

浄化槽の脱炭素化について

一般社団法人浄化槽システム協会 技術推進部会編

1. はじめに

現在、我が国の温室効果ガス排出量の削減目標は、2021年10月に新たに閣議決定され、中期削減目標は2030年度に2013年度比マイナス46%、長期的な目標は2050年までに温室効果ガスの排出を実質ゼロとする、カーボンニュートラル・脱炭素社会の実現を目指すとしている。2016年パリ協定の採択にともなって制定された目標よりも、更に加速した削減目標となった(図1.1)。

また、2018年度の日本の温室効果ガス排出量の内、エネルギー起源の温室効果ガス排出量は、図1.2に示されるように、10.6億トンと温室効果ガス排出量全体の85%を占め、電力、運輸、産業がその多くを占める。2050年カーボンニュートラルに向け、あらゆる分野において、再生エネルギー利用への転換や、様々な脱炭素化技術の適用や研究開発、更には、早期実装に向けた施策など、革新的なイノベーションが求められている。

そのような背景を鑑み、浄化槽の分野においては、装置のコンパクト化や消費電力の低減など、より温室効果ガス排出量が小さい浄化槽の製品開発が進められてきた。そして、当協会では、浄化槽の温室効果ガス排出量に関する情報を調査および検討し、環境省へ報告する事業を2009年度から実施している。その内容は、浄化槽の温室効果ガス排出量の考え方や算出方法を確立し、浄化槽の出荷基数を基に環境配慮型浄化槽の割合を調査するなど、その種類や規模に応じた温室効果ガス排出量を算出および整理している。また、浄化槽の温室効果ガス排出量に関するデータを様々な角度から分析し、更なる削減効果を得る可能性と課題について検討しまとめている。

本稿では、直近の報告書「令和3年度次世代浄化槽システムに関する調査検討業務報告書(環境省委託事業)」より内容を抜粋し、近年の浄化槽の温室効果ガス排出量の削減状況と、更なる削減に向けた技術的な可能性と課題など、浄化槽の脱炭素化に関する内容を紹介する。

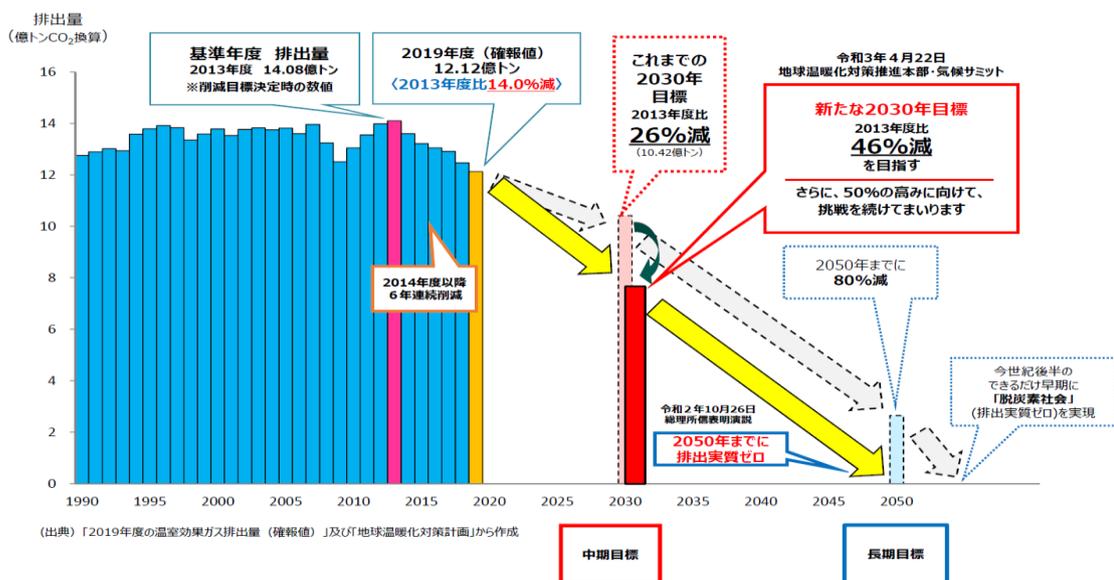


図1.1 日本の温室効果ガス削減の中期目標と長期目標(環境白書 令和3年)

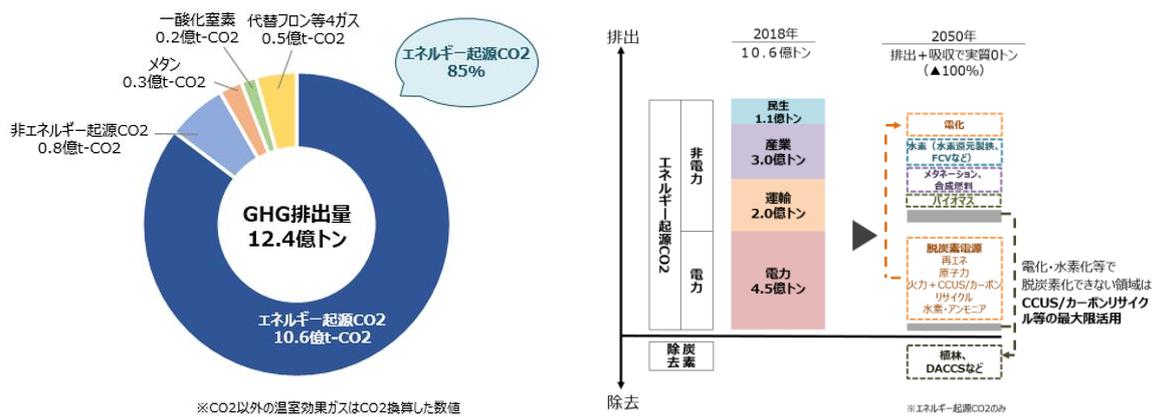


図 1. 2 日本の GHG 排出量データ (2018) と 2050 年カーボンニュートラルのイメージ (資源エネルギー庁 スペシャルコンテンツ 2021-02-16、2021-03-26)

2. 浄化槽の温室効果ガス排出量の調査方法と調査結果

2. 1 調査・算定対象とする温室効果ガス排出量の種類

(1) エネルギー起源の温室効果ガス

日本温室効果ガスインベントリの浄化槽の項目には、処理施設からの非エネルギー起源の温室効果ガス排出量のみが計上されており、プロワの電力消費等のエネルギー起源のCO₂は別のカテゴリで計上されている。本調査では、浄化槽分野の排出量を算出するため、浄化槽に関するエネルギー消費量を積算し、エネルギー起源の温室効果ガス排出量を算定する。

(2) 非エネルギー起源の温室効果ガス

非エネルギー起源の温室効果ガスについては、日本国温室効果ガス排出量インベントリに基づいて調査・算定対象となる温室効果ガスを選定した。地球温暖化係数は、CH₄はCO₂の21倍、N₂Oにおいては310倍として計上する。

2. 2 調査・算定対象とする温室効果ガス排出量の調査対象

浄化槽をライフサイクルで捉えた場合、浄化槽の製造・設置工事・使用・廃棄の各段階において温室効果ガスが排出される (図 2. 1)。本調査における排出量算出の範囲は、廃棄段階のデータが未入手であることから、製造段階、設置工事段階及び使用段階を対象とする。

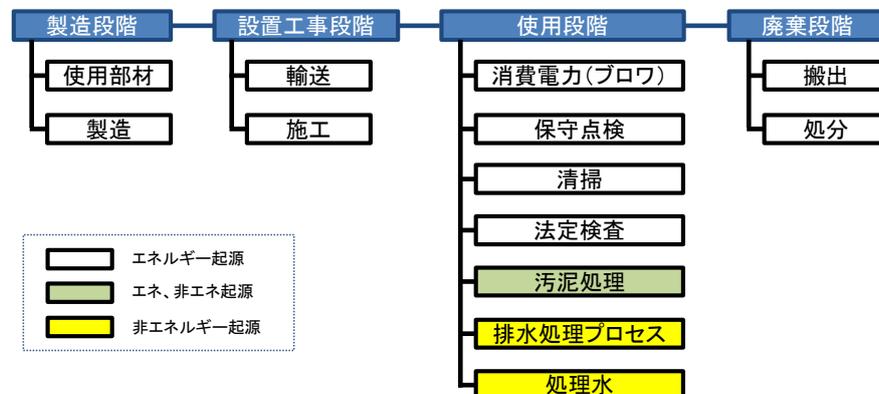


図 2. 1 各段階における温室効果ガス排出量の調査対象

2. 3 調査・算定対象とする生産年度、規模、処理方式

(1) 生産年度

調査対象の生産年度は、京都議定書基準年度の1990年度、パリ協定基準年度である2013年度、前回調査の2016年度に加え、本調査では現時点で算出可能な2020年度を対象に加えることとする。

(2) 処理方式及び規模の分類と出荷基数

調査対象の規模は、出荷された全浄化槽とし、処理方式は、浄化槽出荷台数の99%を占める浄化槽メーカー10社の出荷実績から、告示型及び性能評価型を処理性能ごとに分類して設定する。処理方式別に出荷台数は、可能な限り排出量を精緻化させるため、全出荷台数に浄化槽メーカー10社の処理性能別出荷比率を乗じて算出する。

2. 4 製造から使用段階における温室効果ガス排出量の調査結果まとめ

(1) 温室効果ガス排出量算出モデルの設定

5～10人槽の算定モデルは、生産年度ごとに処理方式別、処理水質別、人槽別（5人槽、7人槽、10人槽）の各仕様を算術平均にて求め、さらに処理方式別、処理水質別、人槽別の出荷基数を加味した加重平均にて算出する。11～50人槽は、各社が生産している人槽（人槽の品揃え）が異なること、人槽別出荷統計が人槽範囲（11～20人槽、21～30人槽、31～50人槽）ごとの合計基数となっていることを加味し、各範囲の代表人槽の仕様を算定モデルとし、5～10人槽と同様に算出した。

51人槽以上の浄化槽は、建築物の建築用途に合わせた個別の設計を行っており、同じ人槽であっても一人当たりのBOD負荷量（g/人・日）は異なる場合がある。そこで、51人槽以上の算定モデルにおける流入条件をBOD負荷量が40g/人・日となる住宅ベースとすることとした。また、51人槽以上の人槽別出荷統計は、人槽範囲（51～200人槽、201～500人槽、501人槽以上）ごとの合計基数となっていることを加味し、各範囲の代表人槽の仕様を算定モデルとし、同様に算出した。

温室効果ガス排出量算定モデルは、告示型が大半を占めていた1990年度を除き、調査を実施した浄化槽メーカー（2020年度は10社）にて生産していたおよそ全機種を対象に行っている。5～10人槽の浄化槽型式数を表2.1に示す。

以上の条件から算出した2020年度の温室効果ガス排出量算定モデル（5～10人槽）を表2.2に示す。なお、11人槽以上については表の掲載を省略した。

このように、調査年度ごとに浄化槽の温室効果ガス排出量に関わる情報を調査し、またその出荷基数を加味した算出モデルを設定することで、浄化槽のモデルチェンジによる仕様の変化に合わせた、浄化槽分野の温室効果ガス排出量の調査を行っている。

表2.1 温室効果ガス排出量算定モデル設定に用いた浄化槽型式数（5～10人槽）

処理方式	告示型		性能評価型						合計	
	汎用タイプ	汎用タイプ	高度処理タイプ							
処理水質	BOD20mg/L	BOD20mg/L	BOD20mg/L T-N20mg/L	BOD15mg/L T-N20mg/L	BOD10mg/L T-N20mg/L	BOD10mg/L T-N10mg/L	BOD10mg/L T-N10mg/L T-P1mg/L	BOD5mg/L T-N10mg/L		
生産年度	1990年度	3型式	-	-	-	-	-	-	3型式	
	2000年度	3型式	5型式	-	-	-	-	-	8型式	
	2008年度	3型式	3型式	9型式	-	3型式	8型式	3型式	2型式	31型式
	2011年度	1型式	1型式	11型式	4型式	3型式	6型式	1型式	2型式	29型式
	2013年度	1型式	1型式	11型式	4型式	3型式	7型式	1型式	2型式	30型式
	2017年度	1型式	-	13型式	3型式	2型式	9型式	1型式	-	29型式
2020年度	2型式	-	13型式	1型式	-	8型式	3型式	-	27型式	

表 2. 2 2020年度の温室効果ガス排出量算定モデル (5~10人槽)

項目	単位	2020年度											
		告示						性能評価					
		汎用						高度処理					
		人槽		加重平均		人槽		加重平均		人槽		加重平均	
5人	7人	10人	6.0人	5人	7人	10人	5.6人	5人	7人	10人	加重平均		
出荷基数	(基/年)	121	73	14	208	73,269	20,305	4,214	97,788	20,378	4,228	97,996	
全出荷基数に対する出荷比率	(%)	0.1%	0.1%	0.0%	0.2%	74.8%	20.7%	4.3%	99.8%	74.9%	4.3%	100.0%	
人槽比率	(%)	58.2%	35.1%	6.7%	100.0%	74.9%	20.8%	4.3%	100.0%	74.9%	4.3%	100.0%	
水質	(mg/L)	20.0	20.0	20.0	20.0	17.3	17.3	17.3	17.3	17.3	17.3	17.3	
	(mg/L)	40.0	40.0	40.0	40.0	19.8	19.8	19.8	19.8	19.9	19.9	19.9	
全長	(m)	2,500	2,950	3,630	2,734	1,853	2,223	2,702	1,966	1,854	2,225	2,706	
全幅	(m)	1,160	1,340	1,560	1,250	1,011	1,142	1,291	1,050	1,011	1,142	1,292	
全高	(m)	1,810	1,810	1,890	1,815	1,539	1,542	1,616	1,543	1,539	1,543	1,617	
フランジ幅	(m)	0.070	0.070	0.080	0.071	0.051	0.051	0.056	0.051	0.051	0.051	0.056	
掘削土量	(m ³)	14.0	17.4	23.1	15.8	9.5	11.5	14.7	10.1	9.5	11.5	14.7	
鉄筋使用量	(kg)	46.1	60.0	81.5	53.4	32.7	41.8	54.5	35.5	32.7	41.8	54.6	
コンクリート使用量	(m ³)	1.0	1.3	1.8	1.2	0.7	0.9	1.2	0.8	0.7	0.9	1.2	
製品容量	(m ³)	3.0	4.4	6.3	3.7	1.6	2.3	3.4	1.9	1.6	2.3	3.4	
清掃量	(m ³)	1.6	2.4	3.5	2.0	1.1	1.6	2.3	1.3	1.1	1.6	2.3	
FRP部材	(kg)	189.4	240.8	253.9	211.8	71.3	90.0	171.5	79.5	71.5	90.6	171.8	
プラスチック部材	(kg)	51.3	65.2	88.1	58.7	69.2	84.9	81.2	73.0	69.2	84.8	81.2	
塩化ビニル部材	(kg)	4.2	5.2	5.6	4.6	6.0	6.6	7.6	6.2	6.0	6.6	7.6	
金属部材	(kg)	4.6	4.6	6.8	4.7	6.9	6.8	7.3	6.9	6.9	6.8	7.3	
合計	(kg)	249.5	315.8	354.4	279.8	153.3	188.4	267.7	165.5	153.5	188.8	268.0	
送風量	(L/分)	60.0	80.0	115.0	70.7	55.8	75.5	97.9	61.7	55.9	75.5	98.0	
消費電力	(W)	35.5	53.0	85.5	45.0	32.7	45.6	65.8	36.8	32.7	45.6	65.9	
ばっ気時間	(h)	24.0	24.0	24.0	24.0	23.9	23.9	23.9	23.9	23.9	23.9	23.9	
電力	(kwh)	138.0	138.0	138.0	138.0	34.3	34.3	34.3	34.3	34.4	34.6	34.6	
A重油	(kg)	0.0	0.0	0.0	0.0	5.0	5.0	5.0	5.0	5.0	5.0	5.0	
液化石油ガス(LPG)	(kg)	20.7	20.7	20.7	20.7	0.9	0.9	0.9	0.9	1.0	1.0	1.0	
使用車両 10トン車	(基/車)	7.0	3.0	2.0	5.3	8.0	7.0	3.0	7.6	8.0	7.0	3.0	
使用車両 4トン車	(基/車)	4.0	2.0	1.0	3.1	5.0	4.0	1.0	4.6	5.0	4.0	1.0	

(2) 温室効果ガス排出量算出方法

温室効果ガス排出量は、表2. 2の温室効果ガス排出量算定モデル(5~10人槽)の各活動量に、表2. 3のインベントリ(CO₂換算)を乗じて1基あたりの排出量を算出する。なお、51人槽以上の浄化槽における排水処理プロセスのインベントリは、実態を考慮し、コミュニティ・プラントの値を引用する。

排出量は、浄化槽のライフサイクルを考慮して算出するため、耐用年数は過年度報告と同様、平成26年1月に国土交通省、農林水産省、環境省が策定した「持続的な汚水処理システム構築に向けた都道府県構想策定マニュアル」を参考に30年とした。また、非エネルギー起源の排出量算出に用いる浄化槽の使用人員は、JISA 3302-2000にて算定された浄化槽の人槽を用いることとした。

表2. 3 浄化槽分野における温室効果ガス排出量算定用インベントリ(CO₂換算)

項目	単位	温室効果ガス排出係数					
		1990年度	2000年度	2008年度	2011年度	2013年度以降	
エネルギー起源	他人から供給された電気の使用に伴う排出	kg-CO ₂ /kWh	0.555				
	A重油A	kg-CO ₂ /kg	2.71				
	軽油	kg-CO ₂ /kg	2.62				
	液化石油ガス(LPG)	kg-CO ₂ /kg	3.00				
	セメントの製造	kg-CO ₂ /kg	0.510				
	ダイレクトロービング	kg-CO ₂ /kg	2.059				
	不飽和ポリエステル	kg-CO ₂ /kg	3.85				
	ポリプロピレン(PP)	kg-CO ₂ /kg	1.03				
	塩化ビニル樹脂(PVC)	kg-CO ₂ /kg	1.36				
	普通鋼棒鋼(SS)	kg-CO ₂ /kg	1.21				
	10トントラック	kg-CO ₂ /km	0.742				
	4トントラック	kg-CO ₂ /km	0.472				
	自家用乗用車	kg-CO ₂ /人・km	0.188				
	バキューム車	kg-CO ₂ /km	0.554				
	浄化槽用FRP ^{※1}	kg-CO ₂ /kg	1.13				
	汚泥処理	kg-CO ₂ /kL	86				
	掘削土量	kg-CO ₂ /m ³	2.06				
非エネルギー起源	告示型(汎用タイプ) ²⁾	kg-CH ₄ /人・年	2.477				
		kg-N ₂ O/人・年	0.0717				
		kg-CO ₂ /人・年	74.244				
	性能評価型(汎用タイプ) ³⁾	kg-CH ₄ /人・年	1.984				
		kg-N ₂ O/人・年	0.055				
		kg-CO ₂ /人・年	58.559				
	性能評価型(高度処理タイプ) ³⁾	kg-CH ₄ /人・年	1.044				
		kg-N ₂ O/人・年	0.123				
		kg-CO ₂ /人・年	60.116				
	コミュニティ・プラント ^{※2}	kg-CH ₄ /人・年	0.195	0.129	0.062	0.062	0.062
		kg-N ₂ O/人・年	0.039	0.0221	0.0048	0.0048	0.0048
		kg-CO ₂ /人・年	16.309	9.550	2.790	2.790	2.790
	汚泥処理プロセス(屎尿処理施設) ²⁾	kg-CH ₄ /m ³	0.00545				
		kg-N ₂ O/m ³	0.001392				
		kg-CO ₂ /m ³	0.546				
処理後排水の自然界における分解 ²⁾	kg-N ₂ O/kg-N	0.0079					
	kg-CO ₂ /kg-N	2.449					
未処理排水の自然界における分解 ²⁰⁾	kg-CH ₄ /kg-BOD	0.06					
	kg-CO ₂ /kg-BOD	1.260					
	kg-N ₂ O/kg-N	0.0079					
	kg-CO ₂ /kg-N	2.449					

