

科学研究費助成事業 研究成果報告書

平成 28 年 6 月 7 日現在

機関番号：17301

研究種目：若手研究(B)

研究期間：2013～2015

課題番号：25740039

研究課題名(和文) 浸出水処理水等の不用な硝酸塩を活用した最終処分場からの硫化水素発生抑制手法の開発

研究課題名(英文) Hydrogen sulfide generation suppression by nitrate addition -application to solid waste landfill site

研究代表者

朝倉 宏 (ASAKURA, Hiroshi)

長崎大学・水産・環境科学総合研究科(環境)・准教授

研究者番号：00391061

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 3,600,000円

研究成果の概要(和文)：日本の安定型最終処分場で硫化水素が発生し、作業員が死亡した。嫌氣的条件下で廃石膏ボード由来の硫酸塩を硫酸塩還元菌が還元することによって硫化水素が発生する。そのため、現在の発生抑制のための対策は、ガス抜き管の設置によるガス状酸素の導入が主流である。しかし、設置コスト、海面処分場への適用が不可、などの問題がある。一方、下水道分野では、硝酸塩による発生抑制の事例がある。本研究では、硝酸塩による硫化水素発生抑制の効果を、定量的に評価した。

研究成果の概要(英文)：In Japan, three deaths were reported at an inert solid waste landfill site after exposure to hydrogen sulfide (H₂S) generated at the site. H₂S gas is produced when sulfate-reducing bacteria (SRB) convert sulfate derived from waste gypsum board under anaerobic conditions. The recommended countermeasure is to supply oxygen by installing gas venting pipes. However, a large cost is necessary for pipe installation and the pipes are not applicable to coastal landfill sites. On the other hand, H₂S generation suppression by nitrate (NO₃) addition has been reported in sewage systems. In this study, in order to develop a method to suppress H₂S generation by NO₃ addition at a landfill site, the extent of suppression was quantitatively estimated.

研究分野：廃棄物工学

キーワード：最終処分場 廃石膏ボード 硫化水素 抑制

1. 研究開始当初の背景

硫化水素 (H_2S) は、20 ~ 30 ppmv 程度では強い悪臭を感じ、750 ~ 1000 ppmv 以上の曝露では極度の中毒のために即死する (以下、1000 ppmv 以上を高濃度とする)。最終処分場からの H_2S の発生は、世界的に見られる (Lee, Eun, Xu, Fang, López, Yue)。日本において 1999 年に安定型最終処分場 (日本における安定的な廃棄物を受け入れる処分場の種類。廃プラスチック、ゴム、金属、ガラス陶磁器、がれきを受け入れ。ガス抜き管、遮水シート、水処理施設無し。当時、紙を取り除いた廃石膏ボード受入可。) において 15000 ppmv の H_2S が発生し、作業員が死亡する事故が発生した。最終処分場における H_2S 発生の主な原因は、廃棄物層内の嫌氣的ゾーンにおいて、硫酸塩還元菌が溶存有機物を分解し、硫酸塩を還元するためである (Lee, Townsend et al., 2000, 2005)。硫酸塩の主な供給源は廃石膏 ($CaSO_4$) ボードである (Jang)。安定型最終処分場には、分解性の有機物は埋め立てない。したがって、廃石膏ボードから紙を分離したものに限り、安定型最終処分場への埋め立てが許可されていた。その後、紙を取り除いても廃石膏ボードの母材 (石膏部) 自体に添加されている有機物によっても H_2S が発生することがわかり (井上)、2006 年、環境省は廃石膏ボードの安定型処分場への埋め立てを禁止した (通知、廃石膏ボードから付着している紙を除去したものの取扱いについて)。最終処分場における H_2S 発生・拡散防止策は、嫌氣的雰囲気への排除 (水分排除、ガス状酸素の導入) と、発生した H_2S の捕捉 (鉄と反応させて硫化鉄に変換する)、吸着 (活性炭、ゼオライトなどの吸着材による吸着) などである。環境省は、覆土 (雨水浸透防止、また、遊離鉄等によって H_2S を捕捉)、ガス抜き管の設置 (酸素の導入) を推奨した。しかし、ガス抜き管を設置する場所を決定するための調査と設置工事の多大なコストが必要である。また、鉄による H_2S の捕捉は、発生自体を抑止していない。さらに、海面処分場においては大部分の埋立層が保有水面下であるため、ガス抜き管の設置では酸素の供給が不可能である。したがって、その他の発生抑制手法を開発し、選択肢を増やす必要がある。下水道分野では、硝酸塩添加による H_2S 抑制事例が報告されている (Bentzen, Zhang)。硫酸塩還元菌によって H_2S が発生している箇所に硝酸塩を投入し、硝酸脱窒菌による脱窒を優位にさせ、有機物を硝酸脱窒菌に消費させ、硫酸塩還元菌の活性を低下させ、 H_2S 発生を抑制するものである (Zhang)。有機物 (CH_2O) の酸化反応について、電子受容体が溶存 O_2 、硝酸 (NO_3) イオン、 SO_4 イオンの時のギブス自由エネルギー変化量はそれぞれ、-125、-119、-25.4 kJ/mol である (Stumm) ため、好気性菌による呼吸 > 硝酸脱窒菌による硝酸脱窒 > 硫酸塩還元菌による硫酸塩還元 (H_2S 発生) の優先順位で反応が起こる

