

平成 21 年 6 月 8 日現在

研究種目：若手研究(B)
 研究期間：2007～2008
 課題番号：19760376
 研究課題名（和文） 埋立地覆土におけるメタン酸化細菌群の生態特性評価と発生ガスの環境負荷削減への活用
 研究課題名（英文） Assessment of community of methane oxidizing bacteria in landfill cover soil and utilization for GHGS emission reduction
 研究代表者
 石垣 智基（ISHIGAKI TOMONORI）
 龍谷大学・理工学部・講師
 研究者番号：90343756

研究成果の概要：

温室効果ガス的一种であるメタンの削減技術として、メタン酸化細菌群(MOBs)を有効利用する生物反応型埋立地覆土層の開発を試みた。埋立地内でのガス発生量の違いにより、大気の浸入深さが異なることを想定して透気係数および含水率を調整する必要性が示された。適正な環境条件の制御によって4割前後のメタン酸化が確認され、十分なメタン酸化力の保持が可能であると考えられた。MOBsは表層30cm前後に多く存在していたが、メタン発生挙動の推移に伴って、メタン酸化能力およびMOBsが変遷することが明らかにされ、処分場の安定化ステージと土着の微生物群を勘案した上で効果的な処分場管理をする必要性が示された。

交付額

(金額単位：円)

	直接経費	間接経費	合計
2007年度	1,700,000	0	1,700,000
2008年度	1,600,000	480,000	2,080,000
年度			
年度			
年度			
総計	3,300,000	480,000	3,780,000

研究分野：環境微生物工学

科研費の分科・細目：土木工学・土木環境システム

キーワード：環境技術、地域温暖化ガス排出削減、微生物、メタン酸化細菌、埋立地覆土、東南アジア

1. 研究開始当初の背景

廃棄物埋立地の環境安全性確保における問題点としては、浸出水の問題、埋立地ガスの問題、地盤の安定度の問題に集約される。このうち、埋立地ガスの問題については予想されるガス性状の変化への設備・基準に関する対策が十分ではない。従来は、生活環境保全上の観点から、覆土およびガス排除設備（ガス抜き管）を通じてのガス排出により、悪臭成分および可燃性成分の影響を最小化

することが義務づけられるのみであった。しかし、既に埋立地ガスの主成分であるメタンの温室効果ガスとしての影響が問題視されている他、有害性の高い有機化合物、無機性の有毒・可燃性ガスなど、環境安全と地球環境負荷の双方から「排出量」の管理と対策の重要性が高まっている。しかし将来的な埋立地ガス性状の変化に対して安全性確保を求められた場合、現状の設備では対策がほとんどとれないのが現状である。埋立地ガスの安

全性は、埋め立て終了後の跡地利用にも直接的に関与する問題であり、安全性が確保できない段階では、土地の利用制限形態が法的に制限され、土地としての利用価値も低下してしまうこととなる。すなわち、循環型社会の形成に向けて、環境安全性の高い埋立地を構築する上では、埋立地ガス中に含有される有害成分の排出量を削減し、環境負荷削減・環境安全性の向上を達成する技術の開発が危急の課題となっている。

埋立地より発生するガスは、廃棄物の生物分解に伴う中間および最終生成物であり、数十年単位の長期にわたって緩慢に継続的に発生する。その50-60%を占める主要成分はメタンであるが、その他微量の炭化水素類、塩素化合物、一酸化炭素、アンモニア、硫化水素などが含有されている。高濃度のメタンが放出される影響で、埋立地の表層(覆土層)にはメタン酸化細菌群(MOBs)が集積しており、メタン放出量の抑制に一定の効果があることが知られている。しかし、欧米諸国の廃棄物埋立地表層では MOBs の高密度増殖と、それに伴って MOBs の生成する菌体外高分子によって閉塞現象まで起こることが報告されているが、日本ではそこまで高密度の MOBs 増殖が観測された例はない。また、欧米の埋立地で観測される MOBs は、その産出するメタンモノオキシゲナーゼ(酸化酵素)のうち溶解型(sMMO)が主であるが、日本では膜結合型(pMMO)の占める割合が高いことなど、微生物生態学的な違いがこれまでに明らかになっている。溶解型のメタン酸化酵素は、共代謝的に各種の炭化水素類を酸化分解が可能であることから、埋立地ガスの環境安全性の向上においてはその有効活用が期待されるが、我が国の埋立地表層における MOBs 群集の特異性を充分考慮した上で、その機能設計および施工計画を立案する必要がある。

2. 研究の目的

本研究では、将来的な埋立地の安全性確保を見据えて、埋立地ガス中のメタンおよび有機化合物類の排出を効率的に抑制し環境安全性を向上させる対策技術として覆土中の MOBs を有効活用する方法について検討する。将来的な埋立地ガスの変動を予測可能な埋立地カラム実験を実施し、埋立物の性状変化に伴うガス発生量および性状の変動について知見を得る。その上で、我が国の廃棄物埋立地表層に存在する MOBs の群集構造に関する生態学的調査を実施し、その特異性と気象条件および埋立地ガスの発生特性との関連性を明らかにする。さらに、MOBs のメタン酸化能力および共代謝による有機塩素化合物および脂肪族炭化水素類等の分解能力に与える埋立地表層の性状として、覆土粒子径、

