

環境省環境研究総合推進費

将来の社会・技術変化を見据えた 静脈系インフラの連携によるエネルギー回収 (課題番号3K143006)

研究代表者名：吉田 登

所属：和歌山大学システム工学部

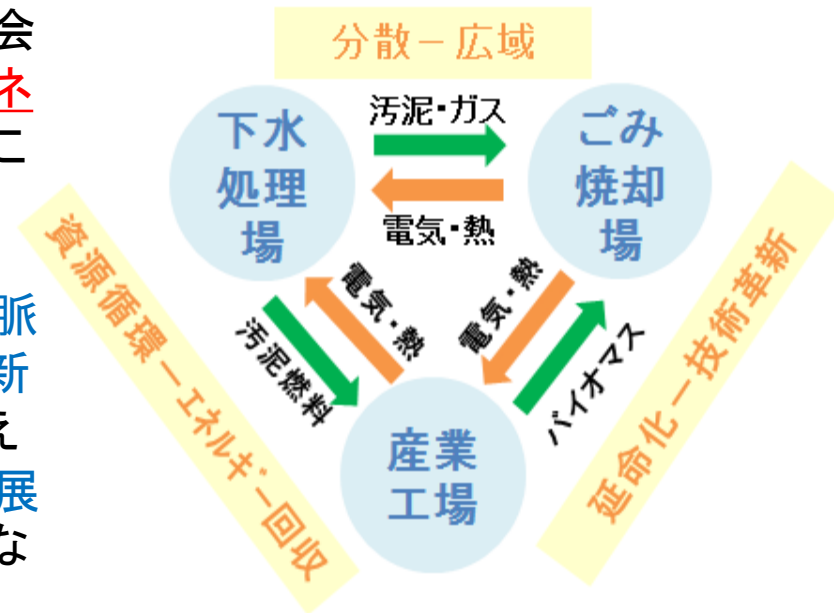
研究実施期間：2014-2016年度

累積予算額：37,701千円

研究開発目的

本研究は、低炭素社会や人口減少などの将来社会制約下で静脈インフラ連携により、廃棄物からのエネルギー回収最大化をめざす連携モデルを構築することを目的とする。

静脈インフラ間(ST2)の連携、動脈系インフラと静脈系インフラ(ST3)との連携、静脈インフラの維持・更新(ST4)をふまえた連携、人口動態変化(ST5)をふまえた静脈インフラ連携、静脈系インフラ再構築の社会展開(ST1)の5つのサブテーマを組み合わせ、包括的な静脈インフラ連携モデルを構築する。



ST1 静脈系インフラ連携の社会展開 吉田登(和歌山大学)

ST2 静脈系インフラ間の連携 中久保豊彦(お茶の水女子大学)

ST3 動脈系インフラと静脈系インフラの連携 山本祐吾(和歌山大学)

ST4 静脈系インフラの維持・更新をふまえた連携 尾崎平(関西大学)

ST5 人口動態変化をふまえた静脈系インフラの連携 小川宏樹(徳島大学)

サブテーマ間の関係・位置づけ

将来社会変化

<連携評価モデルの構築>

ST5人口動態
(徳島大)

人口
動態変化

経済
生産動向

ST2静脈間連携(お茶大)

下水
処理
場

汚泥・ガス

電気・熱

ごみ
焼却
場

ST4維持更新
(関西大)

技術・
インフラ
維持更新
・集約

環境

政策要請
・自主的取
り組み

産業
工場

汚泥燃料

熱

電気・熱

バイオマス燃料

ST3動脈・静脈連携(和太)

ST1社会展開(和太)

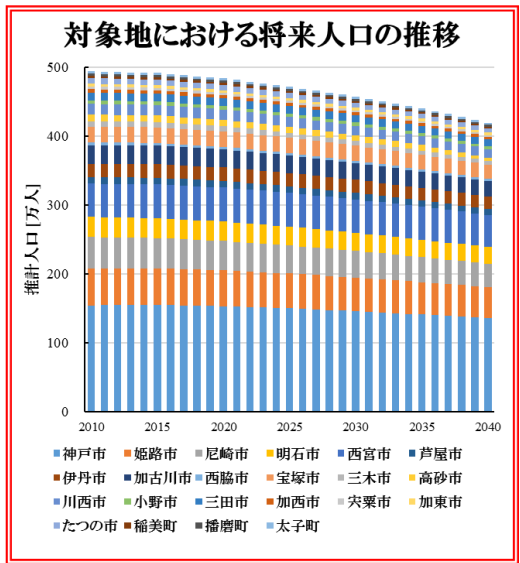
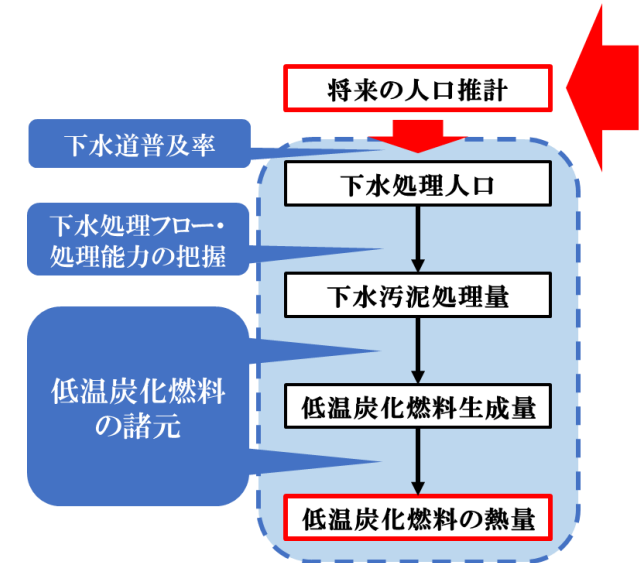
<社会展開>

診断ガイド・事業性

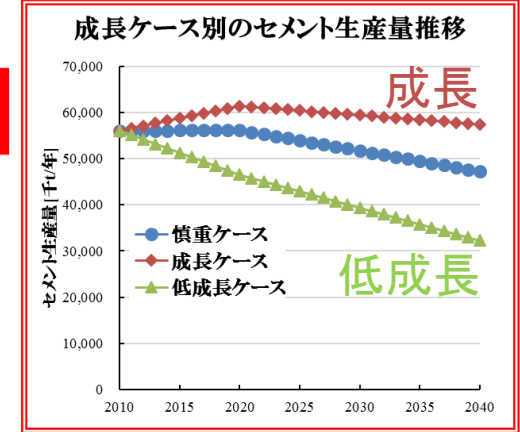
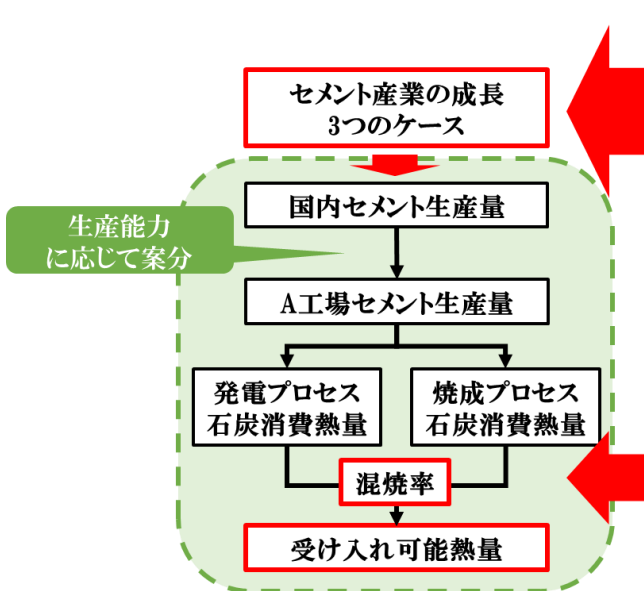
連携評価モデルの構築

- 動脈系インフラと静脈系インフラとの連携 (ST3)
- 静脈系インフラ間の連携 (ST2)
- インフラ連携の社会展開 (ST1)

将来社会変化の影響要因(セメント産業)



人口
動態変化



経済
生産動向

オプション別の石炭との混焼率(熱量ベース)

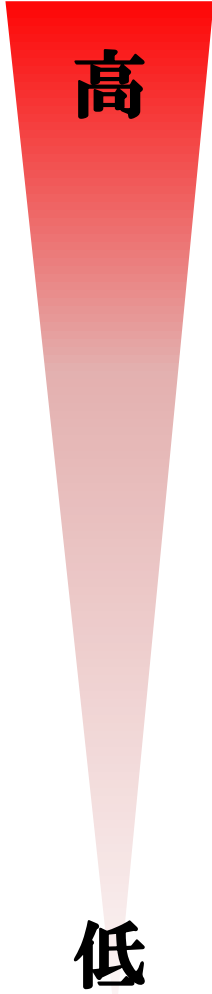
プロセス	基本 オプション	技術展望 オプション
焼成	5%	10%
発電	5%	

