

タービン流量計による石油大流量校正設備と 国内校正機関との比較実験

嶋田 隆司*, 土井原良次*, 武田 一英*, 寺尾 吉哉*, 高本 正樹*

(平成17年4月5日受理)

Comparison test between the primary standard for hydrocarbon flow and calibration facilities in Japan by using the turbine meter

Takashi SHIMADA, Ryouji DOIHARA, Kazuhide TAKEDA, Yoshiya TERAU, Masaki TAKAMOTO

Abstract

A comparison test between the primary standard for hydrocarbon flow at NMIJ and commercial calibration facilities in Japan has been carried out by using a turbine meter. The calibration liquid was kerosene, and the flow rate range was between 18 and 60 m³/h. The flowmeter was calibrated at every comparison by the primary standard in order to investigate the reproducibility of the flowmeter due to transport. As a result, the reproducibility during comparison was less than 0.03 % by careful transport. Furthermore, the differences of K factor at most calibration facilities from those of NMIJ were less than 0.1%. However, one of them was not agree with NMIJ from 0.2 %. These results indicate that the traceability from national standard is needed to achieve high accurate calibration.

1. はじめに

現在、国内の石油会社や石油流量計メーカーでは、計量タンク、各種プルーバ、標準メータ等様々な設備を用いて種々の方法で流量計の精度管理が行われている。しかしながら、これらの中で、どの方法が精度、作業時間、コスト等が優れているのかを調べることは、多くの労力や時間が必要であり、また、これまでは石油流量の国家標準がなかったことから、国家標準との整合性を調査した事例はない。一方、石油流量のトレサビリティ体系を構築するために、国内の大手石油会社とほとんど全ての石油流量計メーカーが参加する石油流量研究会を開催し、標準が必要な精度で効率的に供給される方法の検討が行われている。そこで、石油流量研究会において産業技術総合研究所に新設された国家標準である石油大流量校正設備¹⁾を基準に校正された流量計を国内校正機関が所有する流量計校正設備で校正実験を行い、その校正値と国家標準での値との比較を行った。なお、今回の比較実験は、校正機関と国家標準との間で流量計による比較実験を行うための予備実験であり、校正値の比較を行うと

もに比較実験における手順および管理方法の検討、問題点を把握することも目的とした。

2. 実験方法

比較実験に用いた仲介器はタービン流量計と整流管などの付属配管で構成された。仲介器の概要を表1に示す。選択した流量計の性能を評価するために、2002年度に石油大流量校正設備により灯油及び軽油で校正し、さらに比較実験実施の前に石油大流量校正設備により灯油で校正した。石油大流量校正設備における校正条件を表2に示す。校正の不確かさは体積流量基準で0.03 % ($k = 2$)であった¹⁾。今回の比較では、流量計の流量特性に及ぼす試験液種の影響を小さくするために校正機関での試験液を灯油と限定した。また、流量計の再現性を検討するために、参加校正機関と計量標準総合センター (NMIJ) との間で1対1の比較実験を2004年8月から12月の間で行った。今回調査した校正機関は6機関であり、参照標準として計量タンク、各種プルーバを保有していた。校正機関とNMIJとの間の輸送には専用の収納箱を用いることにより、輸送に伴う流量計の校正値の変化が生じないように十分に注意した。試験流量 Q (m³/s)として主に5.0,

* 計測標準研究部門 流量計測科

表1 伸介器の概要

上流管 (1)	接続規格: JIS10K, 全長: 250 mm, 材質: SUS304
整流管	接続規格: JIS10K, 全長: 210 mm, 材質: SUS304
上流管 (2)	接続規格: JIS10K, 全長: 550 mm, 材質: SUS304
タービン流量計	製造元: トキコテクノ株式会社製 名称: ポッターメータ 型式: FPL0547BPP-SAT-X 呼び径: 50 mm 接続規格: JIS10K, 全長: 165.2 mm 材質: SUS304など 最大流量 (間欠): 72 m ³ /h
下流管	接続規格: JIS10K, 全長: 250 mm, 材質: SUS304

*ここでの商品名や型式名の記述は、本報告の内容をより明確にすることを目的としており、産総研が当該商品を推奨することを意味していない。

表2 NMIJでの試験条件

測定日	液種	液温度 (°C)	動粘度 (×10 ⁻⁶ m ² /s)	密度 (kg/m ³)
2002/11~ 2003/01	軽油	20	6.8	839
		30	5.2	832
	灯油	20	1.8	791
		30	1.5	784
2004/08~ 2005/01	灯油	20	1.8	789
		35	1.4	778

