

## 生活系排水余剰汚泥中の微生物の熱不活化の検討

中野 仁\* 足立伸一\*

近年開発された電気浸透式汚泥脱水機は、その処理過程で汚泥が発熱することから、含まれている恐れがある病原性微生物の不活化に効果が期待された。そこで大腸菌、腸球菌、枯草菌、大腸菌ファージを指標微生物として、不活化におよぼす加熱温度と時間の関係を探るとともに、実際に稼働している脱水機の汚泥中の大腸菌や大腸菌群を測定した。

大腸菌は 65℃以上であれば容易に不活化できるが、腸球菌や大腸菌ファージは大腸菌に比べ熱耐性があつた。枯草菌は 80℃、5 分の加熱でも全く不活化しなかつた。稼働している脱水機の汚泥中では温度上昇の不均一があるが、汚泥 1g 中の大腸菌数は-2log~-5log 低減していた。

キーワード：微生物、汚泥、脱水、熱、不活化

key words : microorganism、sludge、dehydration、heat、inactivation

し尿を含んだ汚水中には多くの微生物が含まれているが、時として病原性を有する細菌や、感染症を引き起こすウイルスなどが含まれる。下水処理場や汚泥再生処理センター（し尿処理場）での病原性微生物の挙動に関しては多くの報告<sup>1)2)</sup>があり、これらのほとんどが生物反応槽（活性汚泥槽）で除去されていることが示されている。しかし、この除去は生物反応槽内で病原性微生物が不活化されたことよりも、活性汚泥に吸着されることにより低減しているとされている。すなわち、余剰汚泥として処分される汚泥中には病原性微生物が濃縮されている危険性があるが、これらを調べた文献<sup>3)</sup>は少ない。

余剰汚泥は濃縮処理や脱水処理を受けたあと、再利用の一つとして堆肥（コンポスト）として有効利用される。堆肥は肥料や土壌改良材の他に、土壌の病害予防にも効果があるとされている<sup>4)</sup>。堆肥化過程で汚泥中の有機物が分解されるとともに、その際の発酵熱（60～65℃）と時間（2 日程度）により有害な微生物の死滅が期待されるが、発酵が不十分で温度が上昇しなかつたり、不均一な発酵であった場合には残存する危険性がある。

これまで脱水処理技術としては真空脱水、ベルトプレス脱水、遠心脱水、多重円盤型脱水などがあつたが、近年、新たに電気浸透式汚泥脱水機が開発された。この脱水機の基本構造は、金属製の回転ドラム（陽極）と金属ベルト（陰極）、ろ布から構成されており、2 つの電極間に 40～45V の電圧が印加される。前濃縮された汚泥がろ布を介して 2 つの電極に挟まれながら約 50 秒間徐々に圧搾される間に、負の電荷を持っている汚泥粒子は陽極付近に集まり、正の電荷を帯びた水分子はろ布を通して陰極側に移動し脱水される。この時、2 つの電極間には汚泥を通じて電流が流れ、その結果ジュール熱が発生し汚泥が高温になることから、含まれている病原性微生物に対する不活化効果が期待できるのではないかと考えた。

そこで今回、大腸菌、腸球菌、枯草菌および大腸菌に感染するウイルスである大腸菌ファージを指標微生物として用い、実験室内で不活化に与える加熱温度と時間の関係を明らかにするとともに、平成 24 年度から大阪府内のし尿処理場で稼働している電気浸透式脱水機の汚泥を採取し、微生物の不活化状況を検討した。

### 実験方法

#### 1. 指標微生物の調製

実験に用いた微生物は下記の通りであり、入手先は（独）製品評価技術基盤機構である。

\*大阪府立公衆衛生研究所 衛生化学部生活環境課

大腸菌：*Escherichia coli* (NBRC 番号 3301)

腸球菌：*Enterococcus faecalis* (NBRC 番号 100482)

枯草菌：*Bacillus subtilis* (NBRC 番号 3134)

大腸菌ファージ：*Escherichia coli phage Q $\beta$*

(NBRC 番号 20012)

### 1.1 大腸菌液と枯草菌液

大腸菌と枯草菌の培養には標準寒天培地を使用した。実験を実施する前日に、シャーレに入った標準寒天培地に冷蔵庫内の斜面保存菌株を画線した。36°Cで一晩培養後のコロニーをいくつか釣菌し、リン酸希釈液で洗菌したものを菌液として使用した。

