

【3-1907】

人口減少・高齢化地域における一般廃棄物の持続可能な処理システムの提案

(JPMEERF20193007)

令和元年度～令和3年度

重点課題 主：【重点課題⑨】3Rを推進する技術・社会システムの構築
副：【重点課題⑪】バイオマス等の廃棄物からのエネルギー回収を推進する技術・システムの構築

行政要請研究テーマ（行政ニーズ）

（3－5）循環型社会形成に資する環境・経済・社会の統合的取組に関わる新たな評価指標体系及び
経済効果等の評価基盤の構築

代表研究者

国立環境研究所

河井 紘輔

分担研究者

国立環境研究所

京都大学

石川県立大学

(株)エックス都市研究所

みずほリサーチ&テクノロジーズ(株)

石垣 智基

大下 和徹

楠部 孝誠

秦 三和子、吉川 克彦、村上 友章、西村 富男

高木 重定、中西 翔太郎、横尾 祐輔

背景および目的

【背景】

人口減少・高齢化地域では、

- 自治体の財政逼迫が深刻化し、単独でごみ処理事業を維持するのは限界
- 焼却施設が小規模で発電効率が悪く、熱需要が乏しい

【目的】

- 焼却ごみの直接焼却、自区内、直営処理を見直して新たな資源化システムモデルを構築する
- 様々な主体との連携を前提とした資源化事業を提示する
- 資源化事業の導入効果を評価、地域循環共生圏の形成を例示する

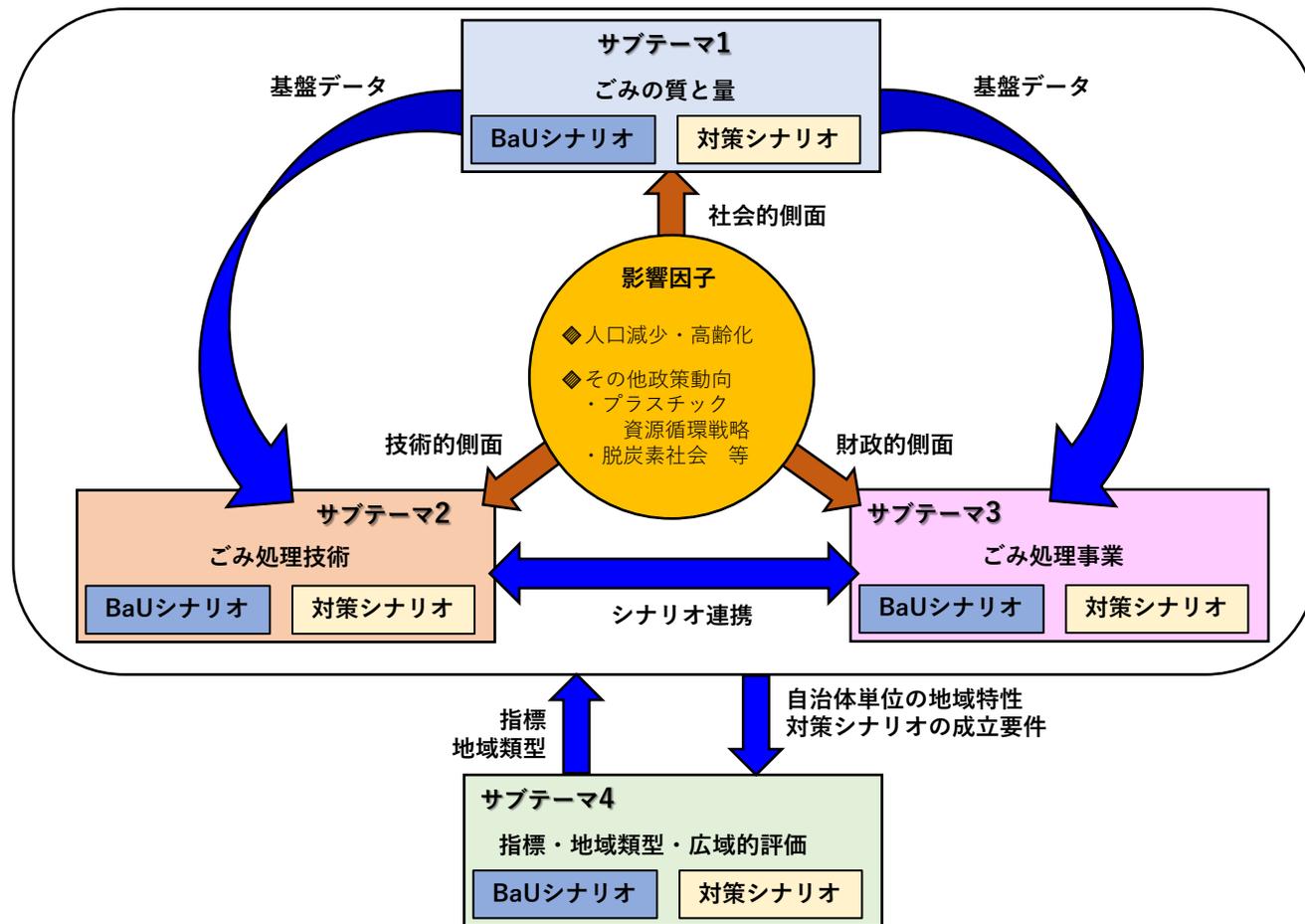
⇒将来的に人口減少・高齢化問題を抱える地域において
一般廃棄物の持続可能な処理システムを提案する

三重県をモデル地域として研究を実施して研究の熟度を高めた上で、
一般化を試みる

アドバイザー：北海道大学 石井一英 教授、北九州市立大学 松本 亨 教授

研究目標

- 人口減少や高齢化等の影響を考慮した一般廃棄物処理システムの**BaUシナリオ**および**対策シナリオ**を4つのサブテーマにおいて設定・評価し、持続的な処理システムを提案する。サブテーマ1～3のBaUシナリオから描出される**自治体レベルの地域特性**をサブテーマ4での地域レベルの**地域類型化**に反映させるとともに、地域類型に応じた対策シナリオをサブテーマ1～3で設定・評価し、さらに**包括的・広域的**な評価をサブテーマ4で行う。
- サブテーマ1では**社会的側面**から一般廃棄物の質と量を将来予測し、他のサブテーマに必要な基盤データを整備する。
- サブテーマ2では**技術的側面**から「直接焼却」、「自区内」、「直営」処理に代わる資源化システムを描出し、ライフサイクルインベントリを分析する。
- サブテーマ3では**財政的側面**から資源化システムを実現させるための事業運営体制を検討し、実現に向けた具体的方策を提示する。
- サブテーマ4では将来的に資源化事業が**広域的**に普及する場合の効果や**地域循環共生圏**の形成状況を明示する。



