アルコール蒸留廃水を対象とした高温（55℃）メタン発酵の処理水循環運転によるアルカリ剤削減効果の検討

長岡技術科学大学　（学）○山田真義、（正）遠山明、（正）大橋晶良、（正）原田秀樹
鹿児島高専　（正）山内正仁

1．はじめに

UASB 法が開発され 30 年あまりが経過し、現在では食品、飲料廃水を代表とする多種多様な産業廃水に適用され、UASB 法を改良した EGSB、IC リアクターなども含め、世界で 1,000 基あまり建設されている実績がある。様々な産業廃水に適用されてきた UASB プロセスであるが、酸性廃水においては、あらかじめ供給廃水にアルカリ剤を添加する必要があり、ランニングコストが高くなるというデメリットがある [1),2)]。中温プロセスでは代謝由来アルカリ度を生成する廃水を処理する場合、処理水をリサイクルすることにより、投入 pH をコントロールし、アルカリ剤を大幅に削減可能であることが知られている [1),3)]。しかし、中温プロセスの 2～3 倍程度高い負荷を許容可能な高温プロセスのプラグフロー型リアクターでは高負荷運転を行うと酸生成とメタン生成のバランスが不均衡になり、リアクター内の pH 低下を招き酸敗化の原因となるため、高負荷型高温プロセスにおける代謝由来アルカリ度利用によるアルカリ剤削減効果の検討を行うことは重要である。

本研究では代謝由来アルカリ度を生成する廃水（アルコール蒸留廃水）を対象とした高温（55℃）プロセスにおける処理水循環運転を行い、アルカリ剤削減効果をプラグフロー型多段型 UASB（MS-UASB）リアクターにより検討した結果を報告する。

2．実験方法

図 1 に本実験に使用した MS-UASB リアクターのフローシートを示す。高さ方向に 3 段の GSS を設置した液容積 9.6 L のラボスケール MS-UASB リアクターを使用した。運転温度はウォータージャケットにより加温し、高温条件下（55℃）で実験を行った。

表 1 に本実験に使用したアルコール蒸留廃水組成を示す。供給廃水は甘藷焼酎蒸留粕を 3,500 G で遠心分離後の液画分とした。表 2 に処理水循環の運転条件を示す。流入 COD 濃度は水道水で 10,000 mgCOD/l に希釈調整した。アルカリ剤は $NaHCO_3$ を使用した。各 Run で処理水循環なし（Inf. ： Recycle = 1 ： 0）と処理水循環（Inf. ： Recycle = 1 ： 1）運転を行った。Run A では、COD 容積負荷（以下、負荷とする。）を 30 kgCOD/m^3/d（HRT 8 h）、Run B では、負荷を 50 kgCOD/m^3/d（HRT 4.8 h）に設定した。Run A と Run B ともに COD 当たりのアルカリ剤添加量を減少させ、リアクターの処理状況を検討した。

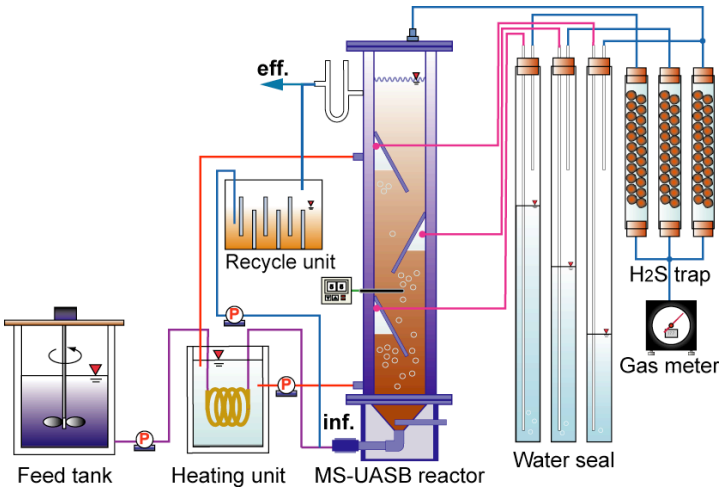

図 1　MS-UASB リアクターのフローシート

表 1　本実験に使用したアルコール蒸留廃水組成

Parameters		Unit	
pH		[-]	4.2
SS		[mg·L-1]	1,080
COD_{Cr}	Total	[mgCOD·L-1]	48,750
	Soluble	[mgCOD·L-1]	47,450
VFA	Acetate	[mgCOD·L-1]	2,450
	Propionate	[mgCOD·L-1]	N.D.
	Butyrate	[mgCOD·L-1]	470
Proteins	Total	[mgCOD·L-1]	5,940
Carbohydrate	Total	[mgCOD·L-1]	5,500
TKN	Total	[mgCOD·L-1]	1,410

