

# UASB と DHS リアクターによる嫌気・好気処理システムの染色実廃水への適用

水圏土壌環境制御研究室 中村一彦

指導教官 大橋晶良, 原田秀樹

## 1 緒言

近年、環境問題への関心の高まりから染色加工業からの廃水による中小河川の着色が大きな問題となっている。日本国内での染色廃水排出量は約 100 万 m<sup>3</sup>/day におよび、現在の処理法ではその処理に膨大なエネルギーを費やしている。この問題は日本のみならず世界でも大きな問題として取り上げられている。その一方で、生物処理による染料脱色の報告も数多く報告され、そのメカニズムが明らかとなってきている<sup>1) 2) 3)</sup>。その中の幾つかの報告により、嫌気性条件下で一般的な微生物がアゾ系染料を分解・脱色する事が解ってきている<sup>4) 5)</sup>。そこで、本研究では下水処理において卓越した有機物処理の実績を誇る UASB と DHS の嫌気・好気システム<sup>6)</sup>を適用し、嫌気性処理による脱色および後段の好気性処理による有機物および残存染料の分解性を調査した。実染色廃水の長期連続処理実験を行い、また、新しい試みとして嫌気・好気の循環による効果について調べた。

## 2 実験

### 2.1 供試染色廃水

本研究では、供試廃水としてポリエステル系の染色を行う染色工場からの実染色廃水を用いた。この実染色廃水は、染料の多くが生地に吸着されるため着色は比較的少ない廃水である。この工場からの排水は、精練排水、染色排水、洗浄排水に大きく 3 種類に分けられ、これらを日排出量比で混合したものを混合廃水とした。代表的な化学的組成を表 1 に示す。

表 1 染色廃水組成

Parameter	精練排水	染色排水	洗浄排水	混合廃水
pH (-)	13.8	7.5	6.8	1508
COD-Total (mgCOD/L)	10020	610	673	1411
Soluble (mgCOD/L)	9880	582	558	996
BOD-Total (mgBOD/L)	8372	337	233	162
VFA (mgCOD/L)	1508	60	16	1334
SO <sub>4</sub> (mgSO <sub>4</sub> /L)	7015	461	867	53
SS (mg/L)	246	23	37	36
VSS (mg/L)	82	21	35	22
Tertephthalic acid (mgCOD/L)	117	4	15	5.7
透視度 (cm)	10.0	6.8	4.8	4400
工場排出量 (m <sup>3</sup> /day)	400	1000	3000	

### 2.2 実験装置

図 1 に本システムの実験装置概要図を示す。供給水は、まず温水槽を通り暖められた後、前段の UASB リアクター (高さ 90 cm, 容量 2 L) に供給され 37°C で処理される。UASB 処理水は後段の DHS リアクター (G1-DHS, 長さ 8 m, 容量 1.9 L) に全量供給され室温で処理される。DHS は大気中の酸素を利用し UASB 処理水が重力で流下する間にスポンジの表面または内部に保持されている微生物により残留物を浄化する機構である。

ここで UASB 循環とは、UASB 処理水を窒素で置換された脱硫システム内で窒素パージにより脱硫し UASB 流入下部に返送することである。また、UASB-DHS 循環は、単純に DHS 処理水の一部を UASB へ再び返送するシステムである。

途中、スポンジのずり落ちやハエの発生などの問題が発生し、密閉・カーテン型の G2-DHS リアクター (長さ 2 m, 容量 1.9 L) に変更した。このリアクターは上部、下部にメッシュを設け、通気をはかった。

