

## 神戸女学院の排水中の有機物、界面活性剤、窒素およびリンの濃度

張野 宏也<sup>\*1</sup>、三村 菜摘<sup>\*2</sup>、中嶋 光<sup>\*2</sup>、八東 絵美<sup>\*3</sup>、山尾 千晶<sup>\*4</sup>

**Concentrations of Organic Substance, Anion Surfactant,  
Total Nitrogen and Total Phosphorous in Drainage Water from Kobe College**

HARINO Hiroya<sup>\*1</sup>, MIMURA Natsumi<sup>\*2</sup>, NAKAJIMA Hikaru<sup>\*2</sup>, YATSUZUKA Emi<sup>\*3</sup>, YAMAO Chiaki<sup>\*4</sup>

---

\*1 神戸女学院大学 人間科学部 環境・バイオサイエンス学科 教授

\*2 神戸女学院大学 人間科学部 環境・バイオサイエンス学科 卒業生

\*3 神戸女学院大学 人間科学部 環境・バイオサイエンス学科 元嘱託教学職員、三浦市立三崎小学校 教諭

\*4 神戸女学院大学 人間科学部 環境・バイオサイエンス学科 元嘱託教学職員

連絡先：張野宏也 〒662-8505 西宮市岡田山4-1 神戸女学院大学人間科学部環境・バイオサイエンス学科  
harino@mail.kobe-c.ac.jp

## 要 旨

神戸女学院内の排水および下水道管への接続部分で採水を行い、有機物、陰イオン界面活性剤、窒素およびリンの濃度を測定した。中高等部からは有機物、窒素およびリンの負荷が多く、学生寮からはこれらの物質に加えて、陰イオン界面活性剤の排水中への負荷が大きかった。さらに、中高等部からの寄与が大きい地点では、午前と午後の濃度の差はほとんど求められないが、学生寮からの排水は、午前の方が午後に比べ濃度が高い傾向がみとめられた。また、11月-12月にかけて、陰イオン界面活性剤の濃度に大きな変化は認められなかった。

**キーワード：**排水、有機物、陰イオン界面活性剤、総窒素、総リン

## Summary

The concentrations of organic substances, anionic surfactant, total nitrogen and total phosphorous in discharged water from Kobe College were measured. Organic substances, total nitrogen and total phosphorous were discharged into drainage water from the junior high school. In addition to these substances, the loads of anion surfactants into drainage water from the dormitory was high. Although the differences of the concentrations of anionic surfactants between morning and afternoon were not observed in the junior high school, the concentrations of anionic surfactant in drainage water from the dormitory in the morning were higher than those in the afternoon. The drastic change of anionic surfactant concentrations were not observed between November and December.

**Keywords:** Drainage water, Organic substance, Anion surfactant, Total nitrogen, Total phosphorous

## 1. 研究の背景と目的

高度経済成長期初期の1960-1970年ころの川は、硫化水素やメタンガスの発生により異臭を放ち、水中にはゴミ等が浮遊している状況であった。それ以降、下水道設備が普及されはじめ、産業排水や生活排水は処理された後公共用水域に放流されるようになり、川の汚れが回復し始めた。現在では、兵庫県での下水道普及率は92.3%以上となり、本校の位置する西宮市でも下水道普及率は99.9%となった<sup>1)</sup>。しかし、いくつかの地域は汚水と雨水を同じ管で排除する合流式下水道のところもあり、大雨の後などの水量が増加する時などは雨水溜めの許容量を越え、生活排水などが未処理のまま公共用水域に流出している。また、下水の汚濁が著しい場合は、下水処理場の処理能力を超えるため、完全に処理されていない下水排水が公共用水域に排出され河川状況は悪化する。このため、下水道の完備が整ったにもかかわらず、河川の汚濁は下水道に流れる水量や汚れに左右されているのが現状である。

水質汚濁の指標とされる重要な項目に、化学的酸素要求量(COD)、メチレンブルー活性物質(MBAS)、総窒素(Total nitrogen)、総リン(Total phosphorous)がある。CODは水中に含まれるこれらの有機物質を、酸化剤を用いて化学的に酸化して、酸化量を数値化することで有機物の量を表す水質指標である。有機物質とは一般的に炭素、水素、酸素を含む化合物のことを示し、排水に含まれる油、食品の残り、洗剤などが主な成分となる。CODの値が高いと水中の有機物量が多いことを示し、その水は汚れていることを意味する。平成27年度大阪市下12下水処理場の平均CODは82 mg/Lであった<sup>2)</sup>と報告があるように、通常の下水の流入水のCOD値は数10-100 mg/Lの範囲である。

