

〈特集〉

WET を活用した環境負荷低減に向けた自主的、継続的な取り組み

富川 恵子, 入江 俊行, 内田 弘美

東洋インキ SC ホールディングス(株)

(〒104-8377 東京都中央区京橋3-7-1 E-mail: keiko.tomikawa@toyoinkgroup.com

toshiyuki.irie@toyoinkgroup.com, hiromi.uchida@toyoinkgroup.com)

概要

東洋インキグループは、多種多様な化学物質を扱う化学メーカーである。事業活動において各種環境規制を遵守しており、工場排水については水質汚濁防止法に定められた排水基準を遵守しているが、工場排水全体が生態系に与える影響については明確になっていない。そこで我々は、2007年からWETに注目し、国内4工場の排水の生物影響に関する知見を深め、調査・検討を進めてきた。本報告では、取り組み当初から現在までのWETを活用した自主的、継続的な取り組みをまとめた。

キーワード: WET, TRE, TIE, バイオアッセイ, ミジンコ

原稿受付 2015.4.28

EICA: 20(1) 25-29

1. 背景

東洋インキグループは、東洋インキ SC ホールディングス(株)を持株会社とし、事業会社であるトーヨーカラー(株)、トーヨーケム(株)、東洋インキ(株)をはじめとし、世界約20カ国に約70社を有する企業グループである。顔料、カラーフィルター用材料、プラスチック着色剤、粘接着剤、樹脂、グラビアインキ、枚葉インキ、新聞インキなど多種多様な化学製品を製造・販売している。

東洋インキグループでは、1996年に環境・安全基本方針、行動指針を制定し、様々な環境活動を実施している。しかし、2005年に環境経営格付機構が実施した「第1回サステナブル経営格付」においては、「生物多様性の保全」の評点が低く、「戦略段階を始め

として対応が今後の改善余地を残している」という指摘を受けた (Fig. 1)。

このような動きを受けて、東洋インキグループでは2009年に「生物多様性に関する基本方針」を定めた (Table 1)。多くの企業が、生物多様性保全活動として植林やビオトープの整備、事業所内の生物の調査を実施しているが、東洋インキグループは、事業活動の中で影響を及ぼしうる生物多様性の保全活動に積極的に取り組むことを重要な課題と位置付け、「生物多様性に配慮した原材料調達」「環境ホルモン不使用製品群の拡充」「地域の水質の維持・保全」「VOC低減」などの活動を定めている。

Table 1 Toyo Ink Group Basic Policy of Biodiversity

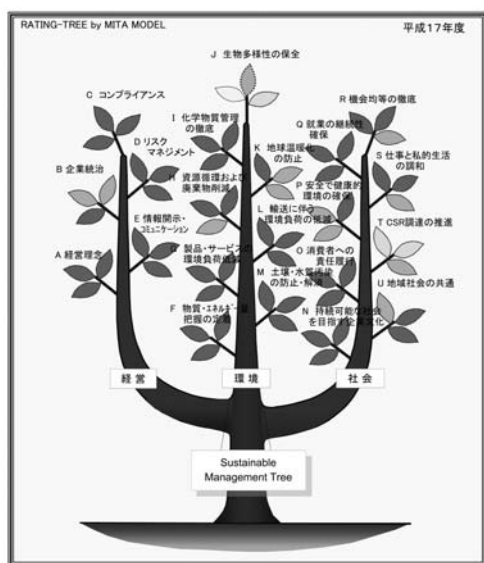


Fig. 1 Sustainable Management Rating in 2005

東洋インキグループ
生物多様性に関する基本方針

東洋インキグループは、事業活動の中で影響を及ぼしうる生物多様性の保全活動に積極的に取り組むことを、重要な課題として位置付けます。

1. 東洋インキグループは、原材料の調達に際して生物多様性に配慮し、生物資源の持続可能な利用に努めます。
2. 東洋インキグループは、生物多様性に影響を及ぼす懸念のある化学物質、特に内分泌かく乱物質、いわゆる環境ホルモンの製品への使用をできるだけ回避する製品開発を積極的に推進し、環境ホルモン不使用の製品群を充実させます。
3. 東洋インキグループは、地域の水質の維持・保全の取り組みを積極的に推進します。
4. 東洋インキグループは、VOC低減に対する取り組みを積極的に推進し、生物多様性への影響を少なくする活動を、自社はもちろん、お客様での使用に対しても行います。
5. 東洋インキグループは、国内外の事業所において地域に密着した生物多様性の保全活動を、行政や各種団体に協力して実施・支援します。
6. 東洋インキグループは、生物多様性に関する啓発・教育活動を推進します。