(Stumm)。すなわち、溶存 O_2 が、 NO_3 イオンがあれば硫酸塩還元は起こりにくい。

最終処分場においても硝酸塩添加法を応用することができれば、 H_2S 発生抑制技術となり得る。しかし、発生 H_2S 量に対して必要な硝酸塩投入量など、定量的な評価はまだない。下水道分野では、薬品硝酸塩を使用している (Zhang)。硝酸塩は、廃棄物由来コンポスト (Farrell, Hasan) などにも含まれている。したがって、市場で不用となった硝酸塩を利用できれば、低コスト化と資源の有効活用が狙える。

2. 研究の目的

そこで本研究では、 H_2S が発生している最終処分場における硝酸塩添加による発生抑制手法開発のために、

- ・ NO_3 イオンの濃度
 - ・ 硝酸塩の投入方法 (断続添加、濃度維持)
 - ・ 硝酸塩の種類 (薬品、コンポスト)
- による発生抑制効果を定量的に比較評価する。

3. 研究の方法

(1) 概要

本研究では、密閉系において H_2S を発生させ、そこに硝酸塩を添加することによる H_2S 発生抑制効果を評価する。まず、密閉系に有機物と硫酸塩を充填し、系内の嫌氣的雰囲気維持し、高濃度 H_2S が確実に発生することを確認した。次に、高濃度に H_2S が発生した系に対し、窒素 (N_2) ガス通気によって嫌氣的雰囲気を維持しながら気液中の H_2S を排除し、硝酸塩を添加し、 H_2S 発生抑制時間と発生速度を測定した。硝酸塩として、薬品硝酸塩とコンポスト含有硝酸塩の二つを使用した。また、硝酸塩添加方法については、硝酸塩断続添加、硝酸塩濃度維持の二通りを設定した。

(2) 試料

本研究は基礎実験であるため、実試料 (最終処分場浸出水など) を用いなかった。有機物として微生物培養用の試薬、硫酸塩として硫酸カルシウム試薬 ($CaSO_4 \cdot 2H_2O$) を用いた。また硝酸塩として、薬品 (硝酸ナトリウム) と下水汚泥コンポスト由来のものを使用した。以下、薬品による硝酸塩を NR (Reagent) コンポスト由来の硝酸塩を NC (Compost Nitrate) と呼ぶ。下水汚泥コンポストを使用する際には、含有される硝酸塩を抽出する必要がある。そこで、下水汚泥コンポストと水を重量比 1:8 で混合し、振とうして上澄みを抽出液として使用した。NC 溶液の NO_3 イオン濃度は約 3500 mg- NO_3 /L、全有機炭素 (TOC) は約 1900 mg-C/L であった。

(3) 実験装置

枝付ポリ瓶とガスバックを接続して密閉系 (以下、 H_2S 発生系) を作成した (図-1)。

ガスバックには N_2 ガスを充填した。ポリ瓶内に試料を入れ、純水を加えて水量を 350 mL 程度とした、ポリ瓶内の空間とガスバック内ガスの合計ガス量は 700 mL 程度である。