CODの濃度を高くする主な要因として界面活性剤があげられる。界面活性剤は、同一分子内に親水基と疎水基とを有する両親媒性物質の総称であり、疎水性の相で親油性物質を取り囲み、表面に親水性の相を向け水に溶けこむ。このため家庭用洗剤をはじめ、化粧品、プラスチック、塗料、セラミック、食品の諸工業や、土木、農業、鉱業など、多方面の産業分野で利用されている。界面活性剤の種類は、水溶液中での親水基のイオン状態により、陰イオン系、陽イオン系、両性イオン系および非イオン系の4種があり、そのなかでも陰イオン界面活性剤の販売数量は非イオン界面活性剤について多く、平成25年で約250,000 ton販売されている<sup>3)</sup>。この陰イオン界面活性剤を測定する方法として一般的に用いられているのがMBAS法である。MBASは、陰イオン界面活性剤がメチレンブルーと反応して生成した複合体の濃度を測ることにより、陰イオン界面活性剤の濃度を算出する方法である。

Total nitrogenは、アンモニウム態窒素、亜硝酸性窒素および硝酸性窒素などの無機態窒素の総和を示す指標である。アンモニウム態窒素は化学肥料、し尿等に生まれ、降雨により産業および生活排水中へ流出する。この物質が水中で酸化をうけて、亜硝酸性窒素さらには硝酸性窒素となる。下水道法施行令による公共下水道への流入水のTotal nitrogenの水質基準は240 mg/L未満と定められている<sup>4)</sup>。平成26年度の兵庫県内の下水処理場である武庫川流域下水処

理場の流入水は25-32 mg/L、加古川上流域下水処理場の流入水は36 mg/Lと基準値より大幅に低くなっている<sup>5)</sup>。

Total phosphorous とは、有機態リンと無機態リンの含量を表し、これらのリン化合物は農薬、薬品、肥料工業からの排水や生活、農業排水などにも含まれている。これらが公共水域に排出されるとリンは河口域や沿岸域の富影響化の原因となるため、下水道法施行令による公共下水道への流入水のリンの水質基準は32 mg/L 未満と定められている<sup>4)</sup>。Total nitrogen と同様、下水処理場の流入水の濃度をみると、武庫川流域下水処理場の流入水では2.7-3.2 mg/L、加古川上流域下水処理場の流入水は3.9 mg/Lと報告されている<sup>5)</sup>。

公共水域や地下水中の COD、MBAS、Total nitrogen および Total phosphorous の濃度は、環境基準の項目となっているため、さまざまな水域で調べられているのに対し、生活排水中の濃度に関する報告はほとんどない。さらに、多くの人々の利用する学校施設から公共下水道へのこれら化合物の負荷量に関する報告はない。

本研究では、神戸女学院内に流れている下水排水を採取し、COD、MBAS、Total nitrogen および Total phosphorous の濃度を測定し、公共下水管への負荷について検討する。

## 2. 実験

### 2.1 調査地点

神戸女学院の排水を下水道本管に接続しているのは St. A-D の4か所である(図1)。St. A は西門を下った地点に位置する。この排水は、約170名の学生が居住する学生寮から流れ出した排水が St. A1 で集められ、体育館の手洗いからの排水が混合した後 St. A2 にたどり着く。さらに、理学館からの排水が St. A3 に流れ、その後、講堂・体育館・図書館本館・総務館、食堂からの排水が合流し、下水道管の接続部分の St. A で公共の下水道管に流される。St. B は正門にあるマンホールで、デフォレスト記念館、音楽館や岡田山の東斜面の排水が流れている。St. C は図書館新館の裏にあるマンホールから公共の下水道管に流れているが、マンホールのふたは老朽化し錆びており開けることができなかった。そのため、中高等部裏の St. C1 と新館図書館とジュリア・ダッドレー記念館の間にある St. C2 のマンホールで採水して、St. C1 と St. C2 を等量混合することで St. C の排水とした。St. D は、谷門にあるマンホールを中高等部1 および2号館とタルカット記念館の排水が集まり、公共用の下水道管に放流されている。2011年11月8、14、21、28日、12月2日に9時と15時に2回マンホールを開けて採水した。

