

技術論文

流動電位検出/イオン会合滴定法による陽イオン界面活性剤の
迅速定量脇阪 達司^{®*}, 大藤 和幸*, 石原 進介**, 本水 昌二****

Rapid determination of cationic surfactants in an aqueous medium by the ion-association titration method coupled with a streaming potential detector

Tatsushi WAKISAKA, Kazuyuki DAITO*, Shinsuke ISHIHARA** and Shoji MOTOMIZU****

* Materials and Process Research Laboratories, Kao Corporation, 1334, Minato, Wakayama 640

** Kyushu Laboratory, Kyoto Electronics Manufacturing Co., Ltd., 1-2, Nakabarushinmachi, Tobata-ku, Kitakyushu-shi, Fukuoka 804

*** Department of Chemistry, Faculty of Science, Okayama University, 3-1-1, Tsushimanaka, Okayama 700

(Received 4 April 1997, Accepted 9 June 1997)

An ion-association titration method coupled with a streaming potential detector was developed for the determination of cationic surfactants in a one-phase aqueous system. Dodecyl sulfate ion (LS^-) was used as a titrant for cationic surfactants in a direct titration method. LS^- was added to a cationic surfactant solution, and a potential change from positive to negative was observed. The end point was read from an inflection point of a differential curve. Direct and indirect titration methods for the determination of cationic surfactants were examined. The direct titration method was better than the indirect titration method with respect to the precision. The usual samples were titrated within 10 min. Cationic surfactants at concentrations from 10^{-5} to 10^{-3} mol dm $^{-3}$ could be determined by the proposed method. Amine and quaternary ammonium salts could be determined under both acidic and alkaline conditions. The proposed method was applied to the determination of various cationic surfactants and cationic surfactants in commercial detergents. The results obtained by the proposed method were in good agreement with those of the JIS titration method (Epton method).

Keywords: determination of cationic surfactants; ion-association titration; aqueous medium; streaming potential detector.

1 緒 言

陽イオン界面活性剤の定量法としては、JIS法¹⁾、ISO²⁾等では、分相滴定法 (Epton法) が利用されてい

* 花王(株)素材・プロセス研究所: 640 和歌山県和歌山市湊 1334

** 京都電子工業(株)九州研究所: 804 福岡県北九州市戸畑区中原新町 1-2

*** 岡山大学理学部: 700 岡山県岡山市津島中 3-1-1

る。しかし、分相滴定法では滴定の度に激しく浸り混ぜた後、両相の指示薬濃度を比較するために静置しなければならず、他の滴定法に比べ長時間と熟練を要し、更に肝臓障害を引き起こすと言われるクロロホルムを用いなければならない。長谷川らが分相滴定法の原理に基づく自動化システムの構築を行い、陽イオン界面活性剤について JIS法と定量値が良い一致を示すことを報告している³⁾。しかし、この手法は多孔質テフロン膜を用いる

ため保守が必要であり、更にクロロホルムを用いなければならぬ点も解消されていない。

Motomizu らは、酸性染料のテトラプロモフェノールフタレインエチルエステル (TBPE と略記) を指示薬系として利用する水溶液一相系での光度滴定法を考案し、陽イオン界面活性剤の定量の可能性についても報告した⁴⁾⁵⁾。しかし、一部の陽イオン界面活性剤、特にアルキル鎖の短いものでは JIS 法と定量値が若干一致しないものがあり、JIS 法をすべて代替することは困難であった。

一方、著者らは、新しい流動電位検出器を用いたイオン会合滴定法により、水溶液一相系での陰イオン界面活性剤の定量法の基礎的研究及び自動迅速定量法の確立に関する研究を既に報告した。又、実際の各種陰イオン界面活性剤の試料への応用の可能性について詳細に検討した⁶⁾。

本研究では、この流動電位検出器を用いた水溶液一相系での陽イオン界面活性剤の定量法の開発を目的として検討を進めた。更に陽イオン界面活性剤の実際試料への応用的検討を詳細に行い、良好な結果を得たので報告する。

