

環境再生保全機構・環境研究総合推進費 統合領域・若手枠

課題番号:1RF-1904、体系的番号:JPMEERF20191R04

(研究実施期間 2019～2021年度)

事業効率化と環境価値創出の両立を目指す 排水処理・汚泥資源化システムの再編

研究代表機関: 国立大学法人お茶の水女子大学

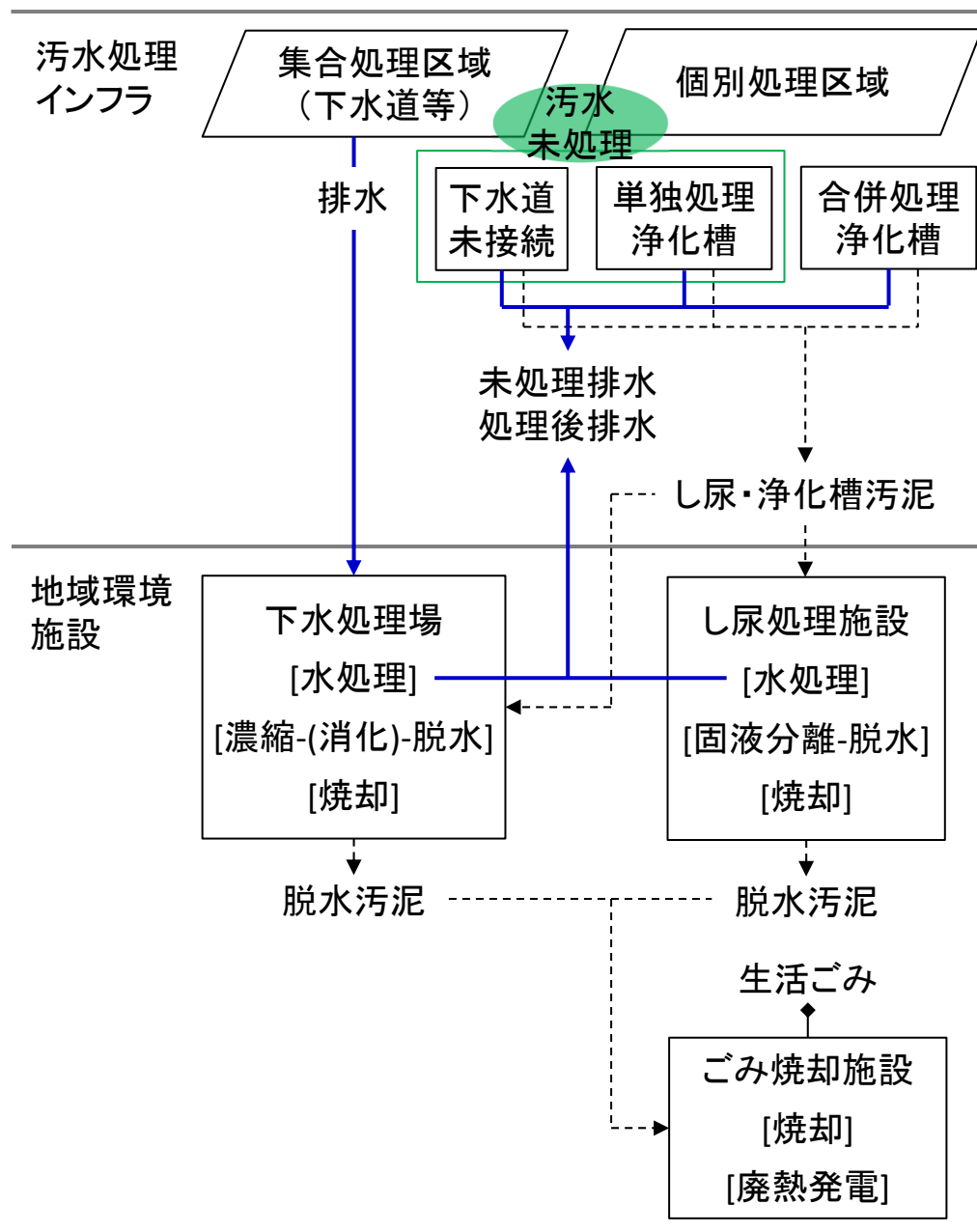
研究代表者: 中久保 豊彦

污水処理が抱える課題

- 下水道未接続世帯の存在、単独処理浄化槽の継続使用に伴い、生活雑排水の未処理排出は依然として残っている。
- 污水処理率を向上させることにより得られる河川水質の改善効果について、十分に定量的評価がなされてこなかった。

汚泥処理・資源化が抱える問題

- 耐用年数を迎えたし尿処理施設の更新を検討するにあたり、下水処理場によるし尿・浄化槽汚泥の受入が検討事項となる。
- 下水処理場における脱水汚泥を対象としたエネルギー化技術の導入は、経済性の観点から大都市の下水処理場に限定されるため、中小下水処理場において脱水汚泥の処理に要するエネルギー効率を高める手段を模索する必要性がある。



課題(1): 汚水処理率の向上がもたらす河川水質改善効果のシナリオ解析

- 汚水処理率の向上がもたらす河川水質改善の効果を生シナリオ解析するための方法論を構築する。
対象地域: 群馬県 施策: 下水道等未接続世帯による接続、単独処理浄化槽の合併転換
 - 生活雑排水に含まれる洗剤 (LAS、AE) を対象とした生態リスク評価手法の開発
 - 有機汚濁物質 (BOD) を対象とした水生生物生息環境評価手法の開発

課題(2): 汚泥資源化システムを対象とした地域環境施設の再編

- 地域環境施設 (下水処理場、し尿処理施設、ごみ焼却施設) の再編を対象とし、汚泥処理機能統合 (下水処理場によるし尿・浄化槽汚泥の混合処理) と焼却機能統合 (ごみ焼却施設による脱水汚泥の混合焼却) の導入効果を解析するモデルの構築。
- ごみ焼却施設 (流動床炉) での脱水汚泥の直接混焼を想定した、熱収支解析モデルの開発。

課題(3): 汚水処理率の向上と汚泥処理機能統合の複合施策

- 多様な地域での汚泥処理機能統合の立案支援に向けた、下水処理場・物質収支モデルの構築。
- 排水処理系に着目した、汚水処理率の向上と汚泥処理機能統合の複合施策の評価。