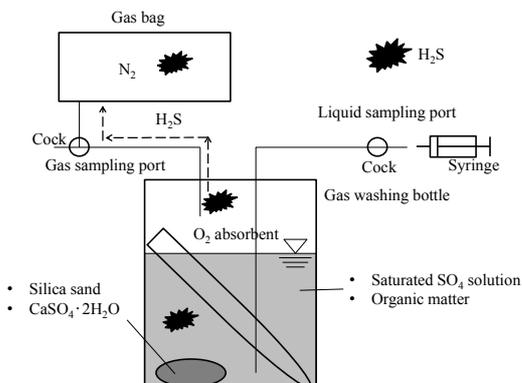


図-1. 密閉系 (H_2S 発生系) の概要

(4) 手順 (馴致)

高濃度 H_2S 発生のために必要な要素は、系内の硫酸塩還元菌の増殖に最適な環境 (嫌氣的雰囲気, 温度) の維持, 高濃度有機物の維持, 硫酸塩の存在である (井上) を満たすために、酸素吸収管 (亜硫酸ナトリウム水溶液) を系内部に入れ、系を 35 の恒温槽に設置した。を満たすため、700 ~ 1000 mg-C/L の範囲に維持されるよう、週に 2 回系内の TOC を測定し、有機物を系内に添加し、添加後の測定も行った。の条件を満たすために、硫酸塩は $CaSO_4 \cdot 2H_2O$ の飽和量 (約 1700 mg- SO_4/L , 17.6 mmol- SO_4/L) の 30 倍程度添加した。

H_2S 発生系を 9 系統 (RUN1 ~ 9) 作成した。高濃度 H_2S が検出された場合は、 N_2 ガス通気による H_2S 排出を行い、気・液相内の H_2S を排除した。高濃度 H_2S 発生 - H_2S 排出を 3 回繰り返すまでの過程を馴致とし、終了後は H_2S 発生抑制実験に移行した。

(5) 手順 (H_2S 発生抑制実験)

H_2S 発生抑制実験では、馴致が完了した H_2S 発生系に対して、設定条件にしたがって硝酸塩を添加し、 H_2S 発生抑制効果を評価する。硝酸塩添加量として、高および低濃度 (H および L) を設定した。高濃度は、7.0 mmol- NO_3/L (430 mg- NO_3/L)、低濃度は 1.76 mmol- NO_3/L (110 mg- NO_3/L) である。これらの濃度は、飽和硫酸塩濃度 (17.6 mmol- SO_4/L) の 0.4 および 0.1 倍である。

各実験は別々の系で独立して行われるべきであるが、スペースと予算の都合上、一つの条件による実験が終了したのち、同じ系を用いて別の条件による実験を行った。RUN1 ~ 6 を用いて、硝酸塩断続添加実験 (I) の終了後、硝酸塩濃度維持実験 (K) を行った。コントロール (硝酸塩無添加) は RUN7 ~ 9 である。

それぞれの実験の操作・終了条件を以下に示す。断続添加実験では、HNR, LNR, もしくは HNC を系に添加し、~ の条件を満たすよう制御する。硝酸塩による H_2S 発生抑制効果が消滅して高濃度 H_2S が確認されたら、 N_2 ガス通気による H_2S 排出を行い、再び硝酸塩を添加した。各実験において、高濃度 H_2S が 6 回確認されたとき実験終了とした。硝酸塩濃度維持実験は、~ の条件を満たすよう制御しながら、 NO_3 イオン濃度が 100 ~ 430 mg- NO_3/L を維持するように HNR もしくは HNC を添加した。各実験において、 H_2S 発生濃度 1000 ppmv 以下を 1 か月間維持したことを確認し、実験終了とした。

(6) 測定項目

測定対象は、発生系内の気相と液相である。気相の測定項目は、 H_2S 濃度、ガス量である。液相の測定項目は、pH、電気伝導度 (EC)、酸化還元電位 (ORP)、全有機炭素 (TOC)、 NO_3 イオン濃度、液量である。

気相の測定項目について、 H_2S は、作業員の安全確認用ポータブルガス検知器 (XS-2200, NEW COSMOS ELECTRIC CO., LTD) を使用した。測定原理は、定電位電解式 (controlled potential electrolysis type gas sensor) である。ガス量は、ガスバック中のガスをシリンジで吸い取ったときの目盛りを読んで測定した。測定後、再び N_2 ガスを充填したガスバックを系に接続した。

