

## 乳牛糞尿のばっ気処理技術（第1報）

三津橋浩行，佐々木雄真，鎌田 樹志  
 蓑嶋 裕典，浅野 孝幸，山崎 毅匡\*  
 佐藤 俊明\*，宍戸 勝美\*\*，吉田 豊\*\*

## Aerobic Treatment Technique of Dairy Cattle Liquid Manure (Part I)

Hiroyuki MITSUHASHI, Takema SASAKI, Tatsuyuki KAMADA  
 Hironori MINOSHIMA, Takayuki ASANO, Takamasa YAMAZAKI\*  
 Toshiaki SATO\*, Katsumi SHISHIDO\*\*, Yutaka YOSHIDA\*\*

## 抄 録

近年、経営規模の拡大等による飼養頭数の増加に伴い、家畜糞尿による悪臭あるいは水質汚濁など環境汚染が問題となっている。このような問題を解決するため、糞尿を有機質資源として圃場へ還元すべくばっ気処理を行う必要がある。

本研究では乳牛糞尿のばっ気処理における適正な処理条件を解明し、立ち上げ期間の短縮および適切な運転管理を行うばっ気処理技術を確認することを目的として検討を行っている。本報ではまず、ばっ気量、有機物負荷量等の操作因子と液性状、主にBODの変化との関係を検討したので報告する。

## 1. はじめに

近年、酪農畜産業を取り巻く状況は内外ともに厳しい方向に変化してきている。これに対して業界では飼養頭数の増加、多数農家の集団による経営など経営規模の拡大により低コスト化して国際競争力の増強を図っており、この傾向は今後も進行するものと思われる。北海道においても飼養頭数は増加し、逆に酪農家戸数は減少しており、一戸当たりの飼養頭数が急激に増加している（図-1、2）<sup>1)</sup>。

一方、飼養頭数が増加すると排出される糞尿量は必然的に頭数に対応して増大する。従来、糞尿の処理は固形分を分離して堆肥化し、液状は貯留した後圃場への散布により土壌に還元してきた。しかし、飼養頭数の増加・集中化により還元に必要な圃場面積が得られなくなり、その処理が困難となった。さらに環境への関心の高まりから糞尿による地下水、河

川、湖沼の汚染、また圃場への散布により発生する悪臭が問題化してきた（図-3）。

そこで糞尿を環境に適した性状に処理して有機質肥料等に利活用する検討が行われており、この処理技術の確立は急務となっている。特に北海道においては酪農王国として乳製品が主要生産物であり、乳牛から排泄される糞尿処理の問題は

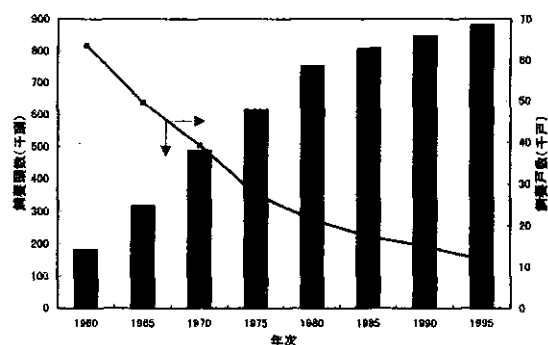


図-1 乳牛の飼養頭数・戸数の推移（北海道）

\* 北海道農政部設計課、\*\* アサヒカーボン株式会社

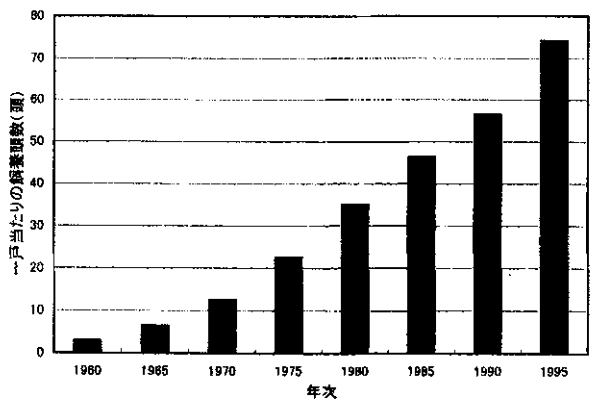


図-2 一戸当たりの飼養頭数 (北海道)

