

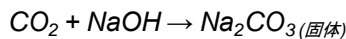
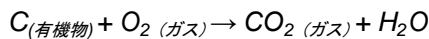
WTW OxiTop® による生分解性試験

はじめに

生分解とは、生物学的触媒作用による化学物質の複雑性の低減と定義されており、有機物が生きた微生物によって無機物までに分解されるプロセスです (Joutey, 2013)。生物学的環境修復 (バイオレメディエーション) において大きな役割を果たすとともに、人工化学物質の評価ツールとしても知られています。WTW OxiTop® は、生分解を評価するための有効なツールとして実証されています (Vähöja et al., 2005)。

Oxitop® システムによる生分解性試験

WTW OxiTop® システム (図1) は、圧力センサーを利用して、一定温度条件における密閉容器内の気相の圧力降下を測定します。以下の化学反応式にある通り、圧力損失は、微生物の呼吸により発生したCO₂がNaOH錠剤に吸収されることに起因します。圧力損失は、データロガーによってOxiTop® に記録されます。



数多く発表されている生分解性評価の標準法のうち、主に使用されている方法を表1にまとめ、一般的な計算方法を以下に記述しました。

OECD 301 A~F 試験法

OECDの試験法では、生分解により生じたDOC、CO₂生成量、酸素摂取量などのパラメータを測定します。通常、試験期間は28日間で、生分解の開始と終了を識別できるよう、十分な頻度で行います。特定のOECD法が決定された場合、一般的には以下のように一次生分解を計算します。

$$Dt = \frac{Sb - Sa}{Sb} \times 100$$

Dt: 時間tにおける一次分解率、通常28日

Sb: 試験終了時の植菌培地中の化学物質の残存量 (mg)

Sa: 試験開始時の対照区における化学物質の残存量 (mg)

ISO法

1. 好気性生分解

酸素要求量を測定し、一般的に以下の式から生分解性を評価します。

$$\text{生分解度 (\%)} = \frac{BOD \text{ test} - BOD \text{ control}}{ThOD} \times 100$$

分解度: 一次分解率

BOD test: 反応後の試料のBOD値 (mg)

BOD control: コントロールサンプルのBOD値 (mg)

ThOD: 理論酸素要求量

2. 嫌気性生分解

サンプルの嫌気性生分解をバイオガス測定で判断します。

$$\text{生分解度 (\%)} = \frac{\sum Vs - \sum Vb}{\sum Vmax} \times 100$$

Vs: サンプル容器からのCO₂、CH₄の総量

Vb: ブランク容器からのCO₂、CH₄の総量

Vmax: 理論上のバイオガス(CO₂ + CH₄)の最大体積



図. 1 生分解性試験に利用できるOxiTop®システム

表 1. 生分解関連試験法およびOxiTop®システムを用いた論文

分類	試験法	説明 (開発、2022年)(標準化、2022年)	OxiTop® システムを使用した報告記事
好気性 & 嫌気性	OECD 301-A~F	本ガイドラインでは、好気性水性媒体中での化学物質の生分解性をスクリーニングするための6つの方法を記載	(Report, Gartiser, Hydrotox GmbH, 2001)
	OECD 306	海水中での生分解性に関して2種類の方法を記載	(化学物質評価研究機構, 2011)
好氣的生分解	ISO 14855-2:2018	制御されたコンポスト条件下におけるプラスチック材料の好気性生分解性の測定-発生した二酸化炭素の分析による方法-第2部:実験室規模試験で発生した二酸化炭素の重量測定法	(Verstichel and Beekman, 2020) (Sikorska et al., 2019) (Silveira et al., 2019)
	ISO 14851:2019	プラスチック—水系培養液中の好氣的究極生分解度の求め方—閉鎖呼吸計を用いる酸素消費量の測定による方法	(Olalla, Sara and Ricardo, 2021)(López-ibáñez and Beiras, 2022)(Rapisarda et al., 2020)(Silveira et al., 2019)
	ISO 14852:2021	プラスチック—水系培養液中の 好氣的究極生分解度の求め方 - 発生した二酸化炭素量の測定による方法	Depends on if the system is closed, CO ₂ value will be measured by titration.
	ISO 17556:2019	プラスチック—呼吸計を用いた酸素消費量または発生した二酸化炭素量の測定による土壌中での好氣的究極生分解度の求め方	(Borowicz et al., 2019) (Szpiżyk, Lubczak and Lubczak, 2021)
	ISO 19679:2020	プラスチック—海水/堆積物界面の非浮遊プラスチック材料の好氣的生分解度の求め方 - 発生した二酸化炭素の分析による方法	Depends on if the system is closed, CO ₂ value will be measured by titration.
	ISO 23977-1:2020	プラスチック - 海水にさらされたプラスチック材料の好気性生物分解の測定 — 第1部:発生した二酸化炭素の分析による方法	Depends on if the system is closed, CO ₂ value will be measured by titration.
	ISO 23977-2:2020	プラスチック—海水にさらされたプラスチック材料の好気性生物分解の測定 — 第2部:密閉呼吸計で酸素要求量を測定する方法	(López-ibáñez and Beiras, 2022)
	ISO 18830:2016	プラスチック - 海水/砂質堆積物界面における非浮遊プラスチック材料の好気性生物分解の測定 - 閉鎖呼吸計で酸素需要を測定することによる方法	(化学物質評価研究機構, 2011)