表 2　処理水循環運転の実験条件

Run	Effluent recycle ratio [Inf : recycle]	Alkalinity addition per mgCOD Inf. [mg Alk (as $CaCO_3$) /mgCOD]	HRT [h]	OLR [kgCOD·m^{-3}·d^{-1}]
A1	1 : 0	0.18	8.0	30
A2	1 : 1	0.09	8.0	27
A3	1 : 1	0.03	8.0	27
A4	1 : 1	0.00	8.0	27
B1	1 : 0	0.18	4.8	50
B2	1 : 0	0.12	4.8	50
B3	1 : 0	0.09	4.8	50
B4	1 : 1	0.18	4.8	50
B5	1 : 1	0.06	4.8	50
B6	1 : 1	0.03	4.8	50
B7	1 : 1	0.00	4.8	50

キーワード：アルカリ剤削減、処理水循環、UASB、高温メタン発酵、アルコール蒸留廃水
連絡先：〒940-2188 新潟県長岡市上富岡町 1603-1　長岡技術科学大学　環境・建設系
Tel.0258-46-6000（ext. 6646）　Fax.0258-47-9600　E-mail myamada@stn.nagaokaut.ac.jp, ecohara@vos.nagaokaut.ac.jp

アルカリ剤削減効果におけるアルカリ度は Jenkins ら[4]が提案した pH5.75 で滴定する $TBA_{5.75}$ を採用した。エンドポイント pH5.75 で滴定する $TBA_{5.75}$ は、理論的に重炭酸塩の約 80 %が滴定され、VFA は 20 %以下しか寄与しない。そのため $TBA_{5.75}$ は、pH5.75 で滴定されたアルカリ度（$Alk_{5.75}$）に 1.25 を乗じて算出した（式 1）。

$$TBA_{5.75} = Alk_{5.75} \times 1.25 \quad （式 1）$$

３．実験結果及び考察

図 2 に各実験条件における処理水循環運転のアルカリ剤削減効果を示す。Run A のスタートアップで負荷を 30 $kgCOD \cdot m^{-3} \cdot d^{-1}$ に上昇し、COD 除去率が 80%以上に達してから実験を開始した。段階的にアルカリ剤使用量を減少させ、A4 ではアルカリ剤無添加で運転を行った。その結果、処理水循環運転を行うことにより、アルカリ剤無添加で COD 除去率の低下も見られず、処理水アルカリ度も良好な値であった。メタン発酵プロセスの安定性を示す指標[5]である VFA/TA についても 0.3 以下（0.3 以上で VFA の蓄積を意味する。）であり、良好なメタン発酵が行えていることが分かった。

Run B では、負荷を 50 $kgCOD \cdot m^{-3} \cdot d^{-1}$ に上昇させ、B1～B3 まで処理水循環なしでアルカリ剤使用量を減少させた結果、0.09 mgAlk/mgCOD で COD 除去率の低下、VFA/TA の上昇により、メタン発酵プロセスが完全に破綻した。再スタートアップ後に処理水循環運転を開始し、B4～B7 でアルカリ剤使用量を減少させた結果、供給口付近（高さ 5cm）で酢酸濃度及びプロピオン酸濃度の上昇が見られたが、高さ 20cm 付近で濃度の減少傾向が見られ、最終的に COD 除去率 80%以上、VFA/TA も 0.3 以下であり、アルカリ剤無添加で良好なメタン発酵を行うことが可能であった。

以上のことから、処理水循環運転をしない場合、良好なメタン発酵を維持することが出来るアルカリ剤使用量は 0.12 mgAlk/mgCOD で、処理水循環運転をすることによりアルカリ剤使用量をゼロまで削減することが可能であった。

