

## 二相嫌気性処理の酸生成槽における大豆湯煮排水を用いた酸生成条件の検討結果

Analysis of Acid Generation in Acidogenic Tanks of Two-phase Anaerobic Treatment  
Using Wastewater Produced by the Boiled-Beans Manufacturing Industry多田 篤史 岡井 隆  
Atsushi TADA Takashi OKAI

## 要 旨

既報では、単相嫌気性処理の嫌気性ろ床法と膜分離活性汚泥法を組み合わせた排水処理装置を用いた大豆湯煮排水の処理実験を行い、処理性能が良好であることを報告した。今般、嫌気性処理の更なる効率化を図ることを目的として、嫌気処理槽の前段に設置する酸生成槽について処理実験を行い、酸生成条件の最適化を検討した結果、酸生成槽において水温が 30 °C、HRT が 12 時間であるとき、安定して十分な濃度で酸生成が進行すること等の知見を得た。

## Abstract

In the previous report, we conducted treatment experiments at a boiled-beans production facility using a wastewater treatment device combining anaerobic filters of one-phase anaerobic treatment and membrane bioreactors, and reported that the treatment performance was excellent. In this report, in order to further improve the efficiency of anaerobic treatment, we conducted experiments installing an acidogenic tank before the anaerobic treatment tank, and examined the optimal condition for acid generation. It was found that acid generation progresses stably at sufficient concentration at a water temperature of 30 °C in an acidogenic tank with a HRT of 12 hours.

キーワード：二相嫌気性処理 揮発性有機酸 (VFA) 水理学的滞留時間 (HRT)

## I はじめに

当センターでは、小規模な食品製造工場から排出される比較的濃度が高い有機性廃水を対象とし、設置費及び維持管理費等の経済的負担の抑制や運転管理が容易であること等の課題に対応できる排水処理方式について検討を行い、報告したところである<sup>1)2)3)</sup>。排水処理方式として嫌気性処理を採用する場合、単独の嫌気処理槽で処理を行う方法(単相嫌気性処理)と酸生成槽とメタン生成槽を別々の槽に分けて処理する方法(二相嫌気性処理)がある。酸生成槽は嫌気条件下で排水を攪拌することで有機酸の生成を促進させる。過去に開発した排水処理装置は単相嫌気性処理方式を採用しているが、嫌気処理槽の COD<sub>Cr</sub> 除去率の更なる向上を指向すると、嫌気処理槽の前段に酸生成槽を設けた二相嫌気性処理の採用が有効であると考えられる。今般、酸生成槽における有機酸の生成について、予備実験として回分式処理を行った後、連続式処理における条件検討を実施したので報告する。

## II 方法

## 1 実験装置と実験条件(回分式処理)

酸生成実験は、水温並びに攪拌方法を段階的に変化させ、春期に表 1 に示す条件で①～④の順番に実施した。いずれの条件も、容器に蓋をせず開放系で行った。

なお、嫌気条件の発現に曝気操作は不利に作用すると考えられるが、攪拌の手段として一般に用いられているため採用することとし、曝気の有無が揮発性有機酸(VFA)の生成に与える影響についても確認した。

条件①の供試排水には、県内の煮豆製造工場から大豆湯煮廃水を採取し、TOC が 1,500 mg/L になるように水道水で希釈したもの(以下「試験水」という。)を用いた。

条件②の供試排水には、試験水の割合 4 に対し、酸生成菌の濃度上昇を期待して、曝気条件下で放置した試験水の割合が 1 になるように混合したものを用いた。

条件③、④の供試排水には、試験水の割合 4 に対し、それぞれ前の条件で実験した後の試験水の割合が 1 に

表1 回分式処理における酸生成の実験条件

条件	水温 (°C)	攪拌方法	排水 TOC (mg/L)
①	室温	磁気攪拌子	1,500
②		曝気	
③	30	曝気	
④		磁気攪拌子	

なるように混合したものをを用いた。

容器から適時採取した水質試料について、VFA の経時変化を調べた。水質試料の分析は、下水試験方法に準じて行った。

## 2 実験装置と実験条件 (連続式処理)

実験に用いた排水処理装置は、原水調整槽、酸生成槽、貯留槽から成り、1日処理量を4Lとした(図1)。

酸生成槽の水理学的滞留時間(HRT)は、6、12、24時間とした。ガラス製の広口メジュームびんの口をシリコン栓で蓋をして、栓に空けた穴を通じて流入管及びオーバーフロー管を取り付けたものを使用することで、有効容積を適時変化させた。