### 2.2 化学分析

#### 2.2.1 試薬

COD、MBAS、Total nitrogen および Total phosphorous の測定には、特級グレード以上の試薬を使用した。

#### 2.2.2 CODの測定方法

JIS K 0102 45.2に記載されている酸性過マンガン酸カリウム消費量(酸性COD法)で測定した。メスシリンダーを用い試水100 mLをコニカルビーカーに入れた。コニカルビーカー



クロホルム10 mLを加えて1分間振とう後同様の操作を行い、クロロホルム層を合わせた。クロロホルム層を25 mL容試験管に移し、クロロホルムで20 mLに定容した。これを吸収セルに移し、波長654 nmの吸光度を測定した。空試験として蒸留水50 mL、検量線作製のために100 mg/L陰イオン界面活性剤標準液を0.5 mL、1 mL、5 mLを加え、蒸留水で50 mLにメスアップし、試料と同様の操作を行いMBASの濃度を算出した。

#### 2.2.4 Total nitrogenの測定方法

JIS K 0102 45.2に記載されている紫外線吸光光度法で測定した。遠沈管に試薬50 mL、空試験として蒸留水50 mLを採取した。それに水酸化ナトリウム・ペルオキシ二硫酸カリウム溶液を10 mL入れ混合後、オートクレープで120℃、30分間加熱分解した。上澄み液25 mLを30 mL共栓試験管に分取し、0.6 mol/L塩酸5 mLを加え混合し、測定用試料とした。検量線は、0.005 mgN/mLの硝酸性窒素標準液2、4、6、8および10 mLを30 mL共栓試験管に採取し、蒸留水を加え25 mLにし、0.4、0.8、1.2、1.6、2.0 mgN/mLの検量線用試料を作成した。それに0.022 mol/L塩酸5 mLを加え波長220 nmの吸光度を測定した。その測定値から式(2)を用いて、Total nitrogenを測定した。

$$\text{Total nitrogen (mgN/L)} = a \times 60/25 \times 1000/50 \dots\dots\dots (2)$$

a : 検量線から求めた濃度 (mgN/L)

#### 2.2.5 Total phosphorousの測定方法

JIS K 0102 46.3.1に記載されているペルオキシ二硫酸カリウム分解法で測定した。遠沈管に試薬50 mL採取し、空試験として蒸留水50 mLを採取した。それに0.15 mol/L水酸化ナトリウム・ペルオキシ二硫酸カリウム溶液を10 mL入れ混合後、オートクレープで120℃、30分間加熱分解した。上澄み液25 mLを30 mL共栓試験管に分取した。検量線は0.005 mgP/mLリン標準液2、4、6、8および10 mLを30 mL共栓試験管に採取し、蒸留水を加え25 mLにし、0.4、0.8、1.2、1.6、2.0 mgN/mLの検量線試料を作成した。検量線用および測定用試料は発色試薬2 mLを加えた室温で15分間放置後、波長880 nmの吸光度を測定した。その測定値から式(3)を用いて、Total phosphorous濃度を測定した。

$$\text{Total phosphorous (mgP/L)} = a \times 60/25 \times 1000/50 \dots\dots\dots (3)$$

a : 検量線から求めた濃度 (mgP/L)

### 3. 結果と考察

#### 3.1 下水道本管接続地点における各物質の濃度

本学の排水が下水管に流入している4地点におけるCOD、MBAS、Total nitrogenおよびTotal phosphorousの濃度を測定した(図2)。各々の値は9時と15時に測定した値の平均値を示す。CODは、St. Dで最も高く67 mg/L、その他の地点で31-44 mg/Lでほぼ同レベルであった。環境省が設定している事業所等からの一律排水基準は160 mg/Lで、一日平均は120 mg/Lとなっている<sup>5)</sup>。本学からの排水中のCOD濃度は基準値に近い値を示していることがわかる。

