

電気伝導度と洗剤濃度の簡易測定から探究できる発展教材

－「合成洗剤は硬水中で沈殿しない」は正しいのか－

那須悦代*, 藤本綾**, 武田清***, 喜多雅一****

(平成28年6月8日受付, 平成28年12月6日受理)

Teaching material with simple measurement of electric conductivity and detergent's concentration :

“Detergents aren't precipitate in hard-water.” Is it correct?

NASU Etsuyo *, FUJIMOTO Aya **, TAKEDA Kiyoshi ***, KITA Masakazu ****

The difference between soap and detergent is explained in chemistry textbooks at senior high school. By our research in a university, 83% of students who had studied chemistry in high school thought detergents aren't precipitate with Calcium ion or Magnesium ion. But, there are slightly different descriptions about detergents in hard water. So it is necessary that the reaction of detergent in hard water has measured quantitatively.

We developed how to measure detergent's precipitate in hard water by the electric conductivity and detergent's concentration. When concentration of detergents was high, there was a case of precipitate in hard water. The constituent of detergents, that is, some surface-active agents (over 200ppm) precipitated in hard water (over 100ppm), but commercial detergents are mixed with detector of precipitate in hard water. It is important that we have to know the correct knowledge by not only textbooks but also scientific method.

Key Words : Detergent, Hard-water, Electric Conductivity, Chemistry Textbook

1 はじめに

1990年代から日常体験と理科の学習との関連性の不足が指摘されていたが⁽¹⁾, 各地域で催される科学教室・科学展は盛況^(注1)だし, テレビなどのメディアでサイエンス番組がもてはやされている。

一方, 高等学校において2013年度から実施されている学習指導要領^(注2)は「理数教育の充実」を掲げ, 「化学基礎」の目標は「日常生活や社会との関連を図りながら・・・科学的な見方や考え方を養う。」とある。学習指導要領が求める理科教育の充実, は単なる知識の獲得ではなく, 日常生活や社会との関わりを意識しながら探究心を高める教材が必要とされている。

例えば「シャボン玉」とは日本語独特^(注3)で, ポルトガル語の「bolha de sabão (シャボン泡)」が語源⁽²⁾とされている。「シャボン玉にはチャーミーV (洗剤商品名) がよい」とされたり⁽³⁾「硬水中ではうまくシャボン玉が作れない」との記述はみられる^(注4)が, 硬水中でうまくつくれない理由は説明されていない。

合成洗剤は家庭で最も多量に使用される化学物質のひ

とつであり, 物質としてのセッケンと洗剤のちがいは高校化学で学習する。しかし, 洗剤に関する各出版社の教科書^(注5)の記述には, 表1のように微妙な表現のちがいが見られる。

これらの記述の共通点は, 「紹介されている合成洗剤がアルキル硫酸塩とアルキルベンゼンスルホン酸塩である」「合成洗剤は強塩基と強酸の塩なので中性であると記述されている」ことで, 相違点(表1の下線部分)は, 「硬水中の洗浄力について, 合成洗剤のカルシウム塩やマグネシウム塩の沈殿が生じるかどうかの表現が少しずつ異なる」ことである。

硬水中におけるセッケン水と洗剤溶液の沈殿の差がわかる写真が添えられているが, 教科書に記述された「合成洗剤は硬水中で沈殿しない」はどんな場合も正しいのか, 定量的な説明はなされていない。

まず大学1年生にアンケートを実施し, 教科書に記述された「合成洗剤は硬水中で沈殿しない」がどのように理解されているかを調査した。その結果をふまえ, 硬水中の洗剤について, 簡易な測定を通して定量的に探究で

* 兵庫教育大学大学院連合学校教育学研究科修了生 (Doctoral program Graduated student of the Joint Graduate School in Science of School Education, Hyogo University of Teacher Education)

