

資料3-1

地域特性・社会情勢の変化等に応じた 2050年シナリオ検討・感度分析

目次

1. 第2回分科会報告概要
2. シナリオ
3. 追加技術概要
4. 試算結果
5. その他脱炭素に資する技術について
6. 総括
7. まとめ 今後の予定

1. 第2回分科会報告概要

背景・目的

- ・令和3年度エネルギー分科会において、下水道分野、他分野の技術開発の動向を踏まえ、2050年カーボンニュートラルの実現に貢献するための下水道技術について、どういった対策・技術分野が導入されれば、どの程度削減に貢献できるのか、感度分析的に検討し、削減効果の試算結果を報告。
- ・令和3年度試算はあくまで全国一律に対策技術が導入されたという条件で実施していたため、本年度試算は水処理方式、処理規模別に算出、また条件を見直し、カーボンニュートラル達成へ向けて促進すべき技術開発項目を抽出。

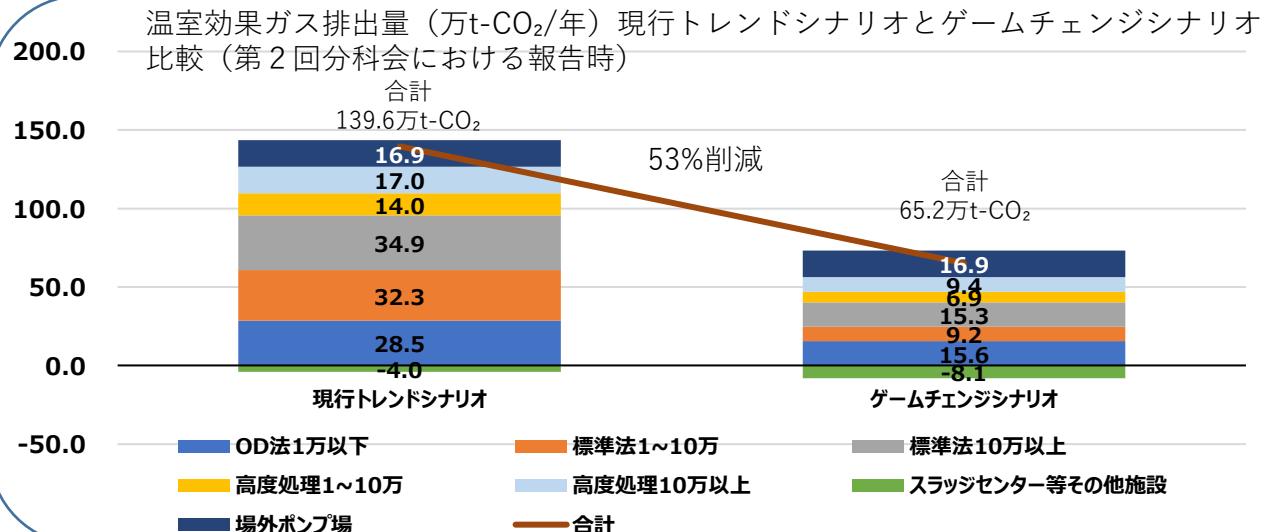
検討内容と結果

日本全国の処理場を処理規模・処理方式により6区分に分類し、それぞれの区分毎に、現行の延長線上として想定をした「現行トレンドシナリオ」、現行の諸課題の解決や更なる革新的技術の導入実現を想定した「ゲームチェンジシナリオ」の2シナリオを想定し、対策メニューを検討、2050年におけるCO₂排出量の試算を実施。

また、昨年度試算の内下記項目については導入による効果は大きいものの、技術開発や社会の動向を踏まえると、適用の程度を精査するべきと考え、第2回の報告内容からは外だして試算。その結果、ゲームチェンジシナリオにおいても約65万t-CO₂排出量が残る結果となった。

- ・カーボンフリー燃料（太陽光発電によって生成したH₂等）による場外ポンプ場のCO₂ゼロエミッション化
- ・発生汚泥量に対して50%の生ごみや木質等の地域バイオマスを混合消化
- ・バイオメタネーション

試算区分	
処理方法	日平均処理水量(m ³ /日)
OD法	1万以下
標準法	1~10万
標準法	10万以上
高度処理	1~10万
高度処理	10万以上
スラッジセンター等その他施設	



2. シナリオ(対策メニュー)

○昨年度試算の内第2回検討時に外出した以下1項目については、条件を変更の上、試算に加えた。

- ・地域バイオマスの受け入れ

○また、導入が期待される技術として下記3技術を抽出し、試算に加えた。

- ・汚泥可溶化技術 (消化率の更なる向上)
- ・乾燥固形燃料化
- ・太陽光発電

今回報告試算対策メニュー

区分		現行トレンドシナリオ	ゲームチェンジシナリオ	
処理方法	日平均処理水量(m ³ /日)			
OD法	1万以下	濃縮⇒脱水⇒場外搬出or焼却(N ₂ O排出抑制炉)	濃縮⇒汚泥可溶化⇒消化(バイオマス受入)⇒脱水⇒コンポスト化	太陽光発電
標準法	1~10万	濃縮⇒消化⇒脱水⇒場外搬出or焼却(N ₂ O排出抑制炉)	濃縮⇒汚泥可溶化⇒消化(バイオマス受入)⇒脱水⇒固形燃料化(乾燥)	
標準法	10万以上	濃縮⇒消化⇒脱水⇒場外搬出or焼却(エネルギー自立+N ₂ O排出抑制炉)	濃縮⇒汚泥可溶化⇒消化(バイオマス受入)⇒脱水⇒焼却(エネルギー自立+超N ₂ O排出抑制炉)	
高度処理	1~10万	濃縮⇒消化⇒脱水⇒場外搬出or焼却(N ₂ O排出抑制炉)	濃縮⇒汚泥可溶化⇒消化(バイオマス受入)⇒脱水⇒固形燃料化(乾燥)	
高度処理	10万以上	濃縮⇒消化⇒脱水⇒場外搬出or焼却(エネルギー自立+N ₂ O排出抑制炉)	濃縮⇒汚泥可溶化⇒消化(バイオマス受入)⇒脱水⇒焼却(エネルギー自立+超N ₂ O排出抑制炉)	
スラッジセンター等その他施設		濃縮⇒消化⇒脱水⇒場外搬出or焼却(エネルギー自立+N ₂ O排出抑制炉)	濃縮⇒汚泥可溶化⇒消化(バイオマス受入)⇒脱水⇒焼却(エネルギー自立+超N ₂ O排出抑制炉)	

第2回報告時試算対策メニュー

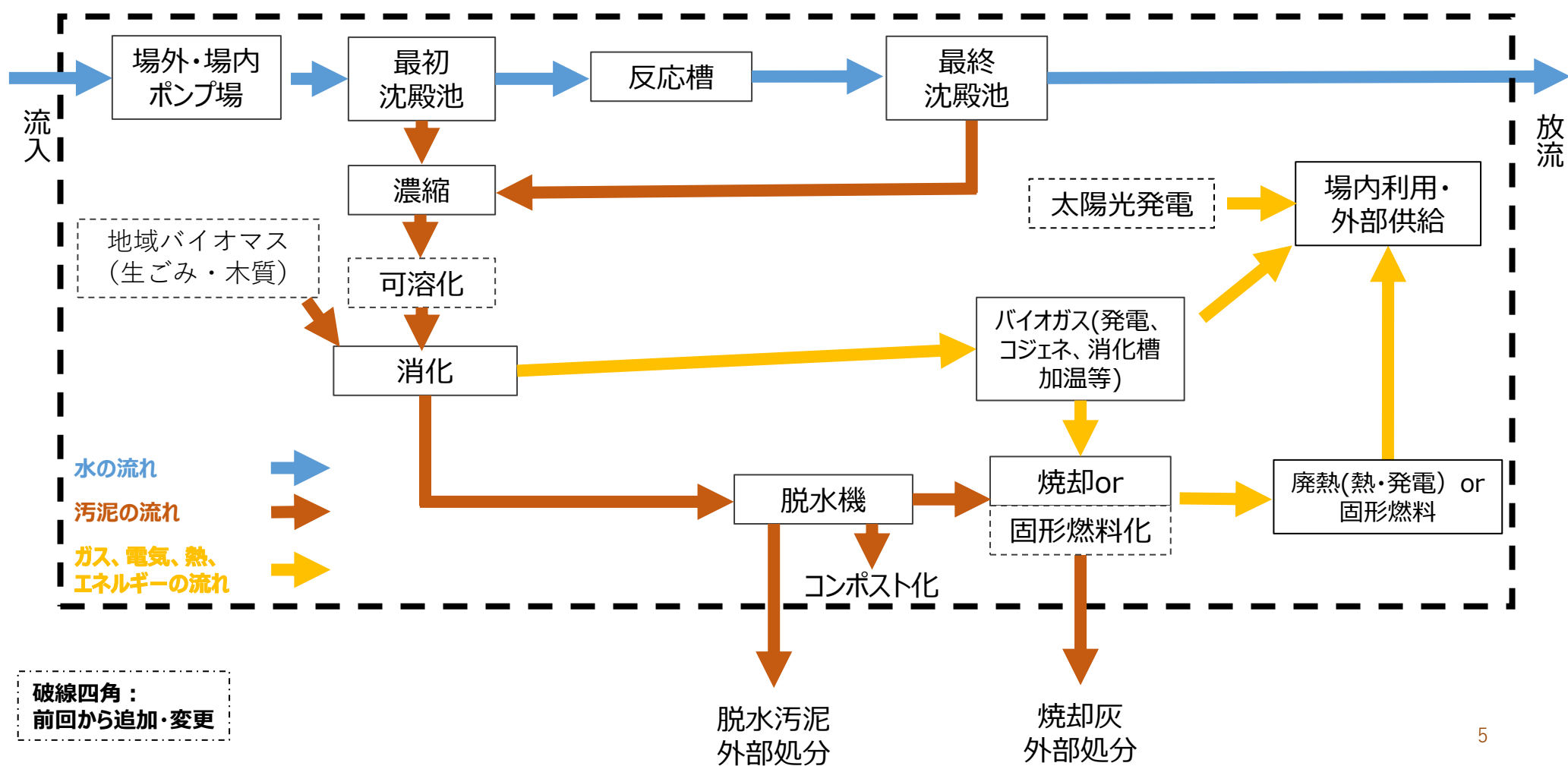
区分		現行トレンドシナリオ	ゲームチェンジシナリオ
処理方法	日平均処理水量(m ³ /日)		
OD法	1万以下	濃縮⇒脱水⇒場外搬出or焼却(N ₂ O排出抑制炉)	濃縮⇒消化⇒脱水⇒コンポスト化
標準法	1~10万	濃縮⇒消化⇒脱水⇒場外搬出or焼却(N ₂ O排出抑制炉)	濃縮⇒消化⇒脱水⇒固形燃料化
標準法	10万以上	濃縮⇒消化⇒脱水⇒場外搬出or焼却(エネルギー自立+N ₂ O排出抑制炉)	濃縮⇒消化⇒脱水⇒焼却(エネルギー自立+超N ₂ O排出抑制炉)
高度処理	1~10万	濃縮⇒消化⇒脱水⇒場外搬出or焼却(N ₂ O排出抑制炉)	濃縮⇒消化⇒脱水⇒固形燃料化
高度処理	10万以上	濃縮⇒消化⇒脱水⇒場外搬出or焼却(エネルギー自立+N ₂ O排出抑制炉)	濃縮⇒消化⇒脱水⇒焼却(エネルギー自立+超N ₂ O排出抑制炉)
スラッジセンター等その他施設		濃縮⇒消化⇒脱水⇒場外搬出or焼却(エネルギー自立+N ₂ O排出抑制炉)	濃縮⇒消化⇒脱水⇒焼却(エネルギー自立+超N ₂ O排出抑制炉)

※各シナリオ処理フロー・想定技術については、下水道における脱炭素に資する技術の一部を試算の都合上設定したものであり、各処理方法や規模ごとに、ここに記載のフローのみを推奨するものではない。

2. シナリオ(試算対象範囲)

- 本試算の対象範囲は下記の破線で示す通りである。
- 外部処分及び外部供給により排出される温室効果ガス排出については試算の対象外とする。

破線：試算対象範囲



3. 追加技術概要(汚泥可溶化技術)

・汚泥可溶化技術について

高濃度濃縮工程、可溶化工程、消化工程、脱水工程から構成される
汚泥減容化システムであり、有効利用エネルギー量を増加する創エネルギー化システムでもある

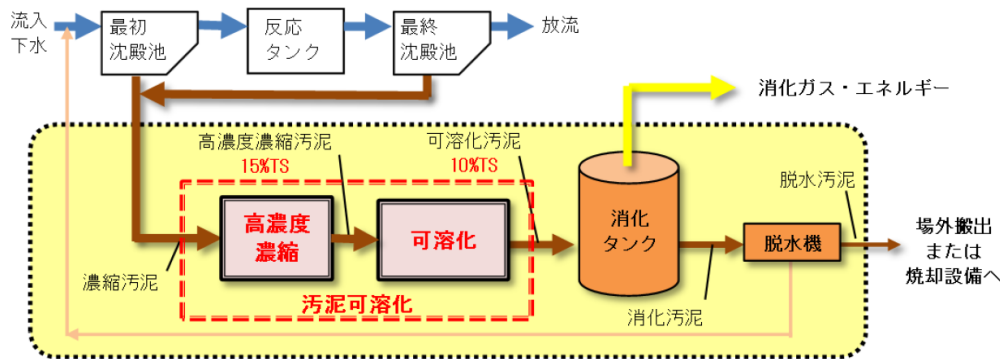


図7-31 システムフロー

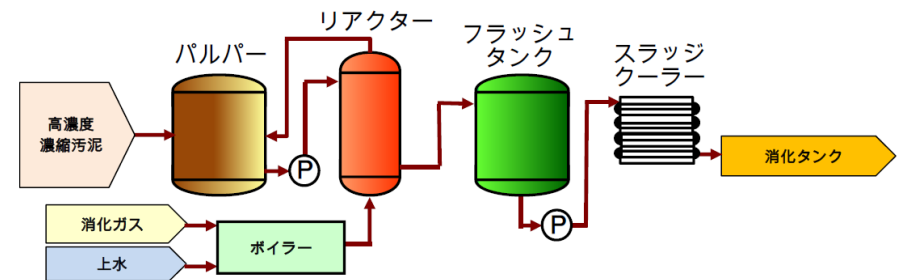


図7-34 可溶化設備 概略フロー

本技術は次の性能を有する

- (1) 消化槽容量 : レセルシステムを有しない消化槽の約 1/3
- (2) 消化ガス発生量 : 投入汚泥の t-VS あたり 650 Nm³程度 (500~700 Nm³)
- (3) 消化率 : 投入汚泥の t-VS あたり 60%程度 (50~65%)
- (4) 脱水汚泥含水率 : レセルシステムを有しない含水率より 9~13%低減



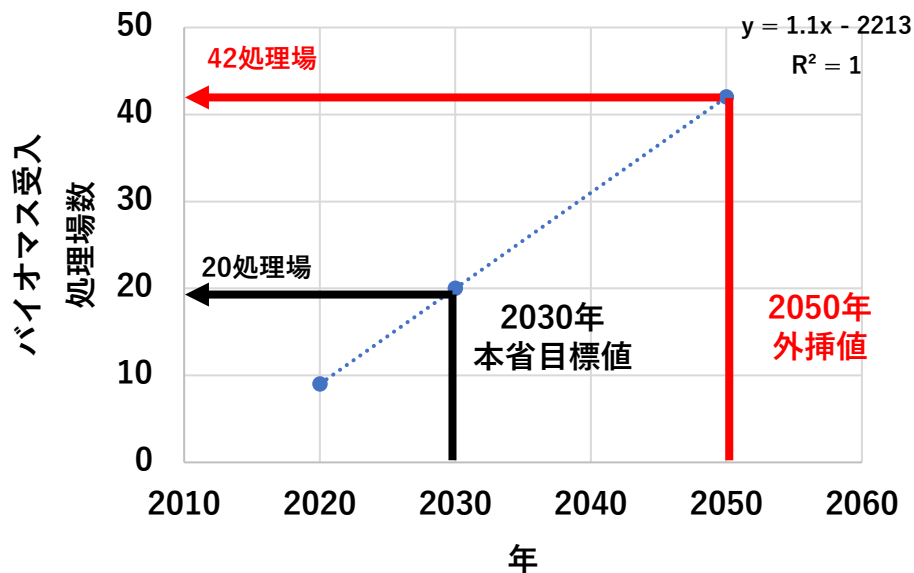
**(3)、(4)の導入効果を2050年ゲームチェンジシナリオに適用する
(消化率65%、含水率70%として試算)**

3. 追加技術概要(バイオマス受入)

・バイオマス受入量について

バイオマス受入量は2018年における現状の受入量と2030年における本省目標から2050年の受入量の推定を行った。

- ・2050年におけるバイオマス受入処理場数は42処理場と算出される。
- ・2018年における処理場当たりの受入量は2.88千t/箇所であるので、2050年総バイオマス受入量は55,715t-ds/年(含水率54%)
- ・2050年総バイオマス受入量を消化槽投入汚泥量に応じて按分を行い各区分に分配した。



年	処理場数	受入量	処理場当たりの受入量	受入量
	箇所	千t/年	千t/箇所	t-ds/年
2018	9	25.954	2.88	
2050	42	121.1186667		55,715

ゲームチェンジシナリオ		2050年		
区分		濃縮汚泥量	消化槽投入汚泥量	バイオマス受入受入量
		t-DS	t-DS	t-DS
OD法	1万以下	160,990	160,990	4,699
	標準法			
標準法	1~10万	534,577	534,577	15,605
	10万以上	357,005	357,005	10,421
高度処理	1~10万	206,364	206,364	6,024
	10万以上	302,815	302,815	8,840
スラッジセンター等その他		346,856	346,856	10,125
合計		1,908,606	1,908,606	55,715

3. 追加技術概要(消化+消化ガス発電による削減試算結果)

ゲームチェンジシナリオ

汚泥可溶化 バイオマス受入

ゲームチェンジシナリオ		2050年													
区分	濃縮汚泥量	消化槽投入汚泥量	消化槽投入汚泥熱量	消化率	汚泥からの消化ガス熱量	バイオマス受入量	受入バイオマス熱量	受入バイオマス消化率	受入バイオマス消化ガス熱量	消化ガス燃料利用(固形燃料化)	消化ガス燃料利用(控除分(その他))	消化ガス発電量	温室効果ガス削減量	寄与率	
	t-DS	t-DS	MJ	%	MJ	t-DS	MJ	%	MJ	MJ	MJ	千kwh	万t-CO ₂	%	
OD法	1万以下	160,990	160,990	2,897,779,119	65	1,883,556,423	4,699	81,301,094	85	69,105,930	0	396,928,910	367,326	9.2	7
標準法	1~10万	534,577	534,577	9,622,273,330	65	6,254,477,665	15,605	269,965,830	85	229,470,955	3,849,324,746	1,318,029,533	310,863	8	6
	10万以上	357,005	357,005	6,426,015,633	65	4,176,910,163	10,421	180,290,518	85	153,246,940	0	880,215,942	814,569	20	15
高度処理	1~10万	206,364	206,364	3,714,507,670	65	2,414,429,985	6,024	104,215,512	85	88,583,186	1,485,963,431	508,801,885	120,003	3	2
	10万以上	302,815	302,815	5,450,603,703	65	3,542,892,407	8,840	152,924,023	85	129,985,420	0	746,607,003	690,925	17	13
スラッジセンター等その他施設		346,856	346,856	6,243,342,303	65	4,058,172,497	10,125	175,165,372	85	148,890,566	0	855,193,909	791,414	20	15
合計		1,908,606	1,908,606	34,354,521,758	—	22,330,439,143	55,715	963,862,349	—	819,282,997	5,335,288,178	4,705,777,183	3,095,100	77	-

(計算方法)

前回試算値59万t-CO₂

- 発生汚泥は全量消化
- 濃縮汚泥量は2018年と2050年の処理水量比(0.814)を乗ずることで算出した。
- 汚泥固形分発熱量(消化無し) : 17.9998[MJ/kg-DS]
(土木研究所資料2509号[昭和61年度下水道関係調査研究年次報告書集P238]より)
- バイオマス受入量は2018年における現状の受入量と2030年における本省目標から2050年の受入量を推定した。
受入バイオマスは生ごみ、食品残渣等を想定し、
H30B-DASH技術(高濃度消化・省エネ型バイオガス精製による効率的エネルギー利活用)より消化率85%とした。
- 固形燃料化に必要な燃料を消化ガスで賄うとして、必要燃料分を控除する。
- 消化ガスの2018年の場内利用に相当する2050年の使用燃料に関する数量は消費と創エネ双方からあらかじめ控除する。
- 消化ガス発電量[千kwh] : 発生消化ガス熱量[MJ]×総合効率[%]÷3.6[MJ/kWh]÷1000
3.6 [MJ/kWh]:1 kWh(= 1000 J/s) の電力を 1 時間 (= 3600 s) 消費したときの電力量である
1 kWh (= 1 kJ/s × 3600 s = 3.6 MJ)
- 総合効率 : ゲームチェンジシナリオ85%(一般社団法人日本ガス協会HPより)

3. 追加技術概要(消化+消化ガス発電による削減試算結果)

ゲームチェンジシナリオ

- ・消化に係わる対策の導入効果について

合計消化ガス熱量に対して7.4%が汚泥可溶化による熱量増加分となり、バイオマス受入による熱量増加分が3.5%となる。

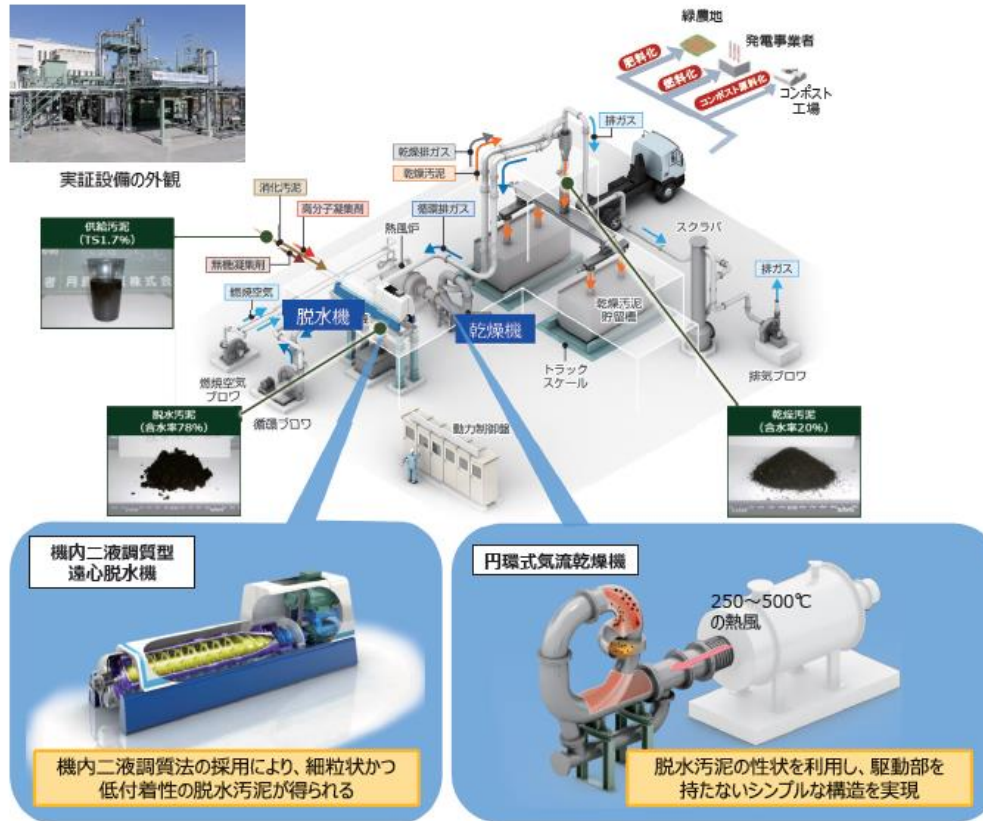
ゲームチェンジシナリオ					
区分		対策前の 消化ガス熱量 (消化率60%)	汚泥可溶化による 消化ガス 熱量増加量 (消化率65%)	バイオマス受入による 消化ガス 熱量増加量	合計 消化ガス熱量
		MJ	MJ	MJ	MJ
OD法	1万以下	1,738,667,472	144,888,956	69,105,930	1,952,662,357
標準法	1~10万	5,773,363,998	481,113,667	229,470,955	6,483,948,620
	10万以上	3,855,609,380	321,300,782	153,246,940	4,330,157,102
高度処理	1~10万	2,228,704,602	185,725,383	88,583,186	2,503,013,171
	10万以上	3,270,362,222	272,530,185	129,985,420	3,672,877,827
スラッジセンター等その他施設		3,746,005,382	312,167,115	148,890,566	4,207,063,063
合計		20,612,713,055	1,717,726,088	819,282,997	23,149,722,139
寄与率(%)		89.0	7.4	3.5	-