参考文献

1) 社団法人浄化槽システム協会:平成21年度浄化槽の低炭素化に向けた調査検討業務報告書

2) 地球環境研究センター, 国立研究開発法人: 日本国温室効果ガスインベントリ報告書報告書2021年

3) Yoshitaka EBIE, Hiroshi YAMAZAKI, Shigeaki INAMURA, Yusuke JIMBIO, Takuro KOBAYASHI, Hiroyuki UEDA,

備考

※1: 浄化槽用FRPは一般的な構成であるガラス25%, 不飽和ポリエステル樹脂17.2%, 充填剤(炭酸カルシウム)57.8%の重量比率から算出した。なお、炭酸カルシウムは天然物質であるため、CO₂排出原単位を0として試算した。1.13kg-CO₂/kg=2.06kg-CO₂/kg×0.25+3.58kg-CO₂/kg×0.172

(3) 温室効果ガス排出量の算出結果

最新データとして、2020年度生産品における温室効果ガス排出量の算出結果(5~10人槽)を表2. 4にまとめた。なお、11人槽以上については表の掲載を省略した。

表 2. 4 2020年度生産品（5～10人槽）の1基あたりの温室効果ガス排出量（CO₂換算）

項目	2020年度																	
	告示							性能評価							年度加重平均			
	汎用							高度処理										
	5人	7人	10人	6.0人	5人	7人	10人	5.6人	10人	7人	206	297	182	5.6人	10人	7人	5人	10人
製造 段階	使用部材 (kg-CO ₂)	278	352	393	312	168	297	182	206	207	168	297	182	207	207	168	297	182
	製造 (kg-CO ₂)	139	139	139	139	35	35	35	35	36	35	35	35	36	36	36	36	36
	小計 (kg-CO ₂)	417	490	532	450	204	332	217	242	243	204	332	217	243	243	204	333	218
設置 工事 段階	輸送 (kg-CO ₂)	39	88	145	52	34	39	36	39	40	34	39	36	40	40	34	114	36
	施工 (kg-CO ₂)	1,280	1,675	2,271	1,485	919	1,177	999	1,177	1,179	919	1,535	999	1,179	1,179	919	1,538	1,000
	小計 (kg-CO ₂)	1,319	1,763	2,415	1,537	952	1,216	1,035	1,216	1,218	953	1,649	1,035	1,218	1,218	953	1,651	1,036
使用 段階	ブロー (kg-CO ₂ /年)	173	258	416	219	158	220	178	220	221	158	220	178	221	221	158	319	178
	保守点検 (kg-CO ₂ /年)	7	7	7	7	7	7	7	7	7	7	7	7	7	7	7	7	7
	清掃 (kg-CO ₂ /年)	9	9	9	9	9	9	9	9	9	9	9	9	9	9	9	9	9
	汚泥処理 (kg-CO ₂ /年)	138	207	303	173	95	134	108	134	134	95	197	108	134	134	95	198	108
	直接排出 (kg-CO ₂ /年)	372	521	744	449	301	422	339	422	422	301	602	339	422	422	301	603	339
	処理水 (kg-CO ₂ /年)	36	50	72	43	18	25	20	25	25	18	35	20	25	25	18	36	20
	小計 (kg-CO ₂ /年)	734	1,051	1,550	900	588	816	660	816	817	588	1,169	660	817	817	588	1,171	661
	一基当りの年間CO ₂ 排出量 (kg-CO ₂ /基・年)	792	1,126	1,649	966	626	865	702	865	866	627	1,235	702	866	866	627	1,237	703
	一人当りの年間CO ₂ 排出量 (kg-CO ₂ /人・年)	158	161	165	160	125	124	125	124	124	125	124	125	124	124	125	124	125
	エネルギー起源 (kg-CO ₂ /基・年)	384	555	833	474	307	418	343	418	419	308	597	343	419	419	308	598	343
非エネルギー起源 (kg-CO ₂ /基・年)	408	571	816	493	319	446	359	446	447	319	638	359	447	447	319	638	359	

備考

※1 金属部材、鉄筋は、普通鋼棒鋼(SS)として試算

※2 コンクリート使用量(m³)に比重2.3を乗じて質量を算出

※3 昭和五十九年厚生省令第十七号環境省関係浄化槽法施行規則第六条2による

※4 財団法人日本環境整備教育センター、平成13年度浄化槽のライフサイクルアセスメントに関する調査報告書平成14年3月、p28

※5 浄化槽法第十条による

※6 財団法人日本環境整備教育センター、平成13年度浄化槽のライフサイクルアセスメントに関する調査報告書平成14年3月、p36

また、1990年度生産品から現在までの浄化槽一基当たりの排出量推移を表2.5及び図2.2に示す。

表2.5 浄化槽分野における温室効果ガス排出量 (CO₂換算)

		1990年度	2013年度	2016年度	2020年度	対1990年度	
						対1990年度	対2013年度
一基当たりの CO ₂ 排出量 (kg/基・年)	5-10人槽	1,256	844	769	703	56%	83%
	11-50人槽	5,260	4,021	3,997	3,851	73%	96%
	51人槽以上	18,253	13,786	13,474	12,305	67%	89%
	加重平均	2,387	1,191	1,138	1,005	42%	84%
平均人槽 (人)	5-10人槽	6.9	5.8	5.7	5.6	82%	96%
	11-50人槽	31.1	31.5	31.9	32.1	103%	102%
	51人槽以上	147.8	124.8	130.6	122.2	83%	98%
	加重平均	15.5	8.8	9.0	8.4	54%	95%
一人槽当たりの CO ₂ 排出量 (kg/人・年)	5-10人槽	183	144	134	125	68%	86%
	11-50人槽	169	127	125	120	71%	94%
	51人槽以上	123	111	103	101	82%	91%
	加重平均	154	135	127	120	78%	89%
出荷基数 (基/年)	5-10人槽	38,659	137,955	114,486	97,996	253%	71%
	11-50人槽	3,432	9,291	8,524	5,666	165%	61%
	51人槽以上	2,133	1,713	1,449	1,192	56%	70%
	合計	44,224	148,959	124,459	104,854	237%	70%

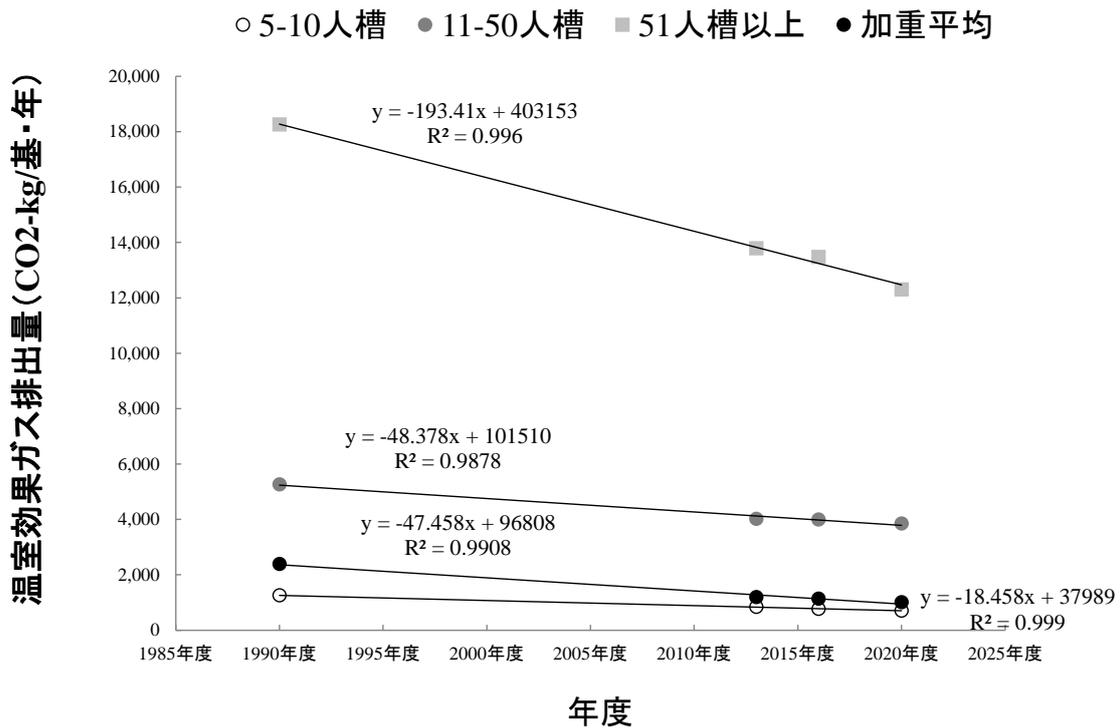


図2.2 浄化槽一基当たりの温室効果ガス排出量推移 (CO₂換算)

表2.5より、浄化槽分野における一基当たりの温室効果ガス排出量は、対2013年度比84%、対1990年度比は平均人槽の小型化があるものの42%相当と算出された。

図2.2の浄化槽一基当たりの温室効果ガス排出量は、5~10人槽、11~50人槽、51人槽以上とも、年度の進行により排出量が低減されていることが確認された。しか

しながら、2030 年度に 2013 年度比の 46%削減の目標は削減傾向を示す近似式の延長線では達成することができず、削減傾向を更に加速させる必要がある。

そこで、今後の削減施策を見出すことを目的に、段階別排出量の分析を行った。製造及び設置工事段階の排出量算出結果を図 2. 3～図 2. 5 に示す。図より、排出量は 2013 年度以降横ばいの傾向を示している。これは、排出量削減に寄与する浄化槽の小容量化が進んでいないことが要因としてあげられる。

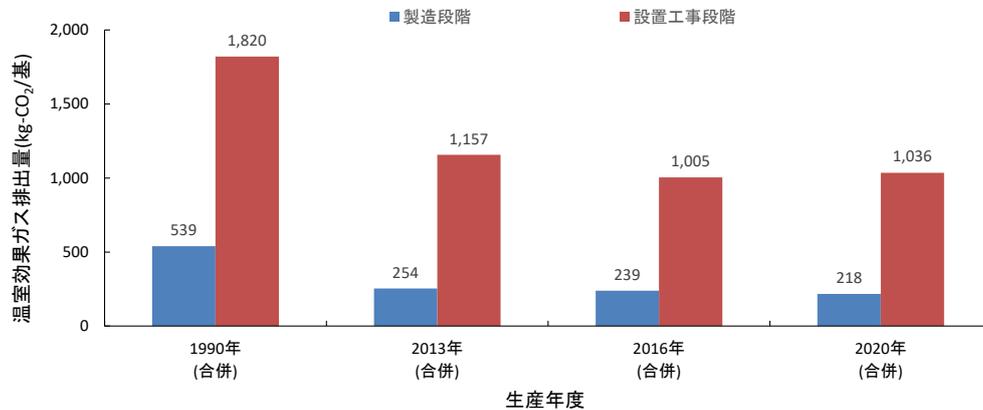


図 2. 3 5～10 人槽の製造及び設置工事段階の排出量推移 (CO₂換算)

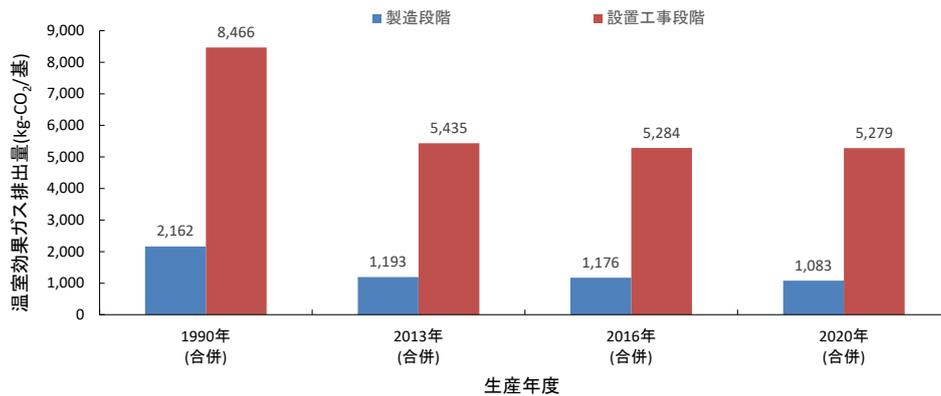


図 2. 4 11～50 人槽の製造及び設置工事段階の排出量推移 (CO₂換算)

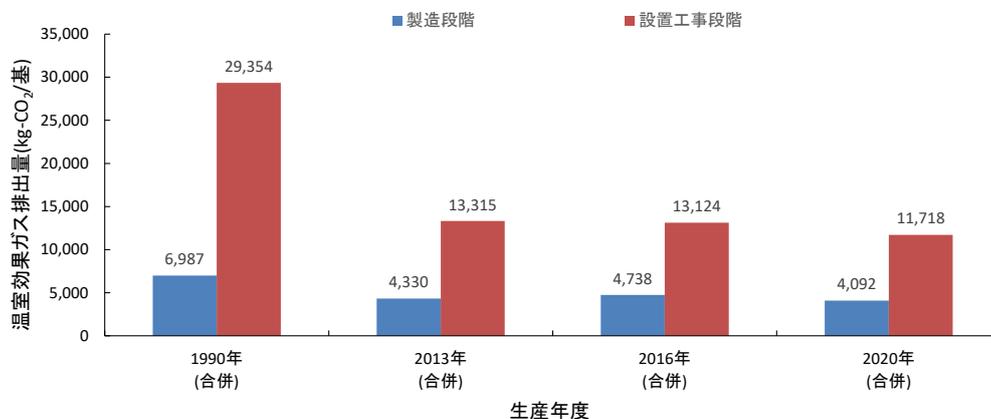


図 2. 5 51 人槽以上の製造及び設置工事段階の排出量推移 (CO₂換算)

次に一基当たりの年間 CO₂ 排出量（全排出量）の 90%以上を占める使用段階での排出量算出結果を図 2. 6～図 2. 8 に示す。

図 2. 6 より、2020 年度の 5～10 人槽における使用段階での排出量は、対 2013 年度 83% (661/797) となっている。そのうちのブロワが対 2013 年度 65% (178/275) であり、全排出量の 25% (178/703)、汚泥処理は対 2013 年度 82% (108/132) で、全排出量の 15% (108/703) 相当となっている。一方、直接排出では対 2013 年度 96% (339/353) と削減率が低く、全排出量の 48% (339/703) を占めている。直接排出量は、処理方式ごとに該当する排水処理プロセスのインベントリを用いて算出するが、2013 年度以降、性能評価型（高度処理タイプ）の出荷基数比率は 96%以上（2013 年度：96%、2016 年度：99.4%、2020 年度：99.8%）と同等であり、算出結果に大きな変化（削減）が生じなくなっている。しかし、同じ性能評価型（高度処理タイプ）であっても、単位装置の有無等によってインベントリが異なることが報告されていることから、排出量算出の精緻化のためには、現在販売されている浄化槽に見合う、新たなインベントリの開発を早急に行う必要がある。

図 2. 7 から、2020 年度の 11～50 人槽における使用段階での排出量は、対 2013 年度 96% (3,639/3,800) となっている。内訳として、ブロワが対 2013 年度 88% (943/1,072) で、全排出量の 24% (943/3,851)、汚泥処理は対 2013 年度 94% (624/664) で、全排出量の 16% (624/3,851) と算出された。直接排出は 103% (1,930/1,882) と横ばいであり、全排出量の 50% (1,930/3,851) を占めている。11～50 人槽においても 5～10 人槽と同様、新たなインベントリの開発を早急に行う必要がある。

図 2. 8 より、2020 年度の 51 人槽以上における使用段階での排出量は、対 2013 年度 89% (11,778/13,198) となっている。その内、機器類は対 2013 年度 94% (5,452/5,805) であり、全排出量に占める比率は 44% (5,452/12,305) と、5～50 人槽の 24～25% より高い値となっている。51 人槽以上はブロワの他、50 人槽以下では標準装備されていないポンプなどを装備していることが要因として挙げられるが、脱炭素化のためには省エネルギー化と再生エネルギーの導入を併行して進めることが肝要と考えられた。汚泥処理では対 2013 年度 86% (4,745/5,513) で全排出量の 39% (4,745/12,305) となっている。直接排出は 2013 年度 80% (679/852) で、全排出量の 6% (679/12,305) 相当であり、50 人槽以下に比べ低い占有率となっている。これは、51 人槽以上における排水プロセスのインベントリを実態に即したコミュニティ・プラントの値を引用したことによる。

このように段階別排出量の分析結果から、2030 年度の目標及び 2050 年度カーボンニュートラル化達成に向け、前述した課題への対応が必要と考えられた。

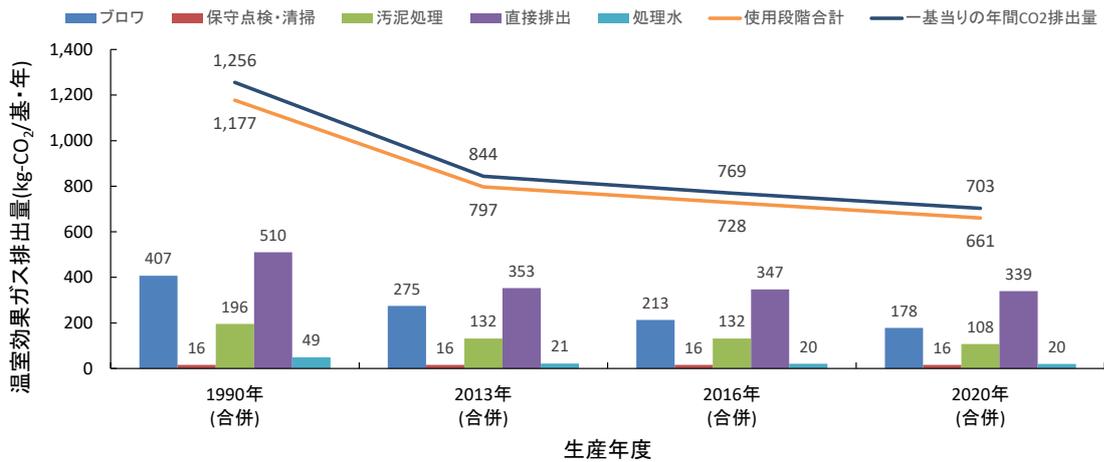


図 2. 6 5～10人槽の使用段階排出量内訳と全排出量の推移 (CO₂換算)

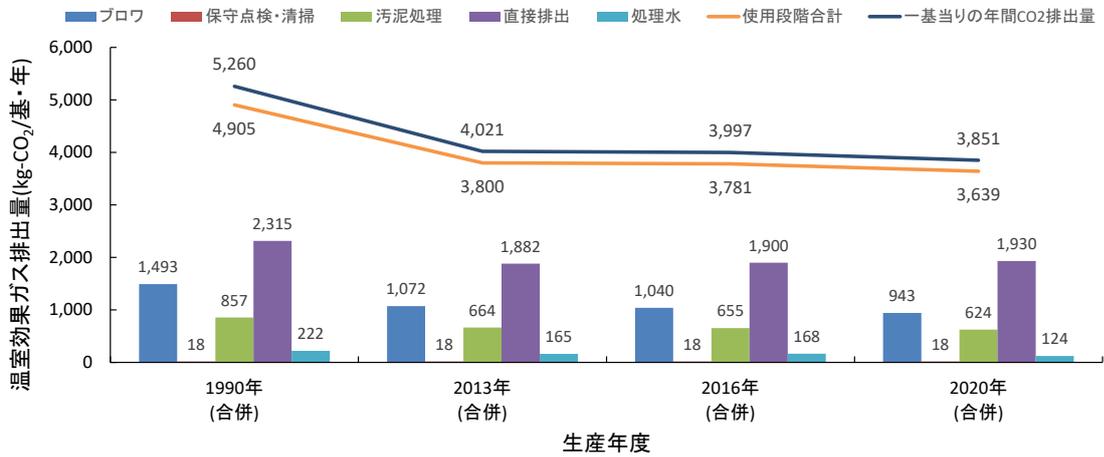


図 2. 7 11～50人槽の使用段階排出量内訳と全排出量の推移 (CO₂換算)