** 徳島県徳島市立南部中学校教諭 (Teacher of junior high school in Tokushima Prefecture)

*** 鳴門教育大学 (Naruto University of Education)

**** 岡山大学 (Okayama University)

きる教材を開発した。

洗剤に関する実験教材では、セッケンとの違いを簡易な方法で比較することができ⁽⁴⁾、環境教育との関連での研究⁽⁵⁾などがなされているが、電気伝導度の測定を活用した教材の報告はみられない。

表1 各教科書の記述（抜粋）

A社	(省略) AS や ABS など、石油を原料に製造される界面活性剤を主成分とする洗剤を合成洗剤という。強酸と強塩基の塩であるこれらの水溶液は中性で、 <u>硬水中でも難溶性の沈殿を生じにくい。</u>
B社	合成洗剤は、セッケンと同様に疎水性部分と親水性部分とをもつが、その水溶液は中性である。これは合成洗剤が強酸と強塩基の塩であるからである。(省略) <u>多くの合成洗剤はCa²⁺やMg²⁺との塩が水溶性なので、硬水や海水中でも泡立ちがよい。</u>
C社	(省略) これらは強酸のナトリウム塩で、水溶液は中性である。セッケンとは異なり、 <u>カルシウム塩やマグネシウム塩は水に溶けるので、Ca²⁺やMg²⁺を多く含む硬水や海水中でも使用することができる。</u>
D社	<u>硬水中でも洗浄力を保つ界面活性剤として、(省略) 合成洗剤といわれる。</u> 合成洗剤は、強酸と強塩基からなる塩であり、その水溶液は中性を示し、中性洗剤ともよばれる。
E社	(省略) いずれも強酸と強塩基からなる塩で、加水分解を受けず、その水溶液は中性となるため中性洗剤とも呼ばれる。また、 <u>合成洗剤は、硬水中でも不溶性の塩をつくらず洗浄力を保つ。</u>

2 調査方法と結果

2-1. 大学1年生の意識調査

高校で学んだ教科書の記述をどのように理解しているかを把握するため、2015年5月に教育学部の大学生123名を対象に、「硬水」「洗剤」について、以下の知識調査(表2)を実施した。

2-2. 調査結果

洗剤についての説明は、1999年改訂の教育課程では「化学I」に、また2009年改訂の教育課程では「化学」に記載されている。「化学I」または「化学」を履修した学生42名中23名は、硬水やセッケンと洗剤のちがいを理解していると答えた。一方、化学を履修していない学生81名のうち14名がセッケンと洗剤の違いは知っていると言った。そこで理解していると答えている合計37名について、

表2 意識調査用紙

[1] 次の選択肢からひとつずつ選んで○をして下さい。 高校では・・・化学の科目を履修 化学系科目を選択していない 硬水とは何か・・・わかる 多分わかる ややわかりにくい まったく知らない 石鹼と洗剤のちがいは・・・わかる 多分わかる ややわかりにくい まったく知らない
[2] 下の文章の[]の中で正しいと思われる言葉を○で囲みなさい。 合成洗剤がセッケンと異なる点は、セッケンが[弱酸性 弱アルカリ性 中性]なのに、洗剤は[弱酸性 弱アルカリ性 中性]である。 セッケンは硬水に含まれるカルシウムイオンやマグネシウムイオンで生じる塩が水に[溶ける 溶けにくい 溶けない]のに対して、洗剤の塩は水に[溶ける 溶けにくい 溶けない]ので、セッケンよりも洗剤の方が海水や硬水中でも洗浄力を保つとされている。

表3 「理解している」と答えた37名の回答結果

教科書の記述による答	履修生の正解者数(率)	未履修生の正解者数(率)
セッケンはアルカリ性	18人(78%)	10人(71%)
洗剤は中性	16名(70%)	8人(57%)
硬水中のセッケンは溶けにくい・溶けない	19人(83%)	8人(57%)
硬水中の洗剤は溶ける	19人(83%)	8人(57%)

セッケンと洗剤に関する設問の正解率をみると、表3のようになった。

最近「弱酸性」を強調した洗剤も発売されていて、洗剤が中性かどうか迷った学生もいた。一方、硬水中で生じるカルシウム塩については、化学を履修していない学生では57%だったのに対して、履修した学生の83%が「セッケンは溶けにくい洗剤は溶ける」と考えていた。化学の教科書の記述によれば「洗剤は溶ける」と読みとれるので、当然の結果であろう。しかしはたしてどんな条件でもそれは正しいのか？