2 実 験

2.1 試 薬

直接滴定用滴定液：ラウリル硫酸ナトリウム (LS と略記、和光純薬) を減圧下、50°C で恒量値を得るまで乾燥した後、2.884 g を精ひょうし、水に溶解して貯蔵原液 (1×10^{-2} M) を調製した。なお、LS 純度はあらかじめ JIS K 3362 に従い求めた。使用に際して各々一定量を水で正確に希釈して用いた。

逆滴定用滴定液：塩化ベンゼトニウム {ベンジルジメチル-2-(2-*p*(1,1,3,3-テトラメチルブチル)フェノキシエトキシ)-エチルアンモニウムクロリド、ハイアミン 1622、米国 Rohm and Hass 製} 溶液は、ハイアミン 4.480 g を精ひょうし、水に溶解し、貯蔵原液 (1×10^{-2} M) とした。使用に際して各々一定量を水で正確に希釈して用いた。

陽イオン界面活性剤：塩化テトラデシルベンジルジメチルアンモニウム (Zeph⁺ と略記、和光純薬)、塩化セチルベンジルジメチルアンモニウム (CBDMA⁺ と略記)、塩化セチルピリジニウム (CPy⁺ と略記)、塩化ジステアリルジメチルアンモニウム (DSDMA⁺ と略記)、臭化ジパルミチルジメチルアンモニウム (DPDMA⁺ と略記)、臭化ジミリスチルジメチルアンモニウム (DMDMA⁺ と略記)、臭化ジラウリルジメチルアンモ

ニウム (DLDMA⁺ と略記)、塩化ステアリルトリメチルアンモニウム (STMA⁺ と略記)、臭化セチルトリメチルアンモニウム (CTMA⁺ と略記)、臭化テトラデシルトリメチルアンモニウム (TDTMA⁺ と略記) 及び臭化ラウリルトリメチルアンモニウム (LTMA⁺ と略記、以上、各々東京化成) を用いた。これらの陽イオン界面活性剤を減圧下 (400 Pa)、50°C で恒量値を得るまで乾燥したものを精ひょうし、エタノール (99%) に溶解し、貯蔵原液とした。使用に際して水で正確に希釈して用いた。

実際試料：市販の各種製品を用いた。

陰イオン界面活性剤溶液：ドデシルベンゼンスルホン酸ナトリウム (DBS と略記、和光純薬) を減圧下、50°C で恒量値を得るまで乾燥した後、必要量を正確に量り取り、水に溶かして用いた。使用に際して水で正確に希釈して用いた。

2.2 装 置

装置は既報⁶⁾と同様で、オートサンプラー付き京都電子工業製自動滴定装置 AT-310J 型に、流動電位検出器を接続し用いた。

2.3 標準操作法

直接滴定法：50 ml ビーカーに陽イオン界面活性剤を含む試料水溶液 20 ml を採り、陰イオン界面活性剤として LS の 5×10^{-3} M 水溶液で滴定する。本研究では、終点の決定は装置内蔵の微分滴定曲線の変曲点より求めた。

逆滴定法：陰イオン界面活性剤及び陽イオン界面活性剤を同一システム、同一条件で定量できる方法として、陰イオン界面活性剤は直接滴定にて、陽イオン界面活性剤はあらかじめ標準陰イオン界面活性剤として DBS を一定過剰量添加した後、陽イオン界面活性剤で滴定する逆滴定法も検討した。すなわち、50 ml ビーカーに陽イオン界面活性剤を含む試料水溶液 20 ml を採り、標準陰イオン界面活性剤として 1.5×10^{-2} M の DBS を 5 ml 添加混合する。この溶液をハイアミンの 5×10^{-3} M 水溶液で滴定する。終点の決定は装置内蔵の微分滴定曲線の変曲点より求めた。

