

消化ガス利用・処分の現状と利用促進検討

宮本豊尚・高橋啓太・大本 拓・岡安祐司

1. はじめに

地球温暖化対策の一環として、我が国では温室効果ガス排出量を2030年に46%削減（2013年比）、2050年のカーボンニュートラルを目指す中、下水道事業においても一層の省エネルギー化及び再生エネルギーの増産が必要となっている。下水汚泥の嫌気性消化により生成する消化ガスは、下水道事業における温室効果ガス排出削減対策を進める上で、カーボンニュートラルな再生可能エネルギーとして扱うことができる重要な資源である。

しかしながら、全国で発生している消化ガスのうち約14%が焼却処分されている¹⁾。これは消化ガスの発生自体に季節変動があると同時に、その利用についても季節変動があり（図-1）、各処理場単位で評価すると発生と利用のギャップが存在していることも一因である。そこで、本報では、消化ガスの利用状況に関する全国調査結果を示す²⁾とともに、季節変動に伴うギャップの平準化による更なる利用可能な消化ガス利用促進の可能性について検討結果を述べる³⁾。

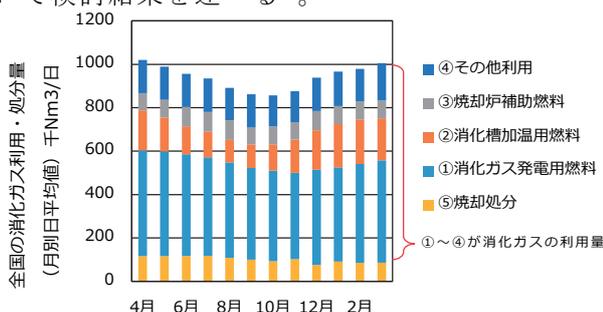


図-1 全国の消化ガス月別日平均発生量と焼却処分量
(令和元年度実績 ※土木研究所調べ)

2. 消化ガスの発生と利用の現状

2.1 調査手法

嫌気性消化に関する全国の実態を把握するため、令和元年度時点で消化を行っている276処理場を対象にアンケート調査を実施した。なお、全処理場から回答を得たが、項目によっては回答が得られないものもあった。調査項目は、令和元年度に

おける月別投入汚泥量、固形物（TS）濃度と有機物（VS）濃度、月別消化ガス発生量、月別消化日数、利用用途などである。季節変動によるガス発生量の変化についてはガス発生量変動率を以下の通り定義して整理を行った。

$$F = \text{月別のガス発生量} \div \text{当該月の日数}$$

$$\text{ガス発生量変動率} = \frac{F_{\max} - F_{\min}}{\text{年間のガス発生量} / \text{当該年の日数}}$$

2.2 調査結果

全処理場におけるガス年間発生量の分布を図-2に示す。平均値は1361.0千Nm³/年、中央値は580.5千Nm³/年であった。全処理場における投入VSあたりのガス発生量及びガス発生量変動率の分布を図-3に示す。平均値は501.2Nm³/t-VS、中央値は484.2Nm³/t-VSであった。汚泥消化が順調に行われている場合500~600 Nm³/t-VSの消化ガスが発生するとされているが⁴⁾、実績では500Nm³/t-VSを下回る処理場は約半数の125処理場にも上っている。なお、これらの施設での消化を改善し、500 Nm³/t-VSのガス発生量が得られるとすると、全国で年間約4千万Nm³のガスが追加で得られる計算となり、エネルギー換算すると約1000TJ/年に相当する。（消化ガスの低位発熱量は22,000kJ/Nm³とした⁴⁾。）ガス発生量変動率の中央値は0.31であり、半数の処理場で季節変化により年間の日平均値から3割以上増減していた。さらに、ガス年間発生量が100千Nm³/年未満の小規模な処理場では変動率の中央値が0.85となるなど、規模の影響が小さくなるほど変動率は大きくなる傾向がみられた。



図-2 ガス年間発生量の分布

表-1に示すガス発生量の変動パターンを分類すると図-4に示す結果となった。下水の温度が高い夏季は下水管内で有機物分解が促進されるなどの

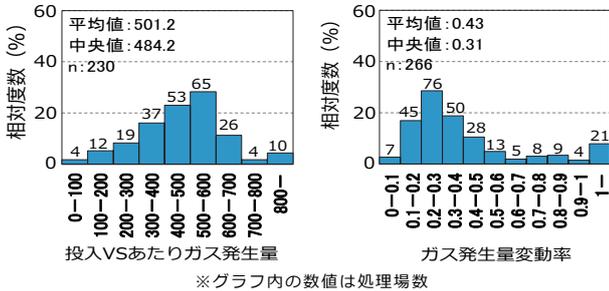


図-3 全国における投入VSあたりのガス発生量(左)とガス発生量変動率の分布(右)