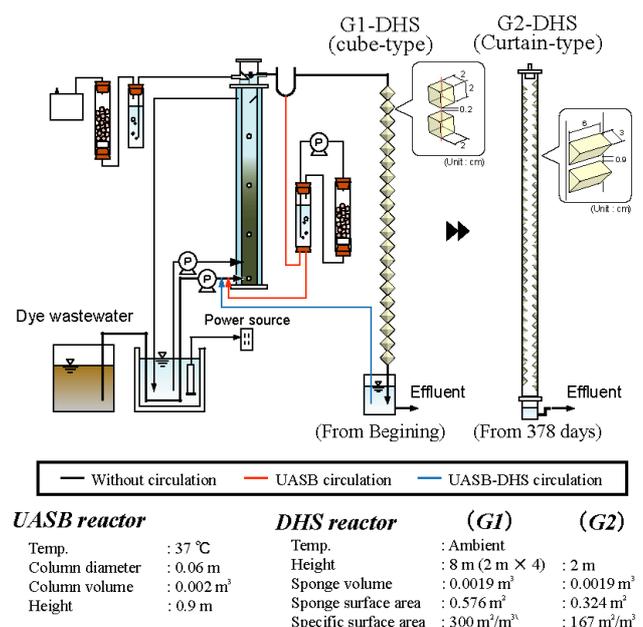


図 1 実験染色廃水処理装置

表 2 運転条件

	Run1	Run2	Run3	Run4	Run5	Run6	Run7	Run8	Run9	Run10	Run11	Run12
目的	Start-up	汚泥の馴養	染色廃水除去	有機物除去能力の把握	脱色性能の把握	染料の分解		UASB循環を 実廃水へ適応	さらなる 硫酸塩除去	UASB-DHS 循環の効果	実廃水 処理	
期間 (日)	0-23	23-102	102-174	174-195	200-272	272-312	312-317	321-390	390-415	415-423	428-453	453-
基質	人工基質	洗浄排水 人工基質 + 染色排水 精練排水	洗浄排水 染色排水 精練排水	洗浄排水 染色排水 精練排水	染色排水	染色排水	染色排水	染色排水	洗浄排水 染色排水 精練排水	洗浄排水 染色排水 精練排水	洗浄排水 染色排水 精練排水	洗浄排水 染色排水 精練排水
HRT (hr)	UASB	48→16	16→8	8	8	8	8	8	8	8	8	8
	DHS	-	16→8	8	12	8	8	8	8	8	8	8
	Total	48→16	32→16	16	20	16	16	16	16	16	16	16
シヨ糖添加 (mgCOD/L)	-	-	-	-	Totalで2000	1000	1000	1000	1000	1000	1000	-
染料添加 (mL/L)	-	-	-	-	-	0.5	0.5	0.1	-	-	-	-
UASB循環	-	-	-	-	-	-	1:4	1:4	1:4	1:9	1:4	1:4
UASB-DHS循環	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	1:1	1:1
備考	汚泥職種	G1-DHSの設置		DHS延長	Restart 汚泥追加		汚泥追加	G2-DHSの 設置				

### 2. 3 運転条件

実染色廃水処理は、困難を極め実験結果によって運転条件を変更した。連続処理実験全期間にわたる運転条件を表2にまとめた。

#### -混合廃水処理

はじめ、人工基質によりスタートアップを行った。(Run1)。UASB の HRT を 16 hr まで下げた後、人工基質に徐々に混合廃水と混ぜ合わせ (Run2)、最終的に混合実廃水のみ供給を行った (Run3)。途中、UASB と DHS の HRT を各 8 hr に短縮した。DHS を 8 m から 16 m に延長し、スポンジ容積 3.8 L として運転を続けた (Run4)。

#### -染色排水供給による脱色確認

次に、DHS 全長をもとの 8 m、スポンジ容積 1.9 L にもどし、リスタートし脱色性能を把握するため染色排水のみの供給を行った (Run5)。リスタート時からミネラル、トレースエレメントおよびイーストエクストラクトおよびシヨ糖の供給を行い、また、UASB と DHS の HRT を各 8 hr で運転した。さらに、脱色程度を明確にするため染色排水にアゾ染料を 0.5 mL/L 添加し運転した (Run6)。

#### -新たなシステムの付加

UASB の機能回復のため、硫酸塩濃度を低減させる UASB 循環システムの導入も行った (Run7)。UASB 循環比 1:4 で返送させ、染料の濃度を 0.1 mL/L に落として運転を行った。この途中から DHS を G1 タイプから密閉・カーテン型の DHS に変更した (Run8)。続いて、混合廃水の供給を再開した (Run9)。UASB 循環比を 1:9 に上げ (Run10)、さらなる処理の向上を目指し UASB-DHS 循環を UASB 循環と平行して取り入れた (Run11)。UASB 循環比は 1:4 に戻し、UASB-DHS 循環比を 1:1 で運転した。最終的に混合廃水のみで運転した (Run12)。