サブテーマの役割と連携

研究開発内容

【サブテーマ1】

将来の一般廃棄物発生量及び性状予測

京都大学

- ・ 将来の一般廃棄物発生量予測
- ・ 素材別の性状分析
- ・ 焼却ごみ発生量及び性状予測モデルの開発

【サブテーマ2】

資源化システムモデルの構築及び
インベントリ分析

国立環境研究所・石川県立大学

- ・ 直接焼却、自区内処理に代わる資源化システムの提案
- ・ 代替燃料化技術の実証
- ・ 資源化システムのインベントリ分析

【サブテーマ3】

資源化システムの事業運営に関する検討

(株)エックス都市研究所

- ・ 国内外における公共事業の官民連携に関する事例分析
- ・ 資源化システムの事業化可能性の検討
- ・ 地域類型に応じた資源化事業の運営体制、方策の検討

【サブテーマ4】

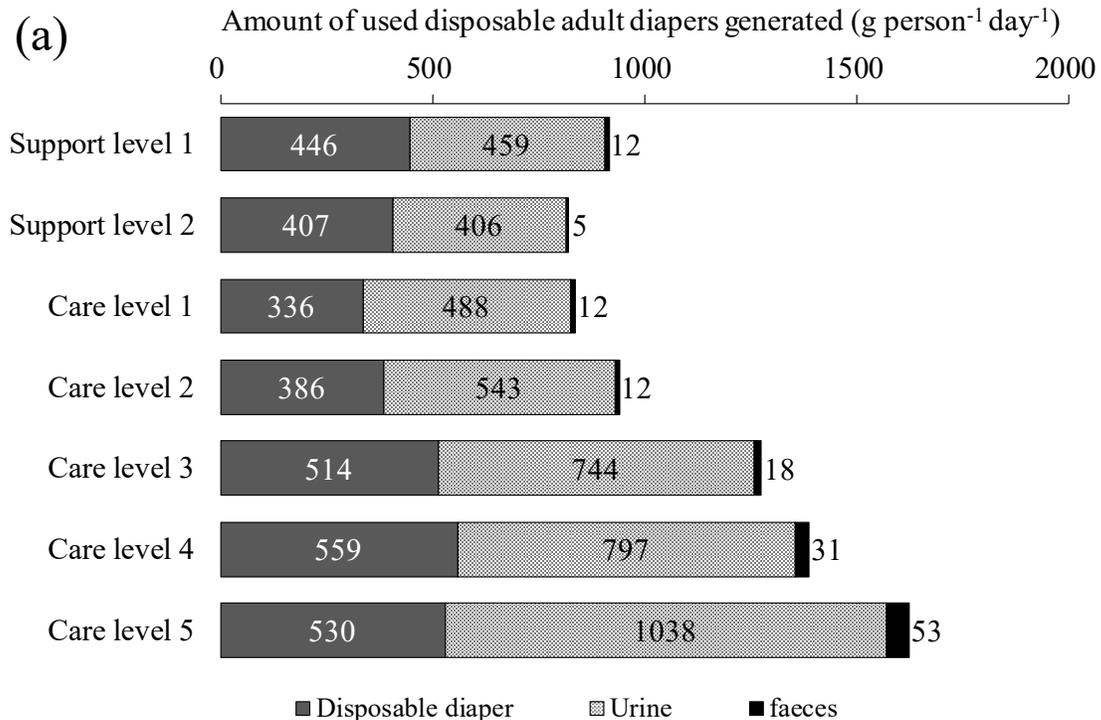
資源化システム導入効果の評価

みずほリサーチ&テクノロジーズ(株)

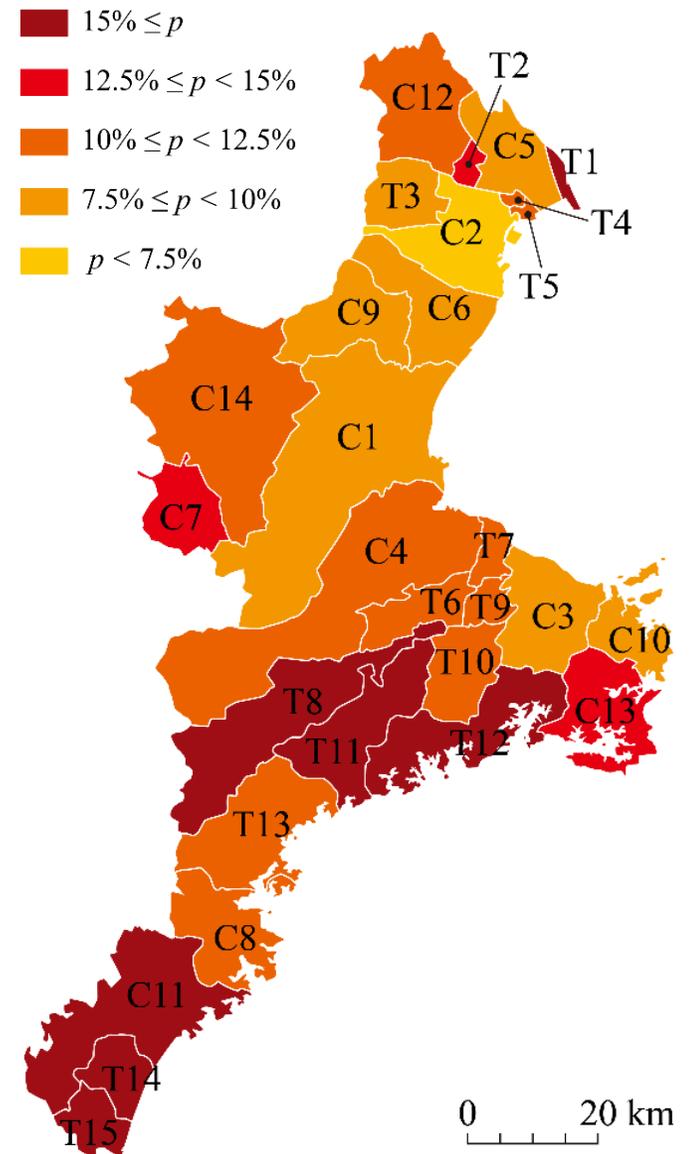
- ・ 地域の類型化
- ・ 資源化システム導入効果の評価
- ・ 地域循環共生圏形成の例示

成果の概要ー将来の使用済み紙おむつの排出量推計ー

- 三重県29自治体をモデル地域として将来の使用済み紙おむつの排出量を推計した。
- 将来的に29自治体すべてにおいて高齢化率（65歳以上の人口割合）が上昇するが、南部における老年人口は2015年以降、すでに減少傾向に転じている。
- 可燃ごみに占める**使用済み紙おむつの割合**はすべての自治体で**上昇**する見込みで、北部では10%程度、南部では15～20%程度を占める自治体もあると推計された。



要介護者が排出する1人1日当たりの使用済み紙おむつ (g/人/日)



