

馬鈴薯澱粉廃水に対する熱変性を利用した SS 除去及びメタン回収

山口大学大学院 ○吉田 健一、今井 剛、周 偉麗、中川 清也、
浮田 正夫、関根 雅彦、樋口 隆哉

1. はじめに

近年、我々の食生活の多様化に伴い食品工場で製造される製品の種類は増加の一途を辿り、製造技術の進歩とともに食品工場から排出される廃水の内容も大きく変化してきている。その廃水に含まれる汚濁源としては原材料に由来する有機性物質を主成分として含み、その濃度は工場により様々であるが、一般に他業種より高濃度の有機性廃水であることが特徴である。高濃度有機性廃水を処理する手段として嫌気性処理が適用される場合が多いが、嫌気性処理装置を安定的に運転するためには、生物反応槽への多量の浮遊性物質(SS)、油脂類、殺菌剤など生物反応阻害物質の混入を避けるための前処理を行う必要がある。食品工場の中でも馬鈴薯加工品製造業から排出される廃水（以後、馬鈴薯澱粉廃水という）には多量の SS が混入していることが知られている。そこで本研究では馬鈴薯澱粉製造業から排出される馬鈴薯澱粉廃水中の SS 除去方法、ならびにその前処理後の嫌気性処理(UASB 法)によるメタンガス回収に関する検討を目的とする。本研究での前処理方法は廃水を加温し、遠心分離を行うことで SS の除去を行う。その際の加温装置による加温温度、遠心分離器による遠心速度、遠心時間の設定値を室内実験から検討し、その後、室内実験より得られたデータを元に実際の加温装置（加圧蒸気による加温）を想定したパイロットスケールでの実験を行う。前処理後は高温菌および中温菌を用いた嫌気性処理(UASB 法)によるメタンガス発生量の比較を行う。

2. 本研究で行う前処理法（加温＋遠心分離）の特徴

現在、馬鈴薯澱粉廃水処理で行われている前処理方法の例として、馬鈴薯澱粉廃水に凝集剤を加え、浮上分離することによって SS の除去を行っているものがある。それに対し、本研究では馬鈴薯澱粉廃水を加温することで馬鈴薯澱粉廃水中に多く含まれるタンパク質を熱変性させ、その後に遠心分離を行うことで SS の除去を行う。ここで熱変性とは、タンパク質に熱を加えることでタンパク質の二次以上の高次構造を変化させ、その機能（活性）を失わせることである。馬鈴薯澱粉廃水中の活性を失ったタンパク質は、溶解していた廃水中から析出してくる。これを凝集剤と同様な作用を有するものと見立て、廃水を加温することにより廃水中の SS を凝集させ、遠心分離により SS の除去を行う。

3. 室内実験における加温＋遠心分離による馬鈴薯澱粉廃水の前処理に関する検討

3.1 加温実験 耐圧ビンに馬鈴薯澱粉廃水を 40mL 入れ、表 1 に示した条件で廃水の処理を行う。加温は加温装置、遠心分離は遠心分離器により行う。処理後に分離した上澄み液をろ過してその SS 濃度を測定する。

3.2 加温＋遠心分離実験 耐圧ビンに馬鈴薯澱粉廃水を 40mL 入れ、加温装置により廃水をそれぞれ 60、70、80℃ に加温したものを、表 2 に示す条件により遠心分離を行う。処理後に分離した上澄み液をろ過してその SS 濃度を測定する。

3.3 実験結果および考察 図 1 より、馬鈴薯澱粉廃水の前処理において 20℃での SS は約 13000(mg/L) と高く、そのままでは生物処理を行うことができない。しかし、60℃以上に加温することにより 1000mg/L 以上の SS の大幅な減少が確認できた。廃水を 60℃以上に加温した場合に SS が大幅に減少した原因として、馬鈴薯澱粉廃水中に含まれるタンパク質が熱変性を起こし、それを遠心分離により除去できたためであると考えられる。また馬鈴薯澱粉廃水は、図 1 からわかるように 60℃以上に加温しても SS の値が 60℃の場合とさほど変わらなかった。加温時間についても 10 分と 20 分では大きな差がみられなかった。以上よりコストを考えると加温温度を 60℃、加温時間 10 分で運転することが望ましいと考えられる。