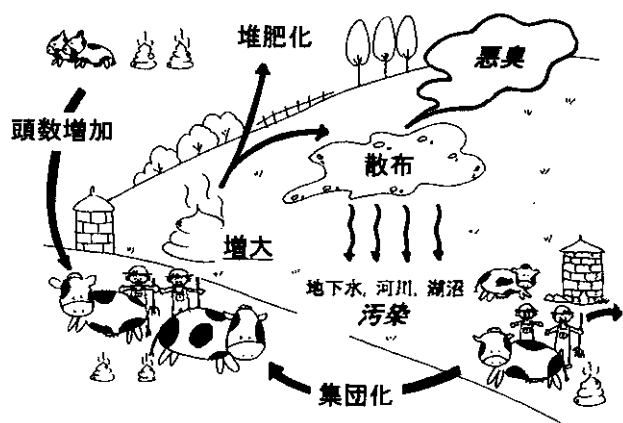


図-3 乳牛糞尿による問題

緊急に解決しなければならない。

糞尿の処理はまず固液分離により固形分と液分に分け、固形分はほとんどが堆肥化される。液分は、飼養形態、糞尿の分離・搬出形態の違いによるTS(乾物)濃度の高いスラリーと低い尿とで性状が異なるが、その処理は主にばっ気または嫌気方式(メタン発酵)により行う(図-4)<sup>2)</sup>。

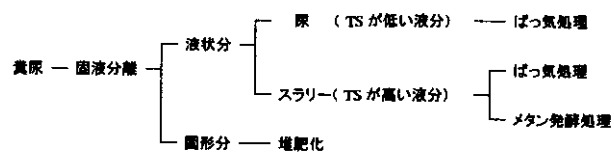


図-4 糞尿の処理方法

この中でばっ気処理は尿またはスラリー液中に強制的に空気を送り込む方法により好気的条件下とし臭気、BOD(有機物等で環境へ負荷を与える成分の量)を好気性・通性嫌気性微生物により低減させるものである。BODおよび臭気の十分除去された処理液が調整可能で、施設規模も比較的小さくて済み、経営規模の小さな農家においても設置可能であり、最も普及するタイプである。

このばっ気処理施設は道内の数十か所に設置されているが

<sup>3)</sup>、ばっ気量、有機物負荷量、汚泥返送量等の検討はもとより液性状の変化に関する検討も未だ十分ではない。このため施設設置後から定常運転に至る立ち上げ期間の短縮化や定常時の適切な運転条件設定は模索段階である。これらは施設・装置規模等のインシヤルコストやランニングコストを左右し、今後の施設普及にも影響を与えるため、早急に解決することが望まれている。

## 2. 試験方法

ばっ気処理においてBODは好気性・通性嫌気性微生物によって除去されるが、これらの微生物の増殖には酸素と栄養分が必要である。ここで栄養分とはBODを与える成分であり、微生物は栄養分を酸素を用いて酸化分解した際に得られるエネルギーによって増殖する。酸素はばっ気により系内に溶解されるが、一般的には液温・ばっ気強度・有機物負荷量が酸素溶解性に影響するとされている<sup>4)</sup>。

そこで、乳牛糞尿のように有機物負荷量が高い処理におけるこれらの操作因子と処理性との関係をBODを測定することにより検討した。

今回は、①回分式の装置を用いて、原尿を投入後種々の操作因子にてばっ気処理し、BODの経時変化を検討する立ち上げ試験、②半回分式の装置を用いて、実際の施設と同様に原尿を連続投入し、ばっ気量の適正な範囲を検証する適正維持ばっ気量試験を行った。