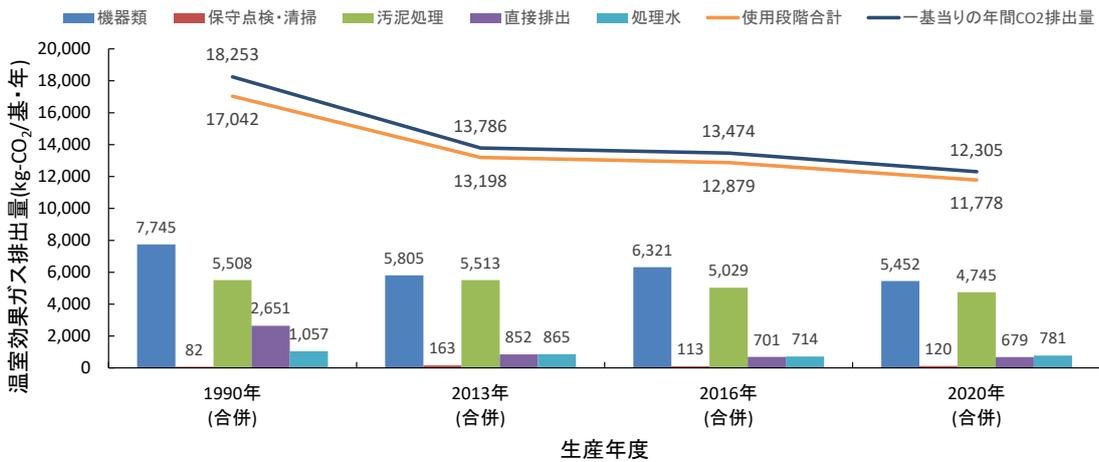


図 2. 8 51人槽以上の使用段階排出量内訳と全排出量の推移 (CO₂換算)

3. 浄化槽システムの脱炭素化に向けた検討

浄化槽の更なる脱炭素化に向け、様々な角度から脱炭素化に資する内容を調査および分析し、それらを以下にまとめた。

3. 1 槽のコンパクト化

浄化槽のコンパクト化は、表3. 1. 1に示す通り、各段階に対して温室効果ガス排出に影響を及ぼすものと考えられる。

浄化槽コンパクト化に伴う、温室効果ガス排出量を5～10人槽、11～50人槽、51～500人槽の規模で各段階の年度荷重平均にて整理する。

なお、2011年度の数值は、浄化槽システム協会、平成29年度次世代浄化槽システムに関する調査検討業務報告書より引用した。

表3. 1. 1 浄化槽のコンパクト化が温室効果ガス排出に及ぼす影響（例）

段階	温室効果ガス排出項目
製造段階	使用部材
	製造
設置工事段階	輸送
	施工
使用段階	清掃
	汚泥処理
廃棄段階	搬出
	処分

(1) 製造段階での温室効果ガス排出量削減

浄化槽のコンパクト化は、告示型から性能評価型に変わることにより可能となった。性能評価型の出荷比率をまとめると表3. 1. 2となる。

表3. 1. 2 人槽規模ごとの性能評価型出荷比率 単位：%

年度	5～10人槽	11～50人槽	51～500人槽
1990	0.0	0.0	3.6
2011	98.7	99.1	96.4
2013	99.2	99.0	98.0
2016	99.4	99.1	97.9
2020	99.8	100.0	100.0

2011年度には、全ての人槽規模において、市場が性能評価型にほぼ置き換わったことがわかる。

次に、温室効果ガス排出量を年度荷重平均で整理を行うので、人槽が影響を及ぼす。人槽の年度加重平均をまとめると表3. 1. 3となる。

表3. 1. 3 人槽規模ごとの人槽の年度加重平均 単位：人槽

年度	5～10人槽	11～50人槽	51～500人槽
1990	6.9	31.1	149.9
2011	5.9	33.1	127.7
2013	5.8	31.5	124.8
2016	5.7	31.9	130.6
2020	5.6	32.1	122.2

5～10人槽規模の、人槽の年度加重平均が減少している。主な要因は、2000年に浄化槽の人員算定を規定しているJIS A 3302が改正されたことが主な要因となっている。5人槽対象の戸建住宅の延べ床面積を新旧JISで比較すると、旧JISでは100m²までであったが、新JISでは130m²に拡大された。また、新JISでは二世帯住宅を除くその他の戸建て住宅が5人槽または7人槽を選定するようになった。

浄化槽のコンパクト化について、製品容量の推移、1990年度比の削減量、1990年度比の削減率として整理し、表3. 1. 4に示す。

表3. 1. 4 製品1基あたりの容量の推移

年度	5～10人槽			11～50人槽			51～500人槽		
	容量 m ³	削減量 m ³	削減率 %	容量 m ³	削減量 m ³	削減率 %	容量 m ³	削減量 m ³	削減率 %
1990	4.2	-	-	17.3	-	-	62.3	-	-
2011	2.3	1.9	45.2	11.6	5.7	32.9	31.9	30.4	48.8
2013	2.3	1.9	45.2	11.2	6.1	35.3	31.0	31.3	50.2
2016	1.9	2.3	54.8	10.9	6.4	37.0	32.1	30.2	48.5
2020	1.9	2.3	54.8	10.6	6.7	38.7	28.0	34.3	55.1

表3. 1. 4から、2011年度は1990年度に比べ、5～10人槽規模で45.2%、11～50人槽規模で32.9%、51～500人槽規模で48.8%の容量削減率となっており、告示型から性能評価型に切り替わった影響でコンパクト化が大きく進んだものと考えられる。

2020年度は1990年度に比べ、5～10人槽規模で54.8%、11～50人槽規模で38.7%、51～500人槽規模で55.1%の容量削減率となっていた。

製造段階における温室効果ガス排出量、1990年度比の削減量、1990年度比の削減率をまとめると表3. 1. 5となる。

表3. 1. 5 製造段階における1基あたりの温室効果ガス排出量の推移

年度	5～10人槽			11～50人槽			51～500人槽		
	排出量 kg-CO ₂	削減量 kg-CO ₂	削減率 %	排出量 kg-CO ₂	削減量 kg-CO ₂	削減率 %	排出量 kg-CO ₂	削減量 kg-CO ₂	削減率 %
1990	539	-	-	2,162	-	-	6,987	-	-
2011	264	275	51.0	1,234	928	42.9	4,406	2581	36.9
2013	254	285	52.9	1,193	969	44.8	4,330	2657	38.0
2016	239	300	55.7	1,176	986	45.6	4,738	2249	32.2
2020	218	321	59.6	1,083	1,079	49.9	4,092	2,895	41.4

表3. 1. 5から、製造段階における温室効果ガス排出量の削減率は、2011年度は1990年度に比べ、5～10人槽規模で51.0%、11～50人槽規模で42.9%、51～500人槽規模で36.9%となっていた。

2020年度の削減率は1990年度に比べ、5～10人槽規模で59.6%、11～50人槽規模で49.9%、51～500人槽規模で41.4%となっていた。

(2) 設置工事段階における温室効果ガス排出量削減

設置工事段階における温室効果ガス排出量、1990年度比の削減量、1990年度比の削減率をまとめると表3. 1. 6となる。

表3. 1. 6 設置工事段階における1基あたりの温室効果ガス排出量の推移

年度	5～10人槽			11～50人槽			51～500人槽		
	排出量 kg-CO ₂	削減量 kg-CO ₂	削減率 %	排出量 kg-CO ₂	削減量 kg-CO ₂	削減率 %	排出量 kg-CO ₂	削減量 kg-CO ₂	削減率 %
1990	1,820	-	-	8,466	-	-	29,354	-	-
2011	1,181	639	35.1	5,598	2,868	33.9	13,956	15,398	52.5
2013	1,157	663	36.4	5,435	3,031	35.8	13,315	16,039	54.6
2016	1,005	815	44.8	5,284	3,182	37.6	13,124	16,230	55.3
2020	1,036	784	43.1	5,279	3,187	37.6	11,718	17,636	60.1

表3. 1. 6から、設置工事段階における温室効果ガス排出量は製品容量と同様な傾向で、2011年度は1990年度に比べ、5～10人槽規模で35.1%、11～50人槽規模で33.9%、51～500人槽規模で52.5%の削減率となっていた。

2020年度は1990年度に比べ、5～10人槽規模で43.1%、11～50人槽規模で37.6%、51～500人槽規模で60.1%の削減率となっていた。

(3) 使用段階（清掃、汚泥処理）での温室効果ガス排出量削減

清掃量も人槽規模によっては小容量となっている。清掃量、1990年度比の削減量、1990年度比の削減率をまとめると表3. 1. 7となる。

51～500人規模は、処理方式により年間の清掃回数が異なるが、1年間の清掃量として評価した。

表3. 1. 7 1基あたりの清掃量の推移

年度	5～10人槽			11～50人槽			51～500人槽		
	清掃量 m ³ /年	削減量 m ³ /年	削減率 %	清掃量 m ³ /年	削減量 m ³ /年	削減率 %	清掃量 m ³ /年	削減量 m ³ /年	削減率 %
1990	2.3	-	-	10.0	-	-	64.0	-	-
2011	1.6	0.7	30.4	8.0	2.0	20.0	65.7	-1.7	-2.7
2013	1.5	0.8	34.8	7.7	2.3	23.0	64.1	-0.1	-0.2
2016	1.5	0.8	34.8	7.6	2.4	24.0	58.5	5.5	8.6
2020	1.3	1.0	43.5	7.3	2.7	27.0	55.2	8.8	13.8

表3. 1. 7から、2011年度の清掃量は5～10人槽規模で30.4%、11～50人槽規模で20.0%の削減率となっており、槽の小容量化による影響で清掃量が削減されたものと考えられる。ただし、51～501人槽規模では削減されていない。

2020年度は1990年度に比べ、5～10人槽規模で43.5%、11～50人槽規模で27.0%、51～500人槽規模で13.8%の削減率となっていた。

使用段階の内、清掃、汚泥処理における温室効果ガス排出量、1990年度比の削減量、1990年度比の削減率をまとめると表3. 1. 8となる。

表3. 1. 8 使用段階（清掃、汚泥処理）における1基あたりの
温室効果ガス排出量の推移

年度	5～10人槽			11～50人槽			51～500人槽		
	排出量 kg-CO ₂ / 年	削減量 kg-CO ₂ / 年	削減率 %	排出量 kg-CO ₂ / 年	削減量 kg-CO ₂ / 年	削減率 %	排出量 kg-CO ₂ / 年	削減量 kg-CO ₂ / 年	削減率 %
1990	205	-	-	866	-	-	5,569	-	-
2011	144	61	29.8	700	166	19.2	5,768	-199	-3.6
2013	141	64	31.2	673	193	22.3	5,631	-62	-1.1
2016	141	64	31.2	664	202	23.3	5,111	458	8.2
2020	117	88	42.9	633	233	26.9	4,835	734	13.2

表3. 1. 8から、2011年度は1990年度に比べ、5～10人槽規模で29.8%、11～50人槽規模で19.2%の温室効果ガス排出量削減率となった。51～501人槽規模では、削減されていない。

2020年度は1990年度に比べ、5～10人槽規模で42.9%、11～50人槽規模で26.9%、51～500人槽規模で13.2%の温室効果ガス排出量削減率となった。

(4) 廃棄段階における温室効果ガス排出量

廃棄についてはデータ未収だが、設置工事段階のデータが参考となる。現状では廃棄処理（埋め立て）や埋め戻し、再利用などがあるが温室効果ガス排出量の算定には至っていない。

(5) 調査結果のまとめ

槽のコンパクト化により、製造段階、施工段階、使用段階（清掃、汚泥処理）、廃棄段階の各段階で温室効果ガス排出量は削減されている。廃棄段階を除く各段階の温室効果ガス排出量の合算値、1990年度比の削減量、1990年度比の削減率をまとめると表3. 1. 9となる。

なお、製造段階、施工段階の温室効果ガス排出量は、30年で除した値とした。

表3. 1. 9 槽のコンパクト化による1基あたりの温室効果ガス排出量の推移

年度	5～10人槽			11～50人槽			51～500人槽		
	排出量 kg-CO ₂ / 年	削減量 kg-CO ₂ / 年	削減率 %	排出量 kg-CO ₂ / 年	削減量 kg-CO ₂ / 年	削減率 %	排出量 kg-CO ₂ / 年	削減量 kg-CO ₂ / 年	削減率 %
1990	284	-	-	1,220	-	-	6,780	-	-
2011	192	91	32.2	928	293	24.0	6,380	400	5.9
2013	188	96	33.7	894	326	26.7	6,219	561	8.3
2016	182	101	35.7	879	341	27.9	5,706	1,074	15.8
2020	159	125	43.9	845	375	30.7	5,362	1,418	20.9

表3. 1. 9から、槽のコンパクト化が温室効果ガス排出量削減に寄与することが確認できた。また、告示型から性能評価型への転換や単独転換を目標とした浄化槽メーカーの更なるコンパクト化の努力により、早い段階でコンパクト化が進み、2011年度には1990年度に比べ、5～10人槽規模で32.2%、11～50人槽規模で24.0%、51～500人槽規模で5.9%の温室効果ガス排出量削減率となった。

2020年度は1990年度に比べ、5～10人槽規模で43.9%、11～50人槽規模で30.7%、51～500人槽規模で20.9%の温室効果ガス排出量削減率となった。

3. 2 共同浄化槽の設置による脱炭素化に寄与する効果の検討

環境省の令和3年12月20日施行の公共浄化槽等整備推進事業実施要綱にある複数戸の生活排水（合計100人以内）を集合させて処理する「共同浄化槽の設置」が脱炭素化に寄与する効果について検討した。

(1) 試算の与件

1) 管路で浄化槽まで接続した場合

- 1世帯あたりの平均世帯人数は、令和2年（2020年）国勢調査では2.21人/戸である。そこで、1世帯あたりの人数を2.21人/戸として検討するが、参考のため3人/戸、3.5人/戸の場合についても検討する。
- 5人槽に設置されるブロワの消費電力は32.2Wとする。
（環境配慮型浄化槽 適合機種・仕様等一覧表の通常型消費電力の平均値）
- 11～50人槽の消費電力は、環境配慮型浄化槽 適合機種・仕様等一覧表（通常型）から各社の人槽と消費電力の関係を記した図3.2.1より導いた回帰式による。

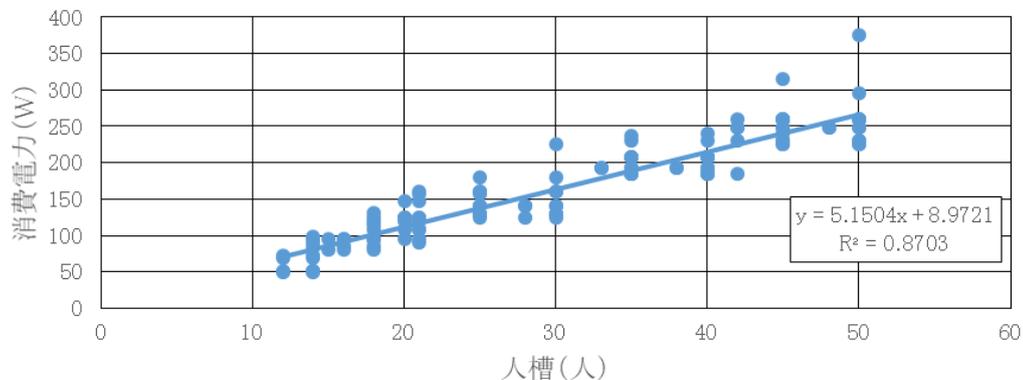


図3.2.1 11～50人槽の消費電力

- 51人槽以上の消費電力は、令和3年度各型式調査表から各社の人槽と消費電力量の関係を記した図3.2.2より導いた回帰式による。

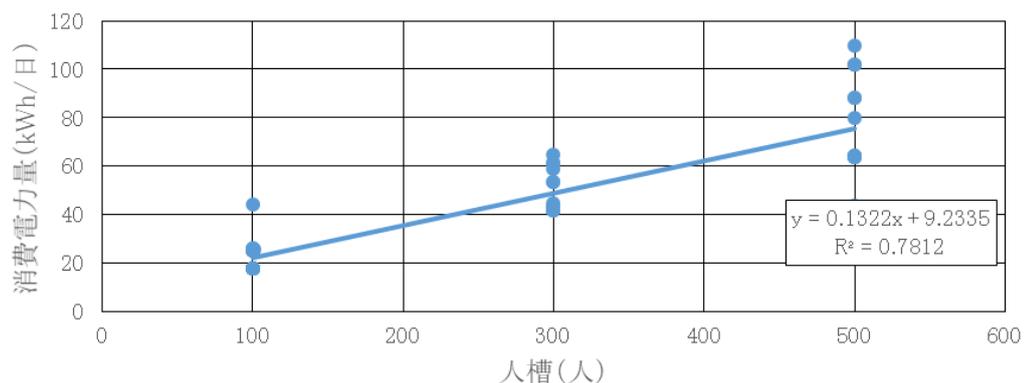


図3.2.2 51人槽以上の消費電力量

- 5人槽を複数設置した場合と共同浄化槽を設置した場合の消費電力の差より消費電力量削減率を算出し評価した。
- 放流は自然放流とし、放流ポンプ槽を設けない仕様とした。
- CO₂排出係数は0.555kg-CO₂/kWhとした。

2) 管路が長く原水ポンプ槽を要する場合

- ・原水ポンプ槽は1基設置とする。
- ・ポンプの出力は0.25kWとする。
- ・スクリーンのばっ気ブロワの仕様はメーカーにより60L/分(32W)と80L/分(48W)があることから、消費電力は平均値の40Wとする。

(2) 共同浄化槽による脱炭素化の効果

1) 管路で浄化槽まで接続した場合

前項「(1) 試算の与件」に基づき整理した結果を整理し、図3. 2. 3に示す。

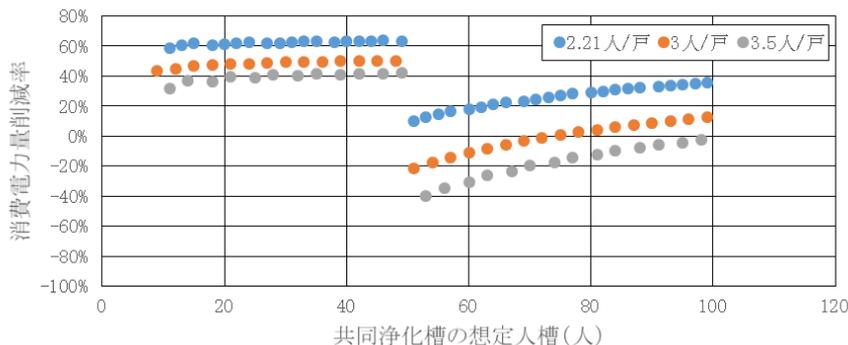


図3. 2. 3 5人槽の複数基設置と比較した共同浄化槽の消費電力削減率

図3. 2. 3より、50人槽までは5人槽と同じ方式のブロワ(電磁式)を使用するため、小風量の電磁式ブロワを複数台設置するより消費電力は大きく削減できる。一方で、51人槽以上では通常、ロータリーブロワを使用するため、電磁式ブロワの複数台設置に比べると消費電力は削減率が小さくなる。その結果、2.21人/戸の条件では削減効果が認められるものの3人/戸の条件では72人以下で電磁式ブロワの複数台設置に比べると消費電力が増加する。3.5人/戸の条件では全人槽で増加することが分かる。

