

## B-23 糖蜜系廃水の適切処理技術の開発

○ 佐瀬 信哉<sup>1,2</sup>・小野寺 崇<sup>2</sup>・山口 隆司<sup>1</sup>・角野 晴彦<sup>3</sup>・  
 Pairaya Choesai<sup>4</sup>・蛭江 美孝<sup>5</sup>・徐 開欽<sup>5</sup>・富岡 典子<sup>2</sup>・珠坪 一晃<sup>2\*</sup>

<sup>1</sup>長岡技術科学大学 環境・建設系 (〒940-2188 新潟県長岡市上富岡 1603-1)

<sup>2</sup>国立環境研究所 水圏環境研究領域 (〒305-8506 茨城県つくば市小野川 16-2)

<sup>3</sup>岐阜工業高等専門学校 環境都市工学科 (〒501-0495 岐阜県本巣市上真桑 2236-2)

<sup>4</sup>Khon Kaen University (Aumphur Muang, Khon Kaen 40002, Thailand)

<sup>5</sup>国立環境研究所 循環型社会・廃棄物研究センター (〒305-8506 茨城県つくば市小野川 16-2)

\*E-mail: stubo@nies.go.jp

### 1. はじめに

糖蜜はサトウキビや甜菜から粗糖を生産する工程の副産物としてキビ重量の3-4%程度産出される。糖蜜中には糖質をはじめタンパク質やミネラルを多く含むことから、発酵生産物の原料として利用されてきた。近年、東南アジア地域の開発途上国では糖蜜を原料としたバイオエタノールの製造が活発化している。その製造過程で生じる蒸留廃液は主にラグーン(安定化池)により処理されており、温室効果ガス(メタン)の大気放散や水環境汚染の要因となっている。また、糖蜜系廃液は、高有機物濃度であり微生物への阻害成分となるカチオン類、硫酸塩(硫化物)や難分解有機物を含むため処理が困難な廃水である。

本研究では、糖蜜系廃水の適切処理技術を確立するため、ラボスケールでの糖蜜廃液の連続メタン発酵処理試験を行った。

### 2. 実験方法

図-1に示したラボスケールのリアクターを用い、糖蜜廃液の連続メタン発酵処理試験を行った。本実験では、メタン発酵を安定的に行うために、前処理として酸生成槽を設置し、後段に高負荷運転が可能なMS-UASB(Multi-staged Upflow Anaerobic Sludge Blanket)と残存有機物を処理するUASBを直列に配置した。また、運転開始後56日目からろ床型好気性処理槽のDHS(Downflow Hanging Sponge)2槽をUASBの後段に直列に組み合わせたシステムを用いた。MS-UASBには高さ方向に3段の気固液分離装置を設置し、汚泥保持量の確保と迅速なバイオガスの系外排出を試みた。

実験開始時に4℃で長期保存した中温グラニューールをMS-UASBおよびUASBに接種した。供給廃水として、鹿児島県産の糖蜜を水道水で希釈し、重炭酸ナトリウムを所定の濃度になるよう添加したものをを用いた(表-1)。

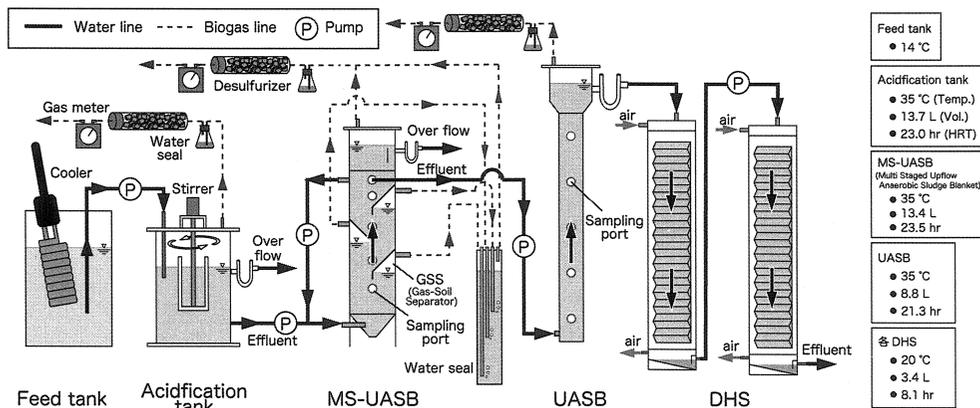


図-1. 糖蜜廃液処理システムのフローと各リアクターの運転条件

酸生成槽とメタン発酵槽は 35°C, DHS は 20°Cにて運転を行った。HRT は酸生成槽と各メタン発酵槽でそれぞれ約 1日, 各 DHS で約 8時間とし運転を行った。

表-1. 各 Phase の廃水濃度と重炭酸ナトリウム濃度

Phase	Phase1	Phase2	Phase3	Phase4
day	0 - 24	25 - 53	54 - 80	81 - 143
COD <sub>cr</sub> (mg/L)	3,000	5,000	8,000	10,000
NaHCO <sub>3</sub> (mg/L)	2,400	4,000	6,400	8,000