日常生活との関わりのなかでの探究心を育てるため⁽⁶⁾には正確な科学的知識をもとに判断できることが重要である。そこで、「硬水中の洗剤は沈殿しない」は正しいのか、高校生でも可能で簡易な測定から正確な科学的知識を得

ることができる教材を開発しようと考えた。

3 実験方法と測定結果

3-1. 実験の目的

硬水中の洗剤の電気伝導度および洗剤濃度を測定することにより、教科書に記述された「洗剤が硬水中で沈殿しない」が正しいのか検証するとともに、日常生活に関連した発展的な実験として開発する。

3-2. 電気伝導度の測定

試薬調整

- (1) 純水
- (2) 1.00 g/L (1000ppm) 塩化カルシウム水溶液
- (3) 2.00 g/L (2000ppm) ドデシル硫酸ナトリウム (DS) 溶液
- (4) 2.00 g/L (2000ppm) 直鎖ドデシルベンゼンスルホン酸ナトリウム (LAS) 溶液
- (5) 2.00 g/L (2000ppm) 陰イオン系市販洗剤 (今回の商品名: アリエール) 溶液
- (6) 2.00 g/L (2000ppm) 非イオン系市販洗剤 (今回の商品名: エマール) 溶液
- (7) クエン酸溶液 (0 ~ 3000ppm)

実験器具

電気伝導計 (HORIBA LAQUA twin), ビュレット 6 個, ビュレット台 6 台, ピーカー多数, 遠心分離機, 恒温槽 (25°C)

実験手順

- (1) 6 本のビュレットそれぞれに純水と 5 種の水溶液を入れる。
- (2) 表 4 の組み合わせ例のように, 合計 10 mL の混合液をいくつかつくり, 沈殿が生じたら遠心分離機で分離する。

- (3) 恒温槽に浸して, それぞれの溶液の電気伝導度を測る。
- (4) 次に 300ppm 塩化カルシウム溶液 + 400ppm LAS 溶液にクエン酸溶液を加えた場合も同様に測定する。

今回は, 予備実験後に塩化カルシウム溶液の濃度を 300ppm に設定して組み合わせた例であるが, 洗剤濃度を一定にして塩化カルシウム溶液濃度を変えて組み合わせることもできる。また洗剤濃度は洗濯用洗剤の裏書きにある使用量から計算した約 800ppm (水 30 L に 25 g = 24 mL) を参考にした。

生徒実験では, 自ら実験条件をデザインする力を身につけさせるため, 組み合わせる溶液量を指示せずに溶液を入れたビュレットだけを準備しておく方法もある。

なお, 硬水中の洗剤の電気伝導度の計算値として, No.01 ~ 07 の洗剤のみの値と, No.10 の塩化カルシウム溶液のみ (300ppm) の値を合計したものをを用いた。ただし, 溶液の混合による体積収縮はなくイオンの相互作用がな

表 4 測定用混合液のつくりかた

No	(1) 純水 (mL)	(2) CaCl ₂ 溶液		(3) ~ (6) 洗剤溶液	
		液量 (mL)	(ppm)	液量 (mL)	(ppm)
00	10	0	0	0	0
01	9.5	0	0	0.5	100
02	9.0	0	0	1.0	200
03	8.0	0	0	2.0	400
04	7.0	0	0	3.0	600
05	6.0	0	0	4.0	800
06	5.0	0	0	5.0	1000
07	4.0	0	0	6.0	1200
10	7.0	3.0	300	0	0
11	6.5	3.0	300	0.5	100
12	6.0	3.0	300	1.0	200
13	5.0	3.0	300	2.0	400
14	4.0	3.0	300	3.0	600
15	3.0	3.0	300	4.0	800
16	2.0	3.0	300	5.0	1000
17	1.0	3.0	300	6.0	1200