同時期に環境に影響を及ぼす可能性のある化学物質の生物影響評価について国立環境研究所（以下、「国環研」）主任研究員の鎌迫典久博士に相談したことをきっかけに、既に海外で実施されている水生生物を用いた水質管理法“WET（Whole Effluent Toxicity）”について知見を得た。WETの概論やこれまでの動向については割愛するが、この方法を活用することで、生物多様性に関する基本方針に定めた「地域の水質の維持・保全」に繋がるのではないかと考えた。

東洋インキグループでは、多様な製品を製造する過程で各種環境規制を遵守し活動している。工場排水については水質防止汚濁法の排水基準を遵守しているが、実際の排水は法の規制対象外の多種多様な化学物質を含み、生態系（特に水域生態系）への影響については、排水中の個々の化学物質について、また複数の化学物質による複合影響まで把握することは困難である。そこで、生態系への化学物質の影響を評価するWETに関する知見を深め、調査・検討を進めてきた。本報告では、国環研と進めてきたフィジビリティスタディや各工場の経年の排水評価結果、その中の1つの工場については影響削減の取り組みについて報告する。

2. 試験方法

WETの試験として、「藻類生長阻害試験」、「ミジンコ類繁殖阻害試験」、「魚類胚・仔魚期短期毒性試験」、「発光バクテリア発光阻害試験」を行った。当初は、国内に公定試験法（「生物応答を用いた排水試験法（検討案）」¹⁰は2013年3月に公表）が存在していなかったため、化審法の生態影響試験¹¹や諸外国の排水管理で用いられているバイオアッセイ¹²を参考にして、供試生物や試験条件について決定した¹³。いずれも、「生物応答を用いた排水試験法（検討案）」と同様の試験条件である。発光バクテリアを用いた試験は、Microbics社のマニュアルに従った。

無希釈の排水濃度を100%とし、試験実施最高濃度80%から公比2で5~7濃度区に段階的に希釈して試験に供した。各試験のエンドポイント（藻類：生長速度、ミジンコ：産仔数、魚類：ふ化率、ふ化後生存率、生存率、生存指標、発光バクテリア：発光阻害率）について、対照区との有意な差がない最大無影響濃度（NOEC：No observed effect concentration）、50%影響濃度（EC50）及び、TU（Toxicity unit（毒性単位）=100/NOEC）を算出した。

3. 試験対象工場と採水方法

東洋インキグループの国内主要4工場を試験対象とした。



Fig. 2 Water sampling of the factory effluent⁸⁾ より引用

採取時の雨水混入を避けるために晴天が続いている工場の定常稼働日を選び、工場の末端排水口の放流直前の排水を採取した（Fig. 2）。排水を密栓できる褐色ガラス瓶に入れて冷蔵指定の宅配便で国環研に送付し、試験に供した。

4. フィジビリティスタディ

先行する海外のWETの情報なども参考にしながら、国内の実際の工場排水でもWETによる生物への影響評価が可能か、2007年度より国環研と共同で試験を開始した。フィジビリティスタディの結果をFig. 3に示した。

試験の結果、実際の工場排水を用いて段階的に希釈し、生物への影響に濃度依存性を確認した。また工場によって影響を受ける生物やその程度にも差があることが示され、これらの違いは各工場の生産品目が異なることや排水処理工程の違いによるものと考えられる。また、TUを用いることにより、工場排水の生物影響の度合いを、「影響が認められなくなるまでに必要な希釈倍率」として容易に数値化できることが示された。