Epton 法：JIS K 3362¹⁾を採用した。

3 結果及び考察

3.1 滴定原理及び滴定曲線

直接滴定：陽イオン界面活性剤 (Zeph⁺) を含む試料水溶液を、滴定剤として陰イオン界面活性剤 (LS) で

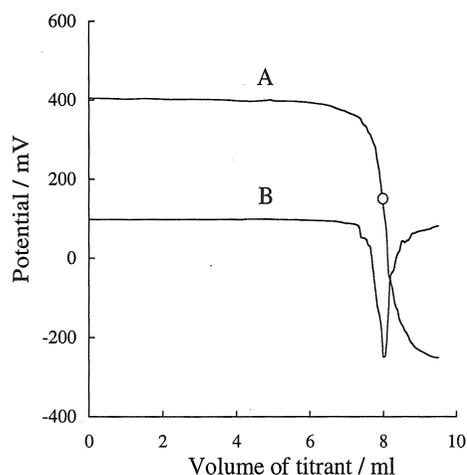


Fig. 1 Direct titration curve for cationic surfactants for ion-association titration method with a streaming potential detector

A: potential curves; B: differential curves. Circle indicates end-points. Titrant: 5×10^{-3} M LS; Sample: 20 ml of 2×10^{-3} M Zeph⁺

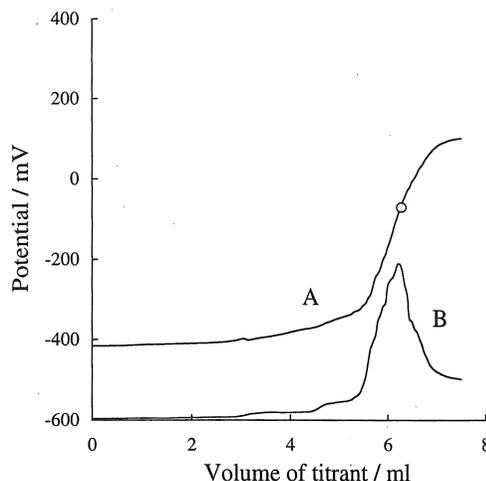


Fig. 2 Indirect titration curve for cationic surfactants for ion-association titration method with a streaming potential detector

A: potential curves; B: differential curves. Circle indicates end-points. Titrant: 5×10^{-3} M Hyamine; Sample: mixture of 20 ml of 2×10^{-3} M Zeph⁺ and 5 ml of 1.5×10^{-3} M DBS

滴定した滴定曲線を Fig. 1, A に示した。基本的な滴定原理は既報⁶⁾と同様なものであり、滴定前の段階では陽イオン界面活性剤は PTFE 表面に親油基が吸着し、表面が陽イオン基となり流動電位が正を示す。次に陰イオン界面活性剤で滴定していくと、陽イオン界面活性剤と陰イオン界面活性剤は反応し、中性のイオン会合体となる。更に加えると、陰イオン界面活性剤が吸着し徐々に電位が負側に移行し、最終的に表面が陰イオン基となり負の電位を示す。微分曲線を Fig. 1, B に示したが、滴定終点は電位の変極点 (○印) である。特に既報⁶⁾の陰イオン界面活性剤の滴定に比較して、流動電位も大きく、滴定曲線の微分曲線もシャープであった。

逆滴定: 陽イオン界面活性剤 (Zeph⁺) を含む試料水溶液にあらかじめ標準陰イオン界面活性剤として DBS を一定過剰量添加した後、滴定剤として陽イオン界面活性剤 (ハイアミン) で滴定した滴定曲線を Fig. 2, A に示した。逆滴定法においては、Fig. 1 のように流動電位が正から負に変化するのではなく、既報⁶⁾で報告した陰イオン界面活性剤と同様の流動電位が負から正に変化するパターンを示した。しかし、直接滴定と比較すると明らかに逆滴定の微分曲線はブロードであり、更に既報⁶⁾で報告した陰イオン界面活性剤の直接滴定と比較しても、Fig. 2, A の陽イオン界面活性剤の逆滴定曲線の微分曲線は若干ブロードであった。この原因は、系内に多

量の陽イオン及び陰イオン界面活性剤のイオン会合体が共存するためではないかと考えられる。

又、滴定終了後は吸着した陰イオン、陽イオンのイオン対を除去するために、エタノールで自動洗浄を行った。この電極の洗浄により、既報⁶⁾と同様に長期間の連続測定においてもなら問題は認められなかった。