いものとした。クエン酸混合液の電気伝導度の計算値も, 単独で測定した個々の溶液の電気伝導度の和とした。

3-3. 洗剤含有量の測定

試薬調整

- (1) 純水
- (2) 2.00 g/L (2000ppm) 直鎖ドデシルベンゼンスルホン酸ナトリウム (LAS) 溶液
- (3) 2.00 g/L (2000ppm) 陰イオン系市販洗剤 (今回の商品名: アリエール) 溶液

実験器具

陰イオン界面活性剤測定キット (共立理化学研究所 DPM-DET 型: メチレンブルー法による洗剤濃度の簡易測定であるが, 本来のメチレンブルー法で精密に測定する際はクロロホルムやベンゼンの廃棄処理に注意しなければならない。)

実験手順

- (1) 電気伝導度を測定したのと同じ溶液 No.11 ~ 17 を 20 ~ 1000 倍程度に薄めて, 測定キットの測定範囲に調節してから, 洗剤濃度を測る。

3-4. 結果と考察

ドデシル硫酸ナトリウム (DS と表す) 溶液, 直鎖ドデシルベンゼンスルホン酸ナトリウム (LAS と表す) 溶液, 陰イオン系市販洗剤溶液, 非イオン系市販洗剤溶液の電気伝導度の測定結果を図 1 に示した。

測定結果から陰イオン系市販洗剤の電気伝導度は, 図 1

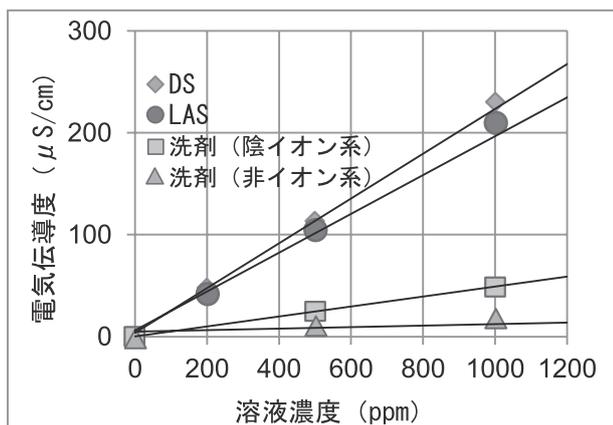


図1 DS, LAS, 市販洗剤, の溶液の電気伝導度

のように、その成分とされる LAS 溶液の電気伝導度よりも小さな値になった。イオンが LAS 由来だけであると仮定して濃度に換算すると約 20～25%に相当する。なお、非イオン系洗剤でも添加剤が含まれているためかわずかに電気伝導性を示した。

300ppm 塩化カルシウム溶液中の DS 溶液と LAS 溶液のようすを図2に示した。セッケンの場合よりも沈殿量は少ないが、洗剤でも 400ppm 以上で目視によって沈殿を確認できる現象であり、遠心分離機によって白色沈殿を分離できた。

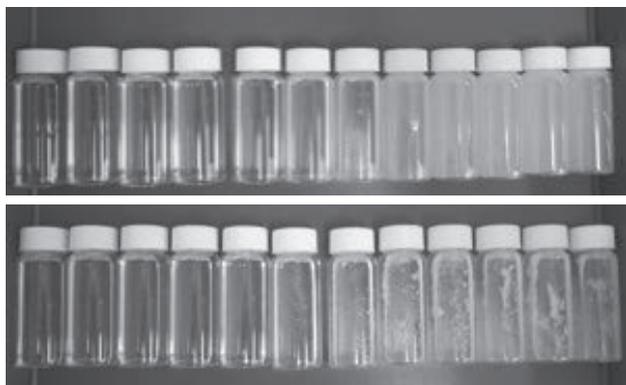


図2 300ppm 塩化カルシウム溶液中の洗剤溶液の沈殿 (上: DS, 下: LAS) (左: 0ppm ←→ 右: 1200 ppm)