### 3 実験結果

#### 3. 1 運転状況および有機物除去性能

本システムの連続処理実験結果の一例を図2に示す。

#### -運転状況

供給水、UASB 処理水、DHS 処理水の pH はそれぞれ 7.0, 7.0, 7.5-8.5 程度に保たれた。HRT は UASB, DHS で各 8 hr で、COD 負荷  $3 \text{ kgCOD}\cdot\text{m}^{-3}\cdot\text{day}^{-1}$  前後で運転された。Run3 以降、実工場廃水の経時的な廃水組成の変動もあり、COD 負荷にバラツキが見られた。Run5 からは染色排水とシヨ糖の添加により COD 負荷  $6 \text{ kgCOD}\cdot\text{m}^{-3}\cdot\text{day}^{-1}$  程度、Run9 からは混合廃水とシヨ糖の添加により COD 負荷  $7.5 \text{ kgCOD}\cdot\text{m}^{-3}\cdot\text{day}^{-1}$  程度、Run12 からは混合廃水のみ供給で COD 負荷  $4 \text{ kgCOD}\cdot\text{m}^{-3}\cdot\text{day}^{-1}$  程度で運転された。

#### -有機物除去性能

UASB において、COD はスタートアップから 40%混合廃水 (68 日目)まで除去率 80%以上の良好な処理が行われていたが、それ以降混合廃水濃度が徐々に上がるにつれて処理性能が悪化し、実廃水を用いた場合には 20%程度の除去しか行われなかった。同様に BOD も実廃水を用いた場合では 20%程度の除去率しか得られなかった。この時点で UASB の利点でもあるメタンの生成はほとんどなく、実廃水には硫化物が非常に多く含まれていることから硫酸還元が優先し、硫酸還元に伴い生成される硫化水素による阻害が生じていると示唆された。Run4 からのリスタート後も同様の結果が得られたが、UASB 循環を行うことにより UASB 処理性能が回復した。これより、UASB 循環により硫化水素阻害が低減され、その効果が確認された。また、この UASB 循環は他の高濃度硫酸塩を含む廃水に対しても同効果が期待される。

