

## 21. 上下水道・都市衛生/下水汚泥対策

### 1. 典型的な案件の概要

- 下水汚泥から発生するバイオガス (CH<sub>4</sub>) を回収・利用する事業、あるいは、下水汚泥をコンポスト化する事業。

### 2. 適用条件

- ① ベースラインシナリオ下において、下水汚泥が嫌気性状況下で腐敗し CH<sub>4</sub> が発生していること。
- ② 事業実施により、下水汚泥がコンポスト化され、生成したコンポストが好気的状況で利用されること。あるいは、下水汚泥から発生するバイオガスが発電・熱供給に利用されること。

### 3. 推計方法

事業実施による GHG 排出削減量は、下水汚泥から発生するバイオガスを回収・利用せず、下水汚泥のコンポスト化も行わない状態の排出量 (ベースラインシナリオ下の排出量) と、下水汚泥から発生するバイオガスを回収・利用、あるいは、コンポスト化する状態の排出量 (プロジェクト排出量) の差分により求める<sup>1</sup>。

以下の各計算式のデータの入手方法の詳細は「4. 推計に必要なデータ」に示す。

$$ER_y = BE_y - PE_y$$

ER<sub>y</sub> : y 年の事業実施による GHG 排出削減量 (t-CO<sub>2</sub>e/y)

BE<sub>y</sub> : y 年のベースラインシナリオにおける GHG 排出量 (t-CO<sub>2</sub>e/y)

PE<sub>y</sub> : y 年のプロジェクトシナリオにおける GHG 排出量 (t-CO<sub>2</sub>e/y)

#### (1) ベースライン排出量の算定

ベースライン排出量は、以下の合計により算定する。

- ベースラインシナリオ下における下水汚泥の腐敗による GHG 排出量
- 事業実施後に得られる発電および熱供給分のエネルギーをベースラインシナリオ下の方法で生産した場合の GHG 排出量

$$BE_y = BE_{sl,y} + BE_{EN,y}$$

BE<sub>sl,y</sub> : ベースラインシナリオ下における下水汚泥の腐敗による GHG 排出量 (t-CO<sub>2</sub>/y)

BE<sub>EN,y</sub> : 事業実施後に得られる発電および熱供給分のエネルギーをベースラインシナリオ下の方法で生産した場合の GHG 排出量 (t-CO<sub>2</sub>/y)

#### BE<sub>sl,y</sub>の算出:

ベースラインシナリオ下における下水汚泥処理過程において発生する CH<sub>4</sub> による GHG 排出量は、汚泥量、汚泥処理の CH<sub>4</sub> 補正係数、未処理汚泥中の分解性有機物の含有割合、バイオガスに異化される分解性有機物の含有割合、モデル補正係数、バイオガス中の CH<sub>4</sub> の含有割合により求める。

$$BE_{sl,y} = (S_{PJ,BG,y} + S_{PJ,CP,y}) \times MCF_{sl,BL} \times DOC_s \times UF_{BL} \times DOC_f \times F \times 16/12 \times GWP_{CH_4}$$

S<sub>PJ,BG,y</sub> : 事業実施後の処理汚泥のうち、バイオガス回収システムに用いられる量 (m<sup>3</sup>/y)

<sup>1</sup> 評価対象年は、プロジェクトの平均的な稼働状況下の年、または、複数年の平均値とする。

## 21. 上下水道・都市衛生/下水汚泥対策

$S_{PJ,CP,y}$  : 事業実施後の処理汚泥のうち、コンポスト化に用いられる量 (m<sup>3</sup>/y)

$MCF_{sl,BL}$  : ベースラインシナリオ下における汚泥処理の CH<sub>4</sub> 補正係数

$DOC_s$  : 未処理汚泥の分解性有機物の含有割合 (乾燥重量ベース)

$UF_{BL}$  : モデルの不確実性を考慮するためのモデル補正係数

$DOC_f$  : バイオガスに異化される分解性有機物 (DOC) の含有割合

$F$  : バイオガス中の CH<sub>4</sub> の含有割合

$GWP_{CH_4}$  : CH<sub>4</sub> の地球温暖化係数 (=25 t-CO<sub>2</sub>/t-CH<sub>4</sub>)