環境
政策要請
・自主的取
り組み

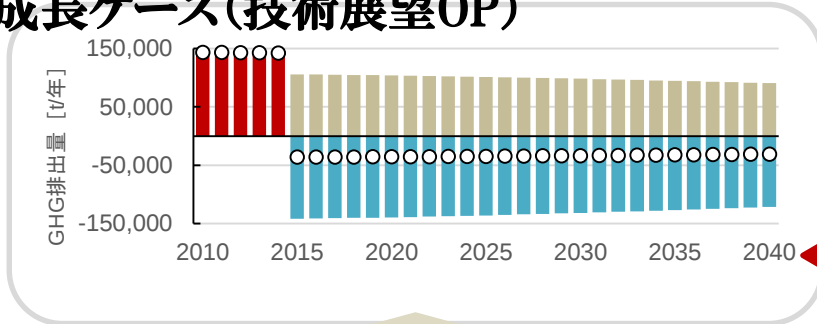
技術・
インフラ

低温炭化燃料の導入に伴うGHG収支の推計(セメント)

GHG削減
効果

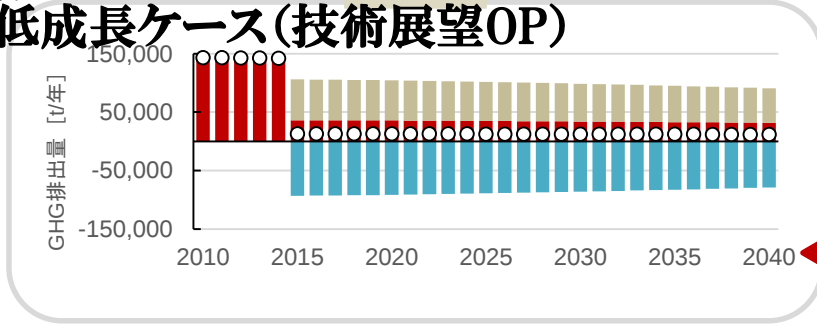


成長ケース(技術展望OP)



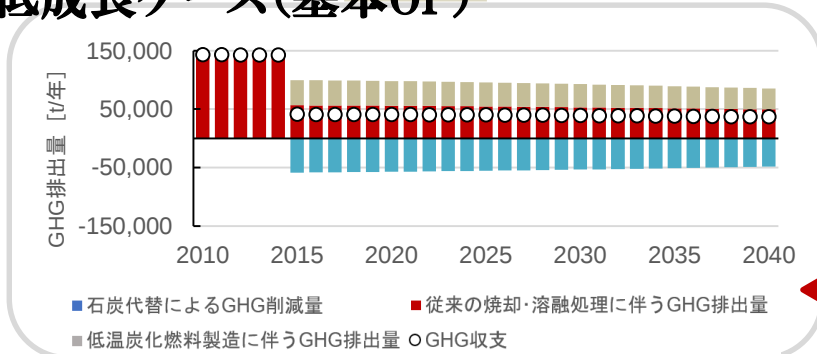
セメント産業の成長＋
受入技術の革新
↓
域内の多量な汚泥の処理と
GHG削減量最大

成長ケース(基本OP)
低成長ケース(技術展望OP)



受入技術の革新
↓
低成長であっても成長と
同等のGHG削減量

低成長ケース(基本OP)



セメント産業の低成長
↓
適正な汚泥処理施設との
連携によるGHG削減効果

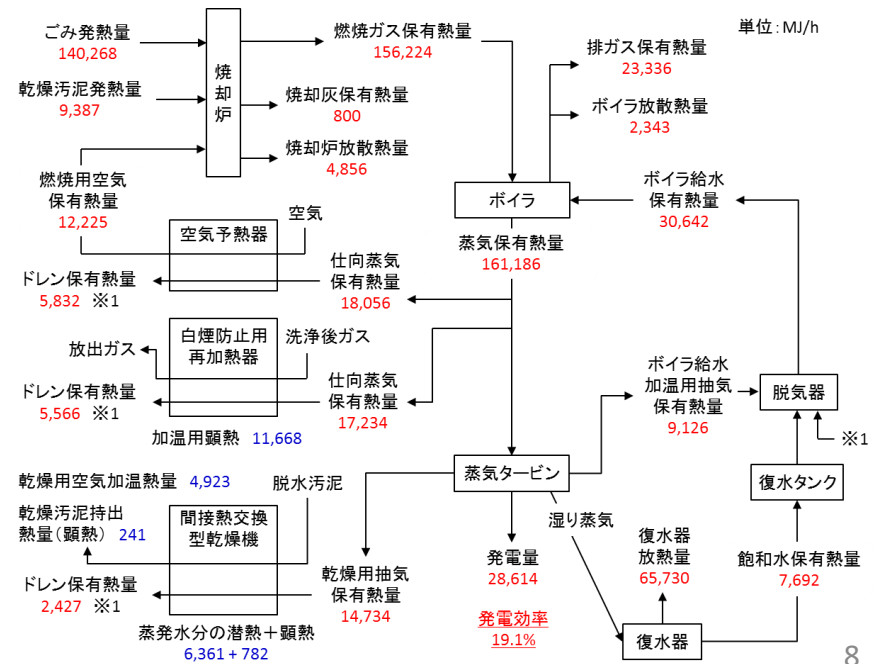
業種に応じた動脈・静脈連携方策の重要性

	石炭火力	セメント	紙・パルプ
潜在的な 受入可能量	◎受入可能量は大きい が、立地が限定される。 将来的にも安定需要。 (エネルギー基本計画上の位置づけ)	○石炭火力に次いで、 受入可能量が多い。 生産見通しにより変動。	△受入可能量は小さい。 石炭代替燃料を使用する 工場数は、限定的かつ 地域的偏在あり。 生産見通しにより変動。
燃料	炭化物 (粉碎性では木質より炭化物が有利、腐 食性が高いため、混焼率を高めることが 困難)	炭化・乾燥物 (除去設備の設置によって、微量物質へ の対応が完了)	乾燥物＋α (但し、固形燃料以外にも、多様な燃料 形態で受け入れ可能)
技術 (受入装置)	○石炭ボイラ (既存設備で混焼可能)	○複数の生産プロセス (プレヒーター、キルン、自家火力発電設備で 受入可能)	△固形燃料ボイラ (既存設備を改造して混焼可能に)
政策	改正省エネ法への対応 (既存設備では、実質的にバイオマス燃 料の混焼以外では対応が困難)	低炭素実行計画への対 応 (エネルギー代替廃棄物の受入拡大と、 自家発電熱エネルギーを増強)	低炭素実行計画への対 応 (削減効果の高い低炭素燃料への転換 を継続または受入拡大)
受容性	企業ビジョンによって志 向性が異なる (海外木質ビジネス志向、汚泥活用公民 連携志向)	事業の成立性に依存 (既に廃棄物燃料の受け入れ拠点)	継続的に調達可能な代 替燃料の候補 (オイルレス化・木質バイオマス調達の 競合回避を業界として推進)

