

亜臨界水処理およびUASB法による 下水汚泥からのメタンガス回収に関するパイロット実験

山口大学工学部 ○今井 剛、荒金光弘、浮田正夫、関根雅彦、樋口隆哉
宇部工業高等専門学校 村上定瞭、竹内正美

1. 研究背景および研究目的

近年、下水道の普及率の上昇とともにその発生量が増大している下水汚泥（以下、汚泥と称す）を可溶化させる技術が注目を集めるようになった。その中でも、亜臨界水処理による可溶化技術は、汚泥を高効率で可溶化することが可能であり、可溶化された汚泥からリン回収が比較的容易にできる特長を有している。本研究グループは、図1に示すような「汚泥の資源回収型処理システム」を考案した。これは通常の活性汚泥法による排水処理工程に、汚泥の可溶化工程（亜臨界水処理）、リン回収工程（Magnesium Ammonium Phosphate:MAP法）および嫌気性排水処理工程（Upflow Anaerobic Sludge Blanket:UASB法）を組込むことで、汚泥の発生を抑制し、かつ資源（ここではメタンガスおよびリン）を回収するものである。本システムのパイロットプラントを山口県宇部市内の下水処理施設に設置した。そこで本研究では、設置したパイロットプラントの可溶化工程と嫌気性排水処理工程に関して連続運転を行い、亜臨界水処理により可溶化された汚泥からUASB法によりメタンガスの回収を行った。

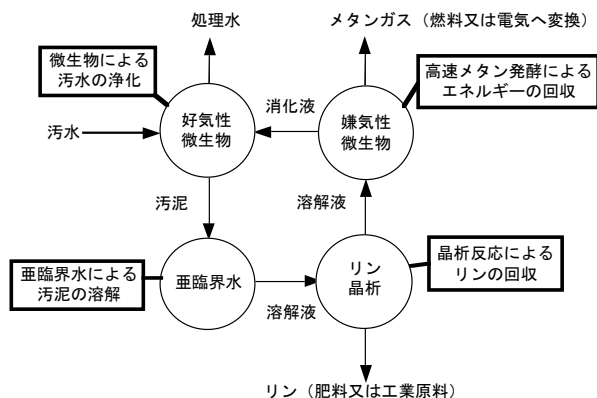


図1 汚泥の資源回収型処理システムの概略図

2. 汚泥の資源回収型処理システムの概要および実験装置

2.1 亜臨界水について

本研究で用いた亜臨界水とは高温高压な状態の水である。その物理化学的性質は、常温・常圧の水とは大きく異なり、高い反応性の溶媒となる。水を密封容器に入れて加熱すると、圧力が高くなることから気体の密度が増加し、ついには液体と同じ密度になり、気体と液体の境界が消滅する（超臨界水）。臨界点到達前の状態を亜臨界水といい、この流体を亜臨界流体という。これは、高温のため大きな熱エネルギーをもつ水の分子が、高压によって押さえつけられた液体の状態になっている。このため、どんな狭いすき間にも入っていきける気体の性質と、ものを溶かす液体の性質の両方を合わせ持っている。

2.2 亜臨界水処理装置の概要および運転条件

亜臨界水処理装置の概略を図2に示す。本装置の主な構成は、受入ポット、加熱器、反応器、冷却器、処理液ポット、圧力調整弁、補助冷却器および循環水冷却器である。加熱器、反応器および冷却器は溶接して直列に接続した連続鋼管である。汚泥中に含まれる異物を除去するため、受入ポットと処理液ポットを導入した。亜臨界水処理される汚泥は、受入ポットから加熱器へ移送される。移送され加温された汚泥は反応器で可溶化される。その後、可溶化された汚泥は、冷却器により冷却される。また、本実験における反応器の反応温度および圧力は210、2.4MPaとし、反応処理速度は30L/hrとした。

2.3 UASB装置の概要および運転条件

UASB装置の概要を図3に示す。本装置の主な構成は、酸生成槽、中和槽、UASB装置および処理水槽である。設定温度は36℃とした。可溶化された汚泥は、酸生成槽で36℃に加温される。その後、中和槽でpH調整され、UASB装置へ投入される。UASB装置で処理された処理水は、処理水槽に送られ、酸生成槽へ循環される。そして、この循環ラインから流出したものを処理水とした。本実験で用いたグラニュールは、別の実プラントで既に形成されていたものを用いた。また、本実験における流入する可溶化液は60L/dayとし、循環ラインは2.5L/minとした。