試験は図-5、6に示した装置を用い、鋼製槽に濃度調整した供試尿を投入し、下方からの微細気泡性散気管を用いた散気式全面ばっ気により行った。

試験槽 鋼製 800×800×1800mm(最大容量 1.15m<sup>3</sup>)

試験時水深 1560mm(液量 1m<sup>3</sup>)

散気装置 森永エンジニアリング製 ローフレックスダイヤフラムディフューザ

(平均気泡径 2mm、φ 300mm)

送気装置 世晃産業製 ダイアフラムプア (max40 1/min)

原尿は成牛 30 頭規模、スタンション方式と呼ばれる飼養形態で営む一般的な個人酪農家の尿溜槽から採取した。原尿の性状は、尿溜に牛舎洗浄水も流入するため季節により多少変動する。代表的な原尿の性状を表-1に示した。

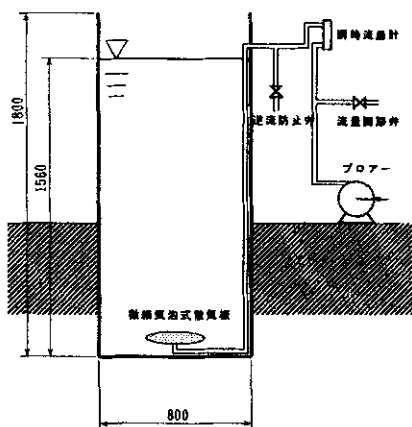


図-5 立ち上げ試験装置

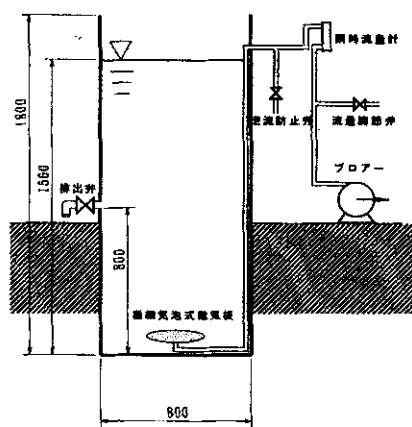


図-6 適正維持ばっ気量試験装置

表-1 原尿の性状

TS (%)	6.0
VS (%)	5.0
BOD(mgO/l)	15000
COD(mgO/l)	18000

3. 試験結果と考察

3.1 液温の違いによる液性状の経時変化

立ち上げ試験において液温による液性状の経時変化を検討した。

有機物負荷量がBODとして15000mgO/l<sub>日</sub>の原尿をばっ気強度 1.0m<sup>3</sup>/h でばっ気し、平均液温が 2℃および 21℃にお

けるBODおよび溶存酸素濃度(DO)を測定した。結果をBODの除去率およびDOの経時変化として図-7.1~8.2に示した。

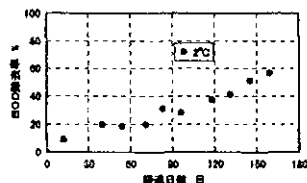


図-7.1 BOD除去率の経時変化(液温)

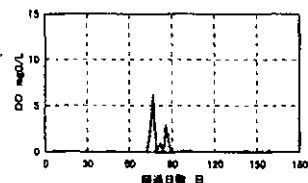


図-7.2 DOの経時変化

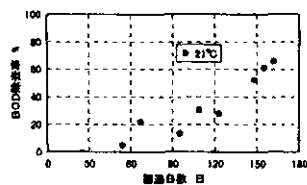


図-8.1 BOD除去率の経時変化(液温)

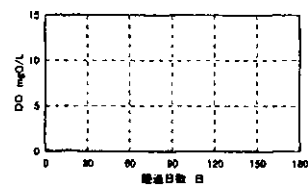


図-8.2 DOの経時変化

BODはいずれも経時に従って除去され、冬期(最低-10℃、最高10℃、平均2℃)と夏期(最低5℃、最高28℃、平均21℃)では夏期において立ち上がりが遅いが150日目ではいずれもBOD除去率が55%程度を示すなど液温の違いによる大きな差はみられなかった。

