

# 「下水処理場の温室効果ガス発生削減対策パンフレット」について

一般社団法人 日本下水道施設業協会

技術部長 松尾英介



## 1. はじめに

温室効果ガスの増加により、21世紀末の日本の平均気温は約2.1～4.0℃上昇との報告があり、気候変動や自然生態系への多大な影響が懸念されているが、下水道から発生する温室効果ガスも決して小さいものではない。2009年度のデータでは日本全体の排出量の0.6%になっており、その削減が急がれている。

日本下水道施設業協会は、下水処理場やポンプ場の機械・電気設備メーカーの事業者団体で、会員は、温暖化ガス発生量削減を考慮した機器・設備の開発にも力を注いでいる。そこで、開発後、比較的一般化された技術について削減効果についての検討をおこない、その結果を本年度にパンフレットとして発行した。また、温暖化ガスの削減と並んで電力使用量の削減も重大な課題となっており、それについても記載した。そこで本報告は、削減量の数値根拠について記述することにした。

当協会は、平成10年から12年にかけて土木研究所（当時）と共同研究により下水道設備（機械・電気）の環境負荷の解析のためにインベントリ分析<sup>1)2)</sup>をおこない、温室効果ガス発生量（LC-CO<sub>2</sub>）の簡易計算法<sup>3)4)</sup>を得ており、運転由来を含めた建設から廃棄までのLC-CO<sub>2</sub>が比較的簡易に計上できる。協会内の検討ワーキンググループでこの手法（計算法）を用いて、日最大汚水量10万m<sup>3</sup>/d（日平均8万m<sup>3</sup>/d）の下水処理場（旧来型の散気装置や消化槽が設置されている等々、比較的対策をとりやすいシステムを対象）を仮想し、比較的

一般的な温暖化ガス削減対策を行うことにしたLC-CO<sub>2</sub>の検討があり、今回のパンフレット作成において、この計算結果を利用した。

なお、電力の削減量については求められた炭酸ガス換算の数値を原単位を用いて電力に換算する手法で今回計算した。

## 2. LC-CO<sub>2</sub>および電力削減量について

### (1) 水処理設備

表-1に温暖化ガスおよび電力削減効果を示す。

温室効果ガス対策前の水処理設備からの温室効果ガス（CO<sub>2</sub>換算）発生量は、以下によりLCAとして9,139t-CO<sub>2</sub>/y（表-1）となった。

$$17,822\text{kgCO}_2/\text{d} / 0.87 / 0.9 \times 1.1 \times 365\text{d}/\text{y} \times 10^{-3} = 9,139\text{t-CO}_2/\text{y}$$

これは、主要機器6種（主ポンプ、送風機、返送汚泥ポンプ、循環ポンプ、攪拌機）からの運転時CO<sub>2</sub>発生量の計上（検討結果は17,822 kgCO<sub>2</sub>/d）により、これを前項の簡易計算法を参考にして、水処理のその他の機器も含めた発生量の87%と仮定し、電力以外の要素（据付や撤去工事等）を加えたLCA値は、これを0.9で除した数値とする。これに電気設備での発生量を別途10%加え1.1倍として計算した。

電力量の計算は、LCAの内運転由来の温暖化ガス発生量のみを検討対象とした。以下が対策前の水処理（運転電力由来）のCO<sub>2</sub>発生量である。

$$17,822\text{kgCO}_2/\text{d} / 0.87 \times 1.1 \times 365\text{d}/\text{y} \times 10^{-3} = 8,225\text{t-CO}_2/\text{y}$$

表-1 温室効果ガスおよび電力削減効果検討経緯

施設名	設備名	温室効果ガス (CO <sub>2</sub> 換算)LCAとして (t-CO <sub>2</sub> /y)				電力 (運転由来のみ) (MWh/y)				
		改善前	(削減率)*	[削減量]	改善後	削減効果	改善前	(削減率)**	改善後	削減効果
水処理	(計)	9,139	(33%)*	[1,762]	7,377	6%**	14,661	(75%)*	11,520	16%**
汚泥処理	濃縮			-581						
	消化			-29						
	マイクロガスタービン			2,334						
	バイオ天然ガス			876						
	脱水			-74						
	(計)	1,498	(6%)	[2,526]	-1,029	9%	1,704	(9%)	-1,369	16%
焼却設備	(計)	16,573	(61%)	[8,320]	8,254	31%	3,151	(16%)	2,653	3%
その他	太陽光発電			-1,157					-2,063	
	小水力発電			-64					-113	
	(計)	0	(0%)	[1,221]	-1,221	5%	0	(0%)	-2,176	11%
合計		27,210	(100%)	[13,829]	13,381	51%	19,516	(100%)	10,628	46%