生ごみ混合消化，汚泥混焼ケース



熱収支解析モデルの開発



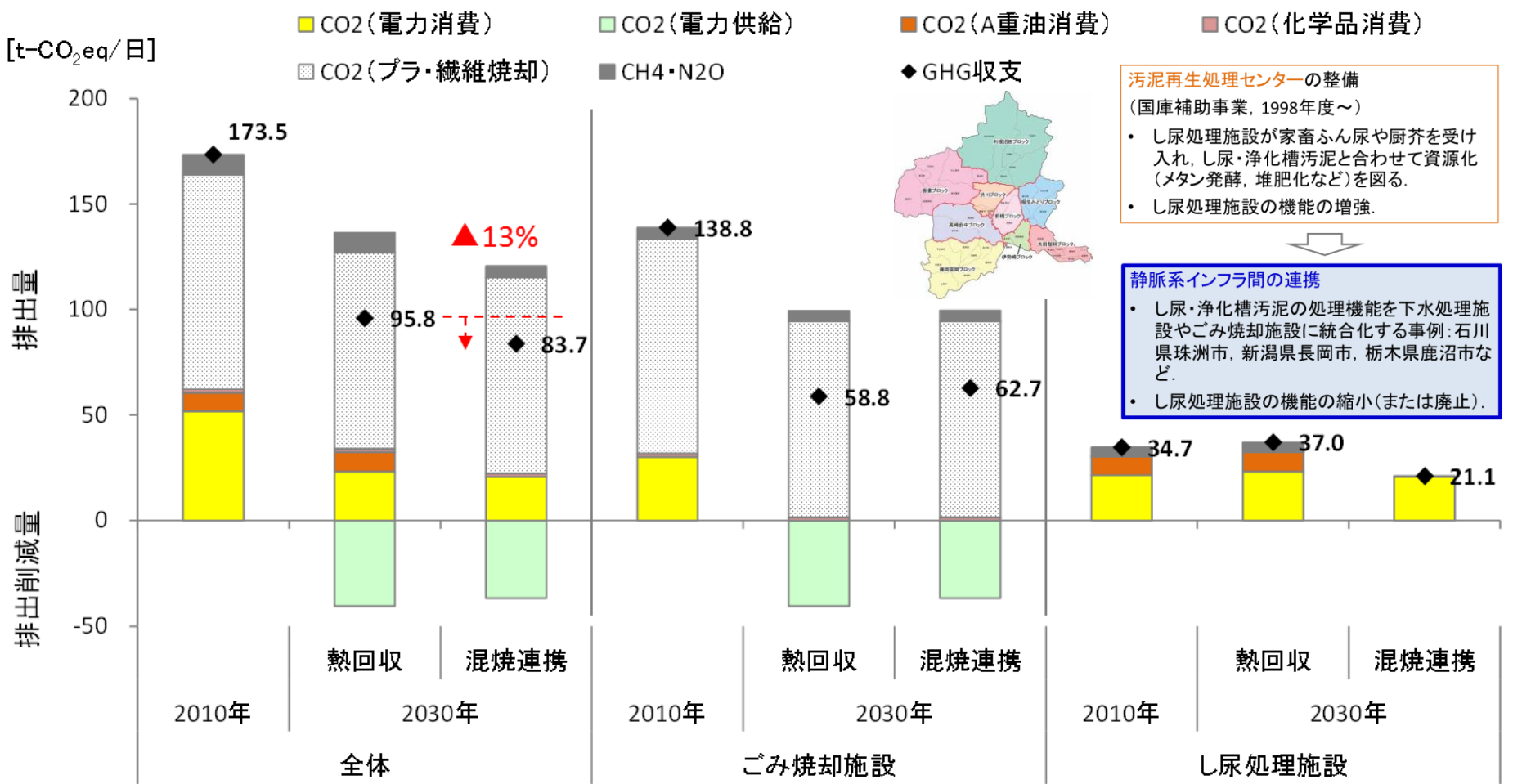
＜政策動向＞

- ◆ 下水処理施設での混合消化
(下水処理施設の保有する消化槽での、濃縮汚泥と食品廃棄物の混合消化)
- ◆ ごみ焼却施設での汚泥混焼
(ごみ焼却施設の熱エネルギーを活用した脱水汚泥の乾燥、可燃ごみと乾燥汚泥の混合焼却)

出典:中久保(2016)



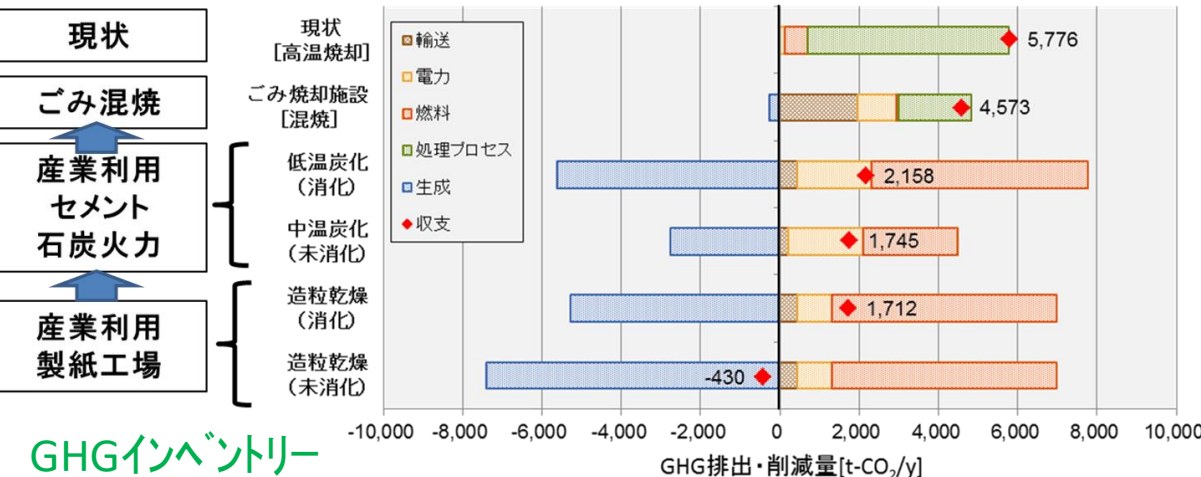
地方都市ごみ処理広域ブロックでの混焼のGHG削減効果



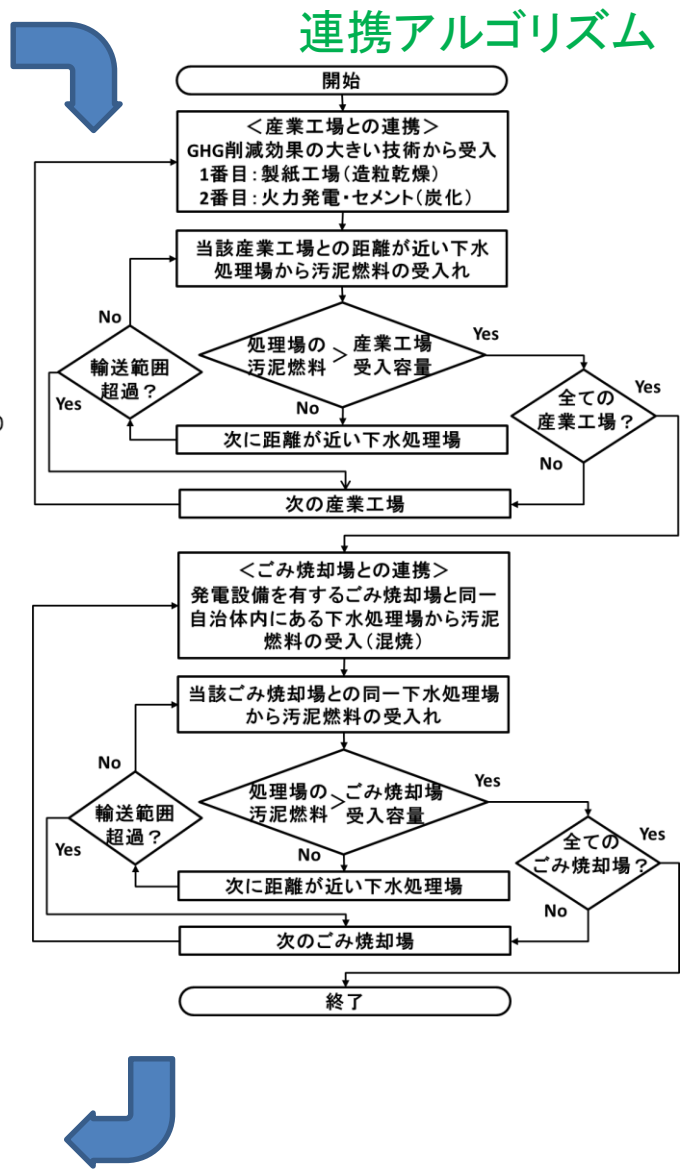
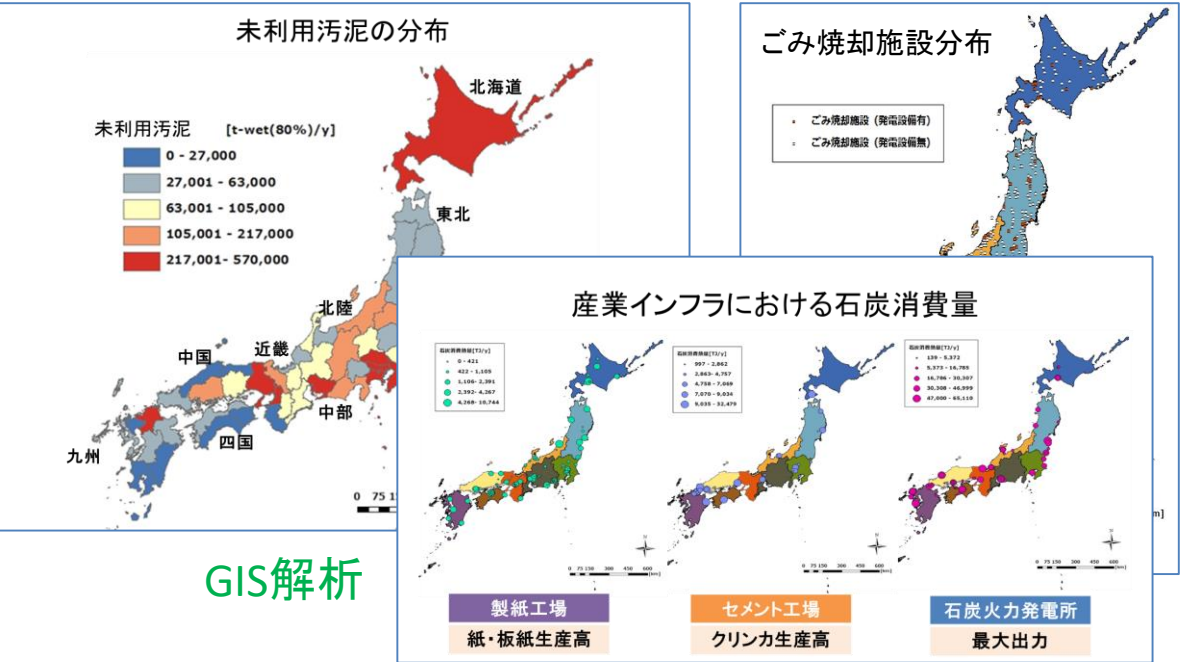
脱水汚泥をごみ焼却施設で乾燥・混焼させる連携ケースの導入により、
熱回収ケースと比較して13%のGHG排出削減効果
(し尿処理施設での脱水汚泥の乾燥・焼却回避)

