固液接触角および表面張力の測定法に関する研究* (平板試料を用いた測定法)

加藤 健司^{*1}, 東 恒雄^{*1}, 曹 宇^{*2}

Measurement of Solid-liquid Contact Angle and Liquid Surface Tension (Method Using Inclined Plate)

Kenji KATOH, Tsuneo AZUMA and Yu TSAO

A method is proposed for measuring either the solid-liquid contact angle or the liquid surface tension. The method depends on the break-down of the liquid meniscus formed under an inclined test plate fixed on an inclined surface of a support block. The plate and the support block are once immersed into a liquid bath and then lifted up gradually, thus making the meniscus slide downward on the inclined plate. When the constricted portion of the meniscus makes contact with the side wall of the support block, the meniscus immediately breaks, causing a spontaneous falling down of the liquid along the side wall. The contact angle θ can be calculated theoretically from the measured critical height H_{Bcr} of the upper edge of the support block at the moment of the meniscus break. The liquid surface tension σ also can be determined by the same principle with the aid of a glass plate which is wetted by the liquid zero contact angle. The feasibility and the usefulness of the method were experimentally examined.

Key Words: Surface Tension, Thermophysical Property, Measurement, Contact Angle, Liquid Meniscus, Wetting

1. 緒 言

固体と液体とのぬれ性など、界面における現象は、沸騰や凝縮、塗装、潤滑など、工業上多くの装置において重要な問題となっている。このような界面が関係する現象を理解するためには、固液間の接触角や表面張力といったパラメータの正確な測定値が必要であり、簡便で精度のよい測定法が望まれている^{(1)~(4)}。

前報では、水平円柱側面の下方に付着した液体のメニスカスが、円柱面のある高さ以上ではがれ落ちる現象に着目し、その高さの測定から、接触角および表面張力を求める手法を提案した⁽⁵⁾。この手法では、単純な高さの測定により、同じ装置で接触角・表面張力が測定できるという特長がある。しかしながら、接触角を測定する固体試料としては、平板のほうが円柱よりも一般的であると思われる。

本研究では、前報と類似な原理を利用して、平板試料に対する測定法を提案し、その妥当性を実験的に検討する。また、円柱を用いた場合、接触角の値のある範

囲で測定精度が若干劣化するが、この欠点についても改良を試みる。

2. 平板試料を用いた接触角・ 表面張力の測定方法

2・1 円柱を用いた接触角の測定法 前報の、円柱試料に対する測定法の概略を図1に示す⁽⁵⁾。図1中のS, L, Vは、それぞれ、固体、液体、気体を表す。図1のように、水平円柱を液面から引き上げると、その下方には、円柱面に後退接触角 θ_R で接した、一對の液体メニスカスが形成される。円柱を徐々に引き上げると、ある臨界高さ H_{Bcr} において、メニスカス同士が接触し、液体は円柱から自然にはがれ落ちる。この H_{Bcr} と θ_R の関係は理論的に算出することができ、 H_{Bcr} の測定から後退接触角が求められる。逆に、円柱試料を液中に沈めていき、メニスカス同士が接触し、試料全体をぬらしてしまう深さ H_{Bcr} の測定から、前進接触角 θ_A が求められる。また、液体に対し、 $\theta_R=0^\circ$ となるガラスを円柱試料として用いることにより、液体の表面張力の測定も可能である。

上述の円柱試料を用いた測定法は、単純な高さの測定から、接触角および表面張力が測定できるという特長がある。しかしながら、接触角の測定では、試料面と

* 原稿受付 1995年3月20日。

^{*1} 正員, 大阪市立大学工学部 (〒558 大阪市住吉区杉本3-3-138)。

^{*2} 准員, 関西設計(株) (〒531 大阪市北区本庄東1-1-10)。

Fig. 1 Measuring method using cylinder

Fig. 2 Meniscus profile of $\theta_R \approx 0^\circ$ near cylinder bottom

して、平板を用いるほうが一般的であると思われる。また、この測定法の誤差は、接触角の値の大部分の領域で 2° 程度と、市販の接触角計と同程度であるが、 $\theta_R(\theta_A)$ が $0 \sim 10^\circ$ ($170 \sim 180^\circ$) と $\theta_R(\theta_A)$ が小さい(大きい)領域では、誤差は 5° 程度と大きくなる。この結果は、 θ_R の測定を例にとった図 2 に示すように、液体が円柱面からはがれ落ちるとき、こう配が水平に近い円柱下端近傍にメニスカスが接することに起因する。すなわち、 $\theta_R \approx 0^\circ$ のとき、円柱への接点で、メニスカスの傾きはほぼ水平となるため、メニスカス高さ H の、 θ_R に対する変化率 $dH/d\theta_R \approx 0$ となる。 $dH/d\theta_R$ は、装置の測定感度にだいたい対応するので、これが $\theta_R \approx 0^\circ$ のとき、精度が劣化する原因と考えられる。同様の現象が前進接触角 θ_A が 180° に近い場合にも起こる。いずれの場合にも、測定精度の劣化は、メニスカス曲線の傾きが水平に近いとき、測定を行うため生じると考えられる。

