落球式高圧粘度計の試作と性能評価

倉野 恭充*・吉田 清**

Construction and Performance Evaluation of a High Pressure Falling Sphere Viscometer

Yasumitsu KURANO* and Kiyoshi YOSHIDA**

A falling sphere viscometer, which is capable of absolute measurements of the viscosity of reference liquids at pressures up to 500 MPa with an error less than $\pm 0.5\%$, has been designed and constructed. The falling-time of sphere can be measured automatically using two laser beams through the windows on the high pressure vessel of the viscometer. The sphere is returned to its starting position by rotation of the high pressure vessel.

This paper describes the construction and the principle of operation of the falling sphere viscometer. The results of evaluation of the viscometer's performance obtained by measurement of the viscosities of reference liquids, namely the Standard Liquids for Calibrating Viscometers, are also described.

Key Words: falling sphere viscometer, viscosity, high pressure, absolute measurement, reference liquid

1. 緒 言

近年における高圧科学技術の進展に伴って、一般鉱工業プロセスにおいては、従来の応用圧力範囲を拡大した高圧技術が幅広く利用されている。このような高圧技術分野で利用され、あるいは研究・開発されている各種の液体について、その基礎的な物性量である高圧下の粘度に関して新しい信頼性のあるデータが実用上不可欠とされている。

常圧で用いられている細管式、落体式、振動式などの粘度測定方法のうち、密封された高圧系内での測定に比較的容易に適合することから、落体式の高圧粘度計が国内外で多く用いられている^{1)~10)}。これらは、落体の形状と落下の形式によって落球法^{1)~3)}、円柱落下法^{3)~8)}および転落球法^{9),10)}に分類されるが、実験に用いられている割合は粘度測定方法全体からみても円柱落下法および転落球法による高圧粘度計が多い。また、これらの粘度計は、測定原理上粘度が既知の標準液体を基準にしてあらかじめ

め粘度計の装置定数を校正し、それから試料の粘度を求めるいわゆる比較測定方式である。しかし、実際には高圧下での測定の困難さのために、所要の圧力範囲で校正基準となるような粘度の測定値が不足している場合が多く、あってもその信頼性に欠けるものが少なくない。したがって、信頼性が保証された常圧下の標準液体の粘度を基準にして高圧用粘度計の校正を行っている場合が多い。そのため、高圧下における粘度計の直接校正や比較測定値の健全性の確認などに用いる基準として、標準液体の正確な高圧粘度測定値が必要とされている。

このような要望に応え、圧力 500 MPa までを測定範囲とした液体粘度の精密測定技術を確立し、また、標準液体の粘度を $\pm 0.5\%$ の目標精度で測定して高圧液体粘度の校正基準を確立することを目標に、粘度の絶対測定が可能な落球法を測定原理とする高圧粘度計を試作した。本報告では、試作粘度計の概要、ならびに常圧下の標準液体として広く利用されている粘度計校正用標準液を用いた粘度測定実験によって評価した粘度計の性能について述べる。

2. 落球式高圧粘度計の原理・構成

2.1 測定原理

落球法は、試料液体を満たした円筒管の中心軸に球を自然落下させ、その落下速度（落下距離/落下時間）を測

* 計量研究所 つくば市梅園 1-1-4

** (株)金門製作所 東京都板橋区志村 1-2-3

* National Research Laboratory of Metrology,
Tsukuba

** Kinmon Manufacturing Co., Ltd., Itabashi-ku, Tokyo
(Received September 25, 1991)
(Revised February 25, 1992)

定して、ストークスの粘性抵抗の法則を応用したつぎの(1)式によって試料の粘度 η が求められる。

$$\eta = \frac{d^2(\rho_0 - \rho)gt}{18l} f_w \quad (1)$$

ここで、 d は球の直径、 ρ_0 は球の密度、 ρ は試料の密度、 g は重力の加速度、 l は球の落下距離、 t はその落下時間、 f_w は円筒管壁の影響に関する補正係数で、内径 D の円筒管を用いて d/D が 0.2 より小さい場合には、 $f_w = 1 - 2.104d/D + 2.09(d/D)^3 - 0.95(d/D)^5$ である^{11),12)}。