3. 分析項目および供試汚泥

測定項目、浮遊物質濃度（MLSS）、揮発性浮遊物質濃度（MLVSS）、有機性炭素（TOC）濃度、糖濃度、タンパク質濃度、低級脂肪酸（VFA）濃度である。このうちのほとんどは、下水試験法にしたがった（MLSS、

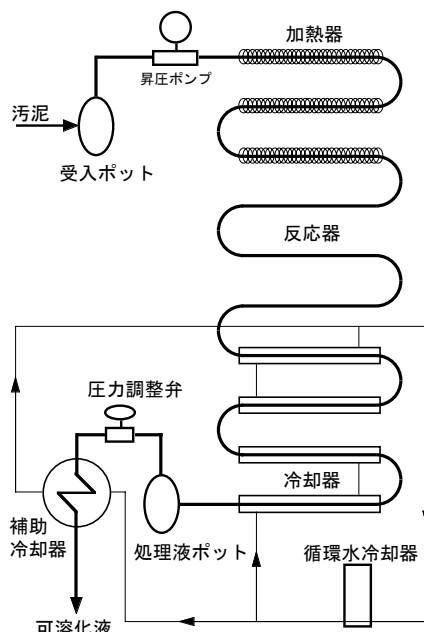


図2 亜臨界水処理装置の概略

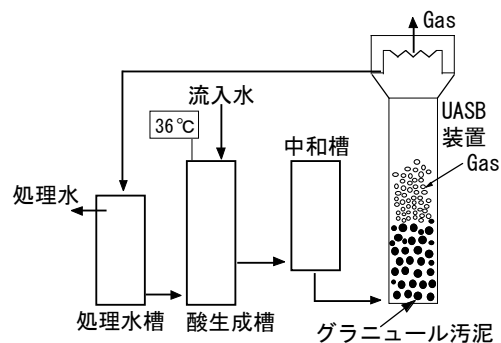


図3 UASB装置の概略

キーワード 亜臨界水処理 UASB法 可溶化 メタンガス回収 パイロットプラント

連絡先 〒755-8611 山口県宇部市常盤台2-16-1 山口大学工学部 社会建設工学科 TEL.0836-85-9312

MLVSSなど)。そして、TOC濃度およびVFA濃度・ガス組成に関しては、全有機体炭素計とガスクロマトグラフによりそれぞれ定量した。また、糖とタンパク質濃度は、それぞれ Anthrone 法及び Lowry - Folin 法により分析した。また、本実験で用いた汚泥は、パイロットプラントが設置されている山口県宇部市内の下水処理施設から発生する余剰汚泥を用いた。

4. 結果および考察

本連続運転で得られた結果を図4に示す。サンプリングは、一日に3回行った。サンプリング箇所は、図3に示した通りである。投入した流入水は、平均 4000mgCOD/L であり、処理水濃度は 1000mgCOD/L 程度であった。このことから本連続実験によって得られた除去率は約75%であることがわかった。また、連続運転開始時は、処理水濃度が低かったが、時間が経過するにつれて、処理水濃度は増加し、その濃度は安定した。これは運転開始直後に、可溶化液が槽内に入ることによって槽内にある低濃度の槽内水が処理水として押し出されたためと考えられる。

投入可溶化液中のVFAは、HAcが比較的多く定量された。そして、処理水にはHAcを含めVFAがほぼ確認されなかったことから、UASB装置でVFAは良好に処理されたと考えられる。

投入可溶化液における糖およびタンパク質濃度は、それぞれ100、1100mgCOD/L程度であり、糖およびタンパク

質濃度とともに連続運転を通して、安定な数値を得ることができた。そして、UASB装置から流出する糖およびタンパク質濃度はVFAと同様に、UASB装置で良好に処理されていた。しかし、処理水に関するタンパク質濃度の経時変化は、流出水濃度の挙動と同じように時間経過とともに増加し、一定値(400mg/L)で安定したのが確認された。

また、本連続運転で得られた亜臨界水処理後の可溶化液中の溶解性有機成分は低かったと考えられる。これは、前段の亜臨界水処理で用いた余剰汚泥の濃度が低かったためと考えられる。このことが原因で高負荷運転が可能なUASB装置は、本来の能力が発揮できなかったと推察される。そして本連続運転で発生したガスは、UASB装置の設計にミスがありガスラインから放出されずに、処理水とともに放出された。このため、メタンガス発生量が測定できなかった。しかし、糖やVFAが処理水中になかったこと、また、別途行ったガス組成分析の結果から、糖やVFAが処理されて、メタンガスへと変換されたと考えられる。