次に 300ppm 塩化カルシウム溶液中の LAS 溶液の電気伝導度の測定結果を図3に示した。図3の測定結果により、明らかに 200～300ppm 以上で沈殿が生じることを定量的に確認できた。DS 溶液でも沈殿が生じて類似の結果が得られる。沈殿が生じた後の電気伝導度は計算値よりも大きく低下する。なお計算値とは混合していない塩化カルシウム溶液と LAS 溶液の単独の実測値の合計である。

また 300ppm 塩化カルシウム溶液中の LAS 溶液における洗剤濃度の変化を図4に示した。沈殿が生じ始めてからは、溶液濃度が増加しても電気伝導度はあまり増加しなくなるとともに、洗剤濃度は調整した溶液濃度よりも低

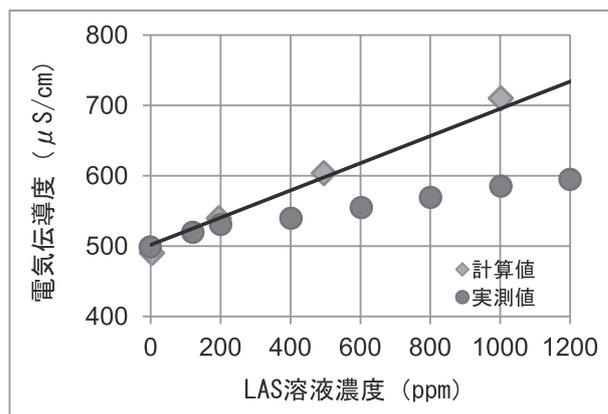


図3 300ppm 塩化カルシウム溶液中の LAS 溶液の電気伝導度

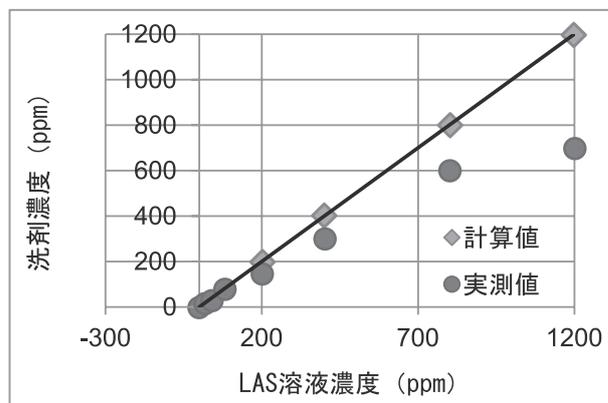


図4 300ppm 塩化カルシウム溶液中の LAS 溶液の洗剤濃度

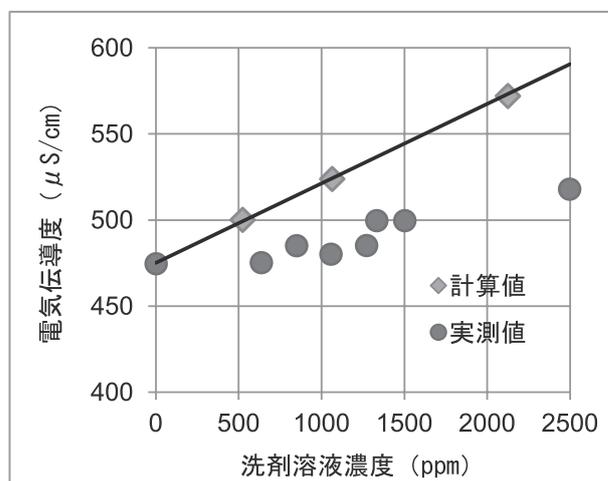


図5 300ppm 塩化カルシウム溶液中の陰イオン系市販洗剤溶液の電気伝導度

い値になった。

つまり、図3と図4より、硬水中の LAS の一部が沈殿を生じてしまい、イオン量も洗剤濃度も減少したと推察される。

高校化学の教科書に記述されている「合成洗剤の主な成分としての DS や LAS が硬水中で沈殿しない」という記述は、実験結果より、DS および LAS 洗剤濃度が 200ppm