したがって、(1)式の各量を正確に測定することによって粘度の絶対測定が可能である。

一方、使用する円筒管および球が決まれば(1)式において、

$$\frac{d^2g}{18l} f_w = K \quad (2)$$

は、その粘度計について一定値となるので、(1)式はつぎのように書き換えられる。

$$\eta = K(\rho_0 - \rho)t \quad (3)$$

そこで、あらかじめ η が既知の標準液体を用いて粘度計の装置定数 K を実験的に求めておけば、(3)式から粘度の比較測定が可能である。

このように落球法は物理法則に基づいた粘度の絶対測定だけでなく、測定が容易な比較測定もできることが大きな特長である。また、測定の繰返しを可能にするため粘度計の回転操作が必要であり、同時に球の落下時間の計測を自動化して測定精度の向上を図ることも必要である。本研究では、これらの点を考慮した落球式高圧粘度計を試作した。

2.2 粘度計の構成

Fig. 1 に、圧力 0.1~500 MPa、温度 0~100°C を測定範囲とした落球式高圧粘度計の構成を示す。恒温槽内には、外径 120 mm、長さ 530 mm の析出硬化型ステンレス鋼

P.C.: pulse counter, R.E.: rotary encoder, Temp.: temperature control & measuring system, D.M.M.: digital multi meter, G.: pressure gauge, 1: handle, 2: high pressure vessel, 3: optical window, 4: bearing & axis, 5: stand, 6: constant temperature bath, 7: spiral tube, 8: sample liquid, 9: piston, 10: pressure-transmitting oil, 11: oil pump, 12: dead weight pressure gauge.

Fig. 1 Schematic diagram of the falling sphere viscometer for high pressures

(17-4 PH) 製の高圧円筒容器（高圧容器）が支持台に鉛直に保持されており、球が落下する円筒部の有効寸法は内径 31 mm、長さ 330 mm である。高圧容器の両端部に締め付ける圧力シール栓は、その中心軸に試料の気泡抜き用の穴のほか、使用する球の直径より僅かに大きい内径の穴が栓底面から深さ 10 mm 程度にあけてある。これは、球が円筒部の中心軸上を落下することを保証するとともに、落下後に支持台の回転軸に取り付けたハンドルで高圧容器を $\pm 180^\circ$ 回転させて繰返し測定する際に、球はすぐに落下せずに穴の部分に少し留まってから自然落下を始めるので測定操作上都合が良い。高圧容器の鉛直度は水準器を用いて高圧容器の上端面で設定し、繰返し測定における鉛直度の再現性を図るため、回転角度は回転軸に取り付けたロータリーエンコードの出力をパルスカウンタ (180° で 20,000 パルス) で読み取ることにより設定する。高圧容器に接続される導圧管には、高圧容器の回転を容易にするための細管状のスパイラル管、測定試料と加圧油ポンプ内の圧力伝達媒体油とを分離するための浮動ピストンを内蔵した内径 24 mm、長さ 450 mm の圧力分離器が接続されている。恒温槽の槽液（流動パラフィン）の温度制御は、サーミスタによる比例制御方式により行い、恒温槽の正確な温度測定と粘度測定温度の設定には、計量研究所温度標準研究室で校正された精度 ± 1 mK の白金抵抗温度計によって行う。それと同時に分解能 ± 0.1 mK の水晶温度計によって測定中の温度制御のようすを記録させた。ちなみに、20~60°C の温度領域における恒温槽内の温度変化は $\pm 1 \sim 1.5$ mK 以内となるような温度制御が可能である。また、圧力は導圧管に取り付けたマンガニン圧力計およびブルドン管式精密圧力計により測定する。

本粘度計の大きな特徴は、高圧容器に取り付けた上・下 2 カ所計 4 個のサファイア光学窓にレーザ光を透過させ、使用球（直径 1~3 mm 以内）の落下時間を光学的に自動計測する落体検出測定装置によって、精度の向上を図ったことである。

2.3 落体検出測定装置

Fig. 2 に落体検出測定装置の構成を示す。出力 5 mW の He-Ne レーザ光は、円筒レンズで偏平なビームにされ、ミラーとハーフプリズムで 2 本のビームに分けられスリットおよび集光レンズをとってから高圧容器の上下サファイア光学窓（有効径 12 mm、厚さ 10 mm）に入射する。このとき、入射ビーム幅はスリットによって縦・横方向にそれぞれ 0.5 mm、5 mm 以内に調整され、球の落下距離に相当する 2 本のビーム間隔は約 150 mm である。球の落下時間は、球がビームを通過したときの透過光量の変化を上下それぞれの受光器で検出し、検出信

Amp.: amplifier & control circuit, E.C.: electronic counter, 1: cylindrical lens, 2: mirror, 3: beam splitter, 4: slit, 5: condensing lens, 6: optical window, 7: high pressure vessel, 8: sphere, 9: sample liquid, 10: constant temperature bath, 11: detector.