酸生成槽の立ち上げには、回分式処理をした処理液を有効容積量投入し、マグネチックスターラーで実験中常時攪拌した。酸生成槽を恒温水槽内に設置し、設定温度の±3℃以内になるように管理した。

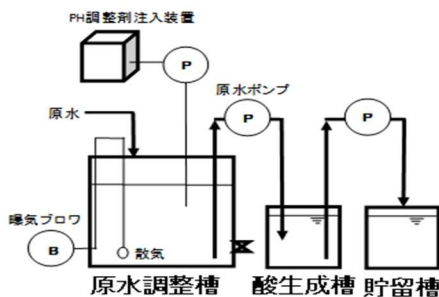


図1 酸生成に係る実験装置

供試排水には、大豆湯煮廃水のTOCが1,500 mg/Lになるように水道水で希釈して4Lとした後、10%水酸化ナトリウム水溶液を添加してpHを6.5~7.0に調整(調整前pH4~6)したもの(以下「原水」という。)を用いた。

酸生成槽の水温並びにHRTを表2に示すように段階的に変化させて、実験を実施した。水温20℃では、水温30℃と比較して酸生成菌の酸生活性の低下が考えられたため、HRT6時間の条件を行わなかった。なお、基本的に土日祝日を除く平日に原水を投入した。

原水調整槽及び酸生成槽内の水質(水温、pH、ORP、TOC、VFA)について、基本的に原水投入時を0時間とし、投入後3、6、24時間経過ごとに調査した。原水の腐敗防止の

表2 連続式処理における酸生成槽の実験条件

条件	水温 (°C)	HRT (H)	容量 (L)	試験期間 (日)
1	30	6	1	14
		12	2	
2	20	12	2	7
		24	4	

ため、原水調整槽に散気球を設置して曝気した。

水質調査は、TOCについては工場排水試験方法、VFAについては下水試験方法に準じて行った。

## III 結果と考察

### 1 回分式処理の実験結果

実験結果を図2に示す。条件①におけるVFAは、実験開始時600 mg/Lであったが、24、48時間経過しても640 mg/Lであり、あまり上昇しなかった。このことは、試験水の煮汁に元々含まれる酸生成菌の濃度が、十分な酸生成を起こすほど高くないことを示唆すると思われた。

条件②におけるVFAは、実験開始時630 mg/Lであったが、21、29時間経過後にはそれぞれ690 mg/L、770 mg/Lであり多少の上昇がみられたことから、曝気条件下で放置した試験水を新たな試験水と混合することは、VFA生成に有効に作用する可能性があると思われた。

条件③におけるVFAは、実験開始時530 mg/Lであったが、40時間経過までは900~1,200 mg/Lとなり、開始時の約2倍に増加した。このことから、VFAの生成には、室温条件よりも30℃の方が有効であると思われた。また、曝気での攪拌は、曝気強度にもよるが、VFAの生成にそこまで支障にならないと思われた。

条件④におけるVFAは、条件③と同様に開始時の約2倍に増加したが、18時間経過後には既に1,200 mg/Lとなっていることから、条件③の場合よりも速やかにVFAの濃度が上昇していた。このことは、磁気攪拌子での攪拌の方が、曝気での攪拌と比べてVFAの生成に好ましいことを示唆すると考えられた。

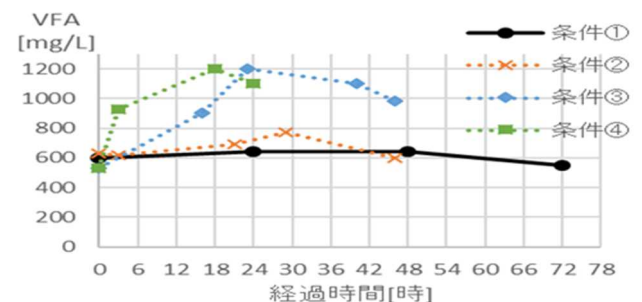


図2 表1の条件におけるVFAの推移(回分式処理)