三重県における可燃ごみに占める使用済み紙おむつの割合（2045年）

成果の概要ー将来の可燃ごみの排出量推計ー

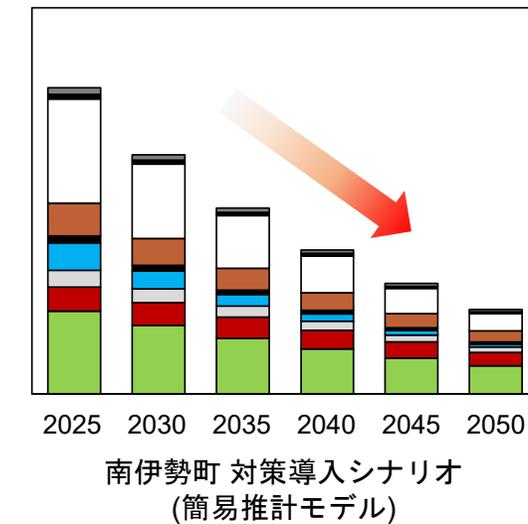
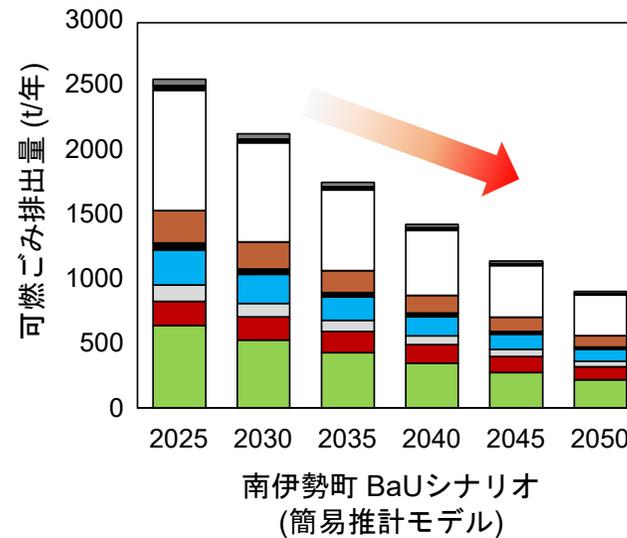
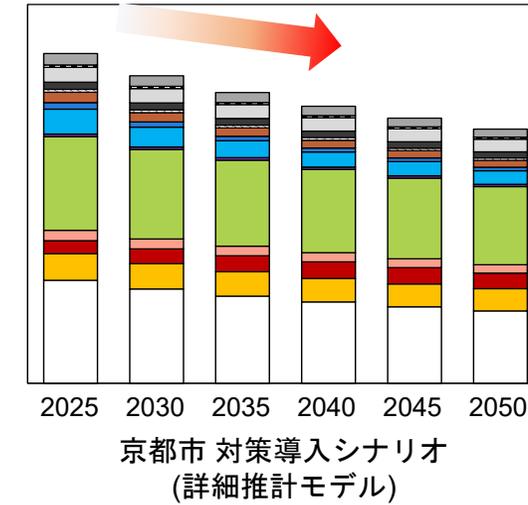
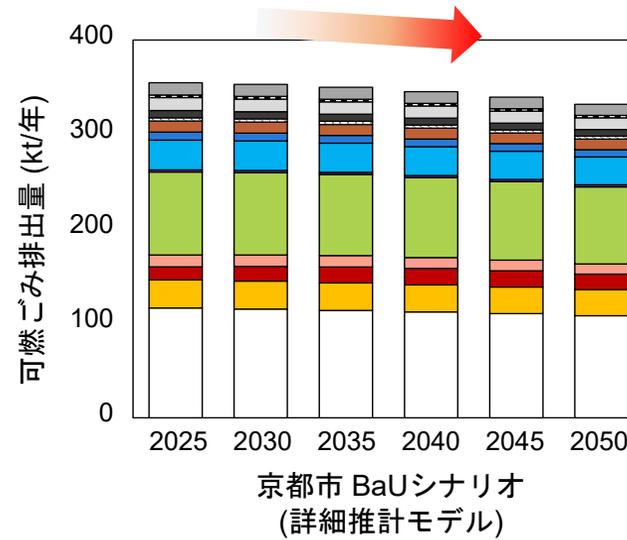
- 京都市のような**大規模**自治体では、将来の人口減少・高齢化によるごみ排出量への影響は**限定的**である。
- 南伊勢町のような**小規模**自治体では、**BaU**ごみ組成であっても人口減少・高齢化による可燃ごみ排出量への**影響が大きく**、さらに**対策ごみ組成**では**大幅に**可燃ごみ排出量が減少することを示した。

【BaUごみ組成】

将来も可燃ごみの各組成の排出原単位は**一定**（紙おむつを除く）

【対策ごみ組成】

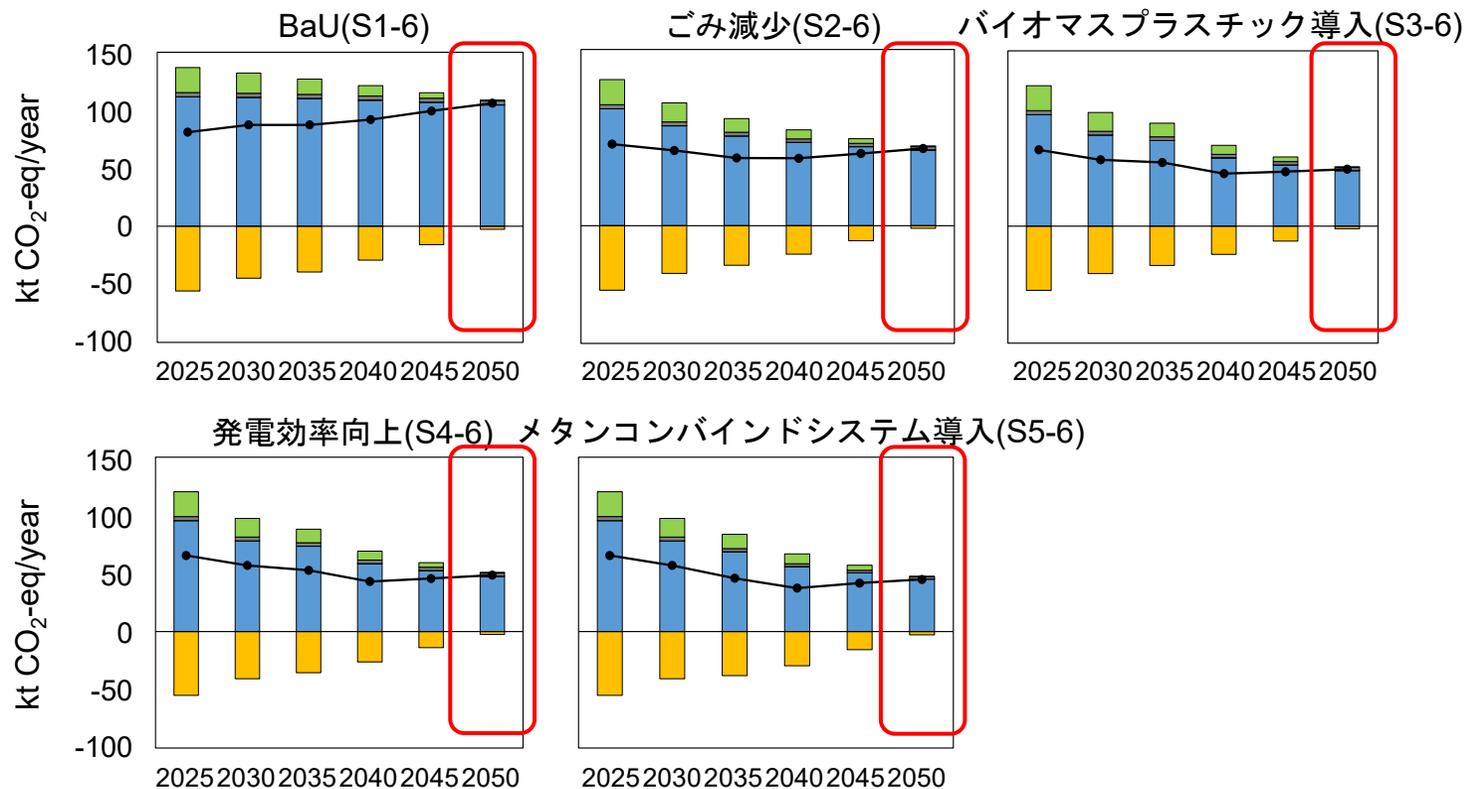
プラ戦略、**食品ロス**低減等の**対策導入**を可燃ごみの各組成の排出原単位に**反映**



- その他
- ゴム皮革類
- 繊維類
- 金属類
- ガラス類
- 木片草木類
- 製品プラ
- 容器包装プラ
- ラップ
- 紙類
- 子供用紙おむつ
- 大人用紙おむつ
- 手つかずの食品
- 一般厨芥