### $BE_{EN,y}$ の算出:

事業実施後に得られる発電および熱供給分のエネルギーをベースラインシナリオ下の方法で生産した場合の GHG 排出量は、事業実施後の発電量 (MWh/y)、熱供給量 (TJ/y) およびそれぞれの CO<sub>2</sub> 排出係数等により算出する。

下水汚泥のコンポスト化の場合、この項目は無視できる。

$$BE_{EN,y} = BE_{elec,y} + BE_{ther,y} = EG_{PJ,y} \times EF_{elec} + HG_{PJ,y} / \eta_{BL} \times EF_{fuel,BL} \div 10^3$$

$BE_{elec,y}$  : 事業実施後に得られる発電分のエネルギーをベースラインシナリオ下の方法で生産した場合の GHG 排出量 (t-CO<sub>2</sub>/y)

$BE_{ther,y}$  : 事業実施後に得られる熱供給分のエネルギーをベースラインシナリオ下の方法で生産した場合の GHG 排出量 (t-CO<sub>2</sub>/y)

$EG_{PJ,y}$  : 事業実施後における発電量 (MWh/y)

$EF_{elec}$  : 電力の CO<sub>2</sub> 排出係数 (t-CO<sub>2</sub>/MWh)

$HG_{PJ,y}$  : 事業実施後における熱供給量 (TJ/y)

$\eta_{BL}$  : ベースラインシナリオ下におけるボイラーのエネルギー効率 (保守的に 1 とする)

$EF_{fuel,BL}$  : ベースラインシナリオ下におけるボイラー燃料の CO<sub>2</sub> 排出係数 (kg-CO<sub>2</sub>/TJ)

### (2) プロジェクト排出量の算定

事業実施によって回収される CH<sub>4</sub> は、発電また熱供給のために利用される。したがって、排出量は、以下の合計により算定する。

- ・ 事業実施後の CH<sub>4</sub> 回収・供給過程における漏洩 (CH<sub>4</sub> 回収を行わない事業は算定対象外)
- ・ 事業実施後の下水汚泥のコンポスト化による GHG 排出量 (コンポスト化を行わない事業は算定対象外)
- ・ 事業実施後の電力および燃料の消費による GHG 排出量

$$PE_y = PE_{sl,y} + PE_{co,y} + PE_{EN,y}$$

$PE_y$  : 事業実施後における GHG 排出量(t-CO<sub>2</sub>e/y)

$PE_{sl,y}$  : 事業実施後の CH<sub>4</sub> 回収・供給過程における漏洩(t-CO<sub>2</sub>e/y)

$PE_{co,y}$  : 事業実施後の下水汚泥のコンポスト化による GHG 排出量(t-CO<sub>2</sub>e/y)

$PE_{EN,y}$  : 事業実施後における電力また化石燃料の消費による GHG 排出量 (t-CO<sub>2</sub>e/y)

### $PE_{sl,y}$ の算出:

## 21. 上下水道・都市衛生/下水汚泥対策

事業実施後の CH<sub>4</sub> 回収過程における GHG 排出量は、以下の式により求める。

$$PE_{sl,y} = MG_{PJ,y} \times GWP_{CH_4} \times EF_{CH_4,def}$$

$MG_{PJ,y}$  : 下水汚泥処理からの CH<sub>4</sub> 回収量 (t-CH<sub>4</sub>/y)

$GWP_{CH_4}$  : CH<sub>4</sub> の地球温暖化係数 (=25 t-CO<sub>2</sub>/t-CH<sub>4</sub>)

$EF_{CH_4,def}$  : バイオガス回収システムからの CH<sub>4</sub> の漏洩係数 (t-CH<sub>4</sub> leaked/t-CH<sub>4</sub> produced)

