

# 衣類用柔軟仕上げ剤の過剰な使用が

## 浄化槽の処理機能へ与える影響に関する基礎的調査

一般財団法人福岡県浄化槽協会 櫻木 秀憲

### 1 はじめに

衣類用柔軟仕上げ剤（以下、柔軟剤という。）は、洗濯後の衣類に柔軟性を与えるための仕上げ剤である。2010年に日本石鹼洗剤工業会が実施した調査<sup>1)</sup>によると、洗濯時に毎回柔軟剤を使用する人は6割を超え、近年使用者は増加傾向にあると報告されている。その一方で、同調査によると、柔軟剤を洗濯物重量に応じて決めている人は2割程度、標準使用量の2倍以上を使用している人は23%もあったと報告されており、柔軟剤を過剰に使用している割合は少なくない。この傾向は、浄化槽使用者においても同様であると考えられるが、柔軟剤が浄化槽の処理機能に与える影響についての報告は少ない。

そこで、柔軟剤の性状や微生物に与える影響等を室内試験で評価する手法を用いて、柔軟剤の過剰な使用が浄化槽の処理機能へ与える影響について調査した。

### 2 調査対象

柔軟剤には、本来の機能である衣類の柔軟効果に加え、抗菌効果等を付加した製品が販売されている。そこで、柔軟剤が浄化槽に与える影響と併せてこれらの効果を持った柔軟剤が浄化槽にどのような影響を与えるのかを評価するため、日本石鹼洗剤工業会が公表している家庭用製品一覧表（2014年6月現在）の中からA、B、C及びDの4種類を調査対象とし、表1に示した。

なお、主成分等はメーカーの成分情報から抜粋した。また、表示成分は、含有量1%以上のものであり、含有量が多い順に表示されている。

表1 調査対象の成分等

試料	製品タイプ	主成分		液性
		機能名称	成分名称	
A	非濃縮タイプ	工程剤	水	弱酸性
		界面活性剤/柔軟成分	エステルアミド型ジアルキルアンモニウム塩	
		界面活性剤	ペンタエリスリトール脂肪酸エステル	
		安定化剤	エチレングリコール	
		界面活性剤	ポリオキシエチレンアルキルエーテル	
		泡調整剤	ジメチコン	
		防腐剤	防腐剤	
		香料	香料	
		着色剤	着色剤	
		着色剤	着色剤	
B	濃縮タイプ	工程剤	水	弱酸性
		界面活性剤/柔軟成分	エステルアミド型ジアルキルアミン塩	
		界面活性剤	ポリオキシエチレンアルキルエーテル	
		界面活性剤	グリセリン脂肪酸エステル	
		繊維潤滑剤	ジメチコン	
		粘度調整剤	塩化カルシウム	
		泡調整剤	シリコーン	
		香料	香料	
		着色剤	着色剤	
		着色剤	着色剤	
C	抗菌濃縮タイプ	工程剤	水	酸性
		界面活性剤/柔軟成分	エステルアミド型ジアルキルアミン塩	
		界面活性剤	ポリオキシエチレンアルキルエーテル	
		抗菌剤	塩化ベンザルコニウム	
		安定化剤	エチレングリコール	
		泡調整剤	シリコーン	
		香料	香料	
		着色剤	着色剤	
		着色剤	着色剤	
		着色剤	着色剤	
D	強芳香性濃縮タイプ	工程剤	水	弱酸性
		界面活性剤/柔軟成分	エステル型ジアルキルアンモニウム塩	
		界面活性剤	ポリオキシエチレンアルキルエーテル	
		安定化剤	エチレングリコール	
		香料	香料	
		粘度調整剤	塩化カルシウム	
		pH調整剤	クエン酸	
		pH調整剤	クエン酸塩	
		泡調整剤	シリコーン	
		防腐剤	防腐剤	

### 3 調査対象製品の流入濃度の推定

1日の流入汚水量は、実使用人員5人の一般家庭を想定して1,000Lとし、洗濯回数は1日に1回とした。標準流入濃度（以下、流入濃度という。）は、1日の流入汚水量中に1日分の調査対象製品が溶解した濃度とし、調査対象毎の流入濃度を表2に示した。

表2 調査対象毎の流入濃度

調査対象	流入量 (mL/日)	流入濃度 (mL/L)
A	40.0	0.0400
B	16.5	0.0165
C	16.5	0.0165
D	25.0	0.0250