成果の概要ー可燃ごみ処理に伴うGHG排出量のシナリオ評価（京都市を事例として）ー

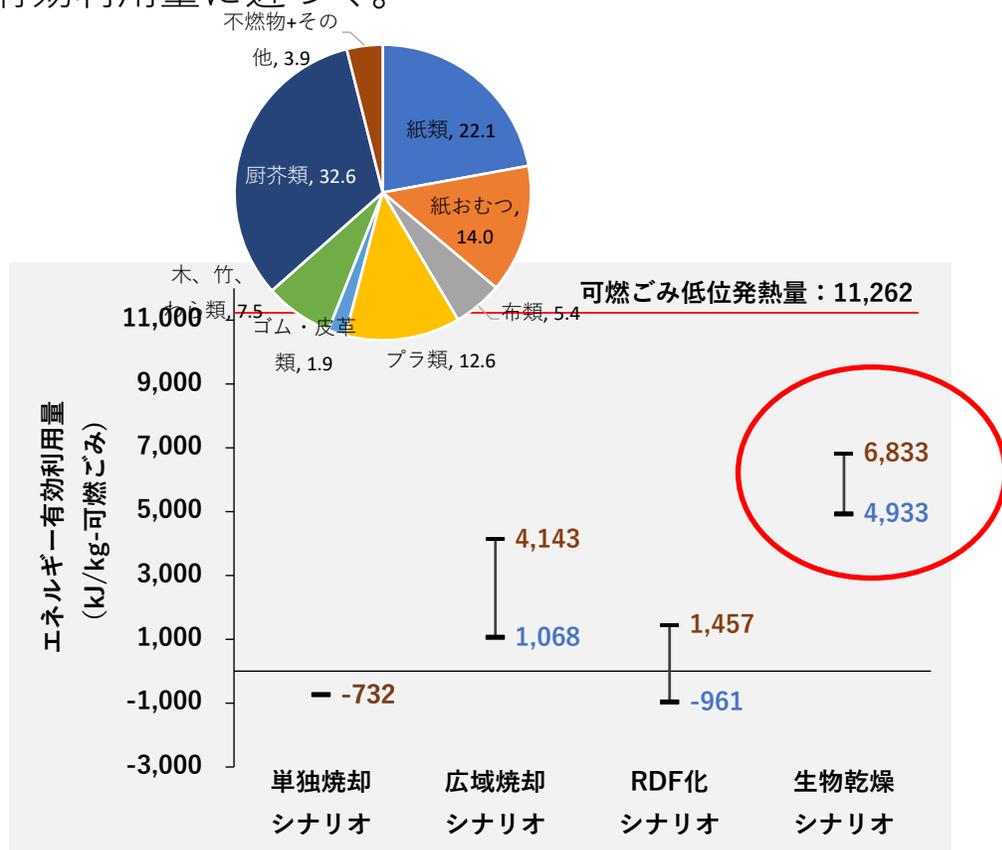
- どのシナリオにおいても電力消費によるCO₂排出量、発電電力によるCO₂削減量は2050年には**ほぼゼロ**になることが確認された。
- GHG削減の観点では、焼却発電の寄与が**将来非常に小さくなり**、新たな価値として、焼却施設からの**熱供給**についても積極的に考える必要がある。
- 評価指標をGHGから**エネルギーの有効利用**へ。



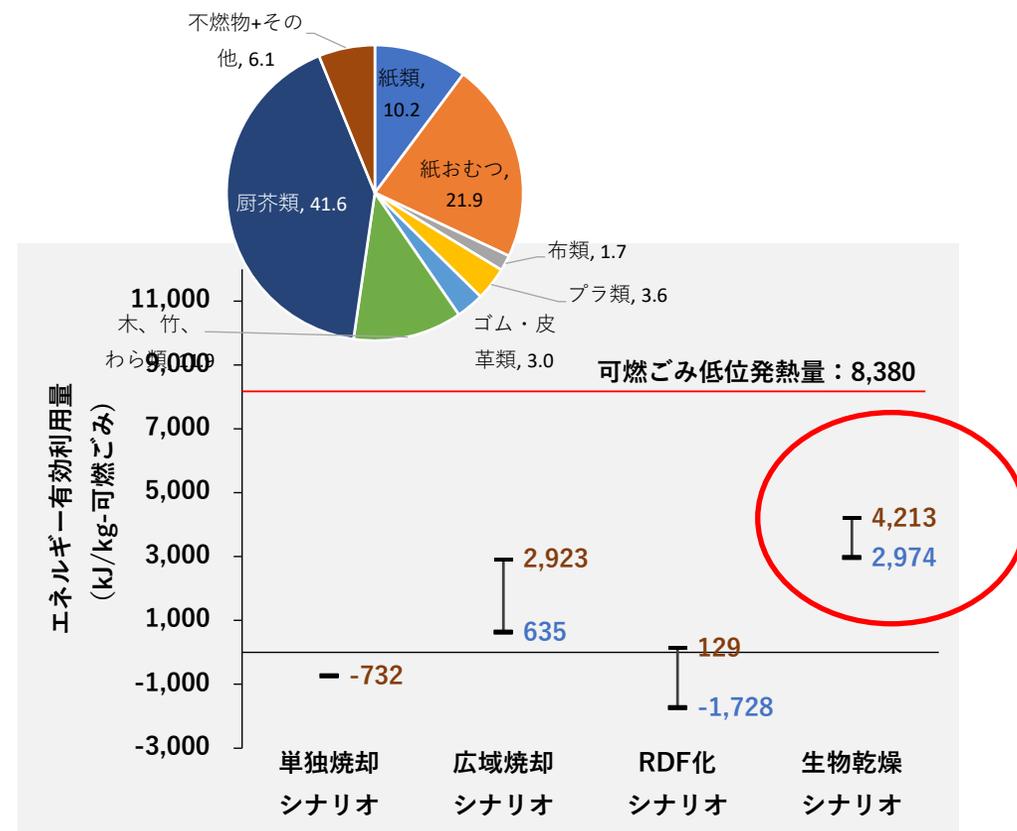
京都市における将来の可燃ごみの処理シナリオとGHG排出量

成果の概要ー将来の可燃ごみ処理方法と熱エネルギーの有効利用ー

- 将来、可燃ごみの組成が変化しても、可燃ごみの**生物乾燥・SRF化**がエネルギーの有効利用の観点で最も有効である。
- 生物乾燥・SRF化のエネルギー有効利用率は、**BaU**ごみ組成では43.8%~60.7%、**対策強化**ごみ組成では35.5%~50.3%。
- 近年、可燃ごみの**RDF化を停止**した自治体が多くみられるが、エネルギーの観点からも**非効率**であった。
- 発電に加えて**余熱利用を最大限**行う焼却施設で**広域的**に可燃ごみを処理する場合、SRFを製紙工場で燃料利用する場合のエネルギー有効利用量に近づく。



(a) BaUごみ組成

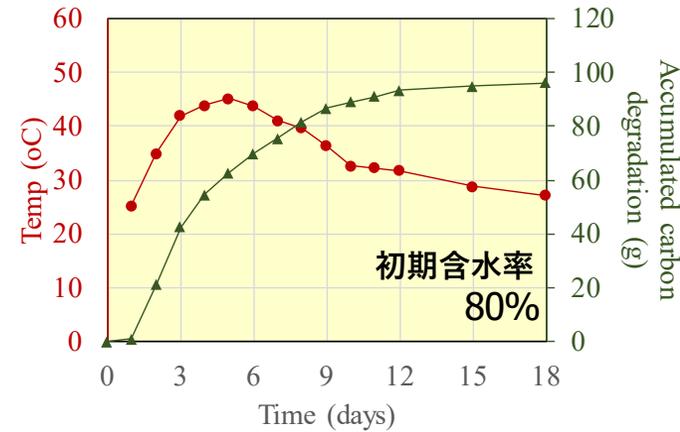
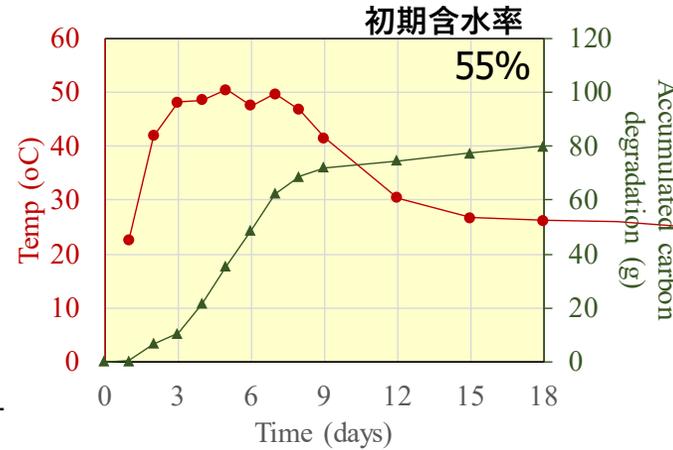