液相の測定項目で用いた機器は、それぞれ、pH (HORIBA B-212), EC (HORIBA B-173), ORP (HORIBA-D-55, 9300-10D), TOC (Shimadzu, TOC-VWS), NO_3 (HORIBA B-343) である。液量は、系全体の重量測定から求めた。液相は、プラスチックシリンジを用いて液体回収口から 10 mL 採取した。有機物や硝酸塩の添加を含めて、溶液を 10 mL 注入することによって系内の液相量を維持した。

それぞれの測定頻度に関しては、ガスバック内の H_2S とガス量、液相の pH, EC, ORP, NO_3 濃度、液量を 4 回/週とし、TOC を 2 回/週とした。TOC は系内への有機物添加の前後に測定した。

4. 研究成果

(1) 断続添加実験

RUN-1 の H_2S , NO_3 , ORP の推移を図-2 に示す。HNRI において、硝酸塩を添加することによって ORP が上昇した。LNRI と HNCI では、硝酸塩を添加することによる ORP 上昇が明確ではなかった。高濃度 H_2S が発生するのは、ORP が -100 mV 以下のときであった。HNRI と HNCI では、 NO_3 イオンは添加日の次の測定日である 2 日後には定量下限値 (50 mg- NO_3/L) まで減少する事例があった。したがって、2 日以内に NO_3 イオンは消滅している可能性がある。

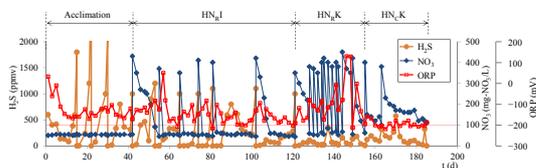


図-2 . RUN-1 の推移

(2)濃度維持実験

HNRK では、NO₃ イオンの消滅が速いため、頻りに硝酸塩を添加しなければならなかった。NO₃ イオンが定量下限値になってから添加したため、正確に NO₃ イオン濃度を維持しているとは言えない。硝酸塩の繰り返し添加により、ORP は上昇し、100 mV を超えた。目標値である 1 か月間において、高濃度 H₂S は発生しなかった。HNCK では NO₃ イオンの消滅が遅く、硝酸塩の添加回数が 2 回であったが、目標値である 1 か月間において、高濃度 H₂S は発生しなかった。ORP は -100 mV 以下であった。

(3)コントロール

コントロールでは、10 日以降は ORP が -100 mV 以下で推移し、高濃度 H₂S が発生した。ORP は増減を繰り返し、明確な傾向はみられなかった。N₂ ガス通気で H₂S を追い出した直後の H₂S の再発生は、通気直前の発生速度より遅くなっていた。NO₃ イオン濃度は、定量下限値付近であった。

(4)硝酸塩添加による H₂S 発生抑制効果の定量的評価

硝酸塩添加による H₂S 発生抑制効果について、定量的に評価する。図-3 に H₂S が 1000 ppmv を突破するのに要する日数を示す。コントロールでは、7.6 ± 2.1 日 (平均 ± 標準偏差, 以下同じ) で H₂S が 1000 ppmv を超えた。これは、LNRI, HNCI でも同程度であった。HNRI では、15.2 ± 8.2 日とばらつきが大きいものの、コントロールの 2 倍を要した。HNRK, HNCK では、1 か月間、H₂S が 1000 ppmv 以下を維持した。

図-4 に H₂S 発生速度を示す。N₂ ガス通気で H₂S を排除した日から 1000 ppmv を超えた日の期間 (ただし継続実験にあつては 2 日毎) における H₂S 濃度の増加量から発生速度を求めた。なお、H₂S は気相だけでなく液相にも存在する。気相中濃度、ガス量、水量、pH を用いて、Henry 則と平衡関係から、液相中の H₂S 量を計算によって求めた。H₂S は液相から発生することから、液相容積当たりの H₂S の発生速度 (mmol-H₂S/(L·d)) に換算した。コントロールでは、0.21 ± 0.05 mmol-H₂S/(L·d) であった。これは、LNRI, HNCI でも同程度であった。しかし、HNRI では、0.051 ± 0.024 mmol-H₂S/(L·d) と、コントロールの 1/4 程度の速度であった。NO₃ イオンが消滅してからも、H₂S はただちに発生せず、発生が抑制されていた (60 ~ 80 日)。HNCI で H₂S の発生速度が低下しなかった原因は不明である。濃