\* 処理場全体の合計量に対する設備毎の割合

\*\* 処理場全体の合計量に対して設備毎の改善効果割合

これにより、水処理の削減対策前の電力量は、電力のCO<sub>2</sub>発生量原単位を0.561kgCO<sub>2</sub>/kWhとして、以下となった。

$$8,225\text{t-CO}_2/\text{y} \div 0.561\text{kgCO}_2/\text{kWh} = 14,661\text{MWh}/\text{y}$$

一方、削減対策を施すことによる温室効果ガス削減量は、検討により以下となった。

① 標準型散気装置を高効率曝気装置に変更することで酸素移動効率が向上することによる削減量…1,239t-CO<sub>2</sub>/y

② 低動力攪拌機を用いて攪拌動力密度を向上させることによる削減量…523t-CO<sub>2</sub>/y

従って、水処理における削減量は①+②即ち1,762t-CO<sub>2</sub>/y、これらは場内使用電力の削減効果にもあたるので原単位を用いると以下になる。

$$1,762\text{t-CO}_2/\text{y} \div 0.561\text{kgCO}_2/\text{kWh} = 3,141\text{MWh}/\text{y}$$

結局、水処理においては対策後の電力量は以下となり、この関係をパンフレットに記載した。

$$14,661\text{MWh}/\text{y}(\text{対策前}) - 3,141\text{MWh}/\text{y}(\text{対策効果}) = 11,520\text{MWh}/\text{y}(\text{対策後})$$

## (2) 汚泥処理設備

汚泥処理から発生する温室効果ガス対策前の温室効果ガス (CO<sub>2</sub>量換算) は、水処理と同様の手法により、LCA (据付や撤去工事等も含んで) として以下となった。

$$2,791\text{kgCO}_2/\text{d} \div 0.88 \div 0.85 \times 1.1 \times 365\text{d}/\text{y} \times 10^{-3} = 1,498\text{t-CO}_2/\text{y}$$

上記の数値のうち0.88は主要機器10機種の電力と凝集剤の合計 (検討結果により2,791kgCO<sub>2</sub>/dとなった) が、汚泥処理において運転時に発生する

温室効果ガス (CO<sub>2</sub>量換算) 全体の88%にあたることから、また0.85は運転以外の温室効果ガス発生量があと15%あることから計上している。1.1は電気設備での発生量を加算したものの。

一方電力量 (場内使用) の計算のためには、据付や撤去工事等も除いた運転由来のみを計上する。対策前においては、運転由来の温暖化ガス発生量の全量は以下となる。

$$2,791\text{kgCO}_2/\text{d} \div 0.88 \times 1.1 \times 365 \times 10^{-3} = 1,274\text{t-CO}_2/\text{y}$$

運転由来の発生量はほとんどが電力によるものではあるが、凝集剤由来の発生量 (869kgCO<sub>2</sub>/d) の占める割合も無視できない。これを差し引いて、削減対策前の運転電力由来のCO<sub>2</sub>発生量と考えた。

$$1,274\text{t-CO}_2/\text{y} - (869\text{kgCO}_2/\text{d} \times 365\text{d}/\text{y} \times 10^{-3}) = 956\text{t-CO}_2/\text{y}$$

以上により、汚泥処理について対策前の使用電力量は、電力由来のCO<sub>2</sub>発生量原単位を0.561kgCO<sub>2</sub>/kWhとして、以下となった。

$$956\text{t-CO}_2/\text{y} \div 0.561\text{kgCO}_2/\text{kWh} = 1,704\text{MWh}/\text{y}$$

削減対策による場内使用電力の削減量は、以下のように計算し、表-1に示す。

① 「濃縮」設備では機械濃縮機を設置することにより使用電力はむしろ増加する…+581t-CO<sub>2</sub>/y)

② 「消化」設備ではマイクロガスタービンを加熱設備としてここに計上した結果、消化槽攪拌プロワを攪拌機に変更する等の対策を講じたものの電力使用量が加算されて、やや増加する…+29t-CO<sub>2</sub>/y

