

機関番号：13801

研究種目：基盤研究（C）

研究期間：2008～2010

課題番号：20560503

研究課題名（和文） 下水管渠におけるバイオガス発生リスクの制御に関する研究

研究課題名（英文） Risk control of biogas generation in sewer pipe

研究代表者

宮原 高志（MIYAHARA Takashi）

静岡大学・工学部・教授

研究者番号：70239432

研究成果の概要（和文）：下水管渠における微生物の増殖に伴うバイオガス生成を乳酸菌を用いて制御する方法について検討を行った。乳酸菌の増殖速度は含水率の低下とともに低下した。培養上澄液のバイオガス制御効果は中性において十分ではなかった。バイオガス産生細菌と乳酸菌の下水流中における接触モデルを用いた数値シミュレーションから、その頻度は下水の流下特性の影響を受けないが、そのばらつきは影響を受けることが示された。

研究成果の概要（英文）：Sewer pipes are considered to be a facility for transporting sewage from the sources, such as residences and industrial establishments, to wastewater treatment plant. The control of biogas production within the sewer pipes has been studied by using lactic acid bacteria. The growth rate of lactic acid bacteria decreased with decreasing the moisture content of the water-carried model waste. The supernatant of culture broth of lactic acid bacteria was not effective for sterilize biogas production bacteria under neutral condition. The numerical simulation for the contact process of lactic acid bacteria and biogas production bacteria in sewage indicates that the variability but not the average of the contact time is affected by sewage flow characteristics.

交付決定額

（金額単位：円）

	直接経費	間接経費	合計
2008年度	2,200,000	660,000	2,860,000
2009年度	1,200,000	360,000	1,560,000
2010年度	400,000	120,000	520,000
年度			
年度			
総計	3,800,000	1,140,000	4,940,000

研究代表者の専門分野：環境工学

科研費の分科・細目：土木環境システム

キーワード：環境計画・管理、下水道

1. 研究開始当初の背景

近年、下水等の悪臭に関する行政機関への苦情は年間800件を越える状況が続いており、また、家庭における消臭剤利用量も増加傾向にあることから、今後も臭気に対する住民の要求レベルは高く維持されると予想される。このため下水道システムからの悪臭発生の抜本的解決は下水道普及率の向上と並んで、

快適で安全な生活の実現において今後極めて重要な位置を占めるといえる。しかし、近年、合流式下水道の分流式への移行とそれに伴う開渠から遮へい型管渠への移行、家庭でのデスポーザー利用の潜在的需要の増加といった下水道システムからの悪臭発生を増大させる要因は増加しており、早急にその抜本的解決方法を見出す必要がある。

また、下水処理場の最初沈殿地におけるメタンガスの大気への放出は下水処理システムの温室効果ガス排出量の中で無視できない値である。この原因の一つに家庭や事業所などから排出される下水を下水処理場へ運ぶネットワークを構成する下水管渠内において局所的にメタン生成細菌の生育可能な嫌気的環境ができており、下水処理場に入ってくる下水中に溶存メタンとしてすでに含まれていることが考えられる。下水管渠内でメタンが生成する場合、メタンガスは局所的に高濃度に滞留する可能性があるがその位置を特定することは困難である。このようなサイトの近隣住民は爆発リスクにさらされることになる。しかし、メタンガスは無臭のため硫化水素と異なり住民の通報による未然防止の可能性は期待できない。

下水道システムに関連する悪臭原因物質は、還元硫黄、窒素化合物、有機酸、アルデヒド・ケトンに大別され、そのうち下水管渠においては硫化水素の寄与が高く、空気と接触した後は窒素化合物の寄与が高くなること等が明らかにされている。また、下水道システムからの悪臭の主な要因である硫酸塩還元細菌によって生成される硫化水素は、圧送管やビルピット排水の吐き出し部等に集中していることが明らかにされている。また、その対策として(1)圧送管への硝酸や空気の注入による嫌気化防止、(2)気相部の脱臭・換気、(3)コンクリート表面の被覆などが行われてきた。しかし、これら既存の対策技術はエネルギーや資源の消費を伴うものであり、地球温暖化等のグローバルな環境問題への配慮が十分であるとはいえず、電気エネルギーを利用する対策においては災害による大規模な停電に対して無力である。

