

令和 2 年 7 月 7 日現在

機関番号：82101

研究種目：基盤研究(B) (一般)

研究期間：2017～2019

課題番号：17H01905

研究課題名(和文) バイオガス化施設における残留性有機汚染物質等の排出実態把握と排出制御法の構築

研究課題名(英文) Study on distribution of POP-like compounds in biogas plants and establishment of a method for controlling their emission

研究代表者

倉持 秀敏 (Kuramochi, Hidetoshi)

国立研究開発法人国立環境研究所・資源循環・廃棄物研究センター・室長

研究者番号：50353537

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 13,200,000円

研究成果の概要(和文)：生ごみ等のバイオガス化(メタン発酵)施設を調査し、各プロセスにおける残留性有機汚染物質等の環境汚染物質の濃度を測定し、施設内における汚染物質の実態(挙動)を初めて明らかにした。さらに、物質群ごとの特徴や原料の種類が挙動に与える影響を解析した。また、数値モデルを用いて汚染物質の分解や各媒体への分配等の運命を予測するモデルを開発した。得られた計算結果を施設調査結果と比較して、モデルの有用性を確認するとともに、汚染物質の排出削減の方法を検討した。モデルの開発において、汚染物質の溶解有機炭素/水分係数が重要であることがわかり、実際のメタン発酵汚泥の液分を使ってそのパラメータを実測した。

研究成果の学術的意義や社会的意義

生ごみ等のバイオガス化施設の各プロセスにおける環境汚染物質の濃度を測定し、施設内における汚染物質の実態を明らかにした研究は本研究が初めてである。また、施設内の汚染物質の分解や各媒体への分配等の汚染物質の運命を予測するモデルを構築した研究も本研究が初めてとなり、この分野における学術的な貢献は大きい。本成果により、副産物中の汚染物質の濃度を低減させ、環境への排出削減の検討が可能となり、環境保全の観点から社会的に大きな貢献となりうる。

研究成果の概要(英文)：We first investigated the concentration of environmental pollutants such as the persistent organic pollutants in each process in some biogasification (methane fermentation) facilities treating food waste, and revealed their behavior in the facilities. Furthermore, we analyzed the characteristics of each substance group and the effect of type of feedstock on the behavior. We developed a numerical model based on a multimedia model, which can predict the fate of the pollutants such as degradation in each process and partitioning to each medium of fermentation residue. The calculated results fairly represented the actual behavior of the pollutants. This model was used to suggest countermeasures for reducing emission of pollutants from biogasification facilities. Since we found the dissolved organic carbon/water partition coefficient of pollutants was important in the modelling study, it was measured using liquid fraction of actual fermentation residue.

研究分野：リサイクル工学、環境化学工学

キーワード：バイオガス 廃棄物再資源化 メタン発酵 残留性有機汚染物質 多媒体モデル 運命予測 分配係数 微生物分解

科研費による研究は、研究者の自覚と責任において実施するものです。そのため、研究の実施や研究成果の公表等については、国の要請等に基づくものではなく、その研究成果に関する見解や責任は、研究者個人に帰属されます。

様式 C-19、F-19-1、Z-19（共通）

1. 研究開始当初の背景

近年、生ごみ等の廃棄物系バイオマスを嫌気発酵によりメタンガスへ変換してエネルギー回収するバイオガス化施設（メタン発酵施設）の導入が進んでいる。しかしながら、Suominen らの論文¹⁾により、フィンランドのバイオガス化施設において残留性有機汚染物質（POPs）であるポリ臭素化ジフェニルエーテル（PBDEs）が発酵汚泥へ高度に濃縮され、汚泥の堆肥利用を通じた環境汚染が懸念されている。残念ながら、彼らの論文以外に関連した報告はない状況である。そこで、国内においてもバイオガス化施設における、PBDEs を含む環境汚染物質の挙動を把握し、排出実態を明らかにする必要がある。加えて、汚染物質の排出制御・削減法を検討するには、それらの挙動や排出量を予想できるモデルも必要である。