### 4 試験方法

調査対象製品を試料とし、柔軟剤の過剰な使用が浄化槽に与える影響を以下の方法で評価した。

#### (1) 理化学的性状試験

試料の流入が浄化槽に与える負荷の程度を明らかにするため、理化学的性状試験を行った。試験項目はpH、BOD、COD、TOC、T-N、Kje-N、 $\text{NH}_4^+\text{-N}$ 、T-P及び $\text{Cl}^-$ とし、下水試験方法に準じて、流入濃度の10倍濃度溶液の測定を行った。なお、pHについては、流入濃度の2倍及び5倍濃度溶液についても測定した。

#### (2) 好気性微生物に対する影響試験

##### ① BOD測定時の生物反応に対する影響試験

試料がBOD測定時の生物反応に及ぼす影響を明らかにするため、以下の試験を行った。

BOD既知の試薬としてグルコース-グルタミン酸混合標準液を用い、この標準液を20℃、5日間における酸素消費量が概ね40%となるよう希釈水で希釈した。この溶液に対して、試料の濃度が流入濃度の0.5倍、等倍、2倍、5倍、10倍量となるよう添加し、試料を添加していない溶液をブランクとして酸素消費量を測定した。これらの測定値を比較し、試料の添加によるBOD測定時の影響の有無について検討した。

##### ② 酸素利用速度に及ぼす影響試験

好気性微生物に対する試料の影響を明らかにするため、以下の試験を行った。

200mlの希釈瓶に活性汚泥と試料を添加し、スターラーを用いて攪拌しながら酸素消費量の経時変化を約7時間測定した。試料の添加量は流入濃度の2倍、5倍、10倍とし、水温は20℃、MLSSは概ね3,000mg/Lとした。これらの測定値から、MLSS1g、1時間あたりの酸素利用速度係数 ( $K_r$ :  $\text{mg-O}_2/(\text{g-MLSS} \cdot \text{時})$ ) を算出し、試料を添加していない場合と比較した。

#### (3) 酸素溶解効率における影響試験 ( $K_{La}$ 試験)

試料が生物反応槽の酸素溶解速度に及ぼす影響を明らかにするため、以下の試験を行った。

DO1mg/L以下とした蒸留水に、試料を流入濃度の2倍、5倍、10倍となるよう添加し、スターラーを用いて回転数400rpmで攪拌しながら空気量0.45L/分でばっ気を行い、DOの経時変化を測定した。これらの測定値から総括酸素移動容量係数 ( $K_{La}$ ) を求め、これを水温20℃に換算した値 ( $K_{La20}$ ) に変換し、試料を添加していない場合と比較した。なお、 $K_{La}$ は反応槽における酸素供給能力を示すものであり、反応槽における酸素の溶解速度 ( $dC/dt$ ) は、 $dC/dt = K_{La}(C_s - C) - r_r$  ( $K_{La}$ : 総括酸素移動

容量係数(1/時)、Cs: 飽和溶存酸素濃度(mg/L)、C: 混合液の溶存酸素濃度(mg/L)、 $r_r$ : 混合液の酸素利用速度(mg/L・時) の式で表される。

## 5 結果及び考察

### (1) 理化学的性状試験

理化学性状試験の結果を表3に示した。表のとおり、全ての試料において流入濃度が高倍率となった場合でも pH に大きな変化は見られなかった。このことから、調査対象製品が標準使用量の10倍濃度で浄化槽に流入しても、槽内水の pH が著しく変動しないことが推測された。

表3 調査対象製品の水質分析結果

試料	pH			Kje-N	NH <sub>4</sub> <sup>+</sup> -N	T-N	T-P	Cl <sup>-</sup>	TOC	COD	BOD
	2	5	10								
添加倍率(倍)				10							
A	5.67	5.67	5.53	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	20.3	29.7	3未満
B	5.54	5.25	5.16	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	22.5	33.0	3未満
C	5.57	5.23	4.89	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	21.8	33.1	3未満
D	5.56	5.49	5.40	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	30.7	39.9	16.3

単位: mg/L (pHを除く)