3・2 流動電位検出条件, 共存成分及び pH の影響

流動電位検出条件の最適化としては、検出器の製作精度、ピストンの速度 (流量の影響に反映)、溶液の粘度の影響等があるが、既報で報告⁶⁾した陰イオン界面活性剤と同様な結果が得られ、又共存成分の影響についても同様であった。

測定 pH の影響: 測定 pH の滴定曲線に及ぼす影響について検討し、酸性 (pH 2)、中性 (pH 6) 及びアルカリ性 (pH 11) の滴定曲線を Fig. 3 に示した。中性及びアルカリ性条件下では、ノイズも小さく良好な滴定曲線が得られ、酸性条件下ではノイズが若干大きく、再現性が悪くなることが予想されるものの測定は十分可能であった。従って、酸性、中性及びアルカリ性において、実際の測定が可能であることから、酸性 (pH 2) 及び中性 (pH 6) 条件下で陽イオン界面活性剤の測定が、ア

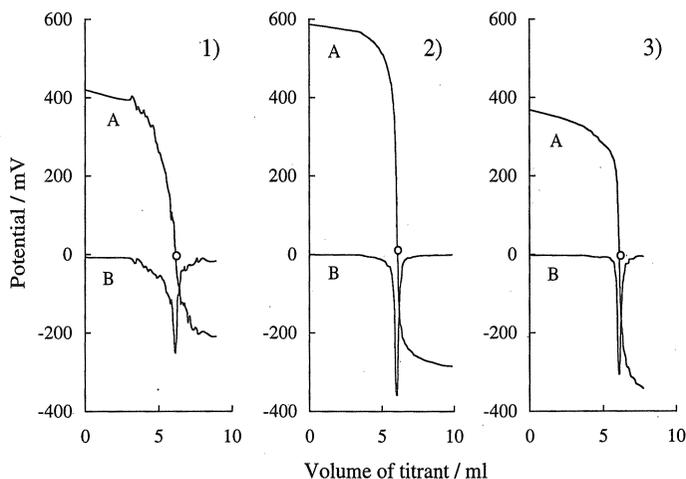


Fig. 3 Effect of pH on titration curves for ion-association titration method with a streaming potential detector

A: potential curves; B: differential curves. Circles indicates end-points. Titrant: 5×10^{-3} M LS; Sample: 20 ml of 1.5×10^{-3} M Zeph⁺, 1), pH 2; 2), pH 6; 3), pH 11

ルカリ性 (pH 11) 条件下でアミン及び陽イオン界面活性剤の測定の可能性が示唆された。

3.3 検量線の作成及び再現性

陽イオン界面活性剤 Zeph⁺ の標準溶液を、直接滴定及び逆滴定法により求めた検量線に関する結果を Table 1 に示した。得られた検量線の直線性は直接滴定法の相関係数が $R=0.9998$, 逆滴定法の相関係数が $R=0.9983$ と直接滴定のほうが良好であり, Zeph⁺ の 2×10^{-3} の相対標準偏差 ($n=10$) は直接及び逆滴定法において, それぞれ 0.22%, 0.72% となり, 直接滴定法のほうが精度よく測定できることが分かった。逆滴定法の再現性が若干悪いのは, Fig. 2 の逆滴定曲線の微分曲線がブロードであることに起因するものと考えられる。又, 本滴定法による陽イオン界面活性剤の定量範囲は $10^{-5} \sim 10^{-3}$ M であった。

3.3.1 陽イオン界面活性剤及びアミンの分別定量

四級アンモニウム塩 (塩化ジアルキルジメチルアンモニウム, DADMA と略記), アミン (ジアルキルメチルアミン, DAMA と略記) 及びそれらの混合試料を調製し, 四級アンモニウム塩及びアミンの分別定量について検討した。その結果を Table 2 に示した。pH 2 の酸性条件下では四級アンモニウム塩及びアミンが, pH 11 のアルカリ性条件下では四級アンモニウム塩のみが測定さ