## 2 連続式処理の実験結果

表2の条件1における原水調整槽及び酸生成槽の水質について、原水投入後0、3、6、24時間経過ごとに調査したデータの平均値、最大値、最小値を表3に示す。また、VFAの推移を図3に、ORPの推移を図4に示す。

酸生成槽(HRT6H)のVFAは、実験開始時に630 mg/Lであったが、1日後に1,600 mg/Lまで上昇し、週明けの5日目に1,000 mg/L未満まで大きく低下するが、その後増加と減少を繰り返しながら推移し、9日目に1,700 mg/L付近まで上昇した。

酸生成槽(HRT12H)のVFAは、開始時に580 mg/Lであり、1日後に1,700 mg/Lまで大きく上昇するが、HRT6Hの場合と異なり週明け(5、12日目)の濃度低下が小さく、1日経過以降は全て1,000 mg/L以上であった。

実験期間中の酸生成槽(HRT12H)のVFA平均値は1,440 mg/Lであり、HRT6Hの場合の平均値1,270 mg/Lよりも高く、1,000 mg/L以上を安定して維持しているため、酸生成槽のHRTは12時間に設定する方が望ましいと考えられた。

また、原水調整槽のVFAは、投入時の原水は約200 mg/Lであるが、時間の経過とともに上昇し、24時間後は700 mg/L以上となり、最大1,500 mg/Lまで上昇した。

原水調整槽の原水は、実験開始時に一定量が槽内に投

入された後、一定流量で嫌気処理槽に移送されるため、時間の経過とともに量が減少し、24時間経って残量が無くなった後、新たな原水が投入されて実験が継続される。

なお、回分式処理における実験では、実験開始時に容器内に試験水を投入した後は、基本的に容器内の試験水の流出入はなく、一定量で実験が行われる。

回分式処理の実験では、室温条件でVFAの大幅な上昇は起こらなかったが、連続式処理における原水調整槽のVFAの上昇は、容器や運転方法の違いが、酸生成菌の生育環境に何らかの影響を及ぼしている可能性があると思われる。

酸生成槽(HRT6H)と酸生成槽(HRT12H)のORPは、8日目までは上昇と低下を繰り返しながら推移したが、8日目以降は-400 mV未満を維持していた。原水調整槽のORPは、原水調整時に高く、最大-71 mVであったが、時間の経過とともに低下し、6時間経過後は-300 mVを下回ることが多かった。

ORPの平均値は、原水調整槽が-332 mV、酸生成槽(HRT6H)が-379 mV、酸生成槽(HRT12H)が-436 mVであり、相対的にHRT12時間の酸生成槽が低くなった。後段の処理に嫌気処理槽を接続する場合、偏性嫌気性菌の生育には酸生成槽で処理した廃水のORPが低い方が有利であることから、HRT12時間の条件が適していると考え

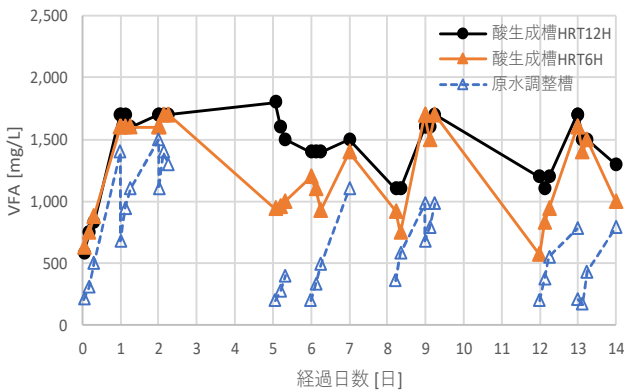


図3 条件1における各槽のVFAの推移

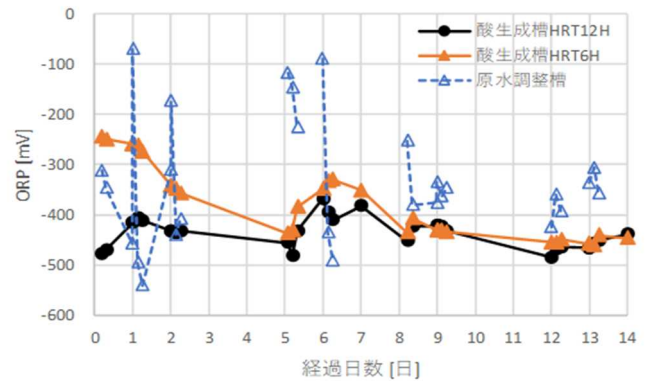


図4 条件1における各槽のORPの推移

表3 連続式処理実験における条件1の実験結果 (酸生成槽の水温 30 °C)

