

記入日 令和 元年 6月 28日

機 関 名	健康環境センター		課題コード	H280101		計画事業年度	H28 年度 ~ H30 年度		
						実績事業年度	H28 年度 ~ H30 年度		
課 題 名	廃水処理施設における1,4-ジオキサン分解菌の挙動と活性促進因子の探索								
機関長名	所長 高橋 行文			担当(班)名	理化学部 理化学班				
連 絡 先	018-832-5005			担当者名	主任研究員 小林貴司				
政策コード	2	政 策 名	環境保全対策の推進						
施策コード	2	施 策 名	良好な環境と豊かな自然の保全						
指標コード	1	施策の方向性	良好な環境の保全対策の推進						
種 別	重点(事項名) 県民総参加による環境保全対策の推進							基盤	
	研究	○	開発		試験	○	調査	○	その他
	県単	○	国補		共同	○	受託		その他
評 価 対 象 課 題 の 内 容									
1 研究の目的・概要 難分解性の化学物質1,4-ジオキサンが特異的に処理されている水処理施設において、生物処理槽の活性汚泥中に複数の種類の1,4-ジオキサン分解菌が存在していることがわかってきた。また、水処理施設への水温ヒーターの設置等により、一年を通じて排水基準を満たすことができるようになった。しかしながら依然として、季節に応じて短期的な処理能力低下が時折生じており、この原因は不明なままである。そこで、長期的に1,4-ジオキサン分解菌の存在割合と処理効率を観察し、処理に有効な菌の種類や必要最低限の菌濃度について評価を行う。また、菌の単離を試み、様々な条件での分解能試験を行うことで活性促進因子の探索を行う。これらの検討により、恒久的に安定した廃水処理の実現を目指す。									
2 課題設定時の背景(問題の所在、市場・ニーズの状況等)及び研究期間中の状況変化 合成反応溶剤、潤滑剤として広く使用されている1,4-ジオキサンは、発がん作用の疑いがあり、難分解性であることから、平成21年11月に公共用水域および地下水の水質環境基準項目として新たに追加された化学物質である。水にも溶剤にも無制限に溶解し、かつ難分解性である1,4-ジオキサンは、一般的な廃水処理施設においては処理できないとされていたが、県内の産業廃棄物処理施設では効率よく処理されており、要因として1,4-ジオキサン分解菌の存在が示唆されている。地域の環境を保全するため、この産業廃棄物処理施設を適切に管理する必要があるとともに、1,4-ジオキサン分解菌の有効利用を図る意味からも、この特異な菌の性質を詳しく解明することが必要となっている。									
3 課題設定時の最終到達目標 ①研究の最終到達目標 1)1,4-ジオキサン分解に寄与する主要な菌を特定し、水処理施設での処理効率90%を維持するために最適な存在割合を把握する。 2)活性を促進する因子の提示 ②研究成果の受益対象(対象者数を含む)及び受益者への貢献度 水処理施設での1,4-ジオキサン処理に大きく寄与する分解菌を見い出すことで、生物処理槽の最適な維持管理の評価を行うことが可能になる。それにより、県内の産業廃棄物処理施設での恒久的に安定した廃水処理が実現でき、1,4-ジオキサンの環境への排出抑制へとつながり、県民の生活環境保全に貢献する。									

4 全体計画及び財源 (全体計画において == 計画—— 実績)

実施内容		到達目標	28 年度	29 年度	30 年度	年度	年度	達成状況
活性汚泥の遺伝子解析	季節間での菌存在割合の把握							継続的に活性汚泥を採取し、遺伝子解析を行うことで、一年を通じて生物処理槽の状態を把握することができた。
水処理施設の除去効率の評価	施設での除去効率のまとめ							継続的な調査を実施し、廃水処理施設での1,4-ジオキサン処理状況についての基礎データをまとめた。
分解菌の単離の検討	分解菌の単離および同定							施設での処理に大きく寄与していると考えられるマイコバクテリウム属を単離・培養することができた。
活性促進因子の探索	分解に寄与する菌や条件の特定							活性を促進する添加物として、テトラヒドロフラン等が有効であることがわかった。阻害する物質についても、いくつかの知見を得ることができた。
								合計
計画予算額(千円)			3,779	1,800	1,800			7,379
当初予算額(千円)			3,649	3,468	2,080			9,197
財源内訳	一般財源		3,649	3,468	2,080			9,197
	国費							
	その他							

5 研究成果の概要

・成果の分類

☒ 解析データ、指針、マニュアル等	☐ 新技術	☐ 新品種
☐ ステップアップ研究における中間成果	☐ 新製品	☐ その他

・最終到達目標の達成度・成果の具体的な内容

目標1) 1,4-ジオキサン分解に寄与する主要な菌を特定し、水処理施設での処理効率90%を維持するために最適な存在割合を把握する。

生物処理槽の活性汚泥中に一年を通じて優占している1,4-ジオキサン分解菌がマイコバクテリウム属であることがわかった。その他の1,4-ジオキサン分解菌の検出率が非常に低いことから、マイコバクテリウム属が施設での処理に大きく寄与する分解菌であると考えられた。除去率の低下時には、マイコバクテリウム属の割合が低くなるわけではなく、水質の変動により菌の活動が阻害されていることが予想された。そのため、良好な処理効率を維持するために必要なことは、分解菌の存在割合ではなく、安定した水質の供給等により分解活性を阻害しない条件を維持することと考えられた。