課題(4): 多様な技術条件を想定した焼却機能統合の導入支援

- 多様な地域での焼却機能統合の立案支援に向けた、熱収支解析モデルの開発。
対象技術: ストーカ炉、流動床炉 条件: 新設時に汚泥混焼を想定、既設の施設での検討

サブテーマ1

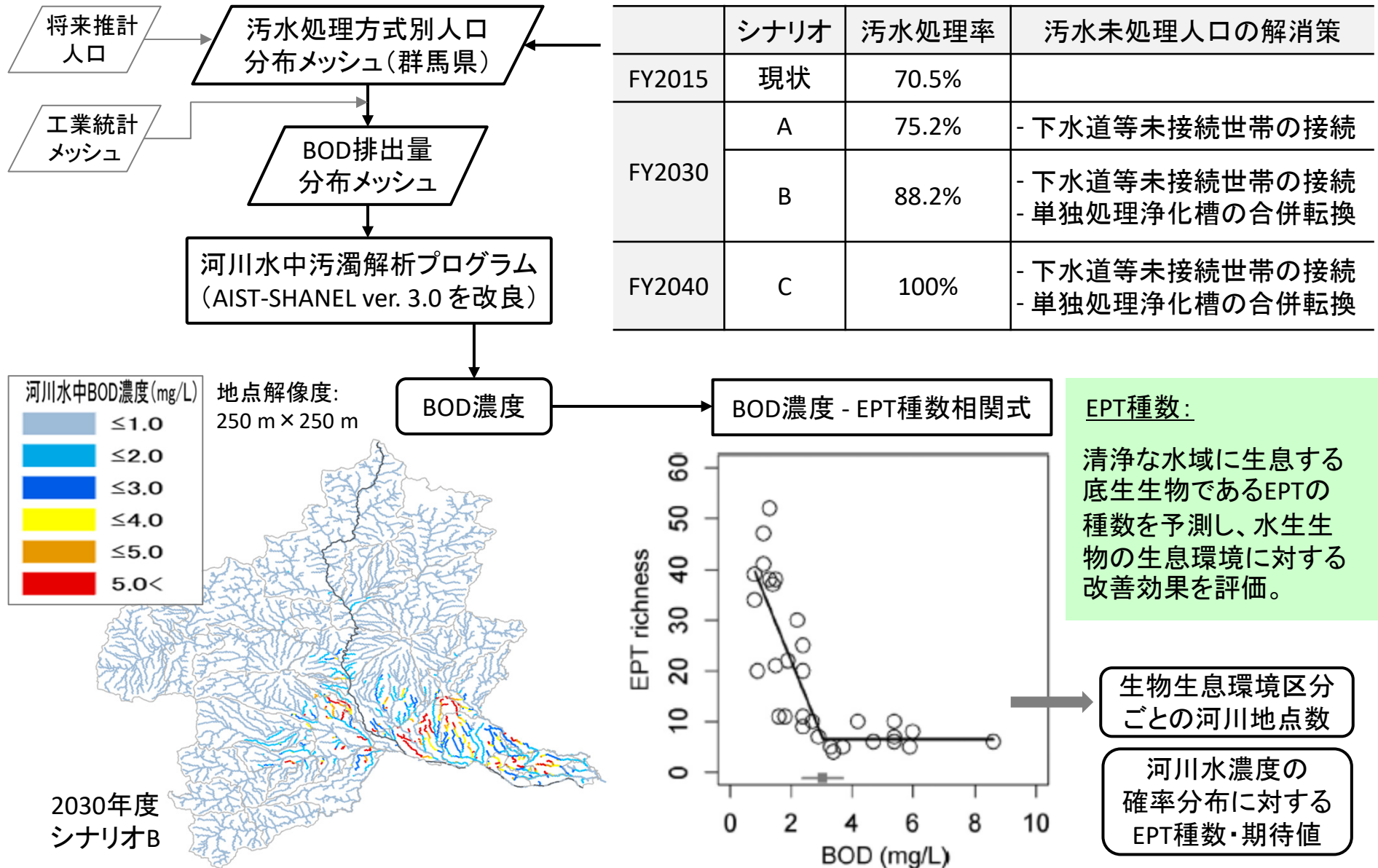
事業効率化と環境価値創出の両立を目指す排水処理・汚泥資源化システムの再編

2019年度研究目標は、汚水処理人口普及率の向上による生態リスク削減シナリオの設計・評価である。具体的には、群馬県を対象とし、汚水処理方式別人口分布に基づく洗剤排出分布図とAIST-SHANEL(産業技術総合研究所-水系暴露解析モデル)を連結させ、公共用水域における洗剤濃度を推計するためのモデルを開発する。汚水処理人口普及率の到達目標設定と将来人口予測に基づき、将来の汚水処理方式別人口分布をシナリオで表現する。種の感受性分布に基づくPAF (Potentially Affected Fraction of species) を評価指標とし、シナリオ解析を通して生態リスク削減効果を可視化する。

2020年度研究目標は、横断系(排水処理、汚泥資源化)での温室効果ガス排出削減シナリオの設計・評価である。具体的には、浄化槽ならびに地域環境施設(下水処理場、し尿処理施設、ごみ焼却施設)を対象とした連携型更新計画を設計・評価するための支援モデルを開発する。多様な循環圏スケール(中核自治体単独、中核自治体と小規模自治体の連携、小規模自治体間の連携、流域下水道事業による集約)を対象としたケーススタディを積み重ねることにより、地域の環境施設全体での最適化を図るための更新計画論を体系化する。

2021年度研究目標は、人口減少社会への頑健な適応に向けた事業効率性評価と環境価値の可視化である。具体的には、2019年度研究のとりまとめに向け、化学物質管理分野における生態リスク削減対策を対象とした費用対効果の分析事例のレビューを通して、生態リスク管理基準を体系化する。汚水処理人口普及率の向上による生態リスク削減の費用対効果を分析し、管理基準との比較・検証を行う。また、2020年度研究のとりまとめに向け、多様な循環圏スケールを対象としたケーススタディにコスト評価を加え、更新計画の策定支援に向けた技術資料・マニュアルを作成する。事業コスト面での環境インフラ維持管理の頑健性の向上と、温室効果ガスの排出削減を両立した地域循環圏像を描く。

(1) 汚水処理率の向上がもたらす河川水質改善効果のシナリオ解析



(1) 汚水処理率の向上がもたらす河川水質改善効果のシナリオ解析

生物生息環境区分:

区分	BOD濃度, C (mg/L)
I 	Excellent $C \leq 1.0$
II 	Good $1.0 < C \leq 3.0$
III 	Poor $3.0 < C \leq 5.0$
IV 	Very poor $C > 5.0$

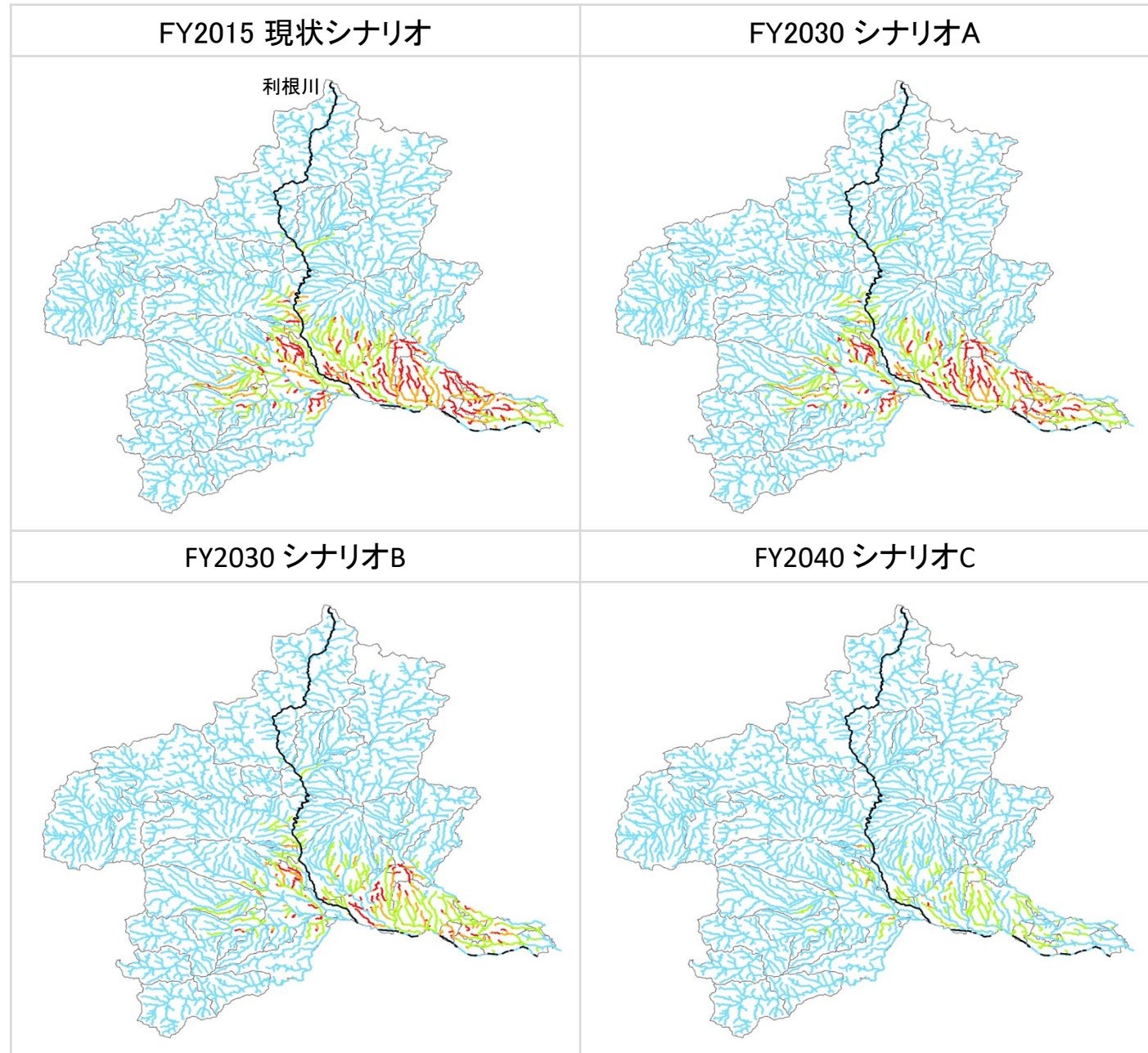


図: BOD濃度の将来推計に基づく生物生息環境区分の判定結果

(1) 汚水処理率の向上がもたらす河川水質改善効果のシナリオ解析

表：群馬県下の河川での生息環境区分別地点数の算定結果

		生物生息環境区分に対する地点数			
		I Excellent	II Good	III Poor	IV Very poor
FY2015	現状シナリオ	11,934	1,528	781	829
FY2030	シナリオA	12,366	1,494	554	658
	シナリオB	12,944	1,509	362	257
FY2040	シナリオC	14,152	870	47	3

表：生物生息環境区分の改善に対する費用対効果（市町村単位）

市町村 ^a	評価対象 地点数 ^b	改善地点数 ^c		費用対効果 ^d	
		シナリオ 現状→B	シナリオ B→C	シナリオ 現状→B	シナリオ B→C
前橋市	592	423	201	57	72
高崎市	442	244	249	30	30
太田市	421	272	255	22	63
伊勢崎市	368	167	246	15	33
安中市	180	155	67	30	52
渋川市	177	113	115	38	71
館林市	171	65	149	27	91
富岡市	134	104	68	29	39