2. 研究の目的

本研究では、国内のバイオガス化施設を対象に、各プロセスにおける PBDEs などの POPs を中心とした環境汚染物質の濃度を測定し、それらの施設内挙動と排出実態を把握し、原料や発酵形式が挙動等に与える影響を明らかにする。また、施設内における環境汚染物質の挙動を予測可能な多媒体モデルを開発するとともに、汚染物質の排出制御・削減の可能性を提案する。多媒体モデルの計算では、汚染物質の分解速度や物理化学パラメータが必要であり、これらのパラメータを実測・整備することも目的である。さらに、嫌気発酵による環境汚染物質の分解性についても検討を行う。

3. 研究の方法

(1) バイオガス化施設における挙動の解明

バイオガス化施設の各プロセスから試料を採取した。例えば、図1のように、ある中温メタン発酵施設では、①混合槽汚泥、②可溶化槽汚泥、③メタン発酵槽汚泥、④脱水汚泥、⑤乾燥汚泥、⑥脱水ろ液、⑦排出水、⑧バイオガスを採取した。なお、バイオガスは、スチレンジビニルベンゼン共重合体ミニカラムを用い、流速 1 L/min で約 100 L を捕集した。

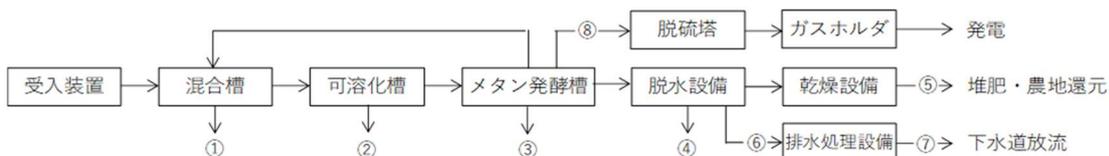


図1. 調査対象施設における試料採取箇所

分析対象とした環境汚染物質は、揮発性メチルシロキサン類（VMSs）6 物質、難燃剤である PBDEs 26 異性体、ヘキサブプロモシクロドデカン（HBCDs）3 異性体、リン系難燃剤（PFRs）26 物質とした。採取した各種試料を物質群ごとに適切な前処理を行い、有機溶媒で物質を抽出し、抽出液の一部をフロリジルカラムもしくは多層シリカゲルカラム及び活性炭カラムで精製したものを GC-MS、GC-MSMS 及び LC-MSMS で同定・定量した。

また、施設の運転データを基に、生成物であるバイオガス、残渣である発酵汚泥の固形分（堆肥）及び液分（排水）へのマスフロー及び分配率を解析した。

(2) 多媒体モデルの開発

バイオガス化施設内の環境汚染物質の挙動を再現するために多媒体モデルを用いた。特に、バイオガス化施設は下水処理施設と似ている部分があることから、Clark らの下水処理施設用の多媒体モデル²⁾を参考に、まずは一般的なバイオガス化施設用の多媒体モデルを構築した。多媒体モデルでは、発酵槽内には、バイオガス、発酵汚泥の液分（以下、液分）及び固形分（以下、固形分）の三種類の媒体が存在すると仮定し、各媒体間の環境汚染物質の分配は、大気/水分分配係数 (K_{aw} : 平衡状態における大気と水間の濃度比)、有機炭素/水分分配係数 (K_{oc} : 平衡状態における有機炭素と水間の濃度比) に基づくとして各媒体中の環境汚染物質の濃度を計算した。しかし、試算結果は Suominen らの実測データ¹⁾と異なることから、多媒体モデルに溶存有機炭素/水分分配係数 (K_{Doc}) を新たに導入して計算を行った。なお、計算では、各種分配係数に加えて、媒体の半減期が必要で、EPISuite³⁾等を用いてそれらの値を推定した。最終的には、図1のような実機へ多媒体モデルをカスタマイズして、各プロセスの濃度及び分解率や液分と固形分への分配率を計算した。また、(1) の実測値と比較して、モデルの有用性を評価するとともに、モデルを用いて排出削減策を検討した。