※各技術の電力消費量は考慮しない。

3. 追加技術概要(乾燥固形燃料化)

・固形燃料化について

B-DASH技術 脱水乾燥システムによる下水汚泥の肥料化、燃料化技術



B-DASHプロジェクト No.23
脱水乾燥システムによる下水汚泥の肥料化、燃料化技術導入ガイドライン(案)より

- 炭化による固形燃料化と比較して消費電力量、補助燃料使用量は増加するが、汚泥乾燥は脱水汚泥の固形物量がそのまま固形燃料製造量となるためトータルとして創エネ量が増加する。

3. 追加技術概要(固形燃料化による削減試算結果)

ゲームチェンジシナリオ

ゲームチェンジシナリオ		2050							
		脱水 汚泥量	消費電力量	補助燃料 使用量	固形燃料 製造量	石炭代替利用による 温室効果ガス削減量	処理プロセスからの 温室効果ガス排出量	温室効果ガス 削減量	寄与率
		t-DS	千kwh/年	m ³ /年	万t/年	万t-CO ₂	万t-CO ₂	万t-CO ₂	%
OD法	1万以下	78,339	0	0	0	0	0	0	0
標準法	1~10万	260,131	165,183	175,156,406	30	42	0	42	72
	10万以上	173,723	0	0	0	0	0	0	0
高度処理	1~10万	100,419	63,766	67,616,019	11	16	0	16	28
	10万以上	147,353	0	0	0	0	0	0	0
スラッジセンター等その他施設		168,784	0	0	0	0	0	0	0
合計		928,750	228,950	242,772,424	41	58	0	58	-

前回試算値37万t-CO₂

(計算方法)

ゲームチェンジシナリオ

- 中規模処理場(標準法、高度処理1~10万m³/日)において固形燃料化されるとして試算。
- 固形燃料化に当たっては**B-DASH技術**である**汚泥乾燥技術**を想定する。
試算に当たってはH31B-DASH技術(脱水乾燥システムによる下水汚泥の肥料化、燃料化技術)の算出関数を適用する。

○消費電力量[kWh/年] = 脱水汚泥量[t-ds/年] × 635[kWh/t-wet]

○補助燃料は消化ガスを利用するものとし、以下の式より算出。

消化ガス使用量[m³/年] = (101.15 - 目標含水率[%]) / 0.1324 × 脱水汚泥量[t-ds/年]、目標含水率 = 12[%]

○固形燃料製造量[t/年] = (100 - 目標含水率[%]) / 100 × 脱水汚泥量[t-wet/年]

○製造された固形燃料は石炭代替として温室効果ガス削減量を試算。

石炭削減効果

= 固形燃料製造量(t/年) × 固形燃料単位熱量(MJ/kg-固形燃料) ÷ 石炭単位熱量(MJ/kg-石炭) × 石炭温室効果ガス排出係数(t-CO₂/t)

ここに、固形燃料単位熱量(MJ/kg-固形燃料) = 16.5 (H31B-DASH技術(脱水乾燥システムによる下水汚泥の肥料化、燃料化技術)より)

石炭単位熱量(MJ/kg-石炭) = 28

石炭温室効果ガス排出係数(t-CO₂/t) = 2.41

○固形燃料化について処理場から利用先までの搬出に掛かる温室効果ガス排出量は本試算の対象に含まない。

3. 追加技術概要(太陽光発電)

・太陽光発電の導入

太陽光発電に関する調査研究結果(日本下水道新技術機構 技術資料より)

処理場名	単位面積当たりの発電量 【千kWh/m ² ・年】	敷地面積割合 【%】
A	0.104	18
B	0.112	13
C	0.114	33
D	0.121	31
E	0.078	10
F	0.090	1
G	0.071	17
H	0.092	12
I	0.096	23
平均	0.098	17.6

処理場敷地面積の内、太陽光発電に利用可能である割合は平均17.6%

※上部利用だけでなく、遊休地等、下水道用の用地として確保している太陽光発電に利用できる敷地を最大限利用したと仮定

※太陽光発電に利用できる敷地面積の70%程度、太陽光パネルが設置できるとして仮定

※出典元「下水処理場におけるエネルギー自立化に向けた技術資料(2020年3月)」

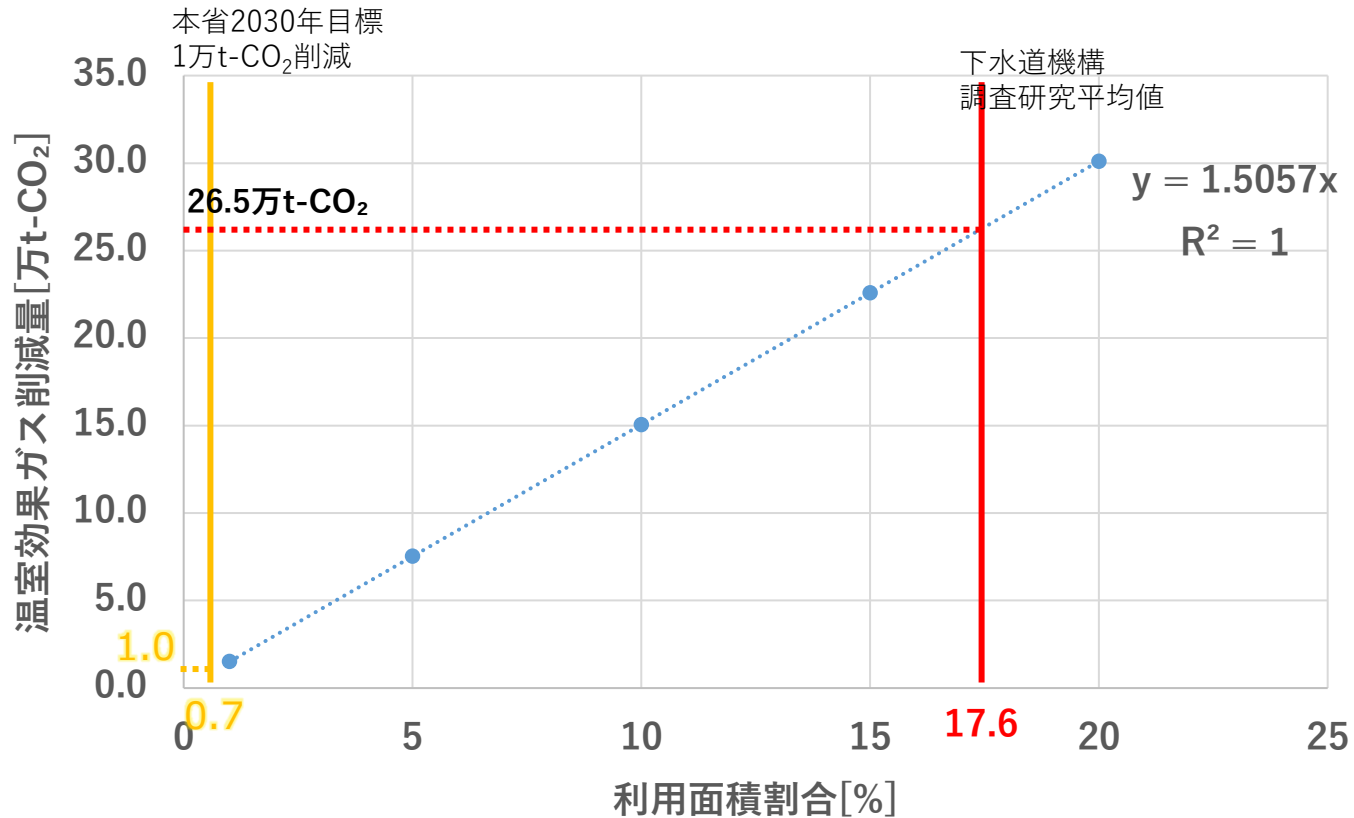
「下水処理場のエネルギー自立化ケーススタディに関する技術資料(2021年3月)」

本研究は実際の下水処理場において、運転手法改善及び最新省エネ技術を適用し消費電力量を削減すると共に、消化ガス発電等の下水由来の創エネや太陽光発電・風力発電など自然由来の創エネを想定し、エネルギー自立化の可能性について検討を行ったものである。

- 日本下水道新技術機構の調査研究においては、発電量の原単位は処理場によりあまり変化しない。(0.1[千kWh/m²・年]程度)一方で、太陽光パネルを設置できる面積は処理場により大きく異なる。
- 平成18年第4回資源のみち委員会資料2-2から単位面積当たりの発電量は0.1[千kWh/m²・年]としている。
- 以上より、発電量の原単位を0.1[千kWh/m²・年]とし、敷地面積を変化させて感度分析を行う。

3. 追加技術概要(太陽光発電による削減試算結果)

・太陽光発電の導入試算結果



- **全処理場敷地面積の0.7%において太陽光発電を行えば2030年目標1万t-CO₂/年削減を達成**
- **下水道機構調査研究における利用可能な面積平均値17.6%で太陽光発電を行うと約26.5万t-CO₂/年削減**

※単位面積当たりの発電量を0.1[千kWh/m²・年]として算出。

※2018年下水道統計より日本全国の処理場施設総面積は86,038,178m²であり、その0.7%は602,267m²、17.6%は15,142,719m²

※点検用スペースの確保等のロスがあるため、利用面積の70%程度で発電が可能とし、算出

4. 試算結果(CO₂ベース)

現行トレンドシナリオ		温室効果ガス排出量万t-CO ₂									
区分		電力の消費に伴う排出	燃料の消費に伴う排出	水処理プロセスからの排出(CH ₄ 、N ₂ O)	汚泥焼却からの排出	消化+消化ガス発電による削減	固形燃料化による削減	コンポスト化による削減	下水道での排出・削減合計	太陽光発電による削減量	太陽光発電を加味した下水道分野全体での排出・削減合計
OD法	1万以下	22.0	1.5	4.7	0.4	0.0	0.0	0.0	28.5	0.0	139.6
標準法1~10万	1~10万	25.5	4.7	21.6	3.0	-22.6	0.0	0.0	32.3		
標準法10万以上	10万以上	22.2	1.1	22.0	4.6	-15.1	0.0	0.0	34.9		
高度処理1~10万	1~10万	13.4	2.8	4.9	1.6	-8.7	0.0	0.0	14.0		
高度処理10万以上	10万以上	16.6	0.9	9.3	3.0	-12.8	0.0	0.0	17.0		
スラッジセンター等その他施設		4.6	0.9	0.0	5.2	-14.6	0.0	0.0	-4.0		
場外ポンプ場		14.8	2.1	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	16.9		
合計		119.2	14.0	62.5	17.8	-73.8	0.0	0.0	139.6		

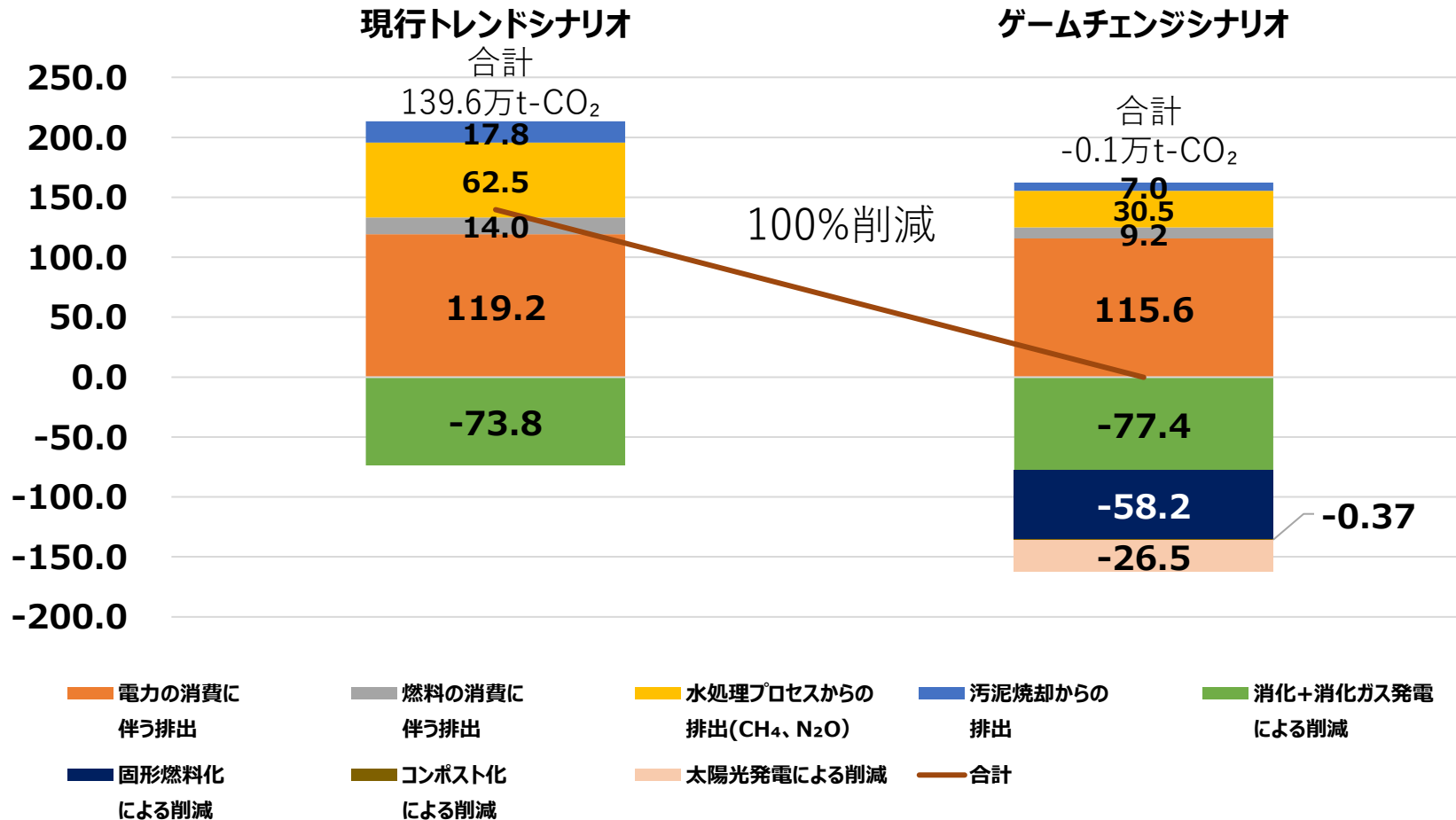
ゲームチェンジシナリオ		温室効果ガス排出量万t-CO ₂									
区分		電力の消費に伴う排出	燃料の消費に伴う排出	水処理プロセスからの排出(CH ₄ 、N ₂ O)	汚泥焼却からの排出	消化+消化ガス発電による削減	固形燃料化による削減	コンポスト化による削減	下水道での排出・削減合計	太陽光発電による削減量	太陽光発電を加味した下水道分野全体での排出・削減合計
OD法	1万以下	20.7	1.3	2.5	0.0	-9.2	0.0	-0.4	15.0	26.5	-0.1
標準法1~10万	1~10万	27.5	2.0	8.8	0.0	-7.8	-42.0	0.0	-11.5		
標準法10万以上	10万以上	19.3	1.1	9.3	2.6	-20.4	0.0	0.0	11.9		
高度処理1~10万	1~10万	13.6	0.9	3.6	0.0	-3.0	-16.2	0.0	-1.1		
高度処理10万以上	10万以上	14.3	0.9	6.4	2.2	-17.3	0.0	0.0	6.5		
スラッジセンター等その他施設		5.5	0.9	0.0	2.2	-19.8	0.0	0.0	-11.2		
場外ポンプ場		14.8	2.1	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	16.9		
合計		115.6	9.2	30.5	7.0	-77.4	-58.2	-0.372	26.4		

下水道のみでの排出・削減の合計は
現行トレンドシナリオで139.6万t-CO₂、ゲームチェンジシナリオで26.4万t-CO₂となる。

ゲームチェンジシナリオにおいては更に全処理場面積の17.6%で太陽光発電を行うことにより、温室効果ガス排出量は-0.1万t-CO₂となり、脱炭素を達成することができる。

4. 試算結果(CO₂ベース)

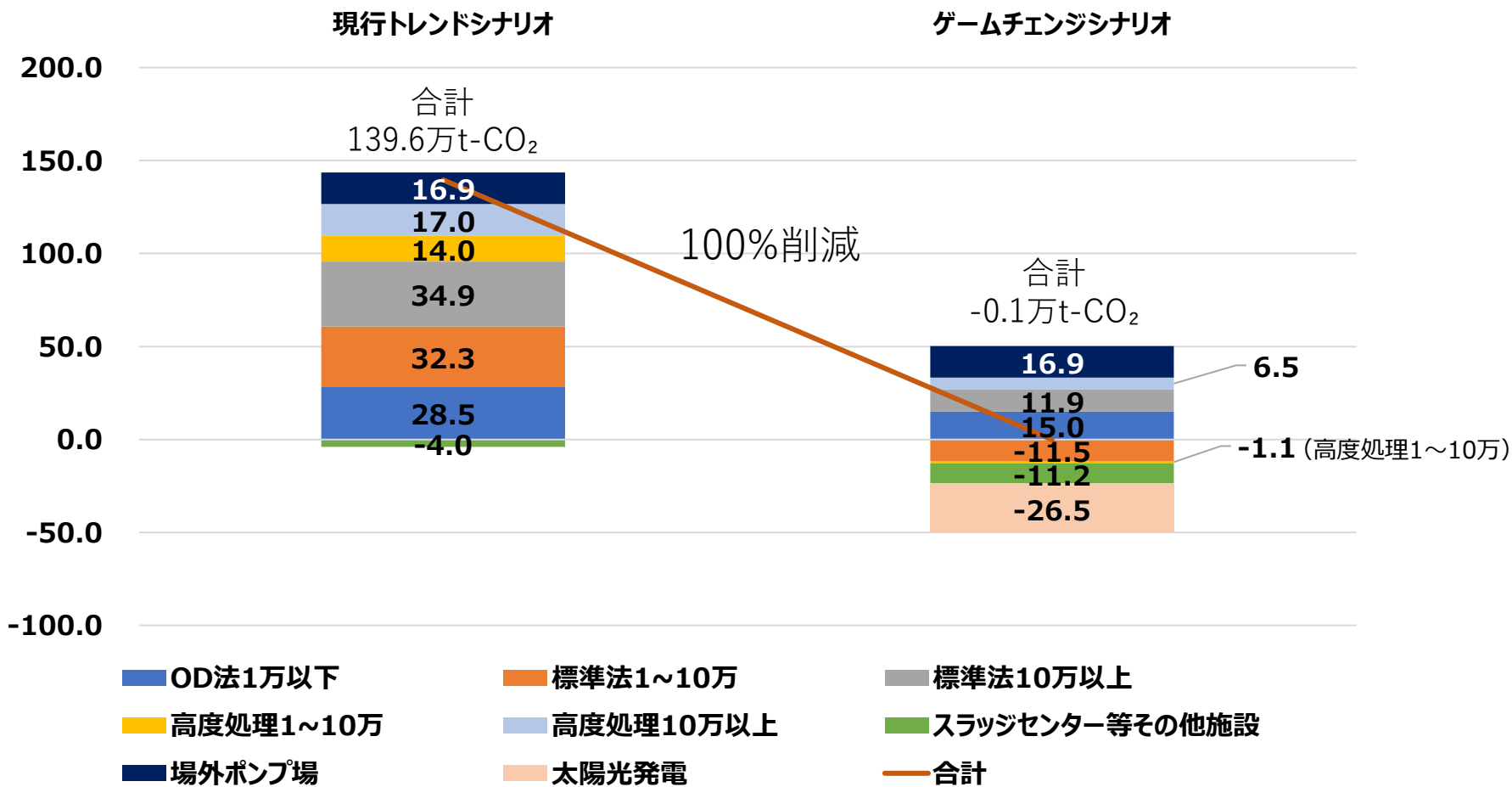
・区分別の温室効果ガス排出量 (万t-CO₂/年) 現行トレンドシナリオとゲームチェンジシナリオの比較



- 電力使用による温室効果ガスの排出が2050年においても大きな割合を占めており今後更なる省エネ対策が求められる。
- 水処理N₂O抑制技術の確立により温室効果ガス排出量がゲームチェンジシナリオで大幅に減少した。
一方で水処理CH₄については未対策であり、課題が残る。
- 消化ガス発電や固形燃料化、太陽光発電により大幅に温室効果ガス削減を図ることができる。

4. 試算結果(CO₂ベース)

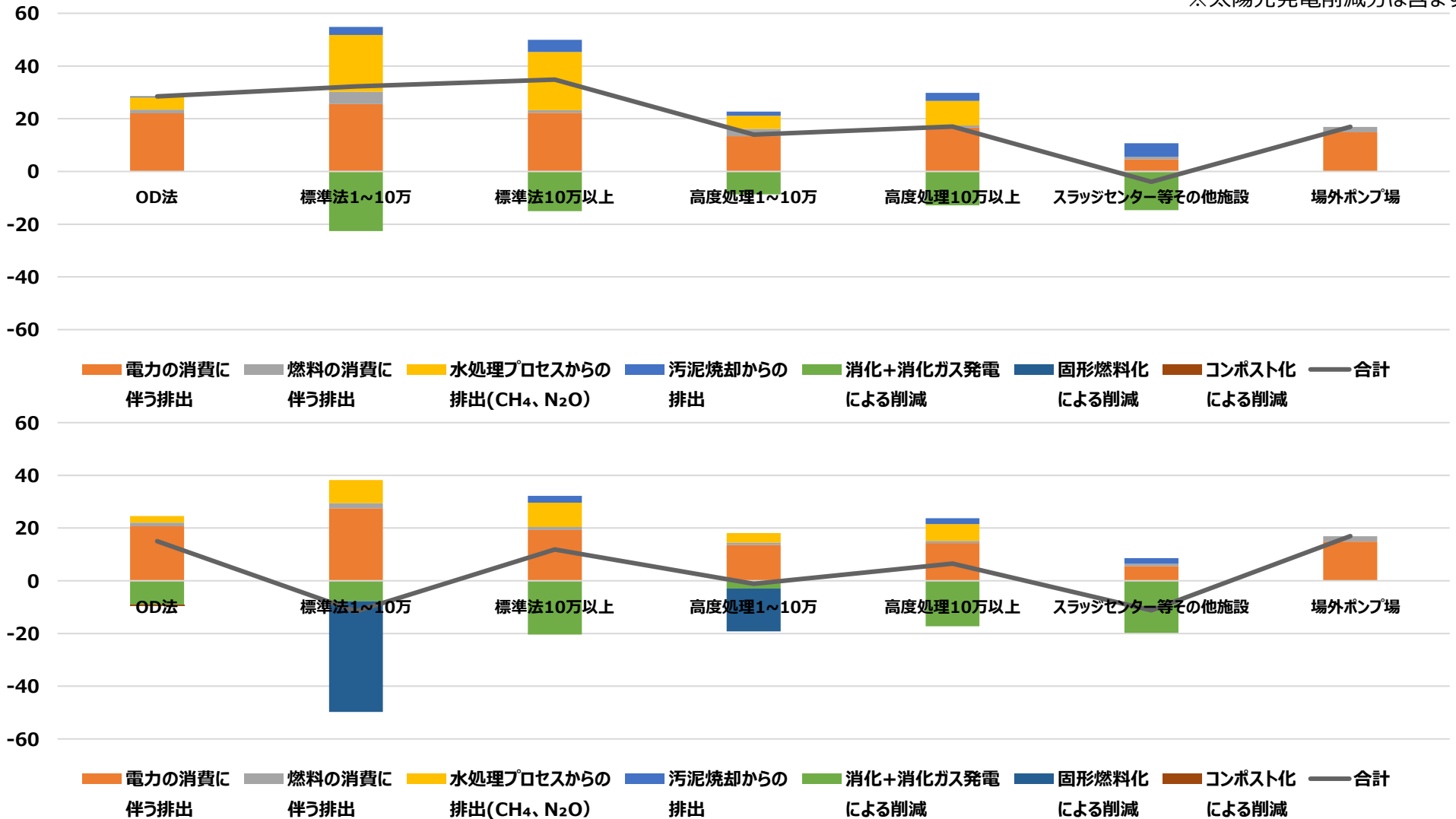
・区分別の温室効果ガス排出量 (万t-CO₂/年) 現行トレンドシナリオとゲームチェンジシナリオの比較