これらの結果より共同浄化槽を設置することにより削減率が劣る人槽及び消費電力が増加する場合、50人槽までの浄化槽を2基設置することが脱炭素化につながるものと考えられる。

2) 管路が長く原水ポンプ槽を要する場合

原水ポンプ槽を稼働させた場合の消費電力量を以下により算出した。

a) ポンプ

- ・汚水量: Q ($m^3/日$)
- ・時間当たりの移送水量: 日平均汚水量の1/24の2.5倍
- ・ポンプ稼働時間: $Q \div (Q \times 1/24 \times 2.5) = 9.6$ 時間
- ・消費電力量: $0.25 \times 9.6 \times 365 \div 1000 = 876$ kWh/年

b) ブロワ

- ・消費電力量: $40 \times 24 \times 365 \div 1000 = 364$ kWh/年

c) 消費電力量計

- ・ $876 + 364 = 1240$ kWh/年

共同浄化槽に原水槽を設け、それに必要な消費電力量を加味した結果を整理し、図3. 2. 4に示す

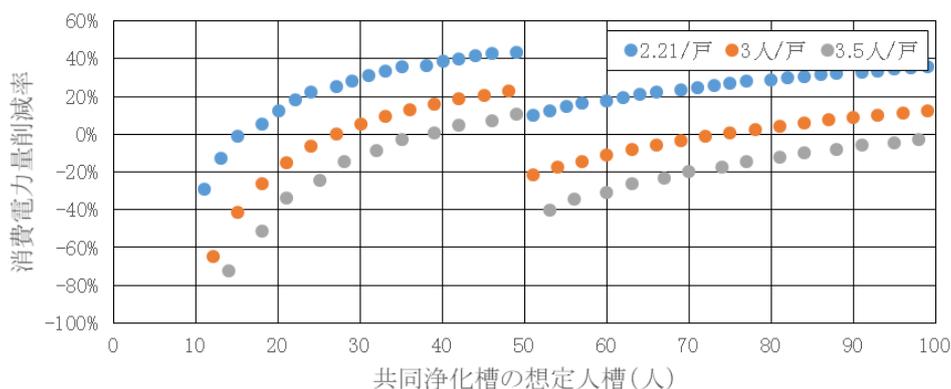


図 3. 2. 4 5 人槽の複数基設置と比較した原水槽を設ける共同浄化槽の消費電力削減率

図 3. 2. 4 より、2.21 人/戸の条件では、原水ポンプ槽を設けた場合でも 18 人槽以上であれば消費電力量の削減効果が得られること、3 人/戸の条件では 72 人槽以上で削減効果が得られること、3.5 人/戸では削減効果が得られないことが分かった。

(3) 共同浄化槽による脱炭素化の効果

共同浄化槽の設置は、その設置条件にもよるが脱炭素化に資することが分かった。

- 1) 脱炭素化の効果は、50 人槽までは大きいこと、51 人槽以上では世帯人数と接続戸数により効果がある場合とない場合があることが分かった。
- 2) 51 人以上になる場合は 2 系列として 50 人槽までの浄化槽を 2 基設置することが脱炭素化につながるものと考えられる。また、ブロワやポンプ等のランニングコスト（電気料金と機器交換費）が小さくなることを見込まれるので、イニシャルコスト（浄化槽本体と設置工事費）を勘案することにより、導入を後押しすることが期待できる。
- 3) 管路が長くなり原水ポンプ槽を設置した場合でも、世帯人数と接続戸数によっては脱炭素化に寄与することが分かった。
- 4) 共同浄化槽の設置は本項で検討した消費電力量の削減効果に加え、以下に基づく脱炭素化も見込まれる。

①製造段階

複数台設置に比べて製造で使用する FRP（本体・仕切板他）、プラスチック類（ろ材・マンホール他）、塩ビ部品のほか金属類（ブロー含む）の使用量が少ない。

②設置工事段階

複数個所で必要な設置工事が 1 カ所で済むため輸送や施工に関わるエネルギー消費量を削減できる。また複数台設置に比べて総容量が小さくなることから、施工時に必要な掘削土、鉄筋、コンクリート等の資材も削減できる。

③使用段階

保守点検や清掃を 1 カ所に対応でき巡回不要であるため、移動に関わるエネルギー消費量を削減できる。また排水処理による汚泥発生量はいずれの場合でも同程度であると考えられるが、汚泥貯留部は 1 人槽当たりの容量が 5 人槽より 11~50 人槽の方が小さい傾向にあるなど、共同浄化槽の汚泥引き抜き量が少なくなる場合がある。

3. 3 機器の省エネ化

浄化槽では機器として主に送風機（ブロワ）や水中ポンプが使用され、浄化槽の排水処理工程において重要な役割を担っている。またこれら機器は適正な維持管理および修繕が行われているものは、数十年前の古い機器であっても現役で稼働しているケースも多い。しかしながら昨今、IE3 の高効率モータの採用による消費電力の低減、また平成 29 年より環境省が「平成 29 年度二酸化炭素排出抑制対策事業費等補助金（省エネ型大型浄化槽システム導入推進事業）」を推進するなど、CO2 削減が社会的に求められている。本項では、過年度に当協会で行った調査報告書や、近年新たに進められている機器の省エネ技術等についての概要をまとめた。

(1) 浄化槽機器の省エネ技術¹⁾

浄化槽機器の中では消費電力に占めるブロワの割合が大きく、浄化槽の低炭素化においてブロワの消費電力削減が大きな効果となる。省エネ型大型浄化槽システム導入推進事業においてもブロワの更新を含むことを事業採択の条件としている。省エネ技術について、ブロワとブロワ以外の機器で分けて概要をまとめた。

1) ブロワの省エネ

ブロワの省エネ技術には、ブロワ自体を省エネ機種に更新する方法や、ブロワの稼働方法を変更する方法がある。また、これら 2 つの方法を組み合わせることで、より大きな省エネ効果を得ることができる。表 3. 3. 1 に内容をまとめた。

表 3. 3. 1 ブロワの省エネ技術

省エネ技術	概要
ブロワ自体の省エネ	
・高効率モータ	国際規格IECおよび日本工業規格JIS C 4043-30で規定されているモータ規格を、IE3（プレミアム効率）とする。
・高効率Vベルト	ブロワのモータとロータ駆動部をつなぐ伝動装置（Vベルト）がプーリーに巻き付く力”曲げ応力”を小さくすることによってエネルギー損失を抑える。
・高効率ブロワ	新しい冷却機構の採用により、軸の高速回転、ロータの小型化を実現し、従来機種と比べて1ランク低い動力で稼働する。
・ターボブロワ	空気浮上式の非接触型軸受構造により機械損失を無くすことにより、他機種のブロワと比べて低い動力で稼働する。
ブロワ稼働動力削減による省エネ	
・インバータ	散気装置への風量調整を、空気逃がしからインバータによりブロワの回転数の調整へ変更することでブロワの消費電力量を削減する。ばっ気槽のDO計と連動して空気量の調整をインバータで行うことで、供給風量の自動調整も行うことが可能となる。
・タイマ	連続運転を行っていたブロワ回路にタイマを設け、空気供給不要時間帯にブロワを停止することにより、消費電力量を削減する。
・ばっ気時間自動制御装置	ばっ気槽の間欠ばっ気において、ばっ気槽DOの変化から必要空気量を演算し、流入負荷量の変動に応じて過不足なくブロワの運転時間を制御することにより、消費電力量を削減する。

2) ブロワ以外の機器の省エネ

ブロワ以外の機器について、省エネ技術の概要を表3. 3. 2に示す。なお、散気装置は、散気装置自体は動力を持たないが、ブロワの省エネ化に効果がある。

表3. 3. 2 ブロワ以外の機器の省エネ技術

省エネ技術	概要
水中ポンプ	
・高効率ポンプ	渦流型のポンプをノンクロスクリュ型のポンプに変更することによりポンプ効率の向上し消費電力が削減する。 耐摩耗性の高い、異物の絡みつきにくい羽根車によるポンプ効率低下の防止により消費電力量を削減する。
・定流量ポンプシステム	流量調整槽等、揚程の変化により揚水量が変動する槽から一定水量を移送する手法として、計量タンクで調整し余剰分を戻していたが、揚水量を電磁流量計で測定、可変速ドライバで揚水量を調整し、余分な吐出し量を排除することにより消費電力量を削減する。
散気装置	酸素溶解効率の高い散気装置（超微細気泡型散気装置）を採用することにより少ない風量で酸素を溶解することが可能となる。これによりブロワを小型化することができ、消費電力量が削減される。
水中攪拌装置	水中ミキサは、高効率モータと高効率プロペラの採用により、従来機種と比べて消費電力を削減が可能である。ばっ気式水中エジェクタは、攪拌と空気供給を同時に行うことができるため、汚水の腐敗防止に有効である。タイマによる間欠運転を行うにより、消費電力量を更に削減することが可能である。
汚泥脱水機	汚泥脱水機には様々な方式があり、汚泥の性状により適用の可否がある。脱水機械の変更により消費電力を削減をする場合は、事前に実汚泥による脱水試験を行う必要がある。
スクリーン	スクリーンへの流入がポンプ圧送の場合は、ポンプと連動させることで消費電力を削減する。自然流入の場合は、明らかに流入しない時間帯はタイマにより間欠運転を行い消費電力量を削減する。
汚泥濃縮車 ²⁾	引き抜いた汚泥をその場で濃縮できる為、処理場への持ち込み量を削減でき、分離した水を張り水に使用する事も出来る。また濃縮する事で1度の巡回で回れる件数が増得るというメリットがある。
移動脱水車	汚泥脱水機を搭載した車両。各施設を巡回しながら汚泥を脱水できるので処理現場ごとに汚泥脱水機を設置するよりも初期コストが抑えられる。
給・排気ファン	給・排気ファンは、ブロワと同様に高効率モータや、高効率Vベルトの導入を行う。また風量をダンパで調整している場合はインバータによる風量調整を行うことにより消費電力を削減する。室内の給・排気だけでなく、脱臭装置に使用されるファンへの適用もできる。
換気設備	換気扇は、タイマやサーモスタッドにより間欠的に稼働させ、消費電力を削減する。
照明機器	新設の照明器具は長寿命・省電力のLEDが一般的になっている。既存の蛍光灯ベースライトにサイズを合わせた、一体型LEDベースライトが発売されており、機械室や街灯の照明の消費電力削減が可能となる。また、制御盤の表示灯電球からLEDに切り替えることで、ランプ切れ等のトラブルが無くなり維持管理性が向上する。
電線	
・電線の太径化	動力機器に使用されるCVケーブル等は、導体サイズを大きくすることで、通電時の電力損失を削減できる（最適導体サイズ設計（ECS0設計）が内線規程（2016年）に取り入れ）。
・エコマテリアル（EM）電線	電線・ケーブルを産業廃棄物として処分する場合の環境負荷を最小限にし、被覆材のリサイクル性を高めるためEM電線が規格化された。新設・更新時にEM電線を使用することにより温室効果ガスの削減が図れる。

(2) 浄化槽周辺に関わる省エネ技術

浄化槽機器以外の省エネ技術として概要を表3. 3. 3にまとめた。浄化槽で直接的に省エネ化を図る技術の他に、水循環の観点から地域全体でエネルギーの削減を行う手法についても検討した。

表3. 3. 3 浄化槽機器以外の省エネ技術

省エネ技術	概要
再生可能エネルギーの導入	
・太陽光発電	太陽電池モジュールにより発電した電力を浄化槽処理に利用する。大型浄化槽では処理施設の上部を発電スペースとして利用することができる。
・風力発電	風車により発電した電力を浄化槽処理に利用する。
・小水力発電	水車により発電した電力を浄化槽処理に利用する。浄化槽の外部で発電する以外に、排水処理で利用した水自体を発電に利用する技術も報告されている。
・微生物発電	電気生成微生物により発電した電力を浄化槽処理に利用する。
浄化槽の運用における省エネ	
・遠隔監視装置の導入	浄化槽の稼働状況を遠隔監視することで、維持管理回数の削減を図り、維持管理に要するエネルギーを削減する。現場にいなくても浄化槽の処理状況を把握することができ、異常の早期発見につながる。
・原水の汚濁負荷削減	浄化槽使用者との協働により原水の汚濁負荷を削減し、排水処理に必要なエネルギーを削減する。
旧構造基準型・構造基準型浄化槽の変更	
・性能評価型浄化槽への改造	告示第7、第8の浄化槽は三次処理設備を設けている。二次処理のみで三次処理と同等の性能を発揮可能な、性能評価型浄化槽に処理方式を変更し、三次処理に要したエネルギーを削減する。
・適正規模の浄化槽へ入れ替え	施設の利用形態の変化により、浄化槽の仕様（計画汚水量や原水濃度、放流規制値等）が建設当時と大きく変わっている施設がある。設置後数十年が経過している浄化槽では、将来の更新を見据え、浄化槽自体を入れ替えて省エネ化を図る。
上水道水エネルギーの削減	
・処理水の再利用	膜分離活性汚泥法は、再利用水として利用可能な高度な水質を得ることができる。浄化槽処理水を場内清掃水や便所洗浄水に再利用することにより、上水使用量（上水製造エネルギー）を削減する。
・単独浄化槽、BOD除去型浄化槽の入れ替え	都市部の浄水場では、上水の造水にオゾン酸化処理や生物活性炭処理等、大量のエネルギーを消費している。水道水源地域の浄化槽を既設を含めて性能評価型浄化槽へ入れ替えることにより、上水原水の汚濁負荷を削減し、上水製造エネルギーを削減する。

(3) モーターの省エネ技術動向

国内の電力消費量のうちモーターによる消費は約 60%を占めていると言われていたが、今後更に自動車の電動化を中心にモーター需要は更に拡大していく事が予想されているため、モーターの省エネ化は重要課題となっている。近年、レアメタル等を用いた高性能磁石や高性能軟磁性材料の開発が電気自動車産業中心に進められ、また家電製品では省エネ性能が高く、効率的で速度制御が容易な DC モーター（直流電動機）を用いた扇風機が注目されるなど、モーターの省エネ化が進めば、将来的に浄化槽分野への適用も期待されると考えられる。

<参考文献>

- 1) 一般社団法人 浄化槽システム協会, 平成 29 年度次世代浄化槽システムに関する調査検討業務報告書.

3. 4 間欠ばっ気の導入

浄化槽機器の中では消費電力に占めるブロワの割合が大きく、浄化槽の低炭素化を進める上でブロワの消費電力を削減することは大きな効果となる。特にブロワについては通常24時間連続で運転されており、好気処理槽のばっ気のためだけではなく、水の循環やポンプアップにも使用され、処理を行う上で重要な装置である。家庭用浄化槽では運転時におけるブロワに起因する温室効果ガスが多く占めており、ブロワの消費電力削減は、温室効果ガス排出量の低減にも大きく貢献することが報告されている。

家庭用浄化槽において、設置者の高齢化や子の独立により浄化槽の規模に対して使用人員が少ない施設が増えており、また大型の浄化槽においても、対象施設の利用者数、作業人員、事業規模等の使用状況の変化により、水量・汚濁負荷量が設計規模よりも下がるケースや休日など無負荷の期間が定期的に発生するケースが多くある。維持管理の実際として実負荷に応じた機器の稼働時間の調整等が施設によっては行われている。24時間連続運転しているブロワを実負荷に応じて間欠運転することは、低炭素化の観点からも有効であることは想像に難くない。

しかし、間欠ばっ気の導入により低炭素化を実現する際には、言うまでもなく浄化槽の性能は担保されなければならない。例えば大型の浄化槽については、低負荷であるという理由での間欠ばっ気への変更ではなく、低負荷の結果として放流水のpH低下を招くことを緩和したり、汚泥の解体を防ぐために行なうケースが多く、あくまでも水質改善のための運転方法である。このことは（公財）日本環境整備教育センターの浄化槽管理士講習テキスト中にも長時間ばっ気の浄化槽の維持管理方法¹⁾に記載されており、保守点検の中で以前より行われてきたものである。

本項では、間欠ばっ気運転についての知見の整理、製品における導入事例、間欠ばっ気導入への課題についてとりまとめる。

(1) 間欠ばっ気についての知見の整理

浄化槽に設置されるブロワは、好気処理に必要な空気量を上回る吐出能力をもった物もあり、かつJIS人員算定より選定される浄化槽の規模より実使用人員が少ないケースも多々あるため、このような状況下では過大な電力を消費することとなる。また、少ない流入水量に対して過大な空気量を送気すると非流入時間帯などに好気槽内水が過ばっ気状態となり、pHの低下や汚泥の解体による処理性能の悪化が懸念されている。

実際の設置現場で過ばっ気が疑われるものとして、全国の指定検査機関へのアンケート調査にてpHが5.8未満でpH異常となっている割合が、平成23年度調査で6.0%あったという報告がある²⁾。また、実使用人員の減少という観点からは、1世帯当たりの人員の経年推移の調査で、昭和61年に3.22人であったものが平成25年には2.51人と0.71人減少しているとの報告がある³⁾。さらに国立社会保障・人口問題研究所では、2035年に単独世帯の割合が37.2%、夫婦のみの割合が21.2%になると試算しており⁴⁾、低負荷による過ばっ気によってpH異常や処理性能悪化の発生件数が今後増加してくる懸念がある。

①大阪府立公衆衛生研究所⁵⁾及び東北大学大学院では、人員比（実使用人員／浄化槽人員）の低い既設浄化槽（嫌気ろ床接触ばっ気方式、担体流動ばっ気方式等）においてブロワを間欠稼働させ、水質への影響調査を行っている。実験結果について以下に概要を示す。

イ) 嫌気ろ床接触ばっ気方式（流量調整機能付）

人員比0.17～0.50の5施設にて23:30～2:00、3:00～6:30までの流入の無い6時間でブロワを停止（ブロワ稼働率75%）し、処理水に及ぼす影響を調

査した。実験結果は人員比が 0.3 以下の浄化槽では間欠運転が原因とは考えられない突発的な水質悪化を除けば、夜間に間欠ばっ気を行っても水質への影響はあまりないと結論付けている。ただし、一部で正常な生物処理が行われない事例もあったことから、間欠ばっ気導入には保守点検による検証が欠かせない結果となっている。

ロ) 担体流動ばっ気方式

人員比 0.25~0.43 の 4 施設にて、深夜、午後を合わせて 10 時間ブロワを停止し、処理水に及ぼす影響を調査した。

実験結果は 4 施設とも放流水は BOD10mg/L 以下で推移し、内 3 件は T-N10~20mg/L でかつ窒素の主体が硝酸性窒素であることから完全硝化がされていると想定され、人員比 0.4 以下の浄化槽では間欠ばっ気を行っても良好な水質が維持されることが示唆された。

留意点としては、流量調整槽を有する浄化槽では、流入水量が少ない場合に槽内水位が常に低水位になっていることが多く、循環水量が不安定となり、脱窒機能の低下が生じることが懸念される。

ハ) 嫌気ろ床接触ばっ気方式 (告示型)

人員比 0.4~0.5 の 2 施設において、深夜 0 時から 6 時までの 6 時間、ブロワを停止し、処理水に与える影響を調査した。

実験結果は、2 基とも BOD4mg/L 以下となり、連続ばっ気に比べて同程度か、それ以上の除去率となり、窒素においても T-N で 3.7mg/L 以下となった。