目標2) 活性を促進する因子の提示

1,4-ジオキサン活性を促進する添加物として、テトラヒドロフランが顕著に有効であった。また、メタノール、エタノール、1-ブタノール等のアルコール類も有効であった。逆に活性を阻害する物質として、ジエチレングリコールやグリコサル、テトラヒドロチオフェンが挙げられた。

・成果の波及効果

継続的な1,4-ジオキサン処理状況調査により、これまで全く原因不明であった除去率低下の要因を提示することができた。阻害する要因として考えられたジクロロメタン等の水質変動およびテトラヒドロチオフェン、凝集剤であるPAC等の流入に注意することで、より安定な1,4-ジオキサン処理が実現できると考えられる。また、施設での処理に大きく寄与している1,4-ジオキサン分解菌の単離・培養に成功したことから、菌の死滅等の不測の事態にも対応可能となった。

6 評価

観 点															
1 最終到達目標の達成度	● A ○ B ○ C 【評価委員コメント】 - いくつかの 1,4-ジオキサン分解菌の同定とともに、除去率低下のメカニズムを明らかにし、その対策を提示できた成果は大きいと考える。 1,4-ジオキサン分解菌の単離ができたこと及び菌の活性を促進又は阻害する物質を確認できたことについては、目標を十分達成している。なお、分解菌の活性は、菌の存在割合によるものではなく、流入水の水質に要因があり、それを安定して供給することで高い除去率を維持できると考察しているが、どの要因が最も影響を与えるのか、可能であれば引き続き研究をしていただきたい。 1,4-ジオキサン分解に寄与する主要な菌は概ね特定できていると思われる。生物処理に関与する菌、バクテリア等に対する1,4-ジオキサン分解菌の存在割合は把握できたものの、最適条件を明確にすることは困難であったと思われる。活性促進因子については、既往研究も参考にしながら、活性を補助する物質を試験し、能代産廃センターの分解菌でも効果があることを確かめられたが、THF（テトラヒドロフラン）は実際の水処理系に添加することが困難な物質であることが残念である。活性を阻害する物質として提示されたPAC（ポリ塩化アルミニウム）については、どのような作用機序で阻害しているかまでを明らかにできれば、対策につなげられると思われる。 1,4-ジオキサン分解に寄与する主要な菌を特定し、活性を促す因子や阻害する因子を確認した他、廃水処理施設の維持管理を適正に行う上でのメカニズム解明に大きな成果を得たと考える。 A. 十分達成できた C. 達成できなかった B. ほぼ達成できた ※研究課題の難易度（事前評価の技術的達成可能性得点率）を加味した達成度 事前評価の技術的達成可能性得点率 75 % ☐ S ☒ A ☐ B ☐ C ☐ D														
2 研究成果の効果	● A ○ B ○ C ○ D 【評価委員コメント】 - 安定的な 1,4-ジオキサンの生物分解処理について方策を示すことができたことは、今後の汚水処理の信頼確保に大きな効果があると考ええる。 - 本研究により得られた知見は今後、水処理施設を安定に稼働するために有用なものであると考えるが、現場へのフィードバックができるよう、施設管理者としっかり連携を図っていただきたい。 - ラボベースでの試験として、一定の知見が得られたものと考えられる。実際の生物処理では、処理状態に関与する因子が膨大であり、また、1号と3号は処理形態も異なることから、1,4-ジオキサンの処理効率を管理する目安とできるかは今後さらなる検討が必要と思われる。1,4-ジオキサン分解菌の培養方法を確立できたことは、水処理施設の管理から見て、大きな効果と考えられる。しかしながら、培養した分解菌を利用して、水処理施設の状態を回復させることに関する知見がないことから、今後、具体的な回復方法を研究されることを望む。 1,4-ジオキサンの処理が課題となっている処分場は、県が事業者にとって維持管理を行っているが、場内から発生する汚水が終息する見込みは当分ないため、安全かつ低廉な処理が求められている。本研究は、こうした県の施策に大きく寄与するものであり、今後も新たな技術開発に向けて調査研究を進めてもらいたい。 A. 効果大 B. 効果中 C. 効果小 D. 効果測定困難														
総合評価	○ S 当初見込みを上回る成果 ● A 当初見込みをやや上回る成果 ○ B 当初見込みどおりの成果 ○ C 当初見込みをやや下回る成果 ○ D 当初見込みを下回る成果 <table border="1"> <thead> <tr> <th colspan="2">判定基準</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>S</td> <td>2つの評価項目がともにAの課題のうち特に優れる課題。</td> </tr> <tr> <td>A</td> <td>2つの評価項目がともにAの課題（S評価を除く）。</td> </tr> <tr> <td>B</td> <td>2つの評価項目がともにB以上の課題（S評価、A評価を除く）、もしくは2つの評価項目がAとCの課題。</td> </tr> <tr> <td>C</td> <td>2つの評価項目がともに、もしくは、いずれかがC以下の課題（B評価、D評価を除く）。</td> </tr> <tr> <td>D</td> <td>2つの評価項目がCとDの課題。</td> </tr> </tbody> </table>	判定基準		S	2つの評価項目がともにAの課題のうち特に優れる課題。	A	2つの評価項目がともにAの課題（S評価を除く）。	B	2つの評価項目がともにB以上の課題（S評価、A評価を除く）、もしくは2つの評価項目がAとCの課題。	C	2つの評価項目がともに、もしくは、いずれかがC以下の課題（B評価、D評価を除く）。	D	2つの評価項目がCとDの課題。		
判定基準															
S	2つの評価項目がともにAの課題のうち特に優れる課題。														
A	2つの評価項目がともにAの課題（S評価を除く）。														
B	2つの評価項目がともにB以上の課題（S評価、A評価を除く）、もしくは2つの評価項目がAとCの課題。														
C	2つの評価項目がともに、もしくは、いずれかがC以下の課題（B評価、D評価を除く）。														
D	2つの評価項目がCとDの課題。														
(参考)	<table border="1"> <thead> <tr> <th>事前</th> <th>中間(29年度)</th> <th>中間(年度)</th> <th>中間(年度)</th> <th>中間(年度)</th> <th>中間(年度)</th> <th>中間(年度)</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>B</td> <td>B+</td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> </tr> </tbody> </table>	事前	中間(29年度)	中間(年度)	中間(年度)	中間(年度)	中間(年度)	中間(年度)	B	B+					
事前	中間(29年度)	中間(年度)	中間(年度)	中間(年度)	中間(年度)	中間(年度)									
B	B+														
過去の評価結果															