表-1 ガス発生ガス発生量の変動パターン分類

分類	条件
夏季発生	夏季月平均値÷年度平均値 \geq 1.05 かつ冬季月平均値÷年度平均値 \leq 1.00
冬季発生	冬季月平均値÷年度平均値 \geq 1.05 かつ夏季月平均値÷年度平均値 \leq 1.00
変動なし	上記①②に該当しない場合

ただし夏季を7~10月, 冬季を1~4月と設定

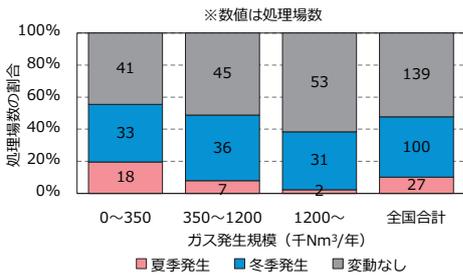


図-4 ガス発生規模毎の季節変動の影響

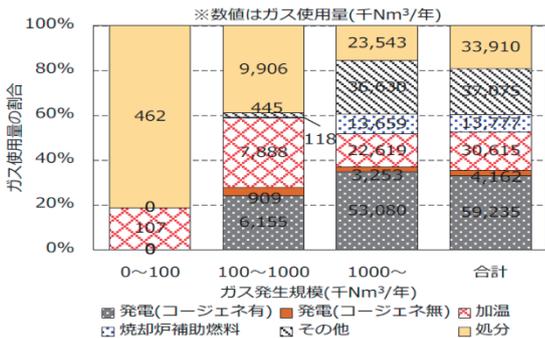


図-5 ガス利用状況(消化ガスの処分を実施している処理場)

理由で、規模によらず「夏季発生」に比べ「冬季発生」が多い。規模が大きくなるに従い、「夏季発生」は減少し、「冬季発生」は概ね一定で、「変動なし」の割合が増加する傾向がみられた。

特に小規模かつ加温を行わない処理場では、冬季に温度が低下し、ガスの発生が抑制される。このような処理場は「夏季発生」に分類され、ガスも利用されていない結果であった。汚泥等を集約して投入量を増やすとともに、冬季に十分な加温を行うことでガス発生量が増加すれば、ガスの利用も可能となると考えられた。

図-5に消化ガスの処分を行っている処理場における用途別のガス利用状況を示す。ガス発生量が0~100千Nm³/年の処理場での利用用途は、加温のみであり、ガス発生量の約8割が処分されていた。ガス発生規模が大きくなるに従って有効利用の割合が増加し、処分される割合が減少していた。

3. 需給ギャップの平準化検討

3.1 検討手法

需給ギャップの平準化検討は、消化ガスの焼却処分を行っている151処理場のうち、ガスホルダの容量が不明等のデータがそろわない処理場を除いた141処理場を対象に実施した。検討フローを図-6に示す。消化ガス発電未導入の処理場については、処分ガス量で新たな発電機の稼働の可否について判断し、利用可能なガス量を計算した。処分ガス量が25kWの発電機を動かすのに最低限必要な消化ガスである約100千Nm³/年を下回る処理場(Case5)については、ガスホルダの運用だけでは有効利用を増やすことは困難と判断した。

消化ガス発電機を有する処理場については、まず既存発電機を最大限運転することを想定した。既存発電機が一年を通じて最大出力で運転した場

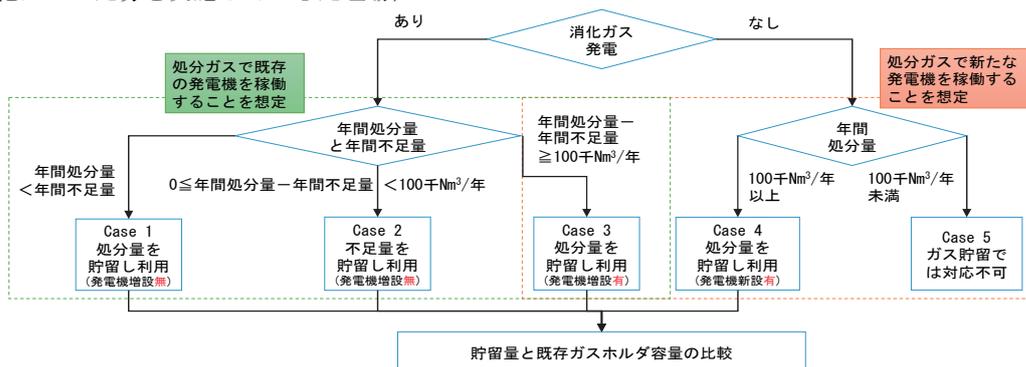


図-6 検討フロー

合に必要な消化ガス量（以下「理想ガス量」という。）から令和元年度に発電で使用された消化ガス量を除いた量を年間不足量と定義し、年間の処分ガス量（以下「年間処分量」という。）との大小関係から貯留量を求めた。理想ガス量の計算には発電機の設備利用率が95%以上の8処理場での発電容量と発電利用ガス量から求めた近似式（理想ガス量（千Nm³/年）=4.9983×発電容量（kW）+7.7563）を用いた。なお、既存発電機を最大限運転してもなお発電機を運転するのに十分なガス量がある場合（Case3）は、発電機を増設し年間処分量の全量を利用することと設定した。

