

特別賞

1,4-ジオキサン含有排水の生物学的処理技術

－安心・安全な水環境の創造を目指して－

大成建設株式会社¹

国立大学法人大阪大学²

学校法人北里研究所北里大学³

山本 哲史¹、井上 大介²、黒田 真史²、日下 潤¹、
瀧 寛則¹、斎藤 祐二¹、清 和成³、池 道彦²

1. 緒言

人類は、様々な産業分野において直面する困難や問題を“新たな技術”を用いて克服し、その生活の利便性・快適性を向上させてきた。特に産業革命以後には、各種産業が目まぐるしい成長を遂げてきており、現在においても我々の生活を豊かにし続けている。しかしながら、このような産業発展の副産物として、有毒な化学物質が環境中に放出され、生態系の攪乱・破壊、人の健康被害などをもたらす深刻な環境汚染問題を引き起こしてきたことも事実である。このため、持続可能な産業振興の観点からモノづくりの技術だけでなく、環境汚染を未然に防止する対策技術を鋭意、開発することが必要不可欠である。

1,4-ジオキサンは、日常生活において耳にすることのない名称であるが、化学工業をはじめとした製造業においては、抽出・反応溶媒や洗浄剤として汎用されている化学物質である(図1)。1,4-ジオキサンは、極めて安定な分子構造を有しているために環境中における残留性が高く、また、人や生物に対して急性/慢性毒性を有し、さらに発がん性の疑いもあることから^{1),2)}、1,4-ジオキサンを原料利用する産業界では削減努力が進められつつある。しかし、1,4-ジオキサンは直接利用に加えて、洗剤に含まれる界面活性剤やポリエチレンテレフタレート(PET)などの化成品の製造工程において、非意図的かつ不可避に生成することが明らかとなっており³⁾、それらに起因する環境汚染の可能性もある。特に、1,4-ジオキサンは水と容易に混和し、固体への吸着性が低い物性を有するため、1,4-ジオキサンによる汚染は水環境中に生じやすい。実際に、先進各国の河川や、産業廃棄物不法投棄現場や最終処分場等の周辺の地下水において汚染が顕在化してきており⁴⁾、日本国内においても、近年、1,4-ジオキサンによる水環境の汚染が明るみになり、新たな環境汚染物質として認知されている。このような1,4-ジオキサンによる環境汚染は、産業活動に利用された、あるいは、その過程で発生した1,4-ジオキサンを含む排水・廃液が適切に処理されずに自然環境へと放出されることによって生じている(図1)。つまり、我々は、化成品によってもたらされる生活の利便性を享受する反面、1,4-ジオキサンによる環境汚染リスクを生み続けているとも言える。

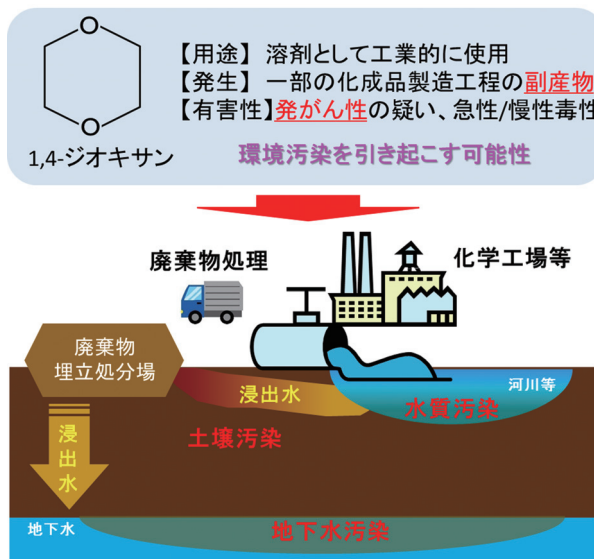


図1 1,4-ジオキサンによる環境汚染のリスク

上述した人への健康リスクから、世界保健機関 (WHO) は2003年に1,4-ジオキサンを飲料水水質ガイドラインに追加した (ガイドライン値: 0.05mg/L)。これを受けて我が国でも、2004年に水道水質基準項目、2009年には水質環境基準値項目に1,4-ジオキサンが追加された (いずれも 0.05mg/L)。さらに、2012年には、主要な汚染源である事業所排水に対して1,4-ジオキサンの一律排水基準 (0.5mg/L) が定められたが、従来の排水処理技術では処理コストが高価であり、大量排水にはその適用が困難であることから、特定の業種においては暫定基準が設けられた (表1)。一部の業種では、既に暫定基準の適用期間が終了し、一律排水基準値に移行しているが、エチレングリコール (EG) 及びエチレンオキサイド (EO) 製造業においては、様々なアプローチで排出削減対策が進められているものの、一律排水基準の達成が困難であるため、現在も暫定基準が適用されている。今後、実用に耐え得る1,4-ジオキサン排水処理技術の確立が熱望されている。また、既に一律排水基準値に移行した業種においても、現在の適用技術が費用面や運用面で課題を有することから、経済性や環境適合性に優れ、運用面での課題も少ない処理技術が求められている。以上の点から、現状を打開する新たな1,4-ジオキサン含有排水処理技術の開発が急務であるといえる。