- 現行トレンドシナリオでは中規模処理場における温室効果ガス排出量の割合が大きいが、水処理N₂O抑制技術の確立や高効率な消化ガスの利用、固形燃料化により大幅にその排出量を削減することができる。
- ゲームチェンジシナリオにおいては省エネ、創エネ対策が難しい場外ポンプ場・OD法の割合が大きい結果となった。

4. 試算結果(CO₂ベース) ※太陽光発電削減分は含まない

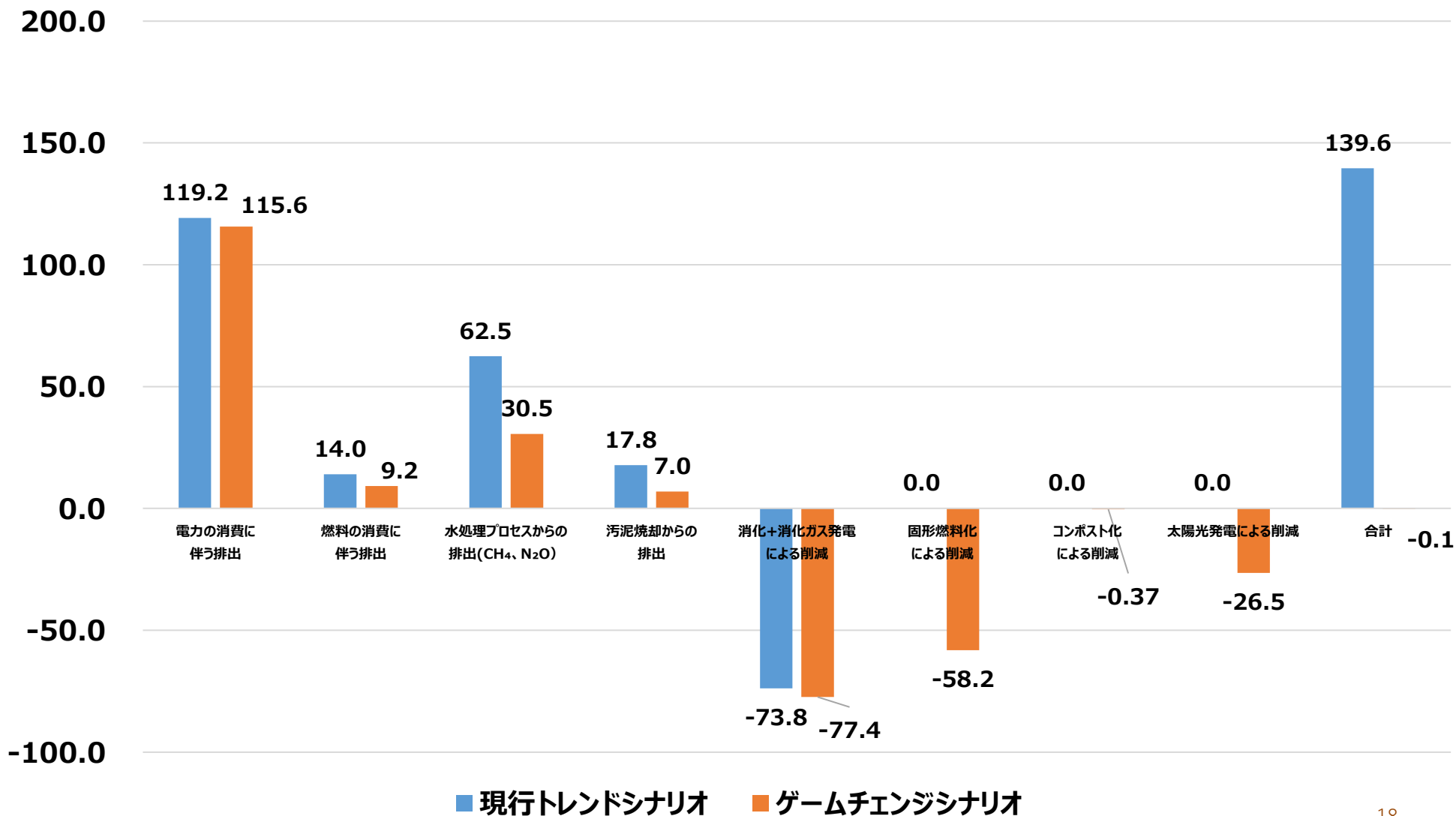
・区分別の温室効果ガス排出量 (万t-CO₂/年) 上図:現行トレンドシナリオ 下図:ゲームチェンジシナリオ
 ※太陽光発電削減分は含まず※¹



※¹ 削減可能量は各処理場の利用可能面積に依存するため、今回は規模区分毎に分けることはせず全国ベースでの比較グラフのみに反映した。

4. 試算結果(CO₂ベース)

・区分別の温室効果ガス排出量 (万t-CO₂/年) 現行トレンドシナリオとゲームチェンジシナリオの比較

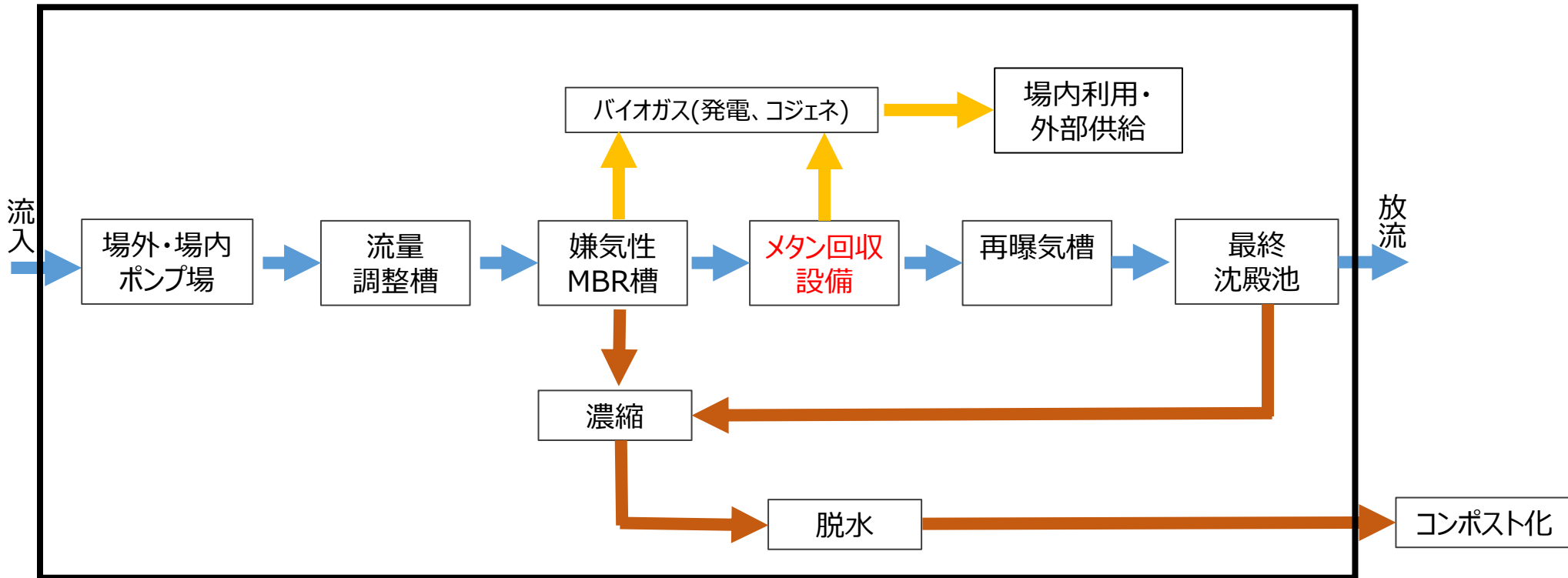


5. その他脱炭素に資する技術について

・嫌気性MBRの導入

ゲームチェンジシナリオにおいて小規模処理場に嫌気性MBRを導入した場合を検討

小規模処理場における嫌気性MBR導入のイメージ



・水温は17℃を想定し、小規模処理場全てに一律嫌気性MBRを導入した時の効果を試算。


(コンポスト化(汚泥の有効利用)は試算の対象外とした。)

・嫌気性MBR槽の後段に独自のメタン回収設備を想定し、溶存メタンの回収を行うことで更なるバイオガス量の増加を見込む。

5. その他脱炭素に資する技術について

・嫌気性MBRの導入試算結果

ゲームチェンジシナリオ		温室効果ガス排出量万t-CO ₂				
		電力の消費に伴う排出	燃料の消費に伴う排出	水処理プロセスからの排出(CH ₄ 、N ₂ O)	消化+消化ガス発電による削減	合計
ゲームチェンジシナリオにおける小規模処理場	1万以下	20.7	1.3	2.5	-9.2	15.4
嫌気性MBR	1万以下	9.4	1.3	2.5	-11.7	1.5
差(嫌気性MBR-ゲームチェンジシナリオ)		-11.3	0.0	0.0	-2.5	-13.8

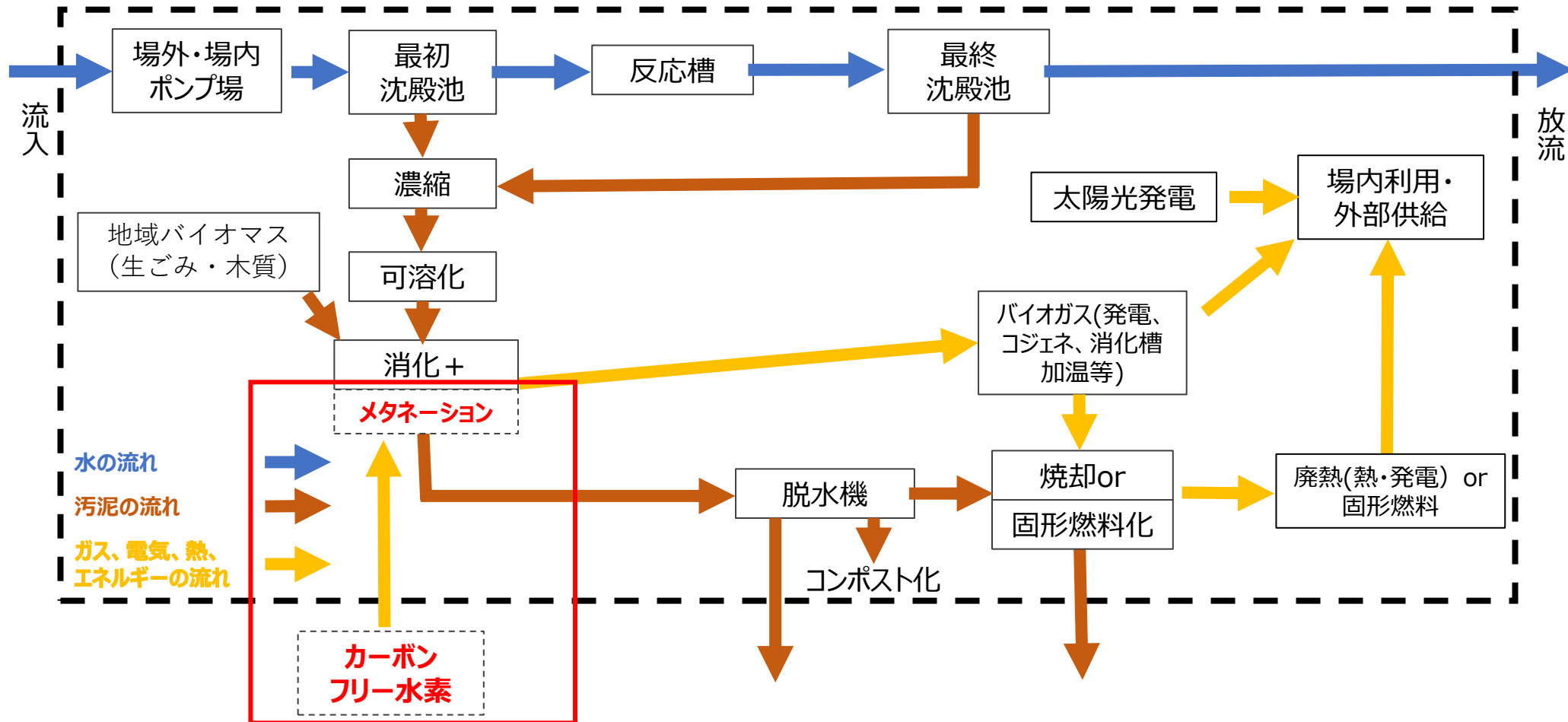
- 
 ・小規模処理場において嫌気性MBR技術を導入することで、ゲームチェンジシナリオから更に**約13.8万t-CO₂**削減できる結果となった。
- ・消費電力量の削減効果が大きく、省エネ対策が課題となる小規模処理場において嫌気性MBR技術の導入は有効である。
- ・本試算は水温17℃の条件のもとに行っており、より高い水温の条件であれば更なる消化ガス発電による削減も見込むことができる。

5. その他脱炭素に資する技術について

・バイオメタネーションの導入

ゲームチェンジシナリオに加えてバイオメタネーション技術を導入した場合の導入効果を試算。(全国一律導入)

バイオメタネーション導入のイメージ



・導入効果は国土交通省下水道応用研究

「水素および廃棄バイオプラスチック分解物の消化槽への添加によるバイオメタン増量技術」研究体にヒアリングを行い試算を行った。²¹

5. その他脱炭素に資する技術について

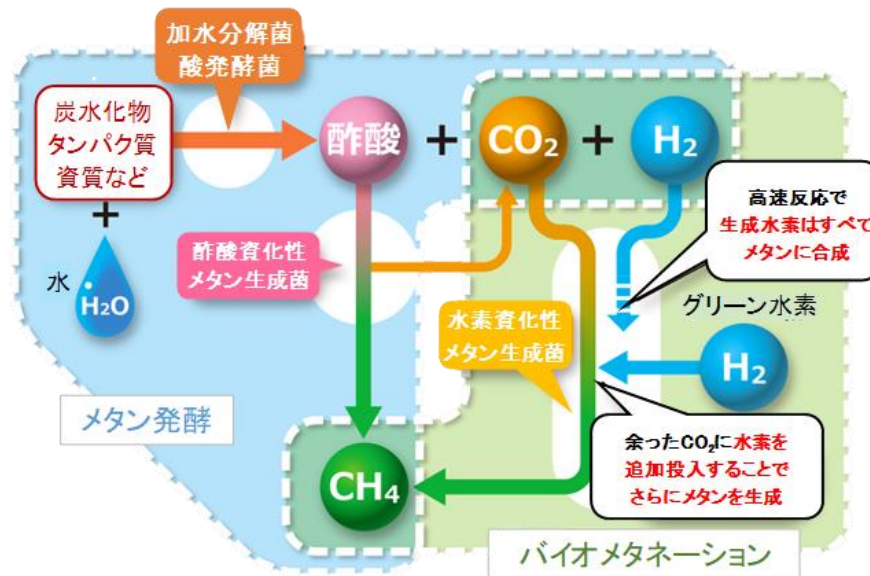
・バイオメタネーションの導入

国土交通省下水道応用研究

「水素および廃棄バイオプラスチック分解物の消化槽への添加によるバイオメタン増量技術」

研究体ヒアリングより下記のように算出を行った。

- メタネーションにより消化ガス中メタン濃度が60%から85%に上昇したものとしてメタネーションによる消化ガス増加を算出。
(メタネーション後のメタン濃度はヒアリングより)
- 体積比 $CO_2/H_2 = 1/4$ で反応したものとしてメタネーションに必要な水素吹込み量を算出。
(60%の消化ガスの熱量を $5000kcal/m^3$ とした)
- メタネーションによる消費電力量はメーカーヒアリングにより $0.16kWh/H_2-Nm^3$ として求めた。



メタン生成菌によるバイオメタン発酵のしくみ ※大阪ガス提供

5. その他脱炭素に資する技術について

・バイオメタネーション導入試算結果

汚泥可溶化

バイオマス受入

メタネーション

ゲームチェンジシナリオ		濃縮汚泥量	消化槽投入汚泥量	消化槽投入汚泥熱量	消化率	汚泥からの消化ガス熱量	バイオマス受入量	受入バイオマス熱量	受入バイオマス消化率	受入バイオマス消化ガス熱量	メタネーション後の消化ガス熱量	水素吹込み量	メタネーションによる消費電力量	消化ガス燃料利用 控除分(固形燃料化)	消化ガス燃料利用 控除分(その他)	消化ガス発電量	温室効果ガス削減量	寄与率
区分		t-DS	t-DS	MJ	%	MJ	t-DS	MJ	%	MJ	MJ	Nm ³ /年	千kwh/年	MJ	MJ	千kwh	万t-CO ₂	%
OD法	1万以下	160,990	160,990	2,897,779,119	65	1,883,556,420	4,699	81,301,094	85	69,105,930	2,766,271,673	93,428,821	14,949	0	396,928,910	559,428	14.0	10
	1~10万	534,577	534,577	9,622,273,330	65	6,254,477,660	15,605	269,965,830	85	229,470,955	9,185,593,878	310,236,776	49,638	3,849,324,746	1,318,029,533	948,751	24	18
	10万以上	357,005	357,005	6,426,015,633	65	4,176,910,160	10,421	180,290,518	85	153,246,940	6,134,389,227	207,184,550	33,150	0	880,215,942	1,240,569	31	23
標準法	1~10万	206,364	206,364	3,714,507,670	65	2,414,429,980	6,024	104,215,512	85	88,583,186	3,545,935,325	119,761,396	19,162	1,485,963,431	508,801,885	366,248	9	7
	10万以上	302,815	302,815	5,450,603,703	65	3,542,892,400	8,840	152,924,028	85	129,985,420	5,203,243,588	175,735,781	28,118	0	746,607,003	1,052,261	26	20
高度処理	スラッジセンター等その他施設	346,856	346,856	6,243,342,303	65	4,058,172,490	10,125	175,165,372	85	148,890,566	5,960,006,006	201,294,883	32,207	0	855,193,909	1,205,303	30	22
合計		1,908,606	1,908,606	34,354,521,758	-	22,330,439,140	55,715	963,862,348	-	819,282,997	32,795,439,698	1,107,642,208	177,223	5,335,288,178	4,705,777,183	5,372,561	134	-

ゲームチェンジシナリオ：77万t-CO₂

ゲームチェンジシナリオ		対策前の消化ガス熱量 (消化率60%)	汚泥可溶化による消化ガス熱量増加量 (消化率65%)	バイオマス受入による消化ガス熱量増加量	バイオメタネーションによる消化ガス熱量増加量	合計消化ガス熱量
区分		MJ	MJ	MJ	MJ	MJ
OD法	1万以下	1,738,667,472	144,888,956	69,105,930	813,609,315	2,766,271,673
	1~10万	5,773,363,998	481,113,667	229,470,955	2,701,645,258	9,185,593,878
	10万以上	3,855,609,380	321,300,782	153,246,940	1,804,232,126	6,134,389,227
標準法	1~10万	2,228,704,602	185,725,383	88,583,186	1,042,922,155	3,545,935,325
	10万以上	3,270,362,222	272,530,185	129,985,420	1,530,365,761	5,203,243,588
高度処理	スラッジセンター等その他施設	3,746,005,382	312,167,115	148,890,566	1,752,942,943	5,960,006,006
合計		20,612,713,055	1,717,726,088	819,282,997	9,645,717,558	32,795,439,698
寄与率(%)		62.9	5.2	2.5	29.4	-

※各技術の電力消費量は考慮しない。

※バイオメタネーションによる熱量増加量は対策前の消化ガス熱量に「可溶化による熱量増加量」、「バイオマス受入による熱量増加量」を足し合わせた後の熱量に対しての試算値であることに留意が必要である。

汚泥可溶化、バイオマス受入と比較してバイオメタネーションによるメタン増加量は非常に大きく、安定して水素を供給することができれば、下水処理場における脱炭素化に非常に有用な技術であると言える。

5. その他脱炭素に資する技術について

・バイオメタネーション導入・消化ガスの導管注入を行った場合

消化槽でのメタネーションにより消化ガス中メタン濃度を60%から85%に上昇させた後、外部で追加的にメタネーションを実施することでメタン濃度**100%**に上昇させ、導管注入によるガス利用を想定

ゲームチェンジシナリオ		2050年																		
区分	濃縮汚泥量	消化槽投入汚泥量	消化槽投入汚泥熱量	消化率	汚泥からの消化ガス熱量	バイオマス受入量	受入バイオマス熱量	受入バイオマス消化率	受入バイオマスからの消化ガス熱量	メタネーション後の消化ガス熱量	水素吹込み量	メタネーションによる消費電力量	消化ガス燃料利用 控除分(固形燃料化)	消化ガス燃料利用 控除分(その他)	場内利用分控除後の消化ガス熱量	都市ガス代替量	都市ガス代替としての温室効果ガス削減量	電力消費にかかる温室効果ガス排出量	温室効果ガス削減量	
		t-DS	t-DS	MJ	%	MJ	t-DS	MJ	%	MJ	MJ	Nm ³ /年	千kwh/年	MJ	MJ	MJ	Nm ³	万t-CO ₂	万t-CO ₂	万t-CO ₂
OD法	1万以下	160,990	160,990	2,897,779,119	65	1,883,556,428	4,699	81,301,094	85	69,105,930	3,254,437,262	149,486,113	23,918	0	396,928,910	2,857,508,352	63,783,669	11.4	0.60	10.8
標準法	1~10万	534,577	534,577	9,622,273,330	65	6,254,477,665	15,605	269,965,830	85	229,470,955	10,806,581,033	496,378,842	79,421	3,849,324,746	1,318,029,533	5,639,226,753	125,875,597	22.5	1.99	20.5
	10万以上	357,005	357,005	6,426,015,633	65	4,176,910,161	10,421	180,290,518	85	153,246,940	7,216,928,503	331,495,281	53,039	0	880,215,942	6,336,712,560	141,444,477	25.2	1.33	23.9
高度処理	1~10万	206,364	206,364	3,714,507,670	65	2,414,429,985	6,024	104,215,512	85	88,583,186	4,171,688,618	191,618,233	30,659	1,485,963,431	508,801,885	2,176,923,302	48,592,038	8.7	0.77	7.9
	10万以上	302,815	302,815	5,450,603,703	65	3,542,892,407	8,840	152,924,023	85	129,985,420	6,121,463,044	281,177,250	44,988	0	746,607,003	5,374,856,041	119,974,465	21.4	1.12	20.3
スラッジセンター等		346,856	346,856	6,243,342,303	65	4,058,172,497	10,125	175,165,372	85	148,890,566	7,011,771,772	322,071,813	51,531	0	855,193,909	6,156,577,863	137,423,613	24.5	1.29	23.2
合計		1,908,606	1,908,606	34,354,521,758	—	22,330,439,143	55,715	963,862,349	—	819,282,997	38,582,870,232	1,772,227,532	283,556	5,335,288,178	4,705,777,183	28,541,804,872	637,093,859	113.7	7.09	106.6

