時のほうが大きい**

| 浸出水貯留量（最大値） | |
|---|---|
| 過去[m³] | 将来[m³] |
| 24751 | 20793 |

**処理可能かどうかは日降水量・総降水量のみでの判断は難しい**
**→将来予測データ等を活用し、様々な降雨パターンでシミュレーションを行う必要**

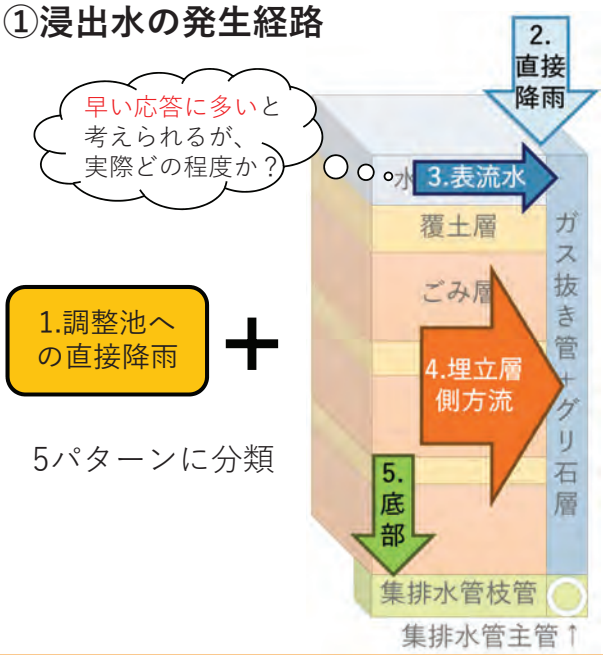



## 33 将来豪雨時の浸出水量についての分析 34

**A処分場モデル**（ピーク値パラ） × **将来想定される豪雨**（検討Ⅰと同様） ＝ 予測浸出水発生量

↓ **分析**

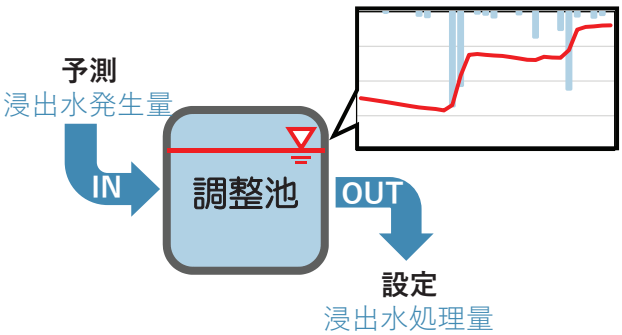
### ①浸出水の発生経路




**1.調整池への直接降雨** ＋

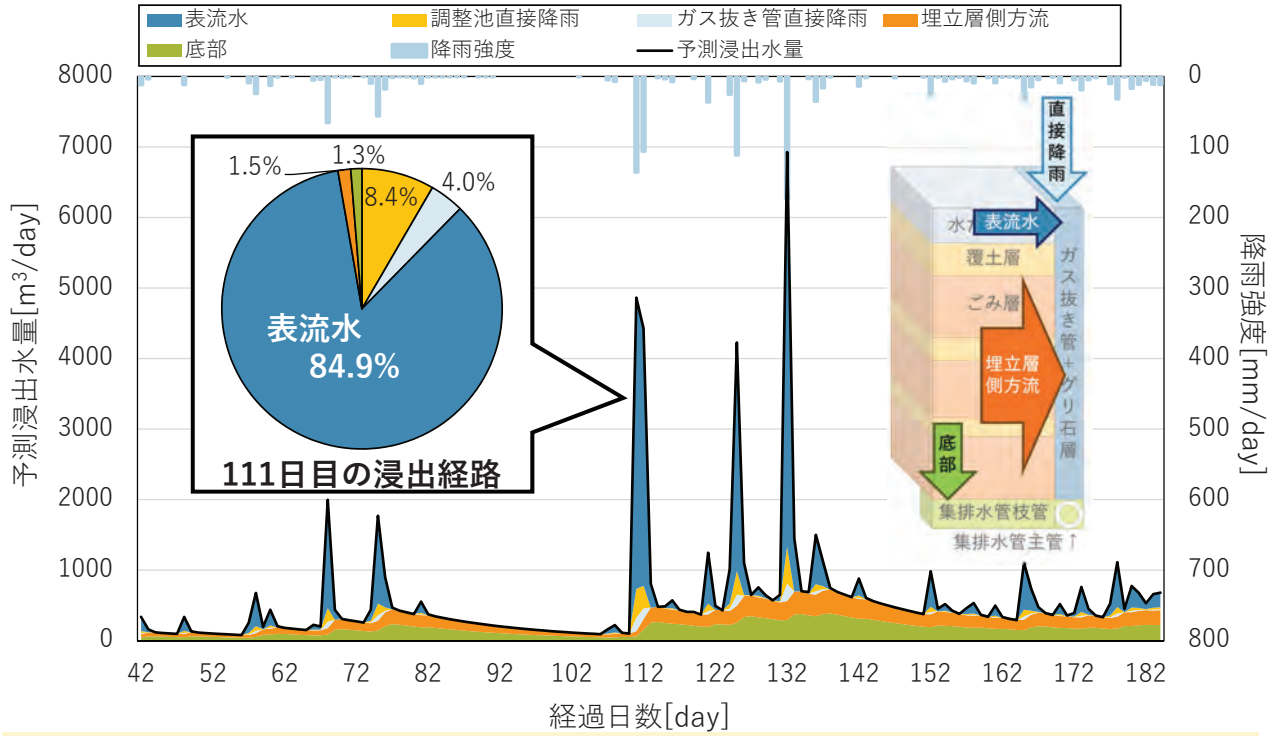
5パターンに分類