廃水処理施設における1,4-ジオキサン分解菌の挙動と活性促進因子の探索(H28-30)

<1,4-ジオキサンとは>

水にも油にも無制限に溶解 難分解性 発がん性あり
平成24年に排水基準が設定された新規制物質
通常の廃水処理（生物処理）では除去困難



<本県の特徴>

能代産業廃棄物処理センターの浸出水に高濃度含有していることが判明した。
ただし廃水処理施設では、自然発生した1,4-ジオキサン分解菌により、効率
良く生物処理されている。廃棄物埋立地の1,4-ジオキサン汚染について、分
解菌により安定した生物処理が実現できているのは、国内で唯一。
今後は、生物処理と促進酸化施設を併用して稼働することで500m³/日の汚染
水を安定的に処理する計画である。

<これまでの研究成果>

H23～24「廃水処理施設における1,4-ジオキサン最適処理条件の検討」
H25～27「1,4-ジオキサン分解菌の培養および保存条件の検討」

<ラボでの培養試験>

活性汚泥の1,4-ジオキサン分解能を2ヶ月で100倍高めることができた。
重要な因子は、温度15℃以上、1,4-ジオキサンの連続的な供給、十分な酸素
供給、栄養源としてのリン添加等であった。

↓
培養条件は、廃水処理施設の運転条件の基礎データとなっている

<長期保存試験>

－85℃で冷凍することにより、分解能を100%維持したまま、活性汚泥を保存
できることがわかった。

↓
保存により、菌の死滅を防ぐことが可能

<細菌叢の遺伝子解析>（県立大と共同で解析）
活性汚泥中には、数種類の1,4-ジオキサン分解菌が検出されている
アフィビア属 マイコバクテリウム属 シュートドモナス属

研究目標

○1,4-ジオキサン分解菌の最適な存在割合の把握

廃水処理施設にヒーターを整備したことにより、冬期でも水温15℃以上の
生物処理が可能となり、一年を通じて排水基準を満たすことができるようになっ
たが、依然として春先に原因不明の除去効率低下が生じている。

①生物処理槽の1,4-ジオキサン分解菌の種類を明らかにする。

②効率低下時と通常時の分解菌の存在割合を比較する。



除去効率低下時の状態を確認し、処理に大きく寄与している菌を見いだす。

○1,4-ジオキサン分解菌の単離と活性促進因子の探索

効率良く培養するため、処理に大きく寄与する菌を単離・培養する方法が必要
問題点：1,4-ジオキサン分解菌を単離すると、1,4-ジオキサン活性が失われる

活性促進因子の候補（共代謝）

- ・ 添加物（テトラヒドロフラン、ジエチレングリコール、1-ブタノール）

期待される効果

処理に大きく寄与している分解菌を特定し、飼養



除去率低下時の状態がわかる

活性を促進する因子の探索



1,4-ジオキサン処理に有用な因子を見いだす

円滑で安定的な1,4-ジオキサン処理が実現できる