	原水調整槽				酸生成槽 HRT6H				酸生成槽 HRT12H			
	pH	ORP [mV]	TOC [mg/L]	VFA [mg/L]	pH	ORP [mV]	TOC [mg/L]	VFA [mg/L]	pH	ORP [mV]	TOC [mg/L]	VFA [mg/L]
平均値	6.9	-332	1,470	670	6.7	-379	1,060	1,270	6.8	-436	1,030	1,440
最大値	7.5	-71	1,800	1,500	7.4	-244	1,500	1,700	7.3	-368	1,300	1,800
最小値	5.3	-540	1,200	170	5.2	-461	380	570	5.5	-485	630	580

られた。

原水調整槽の TOC は、平均 1,470 mg/L であったが、酸生成槽で処理することにより HRT6H で平均 1,060 mg/L、HRT12H で平均 1,030 mg/L となり、それぞれ約 30 % 減少した。

次に、表 2 の条件 2 における原水調整槽及び酸生成槽の水質を表 4 に示す。また、VFA の推移を図 5 に示す。

各槽の VFA について、原水での挙動は条件 1 の場合とほぼ同じであった。

酸生成槽 (HRT12H) の VFA は、開始時に 1,300 mg/L であったが、2 日後までほぼ同じ濃度で推移し、週明けの 6 日目に 720 mg/L まで大きく低下した後、原水の流入に伴い増加し、週明け 2 日目には元の濃度 (1,300 mg/L) まで増加した。

酸生成槽 (HRT24H) の VFA は、HRT12h の場合とほぼ同じ挙動であった。VFA 平均値は 1,160 mg/L であり、HRT12H の場合の平均値 1,220 mg/L とあまり変わらなかった。

原水調整槽の TOC の平均は 1,330 mg/L であったが、酸生成槽で処理することにより HRT12H で平均 890 mg/L、HRT24H で平均 800 mg/L まで低下し、32~38 % の低下がみられた。

### 3 水温 30 °C (条件 1) と水温 20 °C (条件 2) の比較

酸生成槽の水温が 30 °C (条件 1) と 20 °C (条件 2) の場合について、VFA を比較したものを図 6 に示す。

条件 1 及び条件 2 において、酸生成槽の HRT はともに 12 時間であるが、水温 30 °C の場合、VFA 平均値は 1,440 mg/L、20 °C の場合 1,220 mg/L であった。また、VFA の最大濃度が 30 °C で 1,800 mg/L、20 °C で 1,400 mg/L であり 2 割ほど 30 °C の方が高かった。なお、30 °C の実験後に酸生成槽に残存していた液を利用して、20 °C の実験を行ったため、20 °C の場合に酸生成菌の濃度が低くなっているとは考えにくい。

以上の結果から、酸生成槽の水温が 30 °C のとき、20 °C の場合よりも VFA の平均値と最大値がともに高いため、VFA の生成には 30 °C に設定する方が有利であると考えられる。さらに、酸生成槽の水温が 30 °C の場合、酸生成槽の HRT を 12 時間に設定することで、6 時間の条件よりも VFA の平均値と最大値がともに高くなるため、後段の処理に嫌気処理槽を接続する場合、酸生成槽の運転条件として、水温 30 °C、HRT を 12 時間に設定することが安定的な処理につながると期待できる。