(b) 対策強化ごみ組成

将来の可燃ごみ処理方法とエネルギー有効利用量

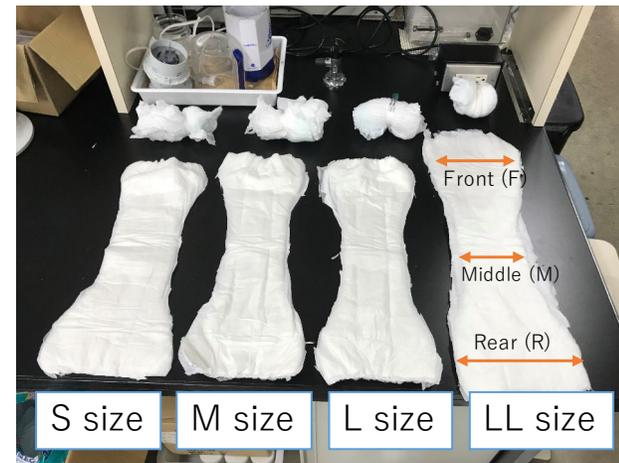
成果の概要ーラボスケールでの生物乾燥実験ー

- **初期含水率**が高いほど**温度の最高値は低くなる**一方で、**炭素分解量**は**増加**する傾向が示された。
- 温度が**減少に転じる**タイミングに前後して**水分蒸発**が活発となっていて、炭素の分解に伴う生成熱の一部が**潜熱**（蒸発熱）として消費されていたことが推測される。
- 廃棄物の**水分保持性能**が有機物の分解によって変化したことで、保持していた水分の蒸発が促されるというメカニズムが示唆された。



ラボスケールでの生物乾燥実験時の温度および炭素分解量の経時変化

- **適切な処理条件**を設定すれば、可燃ごみ中の使用済み紙おむつ割合が増加しても、生物乾燥は滞りなく実施できることを確認した。
- 紙おむつ中の**高分子吸収材**をバインダーとしたごみ同士の**結着**が確認され、こうした状況が生物乾燥後の選別および燃料化プロセスに与える影響について検討する必要があると示唆された。



生物乾燥実験に用いた紙おむつ

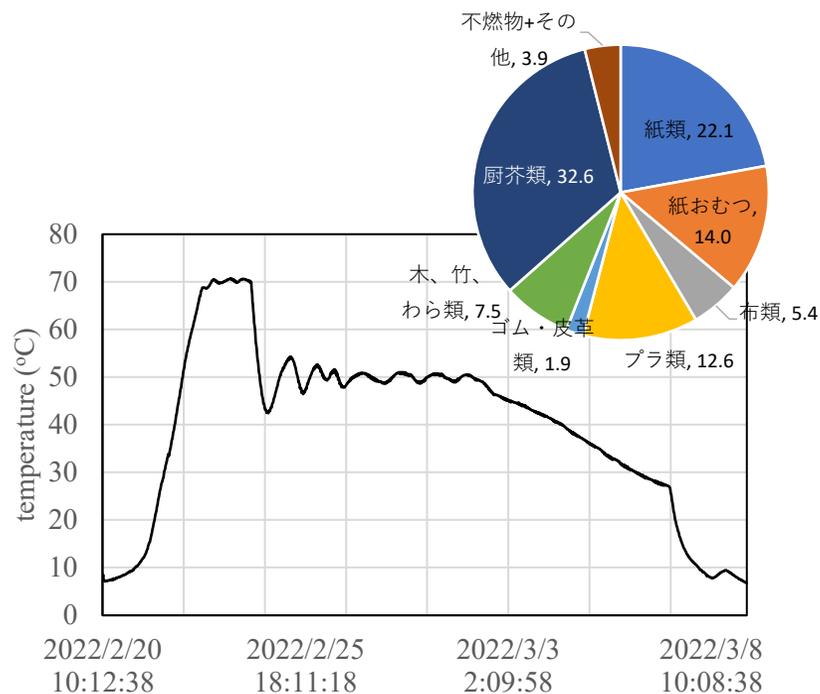


生物乾燥後の粘着性を有した紙おむつ

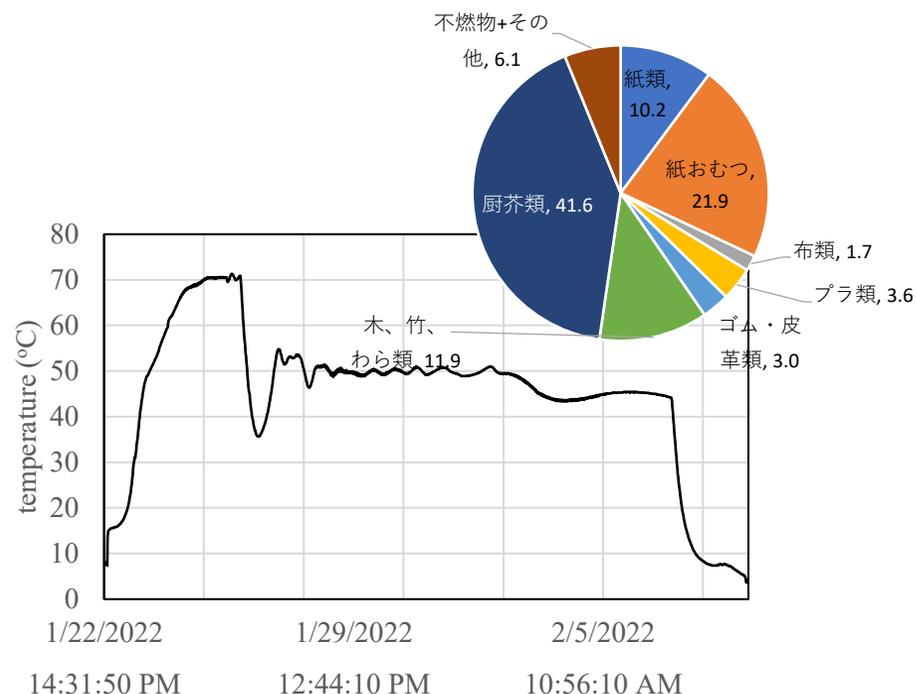
成果の概要ーパイロットスケールでの生物乾燥実験ー

■パイロットスケール（**3,500 kg**の模擬ごみを現場で調査）で**生物乾燥実験**を2度（BaUごみ組成、対策強化ごみ組成）実施した結果、**使用済み紙おむつ割合の増加**が**温度上昇に影響しない**ことが、実証規模でも確認され、**可燃ごみの組成**が大幅に変化した場合でも、**生物乾燥が適用可能**であることが示された。

■対策強化ごみ組成では、BaUごみ組成に比べて使用済み紙おむつ割合が多いため、ごみ同士の**結着**により、**燃料画分**に移行する**ごみの割合が高**くなったことが推測される。ただ、燃料画分の発熱量は十分な燃料品質を確保しており、選別不良等を引き起こすには**至っていない**ことが示唆された。