### 1.2 腸球菌液

腸球菌は栄養要求性が高いため、培養には標準寒天培地より栄養リッチな下記の培地（大腸菌ファージ測定用<sup>2)</sup>）を調製した。

前日に寒天培地に画線し、36°Cで一晩培養後のコロニーを釣菌し、リン酸希釈液で洗菌したものを使用した。

ポリペプトン	10g	} 蒸留水 1L に溶解し 2%NaOH を加え pH 7.0 ± 0.2 に調整する
酵母エキス	5g	
ブドウ糖	1.5g	
NaCl	5g	
MgSO <sub>4</sub> ·7H <sub>2</sub> O	0.2g	
MnSO <sub>4</sub> ·4H <sub>2</sub> O	0.05g	

### 1.3 大腸菌ファージ液

宿主大腸菌は先に示した *Escherichia coli* を用いた。

高濃度のファージ液を得るための液体培地は、上記の組成の培地を用いた。

培養は以下の手順で行った。

- ① 試験管に入れた液体培地 8mL に斜面保存培地から掻き取った宿主大腸菌を接種
  - ② 36°C で 3.5～4 時間振盪培養
  - ③ 液体培地 100mL (200mL 三角マイヤ) に②の培養液全量を投入し、これに凍結乾燥から復元した Q $\beta$  ファージ液 1mL を添加
  - ④ 36°C で 3.5 時間振盪培養
  - ⑤ 培養液を 5°C、6,000rpm で 10 分間遠心分離
  - ⑥ 遠心上澄み液を滅菌 0.45 $\mu$ m フィルターでろ過滅菌し、大腸菌を除去
  - ⑦ ろ液を冷蔵庫に保存
- 以降の高濃度液の調製時には、⑦のろ液を③で添加

する Q $\beta$  ファージ液として用いた。

## 2. 脱水汚泥からの微生物誘出方法

### 2.1 細菌の誘出

50mL 遠沈管に脱水汚泥 1.0g (湿重量) と細菌測定用リン酸希釈液 20mL を加え、ステンレスブレードの付いたホモジナイザーを用いて 9,500rpm、30 秒間の分散処理を行う

↓

20°C の恒温槽で 20 分間振盪し細菌を誘出する

↓

この懸濁液を目開き 0.3mm (60 メッシュ) の金属製円筒でろ過し、夾雑物を除去する

↓

ろ液を細菌測定試料とする

### 2.2 大腸菌ファージの誘出

#### 2.2.1 誘出液

1 モル NaNO<sub>3</sub> 溶液にビーフエキストラクトを 3% 濃度になるよう添加した後、pH7 に調整したものを用いた<sup>5)</sup>。

#### 2.2.2 誘出操作

50mL 遠沈管に脱水汚泥 1.0g (湿重量) と誘出液 20mL を加え、ステンレスブレードの付いたホモジナイザーを用いて 9,500rpm、30 秒間の分散処理を行う

↓

20°C の恒温槽で 20 分間振盪しファージを誘出する

↓

これを 6,000rpm で 10 分間の遠心分離を行う

↓

デカンテーションする → 上澄み液①

↓

沈殿物に再度誘出液 20mL を添加する

↓

ホモジナイザー (9,500rpm) で 30 秒間の分散処理を行う

↓

20°C で 20 分間振盪しファージを誘出させる

↓

6,000rpm で 10 分間の遠心分離を行う

↓

この上澄み液と先の上澄み液①を注射筒にセットした 0.45 $\mu$ m のディスクフィルターでろ過する

↓  
ろ液をファージ測定試料とする

### 3. 測定方法

#### 3.1 細菌数測定

室内実験試料の大腸菌、枯草菌は標準寒天培地を、腸球菌は大腸菌ファージ測定用培地を用いて測定した。

リン酸希釈液で調整した試料 0.1mL を、前日にシャーレに固化させた標準寒天培地に入れ、コンラージ棒を用いて一面に塗抹したのち、36℃で 20～24 時間培養し、コロニー数をカウントした。通常、大腸菌は選択培地を用いて測定するが、熱損傷を受けた菌は選択培地上では増殖しにくいため、ここでは標準寒天培地を用いた。

脱水汚泥から誘出した一般細菌は標準寒天培地で、大腸菌、大腸菌群の測定は特定酵素基質培地 (IDEXX 社製 コリラート MPN テストキット) を用いた方法 (以降コリラート法と記載) と、Merck 社製のクロモカルトコリフォーム寒天培地 (以降クロモカルト法と記載) を用いて測定した。

#### 3.2 大腸菌ファージ数測定

大腸菌ファージ数を計測するための培地は、下層培地として「1.2 腸球菌液」の液体培地に 1.1% の寒天を加えたもので、前日に平板を作製した。重層用の上層培地は 0.8% の寒天と培地 100mL 当たり  $\text{CaCl}_2$  溶液 ( $\text{CaCl}_2 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$  1.3g/100mL) を 2mL 加えたものを用いた。