^a 評価対象地点数が多い順。

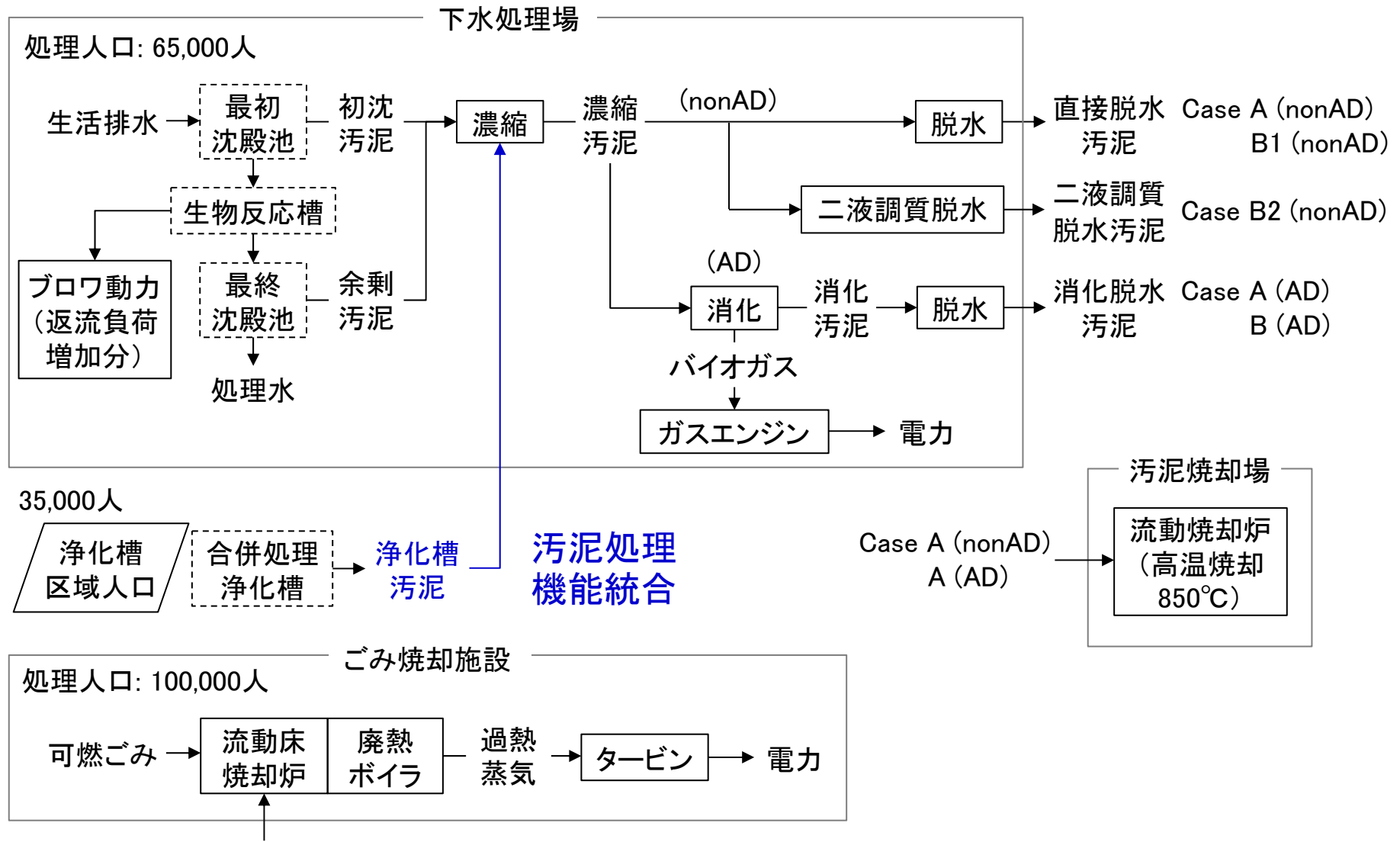
^b 現状シナリオにおいて、生物生息環境区分がⅡ，Ⅲ，Ⅳと評価された地点数。

^c 評価対象地点数について、生物生息環境区分が改善した地点数。

^d 単位：地点数／10億円

- 区分Ⅲ・Ⅳとなる地点数の総計は、現状シナリオの1,610地点に対し、下水道等への接続が進むシナリオAでは1,212地点（**25%削減**）、単独処理浄化槽の合併転換の効果も加わるシナリオBでは619地点（**62%削減**）まで減少した。
- 汚水処理率が100%に到達するシナリオCでは、区分Ⅲ・Ⅳの地点数は50地点（**97%削減**）にまで減少する。
- 生物生息環境区分が改善した地点数に対し、解消に要する費用との比をとることで、費用対効果を推計した。