一方、Kje-N、NH<sub>4</sub><sup>+</sup>-N、T-N、T-P 及び Cl<sup>-</sup> は、全ての試料で検出限界値未満となったことから、調査対象製品が標準使用量の10倍濃度で浄化槽に流入した場合であっても、窒素、リン及び塩化物イオンが浄化槽の流入負荷へ与える影響は極めて小さいと推測される。

また、TOC、COD については、共に試料 A が最も低く、次いで試料 B 及び C が同程度、試料 D が最も高い値を示した。このことから、試料には一定量の有機物質が含まれており、化学的に分解可能であることが分かった。

ここで、COD の流入水質の標準値を 100mg/L<sup>2)</sup> として、各試料の標準使用量が浄化槽に流入した場合の流入負荷について試算し、表4に示した。表から、標準使用量の柔軟剤が浄化槽に対する COD 負荷を著しく増加させる可能性は低いと考えられたが、標準使用量の約5倍で流入水中に占める COD 量の割合が約10~20%に達し、10倍量では約30~40%に達することから、標準使用量を著しく超える量で使用した場合は、浄化槽流入水の COD 負荷に与える影響は大きくなると推測された。

表4 標準流入COD量に占める割合

試料	標準量	2倍量	5倍量	10倍量
A	3.0%	5.9%	14.9%	29.7%
B	3.3%	6.6%	16.5%	33.0%
C	3.3%	6.6%	16.6%	33.1%
D	4.0%	8.0%	20.0%	39.9%

一方、BOD について、試料 D は 16.3mg/L となったが、試料 A、B 及び C は 3mg/L 未満(検出限界値未満)と著しく低い値を示した。このように、TOC 及び COD の結果から試料 A、B 及び C にも試料 D と同様に、有機物質が含まれることが確認できたにも拘わらず、試料 A、B 及び C の BOD が著しく低い値を示したのは、試料に含まれる阻害性物質が好気性微生物による有機物質分解時の酸素消費を妨げたためと推測される。

これについては、次項の BOD 測定時の生物反応に対する影響試験の結果と併せて述べる。

### (2) 好気性微生物に対する影響試験

### ① BOD 測定時の生物反応に対する影響試験

試料を添加していない場合(ブランク)の酸素消費量を 100%として、試料を添加した場合の各試料の酸素消費量の割合を図 1 に示した。図のとおり、試料 A 及び C は添加倍率の増加に伴って酸素消費量の割合が低下し、10 倍量の添加における酸素消費はほとんどなかった。

また、試料 B は、2 倍量の添加までは酸素消費量の増加が認められたものの、2 倍量を超えると添加倍率の増加に伴って酸素消費量の減少が認められた。これは、2 倍量までは阻害性物質の濃度が低いため有機物質の分解に酸素が消費されたが、2 倍量を超えると阻害性物質の濃度が高くなったため、その影響が顕在化したものと推測される<sup>3)</sup>。

一方、試料 D は、流入濃度の等倍量の添加までは添加量の増加に伴って急激に酸素消費量が増加したが、それ以降は酸素消費率が 80%を超えたため、ほぼ横ばいの推移となった。

以上のことから、試料 A 及び C には比較的作用の強い阻害性物質が、試料 B には比較的作用の弱い阻害性物質が含まれている可能性があり、理化学的性状試験の結果と併せて、これらが BOD 測定時の生物反応において好気性微生物の呼吸を阻害している可能性があることが示唆された。一方、試料 D の添加による BOD 測定時の生物反応に対する影響は認められなかった。理化学的性状試験において BOD が 16.3mg/L であったことと併せると、試料 D が BOD 測定時の好気性微生物の呼吸に与える阻害性は低いと考えられる。

これらの阻害性物質として抗菌剤や防腐剤が疑われる。表 1 から、試料 C には抗菌剤が含まれており、これが強い阻害性を与えたものと考えられる。また、試料 A 及び D には、製品自体の腐敗を防ぐ目的で防腐剤が添加されている。試料 A の 1 日あたりの流入量は、試料 D の 1.6 倍であるため、試料 A は試料 D と比較して、防腐剤の添加量が高かったと推測される。さらに、試料 D は、TOC が試料 A の約 1.5 倍であることから、阻害性を資化性が上回ったと考えられる。これらのことから、試料 A は強い阻害性を示し、試料 D は阻害性が顕在化しなかったと推測される。