WETが導入されている米国では、工場排水の実際の公用水域での影響を考慮し、現実の混合域（ミキ

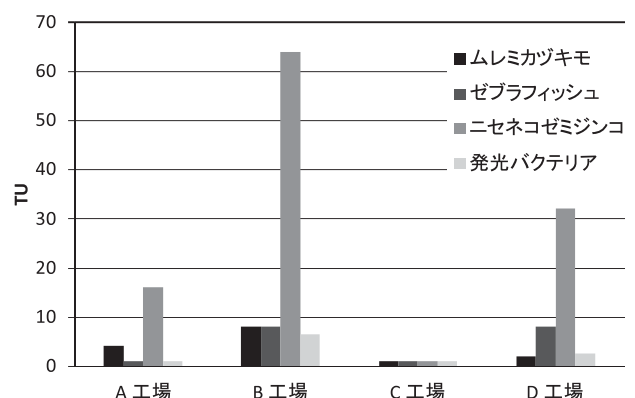


Fig. 3 Results of feasibility study⁸⁾ より引用

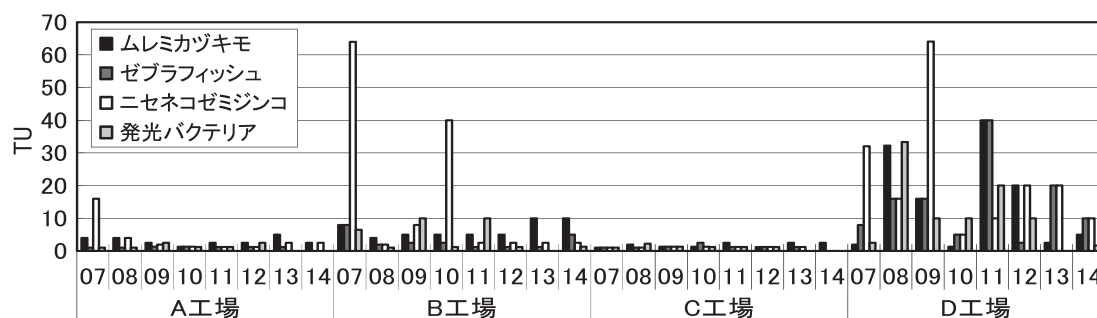


Fig. 4 TU of effluent samples collected factory A to D

シングゾーン)の下流側の端で影響の有無判定することになっている。しかし、今回はWETを工場排水の内部管理手法と位置付け、末端排水口での排水を評価した。今回の結果から、工場末端排水口でのWETは、工場排水が河川放流後に生態系への影響を総合的に測定する手法として有効であることが確認された。

5. 継続した4工場の評価結果

フィジビリティスタディの結果、WETが工場排水の生物影響評価に有効な手法であることが認められたので、その後もA~D工場でも毎年1回以上の調査を継続した。

2007年以降の結果をFig. 4に示したが、同一工場でも年によってバラツキがあることがわかった。現状の排水規制ではWETの基準値は存在しないが、将来的な規制への対応やリスク削減のためには、各工場の最大TU、平均TU、変動の様子などを基礎情報として把握しておく必要があると考えられる。

また、A~D工場において、最大TUはそれぞれ16, 64, 2.5, 64であった(2014年度の結果はそれぞれ2.5, 10, 2.5, 10)。TUの値は生物影響をなくすために必要な希釈倍率を示すので放流後の河川希釈倍率を比較するとはるかに低い値で、実際の放流条件下では生態系に影響を及ぼす可能性は低い(Table 2)。しかし、水質汚濁法の排水基準が、「排水の水質は公共用水域に排出されると、そこを流れる河川水等により、排出口から合理的な距離を経た公共用水域において、通常少なくとも10倍程度に希釈されると想定される」ことに基づいて設定されていることを考慮すると、

WETで得られたTUについても、少なくとも10以下になるような対策を講じる必要があると考えられる。

6. 実工場でのTRE・TIE[†]の取り組み

6.1 排水経路別調査

最も大きな生物影響を示したD工場は、多種多品目を生産する工場で末端排水口から原因となる物質群を特定することは困難である。D工場では、複数の場所で排水が発生し、系列別に排水処理を行いながら、貯水槽での合流を繰り返し、最終処理をして1つの排水口から放流される(Fig. 5)。排水の生物影響低減策を行うにあたり、どの排水経路の生物影響が高いかを特定するために、排水経路別に計11箇所での採水を行いWETによる評価を行った。なお、採水場所は全ての排水経路を網羅できるように計画した。