Table 1 Linearity of calibration graph with direct and indirect ion-association titration method

10^{-3} Zeph ⁺ / mol dm ⁻³	Titrant/cm ^{3a)}	
	Direct titration ^{b)}	Indirect titration ^{c)}
0.00	—	14.24 ± 0.02
0.25	1.10 ± 0.02	13.05 ± 0.04
0.50	2.01 ± 0.03	12.19 ± 0.06
1.00	4.09 ± 0.04	9.92 ± 0.09
1.50	6.22 ± 0.04	8.30 ± 0.09
2.00	8.17 ± 0.04	6.56 ± 0.10
2.50	10.13 ± 0.05	4.56 ± 0.11

a): mean values of three measurements; Regression graph: $Y=kX+b$, Y (ml): volume of titrant; k : slope of the linear line; $X(10^{-3} \text{ mol dm}^{-3})$: concentration of Zeph⁺; b : intercept of Y axis

b): titrant, 5×10^{-3} M LS; Sample: $0.25 \sim 2.5 \times 10^{-3}$ M Zeph⁺ 20 ml; Regression graph: $Y=4.049 \times 10^3 X + 0.056$

c): titrant, 5×10^{-3} M Hyamine; Sample: mixture of 20 ml of analytes ($0 \sim 2.5 \times 10^{-3}$ M Zeph⁺) and 5 ml of 1.5×10^{-2} M DBS; Regression graph: $Y=-3.822 \times 10^3 X + 14.071$

れることを確認できた。添加量に対して, 回収率 97% 以上の良好な定量結果が得られ, 四級アンモニウム塩及びアミンの分別定量ができることが分かった。酸性条件

Table 2 Determination of cationic surfactants in amine and quaternary ammonium salts by the proposed method

Sample	Surfactants	Added, %	Found, % [†]	
			Acidic medium	Alkaline medium
1	DADMA	25.0	24.3±0.3	24.5±0.1
2	DAMA	10.0	9.6±0.1	—
3	DADMA	25.0	33.6±0.3	24.0±0.1
	+ DAMA	10.0		
4	DADMA	20.0	33.3±0.4	19.4±0.1
	+ DAMA	15.0		

DADMA: dialkyldimethyl ammonium chloride; DAMA: dialkylmethylamine; †: mean value of three measurements

下での再現性が悪いのは, Fig. 3 に示した酸性条件下での滴定曲線のノイズが大きいことに由来するものである.

3・3・2 実際試料への応用 標準的な陽イオン界面活性剤 (アルキル基の構造が表示されている市販の陽イオン界面活性剤) について, JIS 法及び本滴定法を用いて, 直接滴定及び逆滴定法により定量を行い, その結果を Table 3 に示した. 直接滴定及び逆滴定法と JIS 法との定量値は非常に良い一致を示した. 再現性については, 直接滴定法のほうが逆滴定法に比較して良好であっ

た. そこで典型的な陽イオン界面活性剤 (CBDMA⁺, CPy⁺, DPDMA⁺ 及び CTMA⁺) の直接滴定の滴定曲線を Fig. 4 に, 逆滴定の滴定曲線を Fig. 5 に示した. 前述の Fig. 1 及び 2 と同様に, 直接滴定に比較して逆滴定法のほうが滴定曲線のノイズが大きく, 微分曲線もブロードであることが, 再現性の悪かった原因であると考えられる. 従って, 定量法としては, 陰イオン界面活性剤及び陽イオン界面活性剤を同一システム, 同条件で定量できる逆滴定法が望ましいものの, 今回は直接滴定法を採用することとした. 又, ハイアミン, Zeph⁺, CPy⁺, DPDMA⁺ 及び CTMA⁺ の滴定曲線の流動電位を比較すると, 大きさが界面活性剤の種類により異なることが分かった. そこで, 流動電位の大きさが流動電位検出器の PTFE 表面への吸着性, すなわち陽イオン界面活性剤の疎水基の違い (アルキル基の鎖長の違い, 構造の違い) によるものではないかと考え, アルキル鎖長 (ジアルキルタイプ: DSDMA⁺, DLDMA⁺ 及びモノアルキルタイプ: LDMA⁺) の流動電位に及ぼす影響について Fig. 6 に示した. その結果, アルキル鎖長の長いほど, 又モノ体よりもジ体のほうが流動電位が大きいことが分かった. これは, 陽イオン界面活性剤の疎水性の大きいものほど, 流動電位検出器の PTFE 表面へ陽イオン界面活性剤が吸着しやすく, 流動電位が高くなることを示しているものと考えられる. 実際の各種試料について定量を行いその結果を Table 4 に示した. 又, Table 4 には既報⁵⁾で報告した光度滴定法による定量値も同時に示した. 光度滴定法による定量値に比べて,