一方、試料 B において、表 1 に抗菌剤や防腐剤の表記はないが、弱い阻害性物質の影響が確認された。この原因として、成分表示基準の 1%に満たない防腐剤や抗菌剤の影響や、柔軟成分である陽イオン界面活性剤による影響等<sup>4)</sup>が疑われる。

### ② 酸素利用速度に及ぼす影響試験

試料を添加した場合、ならびに添加していない場合(ブランク)の  $K_r$  について、ブランクの平均値を 100%として試料の添加倍率毎の変化を図 2 に示した。図のとおり、試料 A 及び B は、いずれの添加倍率においてもブランクよりも高い  $K_r$  を示し、試料の過剰な添加が活性汚泥の酸素利用速度に与える影響は小さいと推測された。これは、生物量が多いため、試料 A 及び B が持つ阻害性が顕在化しなかったためと考えられる。

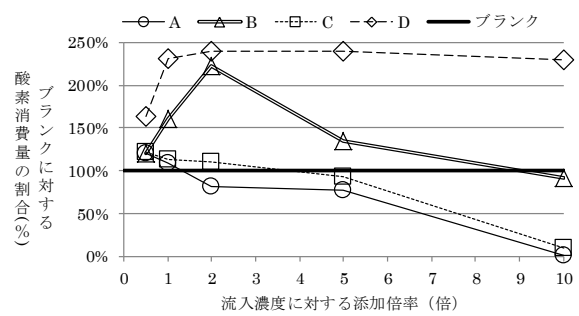


図1 各添加倍率における酸素消費量

一方、試料 D はどの添加倍率においてもブランクよりも低い  $K_r$  を示し、試料の過剰な添加が活性汚泥の酸素利用速度に影響を与えることが示唆された。これまでの試験において、他の試料と比較して資化性が高かったにも拘わらず、 $K_r$  が低かった原因の一つとして香料による影響が考えられる。

試料 D は芳香性が強い柔軟剤として販売されており、他の試料とは異なる香料成分が比較的多く配合されていると推測される。微生物は新しい有機物質に接した場合にそれに適応する酵素を合成するが、微生物が香料を分解するための酵素を合成したことから、ブランクと比較して酸素利用速度が低下したと考えられる<sup>3)</sup>。しかし、5日間の長期においては香料に微生物が馴化したため、BODとして表れたものと推測される。このことから、試料 D の過剰な添加が活性汚泥の酸素利用速度へ与える影響が確認できたものの、その程度は大きくないと考えられた。

また、試料 C は、2倍及び5倍量の添加でブランクよりも低い  $K_r$  を示したが、10倍量の添加ではブランクよりも高い  $K_r$  を示した。低濃度の方が強い阻害性を示したのは、阻害性物質によって不活化しなかった一部の微生物が試料を資化したためと考えられるが、不明な点も残るため、今後異なる視点からの検討が必要であると考えられる。このように、2倍量及び5倍量の添加で阻害性が確認されたもののその程度が大きいことや、10倍量の添加では阻害性が確認されなかったことなどから、試料 C の過剰な添加が活性汚泥の酸素利用速度に与える影響は小さいと推測された。

### (3) 酸素溶解効率における影響試験 ( $K_{La}$ 試験)

試料を添加した場合、ならびに添加していない場合(ブランク)の  $K_{La}$  を水温 20°C に換算した値 ( $K_{La20}$ ) について、ブランクの平均値を 100% として、試料の添加倍率毎の変化を図 3 に示した。図から、試料 A、C 及び D は 2 倍量以上で、試料 B は 5 倍量以上の添加で  $K_{La20}$  の低下が認められ、添加倍率の増加に伴う  $K_{La20}$  の低下が認められた。特に 10 倍量の添加においては、試料 A、B 及び C はブランクの約 65~70%、試料 D は約 50% にまで低下した。試料の過剰添加により  $K_{La20}$  が著しく低下するような状態は、計画通りの散気装置を備えていても必要酸素量を供給できない可能性が高いと推測されることから、試料の過剰な流入は生物反応槽の酸素溶解効率を低下させる恐れがあることが示唆された。