図 2 の範囲 I からわかるように、遠心速度が高くなるにつれて SS 濃度が低下したことがわかる。また、同じ遠心速度で遠心した場合は遠心時間が長い方が SS 濃度が低下したことがわかる（範囲 II）。範囲 I と範囲 II を比較してみると、短い時間で遠心速度が高い場合より、長い時間で遠心速度が低い場合の方が、SS 濃度が低下したことがわかる。以上の結果より、馬鈴薯澱粉廃水の SS 除去を目的とした加温＋遠心処理では、実験結果とコストを考え合わせて、60℃で 10 分間加温後に 1000rpm の遠心分離を 10 分間行うことが望ましいと考えられる。

表 1. 実験条件（加温）

加温時間	遠心条件	加温条件
10分	20分	700rpm:5分
		20℃(原液)
		30℃
		40℃
		50℃
		60℃
		70℃
		80℃
		90℃
		100℃
		110℃

表 2. 実験条件（遠心）

遠心速度(重力加速度 G)	遠心時間
1000rpm(185G)	5分
1500rpm(415G)	
2000rpm(739G)	
3000rpm(1662G)	
4000rpm(2954G)	
1000rpm(185G)	10分

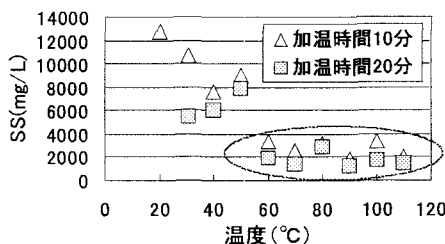


図 1. 加温実験の結果

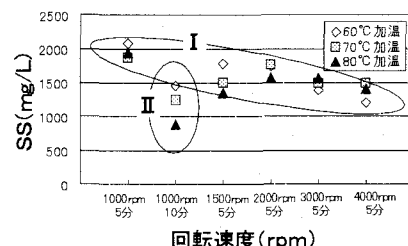


図 2. 遠心実験の結果

4. パイロットプラントにおける馬鈴薯澱粉廃水の加温+遠心分離による前処理に関する検討

4.1 実験方法 室内実験より得られたデータを元に、原液（馬鈴薯澱粉廃水）及び原液を加熱パイロットプラント（処理能力 3.65m³/day）の加圧蒸気により 60、70、80℃に加温したものそれぞれのサンプリングを行い、1000rpm(185G)で10分間遠心分離した後、上澄み液を採取し各サンプルのSS、全窒素(TN)を測定した。

4.2 実験結果および考察 図3に示したパイロット実験の結果について、馬鈴薯澱粉廃水を加温処理することによりSS濃度が低下したことがわかる。なお、図3には室内実験(3.2)の結果も併記した。図3より、加温処理を行った廃水について、加熱パイロット実験と室内実験との結果がほぼ一致したことがわかる。これは室内実験から得られた設定条件を加熱パイロットプラント（引いては実プラント）にも適用できることを意味している。また、前処理前の馬鈴薯澱粉廃水のTNは3000(mg/L)程度であったが、前処理後では1500(mg/L)程度に低下したため（データは非表示）、前処理後に行う嫌気性処理（中温及び高温UASB法）においてアンモニアによる菌への阻害は生じないものと考えられる。

5. 馬鈴薯廃水処理における中温及び高温UASB法によるCOD_{Cr}除去率およびメタンガス回収に関する比較

5.1 実験方法 図4にUASB装置（有効容積10.52L）の概略図を示す。反応槽内の水温は嫌気性微生物（中温菌、高温菌）の活動を恒常的に保持するのが容易な35℃、55℃に設定し、4.の前処理後の馬鈴薯澱粉廃水をリアクター下部から流入させ、リアクター上部より流出する処理水のCOD_{Cr}を測定し、またメタンガス発生量を測定し、それらの比較を行った。馬鈴薯澱粉廃水に対する前処理は実験の都合上、加圧蒸気による加温を60℃～80℃で行い、加温後は遠心分離でなく自然沈降によってSSの除去を行った。本来行うはずの60℃加温後に1000rpmの遠心分離を10分間という前処理を行っていないが、廃水中の各成分は図5からわかるようにほぼ同じであった。よって前処理方法の変更による馬鈴薯澱粉廃水への影響は少ないものと考えられる。