測定手順を以下に示す。

- ① 試験当日、試験管に入れた液体培地に宿主大腸菌を接種し、36℃で 3.5～4 時間振盪培養する。
- ② 滅菌した試験管を 40℃に設定したブロックヒーターにあらかじめ差し込んでおく。
- ③ これに希釈調整した試料 1mL と振盪培養直後の宿主大腸菌 0.3mL、さらに上層用の軟寒天培地 3mL を入れ、取り出したあと試験管ミキサーで軽く混合したのち、試験管上部を火焰滅菌し下層寒天培地に全量注入 (重層) し、全面に広げる。
- ④ 36℃で 20 時間培養後、プラーク数をカウントする。

#### 3.3 菌種の同定

菌種の同定はシスメックス・ピオメリユー社製の

API 50CHB キットを用い、操作方法は添付文書に従った。

### 4. 実験方法

#### 4.1 室内実験

菌液が入った試験管とブロックヒーターを用い、微生物を高温の液に一気にさらし、一定の時間その温度を保持したあと、急速に下げるといふ矩形の温度変化を与えた。

その具体的な手順を図 1 に示した。

- ① リン酸希釈液 4.5mL が入った試験管をブロックヒーターに差し込み、あらかじめ所定の温度に昇温しておく。同様にセットした温度確認用試験管で温度上昇を確認 (写真 1) したのち、添加実験を行う。
- ② 試験管をブロックヒーターから抜き、直ちに高濃度の細菌またはファージ液を液面近くから 0.1mL 添加 (この時点をも 0 秒) する。
- ③ 試験管ミキサーで 2 秒間回転混合する。
- ④ 直ちに再度ブロックヒーターに戻す (保持時間が 5 秒の場合は戻さない)。
- ⑤ 所定の保持時間の 1 秒前に試験管を引き抜き、上部を火焰滅菌したのち直ちに室温の 20mL のリン酸希釈液が入った 50mL 滅菌済み遠沈管に一気に注入 (ここまですべて保持時間とする) することにより液温を下げ、これを試料とした。

実験した加熱温度と保持時間の組み合わせを下記に示した。

各条件とも試験の安定性を確認するため、1 つの組合せにつき 3～5 回の試験を同時に行った。



写真 1 ブロックヒーター

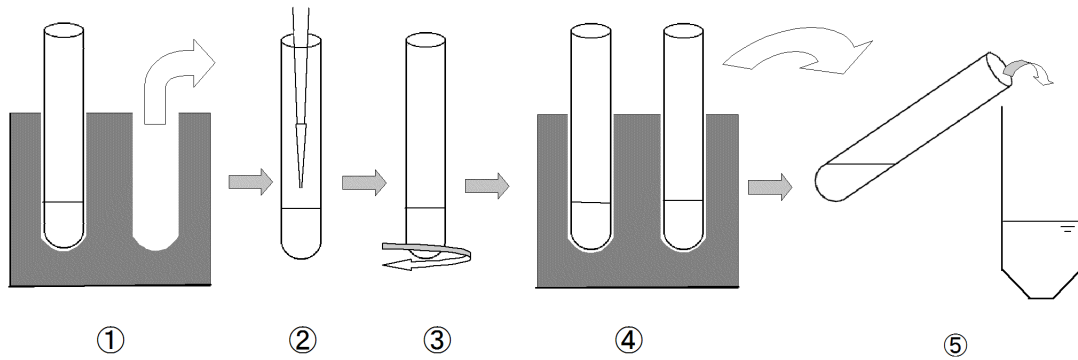


図1 実験室内での熱不活化実験手順

60℃：10秒・20秒・30秒・40秒  
 65℃：10秒・20秒・30秒  
 70℃：10秒・20秒・30秒  
 75℃：5秒・10秒・20秒  
 80℃：5秒・10秒

#### 4.2 フィールド実験

大阪府内の「膜分離高負荷脱窒素処理方式+高度処理設備」のし尿処理場で電気浸透式汚泥脱水機が稼働しており、脱水前後の汚泥を採取した。脱水時に発熱する汚泥の温度測定は、(株)日油技研工業製の以下の不可逆性示温材を用いた。示温材の裏面は粘着シートになっており、5cm四方のガーゼに張り付け、脱水前の汚泥で薄く挟み込んだ。これを脱水機の給泥部に挿入し、排泥部で回収した。

サーモラベル 5S-65：65～85℃の5℃刻みで示温

サーモラベル 4E-50：50～65℃の5℃刻みで示温

サーモラベル 4E-70：70～85℃の5℃刻みで示温

採取した脱水汚泥は持ち帰ったのち直ちに誘出操作を行い、細菌試験は当日に、大腸菌ファージの試験はろ過滅菌しているため、後日測定した。

### 実験結果

#### 1. 室内実験

大腸菌を用いた実験結果を図2に示した(加熱後の菌数が0 CFU/100mLの場合は1 CFU/100mLとして生残率をプロット)。調製した大腸菌液の濃度は1mL当たり10の8～9乗オーダーであったが、これを昇温した4.5mLのリン酸希釈液に0.1mL添加したため、菌添