表1 1,4-ジオキサンの暫定排水基準値と適用期間

業種	暫定基準値	適用期間
感光性樹脂製造業	200 mg/L	2015年5月24日 (適用期間終了)
EG/EO 製造業	3 mg/L	2021年5月24日
PET 製造業	2 mg/L	2014年5月24日 (適用期間終了)
下水道業	25 mg/L	2015年5月24日 (適用期間終了)

我々の研究グループでは、十数年前から1,4-ジオキサンによる環境リスクやその汚染対策技術へのニーズを先見し、従来技術の課題である処理性能、経済性や環境影響を解決できる排水処理技術を確立することを目的として研究開発を行ってきた。これまでの種々の検討・評価により、微生物を用いた1,4-ジオキサン含有排水の処理技術を“新たな技術”として工業化できる段階に至った。本論文では、従来の排水処理技術における課題について示すとともに、我々の開発技術の特長並びに実用化に向けた取り組みについて紹介する。

2. 従来技術の課題

1,4-ジオキサンは、水との親和性が高く、揮発性及び微生物分解性が低いため、従来の主要な排水処理技術である活性汚泥法、曝気法及び凝集沈殿法では除去することができない⁵⁾⁻⁸⁾。また、高度な排水処理技術として位置づけられる活性炭吸着法や逆浸透膜法では、一定の除去効果が確認されているものの、1,4-ジオキサンが低濃度の場合には処理効率が低下することから⁹⁾⁻¹¹⁾、実用的な手法とは言い難い (図2)。現状では、オゾンや過酸化水素等の複数の酸化剤を用いる促進酸化法 (Advanced Oxidation Processes: AOP) のみが有効な1,4-ジオキサン分解技術とされているが¹²⁾⁻¹⁴⁾、AOPは、処理に要するエネルギーや薬剤使用量が多いため、高コストであるだけでなく、CO₂排出量が多いなどの課題がある (図2)。さらに、

AOPは非特異的な酸化反応であり、1,4-ジオキサン以外に他の有機物が共存する条件下では1,4-ジオキサンの処理性能が大幅に低下することから^{15), 16)}、多様な化学物質が共存することの多い実際の産業排水の処理にとって必ずしも現実的な選択肢であるとは言えない。以上のように、現状の技術では、安定的な処理が達成できないことに加え、経済性や環境適合性の面でも課題を有しており、持続可能な産業活動を支える実用的な1,4-ジオキサン含有排水の処理技術は未確立であるといえる。