ゲームチェンジシナリオ：77万t-CO₂

(計算方法)

- メタネーションにより消化ガス中メタン濃度が60%から100%に上昇したものとメタネーションによる消化ガス増加を算出。
(メタネーション後のメタン濃度はメーカーヒアリングより)
- 体積比CO₂/H₂=1/4で反応したものとメタネーションに必要な水素吹込み量を算出。(60%の消化ガスの熱量を5000kcal/m³とした)
- メタネーションによる消費電力量はメーカーヒアリングにより0.16kWh/H₂-Nm³として求めた。
- 場内利用分控除後の消化ガスは全量導管注入するとして、都市ガス代替量を試算。
(都市ガス熱量換算係数44.8MJ/Nm³を使用。)

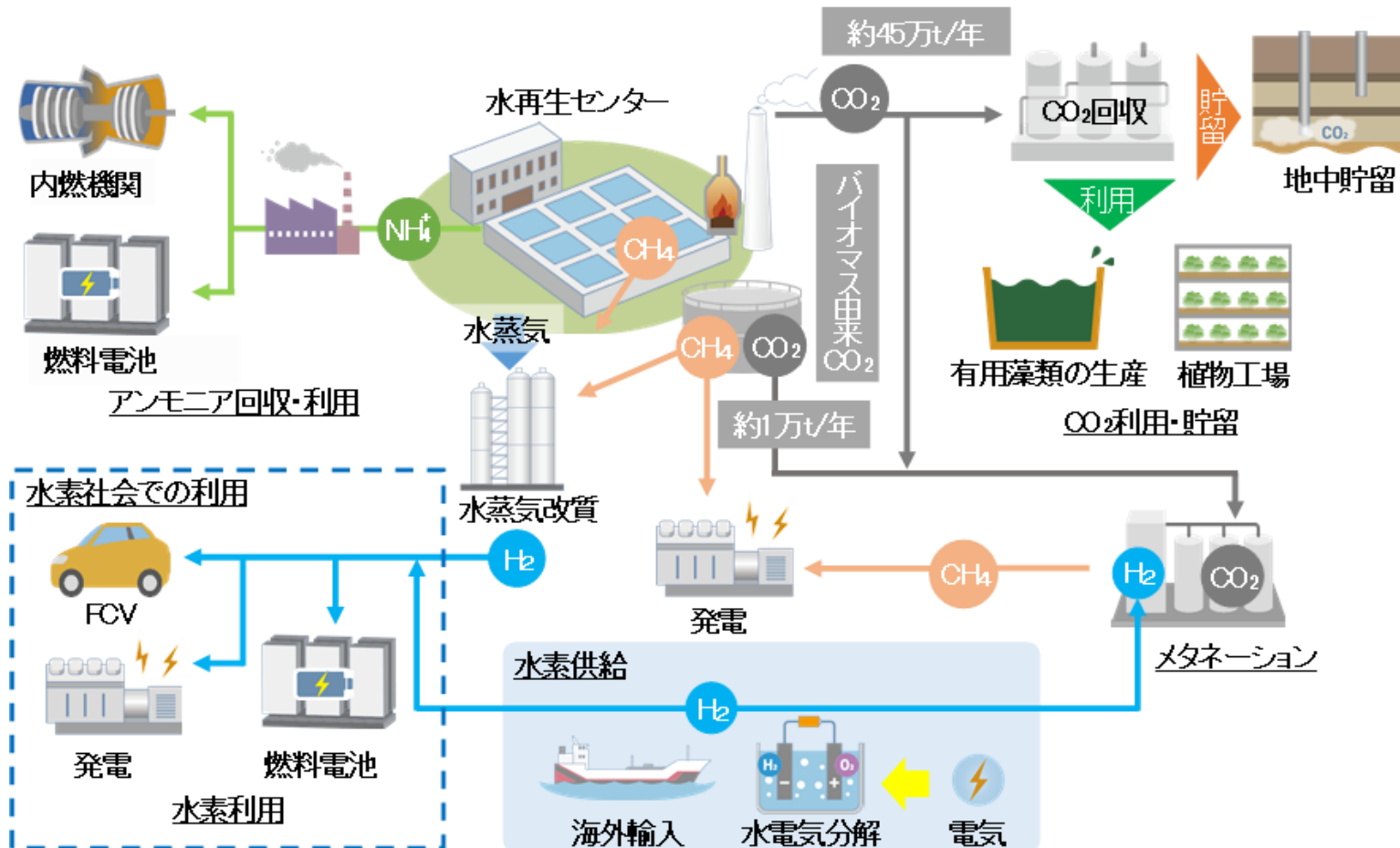
$$\text{都市ガス代替量[Nm}^3\text{]} = \text{場内利用分控除後の消化ガス熱量[MJ]} \div 44.8[\text{MJ/Nm}^3\text{}]$$

- 都市ガス利用先での利用効率80%(メーカーヒアリング)として、温室効果ガス削減量を試算。
(都市ガス温室効果ガス排出係数2.23kg-CO₂/Nm³を使用。)

$$\begin{aligned} &\text{都市ガス代替としての温室効果ガス削減量[万t-CO}_2\text{]} \\ &= \text{都市ガス代替量[Nm}^3\text{]} \times 2.23[\text{kg-CO}_2\text{/Nm}^3\text{]} \times 0.8 \div 1000 \div 10000 \end{aligned}$$

5. その他脱炭素に資する技術について

下水道から排出されるバイオマス由来のCO₂を回収し、利用（メタネーション等）・貯蔵（地中貯蔵、バイオ炭等）することで、ゼロエミッションへの寄与が期待される。



6. 総括

<※1>・・・令和4年3月「カーボンニュートラルの実現に貢献するための下水道技術開発等に関するエネルギー分科会報告書」において、「速やかに取り組むべき技術開発項目」として、すでに位置づけがされている項目

①電力の消費に伴う排出について

主要な対策：現行トレンドシナリオ：従来型省エネ対策

ゲームチェンジシナリオ：従来型省エネ対策＋B-DASH技術

○現行トレンドシナリオ、ゲームチェンジシナリオどちらにおいても温室効果ガス排出量は100万t-CO₂/年以上となっており、2050年においても主要な排出源となることが想定される。今後更なる革新的技術の開発や積極的な省エネ技術の導入推進が望まれる。

・特に対策効果が大きいと想定される水処理・汚泥処理の全体最適化による省エネ技術、消費電力量の大きい水処理工程におけるエネルギー消費削減技術の対策技術の開発を進めるべきである。

【該当R3分科会ロードマップ①-2-1~4 <※1> (見直しロードマップ技術開発項目⑪-2-1~4)】

②燃料の消費に伴う排出について

主要な対策：現行トレンドシナリオ：エネルギー自立型焼却炉(大規模処理場・スラッジセンター等のみ)

ゲームチェンジシナリオ：エネルギー自立型焼却炉(大規模処理場・スラッジセンター等)

焼却以外の汚泥有効利用(中小規模処理場)

○現行トレンドシナリオ、ゲームチェンジシナリオともにエネルギー自立型燃焼炉の導入により、焼却にかかる燃料使用が大幅に削減された。また、ゲームチェンジシナリオにおいて固形燃料化やコンポスト化など焼却以外の汚泥有効利用手法の導入により焼却率が低下したため、現行トレンドシナリオと比較し34% 温室効果ガス排出量が減少した。

・汚泥のエネルギー化により、省エネと創エネを同時に行う技術の高度化(低含水率化、汚泥移送、燃料化、焼却発電等) や 高温焼却のコスト増加を抑制し、導入を円滑化する技術の開発について進めるべきである。

【該当R3分科会ロードマップ①-2-6、②-3-3、④-11-1 <※1>、⑤-12-5 <※1>

(見直しロードマップ技術開発項目⑪-2-6、⑪-3-3、⑨1-5、⑩6-1)】

6. 総括

③水処理プロセスからの排出について

主要な対策：現行トレンドシナリオ：現状維持

ゲームチェンジシナリオ：N₂O排出抑制技術

○N₂O排出抑制技術導入を想定したゲームチェンジシナリオの温室効果ガス排出量は未対策である現行トレンドシナリオの約半分となり、2050年へ向けてN₂O排出抑制手法の確立が望まれる。

【該当R3分科会ロードマップ②-3-1 <※1> (見直しロードマップ技術開発項目⑪-3-1)】

○一方でCH₄排出抑制については未検討であるため、有用な手法が確立されれば更なる削減を見込むことができる。

【該当R3分科会ロードマップ②-3-2 (見直しロードマップ技術開発項目 ⑪-3-2)】

<※1>・・・令和4年3月「カーボンニュートラルの実現に貢献するための下水道技術開発等に関するエネルギー分科会報告書」において、「速やかに取り組むべき技術開発項目」として、すでに位置づけがされている項目

④消化+消化ガス発電による削減について

主要な対策：現行トレンドシナリオ：小規模処理場以外において消化+消化ガス発電(総合効率75%)

ゲームチェンジシナリオ：汚泥可溶化+全量消化+バイオマス受入+消化ガス発電(総合効率85%)

○現行トレンドシナリオ、ゲームチェンジシナリオの両方において50万t-CO₂/年以上の削減効果が期待でき、非常に有効な対策であり更なる導入促進に向けた技術開発を進めるべきである。

【該当R3分科会ロードマップ④-7-2、④-10-1、3(見直しロードマップ技術開発項目⑩-2-2 ⑩-5-1、3)】

○ゲームチェンジシナリオにおいては

・汚泥可溶化技術【該当R3分科会ロードマップ④-10-2 <※1> (見直しロードマップ技術開発項目 ⑩-5-2)】

・バイオマス受入技術【該当R3分科会ロードマップ⑤-12-2 <※1> (見直しロードマップ技術開発項目⑨-1-2)】

等のバイオガスを増大させる技術により非常に大きな創エネ効果を見込めており、速やかに技術開発を開発を進めるべきである。

○また、バイオガス発電により生じる廃熱利用に関する技術開発についても進めるべきである。

【該当R3分科会ロードマップ④-11-1 <※1> (見直しロードマップ技術開発項目 ⑩-6-1)】

6. 総括

⑤ 汚泥焼却に伴う排出について (N₂O関係)

主要な対策：現行トレンドシナリオ：現状の焼却率、N₂O排出抑制炉

ゲームチェンジシナリオ：大規模処理場のみ焼却、超N₂O排出抑制

○ N₂O排出抑制炉の開発・導入を推進することができれば、現行トレンドシナリオ、ゲームチェンジシナリオどちらにおいても全体割合としては比較的小さい値となることから、引き続き円滑な技術開発が進むことを期待する。

【該当R3分科会ロードマップ②-3-3、②-3-4 <※1>，②-3-5 (見直しロードマップ技術開発項目⑪-3-3~5)】

<※1>・・・令和4年3月「カーボンニュートラルの実現に貢献するための下水道技術開発等に関するエネルギー分科会報告書」において、「速やかに取り組むべき技術開発項目」として、すでに位置づけがされている項目

⑥ 固形燃料化による削減について

主要な対策：現行トレンドシナリオ：対策なし

ゲームチェンジシナリオ：中規模処理場において固形燃料化(汚泥乾燥)

○中規模処理場において固形燃料化を行うことで、58万t-CO₂/年程度削減効果が期待でき、汚泥の有効利用方式として有望である。

【該当R3分科会ロードマップ④-8-6 <※1> (見直しロードマップ技術開発項目⑩-3-6)】

⑦ コンポスト化による削減について

主要な対策：現行トレンドシナリオ：対策なし

ゲームチェンジシナリオ：小規模処理場においてコンポスト化

○小規模処理場のみコンポスト化した場合は汚泥量が少なく、影響の小さい値として現段階では試算されているが、今後、有効利用に伴うCO₂削減、炭素固定効果による削減や製造・輸送に関するCO₂排出の考え方の整理状況を注視していく必要。一方、肥料の国産化・安定供給の観点から下水汚泥資源の肥料利用を促進するとされており、その社会的情勢も鑑み、肥料化技術の効率化が必要である。

【該当R3分科会ロードマップ⑥-16-3 <※1> (見直しロードマップ技術開発項目⑨-5-3)】

6. 総括

⑧太陽光発電による削減について

主要な対策：現行トレンドシナリオ：対策なし

ゲームチェンジシナリオ：全処理場面積の17.6%で太陽光発電

○全処理場面積の17.6%で太陽光発電を行うことができれば、その温室効果ガス削減量は26.5万t-CO₂となり創エネ効果としては非常に大きい。導入促進に当たっては設置面積の確保が今後の課題となるが、ペロブスカイト型太陽電池等の次世代太陽光発電技術の開発が進むことを期待する。

【該当R3分科会ロードマップ④-8-9 (見直しロードマップ技術開発項目⑩-3-9)】

<※1>・・・令和4年3月「カーボンニュートラルの実現に貢献するための下水道技術開発等に関するエネルギー分科会報告書」において、「速やかに取り組むべき技術開発項目」として、すでに位置づけがされている項目

⑨その他脱炭素に資する技術について

○場外ポンプ場における燃料消費からの温室効果ガス排出量は現行トレンドシナリオで全体の15%、ゲームチェンジシナリオで全体の23%となっており、その対策が課題となることから、化石燃料使用機器の電化やカーボンフリー燃料利活用についても開発を進める必要がある。

【該当R3分科会ロードマップ①-2-9 <※1> (見直しロードマップ技術開発項目⑪-2-9)】

○嫌気性MBRは現状において省エネ対策が困難な小規模処理場において有効な対策となり得るほか、消化槽の導入困難な処理場においてバイオガスを生成し創エネを行うことができるため速やかな技術開発が望まれる。

【該当R3分科会ロードマップ④-8-4 <※1> (見直しロードマップ技術開発項目⑩-3-4)】

○バイオメタネーションにおける創エネ効果は汚泥可溶化技術、バイオマス受入と比較して高いためこちらについても速やかな技術開発が望まれる。

【該当R3分科会ロードマップ④-9-3 <※1> (見直しロードマップ技術開発項目⑩-4-3)】

○カーボンニュートラルにむけ、バイオマス由来のCO₂の利用や貯蔵などのネガティブエミッション技術が有効になると考えられる。

【該当R3分科会ロードマップ⑥-15-2 (見直しロードマップ技術開発項目⑨-4-2)】

6. 総括(速やかに取り組むべき技術開発項目)

○令和4年3月「カーボンニュートラルの実現に貢献するための下水道技術開発等に関するエネルギー分科会報告書」において抽出された「速やかに取り組むべき技術開発項目」に、令和4年度研究により抽出された技術開発項目も加え、見直しロードマップ(案)を元に、「速やかに取り組むべき技術開発項目」を再整理。なお、カーボンニュートラルの実現への貢献に関しては、様々な手法があることを承知しており、ここに記載する事項以外の開発を妨げるものではない。

技術開発分野ごとのロードマップ ⑨地域バイオマス

技術目標1 地域の間伐材等の未利用資源を活用して脱水効率、消化効率、焼却効率を向上させる技術の開発

技術開発項目1-2 様々な状態で発生する、剪定枝、除草刈草、廃棄物等の受け入れ、前処理、メタン発酵技術

技術開発項目1-5 地域で発生したバイオマス・プラスチック等を用いた焼却炉の効率的運転

技術開発項目1-6 高負荷水・バイオマス受入に関する評価手法や受け入れ技術

技術目標2 下水処理場における多様なバイオマス利用技術を比較するためのLCC評価及びLCA評価等に関する技術の開発

技術開発項目2-1 各種バイオマスのバイオマス有効利用技術のLCC, LCA分析・評価に関する技術

技術目標3 下水中の多様な物質の効率的回収に関する技術の開発

技術開発項目3-1 下水・下水污泥構成元素の分離・リサイクル技術等の開発

技術目標4 下水道資源・エネルギーを利用した農林水産物の生産に関する技術の開発

技術開発項目4-2 下水道資源からの熱・電気・CO₂等を活用(CO₂固定化等含む)したネガティブエミッション技術やトリジェネレーション技術

技術目標5 高付加価値製品等の製造技術の開発

技術開発項目5-3 污泥炭化(乾燥、水熱炭化)、発酵等による肥料化技術の効率化

技術開発項目5-4 バイオマスから製造する製品、資材等の無害化、安全性確保に関する技術

技術開発分野ごとのロードマップ ⑩創エネ・再生可能エネルギー

技術目標1 様々な再生可能エネルギー利用技術を組み合わせた中小規模処理場向けエネルギー自立化技術の開発

技術開発項目2-2 汎用性等新しい嫌気性消化リアクター

技術目標3 下水道施設と下水資源を活用したエネルギー生産技術の開発

技術開発項目3-4 膜ろ過・嫌気処理による省エネ・創エネ型水処理技術

技術開発項目3-6 污泥炭化(乾燥、水熱炭化)、熱分解ガス化等による燃料化技術の効率化

技術開発項目3-9 次世代太陽光、風力等技術の下水道施設への適用拡大

技術目標4 污泥直接、污泥由来バイオガスや硫化水素などからメタン、水素、CO₂等の有効利用ガス成分の効率的な分離・濃縮、精製、回収技術の開発

技術開発項目4-2 バイオガスや污泥や処理水から直接水素を抽出製造する技術

技術開発項目4-3 太陽光発電等を用いて製造したカーボンフリー水素を活用したメタネーション技術

技術目標5 嫌気性消化に関する各種バイオマス受け入れも視野に入れた運転管理方法や既存システムの改良技術の開発

技術開発項目5-1 嫌気性消化をモニタリングする技術と既存消化槽の活用技術

技術開発項目5-2 高濃度濃縮技術、污泥可溶化、マイクロ波の活用等消化性能を向上させる等による既存消化槽の高効率エネルギー生産・回収型への転換技術

技術開発項目5-3 消化槽ではない既存躯体を用いた消化設備技術

技術目標6 熱利用による下水処理場でのエネルギー利用効率化技術の開発

技術開発項目6-1 バイオガス発電、污泥焼却等の廃熱利用の効率化に関する技術

6. 総括(速やかに取り組むべき技術開発項目)

技術開発分野ごとのロードマップ ⑩ 脱炭素社会に資する下水道システム

技術目標 1 下水道施設の省エネ・創エネとあわせたエネルギー消費最小化とエネルギー自立に向けた技術開発

技術開発項目 1-1 下水道施設の省エネ・創エネとあわせたエネルギー消費最小化とエネルギー自立

技術目標 2 水処理・汚泥処理の最適化に資する技術開発

技術開発項目 2-1 水処理・汚泥処理の全体最適化による省エネ技術 (流入有機物の回収による水処理負荷軽減、担体利用技術、微生物燃料電池等)

技術開発項目 2-2 ICT (センサー、CFD等)、AIを活用した省エネ水処理技術 (流入水量・水質の変動にあわせた曝気風量の制御や酸素溶解効率の向上等によるエネルギー最適化)

技術開発項目 2-3 送風プロセス (送風機、制御システム、散気装置等) の最適化による省エネ技術

技術開発項目 2-4 活性汚泥法代替の曝気を行わない省エネ型水処理技術 (散水ろ床タイプ、嫌気性処理、湿地処理等)

技術開発項目 2-6 汚泥のエネルギー化により、省エネと創エネを同時に行う技術の高度化 (低含水化、汚泥移送、燃料化、焼却発電等)

技術開発項目 2-7 エネルギーマネジメント

技術開発項目 2-8 水循環・環境、物質循環、エネルギー、GHG削減等を勘案した下水道・流域管理・社会システムの全体最適に向けた調査研究等

技術開発項目 2-9 化石燃料使用機器の電化やカーボンフリー燃料利活用

技術目標 3 下水道から排出されるCH₄、N₂Oの排出削減に関する技術開発

技術開発項目 3-1 水処理におけるN₂O発生機構の解明、微生物群集構造の解析・制御等による排出抑制技術の実用化

技術開発項目 3-2 水処理におけるCH₄発生機構の解明、排出抑制技術の開発

技術開発項目 3-3 汚泥高温焼却のコスト増加を抑制し、導入を円滑化する技術

技術開発項目 3-4 N₂O排出量の少ない、より高度な焼却技術

技術開発項目 3-5 省エネ・創エネと同時にN₂O排出抑制を達成する技術

技術目標 4 ベンチマーキング手法を活用し、事業主体のエネルギー効率改善促進

技術開発項目 4-1 エネルギー効率に関する適切な技術的指標の開発、ベンチマーキング手法の導入を支援する技術

技術開発項目 4-2 省エネ・創エネ・省CO₂性能の合理的な定量化手法・改善技術

7. まとめ および 今後の取り組みについて

まとめ

ゲームチェンジシナリオについては、下記技術の全面的な導入といった大胆な仮定条件において、2050年カーボンニュートラルが達成される試算結果を得た※)。

※) P.45一覧表も参照。シナリオで用いた処理フローや想定技術は、今後脱炭素に資すると想定される技術の一部を試算の都合上設定したもので、各処理方法や規模ごとに、ここに記載のフローのみを推奨するものではない。

- ・自動制御技術における省エネ (OD法) / B-DASH技術導入による省エネ (標準法・高度処理法)
- ・水処理プロセスにおけるN₂O抑制対策 (A2O法並の排出係数)
- ・地域バイオマスの受け入れ
- ・全処理区分における全量消化、汚泥可溶化技術 (消化率の更なる向上)
- ・消化ガス発電 (熱利用等含む総合効率85%)
- ・汚泥処理・有効利用：汚泥全量コンポスト化 / 汚泥乾燥による全量固形燃料化 / 汚泥焼却 (エネルギー自立かつ更なるN₂O排出抑制焼却炉)
- ・太陽光発電の導入

しかし前述の通り、ゲームチェンジシナリオでは、汚泥全量消化等大胆な仮定を置き実施しているものであり、今回試算対象とした技術のみならず、小規模処理場、場外ポンプ場における省エネや、水処理における発生CH₄の対策、新たな省エネ・創エネ型水処理技術、バイオメタネーション、ネガティブエミッション技術等、幅広く技術開発を進め、カーボンニュートラル達成を目指す必要がある。

本試算の今後の取り組み

- ・新技術に関する動向や、各種委員会での検討を注視。
- ・今回整理した内容の周知、B-DASH事業や応用研究テーマなどへの展開。

參考資料

第2回エネルギー分科会における主なご意見について

No.	分類	意見	対応	該当頁
1	2050年シナリオ検討・感度分析について	地域バイオマスの受け入れについて2050年における供給可能性について検討しているのか	○国土交通省環境行動計画に位置づけられた2030年目標値と現状の地域バイオマスの受入状況のトレンドから2050年の受入量を推定し再試算を行った。	P.7
2	2050年シナリオ検討・感度分析について	ゲームチェンジシナリオにおいて中規模処理場では固形燃料化を推奨し、大規模処理場においては焼却を推奨するという意図があるのか。	○今回シナリオで設定した個別技術のみ推奨する意図はない。	-
3	2050年シナリオ検討・感度分析について	固形燃料の処理場から利用先への搬出に伴う排出について分からないものなのか。	○算出を実施し、大勢に影響する排出量でないことを確認した。	P.36
4	2050年シナリオ検討・感度分析について	脱水汚泥の含水率80%で設定されているが、焼却時に自然運転できるのか。	○過去の研究や将来的な技術の進展を見込み可能であるとして試算を行った。	P.37-40
5	2050年シナリオ検討・感度分析について	アンモニア発電のような他分野での新技術の導入による影響を試算していただきたい。	○現在、窒素利用がどのような影響をもたらすのか検討されている段階であり、試算に導入可能な情報は得られていない。下水道分野に与える影響について動向を注視していく。	-
6	2050年シナリオ検討・感度分析について	新しい技術というよりも散水ろ床法のような昔使用されていた技術が導入された時のシナリオもあるのではないかと考える。	○類似B-DASH技術について試算を行った。	P.41