出典: 中久保他(2016) 10

インフラ連携の全国展開ポテンシャル評価

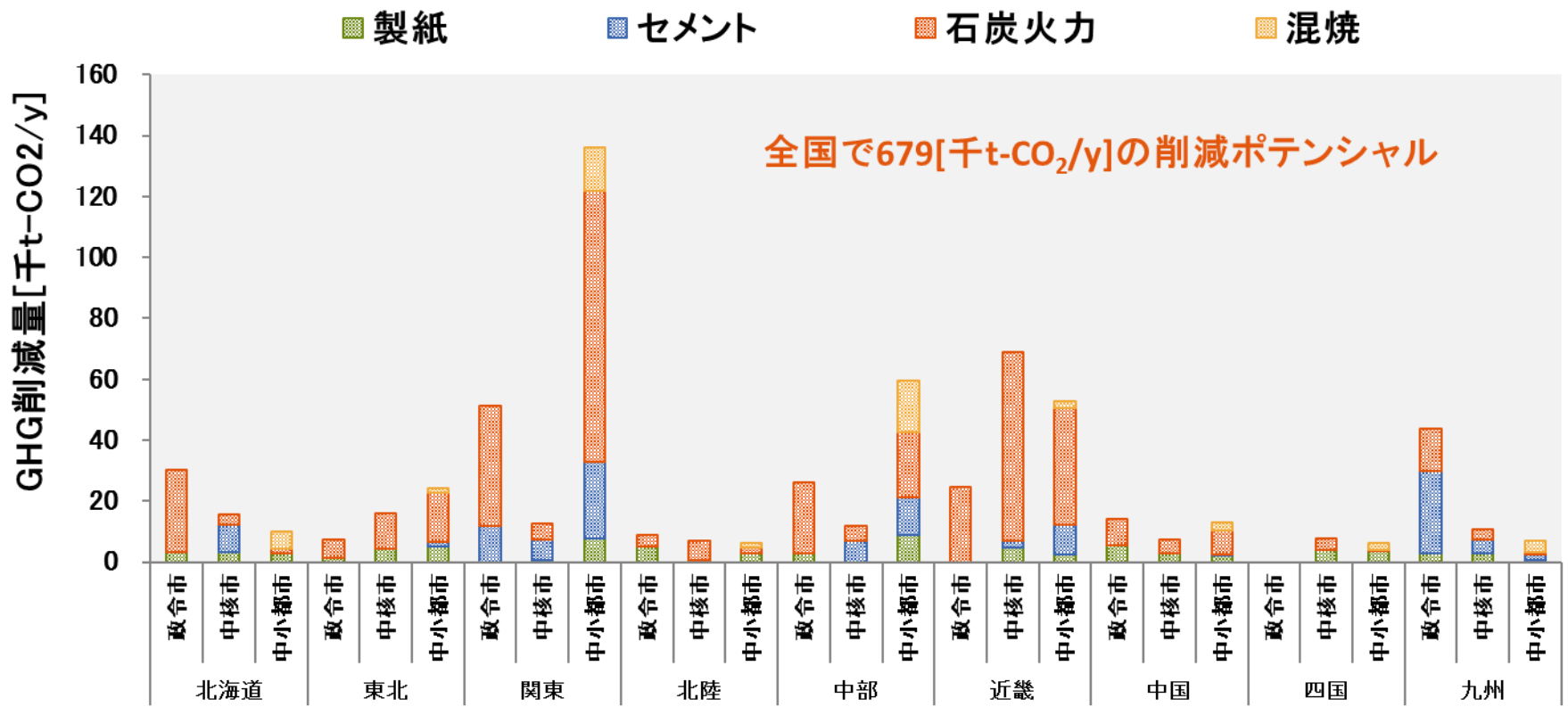
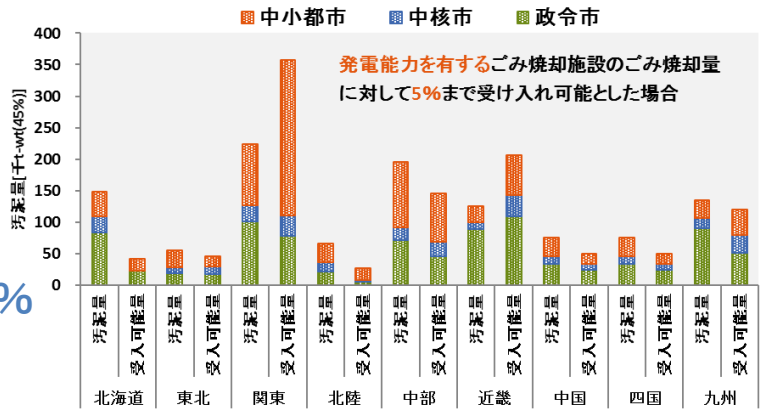


削減 ← ◆ GHG収支 → 増大



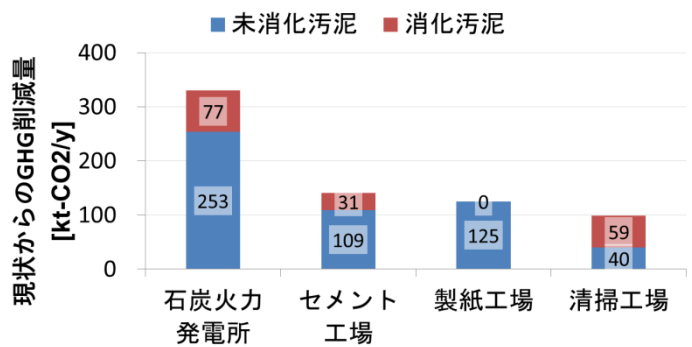
インフラ連携による地域別のGHG削減効果

- 産業施設の混焼比 製紙;1%, セメント・石炭火力;5%
- 最大輸送距離範囲150km



インフラ連携の社会展開(ST1)

インフラ連携の分布



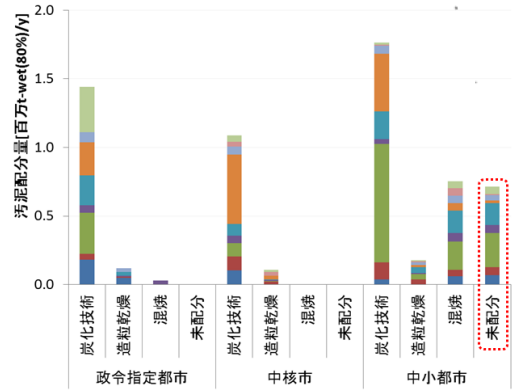
下水処理場と産業工場の連携

下水処理場とごみ焼却場の連携

連携先のない未配分汚泥分布

凡例

- ▲ 石炭火力発電所
- セメント工場
- 製紙工場
- 下水処理場



0 100 200 400 km

- 九州地区
- 四国地区
- 中国地区
- 近畿地区
- 中部地区
- 北陸地区
- 関東地区
- 東北地区
- 北海道地区



0 100 200 400 km



奥田他(2016)

0 100 200 400 km

将来社会変化

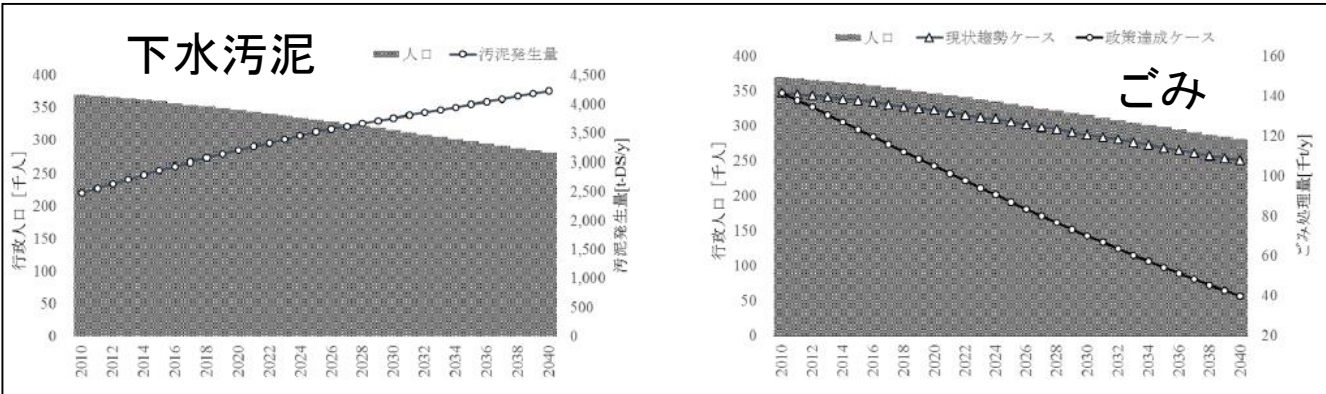
- 将来人口減少下での汚泥処理施設集約を含む維持・更新（ST4）
- 将来人口動態変化とDID地区への人口集約（ST5）