貯留量は、Case1では年間処分量、Case2では年間不足量となる。発電機を増設する場合（Case3及びCase4）は増設発電機で使用するガス量を考慮する必要がある。この時の貯留量は $q_k = (k\text{月の処分量}) - (\text{年間処分量}) \div 366 \times (k\text{月の日数})$ とすると、
$$\sum_{k=1}^{12} \begin{cases} q_k : q_k > 0 \\ 0 : q_k \leq 0 \end{cases}$$
 である。

図-7にガス発生量に対するガスホルダ貯留可能容量を示す。参考文献4にあるようにガスホルダの容量は発生消化ガスの約半日分となっている処理場が多い。ガスホルダの圧力形式は、一般に低圧式を使用するとされている。ガスホルダの圧力については調査を行っていないため、ガスの焼却処分を行っている全ての処理場において低圧式のガスホルダが設置されていると仮定し、これを加圧式のガスホルダへ転換することによる平準化の効果と求められる対策について試算を行った。使用したデータのうち、月別ガス発生量、月別ガス利用用途・利用量、月別ガス焼却処分量、ガス発電機の発電容量、月別ガス発電量、ガスホルダの容量は令和元年度の値で代表できると仮定し、先述のアンケート結果をもとに解析を行った。

3.2 結果

3.2.1 消化ガス発電を実施している処理場

141処理場のうち消化ガス発電を実施している処理場は64処理場であった。このうち、Case1が46処理場と最も多くなっており、Case2が7処理場、Case3が11処理場となった。参考文献5より、敷地面積を変更しない条件であれば、加圧式に更新すると低圧式ガスホルダの20倍まで貯留できると考えられる。貯留量が既存ガスホルダ容量の20倍以内となる処理場はCase1が22、Case2、

Case3はそれぞれ3処理場と全体の半数程度が該当した（図-8）。

3.2.2 消化ガス発電を実施していない処理場

141処理場のうち消化ガス発電を実施していない処理場は77処理場であった。このうち、年間処分量が100千Nm³を超える処理場（Case4）は44箇所であった（図-9）。貯留量が既存ガスホルダ容量の20倍以内となる処理場は、19処理場と約半数が該当した。また、年間処分量が100千Nm³を下回り、貯留量試算の対象外となった処理場（Case5）は33箇所が該当した。

3.2.3 貯留により追加で利用可能となるガス量

貯留により追加で有効利用が可能となる消化ガスと最大貯留量及び処分量を表-2に示す。仮に全ての処理場で十分な敷地があり、今回想定した貯留量を全て有効利用できることと仮定した場合、検討対象とした141処理場における年間発生量の約14%、年間処分量の約95%に相当する消化ガス

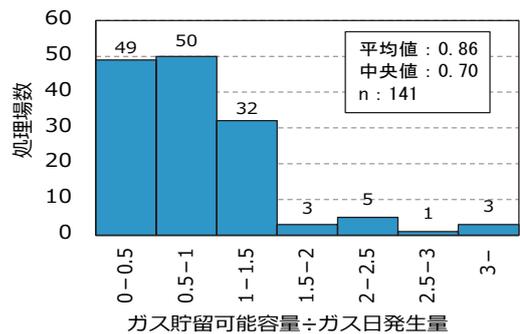


図-7 ガス発生量に対するガスホルダ貯留可能容量

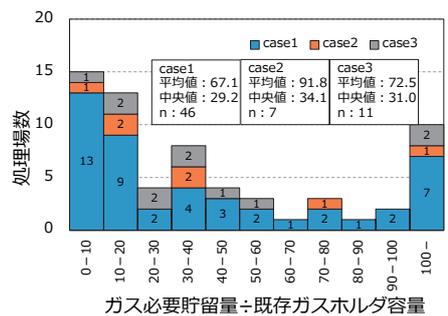


図-8 貯留量とガスホルダ容量の比率 (ガス発電を既に実施している処理場)