### ②調整池水量の変化



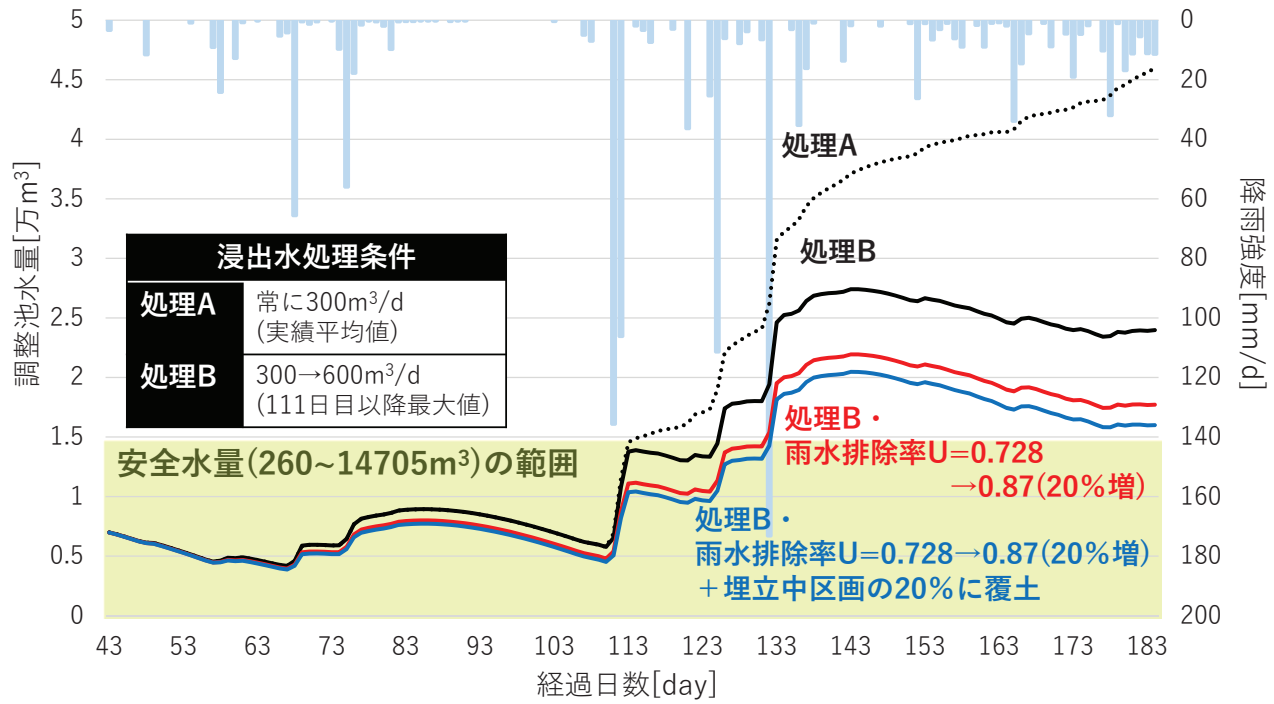

調整池出し入れ計算の前提条件
- 計算時間t=1000 h(42日目)から調整池水量計算を行う
- 調整池水量初期条件(42日目)は7000 m³（実績平均値）
- 調整池安全水量の範囲は260～14705 m³

## 34 将来豪雨時の予測浸出水量とその発生経路（A処分場） 35




- 豪雨時の早い応答は表流水が約8割を占める
  →浸出水急増を防ぐには表流水をなるべく雨水として排除することが有効

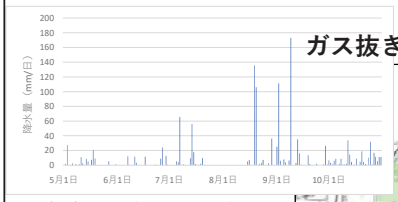
## 35 将来豪雨時の調整池水量の変化（A処分場） 36




- 表面の雨水排除率を上げることで浸出水の急増を抑制させることが可能
- 豪雨が連続すると処理しきれない可能性→バイパス処理や簡易処理

