

「アクアルネッサンス90」
でんぶん系廃水ベンチプラント試験

(株)神戸製鋼所生物研究所 ○柳 長太、知福博行、堀口 真、佐藤正夫、高原義昌

1. はじめに

嫌気性メタン発酵法による廃水処理は着実に普及しているが、処理の安定性や処理水質に問題を残しており、活性汚泥法による後処理が不可欠であった。アクアルネッサンス計画では、分離膜とバイオリアクターを組み合わせることにより、従来の嫌気性処理の問題点を解決するだけでなく、高速処理の可能な膜複合バイオリアクターの開発を実施してきた。当社は、本プロジェクトにおいて、高濃度、高SS性の小麦でんぷん製造廃水を対象として、膜複合二槽式バイオリアクターの開発を担当しており、処理におよぼす膜の効果および許容負荷やガス化率等の処理特性等について検討してきた。ベンチプラントは小麦粉からでんぷんや蛋白を製造している兵庫県赤松郡山崎町の長田産業㈱の工場内に設置し、試験運転を実施した。

2. 廃水とベンチプラント

2.1 小麦でんぶん製造廃水

小麦でんぷんの製造はでんぷんと同時にグルテン（小麦蛋白）を製造することで、小麦粉に清水を加えて、でんぷを洗い出すことにより行われる。このとき、清水は原料小麦粉の11～15倍量が用いられ、そのほとんどが廃水として排出される。この水は小麦粉中の可溶性成分とでんぷん以外の不溶性固体成分を除去する役目をする。したがって、廃水は溶解性成分と多量のSSを含み、その主成分は炭水化物、蛋白質、脂質である。廃水の水質を表1に示した。

表1でんぷん製造廃水 (単位: mg/l)

項目	濃度	項目	濃度
BOD	12,500	蛋白質	3,000
COD	19,000	脂質	400
TOC	6,400	K-N	500
SS	3,500	T-S	50
炭水化物	3,500	T-P	120

2.2 ベンチプラント

嫌気性メタン発酵による有機物からガスへの分解は、炭水化物、蛋白質、脂質等が単糖類、アミノ酸、脂肪酸等を経て、酢酸やプロピオン酸等の低級脂肪酸に分解される酸生成過程と低級脂肪酸がメタンや炭酸ガスに分解されるガス生成過程に大別され、それぞれに関与する微生物の最適な環境条件が異なる。そのため、酸生成過程とガス生成過程を分離した、二槽式バイオリアクターシステムを提案した。二槽式システムの概略フローを図1に示した。

廃水は原則として、工場が操業される月曜から金曜日までは工場から直接、土曜、日曜日は工場の廃水処理設備用の調整槽から取水して酸発酵リアクターに連続的に供給した。酸発酵処理水は膜装置に送り、その透過水をメタン発酵リアクターに供給した。膜濃縮水は酸発酵リアクターに返送した。メタン発酵リアクターについても同様にした。