Phase5	Phase6	Phase7	Phase8
144 - 177	178 - 190	191 - 209	210 - 234
15,000	22,000	30,000	40,000
9,000	13,000	15,000	16,000

### 3. 実験結果および考察

#### (1) 有機物除去

図-2 に各リアクターの流入・流出 COD 濃度およびシステム全体での COD 除去率を示す。運転開始から約 10日間で、徐々にメタン発酵槽での処理性能が向上し、それ以降の期間は安定した COD 除去率を維持することができた。流入廃水濃度を増加させると、一時的に MS-UASB の除去率が低下したが、後段の UASB および DHS により安定的に処理され、システム全体で除去率 90%以上を得ることができた。なお、酸生成槽では廃水の COD は除去されず、主に MS-UASB で除去されていた。

図-3 に各リアクターの有機物負荷量, 図-4 に各リアクターの流入・流出 VFA 濃度を示す。ここでの VFA 濃度は酢酸, プロピオン酸, 酪酸, 吉草酸の総量とする。流入濃度 40,000 mgCOD/L に上昇させると、過負荷状態となり MS-UASB での COD 除去性能が大幅に低下した。これは、酸生成槽で十分に酸生成が行われず、MS-UASB 内で酸敗傾向となり (図-4)、メタン発酵が十分に行えなかったと考えられる。それに加え、酸生成槽内の汚泥濃度が増加し MS-UASB へ SS 成分が多量に流入したことで、MS-UASB からの汚泥流出が生じた。しかしながら、後段の UASB や DHS を経ることで処理水質はある程度維持することが出来ていた。以上の結果より、本 MS-UASB の許容容積負荷は、30-33 kgCOD/m<sup>3</sup>/day 程度であり、更なる負荷上昇のためには酸生成槽の運転最適化が必要であると考えられる。

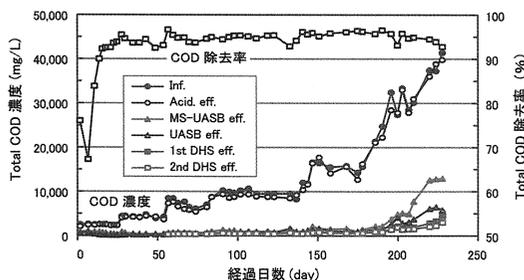


図-2. 各リアクターの流入・流出 COD 濃度およびシステム全体の除去率

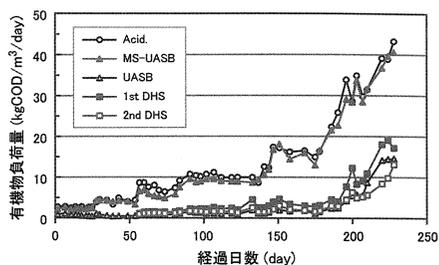


図-3. 各リアクターの有機物負荷量

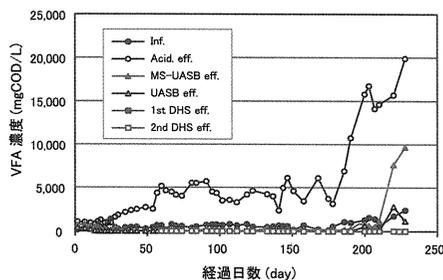


図-4. 各リアクターの流入・流出 VFA 濃度

#### (2) メタン生成量・回収率

図-5 に MS-UASB, UASB におけるメタン生成量と回収率を示す。メタン回収率が 100%を超えるものは 100%として示した。MS-UASB では、負荷の上昇に伴ってメタン生成量が増加した。また、メタン回収率 (メタン生成量/除去 COD 量) は、負荷の変更直後を除き、80%以上と良好であり、除去された有機物のほとんどが MS-UASB でメタンとして回収された。廃水の流入 COD 濃度 30,000 mgCOD/L (COD 負荷 30 kgCOD/m<sup>3</sup>/day) に設定以降は、MS-UASB で十分に処理できなかった有機物が、後段の UASB で分解されメタンとして回収された。

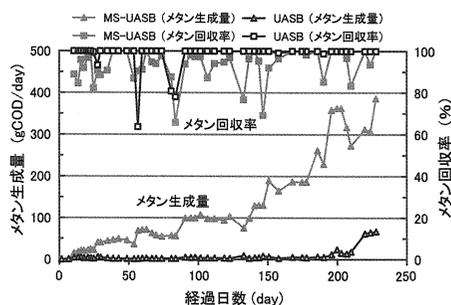


図-5. MS-UASB, UASB におけるメタン生成量と回収率

#### (3) 硫酸塩・硫化物濃度

図-6 に流入, 流出の硫酸塩濃度を示す。流入硫酸塩濃度は流入 COD の濃度とともに上昇した。運転開始時に 100 mg/L 程度であった硫酸塩濃度は 219 日目以降には 1,000-1,500 mg/L に達した。