5.2 まとめ 一般的に高温菌は中温菌に比べ数倍の活性を有する反面、廃水中に含まれる硫化物やアンモニア、重金属等の阻害性物質に対する耐性が中温菌に比べて劣ることが知られている。

図6、図7より、中温UASB法に比べ高温UASB法におけるCOD_{Cr}除去率、メタンガス発生量がともに高かったことがわかる。これは前述のように、中温菌に比べ高温菌の方が活性が高かったためであり、高温菌が高い活性を維持できた理由は、高温菌が前処理後の馬鈴薯澱粉廃水中に含まれる硫化物やNH₄⁺-Nなどの阻害物質による影響をほとんど受けなかったためである。したがって本研究で扱った馬鈴薯澱粉廃水には阻害性物質がほとんど含まれていなかったと考えられる。また図6より、高温UASB法における運転開始時（run1～run2）の除去率が低い、あるいは不安定であるのは、微生物の増殖誘導期（細胞が増殖を開始する準備期間）にあたるためと考えられる。以上のことより、前処理後の馬鈴薯澱粉廃水に関する嫌気性処理（UASB法）は、中温UASB法に比べ高温UASB法の方が高いCOD_{Cr}除去性能、メタンガス生成能を発揮することが明らかとなった。

6. 結論

室内実験の結果より馬鈴薯澱粉廃水の前処理としてのSS除去には、廃水を60℃で加温後、1000rpmで10分間の遠心分離を行う条件が妥当であることが明らかとなった。パイロットプラントにおいて室内実験と同様の実験を行ったところ、室内実験の結果とほぼ一致したことより室内実験から得られた設定条件を加熱パイロットプラント（引いては実プラント）にも適用できることがわかった。

前処理によりSSを除去した後の馬鈴薯澱粉廃水に関する嫌気性処理について、高温UASB法は中温UASB法に比べて高いCOD_{Cr}除去性能、メタンガス生成能を有していることが明らかとなった。

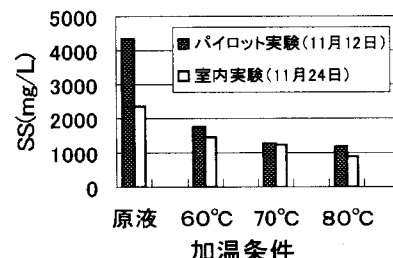


図3. 室内実験、パイロット実験に関するSSの比較

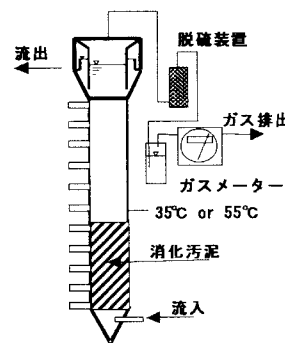


図4. UASB装置概略図

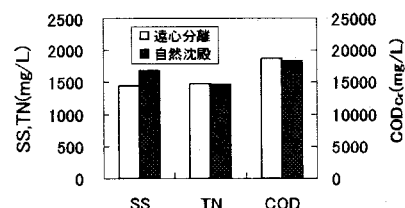


図5. 廃液成分の比較

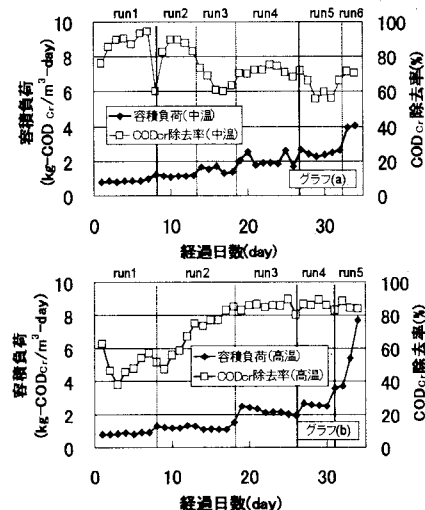


図6. 容積負荷とCOD_{Cr}除去率の経日変化 (a)中温、(b)高温

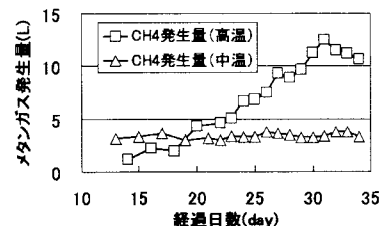


図7. メタンガス発生量の経日変化