特に T-N は、連続ばっ気と比べ、全体的に低く安定していることが報告されている。これは夜間の流入が無いときに硝化液が返送比 4 で返送されると DO の持ち込みによって嫌気処理に影響を与えることが想定されるが、間欠ばっ気では循環が停止し、DO の持ち込みがないことにより、窒素除去性能に繋がったと推察している。

②(公社)福島県浄化槽協会⁶⁾ではフジクリーン工業(株)CRX 型 (流量調整型嫌気濾床担体流動生物濾過循環方式にリン除去装置を加えた処理方式) 5 人槽に計測機器を備え常時観測し、ブロワの運転方法を 1 週間ごとに変更して実験を行った。ブロワはタイマにより 1 日の停止時間を 7 回又は 8 回とし、停止時間を通常運転 (24 時間連続) と 20 分、40 分、60 分、90 分及び 120 分の間欠ばっ気運転とした。なお、実験期間中の実使用人員は 3 人だが、流入水量は 0.7~1.1m³/日であった。

実験結果は、ブロワの間欠運転方法においてばっ気停止時間は長時間 (120 分) より短時間のばっ気停止が水質を担保されることを確認出来た。ばっ気運転時でも多量の流入があった時間帯は急激な DO 低下を確認出来たことから、流入時間帯は連続ばっ気をするか間欠ばっ気の停止時間を短くする等調整が必要と考えられた。人員比の低い既設浄化槽において、処理目標水質が達成している場合は間欠ばっ気運転導入による電気使用量の削減効果が期待でき、水質の安定も担保できる可能性が高いことが推察された。

③常葉大学⁷⁾では窒素除去型の 7 人槽浄化槽 2 基 (施設 1, 2) と告示仕様嫌気濾床接触ばっ気方式の 7 人槽浄化槽 2 基 (施設 3, 4) を対象に、ばっ気設定条件を 24 時間連続、2 時間 ON/2 時間 OFF、4 時間 ON/2 時間 OFF、6 時間 ON/2 時間 OFF、12 時間 ON/12 時間 OFF、1 時間 ON/1 時間 OFF の 6 パターンでフィールド実験を行った。

実験結果は間欠ばっ気導入後も水質の担保が確認され、条件によっては設計上の処理性能を上回る結果が得られた。2 時間 ON/2 時間 OFF の 1 日 6 サイクル運転により、水質を担保しながら電力料金として 40% の削減、単位処理水量辺りの CO₂ 排出

量換算で 67～77%の削減を達成できた。以上より、ブロワの運転時間を半減しても処理機能に影響をせず、温室効果ガス排出量を制御する手法であることが明らかとなった。

④国立環境研究所とフジクリーン工業(株)⁸⁾では浄化槽の実験槽を用いて 100%流入負荷の条件でブロワの運転パターンを常時運転、60分ON/10分OFF、50分ON/20分OFF、40分ON/30分OFF、30分ON/40分OFFの5パターンに分けて実験を行った。

実験結果として酸素供給量が必要酸素量を満たす条件において、間欠ばっ気運転でも常時運転とほぼ同等の処理性能が得られた。本実験においては50分運転/20分停止が最も良好な結果が得られ、これにより約29%の電力消費を低減でき、適正な間欠ばっ気は効果的な省エネ技術であると結論付けた。

(2) 製品における間欠ばっ気導入事例

1) 小規模浄化槽（家庭用）導入事例

5～10人槽の性能評価型浄化槽では、ほとんどの機種は連続ばっ気を基本としているが、家庭用の小規模浄化槽で間欠ばっ気方式を導入した浄化槽もある。

<事例1>

メーカー	フジクリーン工業(株)
処理方式	接触ろ床方式
概要	<p>BOD10mg/L、T-N10mg/L以下の処理性能で性能評価を取得し製品化している。従来製品（CEN型）に間欠ばっ気を適用し、間欠サイクルとして、ばっ気50分、ばっ気停止20分の繰り返しによって間欠ばっ気を行っている。間欠ばっ気の適用により、従来製品の29%温室効果ガスの発生が抑制され、ブロワ消費電力は5人槽で25W、7人槽で35W、10人槽で49Wとなり、単独浄化槽の消費電力と同程度または、それ以下まで消費電力を抑制している。</p> <p>運転上の注意として、接触ろ床槽のDOは3mg/L以上とし、ばっ気停止時においても1mg/L以上のDOを必要としている。</p>



図3. 4. 1 小規模浄化槽の間欠ばっ気導入製品事例1（フジクリーン工業(株)）

2) 中・大規模浄化槽の導入事例

51 人槽以上の大規模浄化槽は、小規模浄化槽に比べてばっ気ブロワ等の動力機器の消費電力量が非常に大きいため、間欠ばっ気等を導入した場合の省電力化の効果は格段に大きくなる。また、制御盤も大きくなるため、複雑な回路を組み込み、省エネ自動運転をすることも可能である。本項では既設大規模浄化槽への導入や、性能評価型浄化槽として活性汚泥方式と間欠ばっ気運転を組み合わせた間欠ばっ気方式、回分式活性汚泥法、膜分離式活性汚泥法における間欠ばっ気法を紹介する。

①既設浄化槽への間欠ばっ気運転導入

大規模浄化槽（接触ばっ気方式や長時間ばっ気方式）では、低負荷施設の対応として、間欠ばっ気運転の導入が行なわれている。間欠ばっ気運転の導入に際し、以下の点について留意が必要と考えられる。

イ) 流入パターンの把握

住宅以外の用途で設置されている浄化槽は、曜日によって負荷が異なるケースが多い。例えば、事務所、作業所では平日の負荷が高く、店舗、娯楽施設では休日の負荷が高い。また、学校のように夏季、冬季休暇期間は汚水がほとんど入らないケースもある。このような施設ではタイマによるばっ気ブロワの間欠運転時間を設定する場合は、1 週間の流入パターンを把握し、高負荷時も酸素不足とならないようにする必要がある。ブロワの稼働時間設定には、24 時間タイマと週間タイマの組み合わせも有効である。

ロ) 接触ばっ気方式への間欠ばっ気運転導入

接触ばっ気方式のブロワ風量は、汚水処理に必要な空気量に加え、槽内の旋回流を確保するための空気量が必要とされる。ばっ気を停止すると、ろ材内部の水流が滞るため、常時ばっ気を行う場合と比べ、ろ材に付着する生物量が多くなり、ろ材内部の嫌気化や閉塞が発生するリスクがある。そのため、ろ材の逆洗を確実に行う必要がある。また、小規模浄化槽と同様に散気装置が目詰まりする可能性が大きくなるため、ブロワ吐出圧力の管理、散気管引き上げ洗浄の実施等の管理が必要である。

ハ) 活性汚泥方式への間欠ばっ気運転導入

間欠ばっ気運転を前提としていない施設では、沈殿槽からの返送にエアリフトポンプを用いている場合に、同一ブロワで間欠ばっ気運転を行うと汚泥返送も停止する。それにより、ブロワ停止時に沈殿槽の汚泥堆積量が増加し、キャリーオーバーすることが懸念される。この場合は、汚泥返送用に独立したブロワを設けるか、汚泥返送ポンプを組み込む必要がある。また、活性汚泥法では活性汚泥濃度等の槽内状況によってはばっ気停止後に速やかに DO が下降し始めて嫌気状態となるため、DO が 0 になるまでの時間、DO が 0 からばっ気開始して安定に至るまでの時間を把握して DO が 0 にならない間欠ばっ気を行うと良いと考えられる。

②性能評価型浄化槽

性能評価型浄化槽の中には、間欠ばっ気や、周波数制御によるばっ気風量の増減など、高度に空気供給量を制御する方式があり、これらは告示型浄化槽（告示第6-2接触ばっ気方式、告示第6-4長時間ばっ気方式）に代表されるようなばっ気ブロワを24時間連続運転する場合と比べて、消費電力量は30～50%程度少ないとされる。

また、これらの高度な浄化槽では流入負荷量に応じた酸素量をばっ気槽に供給する設計や、低負荷時に低負荷運転に切り替わる仕様が多く、省電力化のみならず、過ばっ気による汚泥の膨化や解体を抑制し、安定した処理を期待することができる。

<事例1>

メーカー	メーカー多数
処理方式	間欠ばっ気活性汚泥方式
制御方法	<p>ばっ気ブロワの運転、停止をばっ気槽内の溶存酸素濃度により制御する。流入負荷が100%の場合は、ばっ気開始後1.5時間でDOが2mg/Lになるように設計され、その後の0.5時間はばっ気を停止させDOを低下させる間欠運転となっている。</p> <p>流入負荷が変動し、例えば流入負荷が設計値の50%の場合は、DOが2mg/Lに到達する時間が0.5時間と短くその後の1.5時間は、ばっ気停止の時間帯となっている。</p>

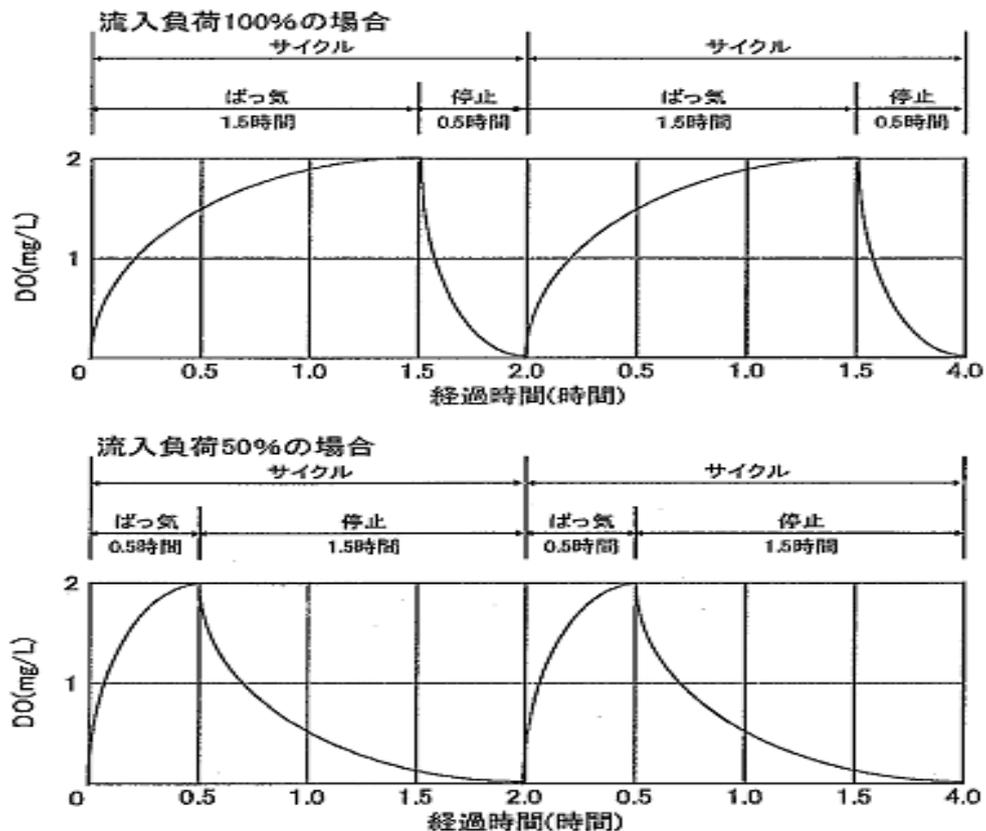


図3. 4. 2 間欠ばっ気活性汚泥方式の運転制御（例）

<事例 2>

メーカー	(株)西原ネオ
処理方式	AT コントローラ式間欠ばっ気活性汚泥方式
制御方法	<p>1 時間ばっ気、1 時間ばっ気停止の間欠ばっ気サイクルを基本サイクルとしている*。ばっ気ブロワの制御は、ばっ気時間自動制御装置 (ATC) で行う。</p> <p>※窒素除去が不要な施設では2時間ばっ気、2時間ばっ気停止のサイクルで運転する。</p> <p>制御としては、ばっ気工程時のばっ気槽内の溶存酸素濃度を連続測定し、該当の消費酸素量から次のサイクルでの必要酸素量を演算し、次のサイクルのばっ気時間を設定する方式である。</p> <p>流入負荷が変動し、例えば流入負荷の低下により予定のばっ気時間以内で DO の上昇がみられた場合はその時点でばっ気を停止する。また、流入負荷が上昇し、予定時刻になっても DO が一定値以上上昇しない場合は、ばっ気を延長し、1 サイクルあたり 15~60 分の間で必要最小限となるよう酸素を供給する。</p>

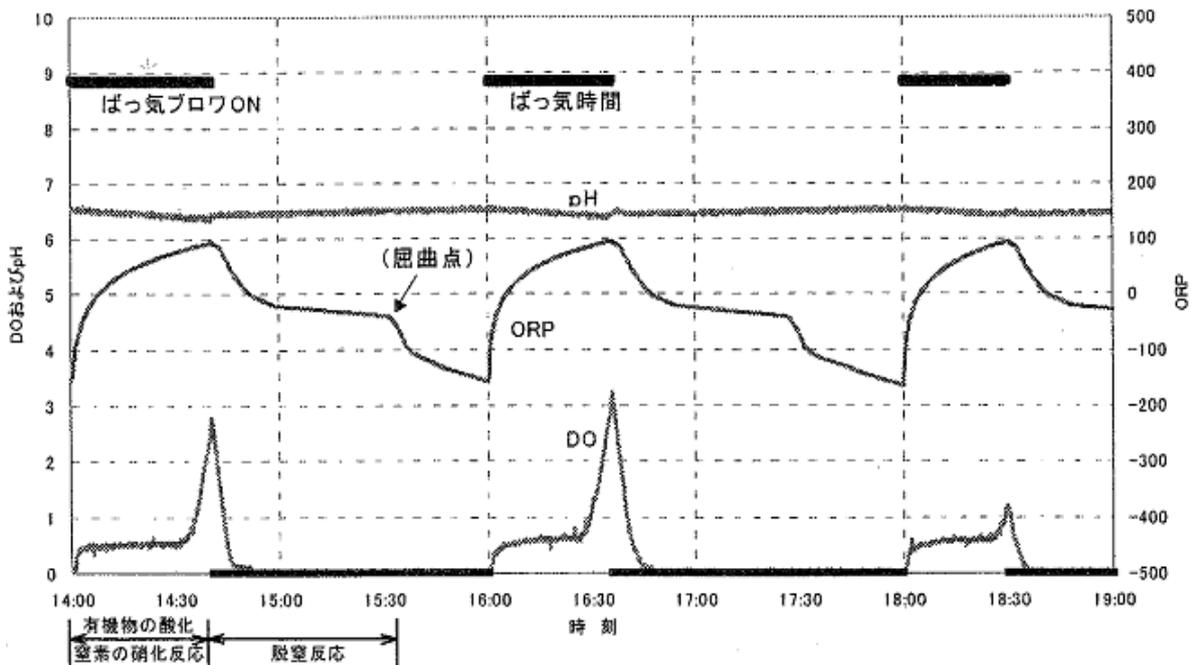


図 3. 4. 3 AT コントローラ式間欠ばっ気活性汚泥方式の運転制御 (例)

(3) 間欠ばっ気導入への課題

間欠ばっ気導入は、メーカーによって製品に組込む場合 (製品開発)、保守点検業者によって後付けで設置される場合 (既設浄化槽への適用) の 2 通りが想定され、各々の課題について以下に整理する。

1) 製品開発 (性能評価)

メーカーが間欠ばっ気を組み込んだ製品開発を行うには、性能評価の取得が前提と

なる。性能評価試験（恒温短期試験）では、試験に供する流入水量（5人槽では1 m³/日）、流入水質が決められており、ブロワはこの流入負荷に対し、必要風量を設定して試験を行っている。性能評価試験に合格した浄化槽を製品化する場合、試験に供した仕様以外は認められていない為、低負荷及び省エネ対策としてメーカーが独自に間欠ばっ気を製品へ付加することはできない。また、間欠ばっ気で性能評価を取得した浄化槽であっても間欠ばっ気サイクルは、性能評価の設定しか認められておらず、ばっ気時間を短くする等、低負荷対策の設定を組み込むことも認められていない。低負荷及び省エネ対策として、低負荷評価する性能評価試験方法の拡充が必要と考えられる。

2) 既設浄化槽への適用

既設浄化槽では、過ばっ気による pH 低下時に水質確保の観点から間欠ばっ気運転を行っているケースがある。メーカー側での対応は法制度上できないが、実際の現場では、保守点検業者が保守作業の一環として後付けでタイマを設置し、水質の確保及び省エネ化を図っている。以下に既設浄化槽への適用の課題を挙げる。

- ①間欠ばっ気を導入した後に生物膜の肥大化や剥離解体などの不具合が起こった事例が報告されている。浄化槽の処理方式によっては間欠ばっ気を行うことで処理性能に悪影響を及ぼす場合が想定される。
- ②通常製品に後付けでタイマを設置し、間欠ばっ気仕様とした所、法定検査で不適となった事例があった。

間欠ばっ気を既設浄化槽に導入する場合は、処理性能を悪化させないように細心の注意が必要であり、保守点検業者へ情報提供を行う教育機関が必要と考えられる。また、法定検査では浄化槽の機能及び処理性能上で問題が無ければ間欠ばっ気を容認するようガイドラインの見直しも必要と考えられる。

以上のように、間欠ばっ気の製品開発及び既設浄化槽への適用では様々な課題を抱えているが少子高齢化、核家族化が進む中で実汚濁負荷や使用人員に合せた間欠ばっ気方式の導入は脱炭素化に向け、有効な手段のひとつと考えられる。今後、間欠ばっ気の導入効果を数値的に推定すると同時に各課題に対する改善検討の推進が望まれる。

<参考文献>

- 1) 日本環境整備教育センター、浄化槽の維持管理（下巻） p188-189
- 2) 吉野邦治「送風機タイマー運転による pH 異常と改善と節電効果」第 26 回全国浄化槽技術研究集会 平成 24 年 10 月
- 3) 厚生労働省「平成 25 年国民生活基礎調査」
- 4) 国立社会保障・人口問題研究所「日本の世帯数の将来統計 平成 25 年」
- 5) 中野仁ほか「使用人員の少ない家庭用浄化槽の夜間間欠ばっ気運転による省電力化と水質への影響」、「低負荷家庭用浄化槽の間欠ばっ気運転による省電力化と水質への影響」第 24 回、第 26 回全国浄化槽技術研究集会平成 22 年 10 月・平成 26 年 10 月
- 6) (公社)福島県浄化槽協会 鳴原己八「間欠ばっ気運転による溶存酸素量の時系列解析について」月刊浄化槽 2017 年 7 月号
- 7) 常葉大学 山田建太、陳皓、小川浩「DO 制御による省エネルギー運転を適用した既設浄化槽の処理性能とその効果」用水と廃水 2016 年 8 月号
- 8) フジクリーン工業(株)岩間俊之ほか「間欠ばっ気運転による家庭用高度処理型浄化槽の省エネ化」第 49 回日本水環境学会年会講演集 2015、p606
- 9) 農業集落排水協会、「呼吸速度演算方式ばっ気時間制御装置（AT コントローラ）」農業集落排水技術研究発表会 平成 12 年度
- 10) 西原ネオ ばっ気時間制御装置 ATC 資料

3. 5 水中ポンプ稼働に伴う温室効果ガス発生量の削減の検討

大型浄化槽は、小・中型浄化槽と比べて環境配慮型浄化槽の適合率が低い。例えば、2019年度の適合率（基数割合）は5～10人槽が94.3%、11～50人槽が73.8%であるのに対し、51人槽以上は16.5%である¹⁾。