以下でなければ成立しないことになる。

次に陰イオン系市販洗剤を 300ppm 塩化カルシウム溶液に混合して電気伝導度を測定した(図5)。DS 溶液や LAS 溶液の挙動とは大きく異なり、沈殿の有無に限らず、電気伝導度は計算値よりも小さくなった。沈殿は 5000ppm 以上の高濃度で生じることを確認した。

今回使用した市販洗剤^(注6)の裏書きに記された成分は「界面活性剤(ポリオキシエチレンアルキルエーテル, LAS系), 安定化剤, アルカリ剤, 水軟化剤, 分散剤, 酵素, 蛍光増白剤」とある。ここで水軟化剤として添加される物質はいくつかあるが⁽⁷⁾今回の市販洗剤には「クエン酸」が用いられていた。

そこで LAS 溶液にクエン酸を加えると、図6のように溶液の濁りが少なくなった。あわせて電気伝導度を測定した(図7)。

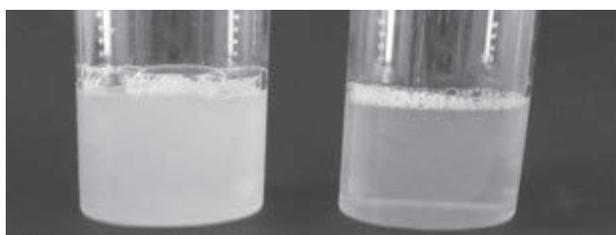


図6 クエン酸の有無による濁りのちがい
(左: 300ppm 塩化カルシウム溶液 + 400ppm LAS 溶液
右は左の溶液にクエン酸 1500ppm を加えたもの)

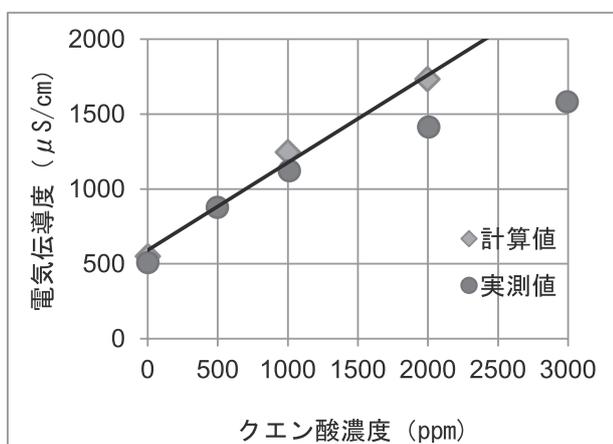


図7 300ppm 塩化カルシウム溶液 + 400ppm LAS 溶液にクエン酸を加えた溶液の電気伝導度

300ppm 塩化カルシウム溶液と 400ppm LAS 溶液の混合溶液に含まれるクエン酸量を増やしていくと、クエン酸量の増加による計算値よりも電気伝導度の測定値が小さくなった。つまり溶液中のイオン量が著しく減少した。

イオン量が減少した要因として考えられる反応は、カルシウムイオンにクエン酸イオンがキレート剤(水軟化剤)としてはたらいっていると考えられる⁽⁷⁾。

4 おわりに

高校化学の教科書には「セッケンと洗剤とのちがい」が記述されている。硬水中の沈殿の有無がわかる写真が添えられていて、洗剤とセッケンが区別できることは理解しやすいが、定量的議論をしていない。

今回の測定は電気伝導度計や測定キットを活用して簡単に実施でき、溶液の組み合わせを生徒自ら考えながら探究できる。実験結果から、硬水中の合成洗剤についての正確な知識は「教科書に合成洗剤の成分として記述されているドデシル硫酸ナトリウム(DS)や直鎖アルキルベンゼンスルホン酸ナトリウム(LAS)が 200ppm 以下であれば硬水中で沈殿を生じない。しかし、陰イオン系市販洗剤では含まれている LAS などの陰イオン系界面活性剤の成分が少なく、硬水中でカルシウムイオンなどを減少させる添加剤も加えられていて、より沈殿を生じにくくなっている。」である。

