令和4年度千葉市・大学等共同研究事業 千葉市南部浄化センターにおける消化ガス活用の最適化について 成果報告書概要版

千葉市南部浄化センター

千葉大学熱流体エネルギー学研究室

目的:

行政課題として 2020 年 10 月に「2050 年カーボンニュートラルの実現」が国から施策と して打ち出され,同年 11 月に発出された「千葉市気候危機行動宣言」においても,2050 年 の二酸化炭素排出量実質ゼロを目指すとしている.

また,2021 年 6 月に示された「地域脱炭素ロードマップ」(国・地方脱炭素実現会議) においては,廃棄物処理や下水処理により得られる電気,熱,CO₂,バイオガス等の活用拡 大が記述されている.

千葉市南部浄化センターでは、下水処理場の運転操作条件の変更や間欠運転の実施、設備 や機器の更新等にあわせた省エネ型機器の導入などの電力使用量削減の取り組みに加え、 汚泥の処理過程で発生する消化ガスを重油の代替燃料や発電燃料として活用することによ り、温室効果ガス排出の削減に努めてきた.

消化ガス発生量を増大させようとすると維持管理コストが増加するなどの課題があり, 下水汚泥が持つポテンシャルを十分に活用しきれていない状況がある.

本研究では、温室効果ガスの削減をより重要な課題と位置づけ、維持管理コストとのバラ ンスを考慮しながらも、消化ガスをより有効的に活用することを検討し、地球温暖化対策を 推進していく.

研究調査方法:

南部浄化センターや地域の特性を踏まえた,消化ガス活用の最適化による地球温暖化対 策への寄与に関する研究として,南部浄化センターの現状分析,改善点の抽出,改善提案, 適用可能な新技術等の調査,提案を行った.

南部浄化センターの現状分析を目的として,消化槽の仕様,各種測定データに基づく汚泥 消化槽内の数値流体解析(Computational Fluid Dynamics, CFD)を実施した.消化槽内で は汚泥を中温発酵温度(35℃前後)に加温しながら攪拌することで,嫌気性細菌の働きによ り汚泥中の有機分が水とガスに分解される.汚泥消化槽内のCFDにより,現状における流れ 場及び温度場の可視化を行い,攪拌・加温方法の評価を行った.

改善点の抽出,改善案の提案を目的として,消化槽内の加熱方法をパラメータとした CFD を行い,汚泥の均一な温度制御による消化ガス活用の最適化について検討した.改善案に基づき,新技術等導入について検討を行った.

図1に,作製した消化槽の CFD モデルの外観と,消化槽内に設置されたインペラ式撹拌 機のインペラ形状を示す.消化槽は内径 21 m×水深 24 m,容量 6,200 m³である.インペラ 枚数は,消化槽上部で2枚,中部及び下部で3枚とし,回転数は 11.2 rpm とした.消化槽 内の汚泥は,濃度 2.5%,密度 1050 kg/m³,粘度 150 cP,比熱 3930 J/(kg・K),熱伝導率 0.620 W/(m・K)とした.流速分布と温度分布の非定常解析を実施して,それぞれ時間変化 を可視化した.

温度の解析は、消化槽内汚泥の初期温度を 33 ℃とし、壁面より加熱される汚泥の温度分 布を可視化した.壁面では、図2に赤色で示す消化槽の上面、下面、または側面に、中温発 酵温度を考慮して 37 ℃の境界条件を与え、加熱部の配置が消化槽内に形成される温度分布 に与える影響を調査した.

汚泥の温度変化に伴う浮力は、温度差に比例する力で近似した. 浮力が攪拌に及ぼす影響 について考察を行うため、撹拌機を停止した際に温度差のみで生じる自然対流についても 解析を行った.

解析及び可視化には、商用熱流体解析コード STAR-CCM+ (Siemens PLM software)を使用 した.