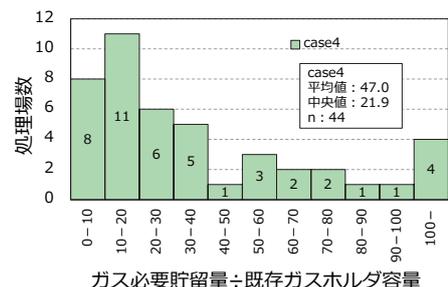


図-9 貯留量とガスホルダ容量の比率 (ガス発電未実施の処理場)

表-2 貯留による消化ガスの追加利用量と処分量

項目	Case1	Case2	Case3	Case4	Case5	合計	
処理場数	46	7	11	44	33	141	
現在のガス発生量 (千Nm ³ /年)	120,000	6,300	18,000	65,000	17,000	230,000	
現在の処分量 (千Nm ³ /年)	9,100	750	5,100	19,000	1,400	35,000	
ガス貯留 (敷地制限無し)	追加利用量 ^{※1} (千Nm ³ /年)	9,100	460	5,100	19,000	0	33,000
	最大貯留量 ^{※2} (千Nm ³ /年)	9,100	460	790	2,900	0	13,000
	処分量 ^{※3} (千Nm ³ /年)	0	280	0	0	1,400	1,700
ガス貯留 (低圧ホルダの20倍)	追加利用量 (千Nm ³ /年)	2,800	140	4,700	17,000	0	25,000
	最大貯留量 (千Nm ³ /年)	2,800	140	390	1,700	0	5,000
	処分量 (千Nm ³ /年)	6,300	610	400	1,200	1,400	10,000

※1 追加利用量：貯留と発電機導入により、新たに利用できるガス量

※2 最大貯留量：平準化のために貯留する最大のガス量

※3 処分量：有効利用できないガス量

量約33,000千Nm³/年が、既存の利用に加えて追加で利用することが可能となる。3.1で先述した近似式を用いると、発電としては約6,700kWhの効果が期待された。また、低圧式ガスホルダの20倍まで貯留する場合、141処理場の年間発生量の約11%、焼却処分量の約7割に相当する約25,000千Nm³/年が追加で利用でき、同じく近似式により約5,000kWhの発電効果が期待された。いずれも現在消化ガス発電を導入していない処理場での利用 (Case4) や発電能力不足の処理場における適性化 (Case3) による効果が大きな割合を占めていた。

4. まとめ

- 本研究を通じて、以下のことが明らかとなった。
- 投入汚泥あたりのガス発生量が500Nm³/t-VSを下回る消化が不十分な処理場は全体の約半数
- 半数の処理場で季節変化により年間の日平均値から3割以上増減。規模が大きくなるに従い、「夏季発生」は減少し「変動なし」が増加。
- ガス発生量が0~100千Nm³/年の処理場の利用用途は加温のみであり、ガス発生量の約8割が処分。規模が大きくなるに従い、有効利用の割合が増加。

- ・ガスの貯留により現在処分している消化ガスの最大約95%を使用できる可能性が示唆。

土木研究所においては、中小規模の都市においても導入可能な消化ガスの増産技術について、今後も検討を進めていきたいと考えている。

謝 辞

嫌気性消化に関する全国アンケート調査にご協力頂いた全国の下水道事業関係各位に謝意を表します。

参考文献

- 1) 国土技術政策総合研究所HP：令和3年度下水道技術開発会議エネルギー分科会 (第1回資料) 資料2-5 http://www.nilim.go.jp/lab/eag/pdf/20211008_2-5_2030mokuhyou.pdf
- 2) 大本拓、宮本豊尚、重村浩之、岡安祐司：全国の消化ガス発生量・変動率に与える影響因子の抽出、下水道協会誌論文集、Vol.60 No.731、2023
- 3) 宮本豊尚、大本拓、重村浩之：消化ガス利用促進に向けたガスホルダの運用に関する一考察、第59回下水道研究発表会講演集、pp.133~135、2022
- 4) (公社) 日本下水道協会：下水道施設計画・設計指針と同解説 後編、p.498、2019
- 5) 澤原大道、伊藤由季子、藤野正人、工藤明、斎野秀幸、落修一、森田弘昭：消化ガス吸着貯蔵技術の実用化研究、第9回衛生工学シンポジウム論文集、pp.326~331、2001

宮本豊尚



土木研究所 先端材料資源研究センター材料資源研究グループ 主任研究員
MIYAMOTO Toyohisa

高橋啓太



土木研究所 先端材料資源研究センター材料資源研究グループ 研究員
TAKAHASHI Keita

大本 拓



研究当時 土木研究所 先端材料資源研究センター材料資源研究グループ 交流研究員、現 (株) 日水コン 下水道事業部
OMOTO Taku

岡安祐司



土木研究所 先端材料資源研究センター材料資源研究グループ 上席研究員、博士 (工学)
Dr. OKAYASU Yuji