③ 「マイクロガスタービン」は上記により電力発生プラス効果のみを計上している…

-2,334t-CO<sub>2</sub>/y

④ 「バイオ天然ガス」設備は、燃料(ガソリン)を生産するので…-876t-CO<sub>2</sub>/y (ただし燃料生産なので温室効果ガスの削減としては計上するが、場内使用電力の削減としては計上しないことにした)

⑤ 「脱水」は凝集剤による増加分74t-CO<sub>2</sub>/yを除いて電力のみでは増減無し…0 t-CO<sub>2</sub>/y

従って、汚泥処理において場内使用電力のみを考えると④を除いて①②③⑤が対策による温室効果ガス削減量となり、原単位を用いることで以下となる。

$-1,724\text{t-CO}_2/\text{y} \div 0.561\text{kgCO}_2/\text{kWh} = -3,074\text{MWh}/\text{y}$

削減対策により汚泥処理設備は電力発生設備(発生分が使用分を超過するので記号はマイナス)となる。

$1,704\text{MWh}/\text{y}(\text{対策前}) - 3,074\text{MWh}/\text{y}(\text{対策効果}) = -1,369\text{MWh}/\text{y}(\text{対策後})$

汚泥処理については、以上の関係をパンフレットに表した。

### (3) 焼却設備

温室効果ガス対策前の焼却設備のCO<sub>2</sub>量は、当協会の収支計算の結果によるとLCA全体として16,573t-CO<sub>2</sub>/yとなる。

運転由来分のみを計上すると削減対策前では、電力量が以下になる。

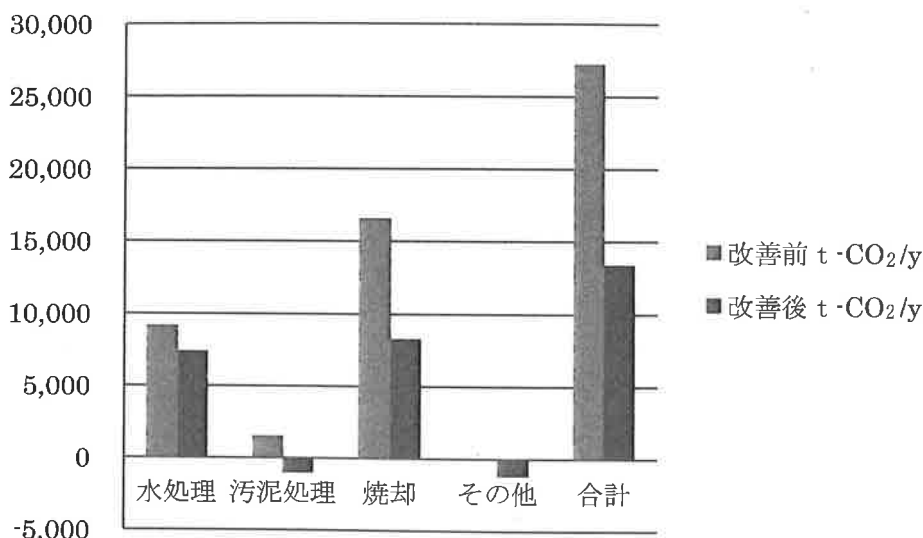


図-1 温室効果ガス削減効果(LCA)