(3) 物理化学パラメータの測定

(2) のモデルの計算では、液分における K_{Doc} が必要なことから、Wei-Haas らの論文⁴⁾を参考して、図2のように水へ溶解度 (S_{water}) と液分への溶解度 (S_{Doc}) の比と液分中の溶存有機炭素濃度 (C_{Doc}) をプロットして、その傾きから K_{Doc} を求めた。液分は 2 種類のラボスケールのメタン発酵実験と実際のメタン発酵施設 2 施設から採取した。4 種類のメタン発酵汚泥を利用し

て、液分における PBDEs (BDE-47 (2,20,4,40-tetrabromodiphenyl ether)、BDE-99 (2,20,4,40,5-pentabromodiphenyl ether)、BDE-153 (2,20,4,40,5,50-hexabromodiphenyl ether)、BDE-154 (2,20,4,40,5,60-hexabromodiphenyl ether)) の S_{water} 及び S_{DOC} を測定し、図 2 のプロットより K_{DOC} を決定した。なお、溶解平衡時間は 72 時間とした。一般環境における K_{DOC} の報告はあるものの、メタン発酵槽の液分を媒体とした実測値はなく、本研究で初めて明らかとなった値である。

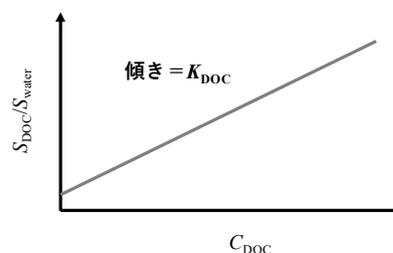


図 2. K_{DOC} の測定方法⁴⁾

4. 研究成果

(1) バイオガス化施設における挙動の解明

事業系の生ごみや食品製造業の残渣を原料とする施設(フローは図 1)について、冬季に調査した測定結果を表 1 に示し、主に議論する。まず、VMSs については、濃度は 0.21 mg/m^3 であり、発酵原料に下水汚泥を利用する施設の報告値 ($10 \sim 100 \text{ mg/m}^3$)⁵⁾ よりも 2 桁以上低かった。VMSs はバイオガスを発電に利用する際の阻害物質にもなるが、本施設における VMSs の排出量は少なく、実際に、施設内のガスエンジン発電装置にシリカが形成されて発電が阻害された事例はなかった。発酵原料を食品廃棄物に限定していたことが、バイオガス中の VMSs 濃度の低減に寄与していたと考えられ、汚染物質の排出量に及ぼす原料の影響は大きいことが予想された。また、本施設で採取した排水試料から VMSs は検出されないものの、一方で、本施設では食品廃棄物であったにも関わらず、受入後の各プロセスで採取した試料から VMSs が検出された。これらの汚泥試料から検出された VMSs は decamethyl cyclopentasiloxane (D5, 79~93%) 及び dodecamethyl cyclohexasiloxane (D6, 5.0~15%) を主成分としており、メチルシロキサン含有製品⁶⁾の混入に由来するものと考えられる。廃棄物は容器包装等を含むなど多様な形態であることから発酵プロセス内に混入したものと推察される。難燃剤に関しては、メタン発酵槽汚泥、脱水汚泥及び乾燥汚泥からも PBDEs が検出されたが、表 1 のようにそれらの濃度は $87 \sim 140 \text{ ng/g-dry}$ であり、Suominen らが報告した発酵原料に都市ごみ等を利用する 9 施設の中央値 (1570 ng/g-dry)¹⁾ よりも 1 桁以上低かった。加えて、我々の都市ごみのみを利用する施設の濃度に比べても一桁以上低い値であった。これらの結果より、VMSs と同様に、発酵原料の種類が PBDEs の排出量に与える影響が大きいことが示唆された。これらの汚泥試料から検出された PBDEs は Decabromodiphenylether (BDE-209, 81~93%) を主成分としており、BDE-209 含有製品の食品廃棄物への混入に由来するものと考えられる。HBCDs については、先行研究¹⁾と同様にほとんど検出されなかった。Gerecke らの論文によると、分解速度が極めて速いことが報告されており⁷⁾、分解が進み濃度が検出下限未満となった可能性がある。PFRs についてはメタン発酵槽汚泥、脱水汚泥及び乾燥汚泥から検出され、その濃度レベルは PBDEs よりも高かった。汚泥試料から検出された PFRs は、疎水性の高い、Tris(dimethylphenyl)phosphate (TDMPP)、Tris(2-ethylhexyl)phosphate (TEHP) Tris(isopropylphenyl)phosphate (TIPPP)などを主成分としており、難燃性及び可塑性を有する PFRs 含有製品の食品廃棄物への混入に由来するものと考えられた。一方、PFRs の場合には、液分の濃度が高く、特に、水への溶解度が高い、Tris(2-chloroisopropyl)phosphate (TCIPP)及び Tris(2-butoxyethyl)phosphate (TBOEP)が検出された。PBDEs よりも濃度が一桁以上高く、PFRs については液分にも注意が必要である。