加後の試験管内の初期濃度 ( $N_0$ )は1mL当たり10の6～7乗オーダーであった。

60℃でも保持時間とともに不活化したが、30秒後で生残率( $=\log_{10}(N/N_0)$ )は-3log程度であった。しかし、65℃では急激に不活化が進み、5秒後で約-4logの生残

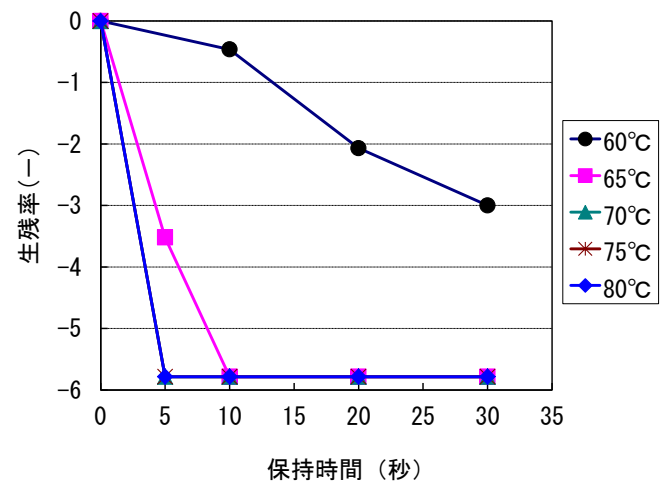


図2 大腸菌の熱不活化試験結果

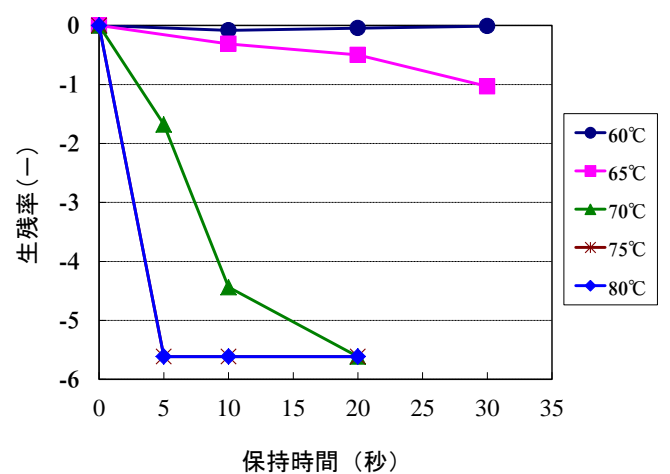


図3 腸球菌の熱不活化試験結果

率を示し、10 秒後以降では 0.1mL の試料液中では検出されなくなり、-6log 以下の生残率となった。同様に 70~80°C の 5 秒後でも検出されなかった。

腸球菌を用いた実験結果を図 3 に示した。培養した腸球菌液の濃度も 1mL 当たり 10 の 8 乗オーダーであり、菌添加時の試験管内の初期濃度 (N<sub>0</sub>) は 1mL 当たり 10 の 6~7 乗オーダーであった。

60°C では不活化はほとんど進まず、65°C でも 30 秒後で -1log の生残率であり、大腸菌に比べ熱耐性を有していた。しかし、75°C を超えると 5 秒で生残率は -5log より小さくなり、短時間で不活化が進んだ。

枯草菌を用いた実験結果を図 4 に示した。培養した枯草菌液の濃度は 1mL 当たり 10 の 8 乗オーダーであったが、菌添加時の試験管内の初期濃度 (N<sub>0</sub>) は 1mL 当たり 10 の 7 乗オーダーであった。

