

## 集落排水施設に設置するメタン発酵プロセスの脱硫の検討 Consideration of desulfurization for methane fermentation process installed in rural sewage plants

○山岡 賢\* 中村真人\*\* 折立文子\*\*

YAMAOKA Masaru\* NAKAMURA Masato\*\* and ORITATE Fumiko\*\*

### 1. バイオガスに含まれる成分

汚泥や家畜糞尿などの湿潤なバイオマスをメタン発酵することで得られるバイオガスには、主要成分としてメタンが50～60%、二酸化炭素が40～50%程度が含まれる他、表1の微量成分を含有する。このうち、硫化水素は濃度が高く、また、人体への害が大きい。硫化水素は燃焼により硫黄酸化物となり、炉やエンジンを傷め、大気汚染の原因となるため、あらかじめ、脱硫装置で除去する必要がある<sup>1)</sup>。

表1 バイオガスに含まれる微量成分<sup>1)</sup>

物質名	濃度(ppm)
硫化水素	500-2,000
アンモニア	50-200
水分	飽和水分
シロキサン類	20-50
メチルメルカプタン	10-30
ジメチルサルファイド	10以下

### 2. 硫化水素の発生メカニズム

高濃度の硫化水素の発生は、硫酸塩還元菌の働きで硫酸塩が還元されることによる。硫酸塩還元菌の生育は、温度条件では中温菌で15～45℃(最適値30℃)、好熱菌で40～65℃(最適値55℃)、pHの最適値は6.5～8.0とされ、酸素のない環境(ORP-100mV以下)で生育できる<sup>2)</sup>。硫酸還元菌の基質は、水溶性の低分子有機物である<sup>2)</sup>。硫酸塩還元菌に適する温度、pHやORPの条件はメタン発酵槽内の環境であり、メタン発酵では炭水化物・タンパク質・脂肪などの高分子有機物を加水分解、酸生成を経てメタン発酵に至る過程で低分子化するの、硫酸塩還元菌にとってもメタン発酵槽内は最適な環境である。

### 3. 脱硫プロセス

バイオガスからの硫化水素の除去には、乾式、湿式、生物及びその他の各脱硫方式がある<sup>3)</sup>。乾式は酸化鉄系の脱硫剤で硫化水素を除去する。湿式はバイオガスをアルカリ水による洗浄で硫化水素を除去する。下水処理場では大量の二次処理水でバイオガスを洗浄する方法も用いられている<sup>4)</sup>。同方法は硫化水素が水に比較的溶けやすい性質を利用している。生物脱硫は、硫黄酸化細菌の働きで硫化水素を除去する。ただし、生物脱硫除去後の硫化水素が数百ppm程度と高く、後段に乾式を設ける場合がある<sup>3)</sup>。また、酸素がない状態のバイオガスのライン内に、好気性微生物を保持しないといけないため、適量の空気の注入など管理が必要である。硫化水素を除去の確実さや管理の容易さから特に小規模なメタン発酵施設では乾式が主と考えられる。

### 4. 乾式脱硫の管理とコスト

乾式脱硫の日常の管理では、脱硫塔を通過したバイオガス中の硫化水素をモニタリングし脱硫剤の劣化具合を把握し、脱硫剤を交換する。脱硫剤の交換作業の例は、表2のと

\*琉球大学農学部, University of the Ryukyus, 集落排水, メタン発酵, 脱硫

\*\*農研機構 農村工学研究部門, Institute for Rural Engineering, NARO

おりである<sup>5)</sup>。脱硫塔は、通常バイオガスで充満しているの、開放に当たっては爆発・引火の防止に努めないといけない。脱硫剤の交換後はバイオガスが漏れないように気密性を維持するとともに、無酸素状態に戻す必要がある。また、使用済みの脱硫剤を空気にさらすと、発熱・発火の危険があり、ドラム缶に入れ水を充填するなどの対応が必要である。費用は、脱硫剤800kgの交換の場合、人工3名程度の1日作業で、150万円程度<sup>5)</sup>とのことであった。また、南丹市八木バイオエコロジーセンターの実績では、年に1回程度、脱硫剤5.7m<sup>3</sup>を交換し、費用が約200万円とのことであった<sup>6)</sup>。南丹市八木バイオエコロジーセンターの年間の支出が約106百万円であり<sup>7)</sup>、脱硫剤の交換費用は1.9%にあたる。

#### 5. 集落排水施設に設置するメタン発酵プロセスと脱硫の検討

農業集落排水施設にメタン発酵プロセスを設置して、集落排水汚泥とともに生ゴミや農作物非食用部などの地域バイオマスをメタン発酵処理することが検討されている<sup>8)</sup>。農業集落排水施設を農村地域の資源循環の拠点とすることは持続可能な社会構築に大いに貢献するものである。同メタン発酵プロセスでは比較的小規模とならざるを得ず、既存の脱硫技術の中では乾式脱硫が適している。しかし、小規模施設での脱硫剤の交換は割高になることが懸念される。また、資源循環を目指すメタン発酵プロセスにあつて、乾式脱硫は資源消費型と言え、矛盾した存在である。

集落排水汚泥と疑似生ごみをVS比1:8.2で混合してHRT20dでメタン発酵した室内実験のバイオガス生成量0.57NL/gVS<sup>9)</sup>を用いて処理対象人口1,000人規模の集落排水施設に併設されるメタン発酵プロセスでのバイオガス量を試算すると、113Nm<sup>3</sup>/dであった。室内実験のバイオガスの硫化水素濃度は800ppm程度であったので、硫化水素の要除去量は13.7g/d程度と推定された。この硫化水素量に対応できる脱硫能力を有した管理が容易な湿式または生物による脱硫装置が望まれる。

**謝辞** 本研究は JSPS 科研費 20K06306 の助成を受けたものである。感謝の意を表す。

**引用文献** 1)環境省大臣官房廃棄物・リサイクル対策部廃棄物対策課(2017):メタン化施設整備マニュアル(改訂版), 14-29. 2)井上雄三(2005):安定型最終処分場における高濃度硫化水素発生機構の解明ならびにその環境汚染防止対策に関する研究, 国立環境研究所報告, 188, 6-13. 3)文献 1, 59-60. 4)野池達也(2009):メタン発酵, 技報堂, p.163. 5)脱硫剤の交換を請負っている関東地方の企業から聞き取り, 6)南丹市八木エコロジーセンター聞き取り, 7)清水由紀夫(2018):畜産系メタン発酵施設のビジネスとしての可能性について, H30 農業農村工学会大会講演会講演要旨集, 100-101. 8)中村真人, 山岡 賢, 折立文子, 柴田浩彦(2018):メタン発酵システム構築による SDGs 達成への貢献, 水土の知, 86(10), 25-28. 9) Nakamura et al. (2020), Water Practice and Technology, 15(2), 472-481.

表 2 脱硫剤の交換作業の例<sup>5)</sup>

- |                               |
|-------------------------------|
| ② 脱硫塔の足場組                     |
| ② 窒素ガスを用いて置換し、可燃性ガスを爆発下限値に下げる |
| ③ 脱硫塔の開口部を開けて脱硫剤を抜出(バキューム車)   |
| ④ 脱硫塔内部清掃(高圧洗浄機)              |
| ⑤ 新しい脱硫剤の充填, 窒素ガス充填           |
| ⑥ 開口部のパッキン交換し閉じる              |
| ⑦ 足場解体・撤去                     |
| ⑧ 使用済みの脱硫剤の処分(処分費, 運搬費)       |