第2回エネルギー分科会における主なご意見について

No.	分類	意見	対応	該当頁
7	2050年シナリオ検討・感度分析について	コンポストの試算内で汚泥からのCH ₄ の排出は考慮しなくてよいのか。	<ul style="list-style-type: none"> ○今回はR3年度と同様として試算を行った。 ○有効利用に伴うCO₂削減量や製造・輸送に関するCO₂排出量の考え方が統一されておらず、GX委員会等の動向を踏まえて再試算等を検討 	P.42
8	2050年シナリオ検討・感度分析について	都市部の下水処理場は用地が無く、太陽光発電を設置するのが難しい状況となっている。	<ul style="list-style-type: none"> ○平均利用可能面積の算出根拠である調査は都市部も対象としており、ある程度そのような状況も考慮して試算している。 	P.12

地域特性・社会情勢の変化等に応じた2050年シナリオ検討・感度分析 (固形燃料の搬出に伴う温室効果ガス排出量について)

・固形燃料の運搬について

①	固形燃料化製造量	41	万t/年	ゲームチェンジシナリオ試算結果より
②	自動車走行距離(往復)	120	Km	資源有効利用調査票より 終末処理場と処理処分施設の直線距離の平均値 (搬出先：公共及び民間)
③	軽油使用量	2297640	L/年	①×②×0.0467L/t/km
		2297.64	kL/年	
④	燃料使用に伴う排出	5,928	t-CO ₂	③×2.58t-CO ₂ /kL
⑤	走行に伴う排出(CH ₄)	0.0000012	t-CH ₄	④×0.00000001t-CH ₄ /km
⑥	走行に伴う排出(N ₂ O)	0.00000444	t-N ₂ O	④×0.000000037t-N ₂ O/km
⑦	温室効果ガス排出量	0.59	万t-CO₂	

※固形燃料化創エネ量58万t-CO₂

・係数出典

運送トンキロあたりの軽油消費量	0.0467	L/t/km	経産省・国交省 物流分野のCO2排出に関する「算定方法ガイドライン」
軽油排出係数	2.58	kg-CO ₂ /L	下水道における地球温暖化対策マニュアル
走行に伴う排出	0.00000001	t-CH ₄ /km	下水道における地球温暖化対策マニュアル
走行に伴う排出	0.000000037	t-N ₂ O/km	下水道における地球温暖化対策マニュアル

固形燃料の創エネ量に対して、固形燃料の搬出に伴う温室効果ガス排出量は非常に小さい結果となった。

地域特性・社会情勢の変化等に応じた2050年シナリオ検討・感度分析 (エネルギー自立型の焼却炉の考え方について)

下水処理場のエネルギー自立化に関する共同研究(日本下水道新技術機構 2020年3月) より

本研究は実際の下水処理場において、運転手法改善及び最新省エネ技術を適用し消費電力量を削減すると共に、消化ガス発電等の下水由来の創エネや太陽光発電・風力発電など自然由来の創エネを想定し、エネルギー自立化の可能性について検討を行ったものである。

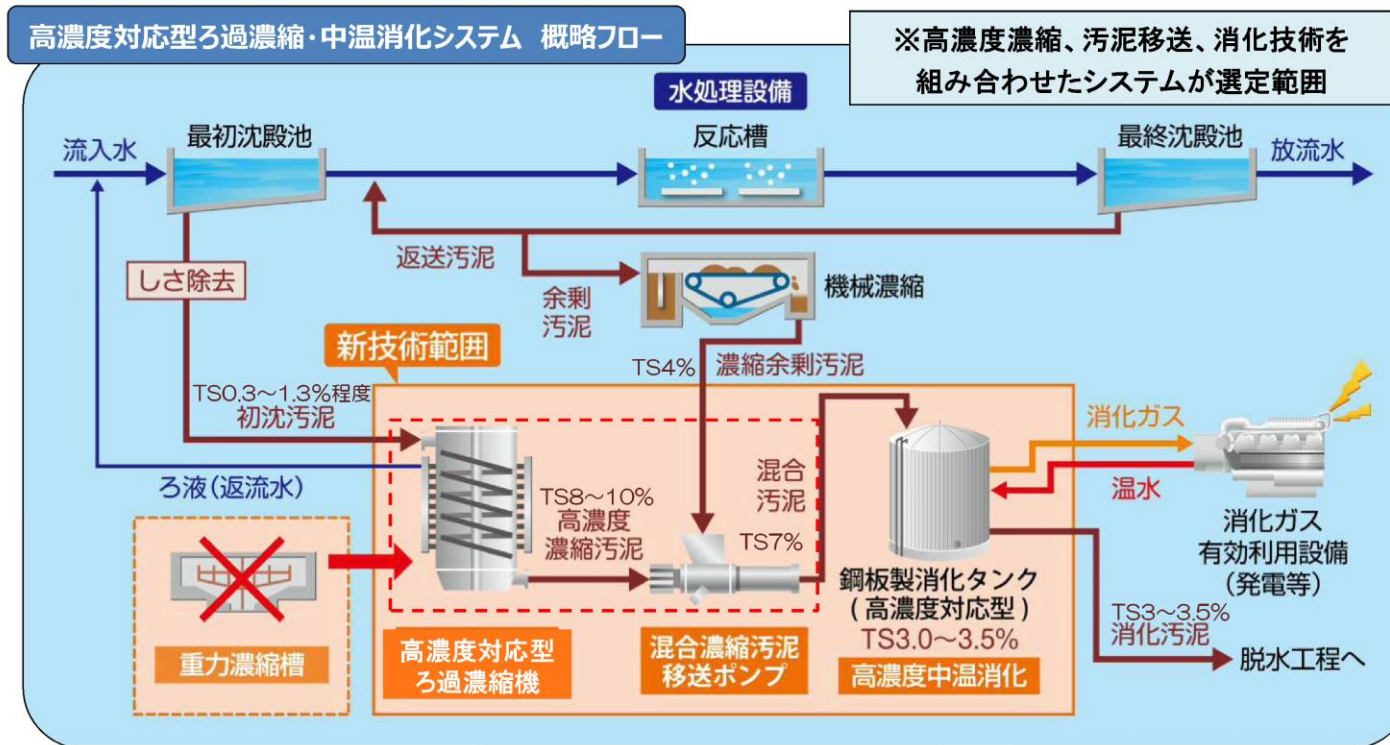
処理場名称		ケーススタディ		
		水処理	汚泥処理	創エネ
1	A	運転方案改善 省エネ設備導入検討	高濃度消化 + 下水汚泥由来繊維利活用システム + 新型炉	ガス発電 太陽光発電 風力発電

区分		単位	エネルギー消費量	
			CASE0 含水率 83%	CASE1-1 含水率 78%
水処理	主ポンプ	千 kWh/年	2,655	2,515
	送風機	千 kWh/年	4,026	3,238
	水処理	千 kWh/年	1,993	1,450
	水処理計	千 kWh/年	8,674	7,203
汚泥処理	汚泥脱水設備	千 kWh/年	175	168
	プラチナシステム	千 kWh/年	—	142
	濃縮・消化	千 kWh/年	542	1,103
	多層燃焼流動炉+乾燥機	千 kWh/年	3,536	1,733
	消化ガス発電	千 kWh/年	—	-6,159
	汚泥処理計	千 kWh/年	4,253	-3,013
合計	千 kWh/年	12,927	4,190	

➡ 本研究により汚泥処理系において最新技術の組み合わせによりエネルギー的自立する可能性が示された
本試算においては将来的な技術の進展を見込みエネルギー自立型の焼却が十分可能であるとして試算を行った。

地域特性・社会情勢の変化等に応じた2050年シナリオ検討・感度分析 (エネルギー自立型の焼却炉の考え方について)

- ・高濃度対応型ろ過濃縮・中温消化システムについて



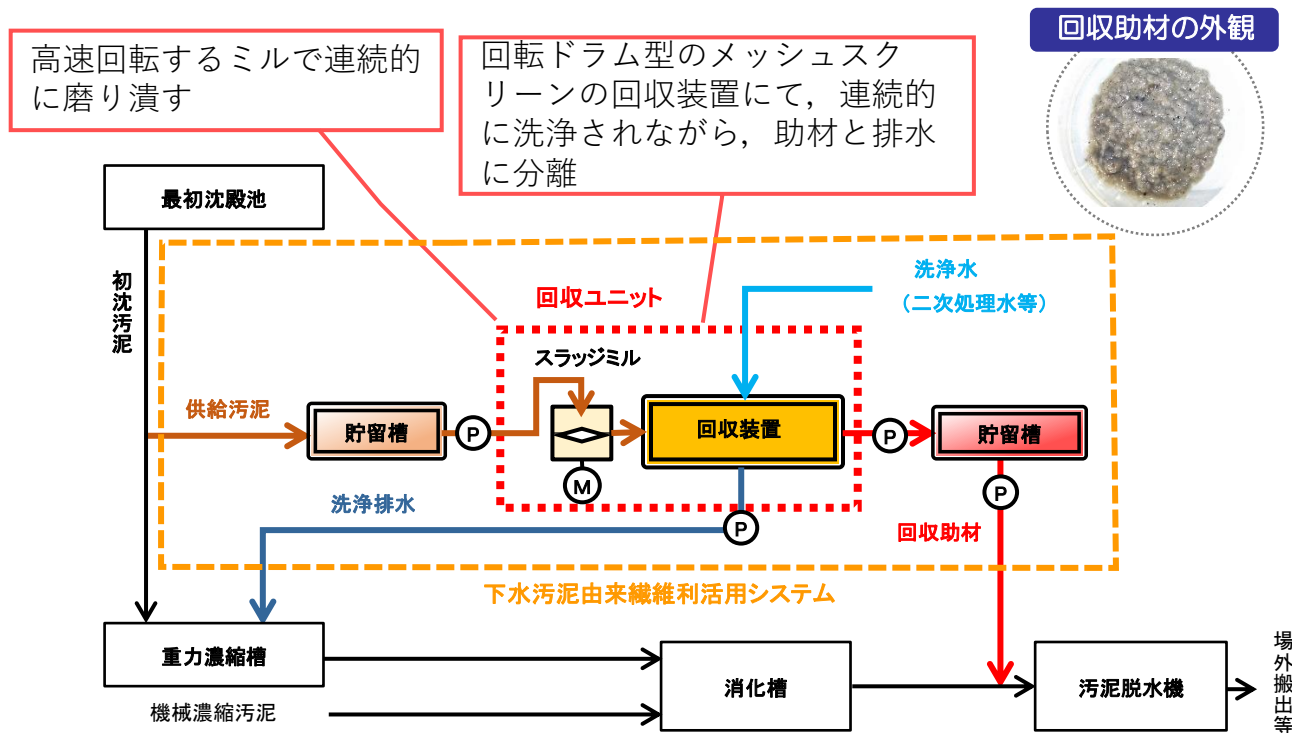
- 初沈汚泥をTS-8~10%に機械濃縮
- 濃縮初沈汚泥を濃縮余剰汚泥 (TS4%) とポンプ内で混合し、効率的に搬送

下水処理場におけるエネルギー自立化に向けた技術資料(日本下水道新技術機構 2020年3月)より

地域特性・社会情勢の変化等に応じた2050年シナリオ検討・感度分析 (エネルギー自立型の焼却炉の考え方について)

・下水汚泥由来繊維利活用システムについて

汚泥中のセルロースを回収し脱水助剤として利用

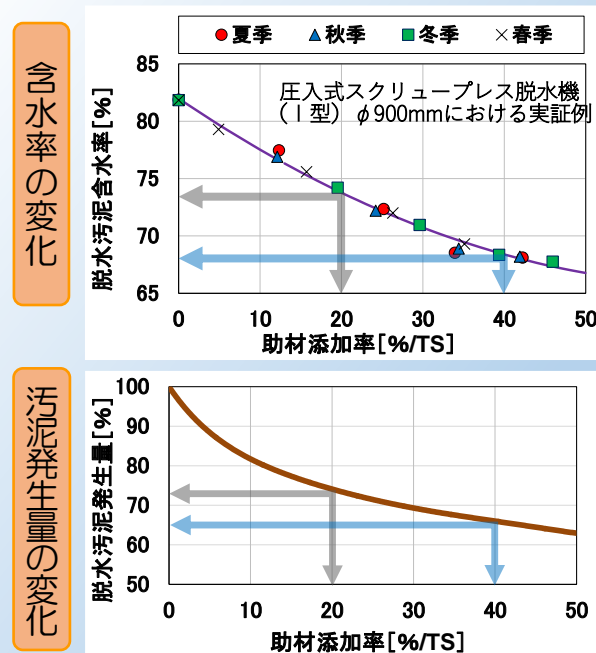


下水汚泥由来繊維利活用システムの処理フロー

下水処理場におけるエネルギー自立化に向けた技術資料(日本下水道新技術機構 2020年3月)より

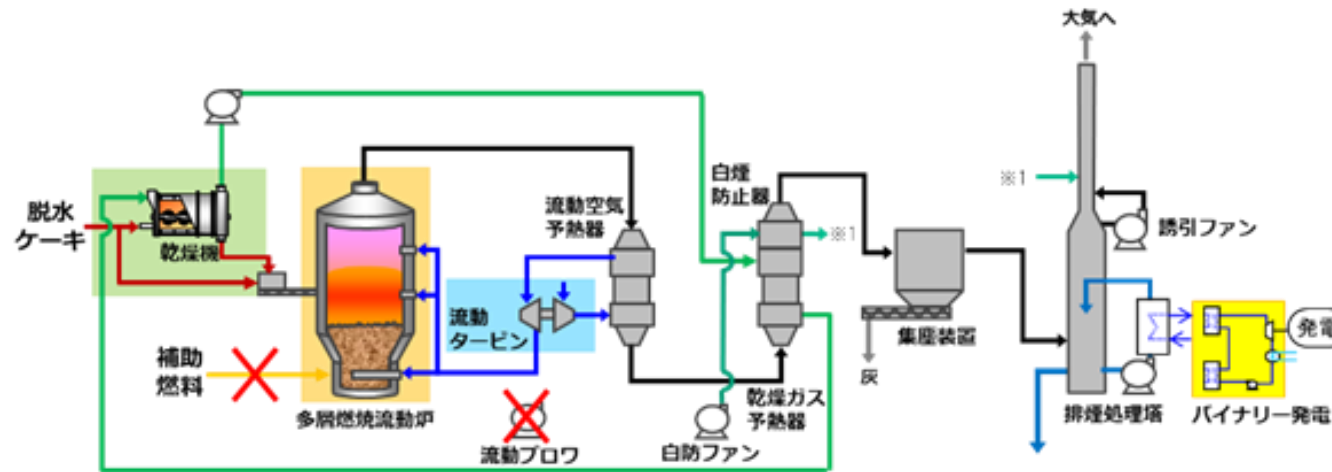
導入効果の一例

脱水汚泥の低含水率化による汚泥量削減



地域特性・社会情勢の変化等に応じた2050年シナリオ検討・感度分析 (エネルギー自立型の焼却炉の考え方について)

省エネ・創エネ型汚泥焼却システムについて

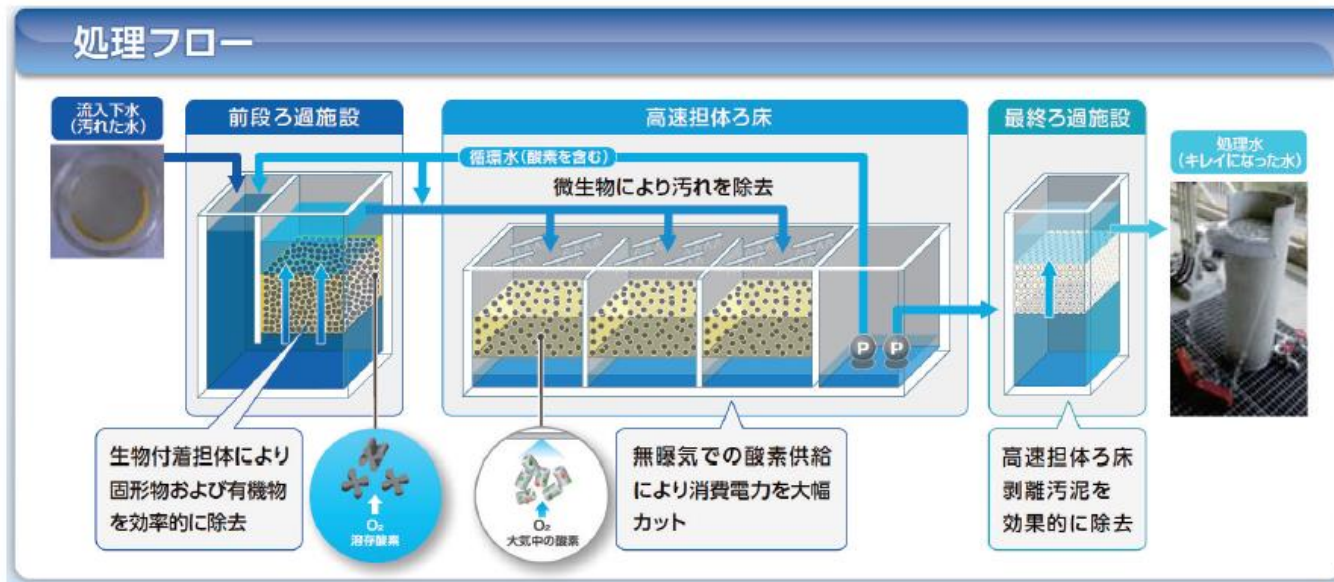


部分乾燥システム 焼却炉自燃化 炉投入前の性状調整	多層燃焼流動炉 燃費低減 操炉安定化(高度制御)	流動タービンシステム 流動プロフ分の動力削減 (エネルギーの直接回収)	バイナリー発電システム 未利用エネルギーにより 電力創出
--	---------------------------------------	--	---

下水処理場におけるエネルギー自立化に向けた技術資料(日本下水道新技術機構 2020年3月)より

地域特性・社会情勢の変化等に応じた2050年シナリオ検討・感度分析 (その他脱炭素に資する技術について)

- ・ B-DASH技術：無曝気循環式水処理技術の導入



B-DASH プロジェクト No.12
 無曝気循環式水処理技術導入ガイドライン
 (案) より

本試算においては中規模標準法に適用

区分	処理水量		ゲームチェンジシナリオにおける水処理設備消費電力量	無曝気循環式水処理技術における水処理設備消費電力量	温室効果ガス排出量の差
	1~10万	m ³ /年	千kWh/年	千kWh/年	万t-CO ₂
標準法	1~10万	3,549,914,807	435,486	372,741	2

※ゲームチェンジシナリオとは両立できないためシナリオ内に組み込まなかった。

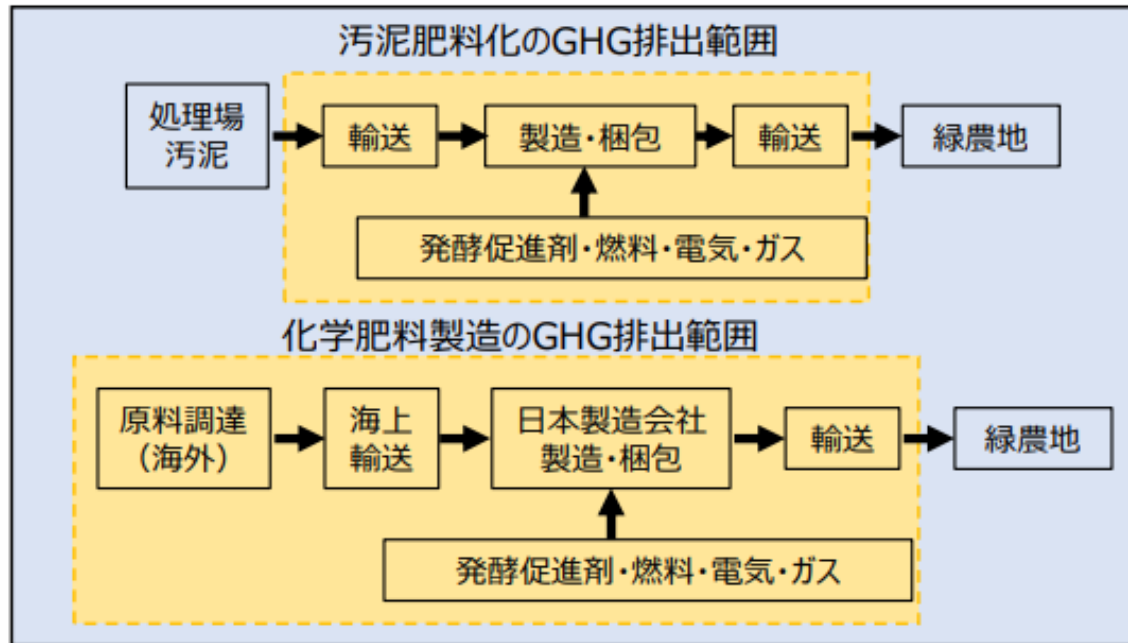
➡ 省エネ技術、運転改善、B-DASH(超固液分離+ICTを活用した硝化運転)を見込んだゲームチェンジシナリオと同程度の消費電力量となり、脱炭素に資する技術である。

地域特性・社会情勢の変化等に応じた2050年シナリオ検討・感度分析 (コンポスト化について)

・コンポスト化による化学肥料代替効果の試算

同量の窒素、リン酸を得る際に発生するCO₂について、下水汚泥発酵肥料の製造等に伴い発生するCO₂排出量と化学肥料製造等に伴い発生するCO₂排出量の比較を行った。

本試算においては製造・輸送に関するCO₂排出については考慮されているが、汚泥からのCH₄排出や炭素固定化による削減は考慮されていない。



※R3年度分科会試算と同様

- ・有効利用に伴うCO₂削減や製造・輸送に関するCO₂排出の考え方が統一されておらず、GX委員会等の動向を踏まえて再試算等を検討する。
- ・本年度はR3年度試算と同様に試算を行う。

試算詳細

地域特性・社会情勢の変化等に応じた2050年シナリオ検討・感度分析

①シナリオ(現行トレンドシナリオ)

・現行トレンドシナリオ

区分		汚泥処理方式	電力消費	燃料消費	水処理 プロセス	消化+ 消化ガス発電	汚泥有効利用	太陽光発電
処理方法	日平均処理水量(m ³ /日)							
OD法	1万以下	濃縮⇒脱水 ⇒場外搬出or焼却(N ₂ O排出抑制炉)	・従来型省エネ対策 (省エネ機器導入、運転改善)	-	-	-	・場外搬出または現在の新型炉(N ₂ O排出抑制炉で焼却)	
標準法	1~10万	濃縮⇒消化⇒脱水 ⇒場外搬出or焼却(N ₂ O排出抑制炉)						
標準法	10万以上	濃縮⇒消化⇒脱水 ⇒場外搬出or焼却(エネルギー自立+N ₂ O排出抑制炉)	・従来型省エネ対策 (省エネ機器導入、運転改善) ・自然運転や廃熱発電により焼却に伴う電力使用量はゼロとする。	・自然運転や廃熱発電により焼却に伴う燃料使用量はゼロとする。	-	・発生汚泥を全量消化+消化ガス発電 (B-DASH技術等のトップランナー値を使用)	・場外搬出または現在の新型炉(エネルギー自立+N ₂ O排出抑制炉で焼却)	
高度処理	1~10万	濃縮⇒消化⇒脱水 ⇒場外搬出or焼却(N ₂ O排出抑制炉)	・従来型省エネ対策 (省エネ機器導入、運転改善)	-			・場外搬出または現在の新型炉(N ₂ O排出抑制炉で焼却)	
高度処理	10万以上	濃縮⇒消化⇒脱水 ⇒場外搬出or焼却(エネルギー自立+N ₂ O排出抑制炉)	・従来型省エネ対策 (省エネ機器導入、運転改善) ・自然運転や廃熱発電により焼却に伴う電力使用量はゼロとする。	・自然運転や廃熱発電により焼却に伴う燃料使用量はゼロとする。	-	-	・場外搬出または現在の新型炉(エネルギー自立+N ₂ O排出抑制炉で焼却)	
スラッジセンター等その他施設		濃縮⇒消化⇒脱水 ⇒場外搬出or焼却(エネルギー自立+N ₂ O排出抑制炉)	・自然運転や廃熱発電により焼却に伴う電力使用量はゼロとする。	・自然運転や廃熱発電により焼却に伴う燃料使用量はゼロとする。				