枯草菌は芽胞を形成するため耐熱性が強いとされ

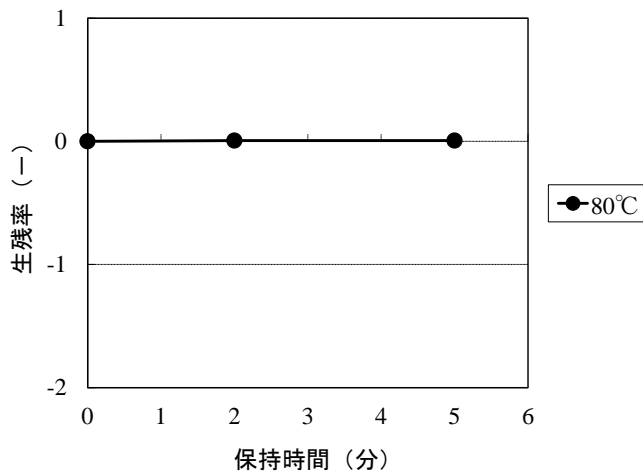


図 4 枯草菌の熱不活化試験結果

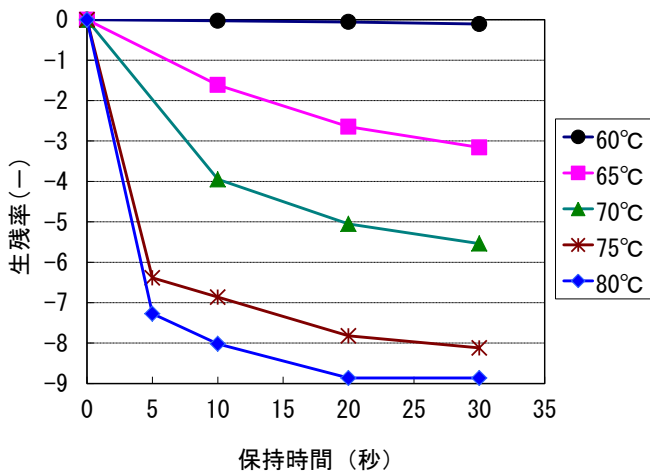


図 5 大腸菌ファージの熱不活化試験結果

ており、これを裏付けるように 80°C で 5 分の加熱でも不活化は認められなかった。

大腸菌ファージを用いた試験結果を図 5 に示した。ファージ添加時の試験管内濃度は 1mL 当たり 10 の 8 乗オーダーであった。60°C では不活化はほとんど進まず、65°C でも 30 秒後で -3log~-4log の生残率であり、大腸菌に比べ熱耐性を有していた。しかし、75°C を超えると 5 秒で生残率は -6log より小さくなり、短時間で不活化が進んだ。

## 2. フィールド実験

### 2.1 汚泥採取時の脱水汚泥温度

脱水機の通常運転時の印加電圧 46V と、試験的に 50V に上昇させた時のサーモラベル写真を写真 2、写真 3 に示した。

46V 時では 55~60°C を示しており、50V 時では 1 種類のラベルは 65~70°C を、他方 (写真右側) は 80~85

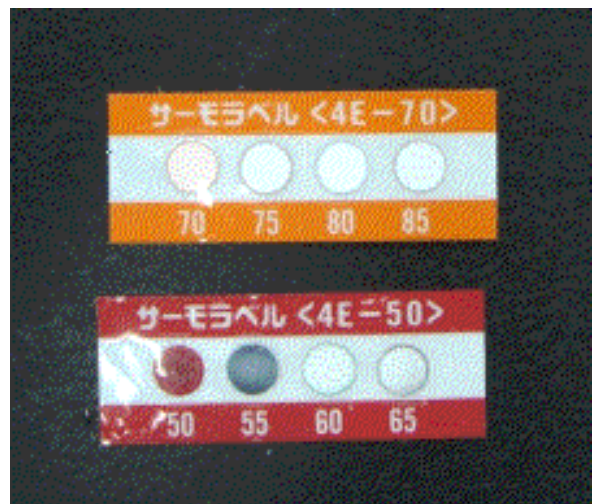


写真 2 46V 印加時のサーモラベルの示温

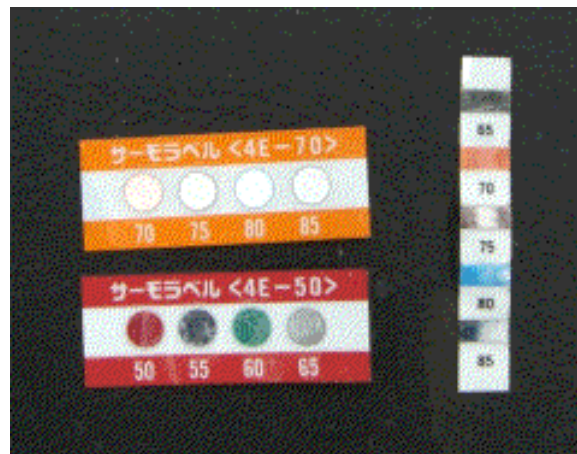


写真 3 50V 印加時のサーモラベルの示温

℃を示していた。これは脱水時に板状に排出される汚泥中に温度むらがあるのか、サーモラベルの熱応答速度の違いかは不明であった。

福島県内で稼働している同種の脱水機で、2009年に汚泥の温度測定を実施した時には75℃まで上昇していたが、本施設ではそれより温度は低かった。発熱は余剰汚泥中の有機物含有量によって左右されるとのことであった。