水分含有量および透気係数など、施工時の設計因子の最適化を図る。その上で、埋立地ガスの環境安全性向上に資する「生物反応性覆土」の概念を提案するとともにその技術開発を試みる。

3. 研究の方法

(1)埋立地からの排出ガス発生挙動の将来的な変動に関する予測評価を行う。埋立地に投入される埋立物の変化に伴う、長期的な排出ガス組成および発生量を予測するための、実験的な検討を実施する。埋立地ガス発生実験を通じて、埋立物の変化が埋立地ガス組成に与える影響を明らかにするとともに、現状のガスからの組成および発生量の変動を算出する。

(2)廃棄物埋立地表層におけるメタン酸化細菌(MOBs)の分布及び酸化能力に係る実態調査を実施する。溶解型および膜結合型メタン酸化酵素を生成する MOBs 群集をそれぞれ分子生物学的に定量評価するとともに、現場での埋立地ガス発生量、覆土性状、含水率などの物理化学的な性状との関係性について考察する。

(3)埋立地より発生するガスのうち、メタン、脂肪族炭化水素類、塩素化炭化水素類の濃度は、ガスクロマトグラフ質量分析計を用いて、一酸化炭素、硫化水素、アンモニアなどの無機性ガス成分濃度はランドフィルガスアナライザーGA2000Plusを用いて評価する。表層におけるガスフラックスの計測を、閉鎖型チャンバーを用いて行うとともに、覆土層におけるメタン酸化能の定量的評価を実施する。さらに、メタン酸化の動力学的特性および微生物生態学的な調査を実施し、生物反応の有効利用に向けた維持管理特性について検討する。

(4)上記のパラメータ検討を踏まえて、覆土層における正味の温室効果ガス削減、臭気・有害ガス発生量削減能力について評価を行う。最終的に、我が国の埋立地表層における MOBs の生態学的分布とその機能評価の代表値として提示するとともに、その後の反応性覆土の性能構築の際の基本条件として設定する。

(5)MOBs の有効利用による埋立地ガス成分の分解に関する実験的な検討を行う。覆土材料の複合および調整により、メタン酸化能力および共代謝による炭化水素類の分解能力を最大化するような、覆土粒子径、水分含有量および透気係数の最適条件を、実際の現場と同等深度の覆土条件を再現可能な埋立地表層

土カラムを用いて明らかにする。本研究の目的である「生物反応性覆土」の開発においては、単に埋立地ガスの問題解決を計るだけでなく、そのための持続可能性についても充分検討する必要がある。すなわち、余剰の覆土代替可能材を効率的に使用することで、コストを抑えるとともに地域の環境・経済的な負荷を低減することを両立させることを技術的な指針の一つとする。未利用のバイオマス廃棄物である、稲わら等の農業系残さおよび畜産系廃棄物の覆土材への混合、焼却灰溶融固化スラグ層ないし火山灰性土壌による吸着層などによる多層化などを検討事項とする。

4. 研究成果

埋立地覆土カラムを用いたメタン酸化実験において、透気係数 2.3 cm/s の土壌を用い埋立地ガス流量を国内の埋立地を念頭に置き 10 SCCM と設定した場合、大気の侵入深さは表層 50 cm 程度であった。一方東南アジアの埋立地を念頭に置き、流量を 100 SCCM とした場合、表層下 10 cm 程度までの浸入にとどまっており、ガス発生量による大気の拡散浸入への影響が示された。メタン酸化率に最適な覆土の含水率は 10% で、これ以上では、ガスの透過性・酸素の供給が不足すること、これ以下では、メタン酸化細菌に必要な水分が不足することが示された。ただし、両条件とも 4 割前後のメタン酸化が確認されており、現場のガス発生量・環境条件に合わせて材料を選定し、十分なメタン酸化力の保持が可能であると考えられる。農業廃棄物由来の資材を混合した覆土で同様の検討を行った結果、木くずを 5% 混入させた覆土で、最も高いメタン分解率として 17% が得られた (図 1)。稲わらおよびもみ殻を混入させた場合はメタン分解率がやや低いこと、および含水率の影響を受けやすいことが示された。MOBs の分布調査の結果、pMMO をコードしている pmoA (MOBs

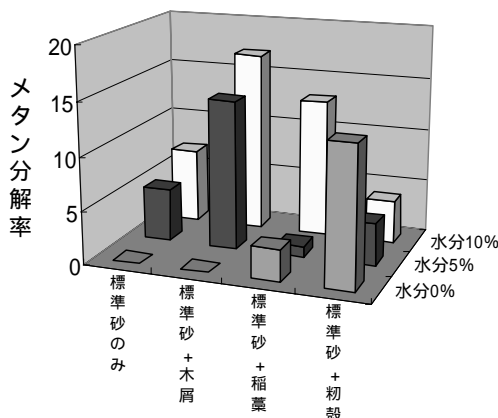


図 1 異なる覆土材によるメタン分解率 (%)