Fig. 2 Schematic diagram of the falling-time optical measuring apparatus

号は電気回路をへて測時カウンタのゲート開閉用のパルス信号としてカウンタに入力され、分解能 0.1 ms の桁まで自動的に計測される。上下 2 本のビーム間隔は、別途試作した 1 パルス 10 μm のステッピングモータとボールねじで駆動する距離校正装置を高圧容器の上端面部にセットし、装置に取り付けた先端部が使用球の直径とほぼ同一な球形状の棒を鉛直方向に移動させて、上下のビーム通過時に測時カウンタが作動したときのそれぞれのパルス数の差(移動量)、およびこの移動量を最小目盛 10 μm の標準尺で校正することにより $\pm 20 \mu\text{m}$ 以内の測定精度で決定できる。

2.4 使用球

測定に使用する球は、500 MPa までの高圧下に適用できるように圧縮強さ、弾性率などの機械的特性ならびに真球度、表面あざなどの形状加工精度が優れていること、粘度測定範囲を広くとれるように直径、密度が異なること、および円筒管壁の影響に関する補正、などの条件を考慮して選定した。すなわち、内径 31 mm の円筒部に落下させる球として、Table 1 に示すような呼び径 1~2.8 mm の範囲のルビー球、鋼球およびタングステンカーバイト球を選定した。これらの球は、ISO 規格 3290 および JIS 規格 B 1501 に規定されている等級 10~28 に相当す

る形状加工精度を有している。Table 1 に示した直径はアツベ式縦型測長器により、質量は石英ねじり天びんにより測定したもので、密度は直径および質量の測定結果から計算によって求められる。

3. 限界レイノルズ数と粘度測定範囲

落球法では、ストークスの粘性抵抗の法則を応用した(1)式が適用できるのは、次式で計算されるレイノルズ数 Re が 1 に比べて小さい場合とされている。

$$Re = \frac{v d \rho}{\eta} \quad (4)$$

ここで、 v は球の落下速度 ($= l/t$) である。

液体中をゆっくり落下する剛体球の運動に関しては、流体力学上の基礎的問題として、多くの理論的・実験的研究が行われている。特にレイノルズ数が小さい場合には、球体に及ぼす抵抗係数がレイノルズ数で整理できる結果が多く得られており、その全般的内容については、優れた解説¹³⁾ や著書^{14), 15)} に紹介されている。

本報では、粘度を精密測定するうえで(1)式が適用できる限界レイノルズ数について常圧下で実験を行い、この結果を Oseen によって得られているレイノルズ数^{13), 15)} と比較し、それに対応する粘度測定範囲の低粘度側への拡大化の可能性について検討を加えた。実験は、(1)式を変換したつぎの(5)式

$$\frac{g}{18} = \frac{\eta v}{d^2(\rho_0 - \rho) f_w} \quad (5)$$

において、 η が既知の標準液体を用いて、左辺の値と右辺の実験値との比較を Re をパラメータにして調べれば、(1)式が適用できる限界レイノルズ数とそれに対応する粘度測定範囲を明らかにすることができる。

η が既知の標準液体には、JIS 規格 Z 8809 に規定され常圧下の校正基準として広く利用されている 13 種類の粘度計校正用標準液のなかから、JS 500, JS 2000, JS 15 H の 3 種類を使用し、測定温度は 20.00, 30.00, 40.00°C で行った。Table 2 に各測定温度における粘度計校正用

Table 1 Diameter, mass and density for selected falling spheres

Material	Nominal diameter (mm)	Diameter (mm)	Mass (mg)	Density (g/cm ³)
Ruby	1	0.9994	2.0864	3.9919
	1.6	1.5884	8.3770	3.9922
	2	2.0028	16.8007	3.9941
	2.8	2.7786	44.8595	3.9937
Steel	1	0.9994	3.9660	7.5882
	2.4	2.3762	53.5943	7.6291
Tungsten carbide	2	1.9997	62.2908	14.8775
	2.4	2.3809	104.9949	14.8575