(a) BaUごみ組成を用いた場合



(b) 対策強化ごみ組成を用いた場合

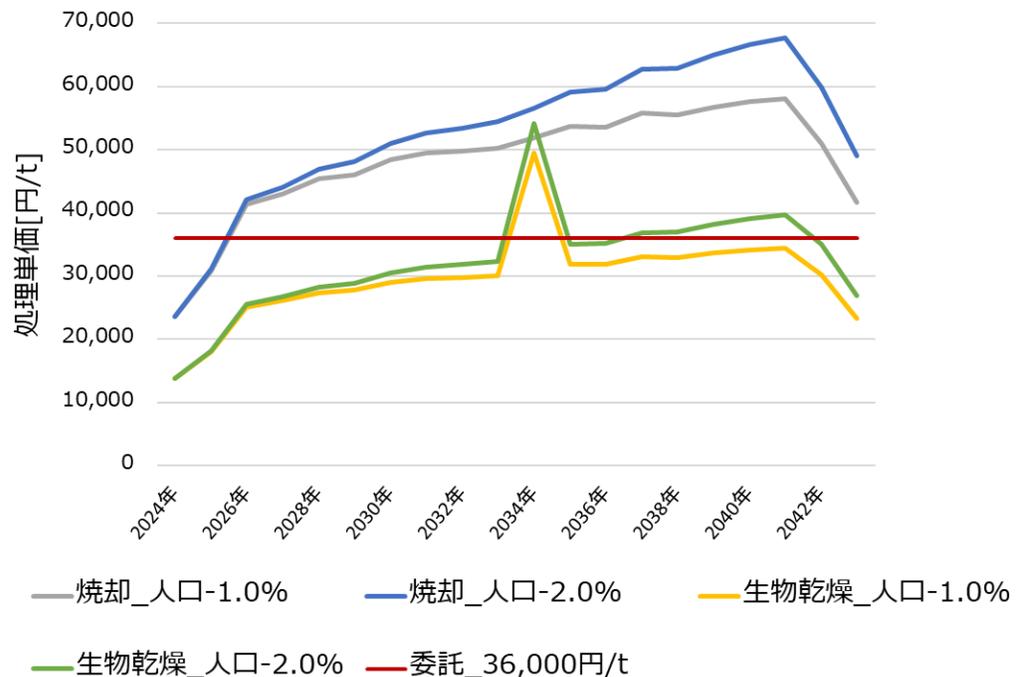
パイロットスケールでの生物乾燥実験時の温度の経時変化

成果の概要－人口減少・高齢化地域における将来の可燃ごみ処理に係る事業費の試算－

- **40 t/日**の施設規模（処理能力）の人口減少・高齢化地域を想定し、**今後20年間**の可燃ごみの処理事業費の経年変化を試算した結果、人口減少に伴って可燃ごみの排出量は減少するにも関わらず、**直営方式**の場合の**処理コスト**は**増加**する傾向が見られた。
- 処理単価（円/t）は、**人口減少率が大きいほど増加**し、処理施設の運営費のうち**固定費**の影響が大きいことが理由に挙げられた。
- 今後大幅な人口減少が進む地域では、**民間委託**の有効性が示唆された。ただし、可燃ごみの受入が可能な民間焼却施設の今後の稼働状況、生物乾燥方式による民間施設の事業化可能性も含め、**処理委託単価の変動**については留意する必要がある。

可燃ごみ処理の事業費試算の条件

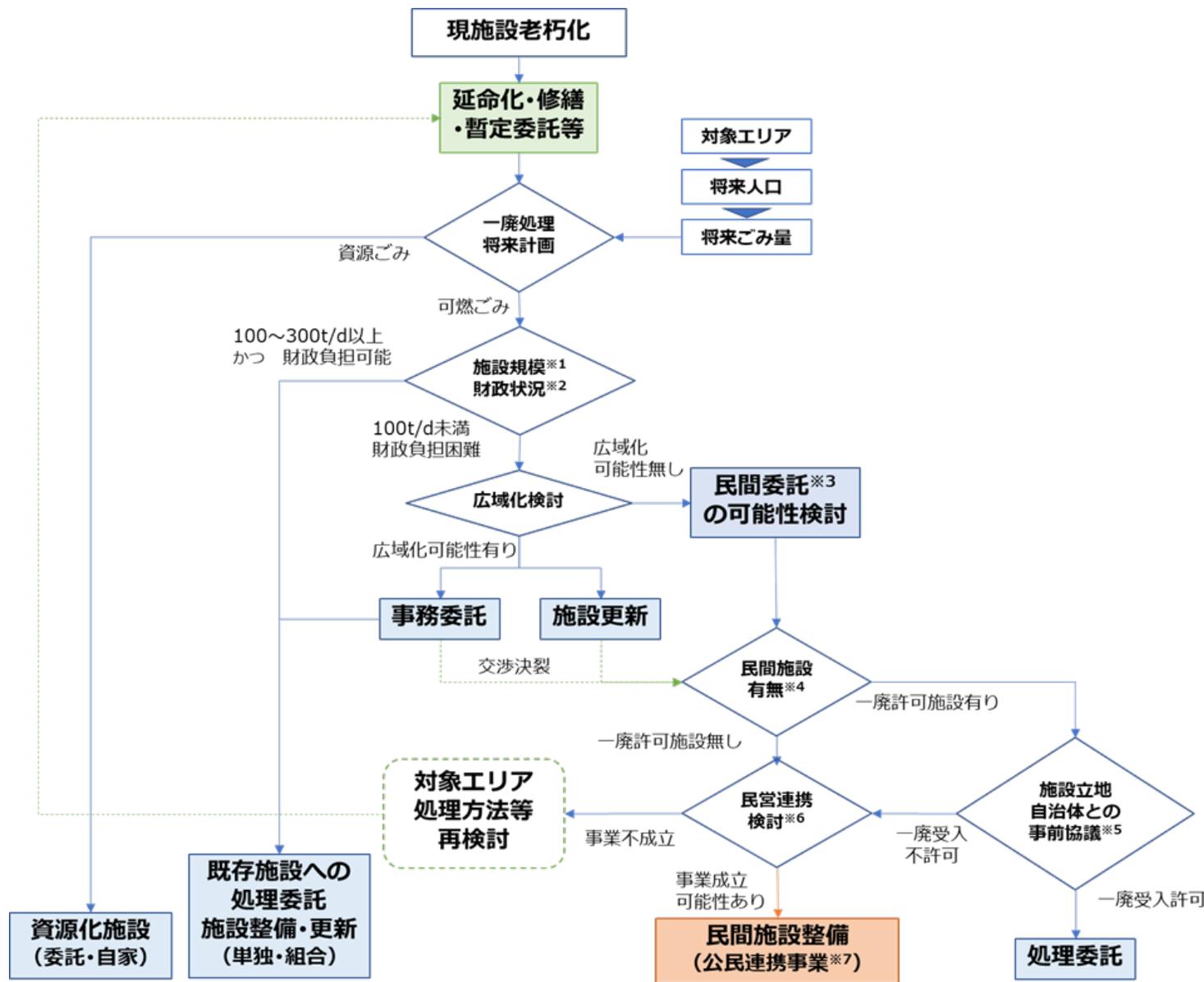
個別費目		設定・算出方法・留意事項
比較対象期間		・ 工事期間及び稼働後20年間（2022年着工、2024～2043年度）
焼却対象ごみ量		・ 直接焼却 + 焼却以外中間処理（堆肥、飼料、メタン、燃料） + 残渣焼却（粗大、その他資、その他）
施設規模		・ 40 t / 日（処理対象ごみ量で10,000t/年程度を想定）
建設費		・ 文献及び事業者ヒアリング調査等を元に、焼却4,110百万円、生物乾燥2,500百万円と設定 ・ 循環型社会形成推進交付金（交付率1/3）、起債充当率90%、償却期間20年間（3年据置）
運営費	人件費	・ 文献及び事業者ヒアリング調査等を元に、焼却16名、生物乾燥7名と設定
	用役費	・ 光熱水・薬品費。うち固定費の割合を設定（焼却：50%、生物乾燥：24%）し、変動費部分を従量変動
	点検・補修費	・ 焼却：個別施設計画のひな形を使用 ・ 生物乾燥：20年平均で設備費の4%、ただし10年経過時点で大規模修繕（設備費の10%程度）を実施
	残渣処理費	・ 焼却灰（処理量の10%）、固形燃料化不適物（処理量の5%）について運搬費、処分費を計上
	販売収益	・ 焼却（売電収益等）：40t/日規模のため収益なしと設定 ・ 生物乾燥（固形燃料）：輸送費込みで0円/kgと設定