- 2050年までの人口推計を踏まえ、将来の処理水量（二次処理、高度処理）、汚泥処理量を推定し、ベースとなるエネルギー由来のCO₂排出量やN₂O排出量等を推定。
- 「電力消費」については現状の省エネ技術が可能な限り普及展開するとして試算。
- 「電力消費」及び「燃料消費」については10万m³/日以上の大規模処理場及びスラッジセンター等において自然運転や廃熱発電によりエネルギー的に自立するとして試算。
- 「水処理プロセスからの排出」については未対策。
- 「創エネ」として日平均流入水量1万m³/日以上の処理場において全量消化を行い消化ガス発電を行うと仮定。
- 「汚泥焼却」については、新型炉に置き換わったとして現状のトップランナー値を用いて排出量を算出。
- 電力由来のCO₂排出係数は0.25[kg-CO₂/kWh]を使用する。

地域特性・社会情勢の変化等に応じた2050年シナリオ検討・感度分析

①シナリオ(ゲームチェンジシナリオ)

・ゲームチェンジシナリオ

区分		汚泥処理方式	電力消費	燃料消費	水処理プロセス	消化(バイオマス受入)+ 消化ガス発電	汚泥の有効利用	太陽光発電
処理方法	日平均処理水量(m ³ /日)							
OD法	1万以下	濃縮⇒汚泥可溶化 ⇒消化(バイオマス受入) ⇒脱水⇒コンポスト化	・従来型省エネ対策 (省エネ機器導入、運転改善) ・自動制御技術等	-	-	-	・全量コンポスト化を行うとして試算	・全処理面積の 17.6%で太陽光発 を行ったとして試算
標準法	1~10万	濃縮⇒汚泥可溶化 ⇒消化(バイオマス受入) ⇒脱水⇒固形燃料化(乾燥)	・従来型省エネ対策 (省エネ機器導入、運転改善) ・B-DASH技術(超固液分離技術、ICTを 活用した硝化運転制御技術等)	-	-	-	・汚泥乾燥(B-DASH技術)により全量固形燃料化 を行うとして試算	
標準法	10万以上	濃縮⇒汚泥可溶化 ⇒消化(バイオマス受入) ⇒脱水⇒焼却(エネルギー自立+超N ₂ O排出抑制炉)	・従来型省エネ対策 (省エネ機器導入、運転改善) ・B-DASH技術(超固液分離技術、ICTを 活用した硝化運転制御技術等) ・自然運転や廃熱発電により焼却に伴う 電力使用量はゼロとする。	・自然運転や廃熱発電により焼却に 伴う燃料使用量はゼロとする。	・N ₂ Oの抑制対策 (A2O法の排出係数使用)	・発生汚泥を全量消化 ・バイオマス受入 ・汚泥可溶化技術の導入により、消化率 を60%から65%まで向上 ・消化ガス発電(発電効率の更なる改善)	・現在の新型炉の排出量から技術革新によりさ らに排出が減少するとして試算(エネルギー自立 +超N ₂ O排出抑制炉)	
高度処理	1~10万	濃縮⇒汚泥可溶化 ⇒消化(バイオマス受入) ⇒脱水⇒固形燃料化(乾燥)	・従来型省エネ対策 (省エネ機器導入、運転改善) ・B-DASH技術(超固液分離技術、ICTを 活用した硝化運転制御技術等)	-	-	-	・汚泥乾燥(B-DASH技術)により全量固形燃料化 を行うとして試算	
高度処理	10万以上	濃縮⇒汚泥可溶化 ⇒消化(バイオマス受入) ⇒脱水⇒焼却(エネルギー自立+超N ₂ O排出抑制炉)	・従来型省エネ対策 (省エネ機器導入、運転改善) ・B-DASH技術(超固液分離技術、ICTを 活用した硝化運転制御技術等) ・自然運転や廃熱発電により焼却に伴う 電力使用量はゼロとする。	・自然運転や廃熱発電により焼却に 伴う燃料使用量はゼロとする。	-	-	・現在の新型炉の排出量から技術革新によりさ らに排出が減少するとして試算(エネルギー自立 +超N ₂ O排出抑制炉)	
スラッジセンター等その他施設		濃縮⇒汚泥可溶化 ⇒消化(バイオマス受入) ⇒脱水⇒焼却(エネルギー自立+超N ₂ O排出抑制炉)	・自然運転や廃熱発電により焼却に伴う 電力使用量はゼロとする。	-	-	-	-	

- 「電力消費」については現行トレンドシナリオに加え、**B-DASH等の技術が導入**されることを想定。
- 「電力消費」及び「燃料消費」については10万m³/日以上の大規模処理場及びスラッジセンター等において自然運転や廃熱発電により**エネルギー的に自立**するとして試算。
- 「水処理プロセスからの排出」についてはN₂Oの抑制対策が確立したとして**一律A2O法の排出係数**を適応。
- 「創エネ」として**全ての処理場において全量消化**を行い**消化ガス発電**を行うと仮定。
この際、**バイオマス受入、汚泥可溶化**により更なる創エネを想定。
- 日平均処理水量1万m³/日以下については**コンポスト化**を行い、1~10万m³/日については**固形燃料化**を行い、**10万m³/日以上は焼却**を行うものとして試算を行う。(スラッジセンター等その他施設については2018年のまま変化しないと仮定)
- 「汚泥焼却」については、現在の新型炉の排出量から**技術革新によりさらに排出が減少**するとして試算。
- 電力由来のCO₂排出係数は0.25[kg-CO₂/kWh]を使用する。

地域特性・社会情勢の変化等に応じた2050年シナリオ検討・感度分析

①シナリオまとめ

・現行トレンドシナリオ

処理方法	区分		汚泥処理方式	電力消費	燃料消費	水処理プロセス	消化+消化ガス発電	汚泥有効利用	太陽光発電
	日平均処理水量(m ³ /日)								
OD法	1万以下	濃縮⇒脱水 ⇒場外搬出or焼却(N ₂ O排出抑制炉)	・従来型省エネ対策 (省エネ機器導入、運転改善)	-	-	-	-	・場外搬出または現在の新型炉(N ₂ O排出抑制炉で焼却)	-
標準法	1~10万	濃縮⇒消化⇒脱水 ⇒場外搬出or焼却(N ₂ O排出抑制炉)							
標準法	10万以上	濃縮⇒消化⇒脱水 ⇒場外搬出or焼却焼却(エネルギー自立+N ₂ O排出抑制炉)	・従来型省エネ対策 (省エネ機器導入、運転改善) ・自然運転や廃熱発電により焼却に伴う電力使用量はゼロとする。	・自然運転や廃熱発電により焼却に伴う燃料使用量はゼロとする。	-	-	-	・場外搬出または現在の新型炉(エネルギー自立+N ₂ O排出抑制炉で焼却)	-
高度処理	1~10万	濃縮⇒消化⇒脱水 ⇒場外搬出or焼却(N ₂ O排出抑制炉)							
高度処理	10万以上	濃縮⇒消化⇒脱水 ⇒場外搬出or焼却焼却(エネルギー自立+N ₂ O排出抑制炉)	・従来型省エネ対策 (省エネ機器導入、運転改善) ・自然運転や廃熱発電により焼却に伴う電力使用量はゼロとする。	・自然運転や廃熱発電により焼却に伴う燃料使用量はゼロとする。	-	-	-	・場外搬出または現在の新型炉(エネルギー自立+N ₂ O排出抑制炉で焼却)	-
スラッジセンター等その他施設		濃縮⇒消化⇒脱水 ⇒場外搬出or焼却焼却(エネルギー自立+N ₂ O排出抑制炉)							

・ゲームチェンジシナリオ

処理方法	区分		汚泥処理方式	電力消費	燃料消費	水処理プロセス	消化(バイオマス受入)+消化ガス発電	汚泥の有効利用	太陽光発電
	日平均処理水量(m ³ /日)								
OD法	1万以下	濃縮⇒汚泥可溶化 ⇒消化(バイオマス受入) ⇒脱水⇒コンポスト化	・従来型省エネ対策 (省エネ機器導入、運転改善) ・自動制御技術等	-	-	-	-	・全量コンポスト化を行うとして試算	-
標準法	1~10万	濃縮⇒汚泥可溶化 ⇒消化(バイオマス受入) ⇒脱水⇒固形燃料化(乾燥)							
標準法	10万以上	濃縮⇒汚泥可溶化 ⇒消化(バイオマス受入) ⇒脱水⇒焼却(エネルギー自立+超N ₂ O排出抑制炉)	・従来型省エネ対策 (省エネ機器導入、運転改善) ・B-DASH技術(超固液分離技術、ICTを活用した硝化運転制御技術等)	・自然運転や廃熱発電により焼却に伴う燃料使用量はゼロとする。	-	-	-	・現在の新型炉の排出量から技術革新によりさらに排出が減少するとして試算(エネルギー自立+超N ₂ O排出抑制炉)	-
高度処理	1~10万	濃縮⇒汚泥可溶化 ⇒消化(バイオマス受入) ⇒脱水⇒固形燃料化(乾燥)							
高度処理	10万以上	濃縮⇒汚泥可溶化 ⇒消化(バイオマス受入) ⇒脱水⇒焼却(エネルギー自立+超N ₂ O排出抑制炉)	・従来型省エネ対策 (省エネ機器導入、運転改善) ・B-DASH技術(超固液分離技術、ICTを活用した硝化運転制御技術等) ・自然運転や廃熱発電により焼却に伴う電力使用量はゼロとする。	・自然運転や廃熱発電により焼却に伴う燃料使用量はゼロとする。	-	-	-	・現在の新型炉の排出量から技術革新によりさらに排出が減少するとして試算(エネルギー自立+超N ₂ O排出抑制炉)	・全処理面積の17.6%で太陽光発電を行ったとして試算
スラッジセンター等その他施設		濃縮⇒汚泥可溶化 ⇒消化(バイオマス受入) ⇒脱水⇒焼却(エネルギー自立+超N ₂ O排出抑制炉)							

地域特性・社会情勢の変化等に応じた2050年シナリオ検討・感度分析

②2050年処理水量、汚泥処理量

	単位	2018	2050(推計)
総人口	百万人	126	102
下水道人口	百万人	100	82
下水道人口割合	%	79.3	80.1
処理水量	億m ³ /年	146	119
1人当たり処理水量	m ³ /人/年	146.1	146.1
高度処理水量	億m ³ /年	32	70
発生汚泥量	千t-DS/年	2,344	1,908
1人当たり汚泥量	kg-DS/人/年	23.4	23.4

※1 国立人口問題研究所「日本の将来推計人口（平成29年7月推計）出生中位（死亡中位）推計値」から2050年の人口を抽出し、下水道人口割合は2020年度実績の80.1%で推移するとし、また2018年度の人口（実績）と下水道統計・汚泥有効利用調査の実績を入力から1人当たりの処理水量、発生汚泥量を算出して2050年度の処理水量、発生汚泥量を推計した。

なお、高度処理水量については2050年の下水道人口のうち84.9%が高度処理の必要とし※2、高度処理普及率は100%まで到達するとして、その割合を用いて算出。

※2 2009年～2013年までの下水道人口のうち高度処理の必要な人口割合の平均。

地域特性・社会情勢の変化等に応じた2050年シナリオ検討・感度分析

③電力の消費に伴う排出

区分※1		2050年				備考
		処理水量	水処理設備 消費電力量	その他設備 消費電力量	合計 消費電力量	
		m ³ /年	千kWh/年	千kWh/年	千kWh/年	
OD法	1万以下	984,281,637	533,096	533,812	1,066,908	OD法 + 日平均処理水量 1 万 m ³ /日以下の標準法、高度処理を含む
標準法	1~10万	3,549,914,807	715,084	613,511	1,328,595	
	10万以上	3,563,237,159	633,552	595,828	1,229,380	
高度処理	1~10万	1,424,460,830	408,551	275,956	684,507	
	10万以上	2,402,289,121	542,672	396,086	938,758	
スラッジセンター等その他施設		0	0	263,826	263,826	
場外ポンプ場		—	—	—	593,586	
合計		11,924,183,554	2,832,955	2,679,018	6,105,558	

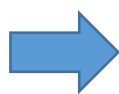
(計算方法)

※1 水処理方式は2018年から変化しないと仮定。処理水量は2050年推定値により区分する。

水処理方式は「OD法(高度処理オキシデーションディッチ法を含む。また日平均処理水量 1 万 m³/日以下の標準法、高度処理を含む。)」 「標準法」 「高度処理(OD法、標準法以外の水処理方式)」の様に分類した。なお、複数の水処理方式を採用している処理場については下水道統計より各系列の処理水量を参照し、最も処理水量が大きい方式を採用した。

※2 2050年の処理水量、消費電力量は2018年の活動量に2018年と2050年の処理水量比(0.814)を乗ずることで算出した。

省エネ技術や革新的技術が可能な限り普及展開するとし、その削減効果を踏まえ、温室効果ガス排出量を試算。



現行トレンドシナリオ : 既存の省エネ対策の実施(省エネ技術導入・運転改善)

ゲームチェンジシナリオ : 現行トレンドシナリオ + B-DASH 技術or自動制御技術(OD法)

地域特性・社会情勢の変化等に応じた2050年シナリオ検討・感度分析

③電力の消費に伴う排出

現行トレンドシナリオ		2050年												
区分		処理水量	水処理設備消費電力量	水処理設備電力削減率	その他設備消費電力量	その他設備電力削減率	省エネ対策前消費電力量	省エネ対策後消費電力量	消化ガス発電量※1	焼却炉廃熱発電量※2	固形燃料化消費電力量※3	消化ガス発電、廃熱発電制御後の消費電力量	温室効果ガス排出量	寄与率
		m ³ /年	千kWh/年	%	千kWh/年	%	千kWh/年	千kWh/年	千kWh/年	千kWh/年	千kWh/年	千kWh/年	千kWh/年	万t-CO ₂
OD法	1万以下	984,281,637	533,096	17.3	533,812	17.3	1,066,908	882,866	1,477	0	0	881,389	22	18
標準法	1~10万	3,549,914,807	715,084	19.7	613,511	19.7	1,328,595	1,066,862	45,454	0	0	1,021,408	26	21
	10万以上	3,563,237,159	633,552	24	595,828	24	1,229,380	934,329	5,989	39,052	0	889,288	22	19
高度処理	1~10万	1,424,460,830	408,551	17	275,956	17	684,507	568,140	33,936	0	0	534,205	13	11
	10万以上	2,402,289,121	542,672	23.8	396,086	23.8	938,758	715,333	26,183	25,558	0	663,593	17	14
スラッジセンター等その他施設		0	0	-	263,826	-	263,826	263,826	36,597	43,756	0	183,473	5	4
場外ポンプ場		-	-	-	-	-	593,586	593,586	0	0	0	593,586	15	12
合計		11,924,183,554	2,832,955	-	2,679,018	-	6,105,558	5,024,942	149,636	108,366	0	4,766,941	119	-

ゲームチェンジシナリオ		2050年													
区分		処理水量	水処理設備消費電力量	水処理設備電力削減率	その他設備消費電力量	その他設備電力削減率	省エネ対策前消費電力量	省エネ対策後消費電力量	消化ガス発電量※1	焼却炉廃熱発電量※2	汚泥可溶化消費電力量※3	固形燃料化消費電力量※3	消化ガス発電、廃熱発電制御後の消費電力量	温室効果ガス排出量	寄与率
		m ³ /年	千kWh/年	%	千kWh/年	%	千kWh/年	千kWh/年	千kWh/年	千kWh/年	千kWh/年	千kWh/年	千kWh/年	千kWh/年	万t-CO ₂
OD法	1万以下	984,281,637	533,096	30.2	533,812	17.3	1,066,908	814,097	1,477	0	15,554	0	828,174	21	17
標準法	1~10万	3,549,914,807	715,084	39.1	613,511	19.7	1,328,595	928,135	45,454	0	51,648	165,041	1,099,370	27	23
	10万以上	3,563,237,159	633,552	46.4	595,828	24	1,229,380	792,413	5,989	49,667	34,492	0	771,248	19	16
高度処理	1~10万	1,424,460,830	408,551	35.4	275,956	17	684,507	492,967	33,936	0	19,938	63,711	542,680	14	11
	10万以上	2,402,289,121	542,672	43.2	396,086	23.8	938,758	610,055	26,183	42,128	29,256	0	571,000	14	12
スラッジセンター等その他施設		0	0	-	263,826	-	263,826	263,826	36,597	41,017	33,511	0	219,723	5	5
場外ポンプ場		-	-	-	-	-	593,586	593,586	0	0	0	0	593,586	15	12
合計		11,924,183,554	2,832,955	-	2,679,018	-	6,105,558	4,495,079	149,636	132,813	184,399	228,752	4,625,781	116	-

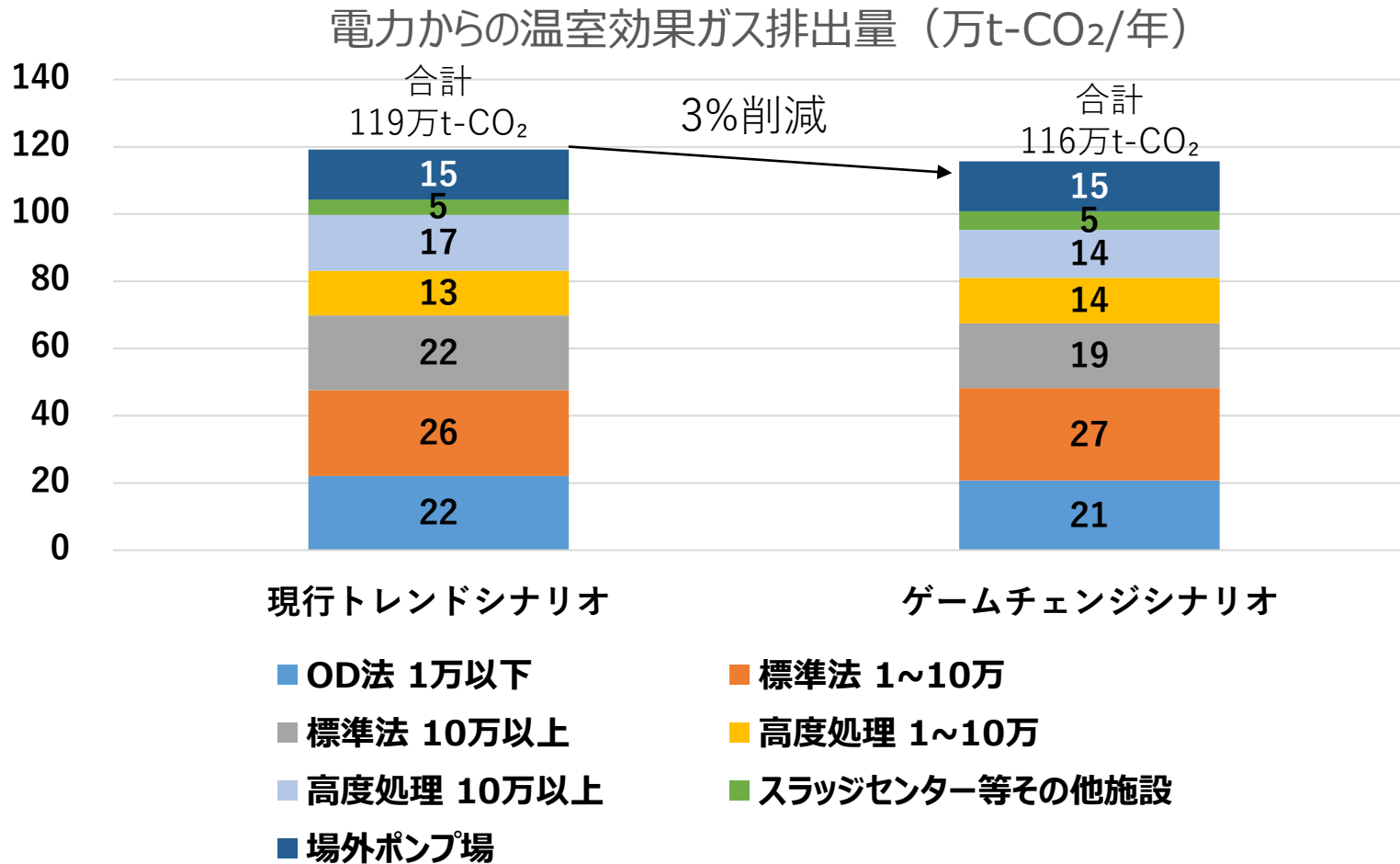
※1消化ガスの2018年の場内利用に相当する2050年の自家発電電力（消化ガス）は消費と創エネ双方からあらかじめ控除する。

※2汚泥焼却に必要なとする電力は汚泥の自燃、廃熱利用（自家発電（焼却廃熱発電）含む）により自立するとして、その数量は消費と創エネ双方からあらかじめ控除する。

※3ゲームチェンジシナリオのみ汚泥可溶化分、固形燃料化分の消費電力量を加算する。

地域特性・社会情勢の変化等に応じた2050年シナリオ検討・感度分析

③電力の消費に伴う排出



- 現状の省エネ対策+B-DASH技術の導入を行ったとしても、電力からの温室効果ガス排出量は非常に大きい。
(2013年電力からの排出量=175万t-CO₂/年 排出係数0.25kg-CO₂/kWh)
- 特に有効な省エネ対策を行うことが難しい日平均処理水量1万m³/日以下の小規模処理場や場外ポンプ場における省エネ対策が課題となる。
- ゲームチェンジシナリオにおいては汚泥可溶化、固形燃料化により消費電力が微増する結果となったが、それらの創エネ効果によりトータルとしては削減(後述)となっている。

地域特性・社会情勢の変化等に応じた2050年シナリオ検討・感度分析

④燃料の消費に伴う排出

現行トレンドシナリオ		2050年											
区分		処理水量	特A重油	A重油	灯油	軽油	ガソリン	都市ガス	プロパンガス	消化ガス	コークス	合計	寄与率
		m ³ /年	t-CO ₂ /年	t-CO ₂ /年	t-CO ₂ /年	t-CO ₂ /年	t-CO ₂ /年	t-CO ₂ /年	t-CO ₂ /年	t-CO ₂ /年	t-CO ₂ /年	万t-CO ₂ /年	%
OD法	1万以下	984,281,637	1,432	3,701	2,063	279	146	6,452	535	0	1	1	10
標準法	1~10万	3,549,914,807	12,589	20,375	1,526	437	157	12,038	124	0	26	5	34
	10万以上	3,563,237,159	1,284	2,476	5,941	485	45	431	77	0	0	1	8
高度処理	1~10万	1,424,460,830	6,624	12,174	2,382	10	43	7,123	44	0	0	3	20
	10万以上	2,402,289,121	2,133	1,478	1,414	2	14	3,603	11	0	2	1	6
スラッジセンター等その他施設		0	1,131	558	1,971	360	3	5,303	4	0	0	1	7
場外ポンプ場		—	5,937	10,259	4,124	364	10	111	10	0	0	2	15
合計		11,924,183,554	31,131	51,022	19,420	1,938	417	35,060	805	0	28	14	-