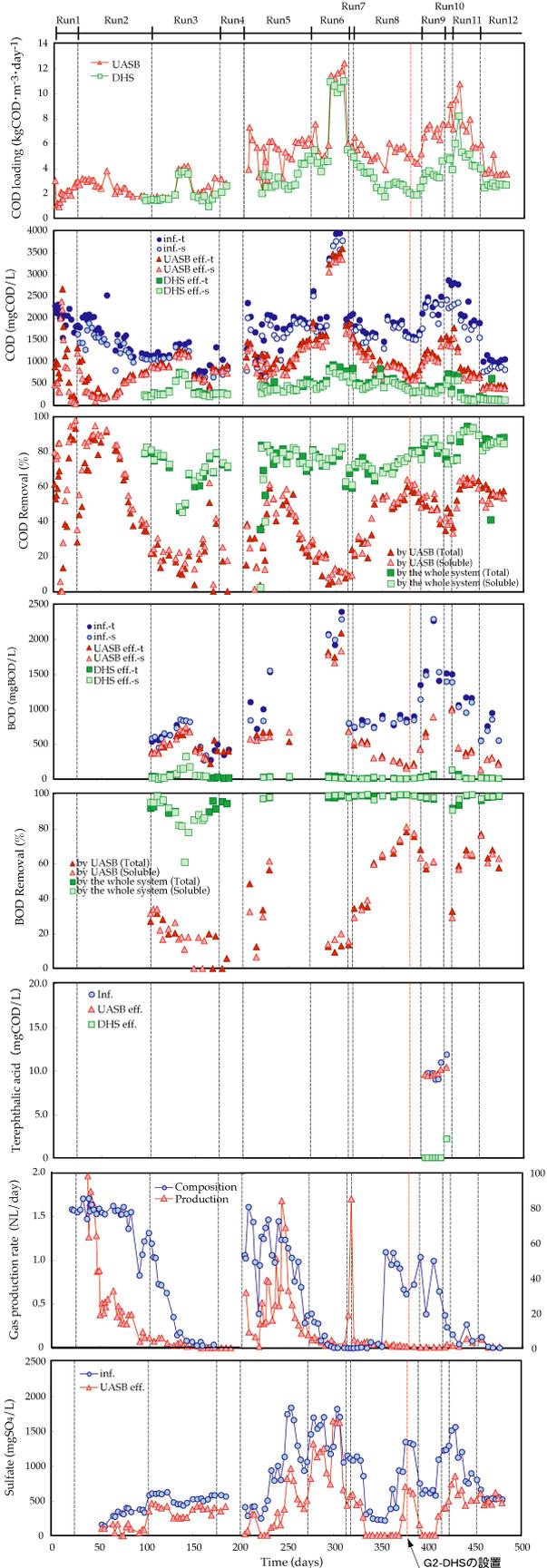


図2 連続処理実験結果

96日目よりポストトリートメントとして付け加えた DHS とのトータルシステムでは、全期間にわたり COD 除去率 75%程度 の良好な有機物処理性能を有していた。BOD 除去率は95%以上、BOD は5-20 mgBOD/L 以下と卓越した有機物処理性能が確認された。

また、UASB-DHS 循環後、COD は 100 mgCOD/L と最も低い値となった。これより、UASB-DHS 循環による循環前では分解されなかった難分解性有機物が循環後には分解されている事が示唆された。

フタル酸の測定では、供給水中には、10 mgCOD/L のテレフタル酸を含んでいた。その供給水中のテレフタル酸は、UASB での分解は確認されなかったが、DHS においては完全に分解されていた。また、テレフタル酸のほか、フタル酸、イソフタル酸の測定を行ったがテレフタル酸以外のフタル酸類は検出されなかった。

### 3. 2 脱色評価

#### -吸光度による脱色評価

連続処理実験 272 日目から 390 日目 (Run6-Run8) までの染色排水に染料を添加し供給した時の結果について考察する。添加した染料は廃水を頂いている工場 で最も多く利用されるアゾ染料の複合Blackを用いた。代表的な染料添加時 (0.5 mL/L) の各処理水の吸光度変化を図3に示す。580 nm にピークが現れ、供給水の最大吸光度波長の吸光度は 2.91, UASB 処理水の供給水最大吸光度波長の吸光度は 0.83, DHS は 0.62 となり、UASB の脱色率は 72%, DHS の脱色率は 79%となった。同様な結果から UASB では 44-72%の脱色が確認された。これらの吸光度変化より UASB 内では染料の分解が指示される結果となった。しかし、処理水中の濾過時のフィルターを通過する微細な無機物・コロイド等の影響により、これらの脱色率には色のみならずその他の因子の影響もあり、脱色程度をそのまま反映しているものではないと考えられる。また、DHS 処理水において非常に高い脱色率が確認されたが、視覚的には UASB では脱色がみられたが DHS では復色しているようにも見た。こういったことから、染料単体を用いた染料分解実験とは異なり、実廃水を基質として行う実験には吸光度による脱色評価は適応しにくいものと考察する。

## 透視度を用いた処理水着色度評価

本実験では脱色評価に透視度が最適と考え透視度の測定を行った。透視度の測定結果を図4に示す。UASB処理水はコロイドの生成等により3 cm程度と低い値となっているが、DHS処理水では5-6 cmと供給水やUASB処理水に比べると大きくなった。UASB-DHS循環後には、DHS処理水の透視度は30 cm程度となり嫌気・好気の循環の効果が見られた。