表 1. 試料中 VMSs 及び難燃剤の濃度

	混合槽汚泥 ng/g-dry	可溶性槽汚泥 ng/g-dry	メタン発酵槽汚泥 ng/g-dry	脱水汚泥 ng/g-dry	脱水ろ液 ng/g-dry	乾燥汚泥 ng/g-dry	バイオガス mg/m ³	排水 ng/L
VMSs	6100	1200	15000	18000	<100	1900	0.21	<200
PBDEs	23	140	140	87	33	110	< 1.0×10^{-6}	180
HBCDs	6.0	1.2	<1	2.8	<1	1.4	< 1.0×10^{-6}	<3
PFRs	130	130	520	510	440	380	< 1.0×10^{-6}	730

次に、発酵液の固形分と液分に対する分配率を図 3 に示す。VMSs は揮発性があり、一部はバイオガス相へ移行するものの、多くは固形分に移行することがわかった。また、PBDEs や PFRs については、多くは固形分へ移行するが、VMSs と異なり、一部は液分へ移行することがわかった。PFRs の液分への移行が高い理由は、前述した水への溶解度の高い PFRs が含まれることが原因である。この施設については夏季についても調査を行ったが、全体的な濃度レベルが一桁程度低下していた。ヒアリングによるとプロセスを一部変更していることもあり、この変更が大きな低減に至った可能性もある。一方、原料の種類が類似している他のバイオガス化施設を対象とした我々の調査では、環境汚染物質濃度レベルは夏季と同様に低かったことから冬季の値が高い可能性も否定できず、さらなる調査が必要である。