Table 2 Certified viscosities for Standard Liquids for Calibrating Viscometers

Designation	Temperature (°C)	Viscosity (mPa · s)
JS 500	20.00	440.5
	30.00	220.5
	40.00	120.8
JS 2000	20.00	1777
	30.00	825.5
	40.00	421.5
JS 15 H	20.00	14240
	30.00	5498
	40.00	2358

標準液の粘度値を示したが、これらは計量研究所が保有する細管式標準粘度計¹⁶⁾による比較測定の結果に基づいており、その精度は JS 500, JS 2000 が 0.1%, JS 15 H が 0.2% である。また、球は Table 1 に示したもののほか、ルビー球と鋼球については呼び径 0.8 mm の球を追加して使用した。

Fig. 3 にこれらの粘度計校正用標準液および球を用いて得られた R_e をパラメータにした実験結果を示す。実験結果から、 R_e が $3.7 \times 10^{-6} \sim 0.39$ の範囲で各測定値はばらつきはあるものの (5) 式右辺の実験値が一定値をとること、また破線の範囲で示されるその平均値と、実線で示される (5) 式左辺の値との差は 0.04% で、僅かな偏差であることがわかった。この結果、(1) 式が適用できる限界レイノルズ数は 0.4 であること、つまり試作粘度計の粘度測定条件としてこのレイノルズ数以下で行う必要があることが明らかになった。ここで、重力の加速度 g の値は、地質調査所によって、試作粘度計の設置場所である計量研究所の超高圧・原子周波数実験棟において測定された値から¹⁷⁾、 9.79948 m/s^2 を用いた。

今回の実験結果は、Oseen によって得られている値、たとえば試作粘度計の所期の目標精度と同様に粘度を 0.5% まで正しく測定しようとする場合、レイノルズ数は 0.03 より小さくしなければならないとされているのに比べて¹⁵⁾、1 桁程度高いレイノルズ数下でも測定原理式が適用できることを明らかにした。

いま、限界レイノルズ数を R_{em} とすれば、(4) 式より

$$R_{em} \geq \frac{v d \rho}{\eta} \quad (6)$$

であることが必要である。球の落下速度 v は (1) 式から、

$$v = \frac{d^2(\rho_0 - \rho) g f_w}{18 \eta} \quad (7)$$

であるから、(6)、(7) 式から

$$\eta \geq \sqrt{\frac{d^3(\rho_0 - \rho) \rho g f_w}{18 R_{em}}} \quad (8)$$

Fig. 3 Measured values of $\eta v/d^2(\rho_0 - \rho)f_w$ against the Reynolds number

Table 3 The range of viscosities for selected falling spheres under the condition of Reynolds number less than 0.4

Material	Nominal diameter (mm)	Range of viscosities (mPa · s)
Ruby	1	≥ 60
	1.6	≥ 130
	2	≥ 170
	2.8	≥ 290
Steel	1	≥ 90
	2.4	≥ 340
Tungsten carbide	2	≥ 370
	2.4	≥ 490

となり、限界レイノルズ数に対応する粘度測定範囲が (8) 式によって求められる。

測定に使用する球について、上式の R_{em} に 0.4 を代入して求められた粘度測定範囲を Table 3 に示したが、密度と直径が最小の呼び径 1 mm のルビー球を使用すれば、 $60 \text{ mPa} \cdot \text{s}$ という低粘度試料液体の測定が可能であることがわかる。

以上の実験的検討の結果から、従来に比べて限界レイノルズ数ならびにそれに対応する低粘度側への適用範囲の拡大化が実現できた。

4. 粘度測定と性能評価

試作した落球式高圧粘度計の性能を評価するため、粘度計校正用標準液 JS 200 (常圧, 20.00°C における粘度の比較測定値が $177.2 \text{ mPa} \cdot \text{s}$) について、温度が 20.00 , 40.00 , 60.00°C 、圧力が常圧 $\sim 200 \text{ MPa}$ の範囲で測定を行った。測定は、常圧, 20.00°C における粘度も実測するために、3 章で述べた結果を考慮して呼び径 1.6 mm のルビー球 (直径 1.5884 mm 、密度 3.9922 g/cm^3) を使用した。また、測定圧力は約 20 MPa 間隔にしたが、 40.00 , 60.00°C の温度では、限界レイノルズ数の制限からそれぞれ 40 MPa および 100 MPa 以上の圧力での測定値を採用した。JS 200 の高圧密度は、計量研究所流体計測研究室によって、ペローズ形ピエゾメータ¹⁸⁾で測定された値を用いた。本ピエゾメータの測定精度は、 $\pm 0.1\%$ である。