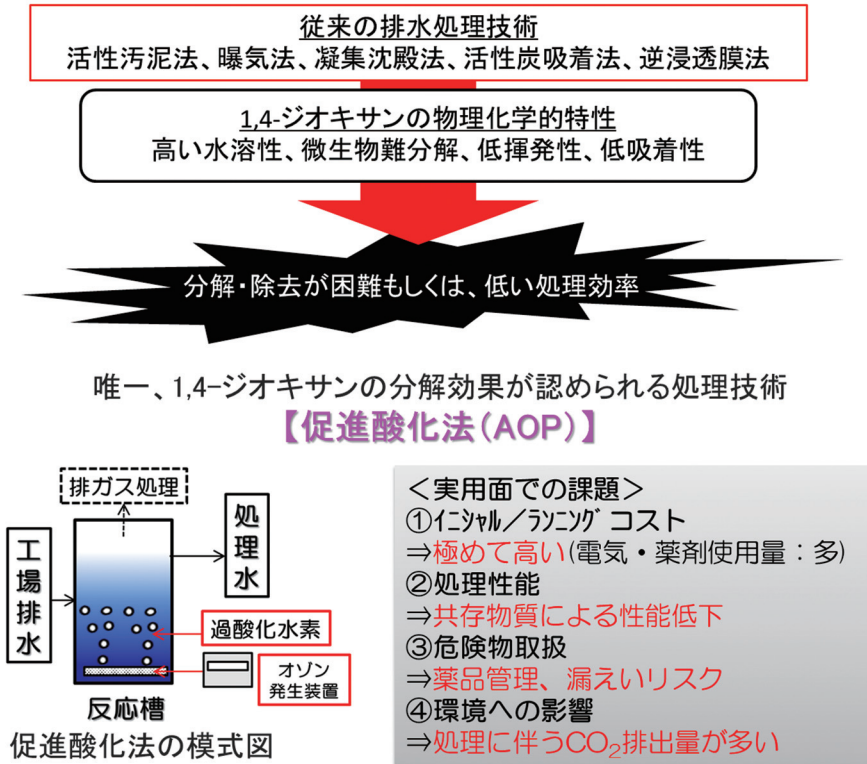


図2 1,4-ジオキサン含有排水に対する従来処理技術の課題

3. 微生物を用いた1,4-ジオキサン含有排水の処理技術の確立

元来、1,4-ジオキサンは、微生物に分解され難い物質であるとされ、我が国における「化学物質の審査及び製造等の規制に関する法律（化審法）」に基づく好氣的生分解度試験においても、2週間での分解率が0%であったことから¹⁷⁾、微生物による分解は期待できないものと考えられていた。しかしながら、近年になって1,4-ジオキサンを分解する微生物（1,4-ジオキサン分解菌）がいくつか環境中から発見され、これらの分解菌を活用した生物学的処理の可能性が見出されつつある。

我々の研究グループでは、十数年にわたり自然環境中からの1,4-ジオキサン分解菌の分離を進めてきた。その結果、既知の分解菌を大きく上回る性能を有する新たな分解菌を発見するとともに、本分解菌の特性を発揮させる処理プロセス（1,4-ジオキサン含有排水の生物学

的処理技術)を構築した(図3)。さらに、本プロセスは従来技術と比較して、コストや環境適合性の側面でも極めて優位であることを明らかにした。本項では、本開発技術の特長を紹介するとともに、従来技術に対する優位性や実用化への取り組みについて述べる。

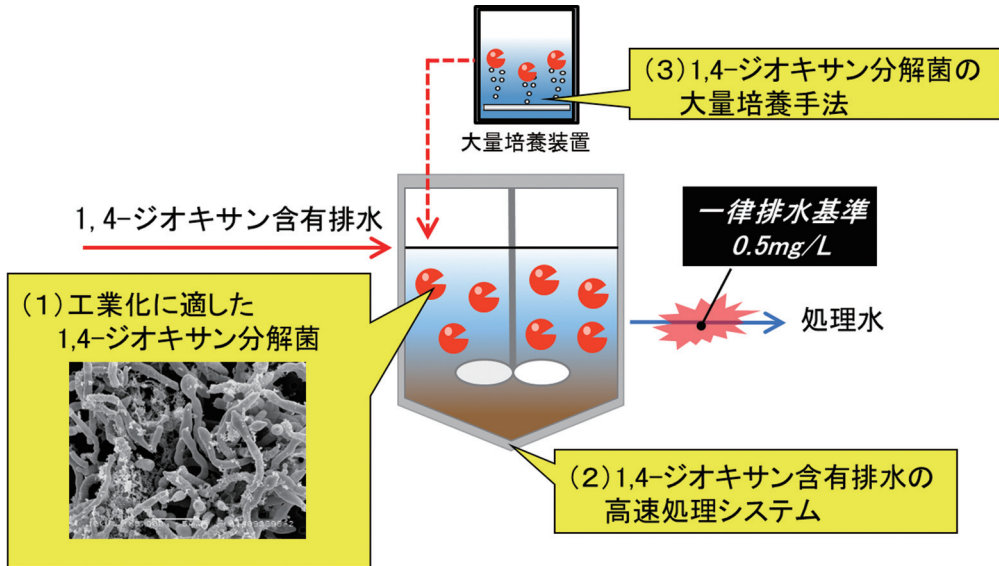


図3 1,4-ジオキサン含有排水の生物学的処理技術

3. 1 開発技術の特長

(1) 工業化に適した1,4-ジオキサン分解菌

1,4-ジオキサン分解菌の分離は、1991年に初めて報告され、その後もいくつか報告がなされてきたが、既往の分解菌は、工業化できるほどの1,4-ジオキサン分解能力を有していなかった。そこで、当グループでは、高効率な分解菌の探索を長年に渡り行ってきた結果、表2に示す①～⑦の1,4-ジオキサン分解菌の分離に成功した。これらの分解菌中でも近年に分離した⑦ *Pseudonocardia* sp. N23 (N23株)は、分解能力が明らかとなっている既往の分解菌⑧と⑨と比較して、最大比分解速度や細胞収率(1,4-ジオキサンの分解に伴う細胞増殖量)が高く、さらに酸性条件下(pH4～7)においても高い分解活性を維持できるなど¹⁹⁾、従来の菌株にはない優れた分解能力を有していることを明らかにした。一方で、N23株を含む分解菌の遺伝子解析によって1,4-ジオキサン分解に関与する遺伝子を特定するとともに^{19)、24)}、分解関与遺伝子を標的とした分解菌の特異的定量モニタリング手法を開発した。本手法により、分解菌の濃度を迅速に定量できることから、処理に必要な分解菌量を適切に管理することが可能である。