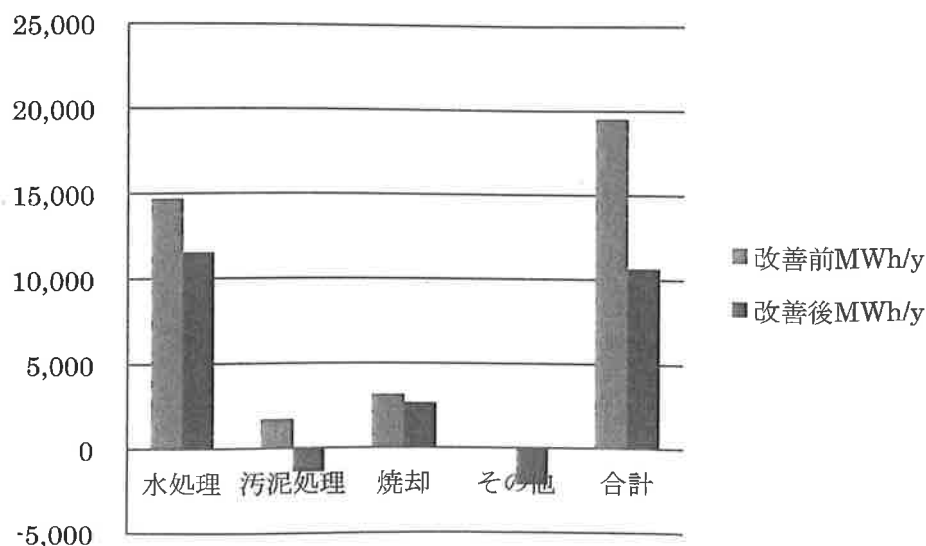


図-2 電力削減効果

表-2 温室効果ガスおよび電力削減効果例

設備名	検討した温室効果ガス発生量削減機器・設備例	削減内容	温室効果ガス削減効果*	電力削減効果*
水処理	高効率曝気装置（デフューザ）	酸素移動効率の向上 15%→25% [清水換算]	6%	16%
	低動力攪拌機	攪拌動力密度の低減（8～10W/m <sup>3</sup> →3W/m <sup>3</sup> 程度）		
汚泥処理	機械濃縮機設置による高濃度消化	濃縮汚泥高濃度化で汚泥量を削減し、加温エネルギーを低減、消化槽小形化、機械攪拌機の採用による攪拌エネルギー削減	9%	16%
	消化ガスを利用したガス発電	発生するメタンガスを利用したマイクロガスタービン発電による電力利用と、排ガスの熱量を用いた消化槽の加温によるエネルギー削減		
	消化槽加温用以外のガスの有効利用	バイオ天然ガス化設備等による自動車燃料化**		
	高効率脱水機	高効率脱水機（ケーキ含水率低減84%→81%）による投入ケーキ量減少にともなう焼却炉規模、運転電力、燃料の低減効果を焼却設備に計上		
焼却	焼却炉燃焼温度高温化	燃焼温度800℃→850℃によるN <sub>2</sub> O発生量削減***	31%	3%
その他	小水力発電	放流先の水位差を利用した水車発電	5%	11%
	太陽光発電	施設屋上および未利用地部分に太陽光パネル設置		
合計	温室効果ガス発生量削減機器・設備例採用による削減効果の合計		51%	46%

検討対象下水処理プロセス（削減対策実施前）：

（水処理）沈砂池・ポンプ→最初沈殿池→反応タンク（嫌気無酸素好気活性汚泥法）→最終沈殿池→消毒→放流  
（汚泥処理）重力濃縮→ガス攪拌による消化→標準型脱水機→流動焼却→灰処分

\* 数値は、処理場全体に対する設備毎の削減効果を表します。

\*\* 自動車燃料化は処理場内の電力削減効果としての計上はしません。

\*\*\* 焼却設備の燃焼温度高温化による電力削減効果はありません。

### 3.151 MWh/y

汚泥処理での対策により脱水ケーキ量が減少し、焼却炉の規模が小さくなる。そのため高温での焼却にも関わらず消費電力量は減少し以下となる。

### 2.653MWh/y

#### (4) その他

太陽光発電と小水力発電設備を仮定し温暖化ガス削減対策の効果として計上した。

#### (5) 集計

以上によって集計された数値関係の結果（表-1）をパンフレットに記載したが、その内容を表-2に示す。

### 3. おわりに

以上、当協会の下水処理場の温室効果ガス削減対策についてのパンフレット内容に関する説明を記載した。削減対策として用いた機器・設備の詳細については、当協会ホームページ<http://www.siset.or.jp/>にある「技術ギャラリー」にてご確認いただきたい。

また、冒頭にも記したがLC-CO<sub>2</sub>算出の簡易計算法を用いた結果であり、得られた数値はあくまで概略であることを記しておきたい。

なお、パンフレット詳細検討は、山内一晃氏、原正氏、堅田智洋氏、綿引綾一郎氏の技術小委員会WGメンバーにておこなった。

#### 参考文献

- 1) 「下水道におけるLCA適用の考え方」国土技術政策総合研究所資料 平成22年2月 下水道研究部 下水処理研究室
- 2) 「下水道設備におけるLC-CO<sub>2</sub>の試算」松尾明日の下水道 2010.7.No.59
- 3) 「下水処理場汚泥処理設備における温暖化ガス削減対策」松尾、明日の下水道 2011.1.No.60
- 4) 「下水処理設備における温暖化ガス削減対策の効果」松尾、下水道協会誌 2012.12 vol.49.No.602