(2) 汚泥資源化システムを対象とした地域環境施設の再編

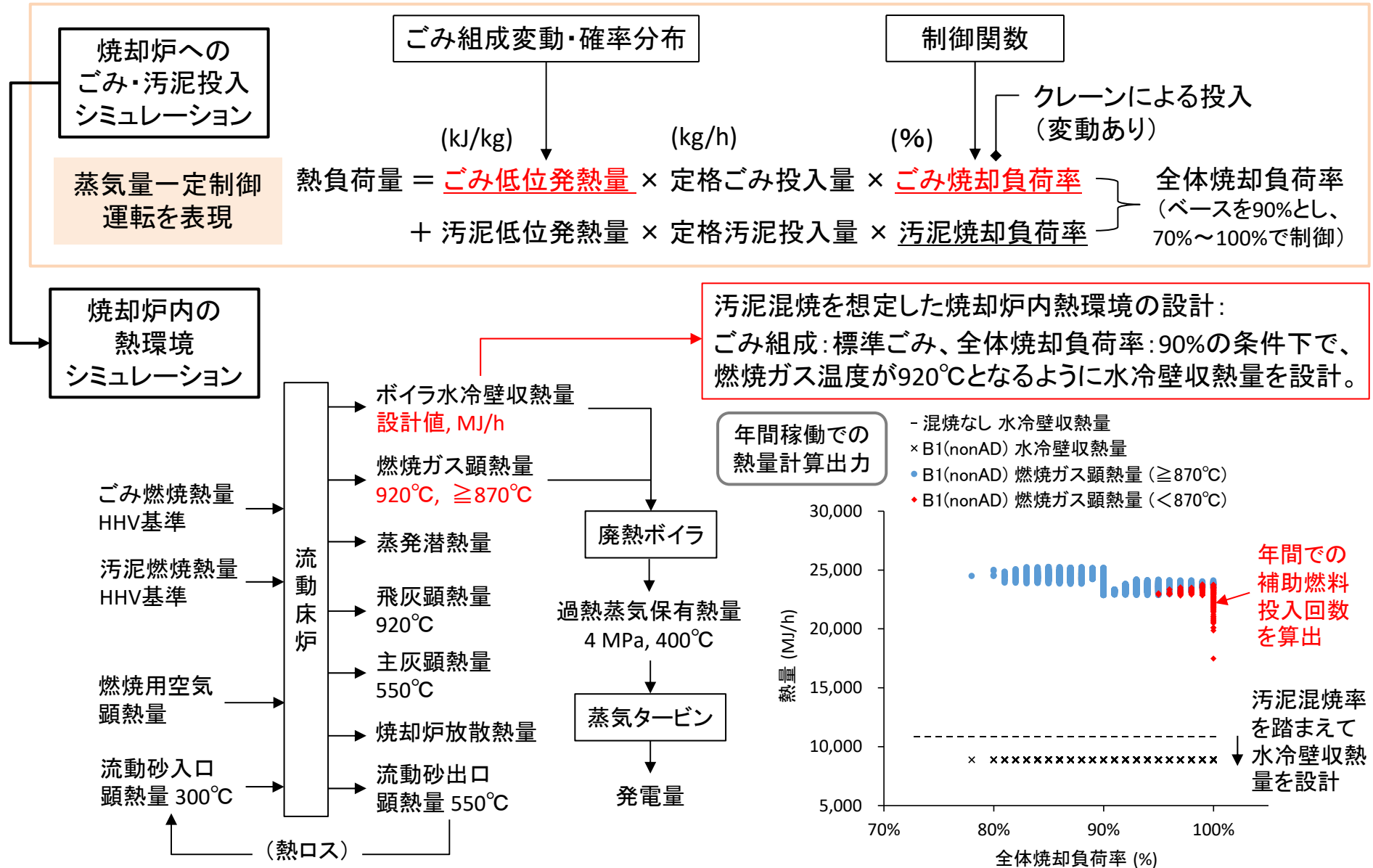


Case B1 (nonAD), B2 (nonAD), B (AD) 焼却機能統合

汚泥混焼率: 28.9% 23.0% 22.3%

(2) 汚泥資源化システムを対象とした地域環境施設の再編

➤ ごみ焼却施設(流動床炉)での脱水汚泥の直接混焼を想定した熱収支解析モデルの開発



(2) 汚泥資源化システムを対象とした地域環境施設の再編

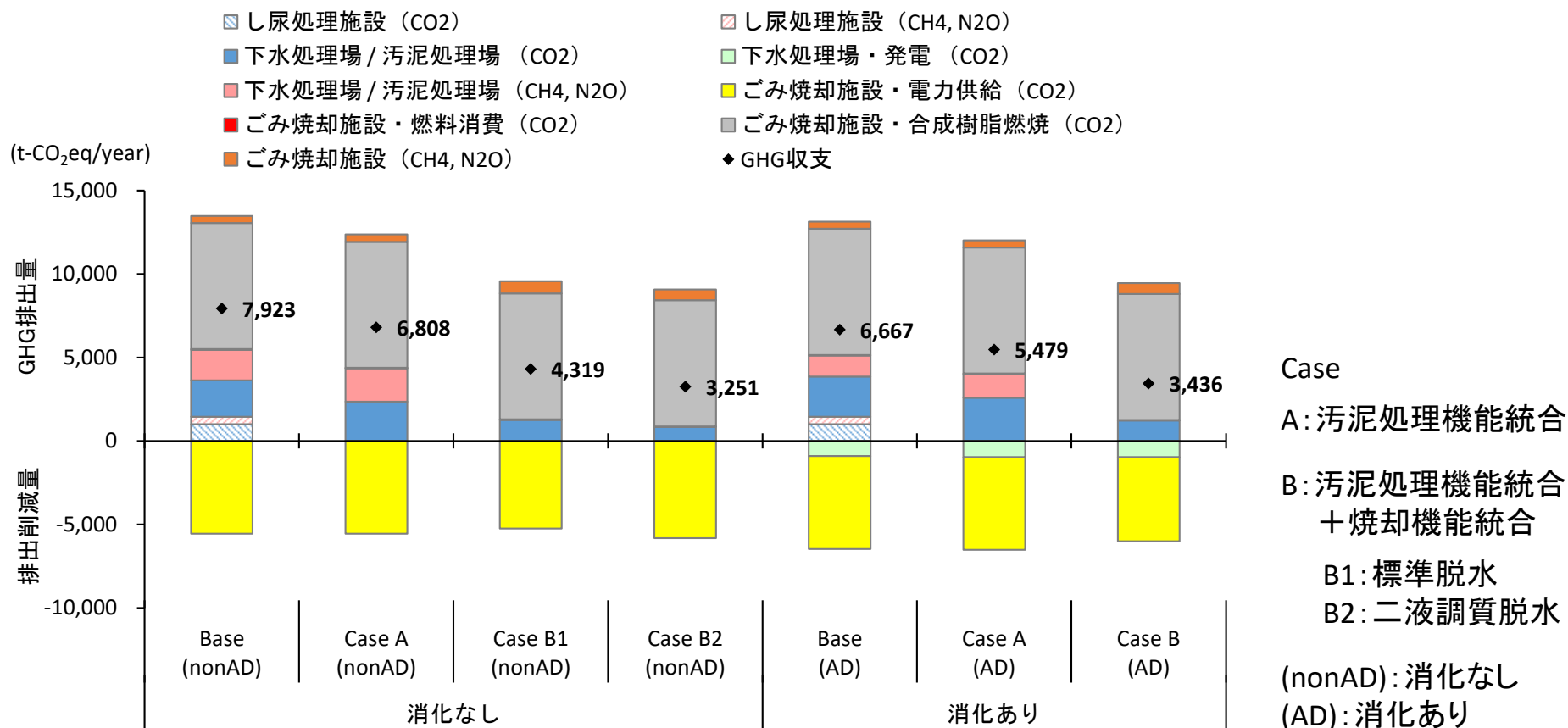


図: 温室効果ガス排出量による更新計画(汚泥処理機能統合、焼却機能統合)の評価結果

- Base (nonAD)を基準とした温室効果ガス排出削減効果では、Case B2 (nonAD)で**59%削減**、Case B (AD)で**57%削減**となり、半減以上の削減効果が期待できることが示された。
- 消化を行わず、二液調質脱水条件下で焼却機能統合を行うCase B2 (nonAD)が、消化を行うCase B (AD)と同性能の評価結果となり、焼却機能統合を実施する場合、脱水汚泥の含水率を低下させる施策が嫌気性消化の導入と同水準の効率改善を生み出すことを明らかにした。