表2 既往の1,4-ジオキサン分解菌における性能比較

	菌株名	細胞収率 ⁽¹⁾	最大比分解速度 ⁽²⁾	参考文献
①	<i>Afipia</i> sp. D1	0.185	0.263	18)
②	<i>Mycobacterium</i> sp. D6	0.185	0.139	18)
③	<i>Mycobacterium</i> sp. D11	0.179	0.052	18)
④	<i>Pseudonocardia</i> sp. D17	0.223	0.096	18)
⑤	<i>Rhodococcus ruber</i> T1	未測定	未測定	19)
⑥	<i>Rhodococcus ruber</i> T5	未測定	未測定	19)
⑦	<i>Pseudonocardia</i> sp. N23	0.323	0.230	20)
⑧	<i>Pseudonocardia dioxanivorans</i> CB1190	0.01-0.09	0.083	21), 22)
⑨	<i>Xanthobacter flavus</i> DT8	0.35	< 0.083	23)

(1)単位：mg-protein (mg-1,4-dioxane)⁻¹, (2)単位：mg-1,4-dioxane (mg-protein)⁻¹ h⁻¹

(2) 1,4-ジオキサン含有排水の高速処理システム

先の検討から工業化に適した分解菌としてN23株を選定し、これを用いた処理システムの検討を行った。排水処理は、工業生産のように密閉系で行われるのではなく、開放系で行われるため、他の微生物も混在する処理系において、N23株を優占化させるとともに、その分解能力を最大限に発揮させることが重要である。これまでの研究から、N23株の1,4-ジオキサン分解速度は、1,4-ジオキサン濃度に依存することが明らかとなっており(図4)、排水処理で一般的に適用される連続通水処理よりも、処理開始時の1,4-ジオキサンを高濃度に維持できる連続回分処理の方が、短時間で1,4-ジオキサンを処理できるものと考えられた(図5)。さらに、適用排水の一般的なpHは中性付近であるが、中性pHは多くの微生物にとって好適な生育条件であることから、雑菌の増殖が避けられない。一方、N23株は酸性条件下

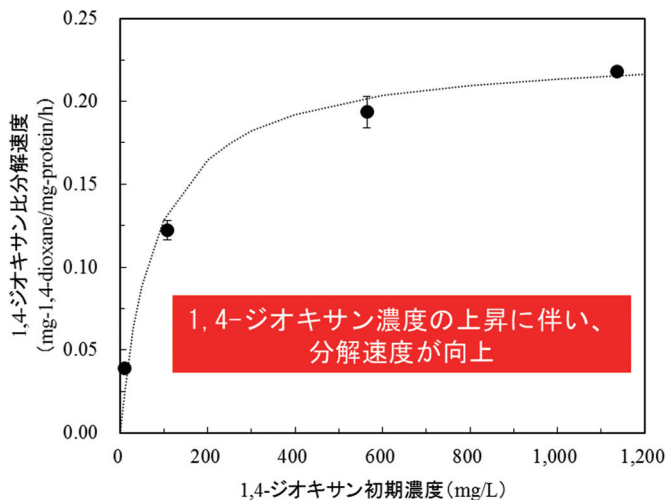


図4 N23株の1,4-ジオキサン比分解速度の濃度依存性

でも高い1,4-ジオキサン分解能力を発揮できるため（(1)参照）、排水のpHを酸性域に制御することで、他の微生物の増殖を抑制し、N23株を優占化することができる可能性があると考えられた。