その要因として大型浄化槽では、流量調整槽に組み込まれる水中ポンプなど、ブロワ以外の機器類による消費電力量が加算されるためと考えられる。また流量調整槽では、汲み上げた汚水を計量タンクにより一定量を後段に移送するが、余剰水は槽内に戻すようにしているため、移送水量に対して過剰なポンプ能力となる場合は、エネルギーロスが大きくなることが考えられる。そこで、小・中型浄化槽では使用されていない大型浄化槽の水中ポンプに着目し、水中ポンプをインバータにより回転数制御しエネルギーロスが少なくなるよう稼働させた場合、省エネ効果と温室効果ガス発生量の削減は、どの程度となるか一例として試算した。

(1) 省エネ効果の検討

① 現状の流量調整槽用ポンプ

試算する浄化槽の規模は、51、100、200、300、500人槽とし、汚水量は200L/人・日とする。流量調整槽が組み込まれたある型式を一例として考え、図3.5.1の流量調整槽を参考に、ポンプ揚程は2.1mで試算することとした。検討地域は50Hz地域（ポンプモーターは50Hz用、汎用モーター）とした。

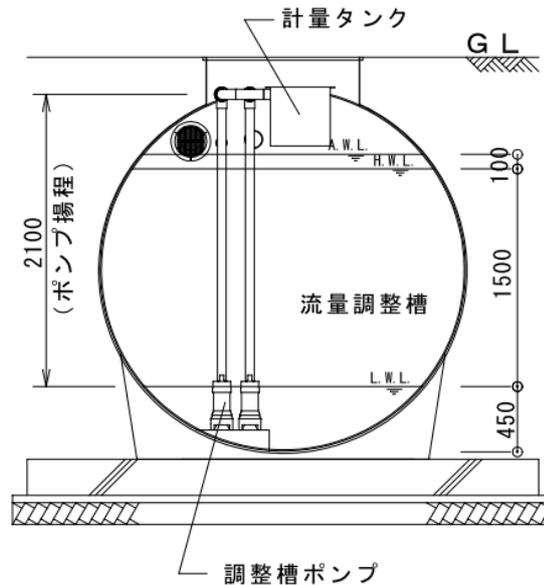


図3.5.1 流量調整槽の構造

表3.5.1にインバータ制御しない現状の流量調整用ポンプの揚水量とポンプ動力について人槽ごとに整理した。51、100、200人槽では0.15kW、300人槽では0.25kW、500人槽では0.4kWのポンプが使用される。そして、ポンプ揚水量はそれぞれ0.175m³/分、0.21m³/分、0.27m³/分となるが、計量に必要な揚水量を考えるとポンプ能力は過剰であることが分かる。なお、流量調整槽の移送水量は、次式により求め、計量に必要な揚水量は、これに適度な余剰水量を加算するものとして計算した。

$$\text{移送水量 (m}^3\text{/分)} = \text{日平均汚水量 (m}^3\text{/日)} \div 1440 \text{ (分/日)} \times k$$

(k=流量調整比、浄化槽型式により異なる、本試算ではk=1.8とした)

過剰なポンプ揚水量は、人槽が小さいほど大きく、51 人槽では移送水量の 7 倍以上の水量を無駄に汲み上げていることがわかる。また 200 人槽以上でも、計量に必要な揚水量の約 2 倍の能力のポンプが使用されておりエネルギーロスが大きいことが分かる。

表 3. 5. 1 各人槽の選定ポンプ仕様と揚水量（インバータ制御なし）

人槽(人)	51	100	200	300	500
日平均汚水量 (m ³ /日)	10.2	20	40	60	100
①ポンプ揚水量(INV制御なし) (m ³ /分)	0.175			0.21	0.27
②計量に必要な揚水量 (m ³ /分)	0.02	0.04	0.08	0.11	0.19
①-②過剰なポンプ揚水量 (m ³ /分)	0.156	0.138	0.100	0.098	0.083
③ポンプ動力 (kW)	0.15			0.25	0.4

②流量調整槽用ポンプのインバータ制御運転

次に、過剰なポンプ揚水量を削減し、ポンプ揚水量を計量に必要な揚水量に近づけるため、ポンプの運転周波数と軸動力（稼働動力）を求めた。そして、現状と比較した場合の削減率を表 3. 5. 2 にまとめた。なお 0.15kW のポンプは、インバータ運転に対応しなかったため、上位機種（0.25kW ポンプ）を適用している。

そして、本試算結果から、流量調整用ポンプをインバータ制御することにより、ポンプの稼働動力を 43～64%削減する省エネ化が可能であった。

表 3. 5. 2 各人槽の選定ポンプ仕様と揚水量（インバータ制御あり）

人槽(人)	51	100	200	300	500
日平均汚水量 (m ³ /日)	10.2	20	40	60	100
ポンプ揚水量(INV制御なし) (m ³ /分)	0.21				0.27
計量に必要な揚水量 =ポンプ揚水量(INV制御) (m ³ /分)	0.02	0.04	0.08	0.11	0.19
過剰な水量 (m ³ /分)	0	0	0	0	0
ポンプ動力 (kW)	0.25				0.4
運転周波数 (Hz)	30	32	35	37	40
④軸動力 (kW)	0.054	0.066	0.085	0.100	0.200
1-③/④削減率 (%)	64	56	43	60	50

(2) 温室効果ガス排出量の削減効果

本試算結果から、流量調整用ポンプの稼働時間を設定し、年間の削減電力量、CO₂削減量および削減電気料金を表 3. 5. 3 にまとめた。また、運転方法変更に伴う費用の妥当性について、現在の「浄化槽システムの脱炭素化推進事業」の事業費（TYPE I）の総事業費の要件を参考に、CO₂削減量から逆算した金額を換算事業費として示した。例えば 500 人槽で 613 千円となっているが、これは脱炭素化を目的にポンプをインバータ運転するよう行う工事費用が 613 千円以内であれば、当該補助金事業の要件を満足することになる。なお、事業費（TYPE I）の要件はブロワの更新が要件となっているため、今回試算した換算事業費はポンプの省エネ化のみであり部分的なものとなる。

表3. 5. 3 インバータ運転によるCO₂削減量と費用

人槽(人)		51	100	200	300	500
日平均汚水量	(m ³ /日)	10.2	20	40	60	100
削減電力量	(kWh/年)	489	431	332	767	1,022
CO ₂ 削減量 ^{※1}	(t-CO ₂ /年)	0.245	0.215	0.166	0.383	0.511
削減電気料金 ^{※2}	(円/年)	8,315	7,322	5,647	13,031	17,374
換算事業費 ^{※3}	(千円)	293	258	199	460	613

※1 削減電力量(kWh/年)×0.0005t-CO₂/kWh

※2 削減電力量(kWh/年)×17円/kWh

※3 削減CO₂(t-CO₂/年)×法定耐用年数15年×8万円/t-CO₂

(3) 考察

- ①移送水量と揚水量の差が大きいほどエネルギーロスが大きく、インバータ運転を行うことで、従来と比べて大幅にCO₂を削減することが可能である。
- ②計画水量に対する検討を行った結果、削減率は43～64%と非常に高いことが分かった。実際の汚水量は計画水量に対して少ないことから、運用上の削減率は更に高くなることが想定される。
- ③浄化槽設備の対応は、動力制御盤の調整槽ポンプ回路にインバータを組み込む必要があるが、既設・新設どちらの施設にも対応可能である。計量タンクで移送水量を調整することに変更はないので、性能評価型浄化槽への適用も問題ないと考えられる。
- ④汎用モータでインバータ運転する場合、最高運転周波数を超えると定格電流値を超えてしまうので上限リミットの設定が必要である。
 - ・50Hz ポンプ・・・最高周波数を 47.5Hz
 - ・60Hz ポンプ・・・最高周波数を 57.0Hz
- ⑤浄化槽全体に対する調整槽ポンプの運転方法変更による消費電力量削減率は小さく、浄化槽としてのCO₂削減にはブロワの消費電力削減が重要となる。

<参考文献>

- 1) 一般社団法人浄化槽システム協会 「令和2年度次世代浄化槽システムに関する調査検討業務報告書」 p.23 令和3年3月

3. 6 二酸化炭素排出係数の推移

現在検討に用いている電気の使用に伴う二酸化炭素排出量の算定に必要な二酸化炭素排出係数は0.555 kg-CO₂/kWhである。これは、特定排出者の事業活動に伴う温室効果ガスの排出量の算定に関する省令（平成18年経済産業省・環境省令第3号）に定めるデフォルト値¹⁾に基づいている。

浄化槽機器の稼働は100%電力で賄っている。浄化槽システムの二酸化炭素排出量を評価する上で、浄化槽自体の電力削減だけでなく、発電時における電源構成比の変動（二酸化炭素排出係数）も関係することに留意が必要である。

(1) 電源構成

電力会社はホームページで自社の電源構成とCO₂排出係数を公表している。一例として、2020年度の東京電力ホールディングス²⁾と沖縄電力³⁾の電源構成を図3.6.1に示す。

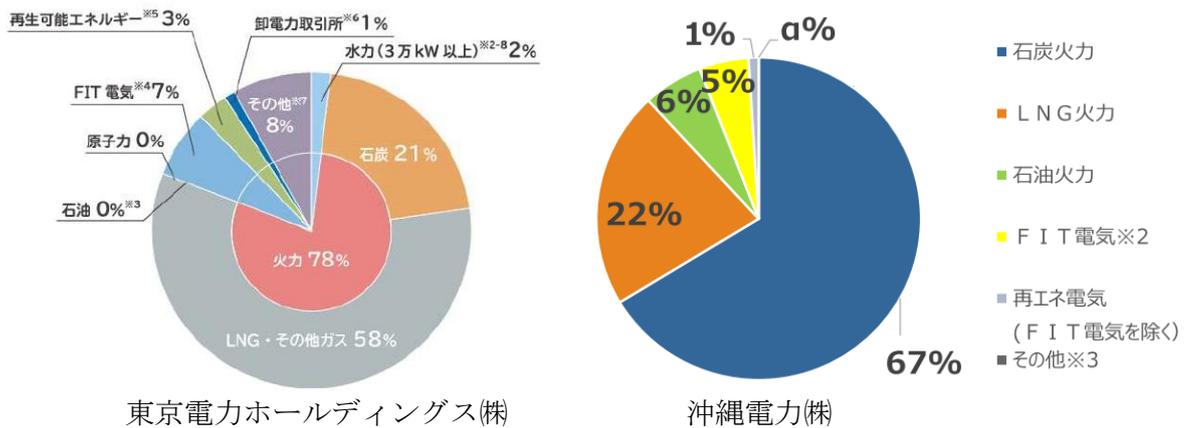


図3. 6. 1 電力会社の電源構成 (2020年度実績)

2020年度の火力に由来する電源割合は、東京電力ホールディングス株で78%、沖縄電力株で95%を占めている。電源構成と合わせて公表されているCO₂排出係数は、それぞれ0.434kg-CO₂/kWh、0.705kg-CO₂/kWhであり、電源構成によりCO₂排出係数が異なることが分かる。

沖縄電力株のCO₂排出係数が高いのは、本土のように原子力や水力発電の選択が取り得ない地域的事情による。電源構成の大半を占める石炭火力は、燃料コストが安い反面、CO₂排出量が多い発電方法であるが、石炭火力の割合を2028年に46%まで削減し、石炭火力発電効率の高い発電機の導入によりCO₂排出量の削減計画を立てている。

図3. 6. 2は、国内全体の電源構成比の推移である⁴⁾。2010年の震災による原子力発電施設の休止により電源構成はそれ以前と大きく変化し、化石燃料由来の電源割合が増加した。その後、再生エネルギーによる割合が徐々に増加しているものの、2019年における化石燃料由来の電源割合は67.3%を占めている。

2030年における電源構成の見通しは、非火力(再生エネルギー+原子力)で50%近くまで増す計画としている。



図3. 6. 2 電源構成比の推移

(2) 二酸化炭素排出係数

国全体の二酸化炭素排出係数の推移は、環境省より電気事業低炭素社会協議会（電気事業連合会加盟 10 社、電源開発㈱、日本原子力発電㈱、および新電力有志 31 社、2018 年 8 月時点、発電電力量ベースカバー率 96%）の実績として報告されている（図 3. 6. 3）⁵⁾。

二酸化炭素排出係数は、化石燃料由来の電源割合の減少に伴い 2018 年度の時点で 0.463kg-CO₂/kWh まで低下している。政府は 2030 年度の削減目標や電源構成の変化により、国全体の排出係数を 0.37kg-CO₂/kWh 程度にすることを目標としている。

協議会におけるCO₂排出削減実績



- 協議会が2020年1月27日に公表した2018年度の会員事業者のCO₂排出実績によると、排出係数（調整後）は0.463kg-CO₂/kWh、CO₂排出量（調整後）は3.72億t-CO₂である。
- 前年度（2017年度）の排出係数0.496kg-CO₂/kWh、CO₂排出量4.11億t-CO₂からは改善している。

CO₂削減実績

	2018年度	2017年度	2016年度	2015年度 (協議会設立)	【参考】 2013年度
販売電力量 (億kWh)	8,036	8,285	8,340	8,314	8,703
CO ₂ 排出量 (億t-CO ₂)	3.72	4.11	4.30	4.41	4.93
CO ₂ 排出係数 (kg-CO ₂ /kWh)	0.463	0.496	0.516	0.531	0.567

CO₂排出量・排出係数ともに調整後の値



図 3. 6. 3 温室効果ガス排出係数の推移

(3) 浄化槽システムの脱炭素効果検討への反映

仮に 2030 年度の削減目標 (0.37kg-CO₂/kWh) が達成できた場合、現在検討に用いている CO₂ 排出係数 (0.555kg-CO₂/kWh) に替えて検討すると、浄化槽システムの二酸化炭素排出削減量は、次式により更に 33.3% が上乗せされることとなる。

$$100 - (0.37\text{kg-CO}_2/\text{kWh} \div 0.555\text{kg-CO}_2/\text{kWh}) \times 100 = 33.3\%$$

なお、二酸化炭素排出削減目標に上限はなく、浄化槽自体の二酸化炭素排出削減に向けた更なる努力が必要である。

<参考文献>

- 1) 環境省、「地球温暖化対策の推進に関する法律施行令の一部を改正する政令」について、平成 18 年 3 月 23 日、資料 5 電気の使用に係る二酸化炭素の排出係数の見直しについて。
- 2) 電源構成・非化石証書の使用状況、東京電力エナジーパートナーホームページ、https://www.tepco.co.jp/ep/power_supply/
- 3) 当社の電源構成・非化石証書使用状況について（2020 年度実績値）、沖縄電力ホームページ、https://www.okiden.co.jp/shared/pdf/corporate/profile/s_and_d.pdf
- 4) 電気事業連合会パンフレット、「エネルギーと環境」、2020 年。
- 5) 環境省、「電気事業分野における地球温暖化対策の進捗状況の評価結果について」、令和 2 年 7 月 14 日、別紙 3（参考資料集）。

3. 7 再生可能エネルギーの利用

当協会ではこれまでも再生可能エネルギーの動向について調査を行ってきたが、改めて調査を行った。

(1) 製造段階における再生可能エネルギーの利用

工場生産品の浄化槽の場合、成形、組立を行うロボットや、個々の部品取付けに使用する工具、照明等、生産工程で様々な電力を使用する。これらの電力の一部を太陽光発電や水力発電、風力発電等で賄うことが可能である。

太陽光発電については、工場の屋根や敷地に発電所を設置²⁾し自家消費、余剰電力の売電をしている例がある(図3. 7. 1)。

また、各電力会社(東北、東京、中部、北陸、四国等)またはそのグループ会社は、初期投資ゼロの太陽光発電システム設置サービスをおこなっている。顧客の法人は屋根等の場所を提供し、そこに電力会社の負担で太陽光発電システムを設置する。電力会社は、維持管理、システム使用料、太陽光発電によって自家消費された電力に応じた料金を得るサービスである。太陽光発電システムは電力会社の所有としている。顧客である法人では、初期投資が掛からない上、維持管理の人件費やシステムの償却資産税も掛からないというメリットがある。また、SDGsに取り組む企業としてのイメージアップが図れるため、今後の普及が見込まれる。

水力発電については、合同産業(株)とリコー(株)が協業で行っているマイクロ水力発電³⁾がある。工場に既にある導水管に、この設備を設置することにより、発電が可能になる。大規模な設備投資が不要とのことで、今後の普及に期待ができる。

他の再生可能エネルギーの例としては、太陽熱温水器システムがある。成形プレス機に蒸気を使用する場合に、ボイラー水の予熱に太陽熱を利用することも可能である。



図3. 7. 1 工場に設置されたメガソーラーの例

(2) 設置工事段階における再生可能エネルギーの利用

工場生産品の浄化槽や部材を設置現場まで輸送する手段として、再生可能エネルギーで発電された電力を利用したPHV車、EV車やバイオガス車等が使用可能になると予測される。

例えば、三菱ふそうトラック・バス(株)では、既に小型EVトラックを量産化⁴⁾しており、中大型トラックへの展開が期待される。

神戸市では、東灘処理場にて下水汚泥の処理過程で発生する消化ガスを精製して作られる天然ガス燃料「こうべバイオガス」⁵⁾を燃料としたバスが運用されている。

(3) 使用段階等における再生可能エネルギーの利用

浄化槽におけるエネルギー消費機器は、ブロワ、原水ポンプ、流量調整ポンプ、放流ポンプ等がある。これらの機器を再生可能エネルギーで賄う場合、現時点でもっとも身近な発電方法は太陽光発電と考えられる。

また、環境省は、令和4年の浄化槽関連の予算案においても、中大型合併処理浄化槽については、最新型の高効率機器への改修、先進的省エネ型浄化槽への交換、再生可能エネルギー設備(太陽光発電設備、蓄電池等)の導入を行う事業を支援している。このように、太陽光発電の普及にかける期待は大きい。

さて、浄化槽と太陽光発電を組み合わせたシステムを考えると、災害に強いと言われている浄化槽には、災害時のインフラ復旧を考えれば、オフグリッド(電力会社などの送電網につながっていない独立型)のシステムへの期待が大きい。

過去に遡れば、例えば、実開H4-74595にあるように、商用電源の無い山間部等において太陽光発電でブロワの消費電力の一部を賄う発想はあった。本実用新案ではメインの電源はエンジン発電機で、太陽光発電で全ての電力を賄うことは考えてはいなかった。

近年では、(公社)宮城県生活環境事業協会浄化槽法定検査センターが、太陽光発電により全ての電力を賄う実証実験を全国浄化槽技術研究集会で報告⁶⁾⁷⁾している。

システムのフローを本報告より抜粋すると、図3.7.2のようになる。

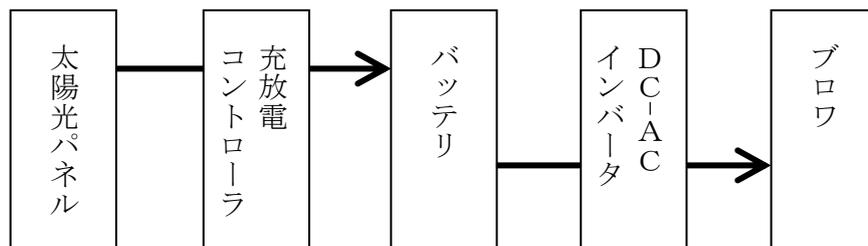


図3.7.2 オフグリッドソーラー発電システム

本報告によると、205Wの太陽光パネル3枚、MPPT式の充放電コントローラ、12V105Ahのディープサイクルバッテリー並列4台のシステムで、7人槽用の消費電力32W、60L/分のブロワを稼働させている。2013年10月～2014年2月の稼働では、日照不足、積雪等により一時的にブロワが停止し、処理水質に影響が出たと報告されている。