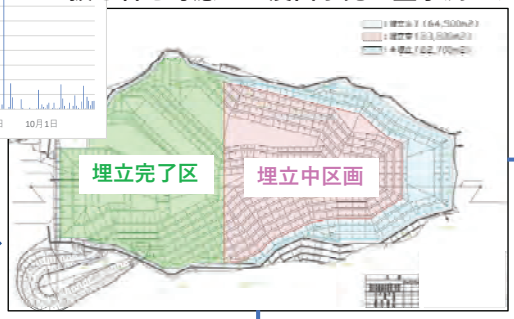
# 36.③浸出水処理施設リニューアルケーススタディ（A処分場）

放流水質（一部抜粋）
BOD 20 mg/L, COD 30 mg/L, T-N 10 mg/L

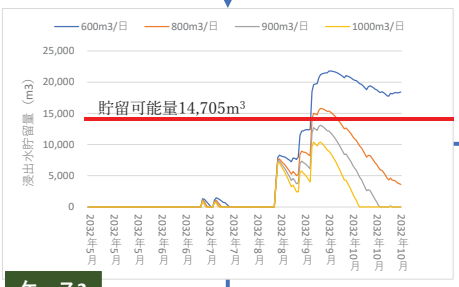



将来最大降水量2032年
（MICRO5気候モデル）

ガス抜き管を考慮した浸出水発生量予測モデル




浸出水発生抑制策なし




ケース2

600 m³/day → 900 m³/dayへ増強が必要
（300 m³/dayの施設を追加）

イニシャル：1,411,200千円
ランニング： 171,160千円

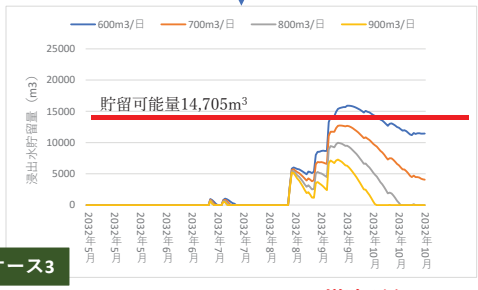
豪雨時のみバイパス処理
・T-N＜排水基準値 60mg/L
・内部貯留、調整池の仮設でも対処不能の場合
・住民との事前協議必要