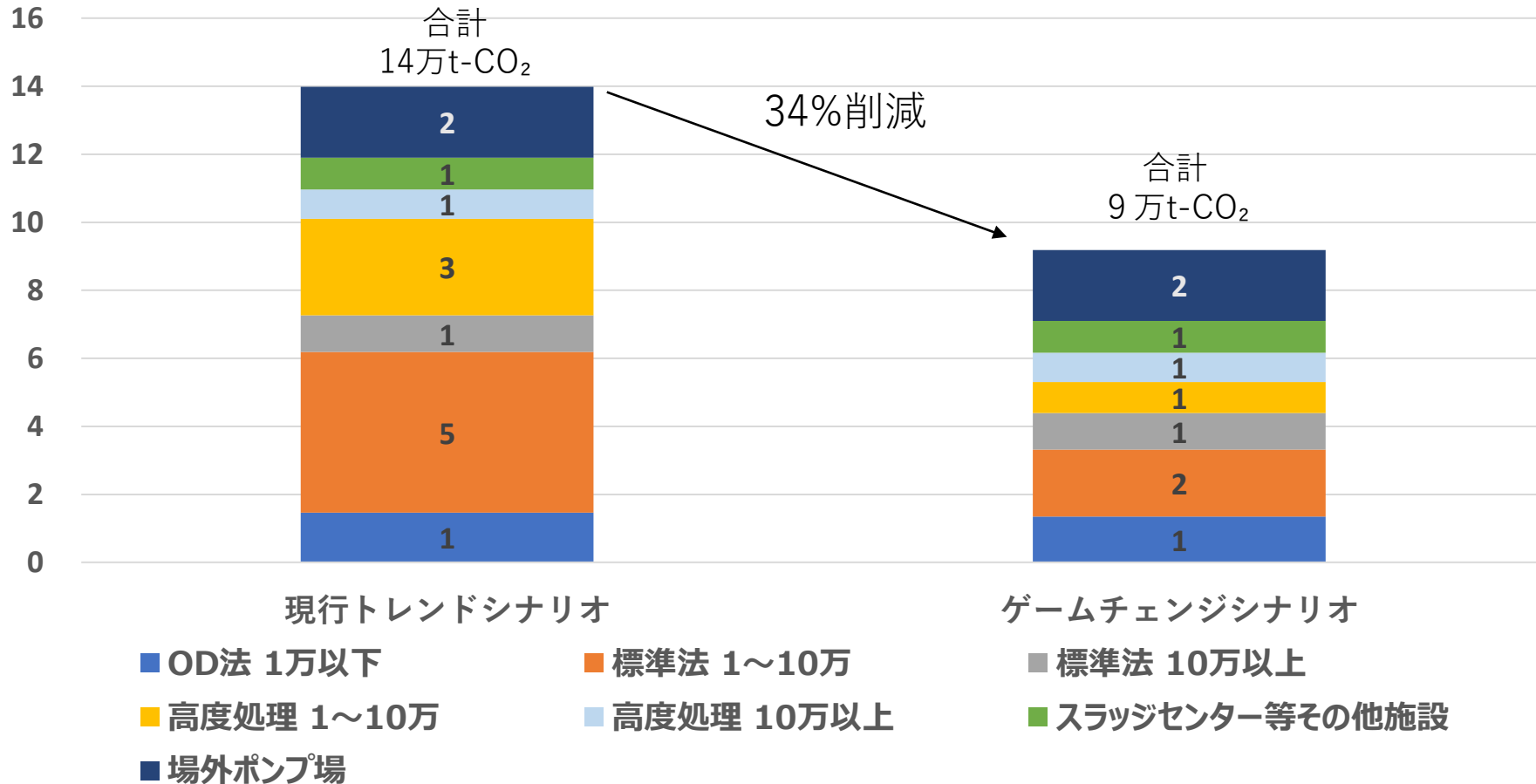
ゲームチェンジシナリオ		2050年											
区分		処理水量	特A重油	A重油	灯油	軽油	ガソリン	都市ガス	プロパンガス	消化ガス	コークス	合計	寄与率
		m ³ /年	t-CO ₂ /年	t-CO ₂ /年	t-CO ₂ /年	t-CO ₂ /年	t-CO ₂ /年	t-CO ₂ /年	t-CO ₂ /年	t-CO ₂ /年	t-CO ₂ /年	万t-CO ₂ /年	%
OD法	1万以下	984,281,637	616	3,488	1,960	279	146	6,452	533	0	1	1	15
標準法	1~10万	3,549,914,807	4,183	9,696	702	437	157	4,366	123	0	26	2	21
	10万以上	3,563,237,159	1,284	2,476	5,941	485	45	431	77	0	0	1	12
高度処理	1~10万	1,424,460,830	2,960	1,908	898	10	43	3,261	44	0	0	1	10
	10万以上	2,402,289,121	2,133	1,478	1,414	2	14	3,603	11	0	2	1	9
スラッジセンター等その他施設		0	1,131	558	1,971	360	3	5,303	4	0	0	1	10
場外ポンプ場		—	5,937	10,259	4,124	364	10	111	10	0	0	2	23
合計		11,924,183,554	18,245	29,863	17,009	1,938	417	23,527	803	0	28	9	-

※ 大規模処理場(10万m³/日以上及びスラッジセンター等)においては汚泥焼却に必要とする燃料は汚泥の自燃、廃熱利用(自家発電(焼却廃熱発電)含む)により自立するとして、その数量は消費と創エネ双方からあらかじめ控除する。

地域特性・社会情勢の変化等に応じた2050年シナリオ検討・感度分析

④燃料の消費に伴う排出

燃料からの温室効果ガス排出量 (万t-CO₂/年)



- ゲームチェンジシナリオにおいては日平均処理水量10万m³以下の処理場で焼却を行わないため、焼却にかかる燃料分が減少し34%削減という結果となった。
- 場外ポンプ場における燃料消費からの温室効果ガス排出量は現行トレンドシナリオで全体の15%、ゲームチェンジシナリオで全体の23%となっており、その対策が課題となる。

地域特性・社会情勢の変化等に応じた2050年シナリオ検討・感度分析

⑤水処理プロセスからの排出(CH₄、N₂O)

(計算方法)

1. 現行トレンドシナリオ

N₂Oについて

「下水道における地球温暖化マニュアル」に排出係数の記載が無い処理法について

窒素除去が行われる処理法はA2O法(嫌気無酸素好気法)の排出係数を使用し、それ以外の処理法は標準法の排出係数を使用する。

なお、OD法は窒素除去が行われるため、A2O法の排出係数を使用する。

CH₄について

CH₄については処理方式によらないため、全て同一の排出係数を使用する。

	「下水道における地球温暖化対策マニュアル」における排出係数の区分		本試算における水処理方式の分類(下水道統計より)
	水処理方式	排出係数	
N ₂ O排出係数	標準活性汚泥法	0.000142[t-N ₂ O/千m ³]	標準活性汚泥法、長時間エアレーション法、酸素活性汚泥法、ステップエアレーション法、回分式活性汚泥法、好気性ろ床法、嫌気好気ろ床法、高速散水ろ床法、接触酸化法、回転生物接触法、土壌被覆型礫間接触法、その他処理方法
	嫌気好気活性汚泥法	0.0000292[t-N ₂ O/千m ³]	嫌気好気活性汚泥法
	嫌気無酸素好気法及び循環式硝化脱窒法 (該当方法と同程度以上に窒素を処理することができる方法を含む)	0.0000117[t-N ₂ O/千m ³]	オキシデーションディッチ法、嫌気無酸素好気法、循環式硝化脱窒法、硝化内生脱窒法、ステップ流入式多段硝化脱窒法、高度処理オキシデーションディッチ法
	循環式硝化脱窒型膜分離活性汚泥法	0.0000005[t-N ₂ O/千m ³]	循環式硝化脱窒型膜分離活性汚泥法
CH ₄ 排出係数	下水処理場	0.00088[t-CH ₄ /千m ³]	一律

2. ゲームチェンジシナリオ

排出抑制手法が確立し、N₂O排出係数が高度処理以外も高度処理並みの排出係数となるとして試算。

「N₂O排出量 = 処理水量 × A2O法のN₂O排出係数」

「CH₄排出量 = 処理水量 × CH₄排出係数」

地域特性・社会情勢の変化等に応じた2050年シナリオ検討・感度分析

⑤水処理プロセスからの排出(CH₄、N₂O)

現行トレンドシナリオ		2050年						
区分		処理水量	水処理プロセスからのCH ₄		水処理プロセスからのN ₂ O		水処理プロセスからのCO ₂	寄与率
		m ³ /年	t-CH ₄	万t-CO ₂	t-N ₂ O	万t-CO ₂	万t-CO ₂	%
OD法	1万以下	984,281,637	860	2	84	3	5	7
標準法	1~10万	3,549,914,807	3,022	8	470	14	22	35
	10万以上	3,563,237,159	3,210	8	470	14	22	35
高度処理	1~10万	1,424,460,830	1,242	3	61	2	5	8
	10万以上	2,402,289,121	2,206	6	127	4	9	15
スラッジセンター等その他施設		0	0	0	0	0	0	0
合計		11,924,183,554	10,539	26	1,212	36	62	-

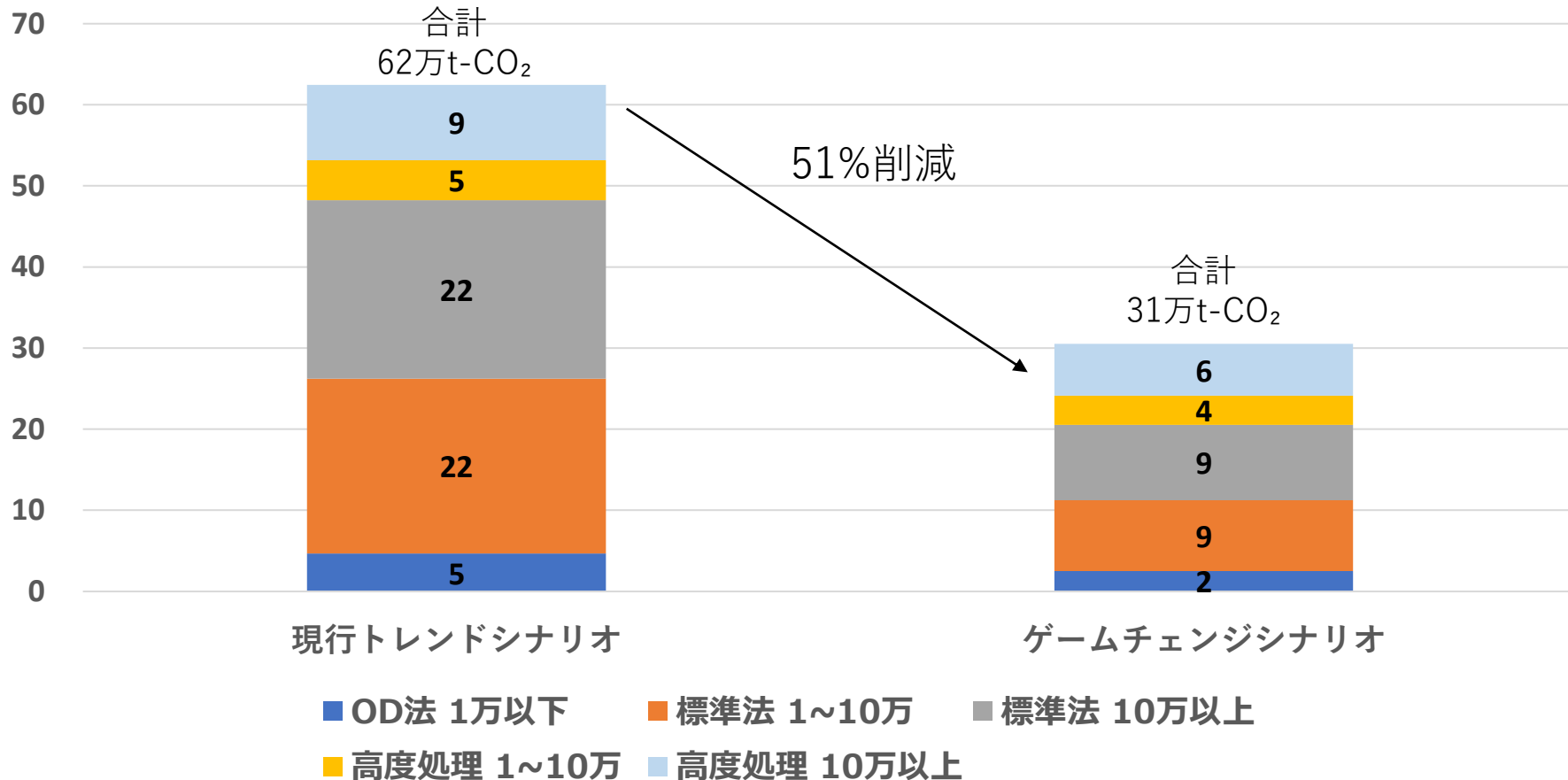
ゲームチェンジシナリオ		2050年						
区分		処理水量	水処理プロセスからのCH ₄		水処理プロセスからのN ₂ O		水処理プロセスからのCO ₂	寄与率
		m ³ /年	t-CH ₄	万t-CO ₂	t-N ₂ O	万t-CO ₂	万t-CO ₂	%
OD法	1万以下	984,281,637	860	2	11	0	2	8
標準法	1~10万	3,549,914,807	3,022	8	40	1	9	29
	10万以上	3,563,237,159	3,210	8	43	1	9	30
高度処理	1~10万	1,424,460,830	1,242	3	17	0	4	12
	10万以上	2,402,289,121	2,206	6	29	1	6	21
スラッジセンター等その他施設		0	0	0	0	0	0	0
合計		11,924,183,554	10,539	26	140	4	31	-

※再掲「OD法1万以下」には日平均処理水量1万m³/日以下の標準法、高度処理も含まれる。

地域特性・社会情勢の変化等に応じた2050年シナリオ検討・感度分析

⑤水処理プロセスからの排出(CH₄、N₂O)

水処理プロセスからの温室効果ガス排出量 (万t-CO₂/年)



- 2050年までにN₂O排出抑制手法を確立することができれば、温室効果ガス排出量を51%程度削減することができ大きな削減効果となる。
- 一方でCH₄排出抑制については未検討であるため、有用な手法が確立されれば更なる削減を見込むことができる。

地域特性・社会情勢の変化等に応じた2050年シナリオ検討・感度分析

⑥消化+消化ガス発電による削減

1. 現行トレンドシナリオ

現行トレンドシナリオ		2050年									
		濃縮汚泥量	消化槽投入 汚泥量	消化槽投入 汚泥熱量	消化率	発生消化ガス 熱量	消化ガス燃料利用 控除分(固形燃料化)	消化ガス燃料利用 控除分(その他)	消化ガス 発電量	温室効果ガス 削減量	寄与率
		t-DS	t-DS	MJ	%	MJ	MJ	MJ	千kwh	万t-CO ₂	%
OD法	1万以下	160,990	0	0	—	0	0	0	0	0	0
標準法	1~10万	534,577	534,577	9,622,273,330	60	5,773,363,998	0	1,439,445,743	902,900	23	31
	10万以上	357,005	357,005	6,426,015,633	60	3,855,609,380	0	961,300,987	602,981	15	20
高度処理	1~10万	206,364	206,364	3,714,507,670	60	2,228,704,602	0	555,672,456	348,548	9	12
	10万以上	302,815	302,815	5,450,603,703	60	3,270,362,222	0	815,384,060	511,454	13	17
スラッジセンター等その他施設		346,856	346,856	6,243,342,303	60	3,746,005,382	0	933,973,937	585,840	15	20
合計		1,908,606	1,747,616	31,456,742,638	—	18,874,045,583	0	4,705,777,183	2,951,723	74	-

(計算方法)

- OD法は消化を行わず、**OD法以外は全量消化**
- 濃縮汚泥量は2018年と2050年の処理水量比(0.814)を乗ずることで算出した。
- 汚泥固形分発熱量(消化無し) : 17.9998[MJ/kg-DS]
(土木研究所資料2509号[昭和61年度下水道関係調査研究年次報告書集P238]より)
- 消化ガスの2018年の場内利用に相当する2050年の使用燃料に関する数量は消費と創エネ双方からあらかじめ控除する。
- 消化ガス発電量[千kwh] : 発生消化ガス熱量[MJ]×総合効率[%]÷3.6[MJ/kWh]÷1000
3.6 [MJ/kWh]:1 kWh(= 1000 J/s) の電力を 1 時間 (= 3600 s) 消費したときの電力量である
1 kWh (= 1 kJ/s × 3600 s = 3.6 MJ)
- 総合効率 : **現行トレンドシナリオ75%**(交付金交付対象となるエネルギー性能指標より)

地域特性・社会情勢の変化等に応じた2050年シナリオ検討・感度分析

⑥消化+消化ガス発電による削減

2. ゲームチェンジシナリオ

汚泥可溶化 バイオマス受入

ゲームチェンジシナリオ		2050年													
		濃縮汚泥量	消化槽投入汚泥量	消化槽投入汚泥熱量	消化率	汚泥からの消化熱量	バイオマス受入量	受入バイオマス熱量	受入バイオマス消化率	受入バイオマス消化ガス熱量	消化ガス燃料利用(固形燃料化)	消化ガス燃料利用(控除分(その他))	消化ガス発電量	温室効果ガス削減量	寄与率
		t-DS	t-DS	MJ	%	MJ	t-DS	MJ	%	MJ	MJ	MJ	千kwh	万t-CO ₂	%
OD法	1万以下	160,990	160,990	2,897,779,119	65	1,883,556,423	4,699	81,301,094	85	69,105,930	0	396,928,910	367,326	9.2	7
標準法	1~10万	534,577	534,577	9,622,273,330	65	6,254,477,665	15,605	269,965,830	85	229,470,955	3,849,324,746	1,318,029,533	310,863	8	6
	10万以上	357,005	357,005	6,426,015,633	65	4,176,910,163	10,421	180,290,518	85	153,246,940	0	880,215,942	814,569	20	15
高度処理	1~10万	206,364	206,364	3,714,507,670	65	2,414,429,985	6,024	104,215,512	85	88,583,186	1,485,963,431	508,801,885	120,003	3	2
	10万以上	302,815	302,815	5,450,603,703	65	3,542,892,407	8,840	152,924,023	85	129,985,420	0	746,607,003	690,925	17	13
スラッジセンター等その他施設		346,856	346,856	6,243,342,303	65	4,058,172,497	10,125	175,165,372	85	148,890,566	0	855,193,909	791,414	20	15
合計		1,908,606	1,908,606	34,354,521,758	—	22,330,439,143	55,715	963,862,349	—	819,282,997	5,335,288,178	4,705,777,183	3,095,100	77	-

(計算方法)

○発生汚泥は全量消化

○濃縮汚泥量は2018年と2050年の処理水量比(0.814)を乗ずることで算出した。

○汚泥固形分発熱量(消化無し) : 17.9998[MJ/kg-DS]

(土木研究所資料2509号[昭和61年度下水道関係調査研究年次報告書集P238]より)

○バイオマス受入量は2018年における現状の受入量と2030年における本省目標から2050年の受入量を推定した。

受入バイオマスは生ごみ、食品残渣等を想定し、

H30B-DASH技術(高濃度消化・省エネ型バイオガス精製による効率的エネルギー利活用)より消化率85%とした。

○固形燃料化に必要な燃料を消化ガスで賄うとして、必要燃料分を控除する。

○消化ガスの2018年の場内利用に相当する2050年の使用燃料に関する数量は消費と創エネ双方からあらかじめ控除する。

○消化ガス発電量[千kwh] : 発生消化ガス熱量[MJ]×総合効率[%]÷3.6[MJ/kWh]÷1000

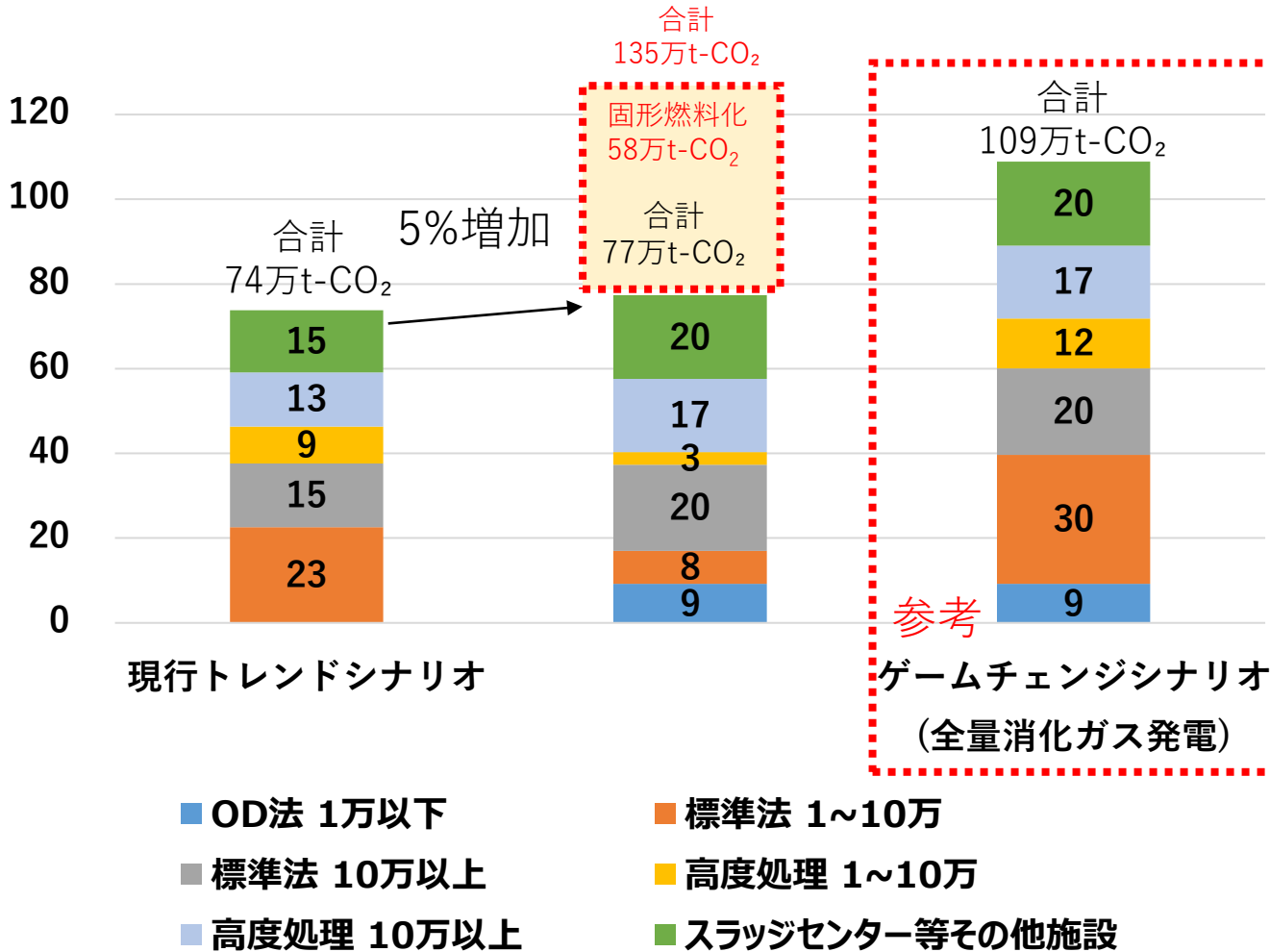
3.6 [MJ/kWh]:1 kWh(= 1000 J/s) の電力を 1 時間 (= 3600 s) 消費したときの電力量である

1 kWh (= 1 kJ/s × 3600 s = 3.6 MJ)

○総合効率 : ゲームチェンジシナリオ85%(一般社団法人日本ガス協会HPより)