そこで、これら不安要素に対応するため、水平軸3枚翼風車、12V仕様で最大400Wの発電が可能な小形風力発電を追加することによって、安定的な電力供給が可能になり、非常に良好な水質を得られたと報告されている。

小形風力発電システムはロータ受風面積が 200m² 未満のものが対象になる。ロータの形状は様々でプロペラ型、ダリウス型、直線翼垂直軸型、サポニウス型等が代表的なものである。月刊浄化槽 J S A だより⁸⁾では、これら導入について、注意すべき幾つかのポイントが報告されている。

今後は、ブロワの更なる省電力化や機器の発電/充電効率の向上、低価格化が期待できることから、小型浄化槽では、オフグリッドシステムでも再生可能エネルギーで十分賄える可能性が出てきた。

中大型の浄化槽では、機器が大型になることから、普及に向けてのインセンティブは、電力価格の高騰や補助金の拡充になると予測される。

以上、使用段階における使用電力量による温室効果ガスの排出はゼロになる可能性が示唆された。

(4) 再生可能エネルギー利用による浄化槽温室効果ガス低減量の試算

浄化槽におけるエネルギー消費機器は、ブロワ、原水ポンプ、流量調整ポンプ、放流ポンプ等がある。ここでは、使用数の多いブロワと放流ポンプについて試算する。

前述のとおり経済産業省は、目標としている再生可能エネルギーの電源構成比率を 2030 年度には36~38%に引き上げた。これらを電源として稼働する機器類の温室効果ガス排出量もそれに準じて下がると想定して低減効果を試算する。

2013年度の再生可能エネルギーの電源構成比率は10.9%⁹⁾、2030年度は37%（中央値）であるから、比率増加分は $37-10.9=26\%$ とする。

前述の「浄化槽の低炭素化に関する既往研究について」における、2013 年度高度処理型浄化槽モデルのブロワ消費電力の温室効果ガス排出量は275kg-CO₂/基・年であるので、2013年度に対し $275 \times 26\% = 71.5 \text{ kg-CO}_2/\text{基} \cdot \text{年}$ 削減できると試算できる。

同様に放流ポンプも試算する。「浄化槽の低炭素化に関する既往研究について」では放流ポンプは試算されていないので、あくまで仮定試算とする。全浄化槽の内、放流ポンプの装着率を10%、ポンプの仕様は0.15kW、80L/分、排水量を800L/日として、ブロワと同様に試算すると、 $0.5 \text{ kg-CO}_2/\text{基} \cdot \text{年}$ となる。よって、2013年度に対し、 $0.5 \times 26\% = 0.1 \text{ kg-CO}_2/\text{基} \cdot \text{年}$ 削減できると試算できる。

よって、 $71.5 + 0.1 = 71.6 \text{ kg-CO}_2/\text{基} \cdot \text{年}$ 削減できると試算できる。

<参考文献>

- 1) 経済産業省資源エネルギー庁, 令和3年10月, 「2030年度におけるエネルギー需給の見通し (関連資料)」 p. 70.
- 2) J S A 会員会社の工場に設置されたメガソーラー
- 3) 合同産業㈱のホームページ, <https://godosangyo.com/microhp/index.html>
- 4) 三菱ふそうトラック・バス㈱ホームページ, <https://www.mitsubishi-fuso.com/ja/product/ecanter/>
- 5) 神戸市交通局ホームページ, <https://www.city.kobe.lg.jp/documents/1804/bio.pdf>
- 6) 吉田恵也, 「低炭素社会に貢献する循環型浄化槽システム実現化への取組み」, 第29回全国浄化槽技術研究集会, 研究発表3-2.
- 7) 吉田恵也, 「再生可能エネルギーを活用した浄化槽システムにおける実証実験の一事例」, 第33回全国浄化槽技術研究集会, 研究発表 4-4.
- 8) 大森大輔, 「小形風力発電システムについて」, 『月刊浄化槽』2018年3月号, P. 28-32
- 9) 経済産業省, 「2019年度エネルギー需給実績 (確報) 参考資料」(参考4) .

3. 8 直接排出等（非エネルギー起源）の削減

(1) 排水処理プロセスならびに処理水から生じる温室効果ガス

浄化槽のライフサイクルにおける温室効果ガスの排出は、前述の図2. 1に示されるようにエネルギー起源と非エネルギー起源の2つに大別される。ここでは非エネルギー起源である排水処理プロセス（直接排出）と処理水（処理後排水の自然界における分解）により生じる温室効果ガスについて、その排出量を示すとともに削減に向けた研究事例を紹介する。

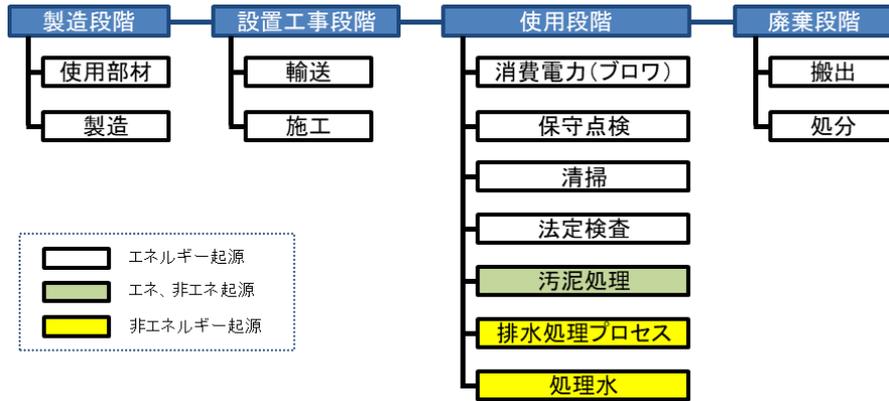


図3. 8. 1 浄化槽ライフサイクルにおける温室効果ガス排出源

浄化槽の排水処理プロセスから直接排出される温室効果ガスとして、 CO_2 、 CH_4 、 N_2O が挙げられるが、流入する有機物は生物起源（化石燃料由来ではない）であることから、ここから排出される CO_2 はカーボンニュートラルであるとされ、温室効果ガスにはカウントされず、 CH_4 と N_2O のみが排水処理プロセスから直接排出される温室効果ガスとしてカウントされる。

生活排水に含まれる有機物は、浄化槽の嫌気処理過程で最終産物として CH_4 を生成する。原理は、メタン発酵と同じであり、絶対嫌気性のメタン生成細菌が関与しているが、水面付近等の酸素存在下では、生成したメタンの一部が好気性微生物であるメタン酸化細菌によって CO_2 に分解されることもあり、浄化槽においては CH_4 の生成と分解が生じているものと考えられる。一方、 N_2O は、アンモニアの酸化過程及び硝酸の還元過程において副産物もしくは中間代謝物として生成され、その生成過程は CH_4 生成と比べて若干複雑である（図3. 8. 2）。一般に硝化脱窒反応がスムーズに進めば、 N_2O の生成は抑制されるが、反応が中途半端に進み、 NO_2^- の蓄積等が起こると N_2O の生成が促進されることが指摘されている¹⁾。

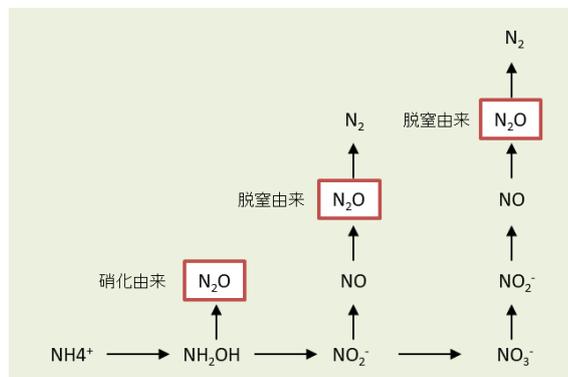


図3. 8. 2 浄化槽における窒素除去プロセスからの N_2O 生成経路

処理水から生じる温室効果ガスとしては、処理後排水に残存する窒素が挙げられる。みなし浄化槽（単独処理浄化槽）や汲み取り便槽の場合は、雑排水が未処理で放流されることから、自然界における分解によって発生する CH₄ や N₂O も算定対象となる。

また、CH₄ や N₂O の地球温暖化係数（GWP）は、それぞれ CO₂ の 25 倍、298 倍と高く、極めて大きな温室効果を有する。そのため、CH₄ や N₂O に起因する排水処理プロセスと処理水から生じる温室効果ガスは、使用段階の約 55% を占めており、その対策効果は大きいといえる（図 3. 8. 3）。

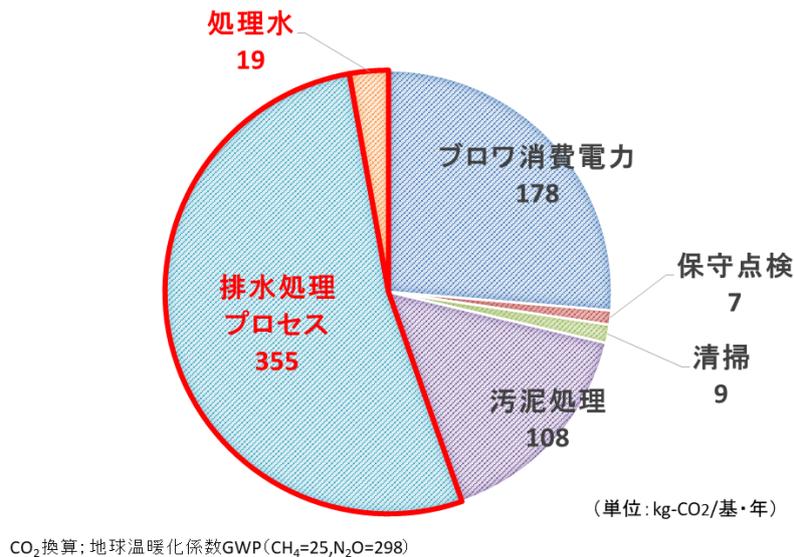


図 3. 8. 3 使用段階における温室効果ガス排出量の内訳
(2020 年度出荷浄化槽 5~10 人槽の加重平均値)

(2) 排水処理プロセスならびに処理水からの温室効果ガス排出量とその削減策

表 3. 8. 1 に示される温室効果ガス排出係数²⁾に 5~10 人槽の出荷加重平均人槽（告示型=6.0 人槽、性能評価型=5.6 人槽、みなし浄化槽=6.9 人槽）を積算して求めた排水処理プロセスならびに処理水の温室効果ガス排出量を図 3. 8. 4 に示す。性能評価型は、告示型に比べ窒素除去性能が優れていることもあり、温室効果ガスとして約 32%低い。一方、衛生的な生活環境の確保や水環境の保全という観点からは、性能評価型はみなし浄化槽より優れているが、非エネルギー起源の温室効果ガス発生量は、みなし浄化槽と同等であり、みなし浄化槽から合併処理浄化槽への転換を推進する上でも、排水処理プロセスに起因する温室効果ガスの更なる低減が今後ますます重要な課題といえる。

表 3. 8. 1 温室効果ガス排出係数

排水処理プロセス	CH ₄ 排出係数	N ₂ O排出係数
	kg-CH ₄ /人・年	kg-N ₂ O/人・年
告示型	2.477	0.0717
性能評価型(高度処理品)	1.044	0.123
みなし浄化槽(単独)	0.46	0.039
自然界における分解	CH ₄ 排出係数	N ₂ O排出係数
	kg-CH ₄ /kg-BOD	kg-N ₂ O/kg-N
処理水	-	0.0079
未処理雑排水	0.06	0.0079

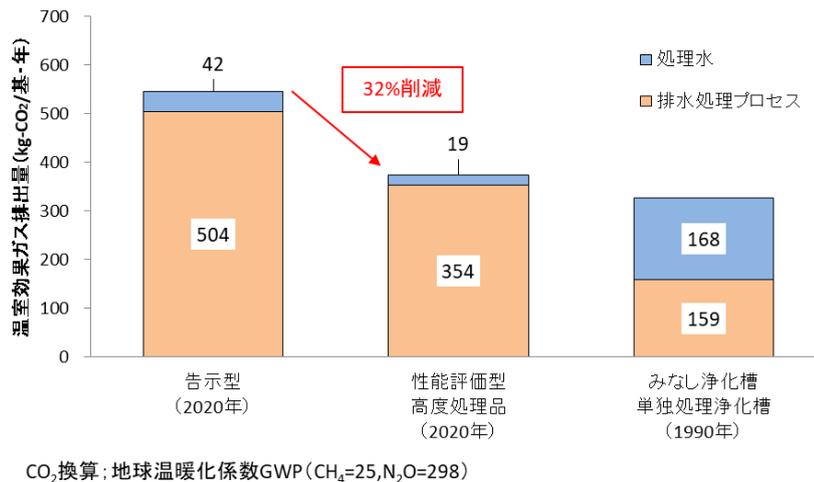


図3. 8. 4 処理型式毎の温室効果ガス排出量

排水処理プロセスから直接排出される温室効果ガス削減の研究として、蛭江ら³⁾は、告示型において、嫌気から好気への循環運転(循環比4)を常時行うことで、CH₄とN₂Oの最大濃度が大幅に低減し、1日の変動も平準化され、それぞれ72%、54%削減されたと報告している。さらに、循環運転により約70%の窒素除去率が得られ、高度処理品並みの放流水質となることから、告示型に循環機能を付与することで、排水処理プロセスと処理水からの温室効果ガス排出量を約66%削減可能と試算できる。

また、稲村ら⁴⁾の研究によれば、現在、市販されている浄化槽の大多数を占める性能評価型(高度処理品)において、流入汚水量の時間変動を緩和する流量調整機能がある型式は、N₂Oの排出量が流量調整機能無しに比べ1/6以下であったと報告している。そこでこの結果を引用し、性能評価型(高度処理品)に流量調整機能を付与すると排水処理プロセスならびに処理水からの温室効果ガス排出量は、約46%の削減となり、いずれの方策においてもみなし浄化槽以下が期待できる(図3. 8. 5)。

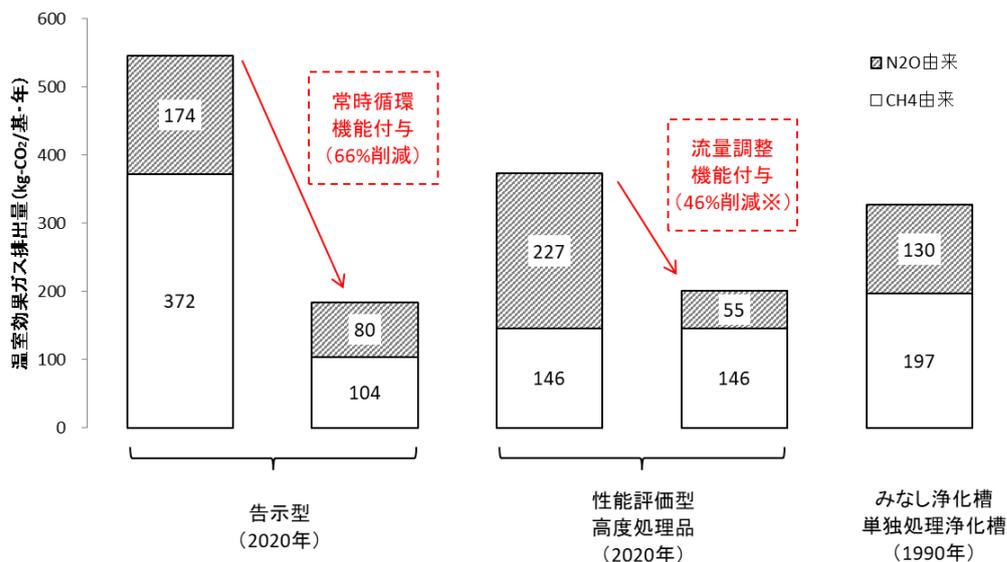


図3. 8. 5 排水処理プロセスと処理水からの温室効果ガス削減効果 (試算)

(3) 炭素繊維生物膜法による N₂O の削減

従来の活性汚泥法では、汚水中の NH₄⁺ は硝化反応によって NO₃⁻ までは転換されるが、その大部分は脱窒されずに処理液中に残存し、N₂O が放出されやすい状況になっている。そこで、微生物が付着しやすい炭素繊維をばっ気槽に投入することで、N₂O の発生を抑制でき、また処理水中の窒素を大幅に低減可能な処理技術が注目されている⁵⁾。この炭素繊維を用いた生物膜法では、炭素繊維に付着した生物膜の表層で好氣的な硝化反応が進むと同時に、生物膜の深層で嫌氣的な脱窒反応が起こるため、連続ばっ気条件下でも NH₄⁺ から N₂ ガスへの転換がスムーズに進行する。その結果、NO₂⁻ や NO₃⁻ が処理水中に蓄積しなくなり、過度な N₂O の放出が回避されると考えられている (図 3. 8. 7 ~ 8)。

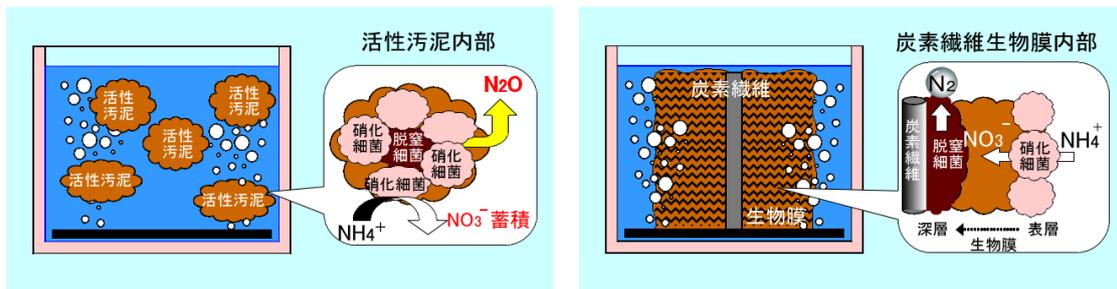


図 3. 8. 7 活性汚泥法による N₂O 発生 図 3. 8. 8 炭素繊維法による N₂O 抑制

山下ら⁶⁾の研究によれば、ばっ気槽容量 1m³ 当たり炭素繊維 (繊維直径 7 μm、繊維束 12,000 本) として 0.2kg が取り付けられた担体を活性汚泥処理施設のばっ気槽に投入することで、温室効果ガスの発生量は、従来法よりも 9 割以上削減され (図 3. 8. 9)、NO₂⁻ や NO₃⁻ の処理水残存量も顕著に少なく (図 3. 8. 10)、処理水の自然界における分解で生じる温室効果ガスも削減可能と報告されている。

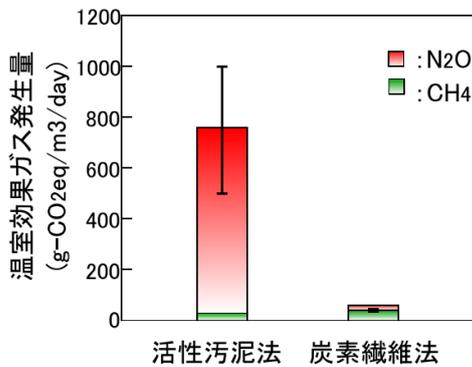


図 3. 8. 9 温室効果ガス発生量の比較

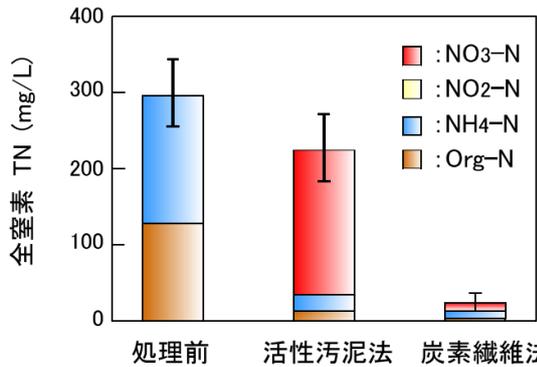


図 3. 8. 10 処理水の窒素濃度比較

本技術は、家畜排せつ物に由来する温室効果ガス削減に向けた技術開発の一環として、2015年に農研機構により開発され、岡山県内の農家施設で実証運転したところ、温室効果ガスを約 80%削減できることが確認された。今後、実証事例を増やしつつ、製造法の改善によるコスト低減が進めば浄化槽へも応用可能な技術と考えられる。

<参考文献>

- 1) 増田周平, 西村修: 水処理工程における N₂O の発生特性, 用水と廃水, 52(3), 41-54, 2010.
- 2) 地球環境研究センター, 国立環境開発法人国立環境研究所: 日本国温室効果ガスインベ

ントリ報告書, 2021年, 7-70-7-82, 2021.