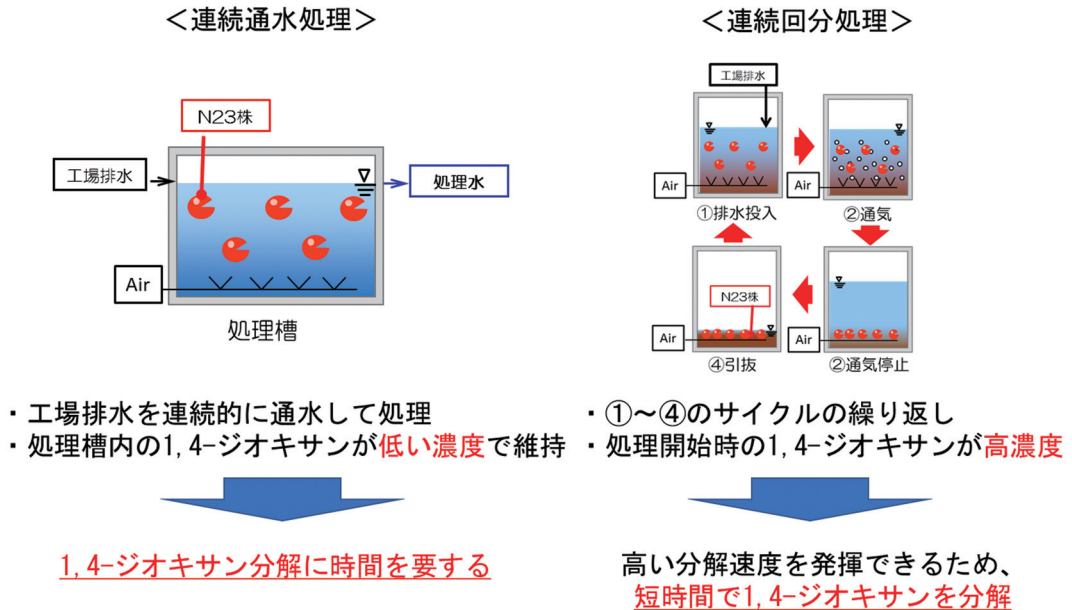


図5 連続通水処理及び連続回分処理における1,4-ジオキサン処理性能の特徴

これらの仮説を検証するため、例としてEGを主成分とする実工場排水（成分：1,4-ジオキサン；約20mg/L、環状エーテル物質；約170mg/L、EG；約3g/L）を用いてラボスケールでの検討を行った。まず、連続通水処理及び連続回分処理の両方式における1,4-ジオキサン処理性能の比較を行った結果、連続回分処理では、明確な1,4-ジオキサン分解が確認でき、連続通水処理よりも短時間で処理できることを明らかにした²⁵⁾。さらに、連続回分処理における長期的な1,4-ジオキサン処理性能を把握するために、pH7もしくはpH5での運転を1ヶ月間実施した。pH7にて連続回分処理を行った実験では、運転6日目までは1,4-ジオキサンを一律排水基準値未満まで分解できたが、その後は、EGを分解して増殖する雑菌が優占化することで、1,4-ジオキサンの処理性能が劇的に低下した（図6）。一方で、pH5にて制御した連続回分処理では、雑菌の増殖を確実に抑制することができ、1ヶ月にわたり1,4-ジオキサンを一律排水基準値未満まで安定的に処理するとともに（図6）、EGや難分解性化学物質である環状エーテル物質も検出下限値未満まで同時に分解できることが示された²⁵⁾。以上の検討により、1,4-ジオキサン含有排水の高速処理システムを開発できた。

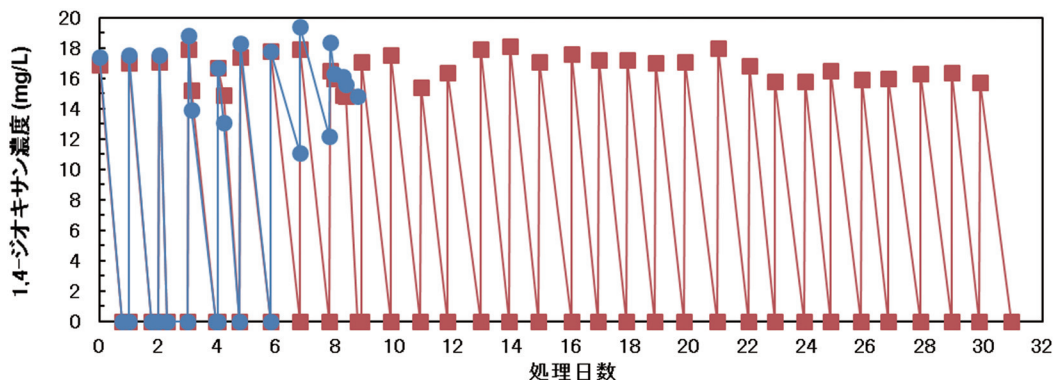


図6 N23株を用いた連続回分処理による1,4-ジオキサン処理性能 (● : pH 7, ■ : pH 5)

(3) 1,4-ジオキサン分解菌の大量培養手法

図3に示したように本処理システムは、立ち上げ時に大量の分解菌が必要となる。しかしながら、大容量の培養では、一般に雑菌混入やスケールアップにより、得られる菌体量が大幅に低下する課題がある。そこで、N23株の適正培養条件(培地組成・pH・温度)を決定するとともに、通気攪拌培養における攪拌時の線速度に基づいてスケールアップが可能であることを明らかにした。結果として、商業スケールである12kL培養槽において、N23株を安定的培養できることを実証し(図7)、処理システムに導入する十分な量の分解菌の確保が可能となっている。

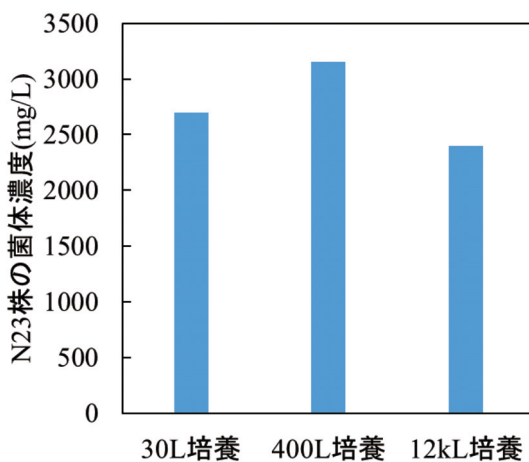


図7 各スケールにおけるN23株の培養(培養7日目の菌体濃度)