Table 3 Comparison of the proposed method with JIS method (Epton method) in the analysis of commercial detergents as samples

Cationic surfactants (abbreviation)	Cationic surfactants/%		
	JIS method	Proposed method ^{a)}	
		Direct titration ^{b)}	Indirect titration ^{c)}
Cetylbenzyltrimethyl ammonium chloride (CBDMA ⁺)	94.4	93.4±0.4	93.1±0.7
Cetylpyridinium chloride (CPy ⁺)	99.8	100.1±0.3	99.0±1.3
Distearyldimethyl ammonium chloride (DSDMA ⁺)	100.1	100.0±0.5	99.8±0.9
Dipalmyldimethyl ammonium bromide (DPDMA ⁺)	98.6	98.8±0.4	98.9±0.8
Dimyristyldimethyl ammonium bromide (DMDMA ⁺)	99.1	99.3±0.4	99.4±0.9
Dilauryldimethyl ammonium bromide (DLDMA ⁺)	100.4	100.2±0.4	100.1±0.5
Stearyltrimethyl ammonium chloride (STMA ⁺)	96.3	97.0±0.4	95.6±1.3
Cetyltrimethyl ammonium bromide (CTMA ⁺)	101.8	101.1±0.4	100.3±0.7
Tetradecyltrimethyl ammonium bromide (TDTMA ⁺)	99.6	99.9±0.3	101.0±0.4

a: mean values of three measurements; b: titrant, 5×10⁻³ M LS; c: titrant, 5×10⁻³ M Hyamine; Sample: mixture of 20 ml of analytes and 5 ml of 1.5×10⁻² M DBS

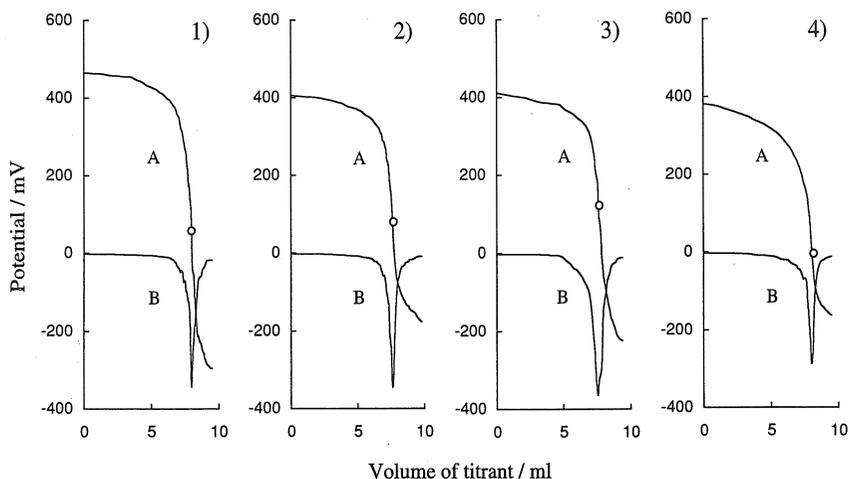


Fig. 4 Direct titration curves for various cationic surfactants for ion-association titration method with a streaming potential detector

A: potential curves; B: differential curves. Circle indicates end-points. Titrant: 5×10^{-3} M LS; Sample: 20 ml of 2×10^{-3} M, 1), CBDMA⁺; 2), CPy⁺; 3), DPDMA⁺; 4), CTMA⁺

