不織布担体を用いたAnaerobic Filterによる食品廃水のメタン発酵

千代田化工建設㈱　油科嘉則，長谷川潤，○佐藤広巳

1．はじめに

食品廃水のうち油脂・蛋白系の廃水については，メタン発酵を実施している例は国内外共に比較的少ない。本研究開発では，固形性の大豆蛋白質を含む廃水を常温（30℃）にて処理する固定床型二相式バイオリアクターを，植物油脂製造工場に設置し長期連続運転を行った。使用した廃水のＢＯＤは 1,000mg／ℓ以下であり，且つ比較的低温下でメタン発酵を行うため，バイオリアクター内に高濃度に微生物を集積することが実用化への目処となる。そこで本研究開発では，高速メタン発酵を目的として複雑な三次元微小空間を有する合成樹脂製の不織布を担体として用いた[1]。不織布は，「繊維のシート状のかたまりを接着して織物状にしたもの」で，微生物は繊維表面に付着するのみならず，繊維によって構成される空間に捕捉される形で集積されるため，メタン細菌のような増殖の遅い微生物でも高濃度に保持することが期待できる。

この実験の結果，比較的低濃度，低温条件においても嫌気性処理は充分に進行すること，また，好気性処理の所要動力と比較した場合省エネルギー装置となりうることが判明した。

2．実　験

実験に使用した廃水は，植物油脂製造工場の油粕処理工程から排出されるもので固形性の大豆蛋白質を多量に含んでいる。平均水質を表１に示す。本廃水はCOD_{Cr}とＢＯＤの比が1.6と比較的高く，全有機物の約60%が蛋白質で占められているため分解が遅いと予想されるもので，上記の担体の性能を確認するには好適であると判断された。

表１　廃水の水質

項　　目	平均値	標準偏差
ＢＯＤ　〔mg／ℓ〕	831	30
COD_{Cr}〔mg／ℓ〕	1,314	62
ＴＯＣ　〔mg／ℓ〕	538	25
ＳＳ　〔mg／ℓ〕	689	242

同工場内に設置した実験装置のブロックフローを図１に示す。バイオリアクターは１槽で内部を酸発酵部とメタン発酵部に分割した二相式である。酸発酵部は幅900mm ×長さ 750mm×高さ 1,950mm（満水容積１m³），メタン発酵部は幅 900mm×長さ 900mm×高さ 3,020mm（満水容積２m³），合計３m³となっており，両発酵部各々に不織布担体が充填されている。バイオリアクターの運転にあたっては，両発酵部共に槽内が完全混合となるように上向流で循環し，酸発酵部のｐＨは6，メタン発酵部は7.5にコントロールした。また，実験期間中の発酵部の槽内平均

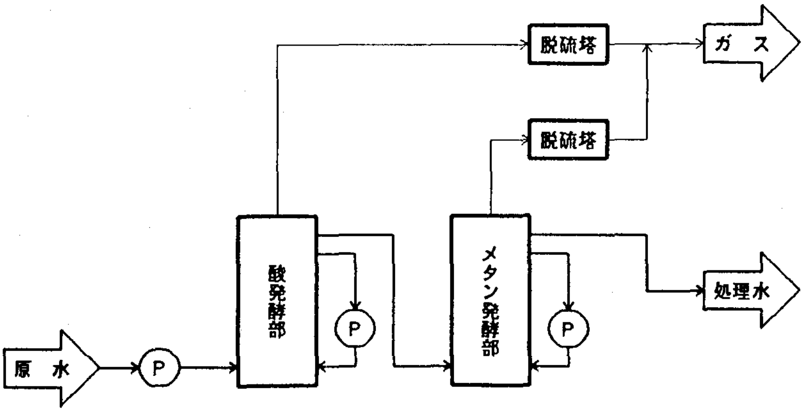

図１　実験装置ブロックフローシート

温度は共に31℃であった。

種菌として下水処理場の消化汚泥を用い，両発酵部それぞれの槽内ＶＳＳ濃度が約 3,500mg／ℓとなるように投入した。その後，実廃水の供給量を徐々に増加して行き，約50日で馴養を完了した。

3．実験結果及び考察

馴養運転終了後，供給水量7.2㎥／日（ＢＯＤ負荷約2kg／㎥・日）におけるＣＯＤ$_{cr}$基準のガス化率とＴＯＣ濃度の推移を図2に示す。本図より，運転が比較的安定しており，高いレベルでメタンガスが回収されたことがわかる。尚，ＣＯＤ$_{cr}$基準ガス化率の定義は次式により，発生メタンには処理水に溶解しているメタンも含めた。

$$\text{ＣＯＤ}_{cr}\text{基準ガス化率} = \frac{\text{発生メタンの完全燃焼酸素量}}{\text{流入ＣＯＤ}_{cr}\text{量}} \times 100 \qquad (1)$$