2.2 平板試料を用いた接触角および表面張力の測定方法 上述の円柱試料のもつ問題点を解決するには、一般性のある平板試料を用い、さらに、水平から傾斜させた平板に付着するメニスカスを利用する手法を考えればよい。平板の場合、二つのメニスカス曲線

(a) Receding contact angle (b) Advancing contact angle

Fig. 3 Behavior of meniscus attached to inclined plate

が接触してはがれ落ちる図 1 のような現象を用いることはできない。そこで、図 3 のように、傾斜平板および試料固定台からなるブロックを用いた測定法を考える。 S_1 は試料面、 S_2 は固定台である。図 3 (a) のように、ブロックを液体に浸し、徐々に持ち上げると、試料面に後退接触角 θ_R で接した液体メニスカスが形成される。ブロックをさらに持ち上げると、ある臨界高さで、メニスカス曲線の一部が固定台壁面に接し、メニスカスは試料面からはがれ落ちる。この瞬間を目視観測し、そのときの臨界高さ H_{Bcr} の測定より、後退接触角を求めることができる。図 3 (b) のように、ブロックを逆向きにして、液中に沈めていくと、試料面と前進接触角 θ_A で接したメニスカスは、試料面上を前進する。平板がある臨界深さに達すると、メニスカス曲線の一部が固定台壁面に接触し、ブロック全体をぬらしてしまう。このときの深さ H_{Bcr} の測定から、 θ_A を求めることができる。

接触角と同じ装置により、液体の表面張力を測定することも可能である。ガラス面に対して、液体は接触角 0° で接する性質を利用して、試料平板としてガラスを用いれば、図 3 (a) に示した方法で、 H_{Bcr} の測定値から、表面張力を算出することができる。

2.3 臨界高さ H_{Bcr} の算出 2.2 節で示した原理による測定を行うため、接触角・表面張力と臨界高さ H_{Bcr} との関係を理論的に求める。

まず、接触角と H_{Bcr} との関係を求める。図 4 のよう

に、後退接触角 θ_R で試料平板に付着した二次元メニスカスが、ちょうど試料固定台壁面に接する瞬間を考える。座標系として、静止液面に沿って x 軸、鉛直上向きに、試料平板と固定台の交点 B を通るように z 軸を定める。また、試料面および固定台壁面と x 軸のなす角度をそれぞれ ϕ_1, ϕ_2 とする。

二次元メニスカスの形状曲線は、液体表面での力の釣り合いを記述した、周知のラプラスの方程式から決定でき、メニスカスの静止液面からの高さ H は、次式のように求められる⁽⁶⁾。

$$\bar{H} = \sqrt{2} \cos \frac{\psi}{2} \dots\dots\dots (1)$$

ここで、 ψ はメニスカス曲線の x 軸に対する角度である。また、上式において、 $\bar{}$ は、毛細定数

$$a = \sqrt{2\sigma/\rho g}$$

で無次元化した長さを表す。ここで、 σ は表面張力、 ρ は密度、 g は重力加速度である。以下の議論においても、 $\bar{}$ は a で無次元化した量を表すものとする。メニスカスがはがれ落ちるときの試料面の高さとして、図4の点 B の高さ H_{Bcr} を考える。メニスカスの試料面への付着位置の高さを式(1)より求め、その x 座標を x_0 とすれば、 H_{Bcr} は次式のように書ける。

$$\bar{H}_{Bcr} = \sqrt{2} \cos \left(\frac{\theta_R + \phi_1}{2} \right) - \bar{x}_0 \tan \phi_1 \dots\dots (2)$$

次に、上式の $\bar{x}_0$ を求める。メニスカス曲線の x 座標と ψ の関係は、式(1)と同様、ラプラスの方程式より求めることができ、次のように書ける。

$$\bar{x} = \frac{1}{\sqrt{2}} \left[\ln \left\{ \frac{1 + \sin(\psi/2)}{\cos(\psi/2)} \right\} - 2 \sin \frac{\psi}{2} \right] + c \dots\dots\dots (3)$$