DOは、いずれの試験においても期間中ほとんど検出されていない。DOは、ばっ気による酸素の溶解量と微生物がBOD成分を酸化分解する際の呼吸および塩類等の酸化による消費量とのバランスにより、溶解量>消費量の場合に溶存量として検出される。溶解量および消費量は液温によって異なり、一般的に液温が低いと酸素溶解量は高く、消費量は低くなるとされるが<sup>5)</sup>、ここではいずれも消費量>溶解量であり酸素溶解律速でBOD除去が進行していることがわかる。

3.2 ばっ気量の違いによる液性状の経時変化

立ち上げ試験においてばっ気量による液性状の経時変化を検討した。

有機物負荷量がBODとして15000mgO/l<sub>日</sub>の原尿をばっ気量0.5、1.0、2.0および4.0m<sup>3</sup>/hでばっ気し、各ばっ気量におけるBODおよびDOを測定した。結果を図-9.1~12.2に示した。

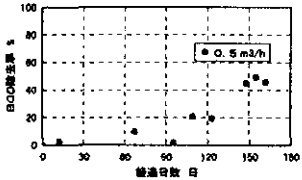


図-9.1 BOD除去率の経時変化(ばっ気量)

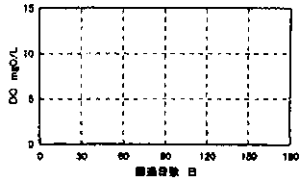


図-9.2 DOの経時変化

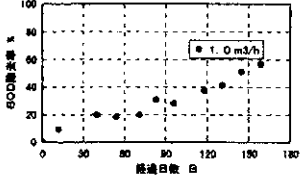


図-10.1 BOD除去率の経時変化(ばっ気量)

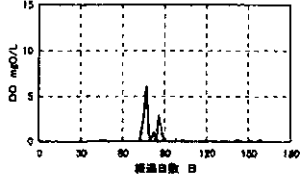


図-10.2 DOの経時変化

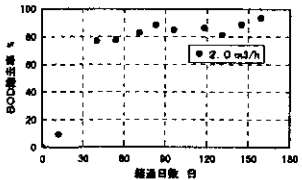


図-11.1 BOD除去率の経時変化(ばっ気量)

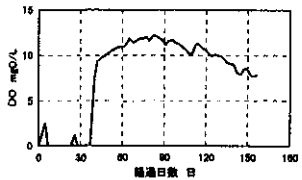


図-11.2 DOの経時変化

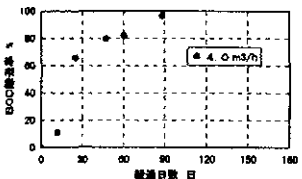


図-12.1 BOD除去率の経時変化(ばっ気量)

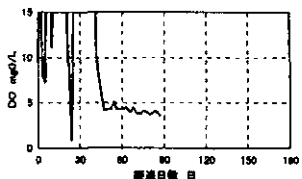


図-12.2 DOの経時変化

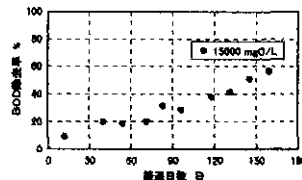


図-13.1 BOD除去率の経時変化(有機物負荷量)

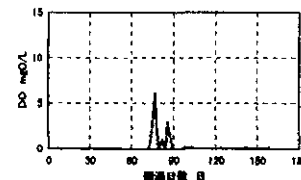


図-13.2 DOの経時変化

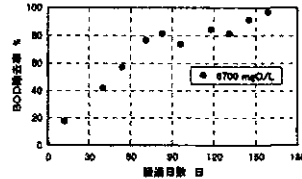


図-14.1 BOD除去率の経時変化(有機物負荷量)