## 2.2 汚泥の含水率

脱水前の汚泥の含水率は85.9%であり、46V印加時で含水率71.8%、50V印加時で69.2%であった。

## 2.3 細菌数の変化

脱水前汚泥と通常運転時(46V)、および50Vに上昇させたときの汚泥誘出液中の菌数と、汚泥の含水率から換算した乾重量1gあたりに残存していた菌数を求め、表1に示した。

一般細菌数は脱水前汚泥1gに $2.7 \times 10^8$ 個存在していた。印加電圧50V時でも菌数は $1.4 \times 10^8$ 個と、ほとんど減少していなかった。

そこで、50V脱水時汚泥の誘出液で、菌数測定時の希釈倍率が最も高いシャーレに形成したコロニーを5個釣菌し、試験管に入った滅菌リン酸希釈液に懸濁させた。これをブロックヒーターに差し込み、80℃20分の加熱処理を行った。この処理液を再度標準寒天培地に塗抹したところ、20時間培養後に、加熱処理前と同様の形状で、粘りけのあるコロニーを形成した(写真4)。

このコロニーをAPI50 CHBキットで同定したところ、各チューブ番号の色の変化は表2の通りとなり、ID 99.9%で *Bacillus subtilis* (枯草菌) と同定された。

コリラートMPN法は36℃で20時間培養後、試料水が入った溶液が黄色に発色した場合(写真5)を大腸菌群陽性として、最確数を求める。同じ溶液にブラックライトを照射し、蛍光を発したものを大腸菌陽性(写真6)として、最確数を求める。

一方、大腸菌数は脱水前で1gあたり $1.1 \times 10^5$ 個を示したものの、脱水後の汚泥は写真7に示したように、大腸菌群陰性(黄色に発色せず)にもかかわらず、蛍光のみを発する(大腸菌陽性)という現象(写真8)が、希釈率の低い上位3段階の各5本すべてで生じた。そのため、本試料をコリラート法で大腸菌の不活化を評価することはできなかった。

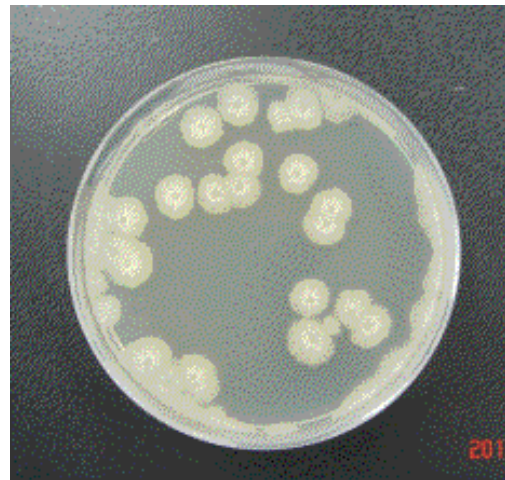


写真4 80℃20分加熱処理液のコロニー

黄色に発色せず、蛍光のみを発した培養管液を標準寒天培地に塗抹し、1晩培養した。翌日、写真4と同様の形状で粘りけのあるコロニーが形成されたため、これを釣菌して同じコリラート法で測定したが、黄色の発色も蛍光も発しなかった。すなわち、枯草菌と考えられる菌が発色に関与したとは考えられなかった。蛍光を発した培養管には共通して希釈試料中の汚泥が沈殿しており、汚泥中に含まれている何らかの成分が発色に関与していると考えられた。

クロモカルト法では脱水前の大腸菌群数は1gあたり $2.7 \times 10^5$ 個であったが、46V時では $4.3 \times 10^3$ 個と、-2logの不活化率を示した。50V時でも $6.5 \times 10^2$ 個残存し、不活化率は約-3logであった。この結果はコリラートMPN法と異なるところがあり、測定方法による差がどのような菌種によってもたらされるか、今後の検討課題である。

脱水前の大腸菌数は1gあたり $1.3 \times 10^5$ 個であったが、46V時では $7.1 \times 10^3$ 個に減少し、50V時では検出されず、-5log以上の不活化率を示した。

## 2.4 大腸菌ファージ数の変化

これまで数回、脱水前の汚泥に関して大腸菌ファージ数の測定を行ったが、いずれも誘出液1mL中に10PFU未満しか測定されなかった。柿本<sup>6)</sup>は、し尿が流入主体の施設ではファージの検出数は少ないと報告している。