ここで、 c は境界条件より決定される定数である。図4のように、固定台に接する位置でのメニスカス曲線の傾き ψ は、固定台壁面の傾き $(\pi - \phi_2)$ に等しい。式(1)に $\psi = \pi - \phi_2$ を代入して得られるメニスカス高さ

Fig. 4 Coordinate system

を用いて、固定台に接する位置の x 座標を求めると、次式となる。

$$\bar{x} = \left[\bar{H}_{Bcr} - \sqrt{2} \cos \left(\frac{\pi - \phi_2}{2} \right) \right] \tan \left(\frac{\pi}{2} - \phi_2 \right) \dots\dots\dots (4)$$

式(3)に $\psi = \pi - \phi_2$ を代入し、式(3)=式(4)の関係から、式(3)の c を決定することができる。このように求めた c と、試料平板への付着位置でのメニスカスの傾き $\psi = \theta_R + \phi_1$ を、式(3)に代入すれば、 $\bar{x}_0$ として、次式が求められる。

$$\bar{x}_0 = \frac{1}{\sqrt{2}} \left[\ln \left\{ \frac{1 + \sin \left(\frac{\theta_R + \phi_1}{2} \right)}{\cos \left(\frac{\theta_R + \phi_1}{2} \right)} \right\} - \ln \left\{ \frac{1 + \cos \left(\frac{\phi_2}{2} \right)}{\sin \left(\frac{\phi_2}{2} \right)} \right\} - 2 \sin \left(\frac{\theta_R + \phi_1}{2} \right) \right] + \frac{\bar{H}_{Bcr}}{\tan \phi_2} \dots\dots\dots (5)$$

上式を式(2)に代入し、 $\bar{H}_{Bcr}$ について解けば、メニスカスがはがれ落ちるときの臨界高さ $\bar{H}_{Bcr}$ は、結局、次式のように求められる。

$$\begin{aligned} \bar{H}_{Bcr} = & \sqrt{2} \cos \left(\frac{\theta_R + \phi_1}{2} \right) \\ & - \frac{\sqrt{2} \tan \phi_1}{\tan \phi_1 + \tan \phi_2} \left[\cos \left(\frac{\theta_R + \phi_1}{2} \right) \right. \\ & \left. - \sin \left(\frac{\phi_2}{2} \right) - \left\{ \sin \left(\frac{\theta_R + \phi_1}{2} \right) - \cos \left(\frac{\phi_2}{2} \right) \right\} \right. \\ & \left. - \frac{1}{2} \ln \left[\frac{1 + \sin \left(\frac{\theta_R + \phi_1}{2} \right)}{\cos \left(\frac{\theta_R + \phi_1}{2} \right)} \right] \right. \\ & \left. + \frac{1}{2} \ln \left[\frac{1 + \cos \left(\frac{\phi_2}{2} \right)}{\sin \left(\frac{\phi_2}{2} \right)} \right] \right] \tan \phi_2 \dots\dots\dots (6) \end{aligned}$$

式(6)の $\bar{H}_{Bcr}$ と θ_R の関係は、条件

$$\theta_R < \pi - (\phi_1 + \phi_2) \dots\dots\dots (7)$$

Fig. 5 Meniscus attached to edge of support block

の下で成立する。 $\theta_R + \phi_1 \geq \pi - \phi_2$ の場合には、図5のようにメニスカスは固定台壁面に接することなく、交点Bに達したとき、はがれ落ちると予想される。しかしながら、この現象は、点Bにおける固定台の微小な丸みの影響を受け、必ずしも点Bに達したとき、メニスカスははがれ落ちるとは限らない。今回は、このような条件下での測定可能性を除外する。

図3(b)に示した、試料面と固定台を逆にして液中に沈めていく前進接触角 θ_A の場合にも、上記と同様な解析が可能である。図3(b)のように、メニスカスが試料面上を前進し、固定台壁面に接触して、全体をぬらしてしまうときの深さ H_{Bcr} は、式(6)の θ_R に、 $\pi - \theta_A$ を代入することにより求められる。

$$\begin{aligned} \bar{H}_{Bcr} = & \sqrt{2} \sin\left(\frac{\theta_A - \phi_1}{2}\right) \\ & - \frac{\sqrt{2} \tan \phi_1}{\tan \phi_1 + \tan \phi_2} \left[\sin\left(\frac{\theta_A - \phi_1}{2}\right) \right. \\ & \left. - \sin\left(\frac{\phi_2}{2}\right) - \left\{ \cos\left(\frac{\theta_A - \phi_1}{2}\right) - \cos\left(\frac{\phi_2}{2}\right) \right\} \right] \end{aligned}$$