(3) 汚水処理率の向上と汚泥処理機能統合の複合施策

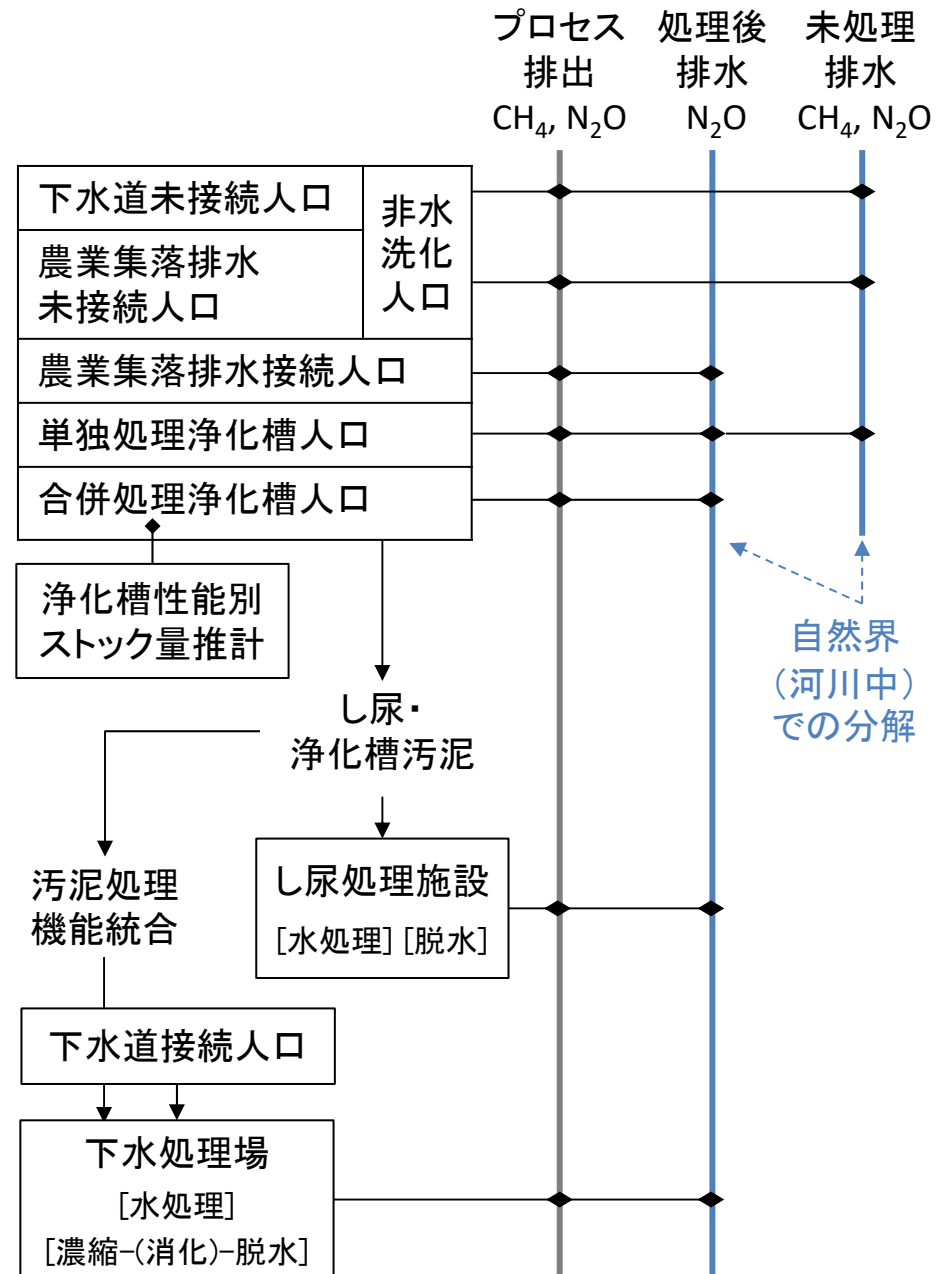
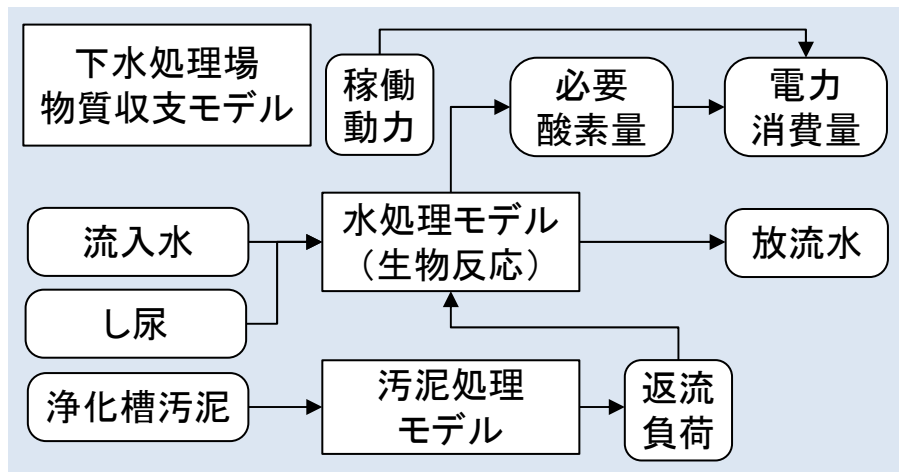
- 排水処理系に着目した、汚水処理率の向上と汚泥処理機能統合の複合施策の温室効果ガス排出量に対する評価。



- 多様な地域での汚泥処理機能統合の立案支援に向けた下水処理場・物質収支モデルの構築

対象:

- 標準活性汚泥法
- 標準活性汚泥法施設での硝化促進・脱窒運転
- オキシレーションディッチ法



(3) 汚水処理率の向上と汚泥処理機能統合の複合施策

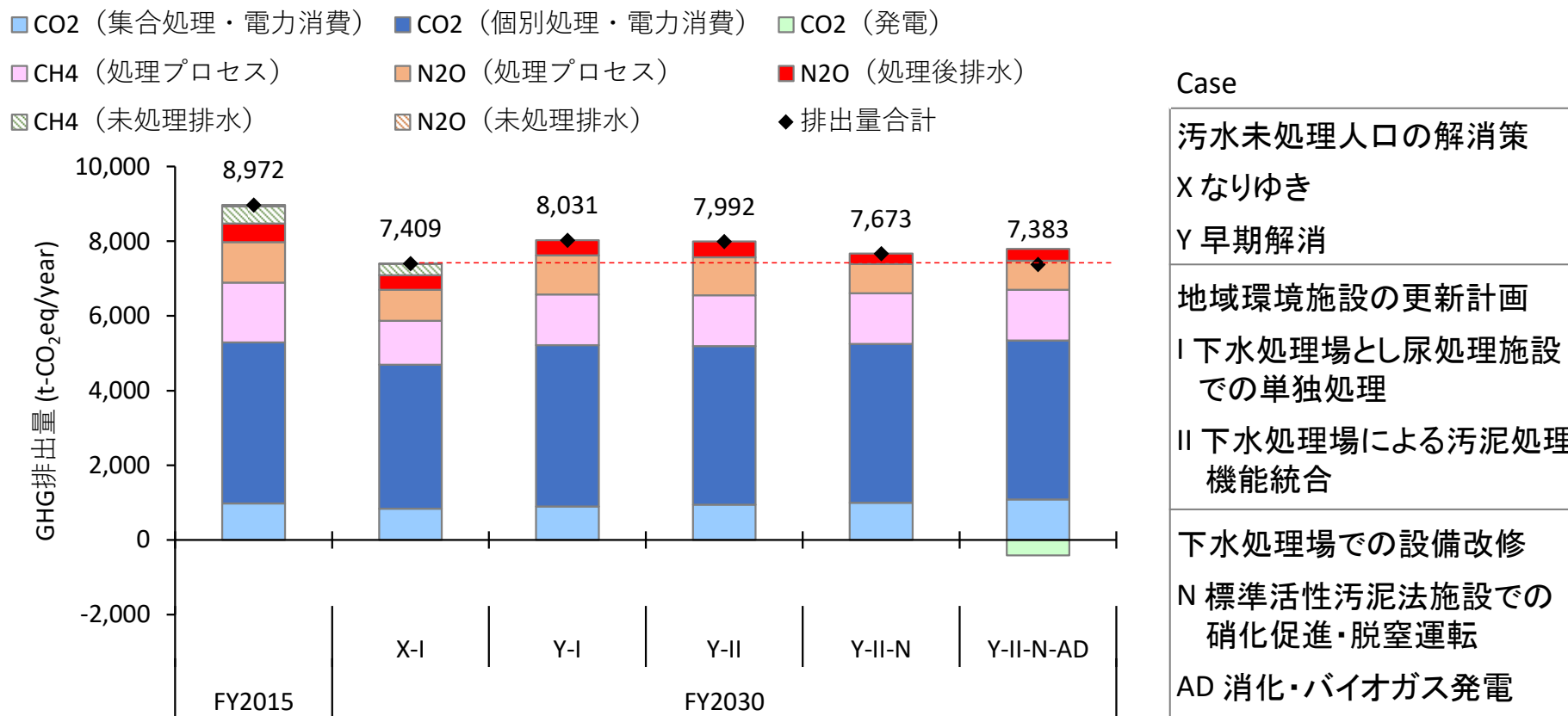
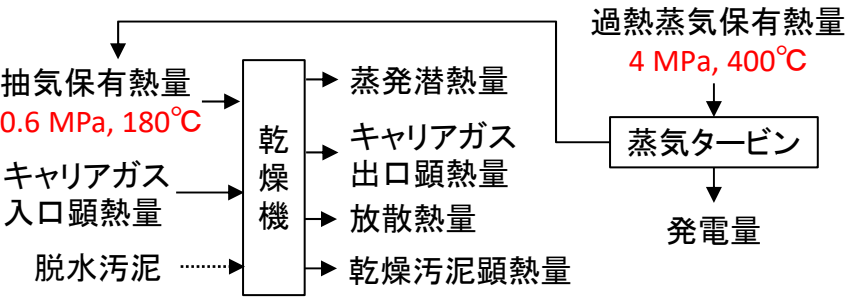
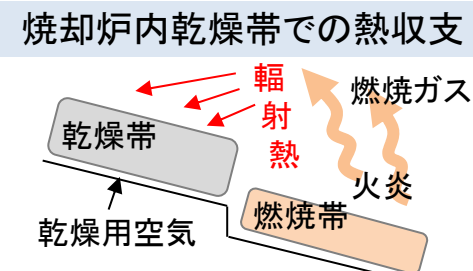
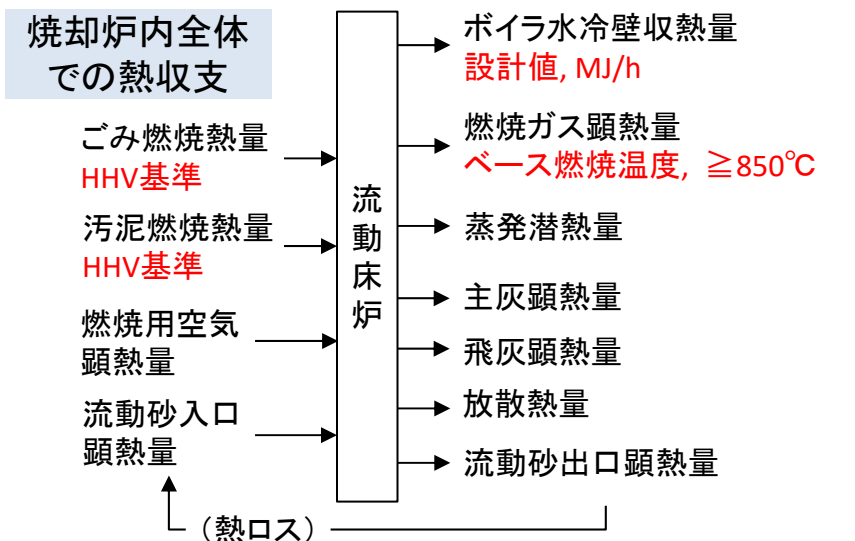
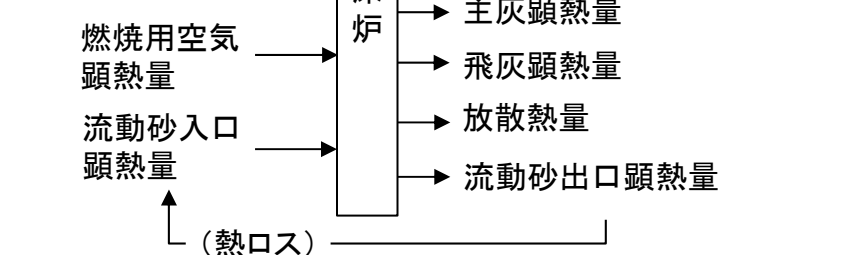


図: 排水処理系に着目した浄化槽・地域環境施設更新による温室効果ガス排出量の評価結果

- 汚水未処理人口が残るX-Iと解消されるY-Iを比較すると、地域内での生活雑排水の処理量自体が増加するため、温室効果ガス排出量の増加を招く結果となった。
- 下水処理場が汚泥処理機能統合を行うとともに、標準活性汚泥法施設での硝化促進・脱窒運転への改修、嫌気性消化の導入を行うことにより、排出削減分で増加分を相殺できることを示した。