将来人口減少下での汚泥処理施設集約を含む維持・更新 (ST4)

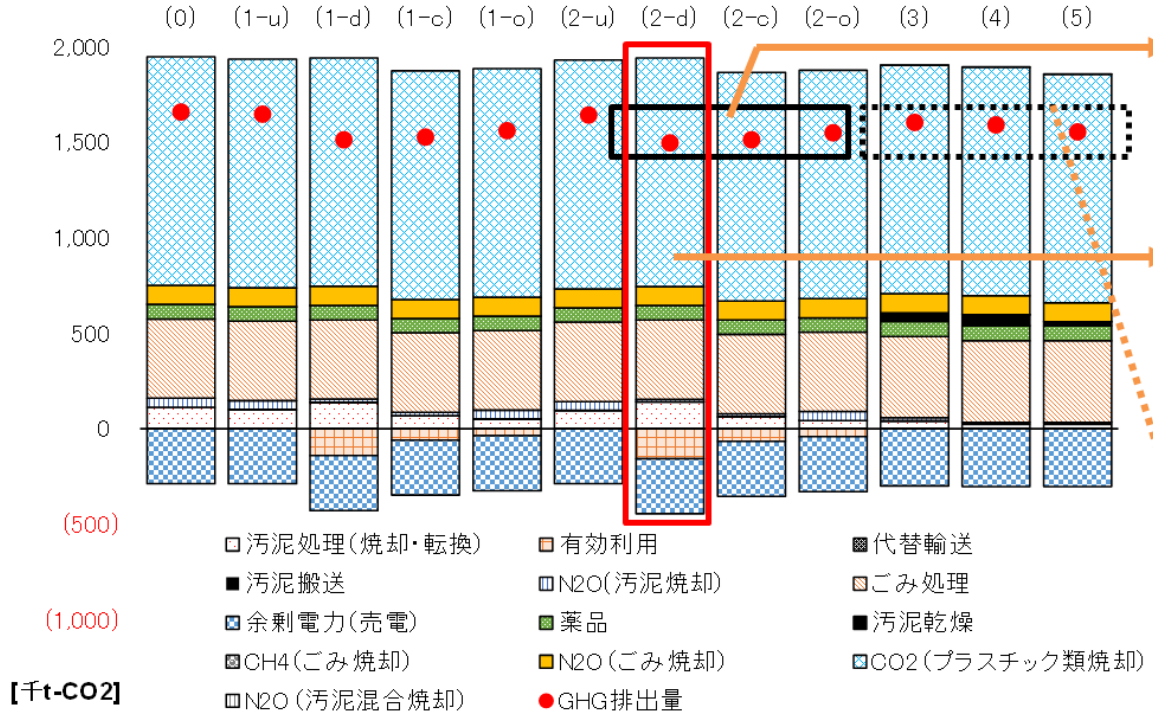
静脈系インフラの更新・再編シナリオとGHG削減効果



○下水処理場(北部SCは汚泥焼却なし)
●ごみ焼却場(発電設備あり)



＜低炭素技術＞u: 高温焼却(大型化), d: 造粒乾燥, c: 低温炭化, o: オイル化



ごみ・汚泥混焼より、汚泥処理の集約+低炭素技術(動脈連携)が低炭素効果あり。

特に、集約拠点での造粒乾燥技術の導入が有利に

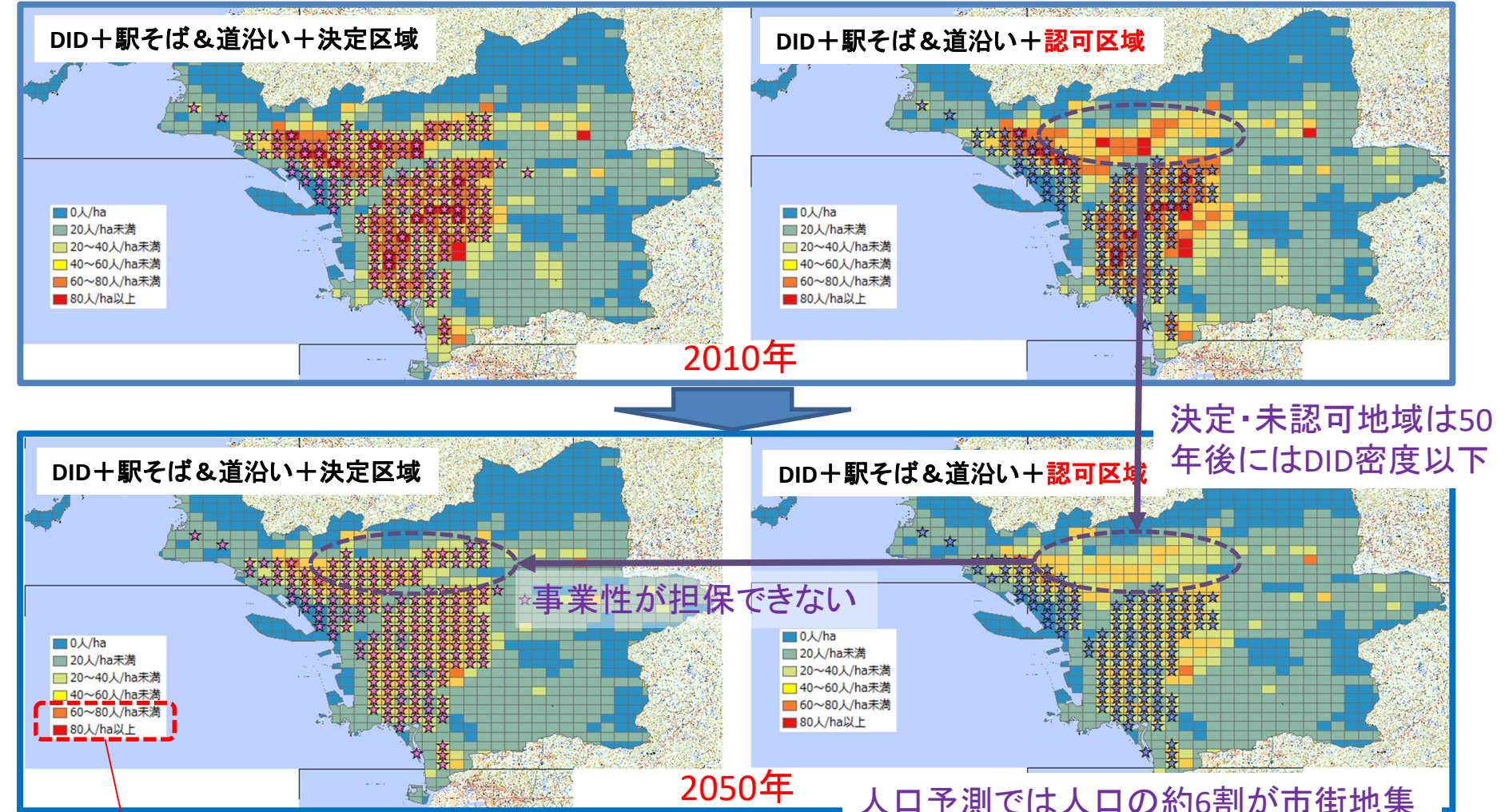
ごみ・汚泥混焼では、汚泥乾燥にごみ焼却熱を利用するシステム構築が望ましい。

シナリオ別のGHG排出量
出典: 中尾他(2015)

中核市規模では今後、分散型、集約型含めたインフラ有効活用が課題

将来の下水道事業認可地域への人口集約

- 40年後の人口動態メッシュ推計を踏まえた、人口集約における必要メッシュの分析
- 人口動態変化→静脈インフラ系都市施設計画をふまえた立地適正化(市街地集約)が必要

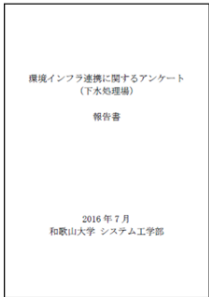


人口予測では人口の約6割が市街地集約地区に居住→人口誘導施策により最大で全人口が集約エリアに居住可能

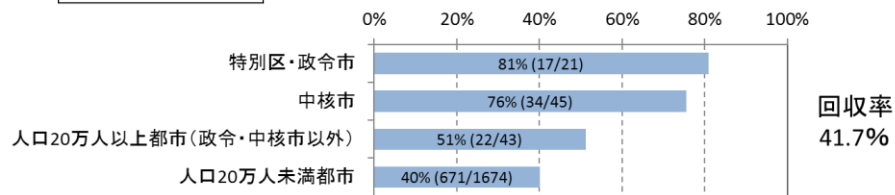
インフラ連携の社会展開

- インフラ連携に対する受容性調査
- 連携の事業性評価
- インフラ連携ガイドの集成

インフラ連携のアンケート(下水処理場・ごみ焼却場)