ケース1

・バイパス管の設置
・消毒設備増強（300 m³/day）

イニシャル：98,000千円
ランニング：128,040千円

浸出水発生抑制策あり
埋立完了区：水路増強（20%向上）
埋立中区画：覆土敷設（区画の20%）




ケース3

600 m³/day → 700 m³/dayへ増強が必要
（100 m³/dayの施設を追加）

イニシャル：1,038,800千円
（浸出水発生抑制策：98,000千円）
ランニング： 135,410千円

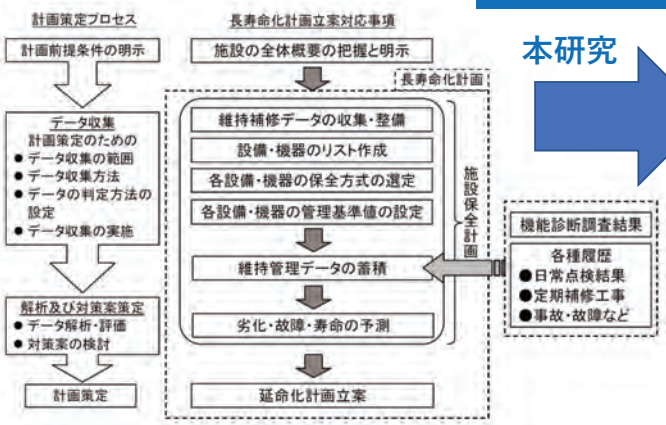
豪雨時のバイパス処理が有効

ランニング費用は、既存600 m³/dayの運転費込み
（①薬品、②電気、③塔関係ろ材、④汚泥処理、⑤人件費、⑥メンテナンス費）



# 37.③浸出水処理施設リニューアルの考え方

廃棄物処理施設長寿命化総合計画作成の手引き（し尿処理施設・汚泥再生処理センター編）があるのみで、**現状は浸出水処理を対象とした手引きはない。**




（参考）廃棄物処理施設長寿命化総合計画作成の手引き
（し尿処理施設・汚泥再生処理センター編）
平成27年3月改訂（平成22年3月）

本研究による追加事項

本研究

維持管理計画
5年ごとの定期検査・機検査の内容

施設の全体概要の把握と明示
↓
維持補修データの収集・整備
土木構造物・浸出水処理施設における構造物・設備・機器等のリスト作成
各構造物・設備・機器の保全方式の選定
各構造物・設備・機器の管理基準値の選定
↓
定期検査・機能検査
維持管理データの蓄積・整理
課題抽出・劣化・故障・寿命の予測
↓
延命化計画立案
供用予定年数の推定または設定
埋立計画（覆土、雨水排除工含む）
浸出水量と質の設定
土木構造物及び浸出水処理施設の延命化計画