度維持 (HNRK, HNCK) は、コントロールと比較して 1/20 以下の速度であった。ただし、NO₃ イオンの消滅が速く硝酸塩濃度が維持できなかった。

図-5 に硝酸塩添加速度について示す。HNRI, LNRI, HNCI, HNCK は、0.20 ~ 0.71 mmol-NO₃/(L·d) であったが、HNRK では 3 倍以上の 2.2 mmol-NO₃/(L·d) であった。これは、NO₃ イオン濃度 100 ~ 430 mg-NO₃/L を維持することが条件であつて、高濃度 H₂S を発生させないような硝酸塩維持濃度の最低値を求めることを目的としていないためである。しかも、NO₃ イオンの消滅は迅速であった。したがって、これ以下の硝酸塩添加速度であっても高濃度 H₂S は発生しない可能性がある。例えば、HNRI は H₂S の発生速度を低下させていることから H₂S 発生抑制効果があるとみなすと、HNRI の硝酸塩添加速度 0.46 mmol-NO₃/(L·d) を超える速度で硝酸塩を添加すれば、高濃度 H₂S は発生しない可能性がある。

図-6 に硝酸塩添加頻度について示す。HNRI, LNRI, HNCI, HNCK は、硝酸塩添加速度が 2.1 ~ 3.7 回/月の添加頻度であるが、HNRK では 2 倍以上の 10.5 回/月であった。この理由は、硝酸塩添加速度と同様である。

以上をまとめると、0.21 ± 0.05 mmol-H₂S/(L·d) の速度で H₂S が発生する状態に、0.46 mmol-NO₃/(L·d) の速度で薬品硝酸塩を添加すると、H₂S 発生速度は 1/4 程度まで低下した。NO₃ イオンの消滅が速いために硝酸塩濃度の維持は難しいが、NO₃ イオン濃度 100 mg-NO₃/L 以上を保ったところ、1 か月間にわたって H₂S が 1000 ppmv 以下を維持し、1/20 以下の発生速度であった。