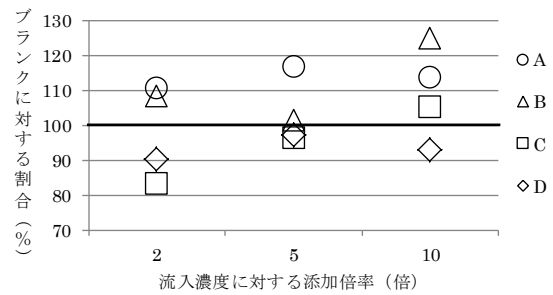


図2 ブランクに対する試料の酸素利用速度係数

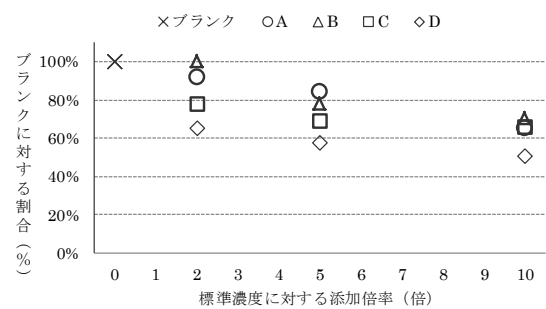


図3 添加倍率毎の $K_{La20}$ の変化

## 6 まとめ

4種類の柔軟剤を試料とし、これらの柔軟剤の過剰な使用が浄化槽の処理機能に与える影響について検討した結果、以下の知見が得られた。

- (1) 柔軟剤が浄化槽に過剰に流入した場合であっても、槽内水の pH は著しく変動しないことが推測された。
- (2) 柔軟剤が浄化槽に過剰に流入した場合であっても、窒素、リン及び塩化物イオンの流入負荷に与える影響は極めて小さいと推測された。
- (3) 柔軟剤には化学的に分解可能な有機物質が含まれており、その量は種類により異なることが確認された。
- (4) 標準使用量の 10 倍量の柔軟剤が浄化槽に流入した場合、COD 負荷を 30～40%程度増加させる可能性が推測された。
- (5) 柔軟剤が浄化槽に過剰に流入した場合、製品によっては抗菌剤や防腐剤等を含むことから、BOD 測定時の生物反応が阻害され、処理水の BOD が低く検出される場合があり、処理水質が過大評価される可能性があることが確認された。
- (6) 柔軟剤が浄化槽に過剰に流入した場合、製品によっては抗菌剤や防腐剤等を含むことから、活性汚泥の酸素利用速度を低下させる場合があることが確認されたが、その影響は大きくないと推測された。
- (7) 柔軟剤の過剰な流入が、生物反応槽の酸素溶解効率を低下させる恐れがあることが示唆された。

## 7 おわりに

今回の基礎的調査は、柔軟剤の過剰な使用が浄化槽の処理機能へ与える影響等について、いくつかの方法を用いて室内で評価したものである。今後は、実際に浄化槽に流入した場合の影響について評価するため、今回得られた知見を基に、以下の様なことについて発展的検証を重ねる必要があると考えられる。

- (1) 一次処理装置における分解及び汚泥への吸着等について
- (2) 他の流入物質と共存した場合に与える影響について
- (3) 生物膜に与える影響について
- (4) 実際の処理水による BOD 測定時に与える影響について

## 参考文献

- 1) 日本石鹼工業会 山田勲 (2010)「最近の家庭洗濯の実施状況と消費者意識」  
<[http://jsda.org/w/01\\_katud/sentaku\\_chosa2010.html](http://jsda.org/w/01_katud/sentaku_chosa2010.html)> (参照 2015-8-5)
- 2) 一般財団法人日本建築センター (2011)「浄化槽等性能評価申請要領 関連資料－浄化槽の性能評価方法(追記・解説版)」,<[http://www.bcj.or.jp/file\\_data/c12/95/file.pdf](http://www.bcj.or.jp/file_data/c12/95/file.pdf)> (参照 2015-8-5)
- 3) 株式会社環境科学センター BOD TESTER 技術資料
- 4) C&S 商品開発センター 岡野哲也「SCIENCE PLAZA－殺菌と界面活性剤の話」  
<[http://www.kao.co.jp/pro/hospital/pdf/07/07\\_08.pdf](http://www.kao.co.jp/pro/hospital/pdf/07/07_08.pdf)> (参照 2015-8-5)

## 謝辞

本研究は、公益財団法人日本環境整備教育センター調査・研究グループにご指導を賜り、実施したものである。ここに記して謝意を表する。