Fig. 6 Relation between contact angle and $\bar{H}_{Bcr}$

Fig. 7 Relation between surface tension and H_{Bcr}

$$\begin{aligned} & -\frac{1}{2} \ln \left[\frac{1 + \cos\left(\frac{\theta_A - \phi_1}{2}\right)}{\sin\left(\frac{\theta_A - \phi_1}{2}\right)} \right] \\ & + \frac{1}{2} \ln \left[\frac{1 + \cos\left(\frac{\phi_2}{2}\right)}{\sin\left(\frac{\phi_2}{2}\right)} \right] \left\{ \tan \phi_2 \right\} \dots \dots \dots (8) \end{aligned}$$

この測定が可能な θ_A の範囲は、

$$\theta_A > \phi_1 + \phi_2 \dots \dots \dots (9)$$

である。

式(6)および式(8)より求めた、 θ_R および θ_A と $\bar{H}_{Bcr}$ の関係を図6に示す。図6のように、平板試料に対し、 H_{Bcr} の測定から接触角を求めることが可能である。ただし、式(7)および式(9)の条件から、試料面と固定台壁面との開き角 ($\phi_1 + \phi_2$) を大きくすると、測定範囲は小さくなる。なお、この測定法の測定精度については、3章で議論を行う。

次に、表面張力 σ と臨界高さ H_{Bcr} との関係を求める。式(6)を有次元に書き直し、 $\theta_R = 0^\circ$ を代入すれば、 σ と H_{Bcr} との関係として、次式が求められる。

$$\begin{aligned} H_{Bcr} = & 2\sqrt{\frac{\sigma}{\rho g}} \left[\cos\left(\frac{\phi_1}{2}\right) - \frac{\tan \phi_1}{\tan \phi_1 + \tan \phi_2} \right. \\ & \times \left[\cos\left(\frac{\phi_1}{2}\right) - \sin\left(\frac{\phi_2}{2}\right) - \left\{ \sin\left(\frac{\phi_1}{2}\right) \right. \right. \\ & \left. \left. - \cos\left(\frac{\phi_2}{2}\right) - \frac{1}{2} \ln \left[\frac{1 + \sin(\phi_1/2)}{\cos(\phi_1/2)} \right] \right\} \right. \\ & \left. \left. + \frac{1}{2} \ln \left[\frac{1 + \cos(\phi_2/2)}{\sin(\phi_2/2)} \right] \right\} \tan \phi_2 \right] \dots \dots \dots (10) \end{aligned}$$

図7に、 σ/ρ と H_{Bcr} との関係を示す。表面張力の場合、接触角のように測定範囲の制限はない。

3. 実験結果および考察

3.1 実験装置および方法 2章で示した、平板試料を用いた接触角および表面張力の測定法の妥当性を確認するため、実験装置を製作し、検討を行った。実験装置の概要を図8に示す。固定台1に取付けた試料2は、マイクロメータ3により、液面より持ち上げられる。後退接触角および表面張力の測定では、メニ

Fig. 8 Experimental apparatus

カスが固定台壁面に接触し、試料面からはがれ落ちる瞬間を目視観察する。そのときのマイクロメータの値を読み、触針プローブ4で測定した液面高さを差引くことにより、 H_{Bcr} を求めた⁽⁵⁾。前進接触角の測定では、図3(b)のように、試料面と固定台を逆向きにして液中に沈め、液体が全体をぬらしてしまうときの深さ H_{Bcr} を、同様の方法で測定した。なお、本実験では、測定原理の確認に主眼をおいているため、図8の装置における固定台の形状等には特別な考慮は払っていない。本測定法を実用上用いる場合、試料平板の取付け方等を工夫すれば、固定台の形状を簡略化して、液中に挿入する部分を少なくすることができる。

試料平板を取付ける固定台はジュラルミン製で、メニスカスの二次元性を確保するため、図8の紙面に垂直方向の幅を十分大きく、120 mmとした。測定の際、試料平板および固定台の両端面には、塩化ビニル製の薄板をはり付けた。これは、メニスカスの試料平板両端での付着位置を固定して、メニスカスが平板中央へ寄ってしまうのを防ぐためである。この端板の近傍では、メニスカス曲線は三次元的に湾曲する。しかしながら、本実験のように、試料平板の幅を十分大きくとればその影響は無視でき、試料平板中央部の二次元的