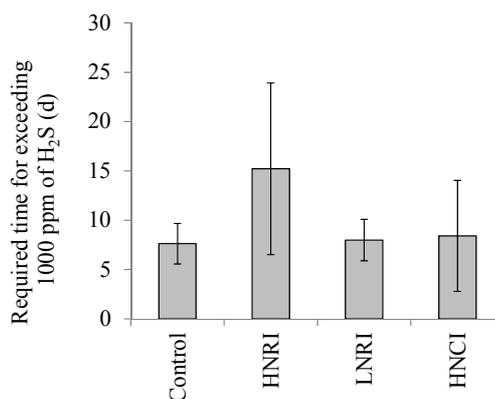


図-3 . H₂S 1000 ppmv 突破必要日数

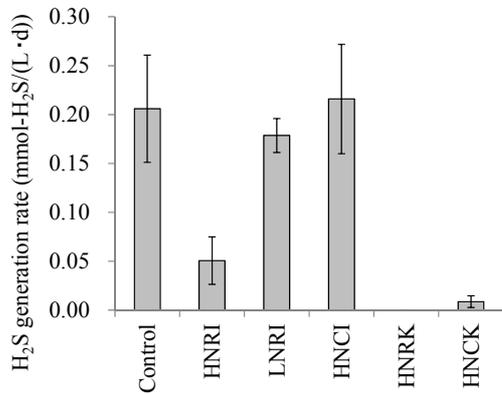


図-4 . H₂S 発生速度

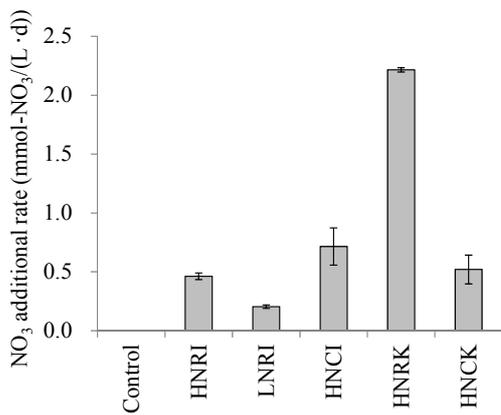


図-5 . 硝酸塩添加速度

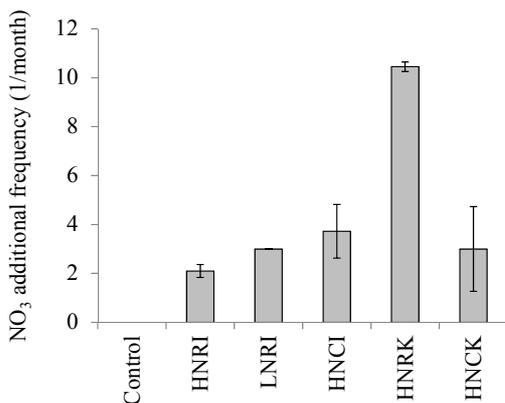


図-6 . 硝酸塩添加頻度

(5)本研究の問題点、成果の応用と今後の課題
コンポスト由来硝酸塩添加について、HNCKはHNRKと同様に、迅速なNO₃イオン消費による頻繁な硝酸塩添加を行う必要があると推測される。しかし結果は、HNCKではNO₃イオン消費が遅く、硝酸塩添加が少なくても高濃度H₂Sの発生が抑制された。図-2では、同じコンポスト由来硝酸塩添加であっても、HNCIのNO₃イオン消費は速く、

HNCKでは遅くなった。同じ系で別の種類の実験を継続して行ったため、内部の環境が変化した可能性がある。コンポストはフミン質などの安定した有機物を含有している(Garcia et al., 1991)。Hamamura et al. (2009)は、下水汚泥コンポストには多くの安定的な有機物が含まれていると述べている。Piccolo and Mbagwu (1999)は、フミン質は、生物的な活性を阻害すると述べている。本実験では、TOCを700~1000 mg-C/Lの範囲で維持するように微生物培養用の有機物を添加している。しかし、硝酸塩添加のためにコンポスト抽出液を使用すると、硝酸塩と共にコンポスト含有フミン質も添加される。このフミン質は有機物であるためにTOCを増加させ、結果として微生物培養用の有機物の添加量を減少させることになる。この様に、HNCKでは生物が分解しにくいフミン質由来のTOCが増加し、硫酸塩還元菌が利用できる正味のTOCが減少したため、H₂Sの発生ポテンシャルが減少したのではないかと著者らは考える。これは、HNCKのH₂S発生抑制効果を誤って大きく見積もっていることと、コンポスト含有フミン質によるTOC増加はH₂S発生ポテンシャルを増加させない(現場使用の現実性がある)こと、以上の二つを意味する。

本研究成果によって、H₂Sが発生している最終処分場埋立層における、発生抑制のための硝酸塩の投入量を概算できる。今後の課題は以下のとおりである。コンポスト由来硝酸塩の実験において、正味の有機物量を正確に確保して再実験する必要がある。実験規模の拡大や最終処分場で本手法を使用した場合の環境負荷(富栄養化等)の評価、低コスト化にむけた不用物由来硝酸塩の効果の評価が必要である。硝酸塩添加は、通気(ガス状酸素添加)法の代替案であるから、通気法と比較した特長を定量的に表現する必要がある。特長の項目は、硝酸塩が好気ゾーンで消費されないこと、脱室時の有機物の消費である。特に、保有水が滞留する海面処分場においては通気が困難であり、また有機物の分解は嫌氣的分解に頼らなければならない。硝酸脱室による有機物消費が大きければ、H₂S発生抑制と併せて一石二鳥となる。

〔引用文献〕

- Lee, S., Xu, Q., Booth, M., Townsend, T.G., Chadik, P., Bitton, G., 2006. Reduced sulfur compounds in gas from construction and demolition debris landfills. *Waste Management* 26, 526–533.
- Eun, S., Reinhart, D.R., Cooper, C.D., Townsend, T.G., Faour, A., 2007. Hydrogen sulfide flux measurements from construction and demolition debris (C&D) landfills. *Waste Management* 27, 220–227.
- Xu, Q., Townsend, T., Reinhart, D., 2010. Attenuation of hydrogen sulfide at construction and demolition debris landfills

using alternative cover materials. Waste Management 30(4), 660–666.

Fang, J.J., Yang, Na., Cen, D.Y., Shao, L.M., He, P.J., 2012. Odor compounds from different sources of landfill: Characterization and source identification. Waste Management 32, 1401–1410.

López, A., Lobo, A., 2014. Emissions of C&D refuse in landfills: A European case, Waste Management 34, 1446–1454.