(1)酸発酵リアクター

酸生成過程では、SSの流入や水質変動の影響を直接受けるので、SSのバイオリアクター内での保留効果や安定性に優れている、固定床式リアクターを用いた。

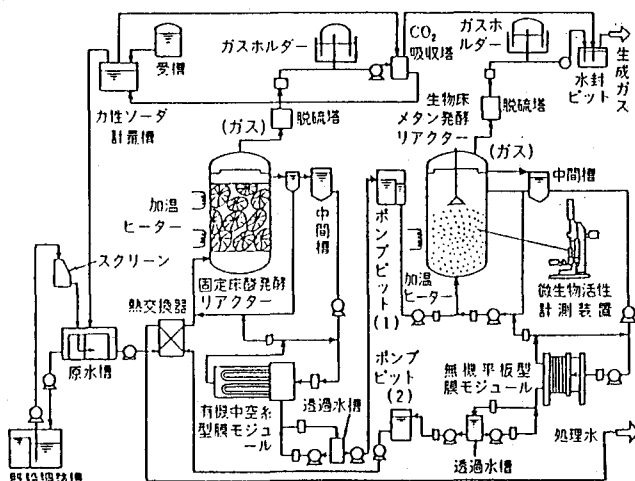


図1 ベンチプラントフローシート

(2)メタン発酵リアクター

ガス生成過程では、SSを全く含まず、低級脂肪酸を主成分とする清澄な酸発酵膜透過水が供給されるので、容積効率の優れている生物床式リアクターを用いた。

表2に二槽式バイオリアクターの設計条件および仕様をまとめた。

表2 二槽式バイオリアクターの設計条件・仕様

		項 目
設計条件	処理水量	: 5 m ³ /日
	原水水質	: BOD15,000mg/ℓ、SS3,000mg/ℓ
リアクター仕様	水温	: 原水: 20℃、リアクター: 37℃
	BOD 負荷	: 15 kg/m ³ ・日
	リアクター容積	: 酸発酵 3 m ³ 、メタン発酵 2 m ³
	型 式	: 固定床式、φ1,200 × 3"2,600
	容 積	: 3 m ³ (有効 2.7 m ³)
	充 填 材	: PVC 製円盤型 (充填容量 2.7 m ³)
	型 式	: 生物床式、φ1,000 × 3"2,600
	容 積	: 2 m ³ (有効 1.5 m ³)

3. 試験結果

3.1 BOD 負荷とガス化率

二槽式バイオリアクターを立ち上げた後、膜分離装置を接続し、BOD負荷15kg/m³・日を目標にして長期連続運転を行い、定常運転における処理特性、安定性等について検討した。なお、酸発酵リアクターpHは5.3±0.2となるようpH調整を行った。メタン発酵リアクターpHは7.0～7.3になったので、pH調整は行わなかった。図2および図3にそれぞれBOD負荷、ガス化率(TOC基準)の経日変化を示した。BOD負荷は、原水水質が変動したため大幅に変動したが、開発目標値の15kg/m³・日を達成することができた。また、負荷がこのような大幅に変動しても酸発酵リアクターに膜を組み込んだことにより、酸発酵、メタン発酵リアクターとも良好な処理性能を維持でき、ガス化率は、ほぼ開発目標値の80%を達成できた。

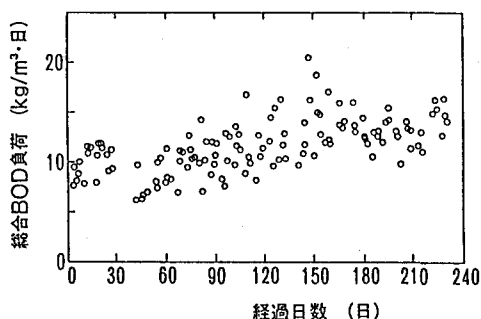


図2 総合負荷経日変化

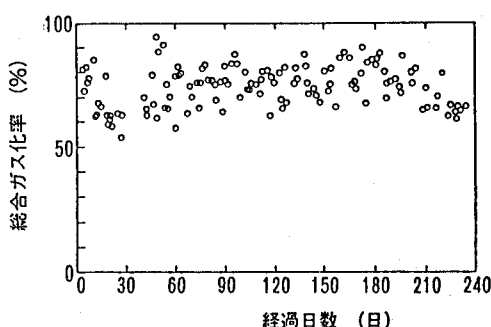


図3 総合ガス化率経日変化

3.2 処理水水質

表3に、酸発酵⇒膜⇒メタン発酵⇒膜のシステムにおける各工程の水質についてまとめた。また、図4にメタン発酵処理水水質の経日変化を示した。

表3から明らかなように、メタン発酵リアクターの供給水(酸発酵膜透過水)中の有機物は、すべて溶解性有機物で、その約90%は酢酸、プロピオン酸を主体とした低級脂肪酸であった。この結果、メタン発酵リアクターでは酸発酵膜透過水中の有機物の約95%がガス化され、メタン発酵処理水BODは40mg/ℓ、SSは100mg/ℓとなった。さらに、メタン発酵後段の膜により、膜透過水のBOD

表3 各工程の水質

	原 水	酸 発 酵		メタン発酵	
		処理水	膜透過	処理水	膜透過
SS (mg/ℓ)	3,500	11,000	0	100	0
BOD (mg/ℓ)	12,500	18,000	5,800	41	20
COD (mg/ℓ)	19,000	27,000	8,200	260	180
TOC (mg/ℓ)	6,400	9,100	2,460	100	35
S-TOC(mg/ℓ)	4,700	2,600	2,460	35	35
VFA-C(mg/ℓ)	80	2,150	2,146	0	0
pH (—)	4.5	5.4	5.5	7.3	7.5