Table 4 に落体検出測定装置によるルビー球の落下時間の測定例を示したが、温度および圧力を変えたレイノルズ数 0.4 以下の落下時間の繰返し測定 (測定回数 5 回) の変動係数は、 $\pm 0.007 \sim 0.030\%$ の良好な結果が得られており、落下時間の測定精度として、全ての測時の変動係数の平均値、 $\pm 0.016\%$ を 2 倍した $\pm 0.03\%$ を得た。

なお、 20.00°C の 200 MPa 近傍の測定では、落下時間が測定の繰返し回数に従って大きく増加することが認められ、これは試料の組成 (炭化水素油) の凝固に伴う粘

Table 4 An example of coefficient of variation for falling-time measurements

Pressure (MPa)	Falling-time(s)			Coefficient of variation (%)	Reynolds number
	at 20.00°C	at 40.00°C	at 60.00°C		
0.10	6.913 _s			0.007	0.19
20.30	12.33 _s			0.011	0.060
40.87		5.714 ₁		0.017	0.28
59.82	35.30 _s			0.030	0.0075
80.87		13.80 ₂		0.015	0.049
101.81			6.639 ₈	0.016	0.21
120.78	156.1 ₂			0.008	0.00040
141.15		47.67 ₇		0.012	0.0042
160.99			18.68 ₀	0.017	0.028
178.20	594.9 ₃			0.029	0.000028
180.87		102.9 ₀		0.017	0.00093
197.53			34.27 ₈	0.017	0.0083

Fig. 4 Ratio of the viscosity of JS200 measured at a pressure p MPa to that at 0.1 MPa as a function of pressure

度上昇の連続的な経時変化に起因するものと推察された。このような高圧領域における異常粘度は、組成の結晶化に伴う試料の濁りも観測される現象といわれているが、落体検出測定装置のレーザ光の透過光量の経時変化的減少が認められ、この推察を裏付けるものといえる。

Fig. 4 に各圧力で測定した粘度 η_p に対する常圧下の粘度 $\eta_{0.1}$ の比を圧力をパラメータにして示したが、粘度は圧力の増加に伴ってほぼ指数関数的に増大し、粘度に関するこの圧力効果は温度の上昇につれて減少することがわかる。また 20.00°C、常圧下（レイノルズ数 0.19）における粘度の絶対値として、177.3 mPa・s が測定されたが、この値は前述した粘度計校正用標準液の比較測定値と 0.06% の偏差で一致し、試作した落球式高圧粘度計の性能の健全性が実験的に確かめられた。

つぎに、呼び径 1.6 mm のルビー球を使用した場合の粘度測定の誤差を検討し、試作粘度計の所期の目標精度である $\pm 0.5\%$ が達成されているかどうかを評価した。

(1) 式から、粘度の測定精度に係わる誤差量として、

Table 5 Systematic error and total uncertainty of the viscosity using ruby sphere in nominal diameter of 1.6 mm

Error source	Uncertainty (%)	Error in viscosity (%)
Diameter of sphere	0.06	0.12
Mass of sphere	0.06	0.08
Density of sample liquid	0.10	0.03
Wall correction factor	0.01	0.01
Acceleration due to gravity	0.00	0.00
Falling-length	0.01	0.01
Falling-time	0.03	0.03
Pressure (0.03 MPa)		0.06
Temperature (2 mK)		0.02
Total uncertainty		0.16 %

使用球に関する直径と密度計算に必要な質量、試料液体の密度、球の落下距離および落下時間、重力の加速度、円筒管壁の補正係数、圧力、温度などがある。Table 5 にこれら各誤差量の大きさと、それらが粘度測定値に与える誤差量をまとめて示した。各誤差量の自乗和の平方根から、粘度測定の総合誤差として $\pm 0.16\%$ が得られ、試作粘度計の所期の目標精度内で十分測定し得ることが確認できた。