微生物叢の制御方法として、食品工学の分野では生物学的な相互作用を利用したバイオペリザベーション技術の研究が進んでいる。しかし、下水管渠を対象とした生物学的なガス発生リスクマネジメントを容易にするための微生物叢の生物学的な制御の研究は進んでいない。微生物叢を生物学的に効果的に制御することで資源や化石エネルギーを消費する制御方法とはことなるエネルギー消費の少ない地球レベルの環境に対してもやさしい地域レベルの環境対策施設とする方法が必要とされている。

下水中に存在する多くの微生物の中には水質汚染、悪臭、病気の原因となる種類だけでなく、有害な成分を無害化する周辺住民にとって有益な種類もあるが、自然界へ広く拡散されたものを確認するのは非常に困難とされている。このような下水処理を行うために殺菌作用を持つ代謝産物を生成する微生物と有害な微生物との相互作用によるリスクの低減方法について、下水流の中に存在す

る微生物を独立して考慮するマイクロモデルを用いた数値シミュレーションによる評価については研究されてこなかった。

2. 研究の目的

下水管渠の微生物叢を制御することで、そこからのバイオガス発生リスクマネジメントを行うため、微生物叢の制御方法として生物学的な相互作用を利用したバイオペリザベーション技術を応用する方法に焦点を当て、現在行われている化石エネルギーに頼る方法からエネルギー消費の少ない地球レベルの環境に対してもやさしい地域レベルの環境対策施設としての下水管渠システムとするための方法を検討した。

3. 研究の方法

本研究では下水中のバイオガス産生細菌として、枯草菌、大腸菌、嫌気性消化汚泥、おからから培養した細菌を用いた。バイオガス産生細菌の活性を阻害する細菌として乳酸菌を使用した。枯草菌、大腸菌、乳酸菌についてはカルチャーコレクションから入手した。これらの細菌は人工培地で培養した。人工培地の組成は以下に示す。

表1 枯草菌および大腸菌の培地組成

Polypepton	10 g
Yeast extract	2 g
MgSO ₄ ·7H ₂ O	1 g
Distilled water	1 L
pH 7.0	

表2 乳酸菌の培地組成

Polypepton	5 g
Yeast extract	5 g
Glucose	5 g
MgSO ₄ ·7H ₂ O	1 g
Distilled water	1 L
pH 7.0	

培養温度は30°Cに設定した。嫌気性消化汚泥は下水処理場の嫌気性消化槽から入手した。おからは市販のものを使用した。乳酸菌による各細菌および細菌群の活性の阻害作用は各細菌を培養後、転化する乳酸菌の濃度を段階的に変化させて、ガス生成量、臭気、細菌数の変化への影響を評価することで判断した。一般家庭等から排出された下水に含まれて流化する有機性廃棄物のモデルとして本研究ではおからを用いた。流下廃棄物が下水管渠の中で局所的に堆積する場合を想定して、モデル廃棄物の含水率を変化させ、乳酸菌の増殖特性をその代謝産物である乳酸の濃度、培養液の濁度、および pH の変化

から評価した。乳酸菌培養液の上澄液が活性へ及ぼす影響については、培養液を遠心分離したのち無菌的にフィルター濾過したろ液を対象とした。

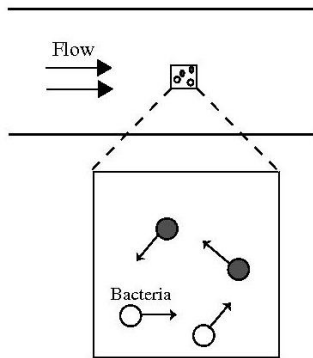


図1 下水の流下に伴う細菌接触モデル

本研究では図1のように下水の流れの中に存在する微生物を1個ずつ個別の動きを考慮するミクロ的なモデルの数値シミュレーションを行い、活性の制御因子であるその距離が流れの条件の変化によりどのように変化するか比較検討した。流体のシミュレーションは擬スペクトル法を用いた直接数値シミュレーションにより行った。シミュレーションする流れは一樣等方乱流とした。境界条件は3方向周期境界条件でシミュレーションを行った。流体は非圧縮ニュートン流体と仮定した。波数空間での支配方程式であるナビエ・ストークス方程式の離散化を行った。