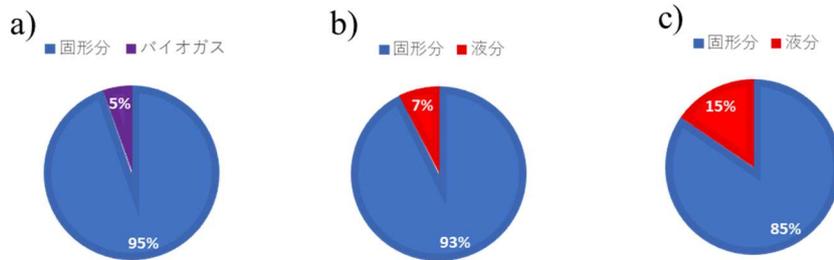


図3. 環境汚染物質 (VMSs(a)、PBDEs(b)、PFRs(c)) の発酵汚泥の固形分と液分への分配率

(2) 多媒体モデルの開発

(1) に示した施設に対する計算結果を図4に示す。VMSsについては、主要成分であるD5及びD6の計算を行った。実際の分配率と比較すると、D6については、図4aのように、メタンガスへの分配は良好に再現できたが、液分にも分配される点は現実と違っていた。ただし、液分への分配を表す K_{DOC} については実際の液分に対してではなく、Panagopoulosらのフミン酸水溶液に対する K_{DOC} ⁸⁾を代用している。後述の(3)の K_{DOC} の実測値は発酵条件によって一桁違うこともあり、既報の文献値等から一桁低い値⁹⁾を引用すると(図4b)、現実に近い分配率(図3a)を再現できることがわかった。これは適切な K_{DOC} を把握することが重要であると同時に、 K_{DOC} が高い場合にはVMSsの液分への分配にも注意が必要であることを示唆している。PBDEsの主要成分はBDE-209であることから、BDE-209のみを計算した。BDE-209の計算値はそのほとんどが固形分に残留し、実際の挙動(図3b)を比較的良く再現できた。この計算では、(3)の K_{DOC} の実測値を利用していることから、実測値が有用である可能性が示唆された。さらに、他の施設では、少量ではあるが臭素数の低いPBDEsが検出されており、それらについても計算した結果、低臭素化物の場合には液分への分配率がより高くなる傾向があり、液分への移行も注意が必要となる。PFRsについては、固形分や液分の主要成分であるTDMPP、TEHP、TCIPP、TBOEPを計算した。分配率について注目すると、TDMPPやTEHPは、BDE-209のようにそのほとんどが固形分へ分配される結果となり、現実を再現した。しかし、分解速度が速く、特に、TEHPの8割は前処理槽や発酵槽で分解される結果となった。TCIPP及びTBOEPは、前処理槽で分解されるが、TDMPPとTEHPとは異なり、主に液分へ分配される結果となり、これも同様に現実を再現し、結果としてPFRs全体の分配率(図3c)も再現できた。したがって、PBDEsとPFRsについては、構築した多媒体モデルが有用であることがわかった。本モデルではプロセスごとに最初から最後まで分配や分解が予想できることから、排出削減のための対策を検討できる。例えば、分解速度が速い物質については、高温である前処理槽の滞留時間を長くしつつ、高温発酵方式へ変更すれば更に大きな排出削減が期待できる。

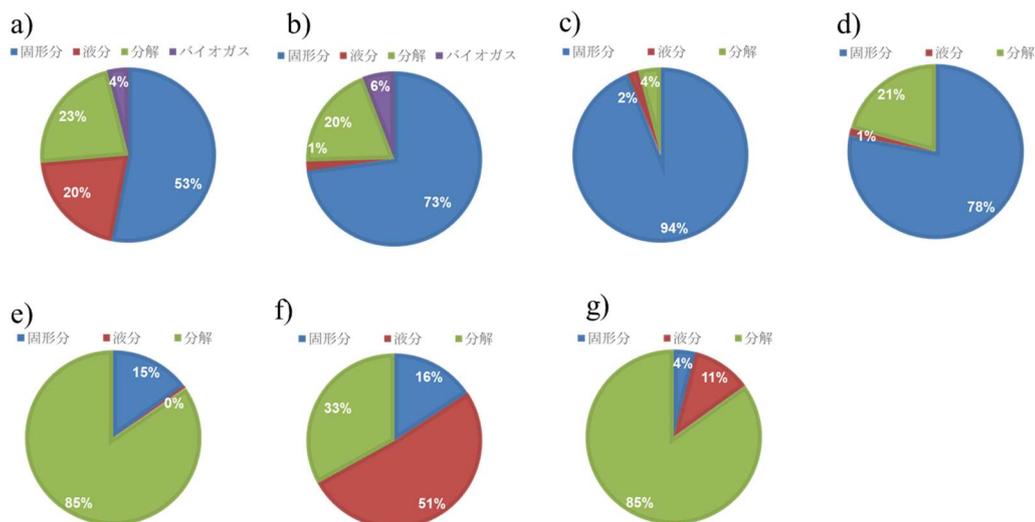


図4. 多媒体モデルによるバイオガス化施設におけるD6(a,b)、BDE-209(c)、TDMPP(d)、TEHP(e)、TCIPP(f)、TBOEP(g)の分配及び分解割合((a)の K_{DOC} は文献8)、(b)と(d)~(g)の K_{DOC} は文献9)、(c)の K_{DOC} は本研究の実測値)

(3) 物理化学パラメータの測定

4種類の発酵液分に対して、DOC濃度(C_{DOC})を変えて4つのPBDEsの溶解度を測定した。 C_{DOC} が増加するとともに、液分への溶解度(S_{DOC})が増加し、どの液分においても水への溶解度(S_{water})との比(S_{DOC}/S_{water})の大きさは、概ね6臭素化物のBDE-153及び-154が最も高く、次