分類	試験法	説明 (開発、2022年)(標準化、2022年)	OxiTop®システムを 使用した報告記事
嫌氣的生分解	ISO 14853:2016	プラスチック - 水系における嫌氣性生分解性の決定 - バイオガス生成量の測定による方法	(Zaborowska et al., 2021) (Bernat et al., 2021)
	ISO 15985:2004	プラスチック - 高固形物濃度嫌氣的消化条件での嫌氣的究極生分解度の求め方 - 発生したバイオガスの分析による方法	Depends on if the system is closed
	ISO 13975:2019	プラスチック - 制御されたスラリー系における嫌氣的究極生分解度の求め方 - 発生バイオガス量の測定による方法	Depends on if the system is closed
	ISO 10210:2012	プラスチック - 生分解度試験のための試料の作り方	(Tachibana et al., 2021)
コンポスト条件	ISO 16929:2021	プラスチック-パイロットスケールにおける 規定されたコンポスト化条件下でのプラスチック材料の崩壊度の求め方	Depends
	ISO 17088:2021	プラスチック - コンポスト化可能なプラスチックの定義	Depends
	ISO 20200:2015	プラスチック - 実験室規模の模擬コンポスト化条件下でのプラスチック材料の崩壊度の求め方	Depends

謝辞

Dr. Klaus Reithmayerの添削と修正に感謝いたします。
また、原稿作成に際してのMichael Watt氏の助言に感謝いたします。

参考文献

- Bernat, K. et al. (2021) 'Thermophilic and mesophilic biogas production from PLA-based materials: Possibilities and limitations', Waste Management, 119, pp. 295–305. doi: <https://doi.org/10.1016/j.wasman.2020.10.006>.
- Borowicz, M. et al. (2019) 'Glycerolysis of poly(lactic acid) as a way to extend the "life cycle" of this material', Polymers, 11(12). doi: 10.3390/polym11121963.
- Development, O. for E. C. and (2022) OECD method. Available at: <https://www.oecd-ilibrary.org/>.
- Joutey, N. T. (2013) 'Biodegradation: Involved Microorganisms and Genetically Engineered Microorganisms', in Bahafid, W. (ed.). Rijeka: IntechOpen, p. Ch. 11. doi: 10.5772/56194.
- López-ibáñez, S. and Beiras, R. (2022) 'Science of the Total Environment Is a compostable plastic biodegradable in the sea ? A rapid standard protocol to test mineralization in marine conditions', Science of the Total Environment. The Authors, 831, p. 154860. doi: 10.1016/j.scitotenv.2022.154860.
- Olalla, A. L., Sara, L. I. and Ricardo, B. (2021) 'Assessment of toxicity and biodegradability of poly(Vinyl alcohol)-based materials in marine water', Polymers, 13(21), pp. 1–9. doi: 10.3390/polym13213742.
- Rapisarda, M. et al. (2020) 'Envases compostables a base de polilactida y celulosa para tomates cherry recién cortados: evaluación del rendimiento e influencia del tratamiento de esterilización.', Materiales, 13(15), pp. 1–18.
- Report, W. T. W. F., Gartiser, S. and Gmbh, H. (2001) 'Biodegradation and Persistence', Biodegradation and Persistence. doi: 10.1007/10508767.
- Sikorska, W. et al. (2019) 'Compostable Polymeric Ecomaterials: Environment-Friendly Waste Management Alternative to Landfills', in Martínez, L. M. T., Kharissova, O. V., and Kharisov, B. I. (eds) Handbook of Ecomaterials. Cham: Springer International Publishing, pp. 2733– 2764. doi: 10.1007/978-3-319-68255-6_36.
- Silveira, A. et al. (2019) 'A method for the rapid evaluation of leather biodegradability during the production phase', Waste Management. Elsevier Ltd, 87, pp. 661–671. doi: 10.1016/j.wasman.2019.03.003.
- Standardization, I. O. for (2022) ISO method. Available at: <https://www.iso.org/standards.html>.
- Szpiłyk, M., Lubczak, R. and Lubczak, J. (2021) 'The biodegradable cellulose-derived polyol and polyurethane foam', Polymer Testing, 100. doi: 10.1016/j.polymertesting.2021.107250.
- Tachibana, Y. et al. (2021) 'Environmental biodegradability of recombinant structural protein', Scientific Reports. Nature Publishing Group UK, 11(1), pp. 1–10. doi: 10.1038/s41598-020-80114-6.
- Vähöja, P. et al. (2005) 'Studies of biodegradability of certain oils in forest soil as determined by the respirometric BOD OxiTop method', International Journal of Environmental Analytical Chemistry. doi: 10.1080/03067310500174195.
- Verstichel, S. and Beeckman, E. (2020) 'Research and Innovation Action Deliverable D4 . 6 – Report on PHA based biomaterial biodegradation performance', (720777).
- Zaborowska, M. et al. (2021) 'Anaerobic degradability of commercially available bio-based and oxo-degradable packaging materials in the context of their end of life in the waste management strategy', Sustainability (Switzerland), 13(12). doi: 10.3390/su13126818.
- 化学物質評価研究機構 (2011) 'Ceri News', (72).

(翻訳：セントラル科学株式会社)