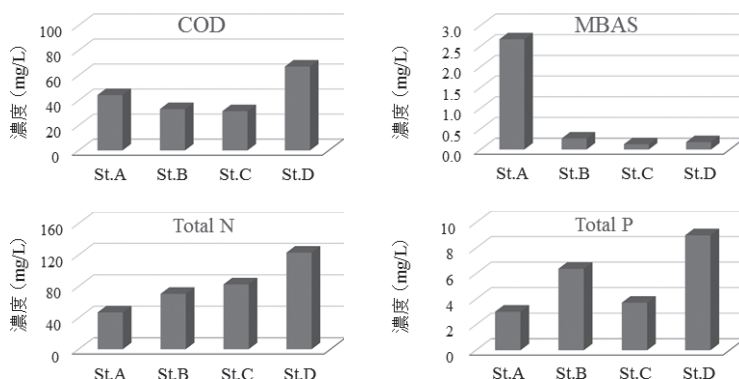


図2 下水接続管に放流している各々のマンホールから採水した水質の地点間比較  
採水日 12月2日 9時と15時の平均値

MBAS の濃度は、St. A が2.7 mg/L と最も高く、次いで St. D が0.27 mg/L、St. C が0.18 mg/L、St. B が0.12 mg/L であった。さらに、有機物に対する陰イオン界面活性剤濃度の比率を算出すると、St. A で6.02% と最も高く、St. B、C および D では1% 未満であった。St. A は MBAS の濃度が高く、COD に対する MBAS の比率も高かったのは、洗剤の使用頻度が高い学生寮や食堂を経由した排水が流れているためと考えられる。さらに、実験器具等の洗浄用に含まれる界面活性剤を多く含んだ理学館からの排水が混入したため、St. A では MBAS の濃度が高くなったと考えられる。St. D における Total nitrogen および Total phosphorous の濃度は他の地点と比較して最も高く、123 mg/L と9.0 mg/L であった。事業所等からの一律排水基準は Total nitrogen は120 mg/L で、一日平均は60 mg/L、Total phosphorous は16 mg/L で、一日平均は8 mg/L となっている<sup>4)</sup>。本学からの排水は、Total nitrogen の最高値は排水基準近傍の値であるが、その他についてはこの基準を満たしていることがわかる。また、St. D の排水は主に中高等部からが主となっている。し尿系の排水では Total nitrogen および Total phosphorous の濃度が高いという報告がある<sup>6)</sup>。中高等部には約900名の生徒が常時生活しているためトイレ等の使用頻度が他の下水道への排出経路に比べて高いことから、COD、Total nitrogen および Total phosphorous の濃度が高かったと考えられる。

St. A-D において、9時と15時の水質変化を図3に示す。St. A における COD の濃度は9時に比べて15時が低かった。これは、St. A の排出源である学生寮から寄与が高かったことが考えられる。一方、9時での MBAS の濃度は低かったにもかかわらず、15時の方が高かった。St. A は理学館の排水が混入している。理学館では昼間実験が行われるため器具等の洗浄排水が多く混入している。このため午後には MBAS の濃度が高くなったと考えられる。St. B と St. D では、Total nitrogen と Total phosphorous の濃度が15時の方が高かった。St. B や St. D は校舎からの排水に加えて、岡田山の側面に生い茂っている森林から流れてくる排水も混入している。朝方の気温の低下に伴い植物の葉等の側面に付着した水滴が土壌を流れることで、土壌中の窒素やリンを溶出し、それが排水に流出したのかもしれない。

下水道本管に接続する4地点の平均値を算出すると COD が44 mg/L、MBAS が0.18 mg/L、



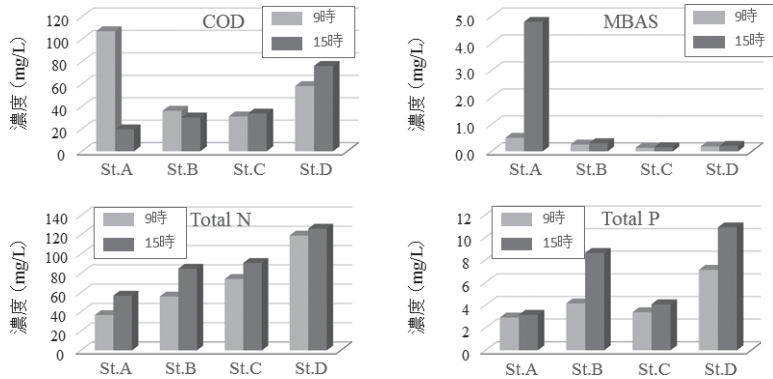


図3 下水接続管に放流している各々のマンホールから採水した水質の時間による濃度の比較  
採水日 12月2日 採水時間 9時と15時

Total nitrogen 81 mg/L および Total phosphorous が 6 mg/L であった。この値と神戸女学院の下水が処理されている武庫川下流浄化センターへの流入水の Total nitrogen および Total phosphorous の濃度は 25 mg/L および 2.7 mg/L であり、本学の窒素およびリンの下水道水への負荷は若干高いと考えられる<sup>5)</sup>。