### $MG_{PJ,y}$ の算出:

下水汚泥処理からの CH<sub>4</sub> 回収量は、以下の式により求める。

$$MG_{PJ,y} = S_{PJ,BG,y} \times MCF_{sl,PJ} \times DOC_s \times UF_{PJ} \times DOC_f \times F \times 16/12$$

$MCF_{sl,PJ}$  : 事業実施後の汚泥処理の CH<sub>4</sub> 補正係数

$DOC_s$  : 未処理汚泥の分解性有機物の含有割合 (乾燥重量ベース)

$UF_{PJ}$  : モデルの不確実性を考慮するためのモデル補正係数

$DOC_f$  : バイオガスに異化される分解性有機物 (DOC) の含有割合

$F$  : バイオガス中の CH<sub>4</sub> の含有割合

### $PE_{co,y}$ の算出:

事業実施後の下水汚泥のコンポスト化による GHG 排出量は、下水汚泥量にコンポスト化の CH<sub>4</sub> と N<sub>2</sub>O の排出係数および CH<sub>4</sub> と N<sub>2</sub>O の CO<sub>2</sub> 換算係数を乗じて求める。

$$PE_{co,y} = S_{PJ,CP,y} \times (EF_{co,CH_4,def} \times GWP_{CH_4} + EF_{co,N_2O,def} \times GWP_{N_2O})$$

$EF_{co,CH_4,def}$  : 下水汚泥のコンポスト化の CH<sub>4</sub> 排出係数 (t-CH<sub>4</sub>/t-汚泥)

$EF_{co,N_2O,def}$  : 下水汚泥のコンポスト化の N<sub>2</sub>O 排出係数 (t-N<sub>2</sub>O/t-汚泥)

$GWP_{CH_4}$  : CH<sub>4</sub> の地球温暖化係数 (=25 t-CO<sub>2</sub>/t-CH<sub>4</sub>)

$GWP_{N_2O}$  : N<sub>2</sub>O の地球温暖化係数 (=298 t-CO<sub>2</sub>/t-CH<sub>4</sub>)

### $PE_{EN,y}$ の算出:

事業実施後の電力消費および化石燃料消費による GHG 排出量は、電力消費量また化石燃料消費量にそれぞれの CO<sub>2</sub> 排出係数を乗じて求める。

$$PE_{EN,y} = (EC_{PJ,y} \times EF_{elec}) + \sum_i (FC_{PJ,i,y} \times NCV_{fuel,i} \times EF_{fuel,i} \div 10^6)$$

$EC_{PJ,y}$  : 事業実施後における電力消費量 (MWh/y)

$EF_{elec}$  : 電力の CO<sub>2</sub> 排出係数 (t-CO<sub>2</sub>/MWh)

$FC_{PJ,i,y}$  : 事業実施後における化石燃料 i の消費量 (t/y)

$NCV_{fuel,i}$  : 事業実施後に用いる燃料 i の正味発熱量 (TJ/Gg = TJ/kt)

$EF_{fuel,i}$  : 事業実施後に用いる燃料 i の CO<sub>2</sub> 排出係数 (kg-CO<sub>2</sub>/TJ)