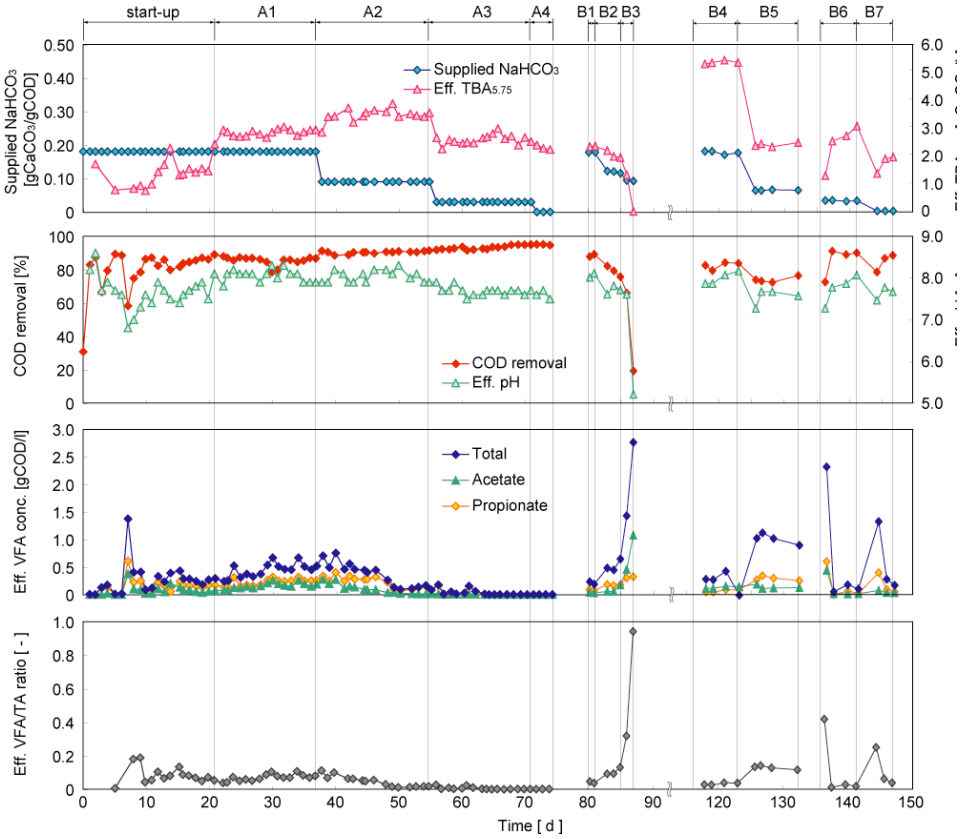

図 2　各実験条件における処理水循環運転のアルカリ剤削減効果

４．おわりに

Run B の高負荷運転（負荷：50 $kgCOD \cdot m^{-3} \cdot d^{-1}$）において、プラグフロー運転では良好なメタン発酵を維持することが出来るアルカリ剤使用量は 0.12 mgAlk/mgCOD であった。処理水循環運転を行うことにより処理水に含まれる代謝由来アルカリ度を利用し、アルカリ剤無添加で良好な高温メタン発酵が可能であった。

参考文献

1) Romli, M., Greenfield, P. F., and Lee, P. L. (1994) Effect of recycle on a two-phase high-rate anaerobic wastewater treatment system. *Wat. Res.*, **28**, 475-482.
2) Lettinga, G. (1985) Anaerobic digestion and wastewater treatment systems. *Antonie van Leeuwenhoek*, **67**, 3-28.
3) Nishimura, S. and Yoda, M. (1996) Effect of decarbonation on alkaline reduction in two-phase UASB process. *Wat. Sci. Tech.*, **34**, 437-444.
4) Jenkins, S. R., Morgan, J. M. and Sawyer C. L. (1983) Measuring anaerobic sludge digestion and growth by a simple alkalimetric titration. *J. Water Pollut. Control Fed.* **143**, 179-192.
5) Punal, A. and Lema, J. M. (1999) Anaerobic treatment of wastewater from a fish-canning factory in a full-scale upflow anaerobic sludge blanket (UASB) reactor. *Wat. Sci. Tech.*, **40**, 57-62.