人口減少によるごみ処理単価への影響
(処理・運営方式別)

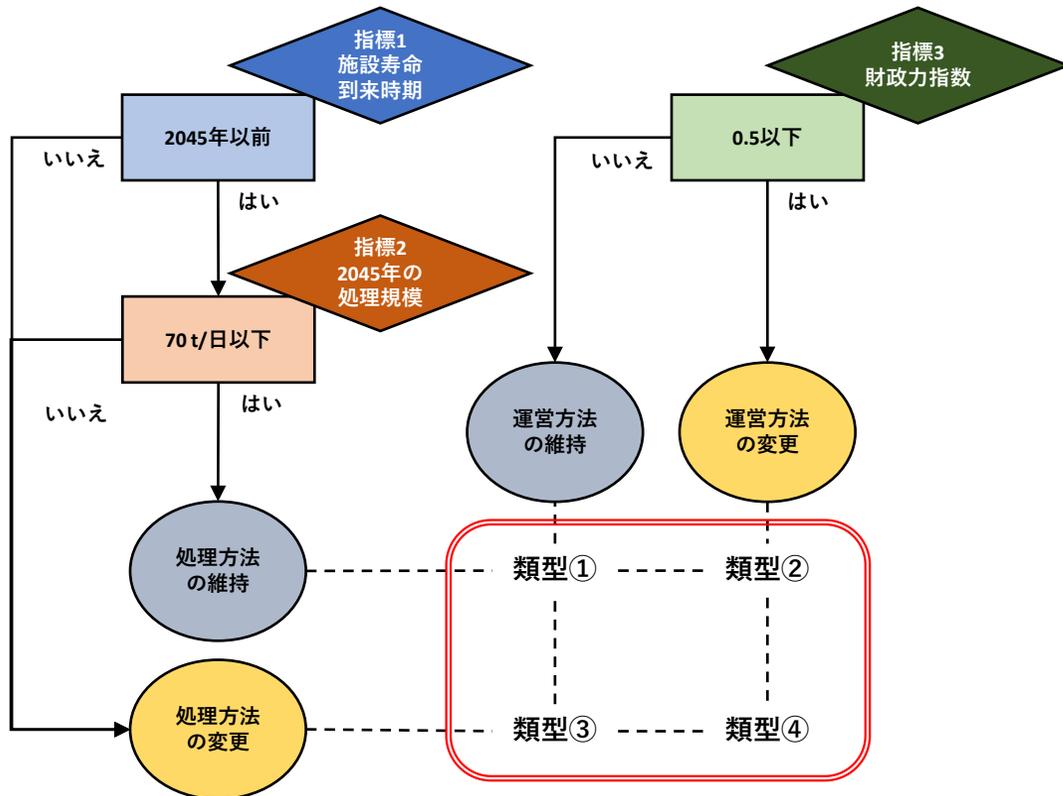
成果の概要－民間委託を含めたごみ処理事業形態の選択フローの作成－

- 当該自治体外に一般廃棄物処理の許可を有する民間施設がある場合は、**立地自治体**との**事前協議**で受入許可を得ることにより**委託可能**である。
- ごみ処理の民間委託を行うには、一般廃棄物処理責任の履行と、議会承認が必要であるが、議会承認を得るためには、環境保全、経済性、産業振興等、民間委託の効果を定量的に示すことが必要である。
- 廃棄物処理法の「市町村の一般廃棄物処理責任」は、施行令第4条第9号で基準が示されており、民間委託を**制限するものではない**。
- 周辺に適切な一般廃棄物処理施設が**存在しない**場合、立地自治体の受入許可が得られない場合、あるいは民間施設との委託条件（価格、量、その他）が**合意できない**場合は、老朽化した既存施設の修繕等により現状の処理を維持しながら、また周辺自治体等への**暫定的**な処理委託等をしながらか、広域化や処理計画等を**再検討**することとなる。



成果の概要ー地域特性に応じた自治体の類型化ー

- 人口減少・高齢化地域における焼却施設の運営上の課題と、課題を評価するための指標を抽出した。**施設寿命到来時期**と**2045年の処理規模**は**処理方法**の**維持**あるいは**変更**を判断するための指標とし、**財政力指数**は**運営方法**の**維持**あるいは**変更**を判断するための指標とした。
- **処理方法**の**維持**、**処理方法**の**変更**、**運営方法**の**維持**、運営方法の**変更**の組合せを4つの類型とし、各自治体を類型化した。
- 処理方法については**BaU**シナリオ、**広域焼却促進**シナリオ、**生物乾燥促進**シナリオを設定した。
- 運営方法の変更が必要な自治体では、施設の運営方法を変更することにより**処理コスト**が一律で**7.3%削減**されるとした。