一樣等方乱流は粘性項の影響で運動エネルギーが熱エネルギーに代わる一方、運動エネルギーの供給源が存在しないため、系全体の運動エネルギーは減衰する。すなわち、系の統計的性質が時々刻々と変化する。ここでは乱流中の微生物の相互作用の考察をできるだけシンプルに行うため、人工的に外力を与えることで運動エネルギーを注入し、系の統計的性質を定常に保った。その方法として負粘性という手法を用いた。これは、粘性が正の値をとることで運動エネルギーの減少が生じるのに対し、粘性に負の値を与えることで運動エネルギーの増大を起こすことにより系全体の運動エネルギーの値を一定に保とうとする数値的な手法として利用されているものであり、この方法を用いることで時間の経過によらず運動エネルギーが統計的に定常に保たれるシミュレーションとする。

攻撃する微生物と攻撃される微生物の2種類の微生物を用意した。攻撃される微生物を1個設定し、それに対し多量の攻撃する微生物が攻撃される微生物の周囲のある範囲内に入れば接触とみなす接触条件を設定してシミュレーションを行った。ただし、攻撃する微生物同士は互いに影響を及ぼさないも

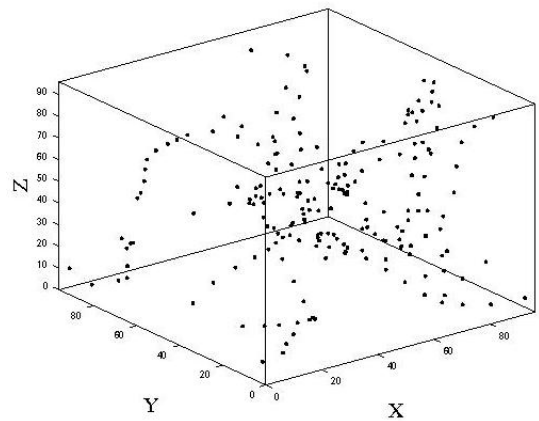
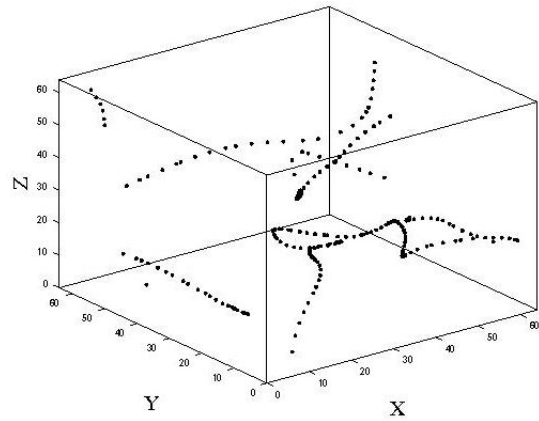


図2 微生物1個体の移動軌跡におよぼす流れの影響（上：遅い流れ、下：速い流れ）

のとされた。また、このシミュレーションで扱う微生物は体積と重さが流れのスケールに比べて十分に小さいものとし、それらによって流れに影響を与えないものと仮定した。微生物の速度はその微生物の周囲にある流体の速度を評価した点からの線形近似により求め、微生物の時間ステップごとの位置を流体のシミュレーションとの整合性を考慮して決定した。

4. 研究成果

ディスポーザーの普及によって下水管渠へ流入量が増大すると考えられる下水中の食品残渣のモデルとしておからを選定して乳酸菌の培養を単独で行った結果、市販のおからについては含水率を調整することで乳酸菌の増殖が可能なものもあるがその増殖速度は、含水率の影響を受け、含水率の低下とともに速度は急激に低下し、固形物濃度10%を基準として30%の場合には半分以下にまで低下することが明らかになった。また、固形物濃度30%の場合の含水率はリアクター内で均質な分布とならないことから、実際にはより低い固形物濃度で反応速度が半減すると推定された。