な部分がはがれ落ちるのが観察できた。

試料平板および固定台壁面の、水平方向からの角度 ϕ_1, ϕ_2 として、本実験では、提案した測定法の妥当性の検討を目的として、式(7)および式(9)の測定範囲が広い、 $\phi_1=5^\circ, \phi_2=45^\circ$ のものを用いた。なお、接触角および表面張力は、比較のため、市販の測定器でも計測を行った。接触角は、傾斜平板上に転落する寸前の付着液滴を側方より観測し、前進および後退接触角を直接測定する接触角計(協和界面科学社製)で、また表面張力はウィルヘルミー式の表面張力計(協和界面科学社製)で測定した。

接触角の測定において、試料平板の材質として、ステンレス、ジュラルミン、黄銅、ジュラコン、ナイロン、テフロン[®]の6種類を用いた。試料表面は形削り盤により仕上げたが、その際、バイトの送り方向を試料面の長手方向および幅方向とした、それぞれ2種類の粗さ面を製作した。供試液体として、水道水(20°C, $\rho=1000 \text{ kg/m}^3$, $\sigma=7.28 \times 10^{-2} \text{ N/m}$)およびエタノール15%水溶液(20°C, $\rho=975 \text{ kg/m}^3$, $\sigma=4.24 \times 10^{-2} \text{ N/m}$)を使用した。また、表面張力の測定においては、試料液体として、水道水および濃度を変えた数種類のエタノール水溶液を用いた。試料液体の密度は、ボームの比重計により測定した。

3・2 実験結果 図9に、本測定法による、後退、前進接触角の測定結果を示す。図9中の実験点は、測定した臨界高さあるいは臨界深さ H_{Bcr} と、市販の接触角計による測定値からプロットしたものである。後退、前進接触角ともに、各実験点は、2章で求めた理論曲線と一致しており、その差は、平均で 2° 程度であった。今回用いた市販の接触角計の精度が、 $2\sim3^\circ$ であることから、本実験で用いた装置により、市販の接触角計の精度以下で接触角の測定が可能であることがわかる。なお、固体表面上の粗さのうち、液体の移動方向

(a) Receding contact angle

(b) Advancing contact angle

Fig. 9 Comparison of measured contact angles with theory

Fig. 10 Comparison of measured surface tensions with theory

に直交する粗さが、接触角履歴 ($\theta_A - \theta_R$) を大きくすると予想されている⁽⁷⁾。本実験で表面の仕上方向を変化させた試料のうち、材質によっては表面のむしれにより、粗さの方向性が決まらないものもあるが、大部分の試料で、接触角履歴に対する上述の傾向が認められた。

図 10 は、表面張力に対する測定結果である。図 10 中の実験点は、接触角と同様、 H_{Bcr} と市販の表面張力計の測定値からプロットしてある。実験値は、理論値との差 0.2×10^{-4} N/m 程度で一致している。表面張力計の精度は $0.2 \sim 0.3 \times 10^{-4}$ N/m であり、表面張力についても、本実験装置による測定が可能であるといえる。

以上の結果から、本報告で提案した傾斜平板に対する測定法により、接触角および表面張力を同じ装置により測定できることを示した。円柱試料を用いた前報では、従来の測定法との比較について議論を行った⁽⁵⁾。本研究で示した原理による測定法は、さまざまな環境下で厳密な測定を行うような場合は想定していない。本測定法は、通常的环境下において、従来の手法に比べ、安価な装置により簡便な測定を行えるという特長があると考えている。

3.3 円柱を用いた測定法との比較 ここでは、本研究で提案した測定法において、平板試料および円柱試料を用いる場合の比較について検討する。

測定の容易さは、円柱を用いるほうが若干優れていると考えられる。通常の液体に対しては、平板でも同様の測定が可能であるが、粘性が非常に大きい液体の場合、固定台壁面に液体が付着した後、はがれ落ちるのに時間がかかるため、臨界高さ H_{Bcr} の測定が若干困難になる。このため、粘性が高い液体の測定では、固定台壁面にぬれにくい樹脂をコーティングするなどして、目視観察を容易にするのが望ましい。一方、円柱の場合、メニスカスがはがれ落ちる現象の確認がしやすく、粘性の高い液体でも、特別な工夫なく測定ができる。