いで5臭素化物のBDE-99、4臭素化物のBDE-47であった。PBDEs中の臭素数が増加すると疎水性が増すことから、溶存有機炭素への吸着力が増加し、このような結果になったと考えられる。このプロットから得られた K_{DOC} を表2に示す。

表2. 4種類の発酵汚泥の液分におけるPBDEs (BDE-47,-99,-153,-154)の $\log K_{DOC}$

液分	発酵槽規模	発酵温度	BDE-47	BDE-99	BDE-153	BDE-154
No.1	実験室	高温	5.93	6.02	6.38	6.33
No.2	実験室	中温	5.05	5.21	5.46	5.35
No.3	実機	中温	6.18	6.67	6.62	6.71
No.4	実機	中温	6.1	6.45	6.45	6.33

No.1とNo.2は同一の原料で実験し、違いは発酵温度であり、No.1は高温発酵で、No.2は中温発酵である。したがって、発酵温度で比較すると、高温発酵の方が、より液分にPBDEsを溶解させる能力が高いことが示唆された。一方、No.3及びNo.4は実機の中温発酵である。中温発酵で比較すると、それぞれ K_{DOC} の値の大きさと臭素数に関する依存性が異なることから、施設によってばらつきがあることが分かった。そこで、本研究では、液分の組成を詳しく分析し、以下の多項式を使って相関を試みた。

$$\log K_{DOC} = K_1 \times C_{pro} + K_2 \times C_{ps} + K_3 \times C_{lip} + K_4 \times P_5 + K_5 \times P_5' + K_6 \times P_6 + B \quad (1)$$

ここで、 $K_1 \sim K_6$ はフィッティングパラメータであり、 B は切片である。また、 C_{pro} 、 C_{ps} 、 C_{lip} はそれぞれ液分中のたんぱく質、多糖類、脂質の含有量であり、 P_5 、 P_5' 、 P_6 はPBDEsの分子中の5、5'、6の炭素上の臭素の有無である。相関結果を図5に示す。式1は、実測値を再現することができた。他施設における液分中のたんぱく質、多糖類、脂質の含有量が分かれば、式1を用いてPBDEsの K_{DOC} が推定できる可能性が示唆された。

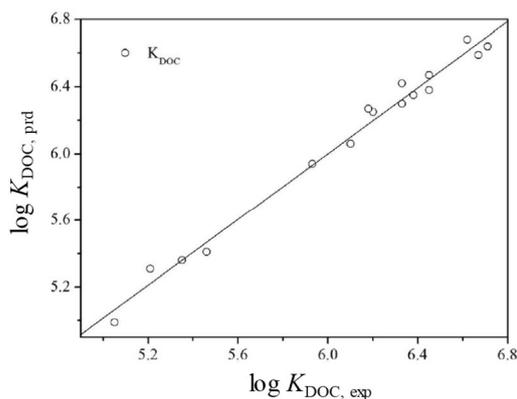


図5. 式1による K_{DOC} の相関結果

($\log K_{DOC, pred}$: 計算値、 $\log K_{DOC, exp}$: 測定値)

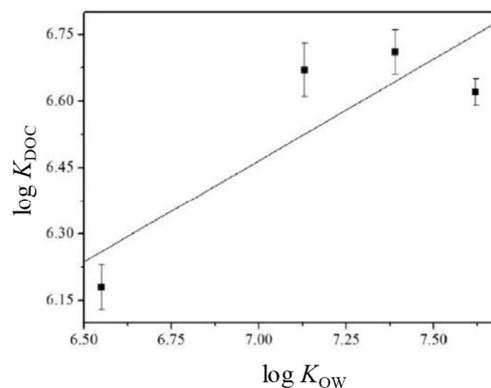


図6. PBDEsの $\log K_{DOC}$ (No.3)と $\log K_{OW}$

(1)の施設調査からPBDEsの主要成分は10臭素化物のBDE-209であり、BDE-209の K_{DOC} が必要となる。そこで、推測を試みた。式1は6臭素化物までしか使えないことから、図6のように、実機の液分の結果について、疎水性の指標である $\log K_{OW}$ と $\log K_{DOC}$ の関係をプロットした。その結果、 $\log K_{OW}$ の値が7以降は、 $\log K_{DOC}$ の値はあまり変化がないことから、6臭素化物の値で代用できる可能性がある。