地域特性・社会情勢の変化等に応じた2050年シナリオ検討・感度分析
⑥消化+消化ガス発電による削減

消化ガス発電による創エネ量 (万t-CO₂/年)



○ゲームチェンジシナリオにおいては固形燃料化に消化ガスを使用するため中規模処理場(1~10万m³/日)においては全量消化ガス発電を行う場合よりも創エネ量が減少するが、固形燃料化による創エネ量は58万t-CO₂であるため、創エネ対策としては有効。

地域特性・社会情勢の変化等に応じた2050年シナリオ検討・感度分析

⑥消化+消化ガス発電による削減

2. ゲームチェンジシナリオ

- 消化に係わる対策の導入効果について

合計消化ガス熱量に対して7.4%が汚泥可溶化による熱量増加分となり、バイオマス受入による熱量増加分が3.5%となる。

ゲームチェンジシナリオ					
区分		対策前の 消化ガス熱量 (消化率60%)	汚泥可溶化による 消化ガス 熱量増加量 (消化率65%)	バイオマス受入による 消化ガス 熱量増加量	合計 消化ガス熱量
		MJ	MJ	MJ	MJ
OD法	1万以下	1,738,667,472	144,888,956	69,105,930	1,952,662,357
標準法	1~10万	5,773,363,998	481,113,667	229,470,955	6,483,948,620
	10万以上	3,855,609,380	321,300,782	153,246,940	4,330,157,102
高度処理	1~10万	2,228,704,602	185,725,383	88,583,186	2,503,013,171
	10万以上	3,270,362,222	272,530,185	129,985,420	3,672,877,827
スラッジセンター等その他施設		3,746,005,382	312,167,115	148,890,566	4,207,063,063
合計		20,612,713,055	1,717,726,088	819,282,997	23,149,722,139
寄与率(%)		89.0	7.4	3.5	-

地域特性・社会情勢の変化等に応じた2050年シナリオ検討・感度分析

⑦汚泥の有効利用について(脱水汚泥量)

脱水汚泥量について

現行トレンドシナリオ		2050年			
区分		濃縮汚泥量	消化槽投入汚泥量	消化率	脱水汚泥量
		t-DS	t-DS	%	t-DS
OD法	1万以下	160,990	0	0	160,990
標準法	1~10万	534,577	534,577	60	277,980
	10万以上	357,005	357,005	60	185,643
高度処理	1~10万	206,364	206,364	60	107,309
	10万以上	302,815	302,815	60	157,464
スラッジセンター等その他施設		346,856	346,856	60	180,365
合計		1,908,606	1,747,616	—	1,069,750

ゲームチェンジシナリオ		2050年							
区分		濃縮汚泥量	消化槽投入汚泥量	汚泥消化率	汚泥由来脱水汚泥量	バイオマス受入量	受入バイオマス消化率	受入バイオマス脱水汚泥量	脱水汚泥量
		t-DS	t-DS	%	t-DS	t-DS	%	t-DS	t-DS
OD法	1万以下	160,990	160,990	65	77,275	4,699	85	1,064	78,339
標準法	1~10万	534,577	534,577	65	256,597	15,605	85	3,535	260,131
	10万以上	357,005	357,005	65	171,362	10,421	85	2,360	173,723
高度処理	1~10万	206,364	206,364	65	99,055	6,024	85	1,364	100,419
	10万以上	302,815	302,815	65	145,351	8,840	85	2,002	147,353
スラッジセンター等その他施設		346,856	346,856	65	166,491	10,125	85	2,293	168,784
合計		1,908,606	1,908,606	—	916,131	55,715	—	12,619	928,750

(計算方法)

○現行トレンドシナリオはOD法以外全量消化、ゲームチェンジシナリオは全量消化

○汚泥有機分割合80%として以下のように脱水汚泥量を試算。

$$\text{【消化槽投入汚泥量} \times 0.8 \times (1 - \text{消化率} / 100) + \text{消化槽投入汚泥量} \times 0.2\text{】}$$

○受入バイオマス有機分割合91%として以下のように脱水汚泥量を試算。

$$\text{【消化槽投入汚泥量} \times 0.91 \times (1 - \text{消化率} / 100) + \text{消化槽投入汚泥量} \times 0.09\text{】}$$

※受入バイオマス有機分割合91%、消化率85%はH30B-DASH技術(高濃度消化・省エネ型バイオガス精製による効率的エネルギー利活用)より

地域特性・社会情勢の変化等に応じた2050年シナリオ検討・感度分析

⑦汚泥の有効利用について(汚泥焼却からの排出)

1. 現行トレンドシナリオ

現行トレンドシナリオ		2050年					
区分		脱水 汚泥量	焼却率	焼却投入汚泥量 (含水率80%)	焼却からの N ₂ O排出量	寄与率	廃熱発電量
		t-DS	%	t-wet	万t-CO ₂	%	千kWh/年
OD法	1万以下	160,990	7	54,665	0.4	2	0
標準法	1~10万	277,980	32	449,304	3	17	0
	10万以上	185,643	74	682,961	5	26	39,052
高度処理	1~10万	107,309	44	234,296	2	9	0
	10万以上	157,464	57	446,975	3	17	25,558
スラッジセンター等その他施設		180,365	85	765,233	5	29	43,756
合計		1,069,750	—	2,633,433	18	-	108,365.8

(計算方法)

○2018年と同様の焼却割合で焼却されるとして各区分毎焼却量を試算。

○脱水汚泥含水率80%として試算。

○排出係数については、**現在のトップランナー値である下記を採用。**

(下水道カーボンハーフ実現に向けた地球温暖化対策検討委員会(第1回) 資料3 p11より)

「N₂O排出量 = 焼却量 × 800度の排出係数 × **0.15**」

○廃熱発電量は10万m³/日以上処理場及びスラッジセンター等で行われると想定し、
285.9kwh/t-ds (H29B-DASH JFE ガイドラインP49参照) を使用して算出。

※焼却率は資源有効利用調査票より 2018年の全汚泥量に対する焼却率は53%

地域特性・社会情勢の変化等に応じた2050年シナリオ検討・感度分析

⑦汚泥の有効利用について(汚泥焼却からの排出)

2. ゲームチェンジシナリオ

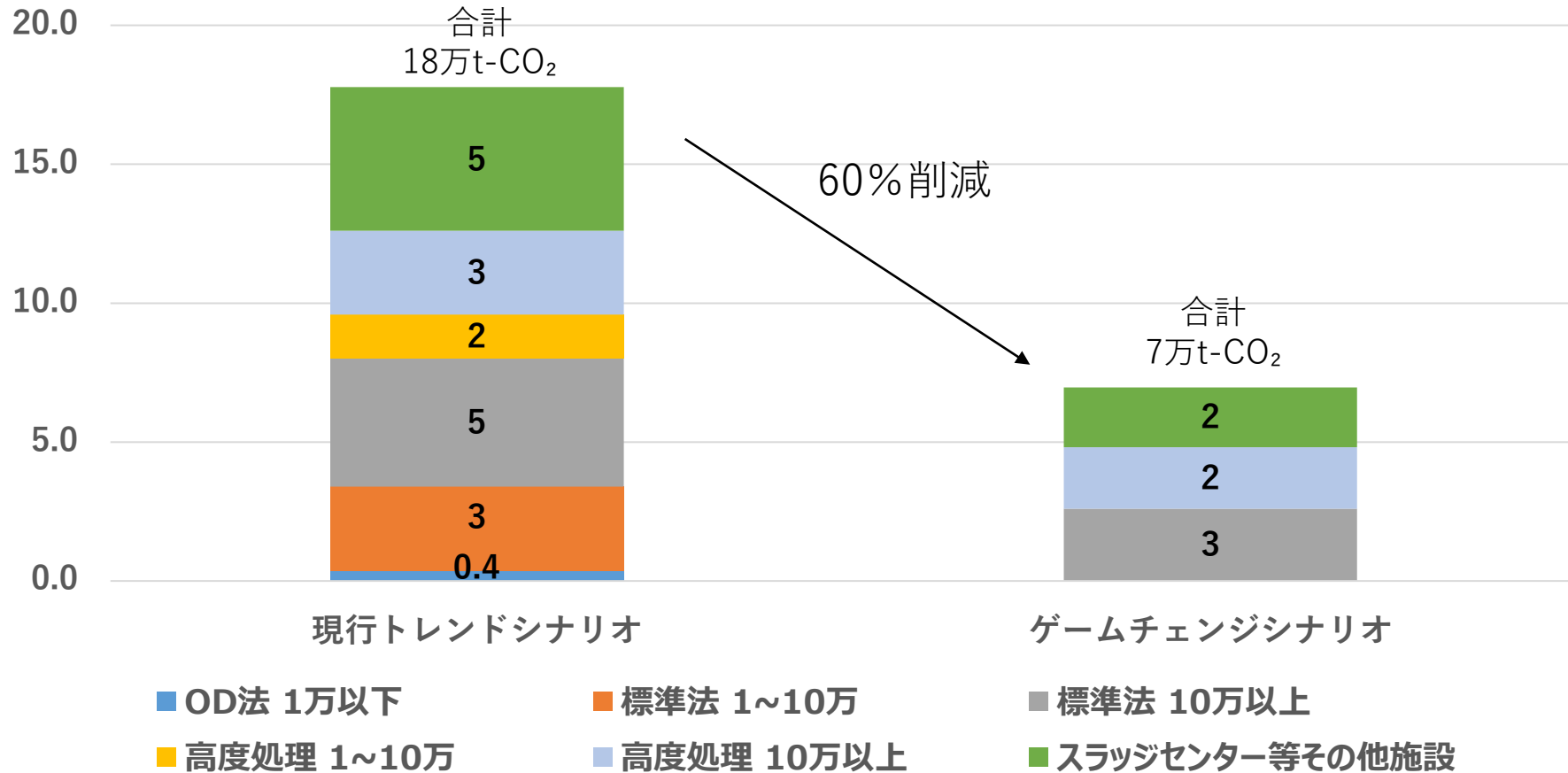
ゲームチェンジシナリオ		2050年					
区分		脱水 汚泥量	焼却率	焼却投入汚泥量 (含水率70%)	焼却からの N2O排出量	寄与率	廃熱発電量
		t-DS	%	t-wet	万t-CO ₂	%	千kWh/年
OD法	1万以下	78,339	0	0	0	0	0
標準法	1~10万	260,131	0	0	0	0	0
	10万以上	173,723	100	579,076	3	37	49,667
高度処理	1~10万	100,419	0	0	0	0	0
	10万以上	147,353	100	491,177	2	32	42,128
スラッジセンター等その他施設		168,784	85	478,222	2	31	41,017
合計		928,750	—	1,548,476	7	-	132,812.7

(計算方法)

- 日平均処理水量10万以上の処理場のみ焼却されるとして焼却量を試算。
スラッジセンター等その他施設における焼却割合は2018年と変化しないとする。
- 汚泥可溶化により含水率がゲームチェンジシナリオより10%減少するとして、脱水汚泥含水率70%として試算。
- 技術革新によりさらに排出係数が改善されると考え下記を採用。
(メーカーヒアリングより)
「N₂O排出量 = 焼却量 × 800度の排出係数 × 0.1」
- 廃熱発電量は10万m³/日以上処理場及びスラッジセンター等で行われると想定し、
285.9kwh/t-ds (H29B-DASH JFE ガイドラインP49参照) を使用して算出。

地域特性・社会情勢の変化等に応じた2050年シナリオ検討・感度分析
⑦汚泥の有効利用について(汚泥焼却からの排出)

汚泥焼却からの温室効果ガス排出量 (万t-CO₂/年)



- ゲームチェンジシナリオにおいては小中規模処理場において固形燃料化やコンポスト化を行うことにより焼却率が低下する。また、汚泥可溶化技術により、消化率が5%増加、含水率が10%低下するため、焼却炉投入汚泥量が減少する。さらに超N₂O排出抑制炉の導入により現行トレンドシナリオよりも排出係数が改善され、トータルで60%程度温室効果ガス排出量が低下する。
- スラッジセンター等においては現行のまま焼却率が推移すると仮定しているが、一部を固形燃料化、コンポスト化をすることができれば更なる削減につなげることができる。

地域特性・社会情勢の変化等に応じた2050年シナリオ検討・感度分析

⑦汚泥の有効利用について(固形燃料化による削減)

ゲームチェンジシナリオ

ゲームチェンジシナリオ		2050							
		脱水汚泥量	消費電力量	補助燃料使用量	固形燃料製造量	石炭代替利用による温室効果ガス削減量	処理プロセスからの温室効果ガス排出量	温室効果ガス削減量	寄与率
		t-DS	千kwh/年	m ³ /年	万t/年	万t-CO ₂	万t-CO ₂	万t-CO ₂	%
OD法	1万以下	78,339	0	0	0	0	0	0	0
標準法	1~10万	260,131	165,183	175,156,406	30	42	0	42	72
	10万以上	173,723	0	0	0	0	0	0	0
高度処理	1~10万	100,419	63,766	67,616,019	11	16	0	16	28
	10万以上	147,353	0	0	0	0	0	0	0
スラッジセンター等その他施設		168,784	0	0	0	0	0	0	0
合計		928,750	228,950	242,772,424	41	58	0	58	-

前回試算値37万t-CO₂

(計算方法)

ゲームチェンジシナリオ

- 中規模処理場(標準法、高度処理1~10万m³/日)において固形燃料化されるとして試算。
- 固形燃料化に当たっては**B-DASH技術**である**汚泥乾燥技術**を想定する。
試算に当たってはH31B-DASH技術(脱水乾燥システムによる下水汚泥の肥料化、燃料化技術)の算出関数を適用する。

○消費電力量[kWh/年] = 脱水汚泥量[t-ds/年] × 635[kWh/t-wet]

○補助燃料は消化ガスを利用するものとし、以下の式より算出。

消化ガス使用量[m³/年] = (101.15 - 目標含水率[%]) / 0.1324 × 脱水汚泥量[t-ds/年]、目標含水率 = 12[%]

○固形燃料製造量[t/年] = (100 - 目標含水率[%]) / 100 × 脱水汚泥量[t-wet/年]

○製造された固形燃料は石炭代替として温室効果ガス削減量を試算。

石炭削減効果

= 固形燃料製造量(t/年) × 固形燃料単位熱量(MJ/kg-固形燃料) ÷ 石炭単位熱量(MJ/kg-石炭) × 石炭温室効果ガス排出係数(t-CO₂/t)

ここに、固形燃料単位熱量(MJ/kg-固形燃料) = 16.5 (H31B-DASH技術(脱水乾燥システムによる下水汚泥の肥料化、燃料化技術)より)

石炭単位熱量(MJ/kg-石炭) = 28

石炭温室効果ガス排出係数(t-CO₂/t) = 2.41

○固形燃料化について処理場から利用先までの搬出に掛かる温室効果ガス排出量は本試算の対象に含まない。

地域特性・社会情勢の変化等に応じた2050年シナリオ検討・感度分析

⑦汚泥の有効利用について(コンポスト化による削減)

ゲームチェンジシナリオ

ゲームチェンジシナリオ		2050年						
		脱水 汚泥量	コンポスト化さ れる汚泥量	コンポスト化される汚 泥量(含水率70%)	製造される コンポスト量	コンポスト化による 創エネ量	温室効果ガス 排出量	寄与率
		t-DS	t-DS	t-wet	t	万t-CO ₂	万t-CO ₂	%
OD法	1万以下	78,339	78,339	261,131	65,283	0.4	0.4	100
標準法	1~10万	260,131	0	0	0	0.0	0.0	0
	10万以上	173,723	0	0	0	0.0	0.0	0
高度処理	1~10万	100,419	0	0	0	0.0	0.0	0
	10万以上	147,353	0	0	0	0.0	0.0	0
スラッジセンター等その他施設		168,784	0	0	0	0.0	0.0	0
合計		928,750	78,339	261,131	65,283	0.372	0.37	-

(計算方法)

ゲームチェンジシナリオ

- 脱水汚泥の内、小規模処理場(OD法、1万m³/日以下)においてコンポスト化されるとして試算。
- 同重量の窒素、リン酸を得る際に発生するCO₂について、下水汚泥発酵肥料の製造等に伴い発生するCO₂排出量と化学肥料製造等に伴い発生するCO₂排出量を比較する。
R3年度分科会試算より、化学肥料の代替として汚泥肥料を1t製造することによる削減効果は57kg-CO₂/t

地域特性・社会情勢の変化等に応じた2050年シナリオ検討・感度分析

⑨(その他脱炭素に資する技術について)

・嫌気性MBRの導入(参考)

①電力の消費に伴う排出について

嫌気性MBRによるエネルギー消費量原単位(水処理+汚泥処理)=0.384kWh/m³(メーカーヒアリング)

ゲームチェンジシナリオ小規模処理場における処理水量= 984,281,637m³/年

嫌気性MBR消費電力=984,281,637m³/年×0.384kWh/m³÷1,000=377,964千kWh/年

また、現状における消化ガス発電量 =1,477千kWh/年 (控除分)

以上から

CO₂排出量=(377,964千kWh/年-1,477千kWh/年) ×0.25t-CO₂/千kWh÷10,000

=**9.4万t-CO₂**

※電力の排出係数：0.25t-CO₂/千kWh

②消化+消化ガス発電による削減について

嫌気性MBRによるメタン発生量原単位=0.0674Nm³/m³(メーカーヒアリング)

※流入下水4,000m³/日に対するメタン発生量 269.7Nm³/日より算出

ゲームチェンジシナリオ小規模処理場における処理水量= 984,281,637m³/年

嫌気性MBRによるメタン発生量=984,281,637m³/年× 0.0674Nm³/m³ =66,365,189Nm³/年

メタン低位発熱量35.9MJ/Nm³より

嫌気性MBRによる発生メタン熱量=66,365,189Nm³/年× 35.9MJ/Nm³=2,382,510,299MJ/年

また、ゲームチェンジシナリオ小規模処理場におけるメタンの燃料利用分は396,928,910MJ/年であり、残りの1,985,581,389MJ(=2,382,510,299MJ/年-396,928,910MJ/年)を利用して発電を行う。

発電量 =メタン熱量[MJ]×総合効率[%]÷3.6[MJ/kWh]÷1000

=1,985,581,389MJ×0.85÷3.6÷1000=468,818千kWh/年 (※総合効率85%)

CO₂削減量=468,818千kWh/年×0.25t-CO₂/千kWh÷10,000=**11.7万t-CO₂**

地域特性・社会情勢の変化等に応じた2050年シナリオ検討・感度分析

⑨(その他脱炭素に資する技術について)

・バイオメタネーションの導入(参考)

汚泥可溶化

バイオマス受入

メタネーション

ゲームチェンジシナリオ		汚泥可溶化				バイオマス受入				メタネーション			消化ガス燃料利用		温室効果ガス削減量		寄与率	
区分	濃縮汚泥量	消化槽投入汚泥量	消化槽投入汚泥熱量	消化率	汚泥からの消化ガス熱量	バイオマス受入量	受入バイオマス熱量	受入バイオマス消化率	受入バイオマス消化ガス熱量	メタネーション後の消化ガス熱量	水素吹込み量	メタネーションによる消費電力量	消化ガス燃料利用 控除分(固形燃料化)	消化ガス燃料利用 控除分(その他)	消化ガス発電量	削減量	寄与率	
	t-DS	t-DS	MJ	%	MJ	t-DS	MJ	%	MJ	MJ	Nm ³ /年	千kWh/年	MJ	MJ	千kWh	万t-CO ₂	%	
OD法	1万以下	160,990	160,990	2,897,779,119	65	1,883,556,420	4,699	81,301,094	85	69,105,930	2,766,271,673	93,428,821	14,949	0	396,928,910	559,428	14.0	10
標準法	1~10万	534,577	534,577	9,622,273,330	65	6,254,477,660	15,605	269,965,830	85	229,470,955	9,185,593,878	310,236,776	49,638	3,849,324,746	1,318,029,533	948,751	24	18
	10万以上	357,005	357,005	6,426,015,633	65	4,176,910,160	10,421	180,290,518	85	153,246,940	6,134,389,227	207,184,550	33,150	0	880,215,942	1,240,569	31	23
高度処理	1~10万	206,364	206,364	3,714,507,670	65	2,414,429,980	6,024	104,215,512	85	88,583,186	3,545,935,325	119,761,396	19,162	1,485,963,431	508,801,885	366,248	9	7
	10万以上	302,815	302,815	5,450,603,703	65	3,542,892,400	8,840	152,924,028	85	129,985,420	5,203,243,588	175,735,781	28,118	0	746,607,003	1,052,261	26	20
スラッジセンター等その他施設		346,856	346,856	6,243,342,303	65	4,058,172,490	10,125	175,165,372	85	148,890,566	5,960,006,006	201,294,883	32,207	0	855,193,909	1,205,303	30	22
合計		1,908,606	1,908,606	34,354,521,758	—	22,330,439,140	55,715	963,862,348	—	819,282,997	32,795,439,698	1,107,642,208	177,223	5,335,288,178	4,705,777,183	5,372,561	134	-

前回試算値59万t-CO₂

(計算方法)

○発生汚泥は全量消化

○濃縮汚泥量は2018年と2050年の処理水量比(0.814)を乗ずることで算出した。

○汚泥固形分発熱量(消化無し) : 17.9998[MJ/kg-DS]

(土木研究所資料2509号[昭和61年度下水道関係調査研究年次報告書集P238]より)

○バイオマス受入量は2018年における現状の受入量と2030年における本省目標から2050年の受入量を推定した。

受入バイオマスは生ごみ、食品残渣等を想定し、

H30B-DASH技術(高濃度消化・省エネ型バイオガス精製による効率的エネルギー利活用)より消化率85%とした。

○メタネーションにより消化ガス中メタン濃度が60%から85%に上昇したものとメタネーションによる消化ガス増加を算出。

(メタネーション後のメタン濃度はメーカーヒアリングより)

○体積比CO₂/H₂=1/4で反応したものとメタネーションに必要な水素吹込み量を算出。(60%の消化ガスの熱量を5000kcal/m³とした)

○メタネーションによる消費電力量はメーカーヒアリングにより0.16kWh/H₂-Nm³として求めた。

○固形燃料化に必要な燃料を消化ガスで賄うとして、必要燃料分を控除する。

○消化ガスの2018年の場内利用に相当する2050年の使用燃料に関する数量は消費と創エネ双方からあらかじめ控除する。

○消化ガス発電量[千kWh] : 発生消化ガス熱量[MJ]×総合効率[%]÷3.6[MJ/kWh]÷1000

3.6 [MJ/kWh]:1 kWh(= 1000 J/s) の電力を 1 時間 (= 3600 s) 消費したときの電力量である

1 kWh (= 1 kJ/s × 3600 s = 3.6 MJ)

○総合効率 : ゲームチェンジシナリオ85%(一般社団法人日本ガス協会HPより)

地域特性・社会情勢の変化等に応じた2050年シナリオ検討・感度分析 (その他脱炭素に資する技術について)

・下水処理場におけるメタネーションに必要な水素の供給源について

バイオメタネーションに必要な水素はカーボンフリー水素を外部から供給するものとし、そのカーボンフリー水素製造に必要な電力は下記ようになる。

水の電気分解に必要な電力を $3.9(\text{kWh}/\text{Nm}^3)$ ※1とすると、
ゲームチェンジシナリオにおける水素製造に必要な電力量
 $= 1,107,642,208(\text{Nm}^3/\text{年}) \times 3.9(\text{kWh}/\text{Nm}^3) \div 1000 = 4,319,805 (\text{千kWh}/\text{年}) = \text{約}43\text{億kwh}/\text{年}$

⇒2030年における我が国の余剰電力規模としては40億kwh～220億kwh※2と試算されており、水素製造に必要な電力源として有望である。

※1 NEDO燃料電池・水素技術開発ロードマップ2010 アルカリ水電解の2030年目標値

※2 国内再生可能エネルギーからの水素製造の展望と課題(第2回CO2フリー水素ワーキンググループ水素・燃料電池戦略協議会) より