3. 2 実用化への取り組み

本開発技術の実証を目的として、現地パイロットスケールでの検証を行った(図8)。対象事業所の1,4-ジオキサンを200~1000mg/L含有する工場排水に対して、水理的滞留時間(HRT)を15時間まで短縮した処理においても、一律排水基準値を達成でき、安定的な処理性能を実証することができた(図9)。以上の実証研究により、現在、本開発技術の製品化を進めている。



図8 連続回分式リアクター(液量：600L)

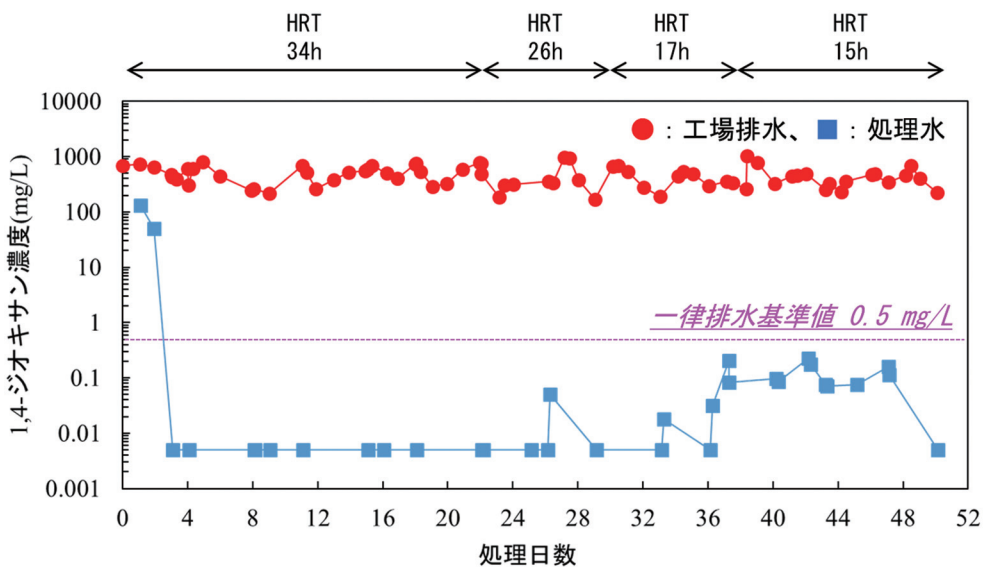


図9 現地パイロットスケールでの1,4-ジオキサン処理性能

3. 3 従来技術に対する優位性

近年、欧米では、土壌・地下水汚染対策における新しい取り組みとして、「経済面」、「環境面」及び「社会面」の3つの要素を評価し、最適な浄化対策を選択するサステイナブル・レメディエーション (Sustainable Remediation: SR) が提唱され、各国において評価方法等の検討が進められている。持続的可能な開発目標 (Sustainable Development Goals: SDGs) の達成を目指している現代社会において、SR のような多面的な評価に基づいた技術の選定は、排水処理の分野においても導入が進められていく可能性が高い。そこで、本開発技術と唯一明確な効果が認められている従来技術である AOP に対して、先の3つの側面からの比較・評価を実施した。

まず、先の実証研究で得られたデータをもとに、「経済面」及び「環境面」における比較を行った。その結果、本開発技術は、AOP に対してイニシャル／ランニングコストを50% 以上も低減することができ、さらに、処理におけるCO₂排出量はAOP のわずか8%であることから(表3)、経済性及び環境適合性の観点において、AOP に比べて極めて優れているものと判断される。次いで、「社会面」の指標の一つである人の健康や安全性について検討してみると、AOP においてはオゾンや過酸化水素といった危険物を取り扱うため、現場の作業員に対して日常的な暴露リスクが想定される。一方で、我々の開発技術は、特定の微生物を用いるため、適用する分解菌の適切な管理が必要であるが、これまでの研究から、N23株は毒性物質を生産する遺伝子を保有していないことが明らかとなっているため²⁴⁾、人への健康リスクは低いものと推察される。また、処理システムでは精密膜を導入することにより処理水と分解菌を分離できることから、使用菌株の環境中への漏出に伴う生態系への悪影響の可能性も基本的にはあり得ない。以上のことから、「社会面」に関する評価については、さらに多方面からの検討が必要ではあるものの、現時点における総合的な評価としては、本開発技術は従来技術に対して確実に高い優位性を有しているものと判断される。

表3 コスト及びCO₂排出量におけるAOPと本開発技術の比較(AOPを100%とした場合)