参考文献

- 1) Suominen et al., (2014) *Sci. Total Environ.* 491-492,192-199
- 2) Clark et al., 1995. *Environ. Sci. Technol.* 29(6), 1488-1494
- 3) <https://www.epa.gov/tsc-screening-tools/download-epi-suitetm-estimation-program-interface-v411>
- 4) Wei-Haas et al., (2014) *Environ. Sci. Technol.* 48, 4852-4859
- 5) 大下ら, *EICA*, 15, 201-204, 2010.
- 6) Horii et al., (2008) *Arch. Environ. Contam. Toxicol.* 55, 701-710
- 7) Gerecke et al., (2006) *Chemosphere* 64, 311-317.
- 8) Panagopoulos et al., (2015) *Environ. Sci. Technol.* 49, 12161-12168
- 9) [https://www.ufz.de/index.php?de=31698&contentonly=1&m=0&lserd_data\[mvc\]=Public/start](https://www.ufz.de/index.php?de=31698&contentonly=1&m=0&lserd_data[mvc]=Public/start)

5. 主な発表論文等

〔雑誌論文〕 計4件（うち査読付論文 2件／うち国際共著 0件／うちオープンアクセス 1件）

1. 著者名 C. Shi, Y. Hu, T. Kobayashi, N. Zhang, Z. Zhang, H. Kuramochi, H. Matsukami, Z. Zhang, K.Q. Xu	4. 巻 223
2. 論文標題 Distribution characteristics of poly-brominated diphenyl ethers between water and dissolved organic carbon from anaerobic digestate: Effects of digestion conditions	5. 発行年 2019年
3. 雑誌名 Chemosphere	6. 最初と最後の頁 358-365
掲載論文のDOI（デジタルオブジェクト識別子） 10.1016/j.chemosphere.2019.02.076	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスではない、又はオープンアクセスが困難	国際共著 -

1. 著者名 倉持秀敏、Zhang Zhenyi	4. 巻 29
2. 論文標題 POPs の物理化学特性と環境分配特性	5. 発行年 2018年
3. 雑誌名 廃棄物資源循環学会誌	6. 最初と最後の頁 433-441
掲載論文のDOI（デジタルオブジェクト識別子） なし	査読の有無 無
オープンアクセス オープンアクセスではない、又はオープンアクセスが困難	国際共著 -

1. 著者名 C. Shi, Y. Hu, T. Kobayashi, N. Zhang, H. Kuramochi, H. Matsukami, Z. Zhang, K.Q. Xu	4. 巻 283
2. 論文標題 Anaerobic degradation of deca-brominated diphenyl ether contaminated in products: Effect of temperature on degradation characteristics	5. 発行年 2019年
3. 雑誌名 Bioresource Technology	6. 最初と最後の頁 28-35
掲載論文のDOI（デジタルオブジェクト識別子） 10.1016/j.biortech.2019.03.059	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスではない、又はオープンアクセスが困難	国際共著 -

1. 著者名 倉持秀敏	4. 巻 36(4)
2. 論文標題 メタン発酵施設における環境汚染物質の挙動解明と排出削減を目指して	5. 発行年 2017年
3. 雑誌名 国立環境研究所ニュース	6. 最初と最後の頁 4-6
掲載論文のDOI（デジタルオブジェクト識別子） なし	査読の有無 無
オープンアクセス オープンアクセスとしている（また、その予定である）	国際共著 -