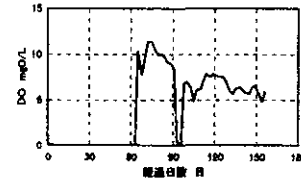


図-14.2 DOの経時変化

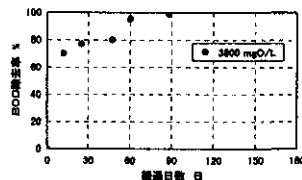


図-15.1 BOD除去率の経時変化(有機物負荷量)

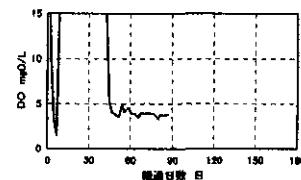


図-15.2 DOの経時変化

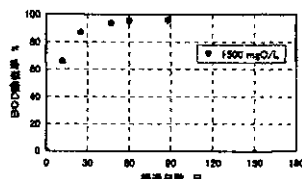


図-16.1 BOD除去率の経時変化(有機物負荷量)

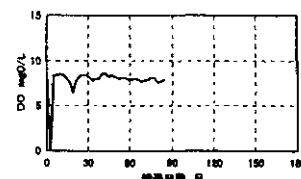


図-16.2 DOの経時変化

BODの除去性はばっ気量が多くなるに従い高くなる。単に除去率50%に至るまでの所要日数を比較すると、0.5<sup>m</sup>³/hでは155日、1.0<sup>m</sup>³/hでは145日、2.0<sup>m</sup>³/hでは30日、4.0<sup>m</sup>³/hでは25日程度であり、0.5と1.0<sup>m</sup>³/hではその差がわずかであるのに対し1.0<sup>m</sup>³/hと比較して2.0<sup>m</sup>³/hでは著しく短縮した。2.0<sup>m</sup>³/hでは約40日間で除去率が80%程度まで増加した後、微増へと変化し、同時にDOが検出されはじめている。4.0<sup>m</sup>³/hではBODの除去性は2.0<sup>m</sup>³/hと大差はなく、BODが高い状態からDOが検出されており酸素溶解量過剰になっている。

清水においては酸素溶解量がばっ気量に比例するとされ、有機物負荷量が高い場合でもある程度の相関を有することが考えられる。そのためばっ気強度が高くなるに従い酸素溶解量が多くなり、4.0<sup>m</sup>³/hでは微生物の呼吸等による消費量よりも上回ったために開始時よりDOが検出されたと考えられる。

3.3 有機物負荷量の違いによる液性状の経時変化

立ち上げ試験において有機物負荷量による液性状の経時変化を検討した。

有機物負荷量がBODとして15000、6700、3800、1500mgO/Lとなるように水で希釈した調整液をばっ気強度1.0<sup>m</sup>³/hでばっ気し、各有機物負荷量におけるBODおよびDOを測定した。結果を図-13.1～16.2に示した。

有機物負荷量が低くなるに従いBODの処理性が高くなる。例えば60日後の除去率は原尿(BOD 15000mgO/L)の20%に対し、約2倍希釈(BOD 6700mgO/L)では65%であり除去量として多くなる。しかし、4倍以上の希釈ではその効果が見られなかった。

DOにおいても有機物負荷量が低くなるに従って早期に検出されており、酸素溶解の面では有機物負荷量を低くすることにより溶解量が多くなることが確認された。(2)の結果と同様にある程度まで有機物負荷量を低くすることにより必要酸素量が溶解し除去性が高まるものと思われる。一方、有機物負荷量を低くすることで微生物の栄養分(BOD成分)が減少、微生物の代謝過程における減衰増殖期と同様に除去性の低下が予想され、この相反する2つの現象によって上に示した結果が得られたものと考えられる。

3.4 連続投入における適正処理条件

3.1～3.3の回分式処理における非定常状態では、ある程度処理が進行すると微生物の栄養分であるBOD量が減少するためその除去速度が低下する。この時適正なBOD量を負荷することにより良好な除去速度を維持するものと予想される。

実際の施設では乳牛糞尿の処理を半回分式で行っており、BOD量が連続して負荷される。この時、回分式処理の非定常状態でのBOD除去速度から求めたBOD負荷量に対するばっ気量を供給することにより安定した処理が期待される。