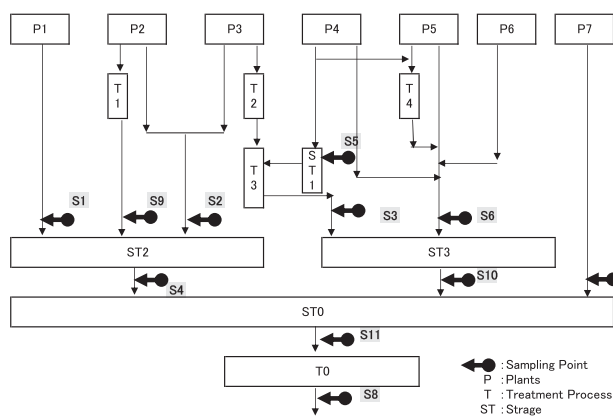


Fig. 5 Overview of effluent drainage systems and sampling stations in factory D¹⁴⁾より引用

Table 2 Amount of effluent and river water, dilution ratio, and TU of effluent

	A工場	B工場	C工場	D工場
工場排水量 (t/day)①	1,600	180	500	8,000
河川水量 (t/day)②	2,400,000	2,400,000	6,800	1,036,000
排水の希釈率 (②/①)	1,500	13,333	14	130
最大TU	16.0	64.0	2.5	64.0
2014年度の結果 (最大TU)	2.5	10.0	2.5	10.0

[†] TRE (Toxicity Reduction Evaluation: 毒性削減評価)とは様々な情報を収集し、生物への影響の原因となる要因を推測し、改善により影響が削減された場合にはフォローアップする方法。

TIE (Toxicity Identification Evaluation: 毒性同定評価)とは、毒性原因物質名を明らかにするのではなく、何らかの所作を行い原因となる毒性要因になる化学物質群の物理化学的特徴を明らかにし、除去する方策のこと。

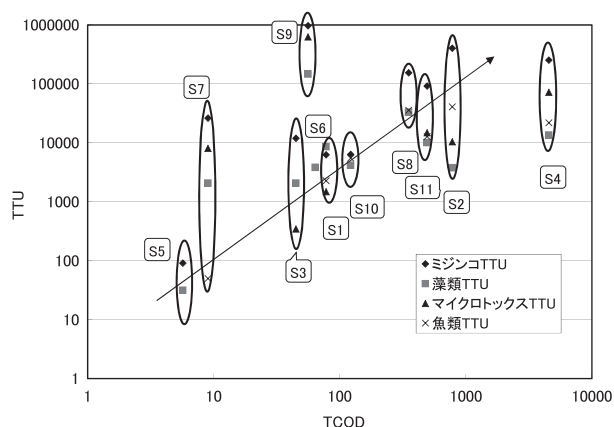


Fig. 6 Correlation Between $\log(\text{COD} \times \text{effluent volume})$ and $\log(\text{TU} \times \text{effluent volume})$ ¹⁴⁾ より引用

調査の結果、各排水経路の生物影響の大きさの違いを確認した。Fig. 6は、11箇所のTUとCODをそれぞれ水量との積としてグラフに示したものである。この結果より、両者の間におよその相関関係があることが確認された。また、TUが相関よりも高くなっているポイントでは、排水のpHが高い、残留塩素濃度が高いという特徴が認められている。実際に、この排水経路において排水に過剰量添加されている次亜塩素酸ナトリウムの削減を図ったところ、排水全体のTUの減少が確認された。次亜塩素酸ナトリウム添加の適正化が、生物影響低減の一因になった可能性がある。

6.2 ラボレベルでの毒性物質低減の検討

最後に、C18カートリッジ[†]を用いた吸着試験について紹介する。D工場の生産品目から生物影響を与える物質群は有機化合物に由来するものと推測し、有機化合物を吸着するC18カートリッジを用いて、通水前と通水後の生物影響をミジンコ類繁殖阻害試験により評価した。

試験の結果、C18カートリッジに通水した排水はTUが半減し、EC₅₀も9%から27%となった。分析の結果、有機物とともに金属類の濃度も低下しており、繁殖阻害影響の低減は有機金属類の除去によるものと推測できた。今後は、本手法で除去された物質群の詳細な解析を進め、これらの情報を手がかりに、実用可能な排水負荷低減対策に繋がる手法を検討する予定である。