	AOP	本開発技術
イニシャルコスト	100%	40%
ランニングコスト	100%	45%
CO ₂ 排出量	100%	8%

【試算における主な条件】

- 排水量：50 m³/日 (1,4-ジオキサン濃度：800 mg/L)
- AOP：オゾン及び過酸化水素を用いた処理での試算
- 本開発技術：栄養塩類、分解菌製造及び余剰汚泥処分に係る費用含む
- 薬剤等の運搬に係るCO₂排出量は除外

4. 結 言

当研究グループが開発した「1,4-ジオキサン含有排水の生物学的処理技術」は、従来技術において課題であった処理性能、経済性及び環境適合性などにおいて明確な優位性があり、持続的な産業活動を支える1,4-ジオキサン含有排水の新たな処理技術として、本技術の普及・展開を推進中である。また、本技術の対象は排水処理であるが、1,4-ジオキサンは土壌、地下水、最終処分場浸出水の汚染物質の一つでもあることから、開発した要素技術を環境浄化技術に応用することも可能であると考えており、その展開にも着手しつつある。さらに、1,4-ジオキサンによる水環境汚染は、我が国だけでなく、欧米諸国でも顕在化しつつあり、比較的大規模の汚染も確認されていることから、国内での実用化を起点とし、日本発の環境技術として世界へも展開することで、安心・安全な水環境の創造に貢献したいと考えており、海外での関連特許出願も積極的に進めている。

5. 謝 辞

本研究の一部は、(国研)科学技術振興機構(JST)研究成果最適展開支援プログラム(A-STEP)(課題番号:AS2715159U)の助成を受けて実施した。

6. 参考文献

- 1) 中西準子、牧野良次、川崎一、岸本充生、蒲生昌志：詳細リスク評価書シリーズ2 1,4-ジオキサン、丸善株式会社、東京(2005)
- 2) **International Agency for Research on Cancer(IARC)**: IARC Monographs on the evaluation of carcinogenic risks to humans, pp. 589-602, Lyon(1999).
- 3) 細見正明：1,4-ジオキサンの水質規制の動向、*用水と廃水*、**53**, 535-541(2011)
- 4) 山本哲史、斎藤祐二、池道彦、清和成、井上大介：1,4-ジオキサン汚染地下水の生物浄化に関する研究、*大成建設技術センター報*、**46**, 53-1-53-4(2013)
- 5) **McGuire, M. J., Suffet, I. H. and Radziul, J. V.**: Assessment of unit processes for the removal of trace organic compounds from drinking water, *J. Am. Water Works Assoc.*, **70**, 565-572(1978)
- 6) 稲森悠平、井坂和一、鈴木智、須藤隆一：廃棄物埋立地浸出水等に含有される微量化学物質ジベンゾフラン、1,4-ジオキサンなどの高度処理、*用水と廃水*、**41**, 48-51(1999)
- 7) 庄司成敬、安部明美：1,4-ジオキサン及び界面活性剤の事業所からの排出実態、*用水と廃水*、**43**, 1045-1052(2001)
- 8) 牧野良次、蒲生昌志、佐藤修之、中西準子：1,4-ジオキサンの下水処理場における除去率について、*水環境学会誌*、**28**, 211-215(2005)
- 9) 森田実幸：膜分離法によるジオキサン含有排水の高次処理、*科学と工業*、**78**, 146-151(2004)
- 10) 久保正弘、藤田準二：活性炭による1,4-ジオキサン除去、*香川県環境保健センター所報*、**4**, 188-190(2005)
- 11) **Fukuhara, T., Iwasaki, S., Hasegawa, T., Ishihara, K., Fujiwara, M. and Abe, I.**: Absorption of 1,4-dioxane from aqueous solution onto various activated carbons, *J. Water Environ. Technol.*,