運転開始後 30 日程度は、酸生成槽と MS-UASB の両方で硫酸塩の除去が生じていた。それ以降は、酸生成槽での硫酸塩還元菌の増殖により、酸生成槽で全ての硫酸塩が除去された。139 日目に酸生成槽で汚泥が増殖し過ぎたため、引き抜きを行った。これにより、酸生成槽で硫酸塩が完全に還元されず残留し、残りは MS-UASB で完全に除去された。また、UASB の後段に DHS を組み合わせて (56 日目) からは、DHS で UASB 処理水中の硫化物の 25-50%程度が硫酸塩にまで酸化された。

図-7 に COD 負荷 22 kgCOD/m<sup>3</sup>/day (流入有機物濃度 22,000 mgCOD/L) での各リアクターの硫酸塩・硫化物濃度を示す。流入水中では硫黄は硫酸塩として約 200 mg/L 存在していた。酸生成槽では、流入した硫酸塩の約 45%を還元し 15%程度を硫化水素ガスとして放出・除去し、30%程度は硫化物イオンとして排出していた。MS-UASB では、流入水中の残存する 50-60%の硫酸塩をすべて還元し、約半分をバイオガスに含まれる硫化水素として、残りの半分程度を硫化物イオンとして排出していた。酸生成槽および MS-UASB で硫化水素として除去された硫化物は約 90-100 mg/L となり、MS-UASB における硫化物阻害の回避に寄与していたと考えられる。

後段の UASB では、流入した硫化物のうち少量が硫化水素として気相部に放出されていたが、ほとんどが硫化物イオンの形で流出していた。DHS では流入した硫化物が硫酸塩 (あるいは元素硫黄) に酸化され、最終的に硫酸塩として 40 mg/L 程度が排出された。

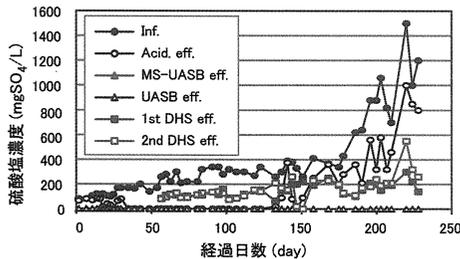


図-6. 各リアクターの流入・流出硫酸塩濃度

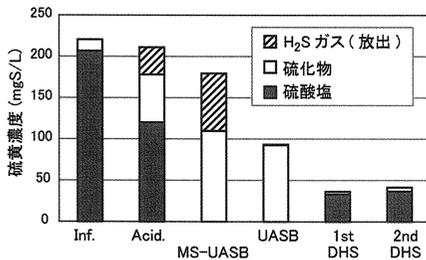


図-7. 22 kgCOD/m<sup>3</sup>/day 時の硫酸塩・硫化物濃度

#### (4) MS-UASB における保持汚泥量とメタン生成活性評価

図-8 に MS-UASB における保持汚泥量を示す。保持汚泥量について、実験開始時には 316 gVSS であったが、最終的に 569 gVSS まで増加した。この要因としては、MS-UASB における微生物の増殖の他に、酸生成槽からの汚泥の流入・蓄積の可能性も考えられる。

図-9 に MS-UASB におけるメタン生成活性の経日変化を示す。実験開始時、水素資化性以外は活性が極めて低かった。178 日目までは全ての活性が上昇したが、213 日目には、水素資化性以外の活性が若干低下した。これは、MS-UASB での汚泥量増加による汚泥負荷の減少、酸生成反応の活発化 (水素生成量が増加) が原因と考えられる。

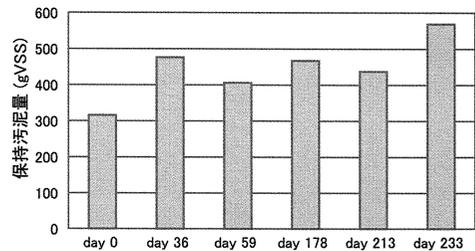


図-8. MS-UASB における保持汚泥量

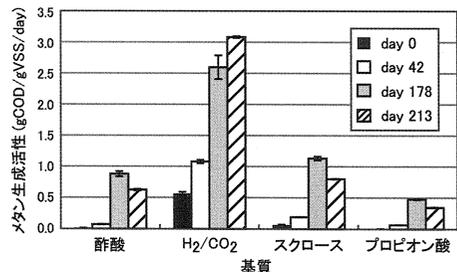


図-9. MS-UASB におけるメタン生成活性の経日変化

#### 4. まとめ

MS-UASB で 30 kgCOD/m<sup>3</sup>/day の高負荷運転を許容し、MS-UASB のみで 87%以上、システム全体で COD 除去率 93%以上の良好な処理性能を示した。MS-UASB で 40 kgCOD/m<sup>3</sup>/day の高負荷運転では、前段の酸生成槽の酸生成が十分量行われておらず、MS-UASB で酸敗した傾向が見られ、良好な処理性能を得ることができなかった。除去された COD の 80%以上は、メタンガスとして回収され、その大部分は、MS-UASB による回収であった。硫酸塩は酸生成槽と MS-UASB により完全に還元されていた。また、硫化物の系外排出は硫化水素によるもので嫌気槽 (酸生成槽, MS-UASB 等) 行われており、残存硫化物は最終的に DHS で酸化され硫酸塩として排出された。