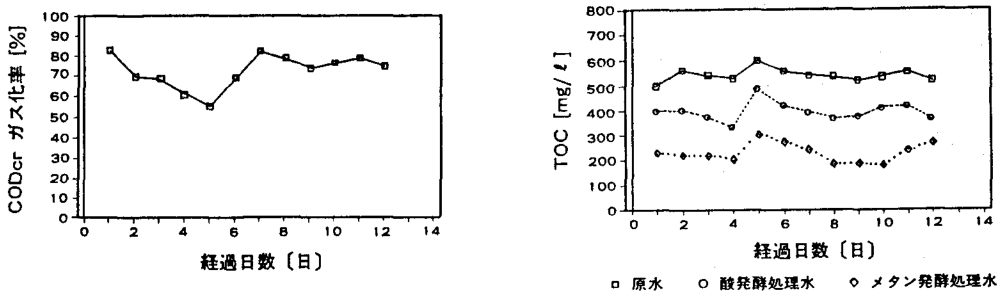

図2　ガス化率及びＴＯＣ濃度の推移

次に，この間の平均データを図3に示す。

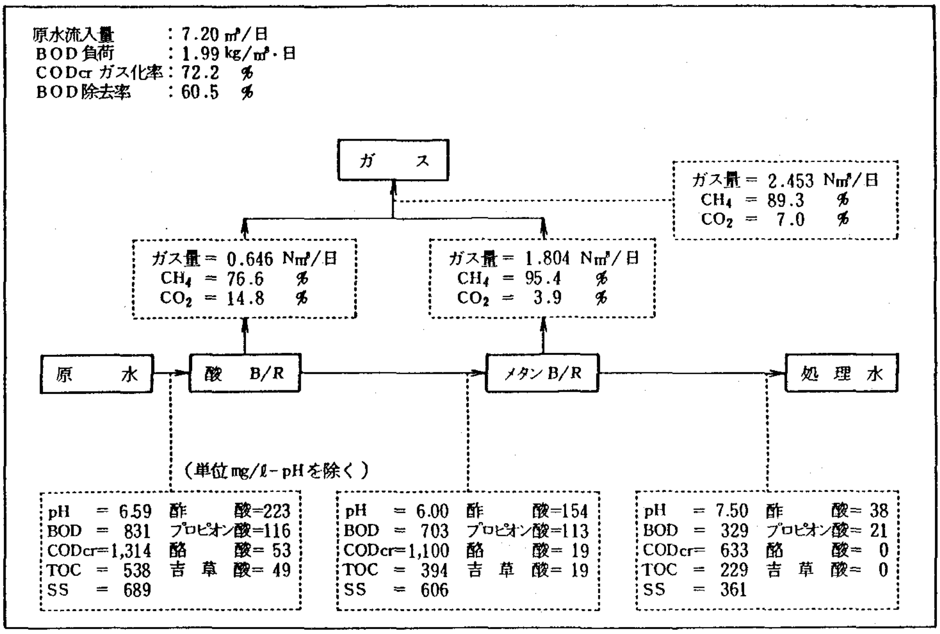

図3　ＢＯＤ負荷約2kg／㎥・日　における平均データ

ＢＯＤ負荷及びＢＯＤ除去率は共に両発酵部オーバーオールの値として(2), (3)式によって算出した。

$$\text{BOD容積負荷} = \frac{\text{原水流入量} \times \text{原水BOD}}{\text{バイオリアクター満水容積}} \quad \cdots\cdots (2)$$

$$\text{BOD除去率} = \frac{\text{原水BOD} - \text{処理水BOD}}{\text{原水BOD}} \times 100 \quad \cdots\cdots (3)$$

本図において，原水，酸発酵処理水，メタン発酵処理水それぞれのＳＳ濃度に注目してみると，酸発酵部におけるＳＳの減少割合が小さく，そのためメタン発酵部から流出するＳＳ濃度も高くなって水質が悪化していることが伺われる。メタンへの転換反応が全て低級脂肪酸（ＶＦＡ）を経由し(4)式によって量論的に進行するものと仮定し[2]，ＶＦＡ濃度と発生ガス量から両発酵部で新たに生成されたＶＦＡ量を求めてみると，酢酸換算で酸発酵部においては73mg／ℓ，メタン発酵部においては 325mg／ℓと算出され，酸発酵部での反応が充分には進行していないことが判明した。この原因としては，装置の設計時点よりも運転時のＳＳ濃度が約２倍程度高かったことが大きいと考えられるが，結果的に蛋白質の分解（可溶化・酸発酵）速度が極めて遅いことが確認された。

$$C_nH_aO_b + \left\{n - \frac{a}{4} - \frac{b}{2}\right\} H_2O$$

$$\rightarrow \frac{1}{8}(4n + a - 2b)\,CH_4 + \frac{1}{8}(4n - a + 2b)\,CO_2 \quad \cdots\cdots (4)$$

しかしながら，リアクター全体としての性能を評価してみると，本処理法は高い負荷で運転が可能であり，本廃水のようにＢＯＤが 830mg／ℓと比較的低い廃水であっても充分にメタンガスを回収することができることが確認された。また，回収ガス中のメタン濃度も89.3%と高率であり，有効利用への期待が持たれるものであった。

さらに，本処理法における消費動力についても，表２に示すように一般的な好気性処理に比較して極めて有利であり，消エネルギーの観点からも実用化の意義が大きいと考えられる。

表２　消費動力試算

☆試算条件 ・廃水量　50m³／日 ・ＢＯＤ 850mg／ℓ，60%除去
☆好気性処理の曝気動力 0.51kwh/m³廃水 （1 kwh/ΔkgＢＯＤ）
☆本法の循環動力 0.19kwh/m³廃水 （ポンプ効率0.85，モータ効率0.6）

４．おわりに

不織布を担体とする低濃度廃水用二相式メタン発酵プロセスについて，食品工場実廃水を用いて処理実験を行った。その結果，ＢＯＤ濃度 830mg／ℓ程度の廃水であっても嫌気性処理の実用性が充分あることが確認された。また，ＳＳの可溶化・酸発酵反応が律速となっていることから，分離膜を導入して，原水中に含まれているＳＳ成分を系内に保持させ反応を促進させると共に，処理水質の向上を図るべく現在さらに検討を進めている。

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。

〔参考文献〕

1)　油科，長谷川，佐藤：化学工学協会第53年会Ｅ３１１（1988）
2)　P.L.McCarty:Public Works(1964)