今回の実験では、脱水前の汚泥と脱水後の汚泥ともにファージは測定されず、不活化効果を評価することはできなかった。

表1 脱水汚泥の乾重量1g当たりの細菌数

試料	含水率	一般細菌数	コリラート法		クロモカルト法	
			大腸菌群数	大腸菌数	大腸菌群数	大腸菌数
脱水前	85.9%	$2.7 \times 10^8$	$4.7 \times 10^5$	$1.1 \times 10^5$	$2.7 \times 10^5$	$1.3 \times 10^5$
46 V	71.8%	$2.9 \times 10^8$	$1.2 \times 10^3$	偽発色	$4.3 \times 10^3$	$7.1 \times 10^3$
50 V	69.2%	$1.4 \times 10^8$	0	偽発色	$6.5 \times 10^2$	0

表2 API50 CHB キットの各チューブ番号の色の变化

チューブ番号	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24
色の变化	-	+	-	-	+	+	-	-	-	-	-	+	+	+	-	-	-	+	+	+	-	+	-	-	-
チューブ番号	25	26	27	28	29	30	31	32	33	34	35	36	37	38	39	40	41	42	43	44	45	46	47	48	49
色の变化	+	-	-	+	-	-	+	+	+	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-



写真5 コリラート MPN 法 (大腸菌群陽性呈色)

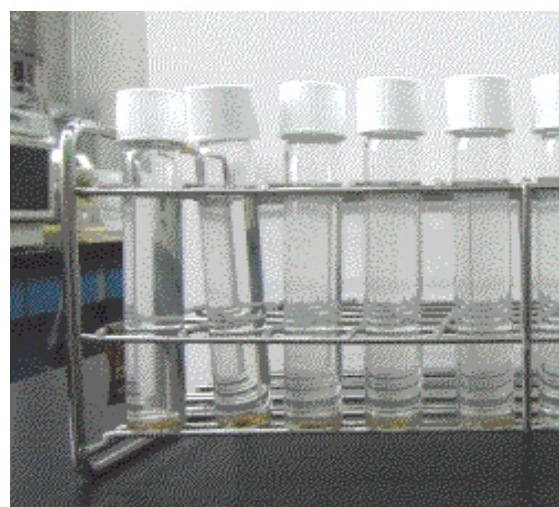


写真7 汚泥誘出液のコリラート試験 (発色なし)

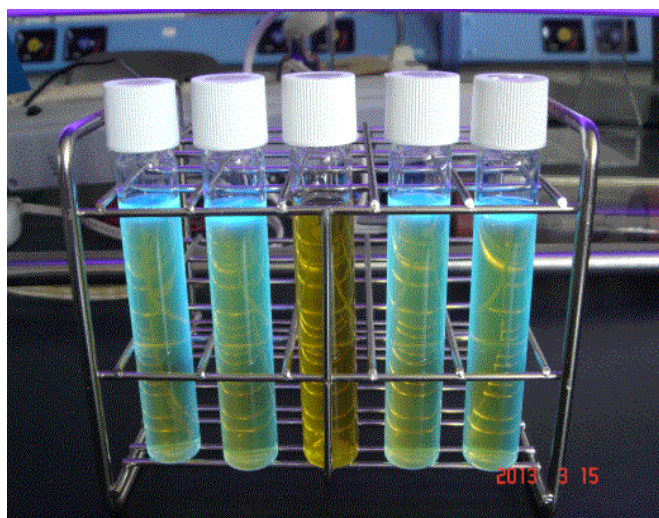


写真6 大腸菌陽性試験管 (蛍光を発する)

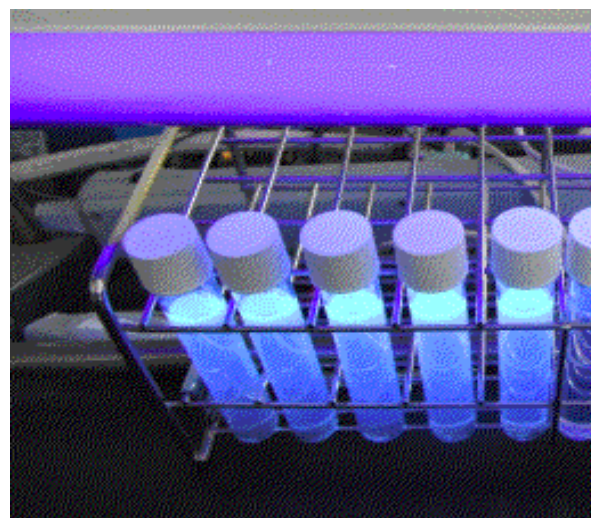


写真8 ブラックライト照射時

## まとめ

近年開発された電気浸透式汚泥脱水機は、高い脱水能力に加え処理過程内でジュール熱の発生により、汚泥の温度が上昇する。もし、余剰汚泥中に病原性微生物が含まれていた場合、この温度上昇によってこれらが不活化されるのではないかと考え、指標微生物として大腸菌、腸球菌、枯草菌と大腸菌に感染するウイルスである大腸菌ファージを用い、加熱温度と保持時間を変え室内実験で検討した。