Yue, E., Han, B., Sun, Y., Yang, T., 2014. Sulfide emissions from different areas of a municipal solid waste landfill in China. Waste Management 34, 1041–1044.

Townsend, T., Tolaymat, T., Leo, K., Jambeck, J., 2004. Heavy metals in recovered fines from construction and demolition debris recycling facilities in Florida. Science of the Total Environment 332, 1–11.

Townsend, T., Jambeck, J., Jang, Y., Plaza, C., Xu, Q., Clark, C., 2005. C&D Waste Landfill in Florida: Assessment of True Impact and Exploration of Innovative Control Techniques. Florida Center for Solid and Hazardous Waste Management, Gainesville, FL, USA.

Jang, Y.C., Townsend, T., 2001. Sulfate leaching from recovered construction and demolition debris fines. Advances in Environmental Research 5(3), 203–217.

井上雄三：安定型最終処分場における高濃度硫化水素発生機構の解明ならびにその環境汚染防止対策に関する研究，国立環境研究所報告，第188号，2005

Bentzen, G., Smit, A.T., Bennett, D., Webster, N.J., Reinholt, F., Sletholt, E., Hobsont, J., 1995. Controlled dosing of nitrate for prevention of H₂S in a sewer network and the effects on the subsequent treatment processes. Water Science and Technology 31 (7), 293–302.

Zhang, L., Schryver, P.D., Gussemé, B.D., Muynck, W.D., Boon, N., Verstraete, W., 2008. Chemical and biological technologies for hydrogen sulfide emission control in sewer systems: A review. Water Research 42, 1–12.

Stumm, W., Morgan, J.J., 1996. Aquatic chemistry -Third Edition, John Wiley & Sons, New York.

Farrell, M., Jones, D.L., 2010. Food waste composting: Its use as a peat replacement. Waste Management 30, 1495–1501.

Hasan, K.M.M., Sarkar, G., Alamgir, M., Bari, Q.H., Haedrich, G., 2010. Study on the quality and stability of compost through a Demo Compost Plant. Waste Management 32, 2046–2055.

Garcia, C., Hernandez, T., Costa, F., Polo,

A., 1991. Humic substances in composted sewage sludge. Waste Management and Research 9(1), 189–194.

Hamamura, K., Shimizu, N., Tsuchida, D., Nagase, M., Toba, M., Kurokawa, Y., et al., 2009. A study of the dissolution behavior of chlorine from incinerator residue mixed with organic composts for cement raw material. Journal of Japan Society of Waste Management Experts 20(1), 52–60.

Piccolo, A., Mbagwu, J.S.C., 1999. Role of hydrophobic components of soil organic matter in soil aggregate stability. Oil Science Society of America Journal 63(6), 1801–1810.

5 . 主な発表論文等

〔雑誌論文〕(計3件)

Hiroshi Asakura: Sulfate and organic matter concentration in relation to hydrogen sulfide generation at inert solid waste landfill site - Limit value for gypsum, Waste Management, 査読有, Vol. 43, 2015, 328-334

Shumpei Kitazaki, Kei Nakagawa, Tomonori Kindaichi, Hiroshi Asakura: Suppressing Hydrogen Sulfide Generation by Nitrate or Oxygen Addition in Column Percolation Experiment, American Journal of Environmental Protection, 査読有, Vol. 4, 2015, 55-61

Shumpei Kitazaki, Kai Xiao, Kei Nakagawa, Tomonori Kindaichi, Hiroshi Asakura: Hydrogen sulfide generation suppression by nitrate addition - application to solid waste landfill site, American Journal of Environmental Protection, 査読有, Vol. 3, 2014, 267-274

〔学会発表〕(計2件)

朝倉 宏：硝酸塩添加による最終処分場からの硫化水素発生抑制，廃棄物海面埋立管理技術会議，2015年03月20日，徳島県環境整備公社（徳島市）

朝倉 宏：高濃度硫化水素を発生させる硫酸塩・有機物濃度条件の探索，第25回廃棄物資源循環学会，2014年09月16日，広島工業大学（広島市）

6 . 研究組織

(1)研究代表者

朝倉 宏 (ASAKURA, Hiroshi)

長崎大学・水産・環境科学総合研究科(環境)・准教授

研究者番号：00391061