(4) 多様な技術条件を想定した焼却機能統合の導入支援

処理計画	汚泥混焼に関わる技術プロセス	汚泥の混焼方式と受入上限
<p>ストーカ炉</p> <p>条件: 新設時に汚泥受入を想定した施設計画</p>		<p>【混焼方式】タービン抽気を活用した間接加熱型汚泥乾燥機を設置し、脱水汚泥を乾燥機で乾燥させた後に、乾燥汚泥を焼却炉に投入。</p> <p>【汚泥受入上限】タービンに投入する過熱蒸気量に対し、抽気量(ボイラ給水加温用、汚泥乾燥用の総計)が30%以内となることを技術上の制約とした。</p>
<p>ストーカ炉</p> <p>条件: 既設施設での汚泥受入</p>	<p>焼却炉内乾燥帯での熱収支</p>  <p>供給熱量:</p> <ul style="list-style-type: none"> ・ 輻射熱量 ・ 乾燥用空気顕熱量 <p>消費熱量:</p> <ul style="list-style-type: none"> ・ 汚泥含む燃焼物の蒸発潜熱量 	<p>【混焼方式】脱水汚泥を直接、焼却炉に投入。</p> <p>【汚泥受入上限】焼却炉内乾燥帯で汚泥含む燃焼物が十分に乾燥せず着火しない頻度。年間稼働を通して、同頻度が10%を超えないことを制約とした。</p>
<p>流動床炉</p> <p>条件: 新設時に汚泥受入を想定した施設計画</p>	<p>焼却炉内全体での熱収支</p> 	<p>【混焼方式】脱水汚泥を直接、焼却炉に投入。</p> <p>【汚泥受入上限】新設時に焼却炉内のボイラ水冷壁収熱量を低下させる下限値。年間稼働を通した燃焼ガス温度の変動値に対して、補助燃料消費の頻度(条件: 燃焼ガス温度 < 850°C)が5%を超えないことを制約とした。</p>
<p>流動床炉</p> <p>条件: 既設施設での汚泥受入</p>	<p>焼却炉内全体での熱収支</p> 	<p>【混焼方式】脱水汚泥を直接、焼却炉に投入。</p> <p>【汚泥受入上限】供用後に改修し、焼却炉内のボイラ水冷壁収熱量を低下させる下限値(設計値の50%まで低下可能)。年間稼働を通した燃焼ガス温度の変動値に対して、補助燃料消費の頻度が5%を超えないことを制約とした。</p>

(4) 多様な技術条件を想定した焼却機能統合の導入支援

表：ごみ焼却施設での汚泥受入率上限値の解析結果

		汚泥受入率の上限値			
		直接 脱水汚泥	二液調質 脱水汚泥	消化 脱水汚泥	し尿 脱水汚泥
ストーカ炉	汚泥受入を想定した設計 (抽気を活用する乾燥機付き)	52%	64%	47%	44%
	既設の施設での汚泥受入	9%	12%	8%	8%
流動床炉	汚泥混焼を想定した設計	72%	93%	63%	58%
	既設の施設での汚泥受入	36%	46%	31%	30%

- ごみ焼却施設における技術条件を踏まえ、汚泥受入率の上限値をケーススタディした結果、新設時に汚泥混焼を想定する条件下では、ストーカ炉、流動床炉ともに汚泥受入能力を十分に保有していることを明らかにした。
- ストーカ炉と流動床炉を比較して、流動床炉の場合は焼却炉内全体での熱収支を満たすように熱環境を設計すればよいため、汚泥混焼に対する適合性が高い。既設の施設での汚泥受入に対しても、設備改修によりボイラ水冷壁収熱量を低下させることにより汚泥受入の準備が可能となる。人口減少やごみ減量化に対して、ごみ焼却施設の供用後に汚泥混焼を検討することを想定した場合、流動床炉が技術面で有利となる。

- 本研究課題では、汚水処理率の向上がもたらす河川水質の改善効果を評価する手法を構築した。汚水未処理人口の解消(下水道等未接続世帯による接続、単独処理浄化槽の合併転換)には、生活者による費用負担が求められる。本研究で構築した手法を活用することで、生物生息環境の改善効果を可視化することができ、費用支出を促すための情報提供(効果の提示)が可能となる。また、自治体による公費支出(浄化槽設置整備事業、公共浄化槽等整備推進事業)に対し、その妥当性を判断する上での情報として、費用対効果を提示した。
- 事業効率化と連動した地域環境施設の更新計画として、汚泥処理機能統合(下水処理場によるし尿・浄化槽汚泥の混合処理)と焼却機能統合(ごみ焼却施設による脱水汚泥の混合焼却)の導入効果を示した。し尿処理施設での汚泥焼却、下水処理事業での汚泥焼却が行われていることを基準として、温室効果ガス排出量で評価した結果、2つの機能統合策を導入することで、半減以上の削減効果が得られることを明らかにした。対象とした施策は、地方公共団体実行計画に反映させることが可能な施策である。また、個別の自治体が汚泥処理機能統合を立案することを支援する手法としての下水処理場・物質収支モデル、焼却機能統合の立案を支援する熱収支解析モデルを開発した。これにより、多様な地域での施策立案を支援することができる技術資料とした。

6-1. 査読付き論文

<件数> 3件

- 1) 中久保豊彦、石川百合子:土木学会論文集G(環境)76(6), II_129-II_140(2020)
「汚水処理率の改善に伴う生態リスク削減効果の解析－群馬県汚水処理計画を対象として－」
- 2) 盧梓馨、王柯樺、中久保豊彦:土木学会論文集G(環境)76(6), II_153-II_164(2020)
「地域全体でのエネルギー収支の改善に向けた汚泥処理機能・焼却機能の統合」
- 3) 村岡治城、尾崎平、中久保豊彦:土木学会論文集G(環境)76(6), II_305-II_317(2020)
「人口減少下の下水処理施設更新に係る集約型・分散型更新施策のライフサイクル評価－小規模施設が点在する地域を対象として－」

6-2. 知的財産権

特に記載すべき事項はない。

6-3. その他発表件数

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)	15件
「国民との科学・技術対話」の実施	0件
マスコミ等への公表・報道等	0件
本研究に関連する受賞	1件