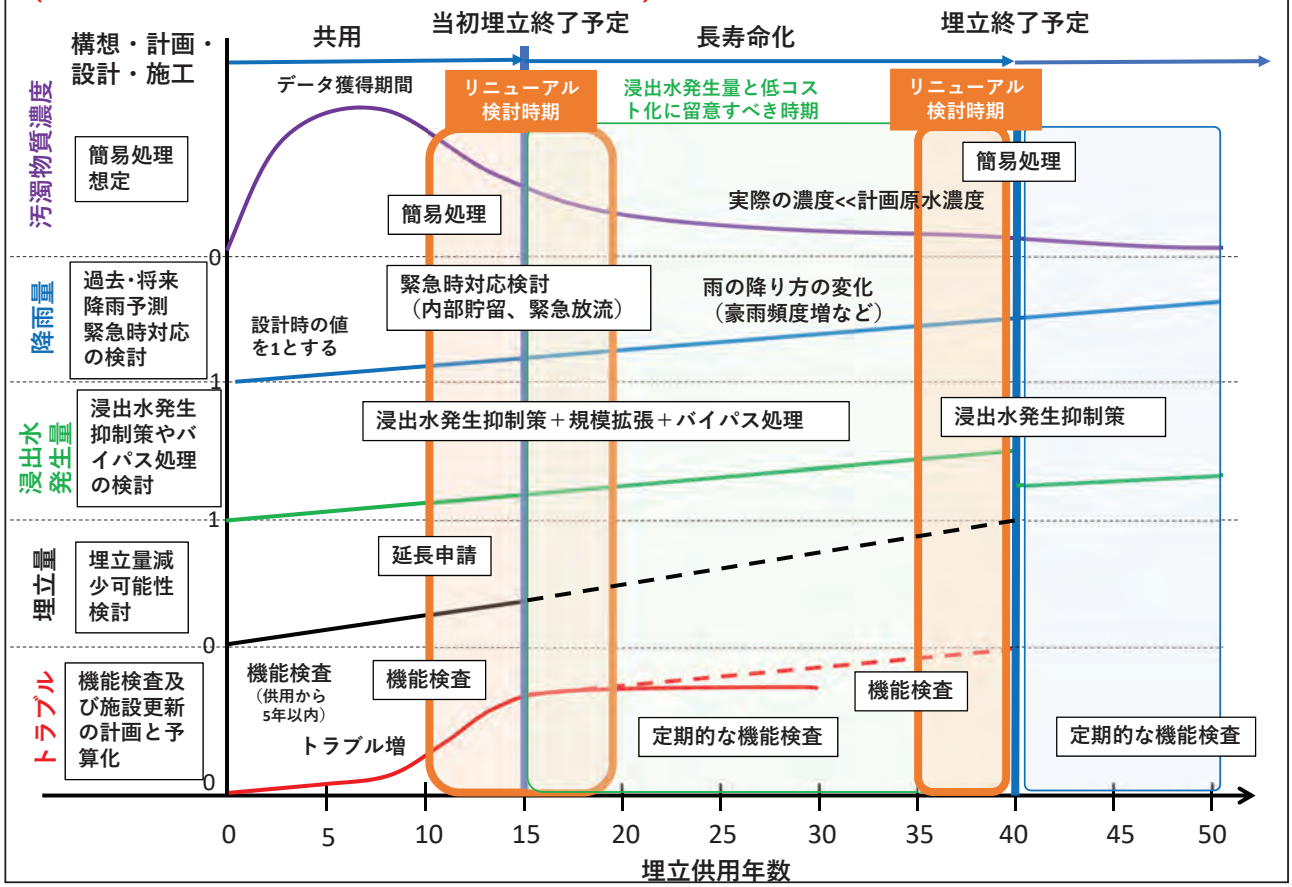
浸出水量発生量予測モデルの利用が可能

**浸出水処理施設の長寿命化も交付金対象とすべき**

＜要件＞
・過去の豪雨を考慮し少なくとも内部貯留を回避
・将来の豪雨など大雨への対応（判断基準、モニタリングも含めて）
（①内部貯留、②調整池の仮設、③外部処理、④バイパス処理、⑤未処理浸出水の緊急放流などの優先順位を住民と協議）
・脱炭素社会への貢献（省エネ、再エネ導入など）

## 38.　④既存・新規最終処分場の機能検査と浸出水処理施設リニューアルの考え方（例：供用年数15年→40年への延長を想定）

39




## 39.目標の達成と今後の課題

40

●**一般廃棄物最終処分場及び産業廃棄物管理型最終処分場を対象に、長寿命化及び近年（将来）の気候変動による維持管理上の課題及び機能検査実施状況の実態を明らかにした。**

●**「長寿命化を想定した機能検査マニュアル」及び「気候変動適応マニュアル（特に雨の降り方の変化に適応するための浸出水管理方策）」を作成した。**

●ケーススタディとして、**浸出水処理施設のリニューアルとコスト削減策を提案した。**その基本的な考え方は、上記気候変動適応マニュアルに記載されている。

●長寿命化を想定した機能検査マニュアルは、完成したものの、マニュアルの実用化のために、さらに関係者の意見を聴取する必要がある。

●気候変動適応マニュアルにおいては、**特に雨の降り方の変化に対して、2100年までの最大降雨予測データによる全国浸出水発生量予測例を示す**ことができた。

●浸出水処理施設のリニューアル計画と設計手法を提示し、**廃棄物処理施設長寿命化総合計画作成の手引き（し尿処理施設・汚泥再生処理センター編）に追加する形で、浸出水処理施設編を提案**することができた。これは環境施策に貢献しうる重要な提案である。

特定非営利活動法人　最終処分場技術システム研究協会

〒108-0074　東京都港区高輪３丁目23番14号　シャトー高輪401

TEL:03-3280-5970　FAX:03-3280-5973

http://www.npo-lsa.jp　E-mail:office@npo-lsa.jp