### 3.2 下水道本館接続部である St. A にいたる水質の変化

St. A の排水は、学生寮から排出される排水である St. A1 が排出源となり、その排水がグラウンドを通り St. A2 で体育館や講堂からの排水が混入する。その後、理学館が排出源である St. A3 からの排水が合流し St. A に行き着く。St. A および St. A1-3 の排水中の 9 時と 15 時の各項目の濃度を図 4 に示す。学生寮を起源とする排水が採取できる St. A1 では、午前中では COD、MBAS、Total nitrogen および Total phosphorous の濃度が最も高く、St. A2 に至る間で希釈されている。この排水に社交館や食堂からの排水が混入し、St. A ではいずれの物質も若干濃度が増加して下水道に排出されていた。15 時での St. A に至る排水中の濃度の減衰をみる

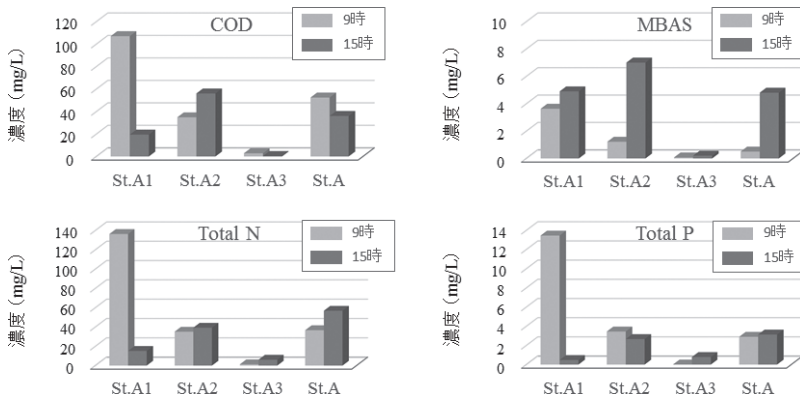


図4 St. A に至る排水経路間のマンホールから採水した水質の地点間比較  
採水日 12月2日 採水時間 9時と15時



と、St. A1 に比べて St. A2 で濃度が高くなり、その後の St. A では同レベルまたは若干高くなる傾向がみられた。St. A2 の排水は学生寮の排水に加えて、体育館や講堂の排水が混入している。午後になるとこれら施設を多くの学生や教職員が使用するため、学生寮のみに加えて、各項目の濃度が増加したと考えられる。また、St. A3 の排水の濃度はいずれの項目も低かったが、原因は不明である。

### 3.3 下水排水管接続部における1か月間のMBASの変化

界面活性剤は、洗濯、手洗い等に含まれている化学物質であるため、汚染の要因は人為的な影響に依存する。そこで、MBAS に焦点をあてて、11月8日から12月2日の約1か月間の下水道管に接続前の濃度の変化をみた(図5)。各々の値は9時、12時および15時に測定した値の平均を示す。いずれの地点もこの1か月間で顕著な濃度の変化はみとめられなかった。この間は、休み期間は含まれておらず、毎日の生活がほぼ同じサイクルで行われていたため、排水のおいてもこの一か月間の濃度の変動は認められなかったと考えられる。

### 3.4 神戸女学院から公共下水道への負荷量の試算

本学院から公共下水道に接続している地点は、St. A、B、C、D に示す4地点である。これらの地点から12月5日に排出されるCODの平均濃度は195 mg/L、MBAS は3.3 mg/L、Total nitrogen は322 mg/L、Total phosphorous は22 mg/L であった。また、2011年12月の下水道への放水量は $8627 \times 10^3$  L であった。これらの値から公共下水道への負荷量を算出すると、COD は1686 ton、MBAS は28 ton、Total nitrogen は2777 ton、Total phosphorous は191 ton となった。例えば、界面活性剤が30%以上含まれている洗剤を合成洗剤と呼び<sup>7)</sup>、これがすべて陰イオン活性剤であるという最悪のケースを仮定すると、1月840 ton の洗剤が使用されていると算出される。これらを1 L の容器に入れたとすると $840 \times 10^3$ 本分に相当する。本学院内には約3600名の学生および教職員が常時出入りしていることから、洗剤を各人が1か月で234