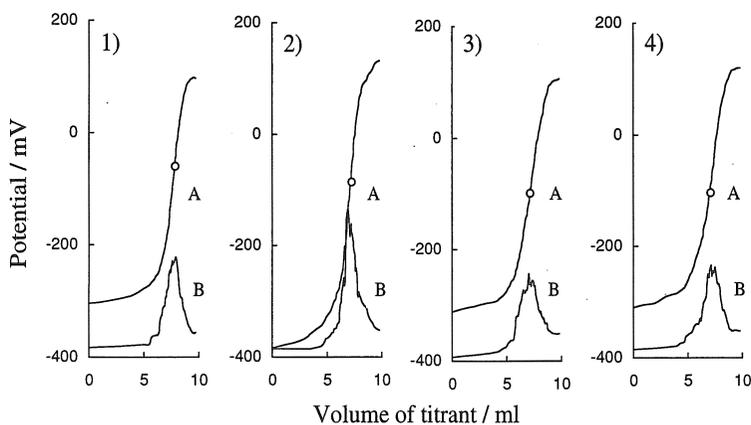


Fig. 5 Indirect titration curves for various cationic surfactants for ion-association titration method with a streaming potential detector

A: potential curves; B: differential curves. Circle indicates end-points. Titrant: 5×10^{-3} M Hyamine; Sample: mixture of 20 ml of 2×10^{-3} M analytes and 5 ml of 1.5×10^{-2} M DBS, 1), CBDMA⁺; 2), CPy⁺; 3), DPDMA⁺; 4), CTMA⁺

本滴定法による定量値は JIS 法と非常に良い一致を示し、光度滴定法に比較して本法のほうが JIS 法の代替法として優れていることが分かった。更に、市販の柔軟剤中の陽イオン界面活性剤を JIS 法と本滴定法により

分析した結果を Table 5 に示した。実際の複雑な混合試料においても JIS 法と同様に共存成分の影響を受けることなく、再現性も良好で定量可能であることが分かった。

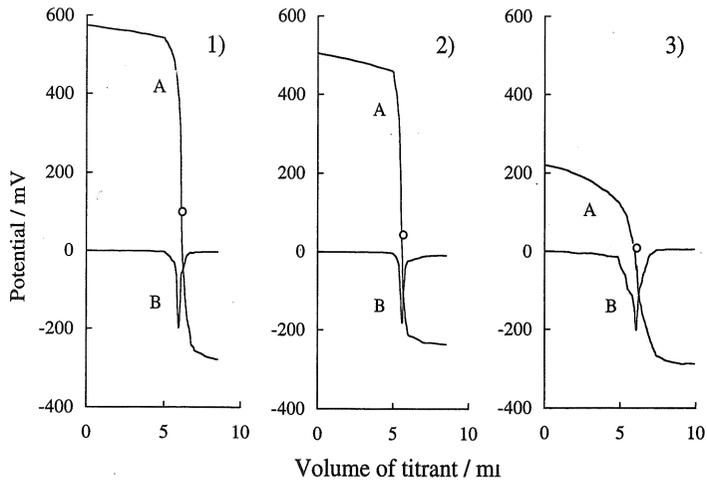


Fig. 6 Direct titration curves for various cationic surfactants for ion-association titration method with a streaming potential detector
 A: potential curves; B: differential curves. Circle indicates end-points.
 Titrant: 5×10^{-3} M LS; Sample: 20 ml of 1.5×10^{-3} M, 1), DSDMA⁺; 2), DLDMA⁺; 3), MTMA⁺.