硬水の定義は、WHO で 120ppm 以上、日本では 100ppm 以上がやや硬水⁽⁸⁾⁽⁹⁾とされているが、世界の硬水データ^{(10)(11)(注7)}によれば、今回の 300ppm 塩化カルシウム溶液(カルシウムイオン濃度は約 110ppm)以上の硬水が実際に日常生活に使用されている。例えば沖縄の井戸水も 250ppm 以上⁽⁹⁾と報告されている。

また今回の実験では、うすめて使用する洗濯用洗剤(アリエール)を用いて測定したが、あまりうすめない食器用洗剤(例えばキュキュットは界面活性剤 42%)ではより高い洗剤濃度になり⁽⁴⁾、硬水中でより沈殿しやすくなると推察される。さらに、市販洗剤には洗剤成分だけでなく種々の添加剤(例えば水軟化剤など)による工夫がなされていることも探究できる。

本教材は、教科書の定性的な記述だけではなく、電気伝導度の簡易な測定による定量的な結果をもとに、日常生活と関連させながら実践できる発展的な教材となる。

— 注 —

- 1 例えば和歌山県では 2015 年 11 月に 16 回目の「おもしろ科学まつり」が開催された。
- 2 学習指導要領改訂については、国立教育政策研究所「学習指導要領データベース」Retrieved from <http://www.nier.go.jp/guideline/>
- 3 ポルトガル語以外にも、英語(a soap bubble)、フランス語(bulle de savon)、スペイン語(pompa de jabón)、イタリア語(bolla di sapone)、ドイツ語(seifen blase)、オランダ語(zeepebel)、ロシア語(мыльный пузырь)、中国語(肥皂泡)、などはすべて「セッケン泡」の意味の単語である。
- 4 例えば(2015 年 6 月現在)
友田商会 HP: <http://www.tomoda.ne.jp/jikken.htm>
- 5 調査した高校化学教科書は井口洋夫、木下實、他 14

- 名『化学』実教出版, pp.271-272, 2013
齋藤烈, 藤嶋昭, 山本隆一, 他 19 名『化学』啓林館, p.314,
pp.350-351, 2013
竹内敬人, 他 17 名『化学』東京書籍, pp.343-344,
2013
辰巳敬, 他 13 名『化学』数研出版, pp.311-312, 2013
山内薫, 他 18 名『高等学校化学』第一学習社, pp.279-
280, 2013
- 6 今回使用した市販洗剤（アリエール）の成分は
<http://jp.pg.com/products/seibun/>
- 7 世界の水の硬度（2015 年 5 月現在）
<http://sekken-life.com/life/sekainokoudo.htm>

一文 献一

- (1) 国立教育政策研究所教育課程研究センター『平成 15 年度小学校教育課程実施状況調査報告書（小学校理科）』および『平成 15 年度小学校教育課程実施状況調査報告書（中学校理科）』2005
- (2) 杉本つとむ『語源海』東京書籍, 2005
- (3) 杉山剛英編著『わかる！なるほど理科実験』裳華房, pp.105-109, 2006
- (4) 後飯塚由香里「5 分間のデモ実験 セッケンと合成洗剤」『化学と教育』63 巻（10 号）pp.492-493, 2015
- (5) 山田一裕「環境教育教材としての合成洗剤の考え方」『環境教育』43 巻（3 号）pp.54-62, 2010
- (6) 文部科学省『学習指導要領（平成 20 年度告示）』
- (7) 大矢勝『図解入門 よくわかる最新洗剤・洗剤の基本と仕組み』秀和システム, pp.116-119, 2011
- (8) 橋本淳司『おいしい水きれいな水』日本実業出版社, pp.16-17, 2007
- (9) 皆川基, 藤井富美子, 大矢勝編『洗剤・洗剤百科事典』朝倉書店, p.283, 2008
- (10) 佐藤正『おいしい水の科学』日刊工業新聞社, p.20, 2007
- (11) 左巻健男『おいしい水, 安全な水』日本実業出版社, pp.134-135, 2002