## 4. 推計に必要なデータ

データ	データの内容	データの入手方法	
		ベースライン排出量	プロジェクト排出量
$EC_{PJ,y}$	事業実施後における	不要	計画値

## 21. 上下水道・都市衛生/下水污泥対策

	電力消費量 (MWh/y)		
EF <sub>elec</sub>	グリッド接続の場合： グリッド CO <sub>2</sub> 排出係 数 (t-CO <sub>2</sub> /MWh)	デフォルト値を使用 (別表 3 の “Electricity Consumption”)。 ただし対象国のデフォルト値が無い場合や、当該国の公表値がある場合等、 他にふさわしい値がある場合は、その値を使用しても良い。	
	独立型、ミニグリッ ドの場合：ディーゼ ル発電による CO <sub>2</sub> 排 出係数 (t-CO <sub>2</sub> /MWh)	デフォルト値を使用 (別表 4：想定される状況に応じて適切な値を選択)。 ただし対象国のデフォルト値が無い場合や、当該国の公表値がある場合等、 他にふさわしい値がある場合は、その値を使用しても良い。	
FC <sub>Pj,i,y</sub>	事業実施後における 燃料 i の消費量 (t/y)	不要	計画値
NCV <sub>fuel,i</sub>	事業実施後に用いる 燃料 i の正味発熱量 (TJ/Gg = TJ/kt)	不要	デフォルト値を使用 (別表 1 の “Net calorific value”)。 ただし対象国のデフォルト値が無い 場合や、当該国の公表値がある場合 等、他にふさわしい値がある場合は、 その値を使用しても良い。
EF <sub>fuel,BL</sub>	ベースラインシナリ オ下におけるボイラ ー燃料の CO <sub>2</sub> 排出係 数(kg-CO <sub>2</sub> /TJ)	デフォルト値を使用 (別表 2 の “Effective CO <sub>2</sub> emission factor” の “Default value”)。 ただし対象国のデフォルト値が無い 場合や、当該国の公表値がある場合 等、他にふさわしい値がある場合は、 その値を使用しても良い。	不要
EF <sub>fuel,i</sub>	事業実施後に用いる 燃料 i の CO <sub>2</sub> 排出係 数(kg-CO <sub>2</sub> /TJ)	不要	デフォルト値を使用 (別表 2 の “Effective CO <sub>2</sub> emission factor” の “Default value”)。 ただし対象国のデフォルト値が無い 場合や、当該国の公表値がある場合 等、他にふさわしい値がある場合は、 その値を使用しても良い。
S <sub>Pj,BG,y</sub>	事業実施後の処理汚 泥のうち、バイオガ ス回収システムに用 いられる量 (t/y)	計画値	計画値
S <sub>Pj,CP,y</sub>	事業実施後の処理汚 泥のうち、コンポス ト化に用いられる量 (t/y)	計画値	計画値
MCF <sub>sl,BL</sub>	ベースラインシナリ オ下における污泥処 理の CH <sub>4</sub> 補正係数	デフォルト値を使用 (別表 9：処分 場の形態等に応じた適切な値を選 択)	不要
MCF <sub>sl,Pj</sub>	事業実施後の污泥処 理の CH <sub>4</sub> 補正係数	不要	デフォルト値を使用 (別表 9：処分場 の形態等に応じた適切な値を選択)
UF <sub>BL</sub>	モデルの不確実性を 考慮するためのモデ ル補正係数	0.89 (CDM 方法論 AMS III.H. ver.19.0 の デフォルト値)	不要
UF <sub>Pj</sub>	モデルの不確実性を 考慮するためのモデ ル補正係数	不要	1.12 (CDM 方法論 AMS III.H. ver.19.0 のデ フォルト値)
DOC <sub>s</sub>	未処理污泥の分解性 有機物の含有割合 (乾 燥重量ベース)	デフォルト値を使用 (別表 11：污泥の種類等に応じた適切な値を選択) ただし対象国のデフォルト値が無い場合や、当該国の公表値がある場合 等、他にふさわしい値がある場合は、その値を使用しても良い。	
DOC <sub>f</sub>	バイオガスに異化さ れる分解性有機物	0.5 (デフォルト値 <sup>2</sup> )	

<sup>2</sup> 2019 Refinement to the 2006 IPCC Guidelines for National Greenhouse Gas Inventories, Volume 5: Waste, Table 3.0 (New)