そこで立ち上げ試験の結果をもとに、図-6に示した半回分式の装置を用いて連続投入における適正な処理条件を検証した。

試験は BOD = 9600mgO/ℓ の原尿を投入に用い、処理期間 30 日と設定した。槽の液量が 1m<sup>3</sup> であるので原尿の投入量は約 30ℓ/日であり、BOD 負荷量は 0.29kgO/日となる。次に (2) の結果から各ばっ気量における最も良好な BOD 除去速度を求め、表-2 に示した。

表-2 ばっ気量によるBOD除去速度

ばっ気量(㎥)	BOD 除去速度(kgO/日)
0.5	0.077
1.0	0.075
2.0	0.31
4.0	0.37

表-2 から BOD 負荷量 0.29kgO/ 日を処理するばっ気量は 2.0m<sup>3</sup>/h 以上であると予想される。図-17 にあらかじめ充分処理された液 (1000mgO/ℓ 以下) 1m<sup>3</sup> に以上の条件下で原尿を連続投入し、ばっ気量 2.0m<sup>3</sup>/h および対照として 1.0m<sup>3</sup>/h でばっ気処理を行った結果を BOD の経時変化として示した。

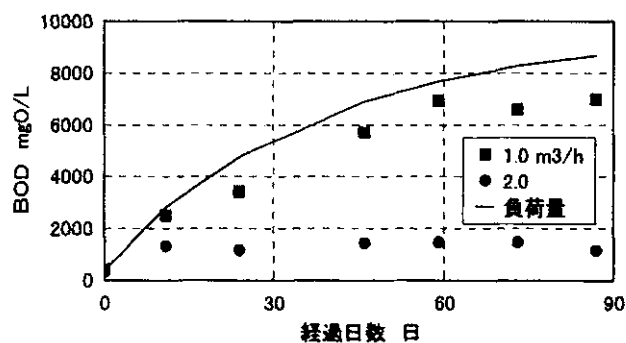


図-17 連続投入におけるBODの経時変化

ばっ気量 2.0m<sup>3</sup>/h で BOD が 1500mgO/ℓ 程度で明らかに定常となっており、安定した処理状態を示した。これに対し 1.0m<sup>3</sup>/h では投入に従い BOD が負荷量と同様に増加している。この結果から、3.1～3.3 で得られたデータをもとに半回分式試験槽での連続投入における適正なばっ気処理条件がある程度予測できることが認められた。

#### 4.まとめ

乳牛糞尿のように有機物負荷量が高い処理におけるばっ気処理条件を解明するために、先ず操作因子と処理性との関係を明らかにする視点から以下の試験検討を行った。

①立ち上げ試験では、温度、ばっ気量、有機物負荷量と BOD 除去率との関係について検討し、一定の傾向を把握することができた。いずれの操作因子も系内への酸素の溶解量を支配するものであり、試験結果も酸素の挙動で説明されるところが多い。

②適正維持ばっ気量試験では、立ち上げ試験の結果から半回分式での連続投入における処理条件を検証した。その結果、回分式での非定常状態における BOD 除去速度から適正な処理条件をある程度予測できることが認められた。

今後は酸素の挙動の詳細を検討し、また溶解量を高める方法の検討および立ち上げ時の解析を行い最適な条件を解明していきたい。また上記の試験検討とあわせて実際の施設における実証化、最適な処理方法の検討を行う予定である。

#### 参考文献

- 1) 北海道農政部酪農畜産課監修, 北海道の酪農・畜産データブック'96, デーリイマン社, 1996
- 2) 酪農、いま環境を考える, デーリイジャパン社, 1994
- 3) 橋本奨、須藤隆一編著, 新しい活性汚泥法, 産業用水調査会, 1992
- 4) 北海道農政部, 家畜ふん尿農地還元施設事例集, 1996
- 5) 井出哲夫編, 水処理工学, 技法堂出版, 1993