- 9, 249–258 (2011)
- 12) **Stefan, M. I. and Bolton, J. R.:** Mechanism of the degradation of 1,4-dioxane in dilute aqueous solution using the UV/Hydrogen peroxide process, *Environ. Sci. Technol.*, **32**, 1588–1595 (1998)
 - 13) **Kim, C. G., Seo, H. J. and Lee, B. R.:** Decomposition of 1,4-dioxane by advanced oxidation and biochemical process, *J. Environ. Sci. Health A Tox. Hazard. Subst. Environ. Eng.*, **41**, 599–611 (2006)
 - 14) **Kishimoto, N., Nakagawa, T., Asano, M., Abe, M., Yamada, M. and Ono, Y.:** Ozonation combined with electrolysis of 1,4-dioxane using a two-compartment electrolytic flow cell with solid electrolyte., *Water Res.*, **42**, 379–385 (2008)
 - 15) **Adams, C. D., Scanlan, P. A. and Secrist, N. D.:** Oxidation and biodegradability enhancement of 1,4-dioxane using hydrogen peroxide and ozone, *Environ. Sci. Technol.*, **28**, 1812–1818 (1994)
 - 16) **Kosaka, K., Yamada, H., Matsui, S. and Shishida, K.:** The effect of the co-existing compounds on the decomposition of micropollutants using the ozone/hydrogen peroxide process, *Water Sci. Technol.*, **42**, 353–361 (2000)
 - 17) (独)製品評価技術基盤機構：化審法データベース,
http://www.safe.nite.go.jp/jcheck/detail.action?cno=123-91-1&mno=5-0839&request_locale=ja
(2018年3月閲覧)
 - 18) **Sei, K., Miyagaki, K., Kakinoki, T., Fukugasako, K., Inoue, D. and Ike, M.:** Isolation and characterization of bacterial strains that have high ability to degrade 1,4-dioxane as a sole carbon and energy source, *Biodegradation*, **24**, 665–674 (2013)
 - 19) **Sei, K., Oyama, M., Kakinoki, T., Inoue, D. and Ike, M.:** Isolation and characterization of tetrahydrofuran-degrading bacteria for 1,4-dioxane-containing wastewater treatment by co-metabolic degradation, *J. Water Environ. Technol.*, **11**, 11–19 (2013)
 - 20) **Yamamoto, N., Saito, Y., Inoue, D., Sei, K. and Ike, M.:** Characterization of newly isolated *Pseudonocardia* sp. N23 with high 1,4-dioxane-degrading ability, *J. Biosci. Bioeng.*, **125**, 552–558 (2018)
 - 21) **Mahendra, S., Petzold, C. J., Baidoo, E. E., Keasling, J. D. and Alvarez-Cohen, L.:** Identification of the intermediates of in vivo oxidation of 1,4-dioxane by monooxygenase-containing bacteria, *Environ. Sci. Technol.*, **41**, 7730–7736 (2007)
 - 22) **Chen, D. Z., Jin, X. J., Chen, J., Ye, J. X., Jiang, N. X. and Chen, J. M.:** Intermediates and substrate interaction of 1,4-dioxane degradation by the effective metabolizer *Xanthobacter flavus* DT8, *Int. Biodeter. Biodegr.*, **106** 133–140 (2016)
 - 23) **Inoue, D., Tsunoda, T., Sawada, K., Yamamoto, N., Saito, Y., Sei, K. and Ike, M.:** 1,4-Dioxane degradation potential of members of the genera *Pseudonocardia* and *Rhodococcus*, *Biodegradation*, **27**, 277–286 (2016)
 - 24) **Yamamoto, N., Inoue, D., Kuroda, M. and Ike, M.:** Draft genome sequence of *Pseudonocardia* sp. strain N23, a 1,4-dioxane-degrading bacterium, *Genome Announc.*, **5**, e01249-17 (2017)
 - 25) 山本哲史、井上大介、黒田真史、瀧寛則、清和成、斎藤祐二、池道彦：1,4-ジオキサン分解菌 *Pseudonocardia* sp. N23 を用いた化成品製造工業排水処理システムの開発、*用水と廃水*, **60**, 139–150 (2018)

7. 特許出願、新聞発表等

■投稿論文

本開発技術に関する論文は、6. 参考文献の(4)、(18)、(19)、(20)、(23)、(24)及び(25)の7報である。

■特許出願

- ・特許第6117450号「構成型1,4-ジオキサン分解菌」
- ・特許第5877918号「1,4-ジオキサン分解菌の培養方法、培地、1,4-ジオキサン分解菌を利用する1,4-ジオキサン処理方法」
- ・特開第2017-006069号「1,4-ジオキサン分解菌検出用プライマーセットと、1,4-ジオキサン分解菌の検出・定量方法」

以上の3件については海外11カ国への出願を完了。この他、8件の特許については国内出願済み。

■新聞発表及びプレスリリース(H29年度分)

- ・日経産業新聞、廃水有害物質 菌が分解、2017.11.17.
- ・化学工業日報、排水中の有害物質 独自分解菌で処理、2017.11.20.
- ・建設通信新聞、排水処理 分解菌で効率化、2017.11.20.
- ・大成建設 プレスリリース、自発見した分解菌による1,4-ジオキサンの生物処理プロセスを構築、2017.11.17., http://www.taisei.co.jp/about_us/release/2017/1439258121717.html

■受賞(H29年度分)

- ・第54回下水道研究発表会 口頭セッション優秀発表賞：1,4-ジオキサン含有排水の生物処理技術の開発, 公益社団法人 下水道協会(2017)
- ・第54回日本水処理生物学会 ベストプレゼンテーション賞：実排水中の共存有機物質が3種の1,4-ジオキサン分解細菌による1,4-ジオキサン分解に与える影響の評価, 日本水処理生物学会(2017)