[†] C18カートリッジ：オクタドデシルシリル基 (C₁₈H₃₇Si) で表面が修飾された化学結合型多孔性球状シリカゲルが固定相として充填されているもので、有機化合物を吸着するための固相抽出用のカートリッジ。

7. まとめ

これまで述べてきた東洋インキグループの取り組みは、米国などで実施されているWETを国内で初めて実工場で適用した事例である。国内では排水を総合的に評価するバイオアッセイ手法が乏しかった中、国環研との共同実験で確立した手法により、日本でも水生生物を用いて定量評価することが可能であることが示された。

経年の調査では、排水の生物影響が一番大きいD工場を含め、国内4工場のいずれの工場も実際の放流条件下では水生生物に対する影響はないものと判断された。また、D工場において詳細調査を進めた結果、今後の生物影響低減策として有用な情報を得ることができた。

2010年に取りまとめられた「今後の水環境保全のあり方」では、WETなどの生物応答を用いた排水管理手法は、現行の排水規制を補完する方法とされている。しかし、東洋インキグループでは、基本方針として定めた生物多様性を保全するため（特に、地域の水質の維持・保全）、WETを工場排水の生態系への影響を評価する方法であると考え、評価方法の確立や評価結果に基づく工場排水の生物への影響の低減に取り組んできた。

東洋インキグループでは、引き続きWETによる環境影響評価を実施し、WETによる排水評価の先進企業として、米国等で実施されているTRE（毒性削減評価）やTIE（毒性同定評価）に関連した情報を提供するとともに、自らの工場排水による生物多様性への影響の低減に取り組んでいくつもりである。

謝辞

本調査の遂行にあたり、(独)国立環境研究所の主任研究員鐘迫典久博士および研究室の方々に多くの助言・ご協力をいただきました。ここに感謝の意を表します。

参考文献

- 1) 鐘迫典久, 水上春樹: バイオサイエンスとインダストリー, 32-38 (2008)
- 2) 渡部春奈, 鐘迫典久: 事業場における生物応答を用いた排水評価・管理手法の検討, 用水と廃水, 75-83 (2012)
- 3) 内田弘美, 野中祥之, 水上春樹, 鐘迫典久: 第17回環境化学討論会講演要旨集, 244-245, 788-789 (2008)
- 4) 野中祥之, 内田弘美, 水上春樹, 鐘迫典久: 第18回環境化学討論会講演要旨集, 254-255, 834-835 (2009)
- 5) 野中祥之, 内田弘美, 水上春樹, 鐘迫典久: 第19回環境化学討論会講演要旨集, 198-199, 754-755 (2010)
- 6) 野中祥之, 内田弘美, 鐘迫典久: 第20回環境化学討論会講演要旨集, 51-52, 121-122 (2011)

- 7) 富川恵子, 入江俊行, 内田弘美, 野中祥之, 鍾迫典久: 第22回環境化学討論会講演要旨集, 25-26 (2013)
- 8) 内田弘美, 富川恵子: 生物応答手法による新しい工場排水管理への取組み, pp. 245-252, 「生物応答を用いた排水評価・管理手法の国内外最新動向——海外の運用事例から日本版WETの導入の動き・対策まで」, 鍾迫典久編集, (株)エヌ・ティー・エス, 東京 (2014)
- 9) US EPA: Toxicity reduction evaluation guidance for municipal wastewater treatment plants, EPA/833B-99/002 (1999)
- 10) 排水(環境水)管理のバイオアッセイ技術検討分科会: 生物応答手法を用いた排水試験(検討案) (2013)
- 11) 環境省: 新規化学物質等に係る試験の方法について, 環企発第110331009号 (2006)
- 12) Power, E. A. and Boumphrey, R. S.: International trends in bioassay use for effluent management, *Ecotoxicology*, **13**, 377-398 (2004)
- 13) 鍾迫典久: 現行試験法開発までの経緯と今後の展開, 第16回水環境学会シンポジウム講演要旨集, 89-90 (2013)
- 14) 富川恵子, 入江俊行, 内田弘美, 渡部春奈, 鍾迫典久: WET法を活用した工場排水管理: 化学工場における排水改善の取組み, 環境化学, Vol. 25, No. 1, pp. 27-33 (2015)