処理方法に関するシナリオの概要

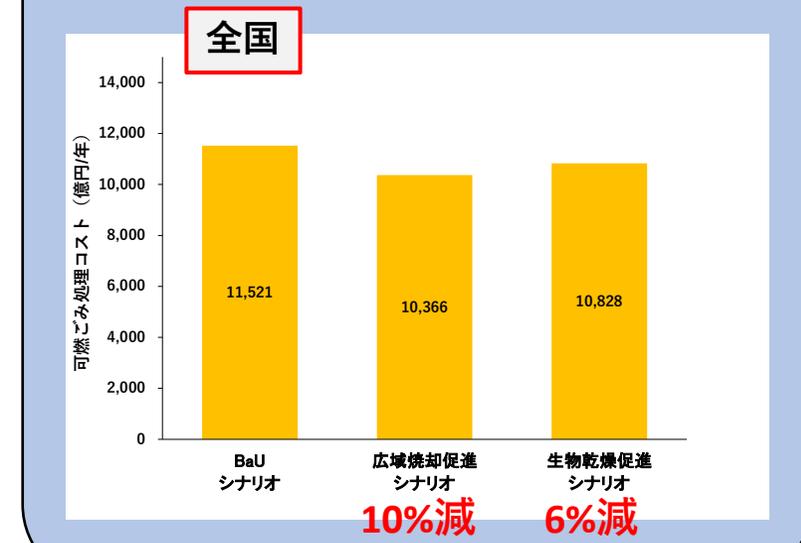
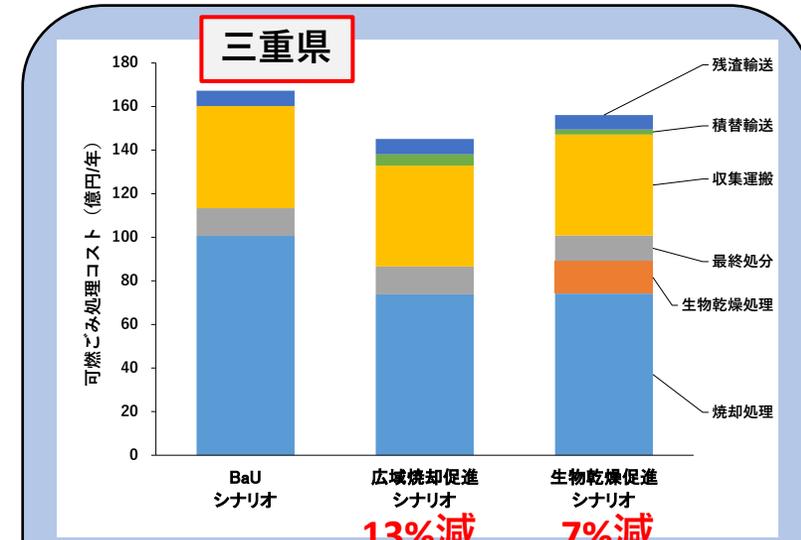
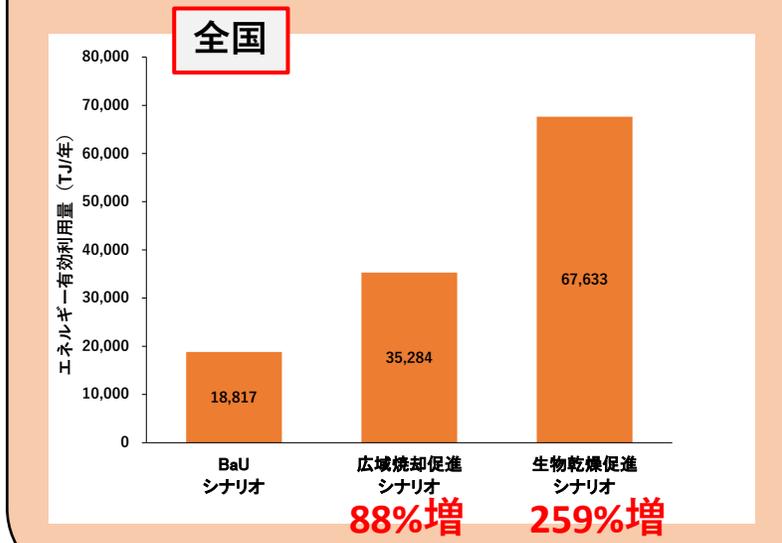
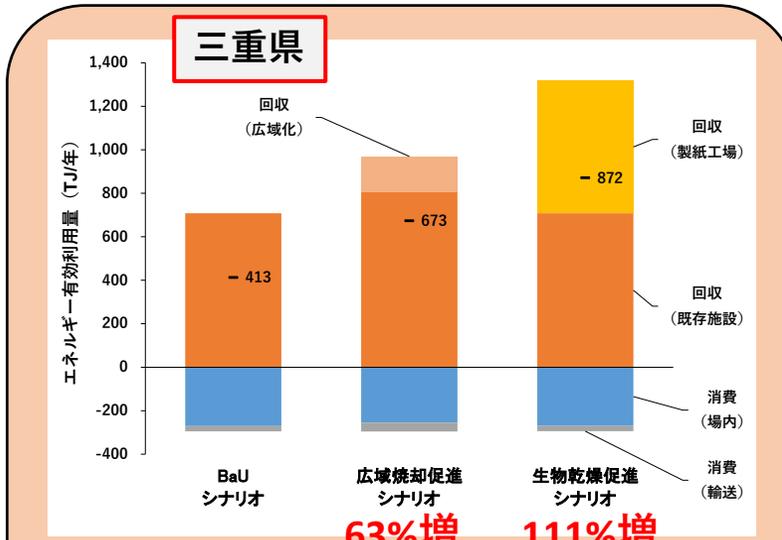
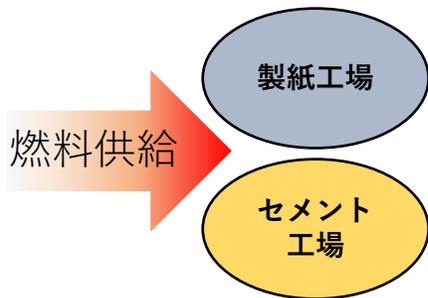
シナリオ	類型	概要
BaUシナリオ	すべての類型	<ul style="list-style-type: none"> 焼却施設の寿命が到来した時点で施設を更新する。 更新時は可燃ごみ排出量に応じて処理規模を変更する。
広域焼却促進シナリオ	類型①および②	<ul style="list-style-type: none"> 焼却施設の寿命が到来した時点で施設を更新する。 更新時は可燃ごみ排出量に応じて処理規模を変更する。
	類型③および④	<ul style="list-style-type: none"> 焼却施設の寿命が到来した時点で廃止し、廃止後は広域化拠点で可燃ごみを集約的に焼却処理する。
生物乾燥促進シナリオ	類型①および②	<ul style="list-style-type: none"> 焼却施設の寿命が到来した時点で施設を更新する。 更新時は可燃ごみ排出量に応じて処理規模を変更する。
	類型③および④	<ul style="list-style-type: none"> 焼却施設の寿命が到来した時点で廃止し、廃止後は単独で生物乾燥（SRF化）施設を整備する。 製造されたSRFは製紙工場あるいはセメント工場利用される。

処理方法および運営方法に係る指標と判定基準、自治体の類型化

成果の概要ー可燃ごみの広域的な焼却処理や生物乾燥の導入効果ー

■ **資源化システム評価モデル**を構築し、2045年の**三重県**および**全国**における可燃ごみ処理に係る**エネルギー有効利用量**および**処理コスト**を推計した。

■ **広域焼却促進**シナリオ、**生物乾燥促進**シナリオともにエネルギー有効利用および処理コストの観点でBaUシナリオよりも優位であった。人口減少・高齢化が進行する地域では、単独焼却に代わる**広域焼却**あるいは**生物乾燥**の導入が有効であることが確認できた。



(a)エネルギー有効利用量

(b)処理コスト

2045年における可燃ごみの広域的な焼却処理や生物乾燥の導入効果

環境政策等への貢献

<行政等が既に活用した成果>

特に記載すべき事項はない。

<行政等が活用することが見込まれる成果>

- 今後、使用済み紙おむつの排出量にも着目して一般廃棄物処理計画を策定する自治体では、本研究で構築した使用済み紙おむつの排出量推計モデルを（地域特性を考慮した上で）活用することが可能である。
- プラスチックに係る資源循環の促進等に関する法律（プラ新法）の施行や、脱炭素社会の実現に向けた消費と生産の構造改革といった大きな潮流の変化が起こりつつことを踏まえて、本研究で構築した推計モデルを個別自治体の一般廃棄物排出量の将来推計に活用することが見込まれる。
- 本研究で提案した「エネルギー有効利用量」は廃棄物処理を評価する新たな指標として、行政だけでなく廃棄物処理に関わる民間の廃棄物処理業者が活用することが見込まれる。
- 将来の可燃ごみ組成が変化しても、生物乾燥技術および分級技術が適用可能であることをラボスケールおよびパイロットスケールで実証した。今後、単独焼却から生物乾燥・SRF化へ処理システムを変更することによって効率的な廃棄物処理事業に転換することが可能な地域もあり、そのような地域では生物乾燥・SRF化を導入することが見込まれる。
- 人口減少・高齢化が進行することによって税収が減少し、財政がひっ迫する地域が増加するが、そのような地域ではごみ処理の民間委託を選択肢のひとつとして捉えるべきで、本研究での民間委託の選択に関する取りまとめ結果を客観的情報として活用することが見込まれる。
- 人口減少・高齢化地域における可燃ごみの性状を分析し、輸送効率の観点からかさ密度についても検討した。ISO/TC 300（Solid recovered materials, including solid recovered fuels）WG4にてSRFのかさ密度分析に関する国際規格を提案するに至った。今後は数年かけて国際規格化し、国内外において本研究の取組が発端となったかさ密度の分析方法が活用されることが見込まれる。

研究成果の発表状況

<主な査読付き論文>

- 1) 早崎真也、大下和徹、河井紘輔、高岡昌輝: 脱炭素社会における都市ごみ焼却施設からの温室効果ガス排出量の将来推定 - 京都市を例に, *廃棄物資源循環学会論文誌* (in press) (2022)
- 2) Kawai K, Oshita K, Kusube T.: Model for projecting the generation of used disposable diapers in the era of depopulation and aging in Japan. *Waste Management & Research* (投稿中)(IF: 3.5)

<その他発表>

査読付き論文に準ずる成果発表	0件
その他誌上発表（査読なし）	1件
口頭発表（学会等）	22件
「国民との科学・技術対話」の実施	3件
マスコミ等への公表・報道等	2件
本研究に関連する受賞	0件

3RINCs
 廃棄物資源循環学会 研究発表会
 春の研究討論会
 企画セミナー
 全国都市清掃研究・事例発表会 ほか

中央区総合環境講座 ほか

The New York Times
 日本経済新聞