5. 結 言

500 MPa までの高圧下における液体粘度の精密測定技術の確立と、高圧液体粘度の校正基準の確立を目標に、粘度の絶対測定が可能な落球式高圧粘度計を試作し、レーザ光を利用した光学的方法により球の落下時間の計測を自動化して測定精度の向上を図ることができた。また、粘度計校正用標準液を用いた一連の粘度測定実験によって、従来に比べて限界レイノルズ数およびそれに対応する粘度測定範囲の低粘度側への拡大化を実現するとともに、試作粘度計の目標精度である $\pm 0.5\%$ 以内の精度で

高圧下の粘度が測定し得ることを確かめることができた。

以上に述べた落球式高圧粘度計の性能評価の結果を踏まえて、今後更に粘度計校正用標準液や合成潤滑油基油などの標準液体について、高圧液体粘度の校正基準となる信頼性のあるデータを蓄積することが可能になるものと期待できる。

終わりに、球の質量および直径の測定に関して、計量研究所根津嘉明主任研究官、松田次郎主任研究官にそれぞれお世話になった。また、試料の高圧密度の測定では同所山本昇次郎主任研究官にお世話になった。ここに記して、これらの方々に厚くお礼申し上げる。

参 考 文 献

- 1) M. M. Kussakov, L. A. Kononova and V. I. Sidorenka, 竹内, 桜井訳: 潤滑油の粘性と構造性との及ぼす圧力の影響, 石油学会誌, **6-8**, 2/7 (1963)
- 2) 桑野, 大野, 辻: 高圧下の潤滑油の粘度と密度の測定, 佐賀大学理工学部集報, **13**, 43/49 (1985)
- 3) T. Makita: Thermophysical Properties of Liquids at High Pressures, Int. J. Thermophys., **5-1**, 23/40 (1984)
- 4) ASME Pressure Viscosity Report, **2** (ASME, New York, 1953)
- 5) P. W. Bridgeman: Collected Experimental Papers, **7** (Harvard Univ. Press, 1964)
- 6) S. Bair and W. O. Winer: Some Observations in High Pressure Rheology of Lubricants, J. Lubrication Technology, **104**, 357/364 (1982)
- 7) 湯原, 吉田, 平田: 潤滑油の高圧粘度特性, 日石レビュー, **28-2**, 18/26 (1986)
- 8) J. H. Dymond, M. A. Awan, N. F. Glen and J. D. Isdale: Transport Properties of Nonelectrolyte Liquid Mixtures. VIII, Int. J. Thermophys., **12-2**, 275/287 (1991)
- 9) K. Nishibata and M. Izuchi: A Rolling Ball Viscometer for High Pressure Use, Physica **139 & 140B**, 903/906 (1986)
- 10) S. Sawamura, N. Takeuchi, K. Kitamura and Y. Taniguchi: High Pressure Rolling-Ball Viscometer of a

Corrosion Resistant Type, Rev. Sci. Instrum., **61-2**, 871/873 (1990)

- 11) 川田, 磯崎, 林, 小山: 落球法による粘度の精密測定に関する研究—管壁の影響について—, 中央計量検定所報告, **7-1**, 46/54 (1958)
- 12) JIS Z 8803-1991「液体の粘度-測定方法」
- 13) 立花規良: 落球法による粘度測定, 油圧と空気圧, **10-1**, 30/36 (1979)
- 14) G. K. Batchelor: 橋本, 松信他訳, 入門流体力学, 東京電機大学出版会, 228/247 (1974)
- 15) 川田裕郎: 改訂粘度 (計量管理技術双書) コロナ社, 71/72 (1969)
- 16) 倉野, 吉田: 流下時間自動計測部を付置した細管式標準粘度計による動粘度測定値の国際的整合性, 計測自動制御学会論文集, **27-3**, 268/275 (1991)
- 17) 計量研ニュース, **28-5**, 6/7 (1980)
- 18) 山本昇次郎: 高圧液体の圧縮率の測定, 第 24 回高圧討論会講演予稿集, 38 (1983)

[著 者 紹 介]

倉 野 恭 充 (正会員)

1972 年, 東京理科大学理学部物理学科卒業。現在計量研究所熱物性部物性計測研究室主任研究官。流体の粘度計測の研究に従事。日本熱物性学会, 日本高圧力学会などの会員。

吉 田 清 (正会員)

1954 年, 東京理科大学理学部物理学科卒業。91 年 3 月まで, 計量研究所熱物性部物質計測研究室長として流体の濃度, 粘度計測の研究に従事。同年 4 月より, (株)金門製作所顧問, 応用物理学会, 日本熱物性学会などの会員。