は20mg/ℓとなり、メタン発酵処理水のBODを50%除去できたが、システム全体として見ると、膜の設置は効果的であるとはいえなかった。また、メタン発酵処理水中に有機酸は検出されず、負荷が大幅に変動したにもかかわらず、長期間安定して極めて良好な処理水質が得られた。この段階での有機物除去率は99.5%以上となった。一方、酸発酵後段に膜を設置しないシステム（酸発酵⇒メタン発酵）での有機物除去率は85%であった。このように酸発酵後段の膜は有効に作用し、酸発酵⇒膜⇒メタン発酵のシステムでBOD除去率99%以上が得られることが明らかとなった。

3.3 ガス発生量と組成

酸発酵・メタン発酵リアクターから発生するガス量と組成について表4にまとめた。処理水中に溶け込んだガス量も含めたシステム全体の発生ガス量は、供給廃水量に対し9.5倍（回収ガス量は8.5倍）となり、このうち酸発酵リアクターからのガスが約50%を占めた。酸発酵リアクターからの発生ガスには45～50%のメタンが含まれ、残りは炭酸ガスで水素はほとんど検出されなかった。一方、メタン発酵リアクターの回収ガスはメタン約80%、炭酸ガス約20%で、システム全体のメタンガス濃度は60～65%であった。

表4 ガス発生量と組成

		酸発酵	メタン	総 合
全ガス量 (Nm ³ /m ³)		5.0	4.5	9.5
回収ガス量(Nm ³ /m ³)		5.0	3.5	8.5
回収ガス組成	CH ₄ (%)	49	80	62
	CO ₂ (%)	50	20	38
	H ₂ (%)	<0.1	<0.1	<0.1
	H ₂ S (%)	0.5	0.05	0.2

3.4 炭素収支

システムの炭素収支の計算例を図3に示した。

これは、BOD負荷約8kg/m³・日の場合の例である。この実験期間中には汚泥の引き抜きは行わなかったため、余剰汚泥は主に酸発酵リアクター中に蓄積したものと考えられる。余剰汚泥の発生率はTOCとして約10%で、菌体の増殖率を考慮すると妥当と考えられる。ガス化率は89%で高い値を示した。

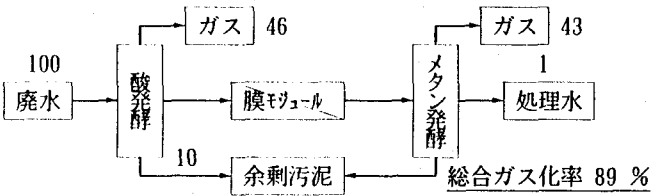


図2 炭素収支の例（単位：TOC %）

4. まとめ

酸発酵リアクターに膜を組み込んだ固定床酸発酵リアクターと生物床メタン発酵リアクターからなる膜複合二槽式バイオリアクターにより、小麦でんぷん廃水をBOD負荷15kg/m³・日で処理することができ、ガス化率も開発目標の80%を達成することができた。また、酸発酵リアクターに膜を設置することにより後段のメタン発酵リアクターで安定した運転が可能となり、処理水質が大幅に向上した。この結果、酸発酵⇒膜⇒メタン発酵のシステムでのBOD除去率は99%以上となり、嫌気処理だけで直接放流可能な程度の処理水質が得られた。メタン発酵後段の膜は、SS除去に効果はあるものの、処理水質やガス化率に及ぼす効果は少なかった。

このように酸発酵⇒膜⇒メタン発酵の二槽式メタン発酵システムは従来技術とくらべ高効率で、しかも高度な処理水質が得られる嫌気性廃水処理技術であることが明らかとなった。現在、高濃度廃水パイロットプラントとして実証運転を行い実用化のための課題を検討しているところである。

5. おわりに

本研究は、新エネルギー・産業技術総合開発機構からアクアルネサンス技術研究組合への委託業務「高性能分離膜複合メタンガス製造装置開発」の一環として実施されたものである。