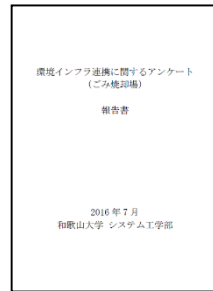
下水処理場



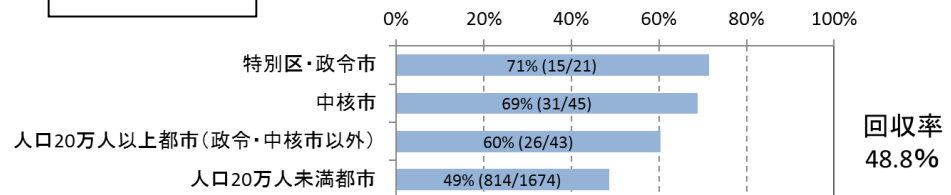
※下水処理場では、このほか県(流域)からも回答あり(39件)

※青字は、共通の質問項目

1. 消化槽設置の有無
2. 消化ガス発電・生ごみ混合消化の有無(1.で「あり」の場合)
3. 消化槽設置の意向・設置しない理由(1.で「なし」の場合)
4. 一般ごみと下水汚泥の混焼の有無
5. 混焼の理由(4.で「あり」の場合)
6. 混焼がうまくいっている要因(4.で「あり」の場合)
7. 混焼の条件(4.で「なし」の場合)
8. 生ごみ混合消化への認知
9. 将来の廃棄物バイオマス受入れ意向
- 10.自治体の環境計画における下水処理場の位置づけ
- 11.ごみ焼却場と下水処理場との計画的な隣接立地の可能性
- 12.意見・コメント



ごみ焼却場



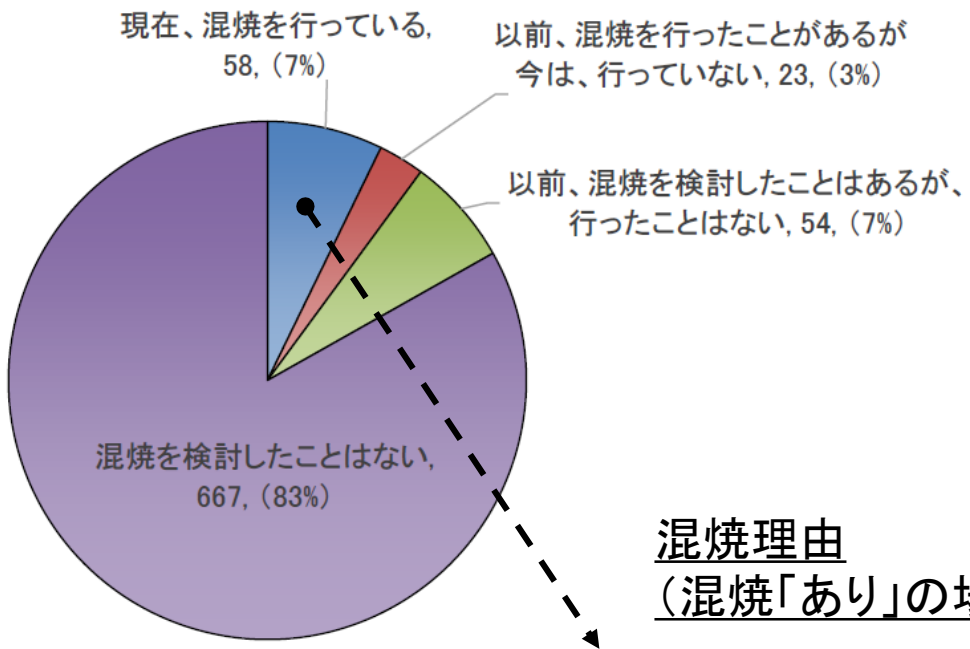
回収率
48.8%

※青字は、共通の質問項目

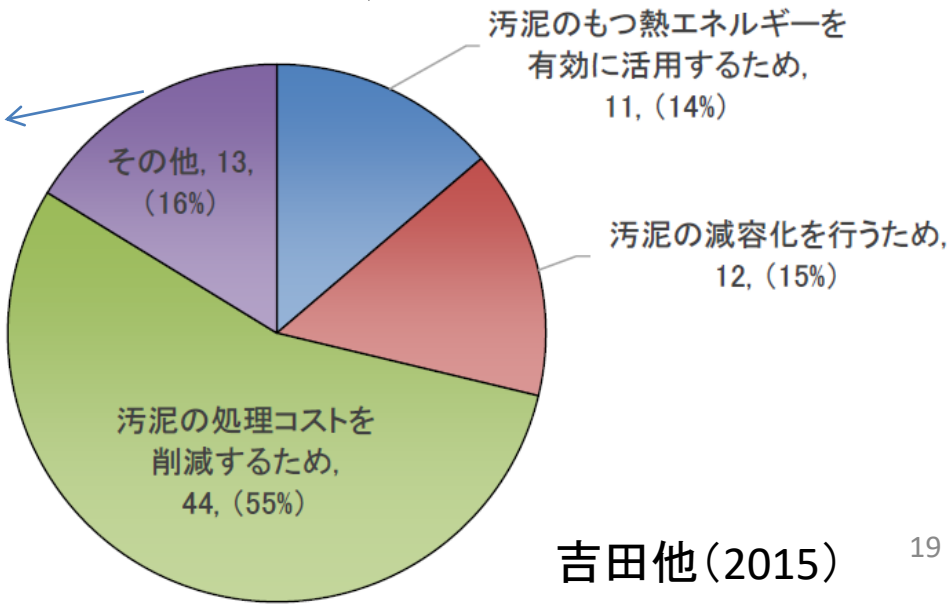
1. ごみ発電の有無
2. 一般ごみと下水汚泥の混焼の有無
3. 混焼理由・うまくいっている要因(2.で「あり」の場合)
4. 混焼の条件(2.で「なし」の場合)
5. その他のバイオマス受入れの有無
6. 将来の廃棄物バイオマス受入れ意向
7. メタンガス化施設を対象とする交付金制度への認知
8. ごみ焼却場への将来のメタンガス化施設の導入意向
9. 生ごみと下水汚泥との混合消化への認知
- 10.自治体の環境計画におけるごみ焼却場の位置づけ
- 11.ごみ焼却排熱の地域での有効利用
- 12.ごみ焼却場と下水処理場との計画的な隣接立地の可能性
- 13.ごみ処理の広域化
- 14.意見・コメント

インフラ連携のアンケート(下水処理場)

汚泥混焼の有無



混焼理由
(混焼「あり」の場合)



- 焼却施設が混合のため
- 観光地であり、下水処理場内へ焼却炉を設置しがたく、長年外部で処理していた。ごみ焼却場の老朽化による更新に伴い、混焼を始めたもの(平成11年～)。
- 処理の安定化のため
- ゴミ焼却業者との協議
- 汚泥焼却炉の建設コストを削減するため
- 脱水汚泥を肥料として使う計画だったが、その需要がないため
- 熔融炉なので汚泥焼却が可能なため
- 汚泥焼却炉を所有していないから

インフラ連携のアンケート(ごみ焼却場)

廃棄物からのエネルギー回収に向けた連携

三. 廃棄物の減量その他その適正な処理に関する施策を推進するための基本的事項

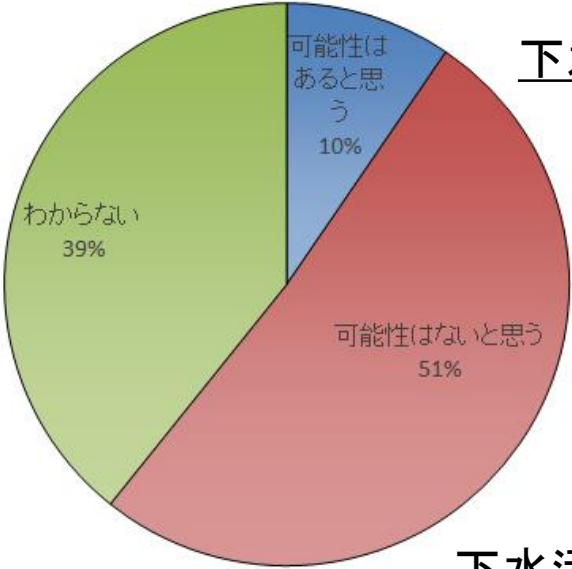
1 施策の基本的枠組み
...

2 国民、事業者、地方公共団体及び国の役割
...