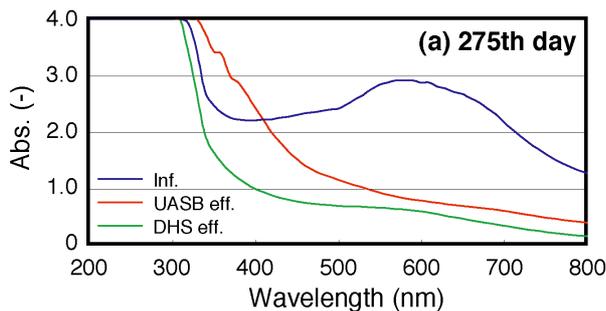


図3 染料添加 (0.5mL/L) 時の吸光度変化

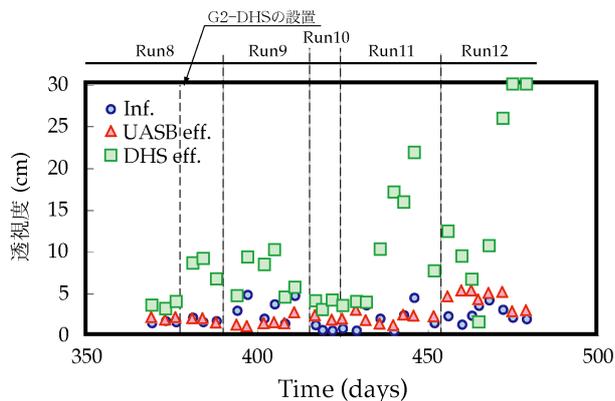


図4 連続処理実験の透視度の変化

## 4 まとめ

この嫌気・好気のUASB-DHS処理システムを用いた実染色廃水の連続処理実験を行った結果、HRTはUASB 8 hrとDHS 8 hrのトータル16 hrで良好な処理が行われ、低コスト運転が実現した。高濃度の硫酸塩を含む実染色廃水においても、UASB循環を行うことで硫化水素阻害を低減し、安定した処理を行うことができた。しかし、廃水中に高濃度硫酸塩を含む事からも、UASB内ではメタン生成細菌よりも硫酸塩還元細菌が優先したため、本研究の目的の一つであるメタン生成は行われず創エネ

ギーには至らなかった。また、UASB-DHS循環効果により、循環前では分解されなかった難分解性有機物の分解が示唆された。さらに、この循環により処理水の透視度は30 cm程度となり、さらに視覚的にも透明感が増し、嫌気・好気循環の効果が推測される。

## 5 課題

本実験によりUASB-DHSシステムによる低コストな有機物除去・脱色効果が確認されたものの、その脱色メカニズムやUASB-DHS循環による有機物除去メカニズムは解明されておらず今後さらなる研究が必要である。

また、本実験はラボスケールでの実験であり、廃水は約2~3週間毎に入れかえた。そのため、経時的に変化する染色廃水組成に対応できるかを調査する必要がある。

## 参考文献

- 1) Banat, I. M., Nigam, P., Singh, D. & Marchant, R. (1996). Microbial decolorization of textile-dye-containing effluents: a review. *Biores. Technol.* **58**, 217-227.
- 2) McMullan, G., Meehan, C., Conneely, A., Kirby, N., Robinson, T., Nigam, P., Banat, I. M., Marchant, R. & Smyth, W. F. (2001). Microbial decolourisation and degradation of textile dyes. *Appl. Microbiol. Biotechnol.* **56**, 81-87.
- 3) Chu, H. C. & Chen, K. M. (2002). Reuse of activated sludge biomass: I. Removal of basic dyes from wastewater by biomass. *Process Biochem.* **37**, 595-600.
- 4) Carliell, C. M., Barclay, S. J., Naidoo, N., Buckley, C. A., Mulholland, D. A. & Senior, E. (1995). Microbial decolourisation of a reactive azo dye under anaerobic conditions. *Water SA* **21**, 61-69.
- 5) van der Zee, F. P., Lettinga, G. & Field, J. A. (2001). Azo dye decolourisation by anaerobic granular sludge. *Chemosphere* **44**, 1169-1176.
- 6) 高橋優信. (2002). 発展途上国に適応可能なエネルギー最小消費型の下水処理プロセス スポンジ担体散水ろ床(DHS-G3)リアクターの処理特性. 長岡技術科学大学修士論文.