5. まとめ

本研究では、山口県宇部市内の下水処理施設から発生する汚泥を亜臨界水処理のパイロットプラントで可溶化処理を行った。そして、得られた可溶化液を、UASB法を用いて200時間の連続運転を行った。

本連続運転で得られた知見は以下の通りである。

- 本連続運転において、亜臨界水処理された汚泥可溶化液のUASB法による除去率は、75%程度であった。
- 本連続運転の可溶化液は、前段の亜臨界水処理で用いた汚泥濃度が低かったため、亜臨界水処理された可溶化液に含まれる各成分(ここではVFA、糖およびタンパクなどが該当する)が低かった。
- 処理水の方が、流入液よりも各成分(ここではVFA、糖およびタンパクなどが該当する)の濃度が低かったこと、そして、発生したガスの組成分析の結果(全体のガスの65%程度がメタンであった)から、UASB装置内で各成分がメタンまで良好に処理されたと考えられる。

謝辞

本研究の実施にあたり、山口大学大学院の博士前期課程の黒澤真一君、江藤貴子さん、宇部工業高等専門学校の第三技術室の渡邊美紀さん、同学校物質工学専攻科修士の中村明日香さん、同学校在校生の村上奉行君に多大な助力をいただきました。ここに記して深く感謝いたします。

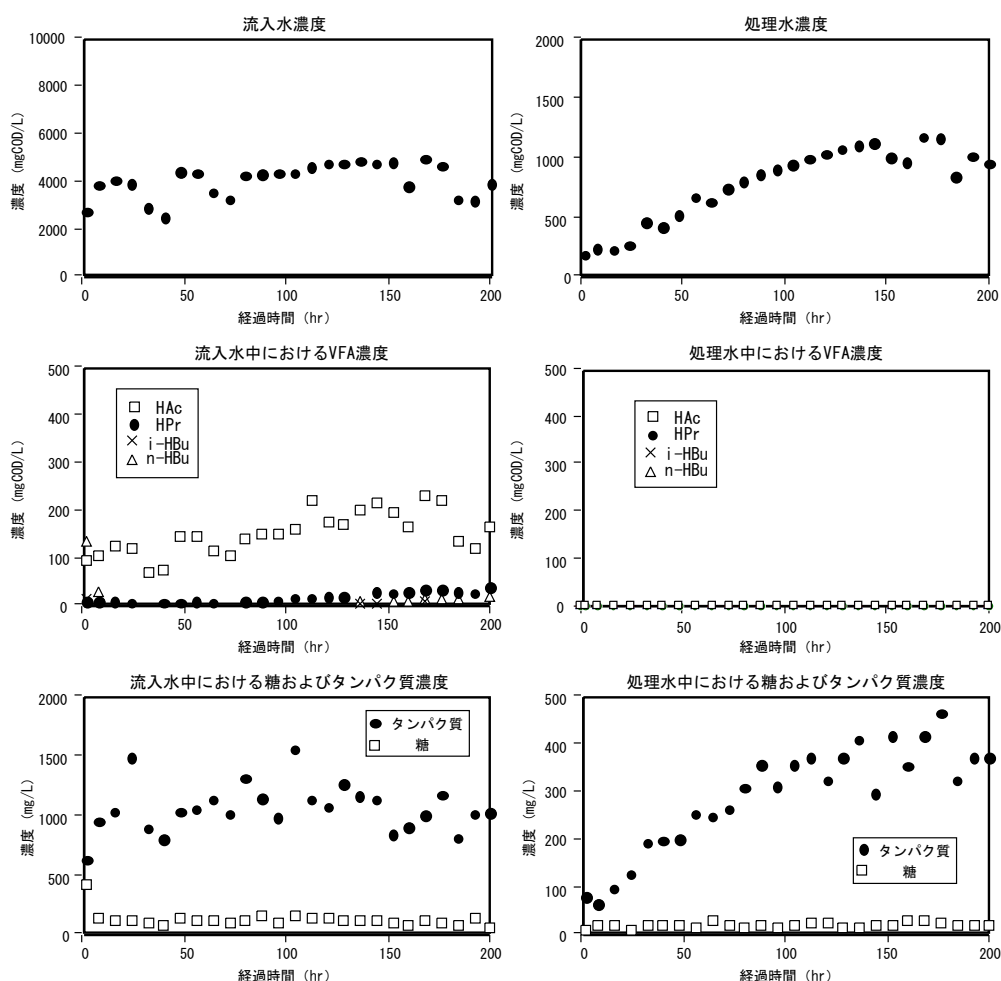


図4 本連続運転で得られた結果