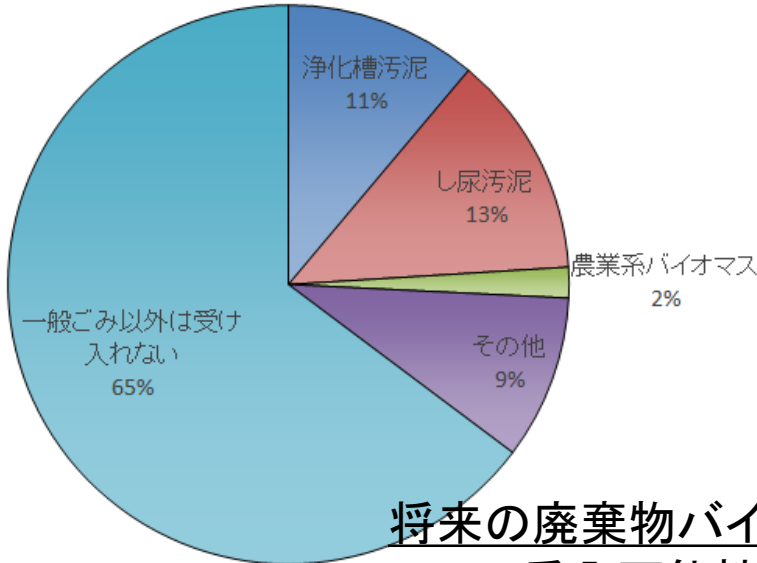
(3) 地方公共団体の役割

...。また、再生利用及び熱回収の効率化等の観点から、**廃棄物処理施設と他のインフラとの連携を推進**するため、関係機関との連携体制の構築や、民間事業者の活用に努めるものとする。

出典：環境省「廃棄物の減量その他その適正な処理に関する施策の総合的かつ計画的な推進を図るための基本的な方針」2016.1.21(環境省告示第7号)



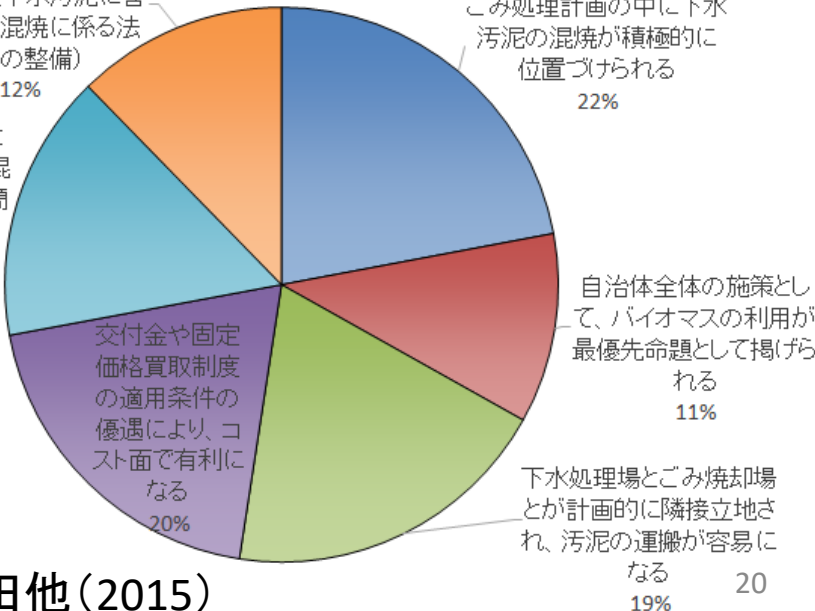
下水処理場とごみ焼却場の計画的な隣接立地の可能性



将来の廃棄物バイオマス受入可能性

その他(一般廃棄物と産業廃棄物(下水汚泥に含まれる)の混焼に係る法令等の整備)
12%

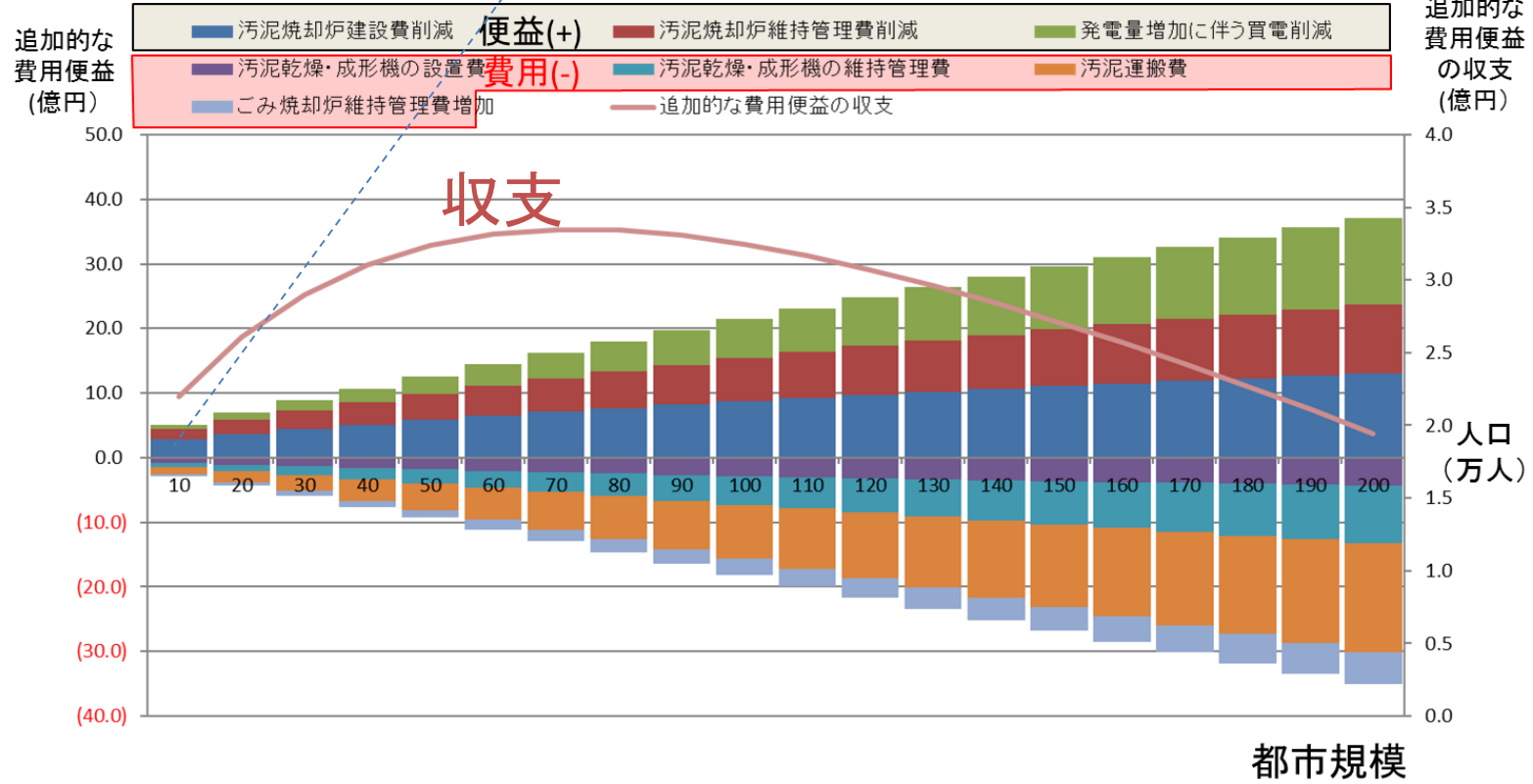
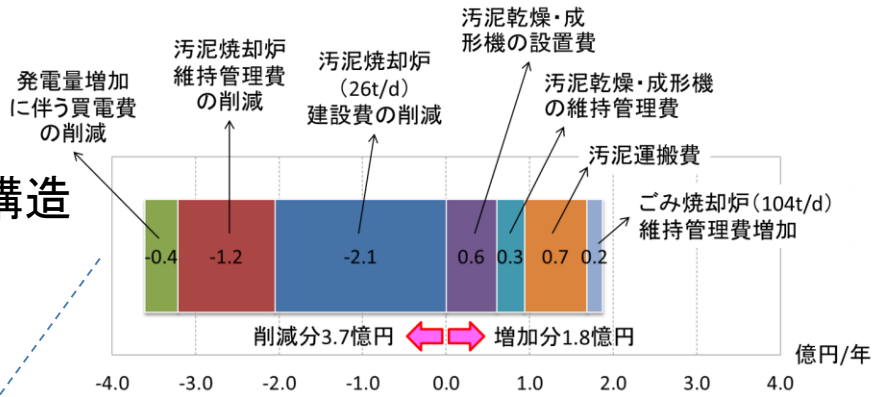
所管省庁(国土交通省と環境省)の連携により、混焼に伴う事務手続きが簡素化される
16%



下水汚泥のごみ混焼の条件

汚泥混合焼却の事業性評価

汚泥混合焼却の事業収支構造
(人口10万人都市)



汚泥運搬費用等により規模が一定以上に大きくなると収支が悪化 21

エネルギー回収のためのインフラ連携の診断ガイド(2/2)