表 1 実処分場覆土のメタン酸化細菌遺伝子数 (単位: MPN-copy/g)

	<i>pmoA</i>	<i>mmoX</i>
A1	4.0×10^6	1.1×10^8
A2	1.5×10^8	2.4×10^6
A3	2.4×10^8	2.4×10^8
A4	5.3×10^7	1.5×10^3
A5	2.8×10^7	6.0×10^2
A6	6.0×10^6	3.0×10^6
A7	3.5×10^7	1.2×10
A8	1.6×10^8	1.1×10^5

数の指標遺伝子)は、表層 10 cm 下よりも 30 cm 下の方が 1 - 3 オーダー程度多い傾向が示された。メタン分解率が 10% を超えた条件においては、いずれも pmoA が 10^7 オーダー以上検出された (最大 1.1×10^8 MPN-copy/g) が、存在量とメタン酸化率との間には明確な相関はみられなかった。以上のことから細菌数が一定量存在している条件下にあればメタン分解率影響するのは透気係数などの土壌の物理性であることが推測された。メタン酸化は表層から酸素が侵入する深度まで起こるが、一方で、基質であるメタン濃度は表層に近づくに連れて減少する。深度 30 cm で pmoA が多いという結果は、この深度付近におけるメタン酸化細菌の活発な反応を示唆している。

高いメタン排出量を示す実処分場 (一般廃棄物処分場) の最終覆土を対象として、メタン分解能力と透気係数の関係を比較した結果、試料の透気係数は同じオーダー内に収まっており、メタン酸化能力に大きく影響するほどの差は確認されなかった。MOB の保有する遺伝子数とメタン分解活性の関係性については、初期メタン濃度が高い条件下においてメタン酸化能力を示した地点において pmoA 遺伝子数が 10^8 copy-DNA/g、ならびに sMMO をコードしている mmoX 遺伝子数が 10^5 copy-DNA/g を越えており、タイプ II の MOB が優占していることが考えられる (表 1)。この結果は、メタン濃度とメタン酸化の関係とも一致していた。一方、初期メタン濃度が低い条件下においてメタン酸化能力を示した地点では pmoA 遺伝子が mmoX 遺伝子に比べて 10^4 オーダー以上多いことが示され、同地点ではタイプ I の MOB が優占していると考えられた。このことは低濃度メタンの条件下においてメタン酸化速度が特に高いことから推測された。一方で、メタン排出量の低い産業廃棄物処分場において同様の調査を行った結果、最終覆土層のメタン酸化能力が低い

ことが示された。遺伝子数の解析結果から、本処分場覆土中においては、MOBs 菌体存在量が著しく低いことがその原因としてあげられた。つまりメタン排出量の低い処分場の最終覆土においては、メタン酸化細菌自体が充分量存在しておらず、メタン酸化能力がそれほど期待できない状況下にある可能性が示唆されたものといえる。

以上の検討結果から、実処分場におけるメタン酸化能力およびメタン酸化細菌群集の分布状況が明らかにされた。表層におけるメタン酸化能力は処分場ごとに異なることが示され、反応型覆土の適用にあたってはこうした土着の微生物群の評価と有効活用が肝要であることが示された。

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)

[雑誌論文](計1件)

Tomonori Ishigaki, Chu Van Chung, Nguyen Nhu Sang, Michihiko Ike, Koji Otsuka, Masato Yamada, Yuzo Inoue
Estimation and Field Measurement of Methane emission from waste landfill in Hanoi, Vietnam, Journal of Material Cycles and Waste Management, 10, 2008, 165-172, 査読有

[学会発表](計3件)

澤村啓美, 山田正人, Komsliip Wang-Yao, 宮城俊彦, 池道彦, 石垣智基, 亜熱帯・熱帯地域の埋立地における微生物生態系の特徴, 第19回廃棄物学会研究発表会, 2008.11.16, 京都大学

古田祐介, 石垣智基, 占部武生, 山田正人, 成岡朋弘, Komsliip Wang-Yao, 宮城俊彦, 田中宏和, 小野雄策, 埋立地からのメタンおよび亜酸化窒素排出量の評価手法に関する検討, 第19回廃棄物学会研究発表会, 2008.11.16, 京都大学

石垣智基, 佐野準治, 白井啓一, 山田正人, 東南アジア諸国の埋立地覆土層におけるメタン排出量削減に関する研究, 第18回廃棄物学会研究発表会, 2007.11.21, つくば国際会議場

6. 研究組織

(1)研究代表者

石垣 智基 (ISHIGAKI TOMONORI)

龍谷大学・理工学部・講師

研究者番号: 90343756