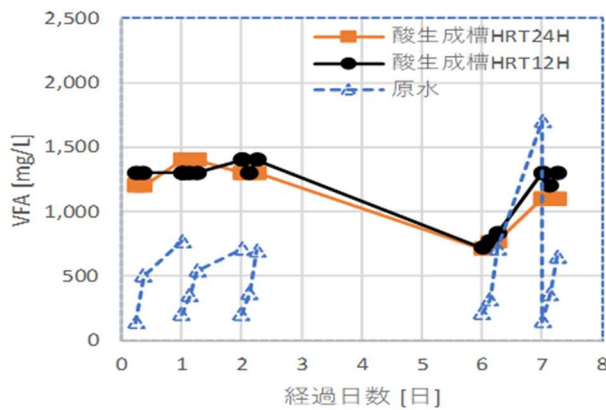


図 5 条件 2 における VFA の推移

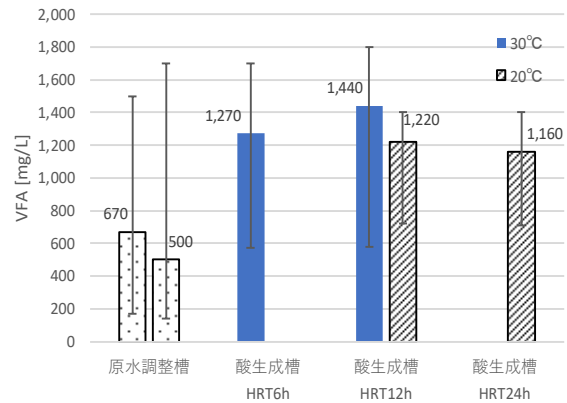


図 6 水温 30 °C と 20 °C における水質の比較

表 4 連続式処理実験における条件 2 の実験結果 (酸生成槽の水温 20°C)

	原水調整槽				酸生成槽 HRT12H				酸生成槽 HRT24H			
	pH	ORP [mV]	TOC [mg/L]	VFA [mg/L]	pH	ORP [mV]	TOC [mg/L]	VFA [mg/L]	pH	ORP [mV]	TOC [mg/L]	VFA [mg/L]
平均値	7.2	-324	1,330	500	7.0	-434	890	1,220	7.0	-364	800	1,160
最大値	8.1	-221	1,500	1,700	7.3	-329	1,100	1,400	7.3	-319	990	1,400
最小値	7.0	-397	1,000	140	6.7	-458	500	720	6.8	-409	570	710

#### IV まとめ

排水処理方式として嫌気性処理を採用する場合、単独の嫌気処理槽で処理を行う方法（単相嫌気性処理）と酸生成槽とメタン生成槽を別々の槽に分けて処理する方法（二相嫌気性処理）がある。当センターで開発した排水処理装置は単相嫌気性処理方式を採用しているが、嫌気処理槽のCOD<sub>Cr</sub>除去率の更なる向上を指向すると、嫌気処理槽の前段に酸生成槽を設けた二相嫌気性処理の採用が有効であると考えられる。今回、大豆湯煮廃水を用い、酸生成槽におけるVFAの生成に影響を与える水温、HRTについて最適条件を検討し、以下の知見を得た。

- 1) 水温 30 °Cにおける酸生成槽のVFAは、HRT12時間の条件が6時間よりも、平均値、最大値ともに高く、実験期間中 1,000 mg/L 以上を安定して維持していたことから、VFAの生成にはHRT12時間の方が有利である。
- 2) HRT12時間における酸生成槽のVFAは、水温 30 °Cの方が20 °Cよりも、平均値、最大値ともに高かったことから、VFAの生成には水温 30 °Cの方が有利である。

今般、酸生成槽の水温を 30 °C、HRT を 12 時間に設定することにより、安定して十分な濃度で酸生成が進行する条件を確立することができた。今後、後段に嫌気処理槽を接続し、処理効率の向上を目指したい。

#### 文献

- 1) 岡井隆, 坂本憲治:嫌気性ろ床法と膜分離活性汚泥法を組み合わせた排水処理装置を用いた煮豆製造排水の処理特性, 全国環境研会誌, 8(2), 16-21(2020)
- 2) 岡井隆, 坂本憲治:嫌気性ろ床法と膜分離活性汚泥法を組み合わせた排水処理装置を用いた煮豆製造排水の処理特性(第2報), 香川県環境保健研究センター所報, 20, 35-40(2021)
- 3) 岡井隆, 多田篤史:嫌気性ろ床法と膜分離活性汚泥法を組み合わせた排水処理装置を用いた煮豆製造排水の処理特性(第3報), 香川県環境保健研究センター所報, 22, 36-41(2023)