図1 消化槽及び撹拌機の CFD モデルとインペラ形状



図2 加熱部の位置(上面,下面,側面の場合)

結果:

図3に、インペラ攪拌開始後 50 s, 100 s, 200 s の消化槽内の流速分布の可視化結果 を示す.また、図4-6に、それぞれ上面、下面、及び側面加熱条件におけるインペラ攪拌 開始後 120 s, 180s, 300 s の消化槽内の温度分布の可視化結果を示す.



考察:

流速及び温度分布の可視化結果(図3-6)より,消化槽内の汚泥はインペラの撹拌によって中央部で下方へ,側壁に沿って上方へ流動を始め,数百秒オーダーでほぼ定常的な流速 及び温度分布が形成されることが確認された.このとき,消化槽内の汚泥に生じる温度差は 概ね0.1℃以内と小さく,インペラの撹拌によって汚泥の温度は均一に保たれていることが 確認された.

加熱面の配置によっては,消化槽内の汚泥に局所的な温度上昇が確認された.温度上昇の 部位は,上面加熱では上面の中央付近,下面加熱では下面の中央付近,側面加熱では上面の 周辺付近であり,消化槽内に形成された流れの遅いよどみ領域と対応していると考えられ た.また,局所的な温度上昇については,加熱面を下面加熱では環状面,側面加熱では下半 面とすることにより抑制されることも確認された(図7).

浮力の影響について検討するため、インペラによる攪拌無し、下面加熱の条件で解析を行った結果、下面で温められた流体が側壁に沿って上方へ流動する自然対流の発生が確認された(図8).自然対流の流速はインペラ攪拌による流れより一桁小さく、消化槽内の攪拌に及ぼす影響は小さいと考えられる.自然対流のみの場合、定常的な温度分布が形成されるのに数十日オーダーの時間を要し、また下面付近の汚泥に温度差が形成されることが確認された.



300 s

300 s





図8 下面加熱による自然対流の流速分布(0~0.05 m/s)と温度分布(33~33.1 ℃)

政策提言:

消化ガス活用の最適化には、消化槽内の温度分布を中温発酵温度(35℃前後)に均一に保 つ必要がある.しかしながら、消化槽内の汚泥の流れや温度の測定方法は技術的に限られて おり、内部の流動攪拌状態を詳細に把握するのは困難であった.本研究では、消化槽の仕様 に基づく CFD シミュレーションを提案し、流れ場及び温度場の可視化により汚泥の攪拌・加 温状態の評価を行った.また、これらのシミュレーションモデルをベースにして、上面、下 面、側面加熱など消化槽の加熱方法についての基礎的検討を行った.加熱部の配置によって は消化槽内の攪拌状態に応じて温度差が生じる可能性があるため、加熱面を下面加熱では 環状面、側面加熱では下半面とするなど、温度差の形成を抑制するための改善案について検 討した.

今後は、流速、消化温度等、実機の測定データだけでは不足する情報を CFD シミュレーションの予測結果で、またシミュレーションの予測だけでは不足する情報を測定データでそれぞれ補完して、消化槽内の流動攪拌の特性や挙動を詳細に把握することが可能と考えられる.また、消化槽内の流動攪拌状態のシミュレーションにとどまらず、消化ガス発生、消化ガス発電、余剰ガス燃焼、焼却炉補助燃料、加温施設燃料など、消化ガスを無駄なく効率的に利用するための各種プロセスへとシミュレーションの対象を拡張することにより、現状の消化ガス発電の稼働率、消化ガス発電設備増設の可能性などについて検証が可能と考えられる.

共同研究者(執筆者)一覧:

鈴木	隆裕	千葉市南部浄化センター・所長補佐
古橋	究都	千葉市南部浄化センター・主任技師
林	知樹	千葉市南部浄化センター・主任技師
原田レ	ずみ	千葉市南部浄化センター・技師
田中	学	千葉大学大学院工学研究院・教授
松原	秀真	千葉大学大学院融合理工学府・大学院生
高谷	遼太	千葉大学大学院融合理工学府・大学院生
小澤	祥	千葉大学大学院融合理工学府・大学院生