〔学会発表〕 計12件（うち招待講演 0件 / うち国際学会 8件）

1. 発表者名 Shi C., Hu Y., Kobayashi T., Kuramochi H., Zhen-Ya ZHANG, Xu K-Q.
2. 発表標題 Effects of temperature on the degradation of poly-brominated diphenyl ethers in anaerobic digestion processes
3. 学会等名 39th International Symposium on Halogenated Persistent Organic Pollutants (DIOXON2019) (国際学会)
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 Maeda K., Kuramochi H., Kobayashi T.
2. 発表標題 MEASUREMENT OF HENRY ' S CONSTANTS OF POPS BY USING QCM METHOD
3. 学会等名 39th International Symposium on Halogenated Persistent Organic Pollutants (DIOXON2019) (国際学会)
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 Matsukami H., Kobayashi T., Kuramochi H.
2. 発表標題 Concentrations and distribution of persistent organic chemicals at a commercial-scale food waste biogas plant
3. 学会等名 4th International Conference on Alternative Fuels, Energy and Environment (国際学会)
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 Kuramochi H., Kobayashi T., Matsukami H.
2. 発表標題 Understanding of the distribution behavior of organic pollutants in an anaerobic digestion of food waste
3. 学会等名 4th International Conference on Alternative Fuels, Energy and Environment (国際学会)
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 Maeda K., Kuramochi H., Kobayashi T.
2. 発表標題 Development of a method for measuring Henry's law constants of organic pollutants using a quartz crystal microbalance
3. 学会等名 4th International Conference on Alternative Fuels, Energy and Environment (国際学会)
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 松神秀徳, 小林拓朗, ZHANG Zhenyi, 倉持秀敏
2. 発表標題 バイオガス製造施設におけるPOPs様物質に関する実態調査(第一報)
3. 学会等名 第28回環境化学討論会
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 山本涼太, 前田光治, 倉持秀敏, 新船幸二, 伊藤和宏, 山本拓司
2. 発表標題 QCM法によるPOPs類のヘンリー定数の測定
3. 学会等名 化学工学会 姫路大会2019
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 C. Shi, Y. Hu, T. Kobayashi, H. Kuramochi, K-Q. Xu, Z. Zhang
2. 発表標題 Effects of organic pollutant from anaerobic digestateon solubility of poly-brominated diphenyl ether in aquatic environment
3. 学会等名 第17回世界湖沼会議(国際学会)
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 C. Shi, Y. Hu, T. Kobayashi, H. Kuramochi, Z. Zhang, K-Q. Xu
2. 発表標題 Effects of temperature on deca-brominated diphenyl ether anaerobic degradation
3. 学会等名 1st International Conference on Water Resources and Sustainability (ICWRS) & 3rd International Conference on Alternative Fuels, Energy and Environment (ICAFEE) (国際学会)
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 倉持秀敏, 小林拓朗, 松神秀徳, Frank Wania
2. 発表標題 多媒体モデルによるバイオガス製造施設におけるPOP様物質等の運命予測の試み
3. 学会等名 第27回環境化学討論会
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 Z. Zhang, H. Kuramochi, H. Matsukami, T. Kobayashi, K-Q Xu
2. 発表標題 Partitioning behavior of polybrominated diphenyl ethers in biogas plant: influence of organic portion in liquid and solid phase
3. 学会等名 第29回廃棄物資源循環学会研究発表会
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 Kuramochi H, Kobayashi T, Wania F.
2. 発表標題 Estimation of phase distribution and fate of POP-like compounds in a biogas plant using level I and III fugacity models
3. 学会等名 The16th international conference on Chemistry and the Environment (ICCE 2017) (国際学会)
4. 発表年 2017年

〔図書〕 計1件

1. 著者名 小林拓朗、倉持秀敏、他31名	4. 発行年 2017年
2. 出版社 朝倉書店	5. 総ページ数 809
3. 書名 環境のための数学・統計学ハンドブック	

〔産業財産権〕

〔その他〕

メタン発酵施設における環境汚染物質の挙動解明と排出削減を目指して http://www.nies.go.jp/kanko/news/36/36-4/36-4-02.html

6. 研究組織

	氏名 (ローマ字氏名) (研究者番号)	所属研究機関・部局・職 (機関番号)	備考
研究分担者	前田 光治 (Maeda Kouji) (00264838)	兵庫県立大学・工学研究科・教授 (24506)	
研究分担者	小林 拓朗 (Kobayashi Takuro) (10583172)	国立研究開発法人国立環境研究所・資源循環・廃棄物研究センター・主任研究員 (82101)	
研究分担者	松神 秀徳 (Matsukami Hidenori) (10639040)	国立研究開発法人国立環境研究所・資源循環・廃棄物研究センター・主任研究員 (82101)	