表面張力の測定では、上述の点を除き、円柱、平板試料とも、良好な精度により測定が可能である。

接触角の測定では、試料として、平板のほうが一般的である。また、円柱試料を用いた場合、2 章で示したように、後退(前進)接触角の小さい(大きい)範囲で精度が若干低下する欠点がある。そのため、本報告では、傾斜平板を用いた手法を提案した。以下において、平板試料における測定精度について検討する。

平板試料に対する式(6)から、後退接触角 θ_R に対する臨界高さの変化率 $d\bar{H}_{Bcr}/d\theta_R$ は、次式となる。

$$\left| \frac{d\bar{H}_{Bcr}}{d\theta_R} \right| \propto \frac{\tan \phi_2}{\cos \phi_1 (\tan \phi_1 + \tan \phi_2)} \dots \dots \dots (11)$$

上式の値は、接触角の測定精度にほぼ対応しているといえる。上式から直ちにわかるように、 $d\bar{H}_{Bcr}/d\theta_R$ の値は、試料面と固定台壁面との開き角 ($\phi_1 + \phi_2$) の増加とともに大きくなる。例として、 $\phi_1 = 70^\circ$, $\phi_2 = 90^\circ$ を用いた平板試料と、円柱試料の精度を、精度が劣化する $\theta_R(\theta_A) = 0 \sim 10^\circ$ ($170 \sim 180^\circ$) の範囲で比較してみる。今回の測定法において、臨界高さ H_{Bcr} の測定値のばらつきは、 $\pm 1/100$ mm 程度である。このとき、無次元 $\bar{H}_{Bcr}$ の誤差 $\Delta \bar{H}_{Bcr}$ は、液体により異なるが、約 $2 \sim 4 \times 10^{-3}$ である。 $\Delta \bar{H}_{Bcr} = 4 \times 10^{-3}$ として、上述の接触角の範囲における測定の不確かさを推定すると、円柱では約 5° 、平板試料では約 2° となり、傾斜平板を用いることにより、測定精度の劣下を低減することができる。後退(前進)接触角が $10^\circ(170^\circ)$ 以上(以下)では、両者とも、不確かさは 2° 以内である。なお、今回測定に用いた $\phi_1 = 5^\circ$, $\phi_2 = 45^\circ$ の場合、 $\theta_R(\theta_A) = 0 \sim 10^\circ$ ($170 \sim 180^\circ$) の範囲に対し、予想される不確かさは約 5° で、円柱の場合と同程度となる。これは、円柱と同様、試料平板の傾きが $\phi_1 = 5^\circ$ と水平に近く、 $d\bar{H}_{Bcr}/d\theta_R$ が小さくなるためである。したがって、後退(前進)接触角が小さい(大きい)範囲では、開き角 ($\phi_1 + \phi_2$) を大きくするのが望ましい。ただし、2 章で述べたように、開き角 ($\phi_1 + \phi_2$) を大きくすると、測定が可能な接触角の範囲が小さくなる。したがって、測定する接触角の値に応じて、($\phi_1 + \phi_2$) の異なる試料固定台を使用すればよいと考えられる。

4. 結 言

二次元メニスカスが、試料面のある高さにおいてはがれ落ちる現象を利用して、接触角および表面張力を測定する手法について検討を行った。前報の、円柱試料を用いた接触角の測定での問題点を解決するため、ここでは、傾斜平板試料を用いた手法を提案した。粘性の高い液体の表面張力を測定する際には、前報の円柱試料を用いるほうが、平板試料よりも現象の確認がしやすいため、測定が容易に行えるという利点がある。一方、接触角の測定では、平板試料は円柱試料よりも一般性があり、また円柱試料で生じる測定精度の劣下を小さくすることができ、円柱試料の問題点の改良が可能である。

文 献

- (1) 小野, 表面張力, (1980), 82, 共立出版.
- (2) Chappius, J. (Hewitt, G. F., Delhay, J. M. and Zuber, N. eds.), *Multiphase Sci. Technol.*, 1(1982), 462.

- (3) 文献(1)の57ページ.
 - (4) Teeters, D., Wilson, J. F., Andersen, M. A. and Thomas, D. C., A Dynamic Wilhelmy Plate Technique Used for Wettability Evaluation of Crude Oils, *J. Colloid Interf. Sci.*, **126**(1988), 641.
 - (5) 加藤・曹・山本・藤田・東, 固液接触角および表面張力の測定法に関する研究, 機論, **61**-584, B(1995), 1456.
 - (6) 文献(1)の48ページ.
 - (7) 文献(2)の454ページ.
-