Table 4 Comparison of the proposed method with photometric titration and JIS method (Epton method) in the analysis of commercial detergents as samples

Sample	NW ^{a)}	Cationic surfactants/% ^{b)}		
		JIS method ^{c)}	Proposed method ^{c)}	Photometric titration method ^{d)}
Alkyl benzyldimethyl ammonium chloride	354	51.7	51.2 ± 0.6	51.3 ± 0.2
Alkyl trimethyl ammonium chloride	320	29.1	29.6 ± 0.2	30.0 ± 0.3
Alkyl trimethyl ammonium chloride	343	28.5	28.9 ± 0.2	30.1 ± 0.6
Alkyl trimethyl ammonium chloride	395	81.8	81.6 ± 0.3	77.2 ± 0.6
Dialkyl dimethyl ammonium chloride	489	72.6	73.1 ± 0.6	71.0 ± 0.6
Dialkyl dimethyl ammonium chloride	563	77.3	76.0 ± 0.3	74.8 ± 0.5
Dialkyl dimethyl ammonium chloride	557	81.8	81.8 ± 0.4	75.6 ± 0.6
Dialkyl dimethyl ammonium chloride	581	77.6	77.4 ± 0.3	73.7 ± 0.6

a: mean molecular weights; b: mean values of three measurements; c: direct titration method; d: indirect titration method

Table 5 Determination of cationic surfactants in commercial softeners by proposed method and JIS method (Epton method)

Sample	Cationic surfactants, % [†]	
	JIS method	Proposed method
A	10.6 ± 0.5	10.5 ± 0.5
B	10.5 ± 0.5	10.4 ± 0.5
C	5.3 ± 0.4	5.6 ± 0.4

†: mean values of three measurements.

終点検出に流動電位を用いるイオン会合滴定法により、陽イオン界面活性剤の定量が可能となった。本滴定法は操作が非常に簡単であり、通常の滴定装置に流動電位検出器を接続するだけで自動化システムの構築を容易に行うことができ、1検体当たり約10分で多検体連続自動測定が可能となった。又、測定pHを変化させることにより、アミン及び四級アンモニウム塩の分別定量も可能となった。更に、種々の実際試料においてもJIS法と定量値は良い一致を示し、個人誤差がなく再現性も

良好であった。このほかに特に強調したいことは、様々な分野でハロゲンを含む有機溶媒の使用を控える方向で時代が進んでいる現在、クロロホルムを使用しない本滴定法が、JIS法に変わり得る測定法であることが実証されたことは極めて意義深い。

本研究を進めるに当たってご協力いただいた石村有佳子女士ほか関係諸氏に感謝します。

文 献

- 1) JIS K 3362, 合成洗剤試験方法 (1990).

- 2) ISO 2271-1972 (E) 界面活性剤—合成洗剤—陽イオン界面活性剤の定量
- 3) 長谷川章, 山中 実, 辻 和郎, 田村正平: 分析化学 (*Bunseki Kagaku*), **31**, 508 (1982).
- 4) S. Motomizu, M. Oshima, Y. Gao, S. Ishihara, K. Uemura: *Analyst* (London), **119**, 473 (1994).
- 5) 大藤和幸, 脇阪達司, 石原進介, 本水昌二: 分析化学 (*Bunseki Kagaku*), **46**, 593 (1997).
- 6) 脇阪達司, 大藤和幸, 石原進介, 本水昌二: 分析化学 (*Bunseki Kagaku*), **46**, 763 (1997).

要 旨

流動電位検出器を用いたイオン会合滴定法による陽イオン界面活性剤の迅速定量法を開発した。本法は、陽イオン界面活性剤を陰イオン界面活性剤で滴定するもので、流動電位が正から負に変化することを利用して終点検出を行うものである。検出原理及び装置は非常に簡単なもので、従来のクロロホルム溶媒を用いない水溶液系で行うことができる。 $10^{-5} \sim 10^{-3}$ M の濃度範囲の陽イオン界面活性剤を迅速自動定量 (10 分/件) できる。直接滴定法と逆滴定法について検討した結果、直接滴定法のほうが逆滴定法に比べて再現性の面で優れていることが分かった。陽イオン界面活性剤の各種標準及び実際試料の応用について検討した結果、分析値は JIS 法 (Epton 法) と非常に良い一致を示し、再現性も良好であった。更に、酸性及びアルカリ性条件下での測定により、アミン塩及び四級アンモニウム塩の分別定量も可能となった。