## 21. 上下水道・都市衛生/下水汚泥対策

	(DOC) の含有割合		
F	バイオガス中の CH <sub>4</sub> の含有割合		0.5 (デフォルト値 <sup>3</sup> )
EF <sub>co,CH4,def</sub>	下水汚泥のコンポスト化の CH <sub>4</sub> 排出係数 (t-CH <sub>4</sub> /t-汚泥、ドライベース)	不要	0.01 (デフォルト値 <sup>4</sup> )
EF <sub>co,N2O,def</sub>	下水汚泥のコンポスト化の N <sub>2</sub> O 排出係数 (t-N <sub>2</sub> O/t-汚泥、ドライベース)	不要	0.0006 (デフォルト値 <sup>4</sup> )
EG <sub>PJ,y</sub>	事業実施後における発電量 (MWh/y)	計画値	不要
HG <sub>PJ,y</sub>	事業実施後における熱供給量 (TJ/y)	計画値	不要
EF <sub>CH4,def</sub>	バイオガス回収システムからの CH <sub>4</sub> の漏洩係数 (t-CH <sub>4</sub> leaked/t-CH <sub>4</sub> produced)	不要	0.1 (CDM Methodological Tool Project and leakage emissions from anaerobic digesters のデフォルト値)

### 5. その他

#### (1) プロジェクトバウンダリー

GHG 推計の範囲は、汚泥処理が行われるプロジェクト活動のサイト内とする。

#### (2) リークエージ

事業実施に係るライフサイクルを考慮した場合、発電施設の建設、設備更新に係る製品製造や資材輸送等に伴う GHG 排出がリークエージと考えられるが、事業実施後における GHG 排出削減効果と比べ影響は軽微である。したがって、事業用の設備は、他の活動から流用されない限りリークエージは考慮しない。

#### (3) 解説

本方法論において参考可能な CDM 方法論として AMS-III.F. (Avoidance of methane emissions through composting)、AMS-III.H. (Methane recovery in wastewater treatment)、AMS-III.AO. (Methane recovery through controlled anaerobic digestion)が挙げられる。

排出削減量の算定のロジックは、これらの CDM 方法論を基にしており可能なかぎりデフォルト値を用いることにした。

なお、CDM 方法論では排出削減量が小規模の閾値であることが制限されているが、本方法論ではそのような条件は設けていない。

#### (4) 改訂履歴

Version	改訂月	改訂内容
2.0	2014年3月	<ul style="list-style-type: none"> <li>方法論名を「25. 下水道 (ver1.0)」から「下水汚泥対策」に変更。</li> <li>ベースライン 排出量の算定方法について、途上国において、下水汚泥の腐敗により発生する CH<sub>4</sub> を法規制等により燃焼することは、基本的に考えられないので、この項</li> </ul>

<sup>3</sup> 2019 Refinement to the 2006 IPCC Guidelines for National Greenhouse Gas Inventories, Volume 5: Waste, p.3.14

<sup>4</sup> 2006 IPCC Guidelines for National Greenhouse Gas Inventories, Volume 5: Waste, Table 4.1

## 21. 上下水道・都市衛生/下水汚泥対策

		<p>目を無視した。</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>電力のCO<sub>2</sub>排出係数について、CM (コンバインドマージン)、OM (オペレーティングマージン) 等のデフォルト値の提示。</li> </ul>
3.0	2019年9月	<ul style="list-style-type: none"> <li>デフォルト値の使用を優先することとした。</li> <li>N<sub>2</sub>Oをコンポストによるプロジェクト排出に追加。</li> </ul>
4.0	2023年3月	<ul style="list-style-type: none"> <li>ベースライン排出量の算定方法や必要なデータ等の記述において、「事業実施前」を「ベースラインシナリオ下」に修正した。なお、ベースラインシナリオとは、事業実施前の状態の継続などプロジェクトがなかった場合に起こるであろうシナリオである。</li> <li>「4. 推計及びモニタリングに必要なデータ」の「事業実施後」の列を削除した (Climate-FITは、現在はGHG排出削減量を「計画段階」に定量化することを目的としているため)。</li> </ul>
5.0	2024年3月	<ul style="list-style-type: none"> <li>モデルの不確実性を考慮するためのモデル補正係数 (UF) を CDM 方法論 AMS III.H. のデフォルト値に修正した。</li> <li>廃水のメタン生成能力 (BO<sub>0,ww</sub>) の出典を IPCC2019 に修正した。</li> <li>各パラメータにおいて各年のモニタリングを意味する添字 y を削除した (Climate-FITは、現在はGHG排出削減量を「計画段階」に定量化することを目的としているため)。</li> </ul>