- 3) 蛭江美孝, 山崎宏史, 小椋有未永, 徐開欽: 浄化槽における CH_4 , N_2O 排出量に及ぼす原水流入変動と嫌気-好気循環の影響解析, 水環境学会誌, Vol. 35, No. 2, 27-32, 2012.
- 4) 稲村成昭, 蛭江美孝, 山崎宏史: 浄化槽における流量調整機能による温室効果ガス N_2O 排出量の抑制効果, 土木学会論文集 G (環境), Vol. 74, No. 7, III_399-III_405, 2018.
- 5) 小暮幸雄: 炭素繊維法による温室効果ガス-酸化二窒素 N_2O の削減, *CarbonFiber Make Water Method Association*, 8, 2017, Vol. 18, 1-5, 2017.
- 6) 農研機構: 炭素繊維担体を利用した温室効果ガス発生量の少ない汚水処理技術, https://www.naro.go.jp/project/results/laboratory/nilgs/2014/14_056.html.

3. 9 CCUS技術 (カーボンリサイクル、カーボンネガティブ技術など)

CCUS「Carbon dioxide Capture, Utilization and Storage」とは、 CO_2 の回収と貯留を意味するCCS「Carbon dioxide Capture and Storage」と回収した CO_2 の再利用を意味するCCU「Carbon dioxide Capture, Utilization」を合わせた総称とされている。本項では、これらの技術の他、少し先の未来に向け、浄化槽の脱炭素化の可能性として期待される技術についてまとめた。

(1) 期待されるCCUS技術¹⁾²⁾³⁾

火力発電、製油、製鉄、セメント、化学工場など CO_2 の排出量が多い部門において、CCSは、排出した CO_2 を回収し脱炭素化を大きく進めることができる技術として注目されている。図3. 9. 1に示すように、CCSは、火力発電所や工場から排出された CO_2 を他の気体から分離して集め、地中深く(1000m以上)の貯留層に圧入して長期間貯留することができる。そして、排出されるすべての CO_2 を地中に貯留すれば、発電所や工場の CO_2 排出量をゼロにすることができる技術である。

国際エネルギー機関 (IEA) の2020年のレポートによれば、CCUSは2070年までの累積 CO_2 削減量の15%を担い、カーボンニュートラル達成時に約69億トン/年の削減貢献が期待されている。世界各地でCCSの実証実験が行われているが、日本では、北海道苫小牧市で2016年から実証試験が開始され、2019年に累積30万トンの CO_2 の貯留に成功している。そして、コスト低減のための技術開発や貯留適地の確保など課題も多くあるが、社会実装に向け、更なる開発が進められるものと考えられる。

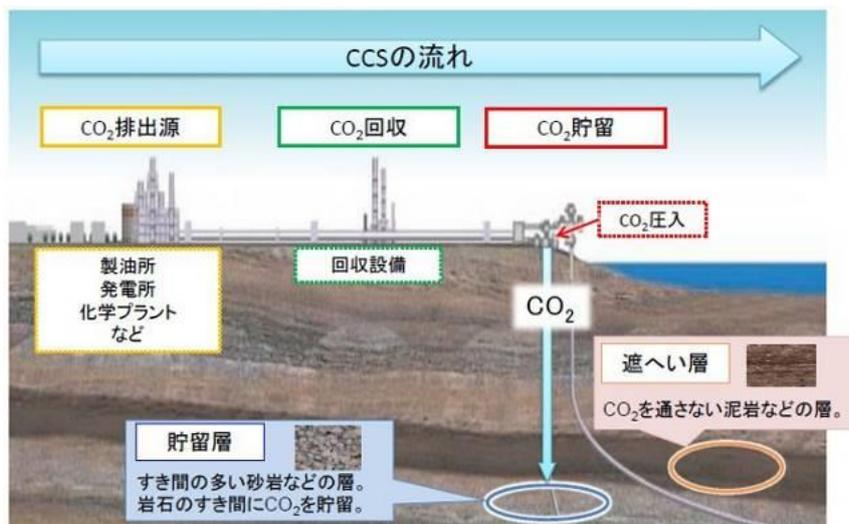


図3. 9. 1 CCSの概略図
(我が国のCCS政策について 平成28年11月 経済産業省)

また、分離・回収したCO₂を資源としてとらえ、CO₂にH₂を合成するなどのメタネーション技術により、合成燃料や様々なプラスチック原料などにリサイクルすることも研究開発されている。これらカーボンリサイクルは、化学、セメント、機械、エンジニアリング、化石燃料、バイオなど様々な事業分野で取り組みが可能なもので、成長戦略としてカーボンリサイクル産業が育ちつつある（図3. 9. 2）。その場合、鍵となるのはCO₂フリーのH₂生産であり、再生エネルギーを利用するH₂生産の他、光触媒を利用した人工光合成によるH₂生産の研究も進められている。人工光合成は、植物の光合成の約10倍となる世界最高の太陽エネルギー変換効率3.7%（2017年）を実現し、現在は7.0%（2019年）まで上昇し、2021年度の最終目標である10%まであと少しとなっている（図3. 9. 3）。

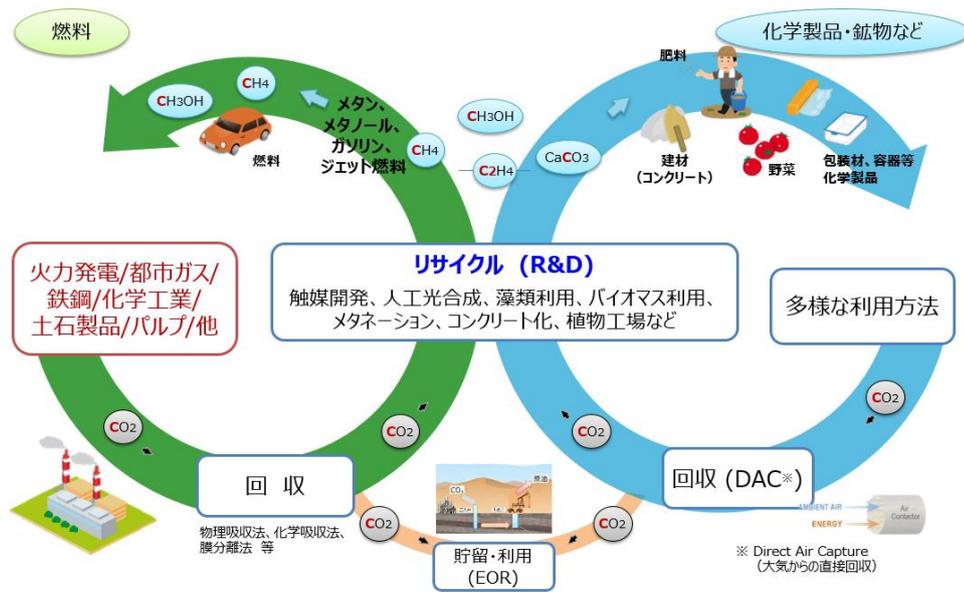


図3. 9. 2 カーボンリサイクルのコンセプト
 (資源エネルギー庁 スペシャルコンテンツ 2021-04-30)

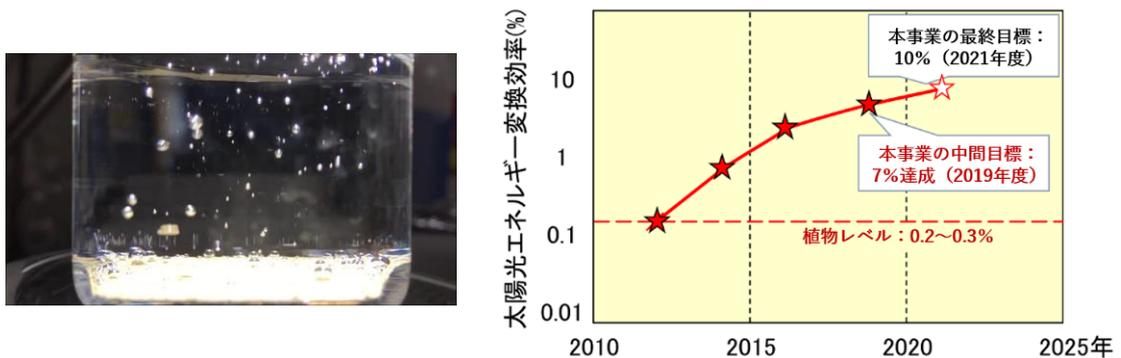


図3. 9. 3 光触媒による水分解の写真と太陽光エネルギー変換効率
 (資源エネルギー庁 スペシャルコンテンツ 2021-03-04)

また、H₂を要しないCO₂の利用方法として、廃コンクリートやスラッジ等から抽出される酸化カルシウム(CaO)にCO₂を固定し、セメントの原料となる炭酸カルシウム(CaCO₃)を生成するカーボンリサイクルセメントの研究が進められている（図3. 9. 4）。その他に、コンクリート混和剤にCO₂を吸収する材料を用い、セメント使用量を

減らす「CO₂吸収型コンクリート」が実用化され、舗装ブロックなどに使用されている（図3.9.5）。鉄筋が錆びやすいため、長期耐久性が求められる構造物への適用は未だないが、改良など進められ利用用途が広がることが期待されている。コンクリート製品の耐用年数は長く、CO₂が固定化されれば脱炭素化に貢献すると考えられる。



図3.9.4 CO₂や廃棄物等をリサイクルしたカーボンリサイクルセメントの製造技術（資源エネルギー庁 スペシャルコンテンツ 2021-12-15）

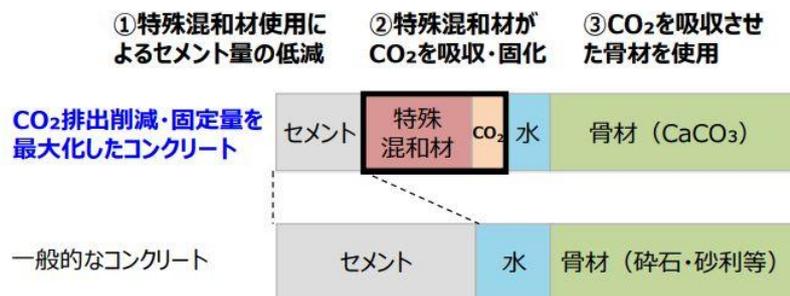


図3.9.5 CO₂排出削減・固定量最大化コンクリートの例（資源エネルギー庁 スペシャルコンテンツ 2021-12-15）

CCUSをはじめとしたこれら様々な脱炭素技術は、未だ研究段階であるものも多くあるが、将来的に、これらの技術が実装されることで電力部門などの温室効果ガス排出量が大幅に削減されることになれば、産業構造と経済活動に大きな変革をもたらすことになると考えられる。そして、脱炭素社会の実現のため、大きな期待が寄せられる成長分野である。

浄化槽の分野では、直接的にエネルギーや主原料を開発することは殆どないが、それらの調達先をより温室効果ガスの少ないものを選択することにより、浄化槽の温室効果ガスを削減できるものとする。他力本願であることは否めないが、2050年カーボンニュートラルの時点では、例えば、電力の温室効果ガス排出係数がゼロ、建設機械や車両は電動化もしくはCO₂フリー燃料、浄化槽の原材料の多くがCO₂フリー材料となることを期待し想定すれば、浄化槽に関わる温室効果ガスは、水処理過程で発生する非エネ起由来の温室効果ガス排出量（CH₄、N₂O）と、処理水中に含まれる温室効果ガスの発生要因が課題として残るものと考えられる。

4. まとめ

今回、当協会にて調査している浄化槽の脱炭素化に関する内容を取りまとめた。直近データとして、2020年度の浄化槽分野における温室効果ガス排出量に関し、過年度調査と同様に整理したデータを抜粋し示した。2020年度の一基当たりの温室効果ガス排出量は、対2013年度比84%、対1990年度比は平均人槽の小型化があるものの42%となった。しかしながら、1990年度から2020年度までの温室効果ガス排出量の減少傾向の延長線上から求められる2030年度の排出量は、2013年度比で、5～10人槽が62%、11～50人槽が82%、51人槽以上が76%となり、2030年度目標の削減率46%に対して未達となる試算結果となった。目標達成には更なる削減施策に向けた開発等が必要と考えられた。

浄化槽の更なる脱炭素化に向け、以下の検討結果をまとめた。

- ① 槽のコンパクト化が寄与する温室効果ガスの削減は、単独転換を目標としたコンパクト化が小型浄化槽を中心に早い段階で進められ、1990年度比として2011年度には、5～10人槽が32.2%削減、11～50人槽が24.0%削減、51人槽以上が5.9%削減となった。2020年では、5～10人槽が43.9%削減、11～50人槽が30.7%削減、51人槽以上が20.9%削減となった。
- ② 共同浄化槽の設置は、その設置条件にもよるが、消費電力量の比較から脱炭素化に資することが示された。51人以上よりも11～50人槽を適用する方が脱炭素化の効果が大きく、管路が長くなり原水ポンプが設置される場合は脱炭素化効果が低下することが示された。消費電力量以外にも脱炭素化が見込まれる要素があり、共同浄化槽の普及促進のために更なる調査検討が必要と考えられた。
- ③ 浄化槽に用いる機器の様々な省エネ化方法についてまとめた。一般的にブロワの電力量が浄化槽の電力量の大部分を占めるため、省エネブロワの電力量削減効果は大きい。また大型浄化槽に関しては、流量調整用ポンプの稼働時間が長く能力が過剰となることに着目し、インバータ制御による電力量削減率を試算し、最大で64%の削減となった。
- ④ 間欠ばっ気運転の知見、製品事例および課題について整理した。既設浄化槽に関しては、低負荷時の過ばっ気対策として用いることが考えられるが、様々な処理方式がある中で確立した技術ではないため実施が難しい。また、浄化槽認定上の仕様から外れると解釈すると、制度上許容できる調整範囲として明確に示されていない内容は実施が難しい。また、浄化槽開発時の性能評価試験は100%負荷を前提としたものであり、低負荷時の調整の自由度を含めて試験で確認することが難しいと考えられる。一方で、世帯人口が減少傾向であることから、間欠ばっ気による過ばっ気対策と脱炭素化ができればよいとの期待はあるため、革新的な施策となるよう検討が必要である。
- ⑤ 浄化槽の消費電力量の削減が進むと非エネ起の温室効果ガス排出量の割合が相対的に増えることになり、その削減について注目される。非エネ起の温室効果ガス排出量の内、大半を占める排水処理プロセスから生じる温室効果ガス排出量については、浄化槽タイプ別の排出係数(表2.3および表3.8.1)を用い算出している。本稿に紹介した研究報告など、CH₄やN₂Oの発生が少ない処理方式や運転方法の研究が更に進められ、温室効果ガス排出量が更に削減されることが期待される。
- ⑥ その他の技術として、浄化槽に太陽光等の再生可能エネルギーを取り入れる方法についてまとめた。また、浄化槽分野に間接的に関わる内容として、脱炭素化に向け電力会社のエネルギー構成比が変化していくことや、革新的な技術として期待されるCCUS技術についてまとめた。

日本の温室効果ガス排出量の削減目標と、図2. 6の浄化槽使用段階温室効果ガス排出量（5～10人槽）を浄化槽の温室効果ガス排出量の今後の削減イメージとして図4. 1に示した。円グラフに示されるよう2030年度目標の温室効果ガス排出量は、2013年度比マイナス46%とすると430kg-CO₂/基・年となる。これには2020年度からの削減量として231kg-CO₂/基・年が必要となるが、仮に電力の排出係数がゼロとなり、ブロワ由来の温室効果ガス排出量が全て削減されたとしても目標を達成できないことが分かる。また更に、2050年カーボンニュートラルを見据えると、これまでのコンパクト化や省エネ化を更に進めたとしても2050年の目標達成は今のところ困難と予想される。つまり、革新的なイノベーションが求められるところである。

本稿では、前述①～⑥に示すように現実的かつ現時点で可能と考えられる浄化槽の脱炭素化技術についてまとめることにとどめている。まずは、これらが実施可能となるよう研究開発と課題の克服を進め、更なる浄化槽の脱炭素化に向けた取り組みが期待される。そして、脱炭素化が潮流となった昨今、あらゆる分野で様々な脱炭素化に資する研究や取り組みが進められている。可能性に限界を置かなければ実現できるものと信じ、浄化槽分野における脱炭素化の更なる飛躍に期待する。

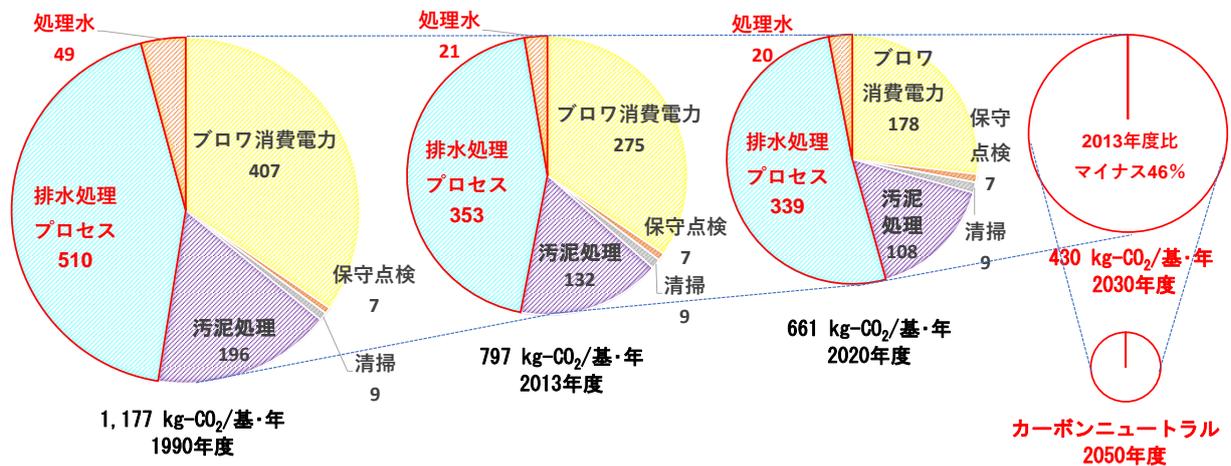


図3. 9. 5 浄化槽の温室効果ガス排出量の今後の削減イメージ

【技術推進部会編 執筆委員】

アムズ(株)	足立 清和
(株)クボタ	岩橋 正修
大栄産業(株)	明壁 典夫
(株)ダイキアクシス	高橋 亘
(株)西原ネオ	中村 智明
ニッコー(株)	和田 吉弘
(株)ハウステック	日比野 淳
フジクリーン工業(株)	市成 剛
藤吉工業(株)	敷島 哲也
前澤化成工業(株)	青木 道規
事務局	岡山 健二
事務局	酒谷 孝宏