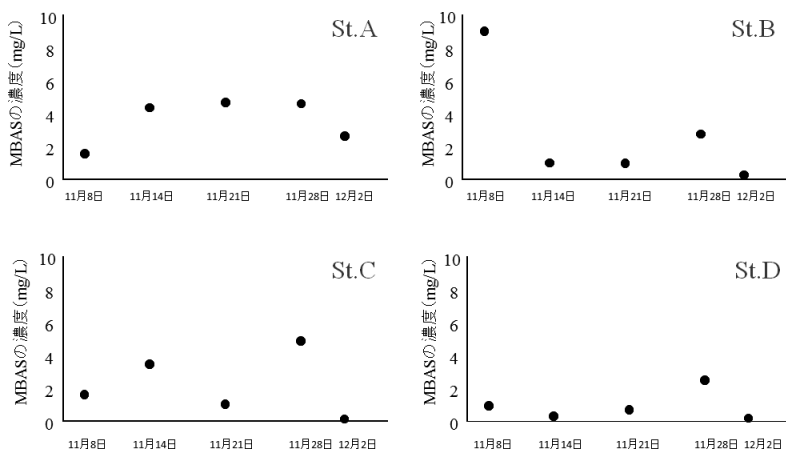


図5 下水接続管に放流している各々のマンホールから採水したMBASの経日変動  
採水日 11-12月 9時と15時の平均値●

本使用していることになる。これを1日に換算すると、3.9本の洗剤を各人が毎日使用していることになる。もちろんこの値は最悪の状態を見積もって計算した値であるが、各人が思っているよりは無駄に洗剤等を使用していることがわかる。したがって、各個人が洗剤の使用量を少しでも削減することに努めれば、界面活性剤の排水への負荷の削減、強いては有機物の量の減少につながる。

#### 4. まとめ

神戸女学院から下水道管に排水されている4地点と学生寮から西門の排水地点に繋がる経路中の3地点から下水を採水し、水質を調査した。中高等部からは有機物、窒素およびリンの負荷が多く、学生寮からはこれらの物質に加えて、陰イオン界面活性剤の負荷も大きかった。さらに、中高等部からの寄与が大きいSt. Dでは、午前と午後の濃度の差はほとんどなかったが、学生寮については、午後に比べ午前の方が、濃度が高い傾向がみとめられた。また、11-12月にかけてMBASの濃度を測定したが、大きな変化は認められなかった。これらの結果から、人間の数および活動が活発になるほど下水排水の水質を悪化させ、公共下水道に負荷をかけることがわかる。今後は、各一人一人が洗剤の使用量等に気を配り、少しでも排水の水質を悪化させないように工夫をすることで、下水道排水の水質改善により、下水処理場に負荷をかけないように努める必要がある。

#### 5. 謝 辞

本研究を遂行するにあたり、神戸女学院内の排水経路の地図や水量等の資料を提供していただいた神戸女学院施設課の藤原課長をはじめそのスタッフに感謝を申し上げる。

#### 参考文献

- 1) 兵庫県土整備部県土企画局総務課、下水道の整備について、5-6、平成28年度
- 2) 大阪市下水道局 <http://www.city.osaka.lg.jp/kensetsu/page/0000009568.html>
- 3) 日本界面活性剤工業会 <http://www.jp-surfactant.jp/surfactant/history/index.html>
- 4) 環境省 <http://www.env.go.jp/water/impure/haisui.html>
- 5) 兵庫県土整備部県土企画局総務課、下水道の整備について、10-13、平成28年度
- 6) 林幸子、山田健二郎、小池順一、永田正信、小清水正、生活排水調査—し尿処理単独浄化槽の排水と家庭雑排水の水質状況—、川崎市公害研究所年報第10号、41-46、1983
- 7) 製品評価技術基盤機構 <http://www.nite.go.jp/chem/shiryo/product/detergent/detergent2.html>

(原稿受理日 2017年2月14日)