大腸菌を用いた実験では、65℃、10秒の保持時間で-6logの生残率となっていることから、この方式の脱水機を用いた場合、大腸菌には有効な不活化処理が期待できることが示唆された。

腸球菌は大腸菌に比べ熱耐性を有しており、65℃で30秒の加熱でも、-1logの生残率に留まった。しかし、70℃では10秒で-4log以下、75℃では5秒で-5log以下の生残率になっており、本方式の脱水機で70℃を超える温度まで上昇すれば、微生物学的な安全性が高まることが期待された。

枯草菌は80℃、5分の加熱でも不活化されず、残存した。枯草菌は有機物に対する分解力の強さから、農業や生活の中で有害な微生物の不活化や分解に利用されるようになってきていることから、堆肥として利用する場合には残存することがむしろ好都合となる。

一方、ウイルスである大腸菌ファージは大腸菌に比べ熱耐性を有しており、生残率を-6logにするには70℃では30秒以上を必要としたが、75℃では5秒で達成されることから、本方式の脱水機は脱水時の温度上昇によってはウイルスの不活化にも効果があることが期待された。

大阪府内のし尿処理場で稼働している電気浸透式汚泥脱水機を対象に、脱水前後の汚泥中の微生物の不活化状況を検討した。

通常、脱水後の汚泥の含水率が70%になるよう印加電圧を調整しており、汚泥採取時は46Vに設定されていた。この時、汚泥の温度は55～60℃程度にしか上昇していなかったため、一時的に50Vまで上昇させ、併せて測定を行った。

標準寒天培地を用いた一般細菌の測定では、脱水前と脱水後とも乾重量1g当たり $10^8$ 個オーダー存在し、菌数の大きな変化は認められなかった。その原因の一

つとして、耐熱性の枯草菌がほとんどを占めていたからと考えられた。

大腸菌群と大腸菌は、特定酵素基質培地を用いたコリラートMPNキットと、クロモカルトコリフォーム寒天培地の2種類を用いて測定した。

脱水前の大腸菌群数はいずれの測定方法とも1g当たり $10^5$ 個存在しており、55～60℃程度の発熱で $10^3$ 個まで減少し、-2log程度の不活化率を示した。しかし、65～70℃程度の発熱では、コリラート法では検出されなかったが(-5log以上の不活化率)、クロモカルト法では $10^2$ 個残存(-3logの不活化率)した結果となった。

脱水前の大腸菌数は、いずれの測定方法とも1g当たり $10^5$ 個の存在を示した。脱水後試料のコリラート法では、大腸菌群の存在を示す黄色の発色を呈しないにもかかわらず、大腸菌の存在を示す蛍光を発した。この発色が何に起因するかは不明であったが、残存している主な菌は耐熱性の枯草菌であった。クロモカルト法では、65～70℃程度の発熱でも検出されなかった(-5log以上の不活化率)。

大腸菌ファージは脱水前汚泥でも誘出液1mL中に10PFU未満しか測定されず、不活化効果を評価することはできなかった。汚泥からの誘出率が低かったのか、元々存在量が少なかったのか、それを明らかにするまでには至らなかった。

感染症の流行等により、余剰汚泥中に病原性を有する微生物が高濃度に含有する恐れがある場合には、脱水機への印加電圧を調整し発熱温度をあげることにより、さらなる不活化効果を得ることができ、脱水汚泥を扱ったり再利用する際の安全性を高めることが期待される。

## 文献

- 1) 原本英司,片山浩之,大垣眞一郎: 下水処理場における病原ウイルスの低減効果の解明,水環境学会誌,32,315-320(2009)
- 2) 梨田 実,田中ひろみ,寺師政廣: 下水の処理過程における大腸菌ファージの消長について,用水と廃水,35,233-238(1993)
- 3) T.Watanabe,D.Sano and T.Omura: Risk evaluation for pathogenic bacteria and viruses in sewage sludge compost, Water Science and Technology ,46,325-330(2002)



- 4) 青井 透,宮里直樹：バチルス菌優占連作障害抑止型土壌改良材の試作と実農地への適用,平成 19 年度土木学会学術講演会講演集 (広島,2007)
- 5) 金 台東,本田裕之,白神直弘,矢野一好,海野 肇：活性汚泥に移行したポリオウイルスの誘出条件について,水環境学会誌,17,509-516 (1994)
- 6) 柿本明紘：大腸菌ファージをウイルス指標にした浄化槽内でのウイルス活動形態,第 26 回全国浄化槽技術研究集会講演集 (岩手,2012)