培養上澄液の効果はリン酸緩衝液をもち

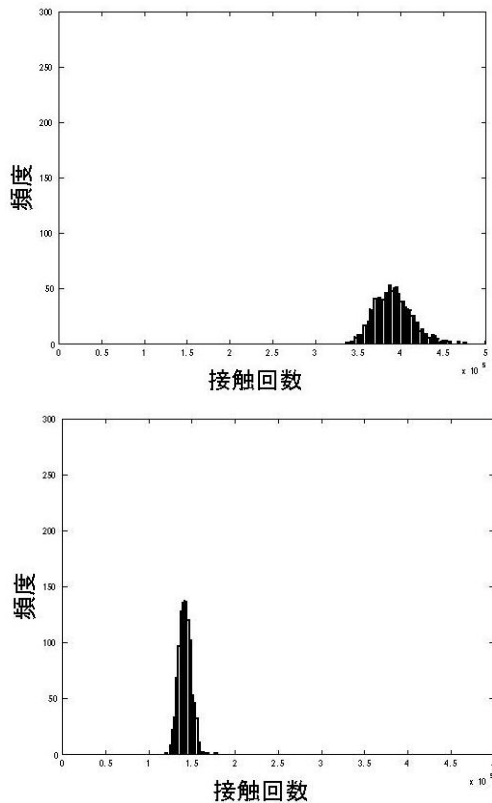


図3 流下距離を等しくした場合の接触頻度分布（上：遅い流れ、下：速い流れ）

いて中性付近で検討した結果、pHの低いリン酸緩衝液添加前の条件の場合において枯草菌、大腸菌、およびおからに付着している一般細菌に対して一定の効果があつた濃度条件においても、リン酸緩衝液の添加によって中性付近に維持された環境では、活性抑制効果は期待できないことが明らかになった。

嫌気条件で培養した場合、低濃度では培養上澄液の添加に活性抑制効果があるが、濃度が高くなるとその効果は期待できないことが明らかになった。また、乳酸菌培養液を除くことで乳酸菌のみをその密度を変えて添加した場合について検討した結果、極めて高濃度の条件の場合を除き効果が認められなかった。この原因として、下水中で乳酸菌とバイオガス産生菌が接触する機会が少ないことやその安定性が低いことが要因の一つと考え数値シミュレーションを用いて接触頻度とそのばらつきに関して検討を行った。

流れの条件を変えずに微生物密度を変えたシミュレーションについて、攻撃する微生物密度と接触条件を変化させて合計9つのケースについてそれぞれ繰り返しシミュレーションを行った結果、微生物密度と接触条件により大きく3つのパターンに分類できた。下水の流下条件を変えたシミュレーションを行った。流下距離と流下時間をそれぞれ等しくした2種類の検証を行った。レイノル

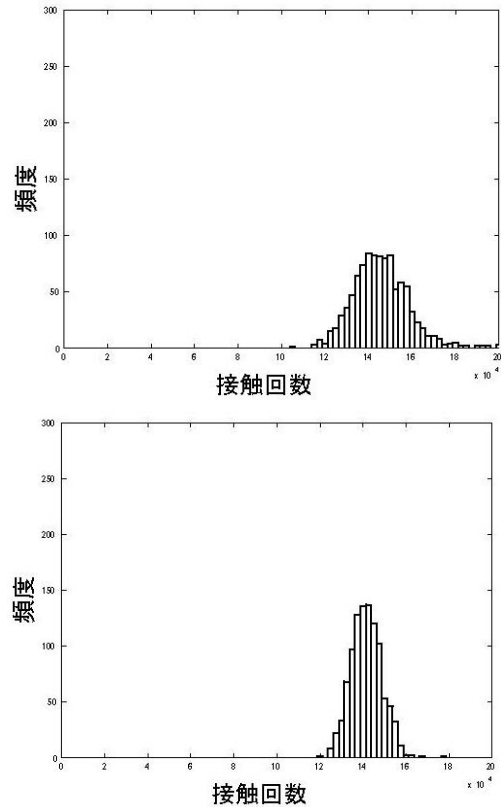


図4 流下時間を等しくした場合の接触頻度分布（上：遅い流れ、下：速い流れ）

ズ数を変化させることで流れの条件を変化させた。下水の流下の強さが微生物1個体の移動パターンに及ぼす影響についてのシミュレーション結果は図2に示した。

下水の流下距離を等しくしたシミュレーションでは到達時間に差があるため、接触回数の最大値、最小値および平均値は弱い流れのときのほうが図3のように大きいことが示された。一方、接触回数の分布は弱い流れと比較して強い流れのほうがそのばらつきが小さいことが示された。また、流化時間を等しくした場合、接触回数は判定条件それぞれについて最大値、および最小値に多少の違いが見られるものの平均値に大きな差はなかった。しかしその分布は下水の流れが強い場合はばらつきが小さいことが図4から明らかになった。

5. 主な発表論文等

(研究代表者、研究分担者及び連携研究者には下線)

6. 研究組織

(1) 研究代表者

宮原 高志 (MIYAHARA Takashi)

静岡大学・工学部・教授

研究者番号：70239432