周辺に連携を想定しうる
主体が存在するか？

連携に活用しうる既存
装置があるか？

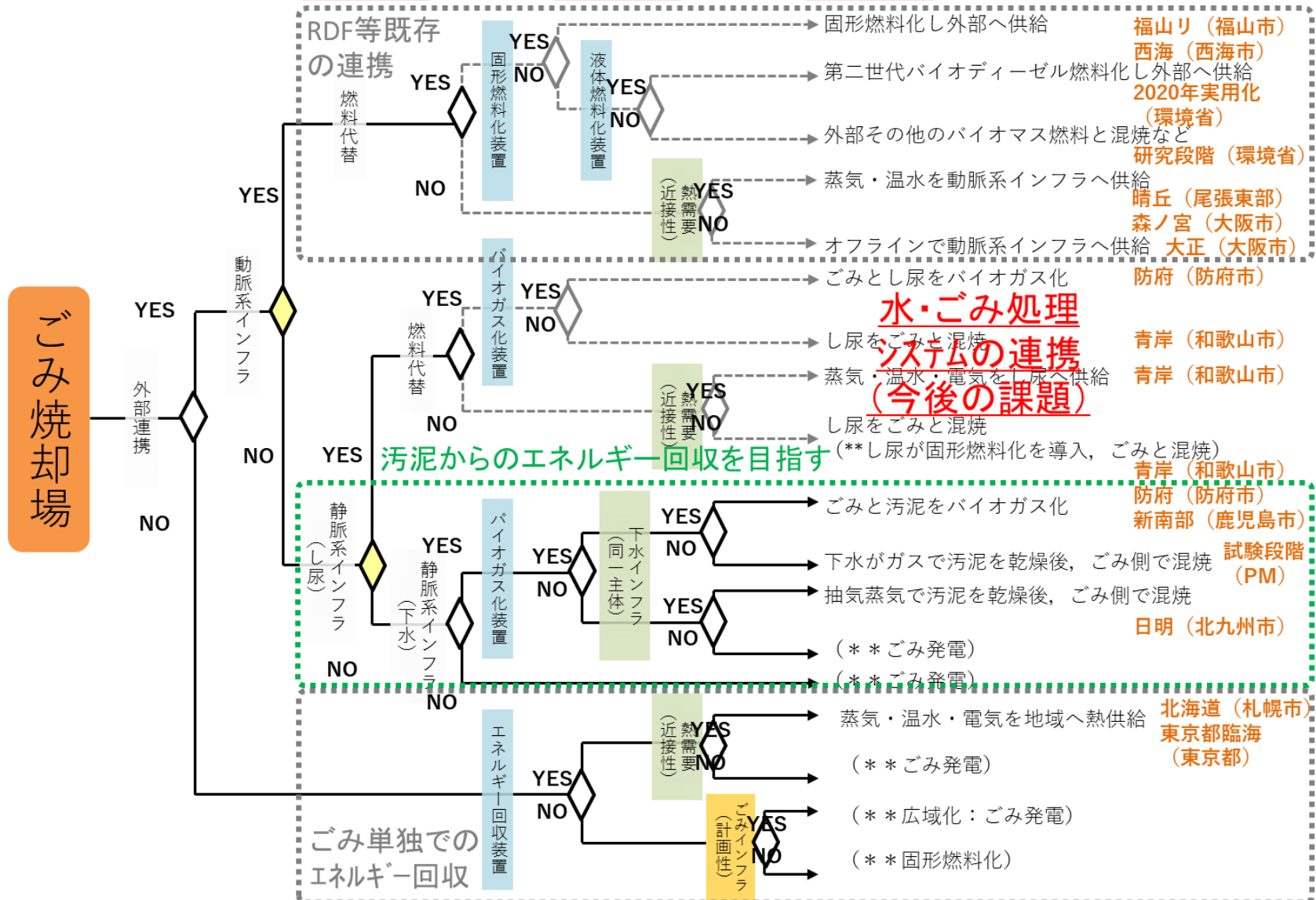
適用可能な連携技術
オプションの提示

主体

装置

技術

インフラ連携ガイド(ST1)



本研究により得られた主な成果(1/2)

【科学的意義】

1. 静脈系インフラ間、動脈系・静脈系インフラ間の連携によるエネルギー回収(GHG削減)効果を評価するモデルを構築した.
→静脈インフラ間の連携で石炭代替燃料を生成し, 動脈インフラで活用する, インフラ連携のupgrade型を提案
2. エネルギー回収に向けたインフラ連携の技術オプションを決定樹木図(Decision Tree)を用いて体系的に整理した.
3. 動脈・静脈系, 静脈系インフラ連携による全国の未利用下水汚泥のエネルギー回収のポテンシャルを明らかにした.
→回収可能汚泥(85%)の具体的連携の組合せ, 未回収15%の空間分布
4. 全国の下水処理場やごみ焼却場におけるインフラ連携への意向, 促進要因を質問紙調査により明らかにした
→ごみ焼却場の10%, 下水処理場の4%が連携意向, 連携に必要な条件

本研究により得られた主な成果(1/2)

【環境政策への貢献】

1. 環境省「廃棄物の減量その他その適正な処理に関する施策の総合的かつ計画的な推進を図るための基本的な方針」(2016.1.21)における、「再生利用及び熱回収の効率化等のための廃棄物処理施設と他のインフラとの連携」を具体化する知見提供
2. 静脈インフラ連携の意向調査結果報告書をまとめて、全国の下水处理場やごみ焼却場に提供.
3. 自治体における連携方策の検討を支援する技術資料・マニュアル, 受容性, 事業性を含むガイドラインを集成.
4. 静脈系インフラ連携(混焼事業等)の可能性を検討する自治体への情報提供, 意見交換を実施(鎌倉市, 和歌山市等).

研究成果を用いた、日本国民との科学・科学技術対話の活動(研究開始～プレゼン前日まで)

③大学・研究機関の一般公開での研究成果の講演

実施日	主催者名	講座名	開催地	参加者数	講演した「研究成果」、「参加者との対話の結果」等
H28.9.21	和歌山大学 (主催)	第85回わ だい浪切 サロン	大阪府	55名	・一般市民を対象に「生ごみや下水汚泥からのエネルギー回収を考える」と題して本推進費の研究成果について講演。 ・参加者から先進的なエネルギーにつき質問があった。

④一般市民を対象としたシンポジウム、博覧会、展示場での研究成果の講演・説明

実施日	主催者名	シンポ名	開催地	参加者数	講演した「研究成果」、「参加者との対話の結果」等
H26.11.4	花王株式会 社	第4回『花 王“いっ しょにeco” フォーラ ム』	和歌山 県	約300名	・パネルディスカッション「『変わりつつある地球』への対応」のパネリストとして、環境インフラ連携について研究成果をもとに話題提供
H28.7.15	瀬戸内海環 境保全知 事・市長会 議	平成28年 度 環境 保全セミ ナー	和歌山 県	110名	・県民等を対象に「下水汚泥からのエネルギー回収の最前線」と題して研究成果をもとに講演。 ・参加者からエネルギー回収技術につき質問があった。

⑥その他、顔の見える双方向コミュニケーション活動を推進する活動

実施日	実施内容、活用した「研究成果」等
H27.9.7	・環境科学会2015年会シンポジウム3「環境インフラの連携による廃棄物からのエネルギー回収」(主催:環境科学会、2015年9月7日、阪大北千里キャンパス、聴講者約20名)にて中間成果報告
H28.10.22	・土木学会環境システム研究論文発表会企画セッション「廃棄物からの高効率なエネルギー回収を目指す技術やインフラの提案」(主催:土木学会環境システム委員会、首都大学東京南大沢キャンパス、聴講者約30名)にて中間成果の報告

本課題の成果に係る「査読付」論文(国際誌・国内誌)の発表

執筆者名	発行年	論文タイトル	ジャーナル名等
中久保豊彦, 小林 緑	2016	小林緑: 地方都市・農村域における汚泥処理機能の統合化による温室効果ガス排出削減効果の解析―群馬県を対象としたケーススタディー	土木学会論文集G(環境), Vol.72, No.6(2016), pp.45-56
奥田拓也, 中尾彰文 他	2016	産業・環境インフラと連携した下水汚泥の燃料利用がGHG削減に及ぼす効果	土木学会論文集G(環境), Vol.72, No.6(2016), pp.57-66

他4本。 以上は全て、脚注又は謝辞に「環境省」・「環境研究総合推進費」・「課題番号」を記載。

本課題の成果に係る「査読付論文に準ずる成果発表」論文の発表 又は 本の出版

執筆者名	発行年	タイトル	ジャーナル・出版社名等
なし			

マスコミ発表(プレスリリース、新聞掲載、TV出演、報道機関への情報提供 等)

種類	年月	概要	その他特記事項(あれば)
なし			

国内外における口頭発表(学会等)

学会等名称	年月	発表タイトル	その他特記事項(あれば)
9th i-CIPEC 2016	2016.9	<i>Analysis of reduction effect of greenhouse gas by introducing collaborative updating plan for sewage treatment and waste incineration plants</i>	Award for outstanding poster presentation 受賞
第27回廃棄物資源循環学会研究発表会	2016.9	GHG削減を最大とする下水汚泥燃料の産業などへの配分に関する研究	

他23件。 以上は全て「環境省」・「環境研究総合推進費」・「課題番号」を明示。

知的財産権

知的財産権の種類	概要(簡潔に)	その他特記事項(あれば)
なし		

行政ニーズに即した 環境政策への貢献事例

概要(簡潔に)	その他特記事項(あれば)
静脈系インフラ連携(混焼事業等)の可能性を検討する自治体への情報提供、意見交換を実施(鎌倉市、和歌山市等)	

行政ニーズに即した 今後の環境政策への貢献「見込み」

概要(簡潔に)	その他特記事項(あれば)
環境省「廃棄物の減量その他その適正な処理に関する施策の総合的かつ計画的な推進を図るための基本的な方針」(2016.1.21)における、2.(3)地方公共団体の役割「再生利用及び熱回収の効率化等のための廃棄物処理施設と他のインフラとの連携」を具体化するための知見として貢献しうる。	