6.7, 8.3, 13, 17×10⁻³ m³/s (それぞれ18, 24, 30, 45, 60 m³/hに相当), 及び(1)式で定義される管レイノルズ数 Reが18,000となる流量を指定した。

$$Re = \frac{4Q}{\pi Dv} \quad (1)$$

ここで、D (m)、v (m²/s)はそれぞれ流量計内径の代表値 (=0.05 m)、試験液の動粘度を意味する。

3. 実験結果及び考察

3.1 流量計の特性評価

流量計の特性を評価するために、石油大流量校正設備による実流校正を行った。試験液温度 t_m (°C)で校正されたタービン流量計の校正係数であるK値 K_f (Pulse/L)から流量計の熱膨張による温度補正を行うことにより20 °C基準のK値 K_{f20} (Pulse/L)を求めた²⁾。

$$K_{f20} = K_f \{1 + (2\beta_H + \beta_R)(t_m - 20)\} \quad (2)$$

ここで、 β_H (K⁻¹)、 β_R (K⁻¹)はそれぞれ流量計ケーシングの熱膨張係数、回転子の熱膨張係数であり、ともにステンレス鋼の線膨張係数である1.36×10⁻⁵ K⁻¹を用いた。

タービン流量計の基準K値 $K_{f,nom}$ (32.895 Pulse/L)に対する温度補正した相対K値を管レイノルズ数に対してプロットしたものを図1に示す。これらの校正値は2002年度

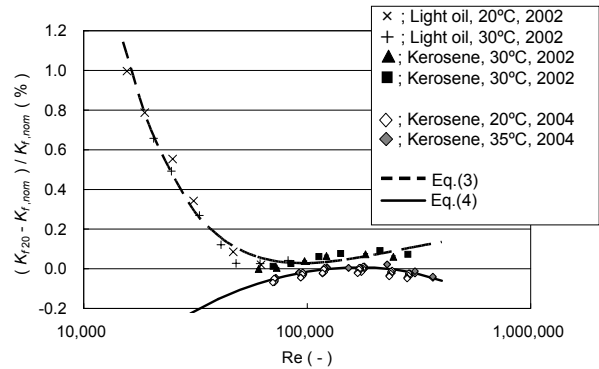


図1 タービン流量計の相対K値

及び2004年に校正された値であり、校正条件を表2に示す。図中の点線は、体積流量に対するタービン流量計の特性が管レイノルズ数に強く依存する²⁾⁻⁴⁾ことから、管レイノルズ数に対するK値の関数形を校正値に最小二乗法によりあてはめて得られた近似曲線であり、2002年度に得られたK値より(3)式で表される。また、図中の実線である(4)式は2004年に比較実験を実施する直前に得たK値に対する近似曲線式である。

$$K_{f20,fit,2002} = 32.993 - 950.94Re^{-1} - 23.355Re^{-1/2} - 1.9711 \times 10^{-7}Re \quad (3)$$

$$K_{f20,fit} = 33.077 + 1545.9Re^{-1} - 102.38Re^{-1/2} - 3.6322 \times 10^{-8}Re \quad (4)$$

今回の比較実験では試験液として灯油のみを対象としたこと、また、(4)式から算出される値に対する2002年度の灯油における校正値の相対偏差は管レイノルズ数に関係なく約0.06%であることから、2004年8月に校正試験を行った管レイノルズ数が70,000~360,000である範囲では、管レイノルズ数に対するK値の近似曲線式として(4)式が妥当であると判断した。

図2に各流量点での(4)式に対する比較実験全体を通してNMIJで得られた相対K値の経年変化を示す。図2より各流量点のK値は同じ変化量で経年変化したことが考えられる。そこで、i番目の校正機関の参照値となる管レイノルズ数に対するK値の近似式に対する補正量を求めるために、次に記述する方法を用いた。

NMIJの校正日がi番目、j流量点でのK値 $K_{f20,i,j}$ が得られた管レイノルズ数と、K値の管レイノルズ数に対する近似曲線式 $K_{f20,fit}$ ((4)式)から求まるK値 $K_{f20,fit,i,j}$ との偏差 $\delta K_{f20,i,j}$ は(5)式で表される。

$$\delta K_{f20,i,j} = K_{f20,i,j} - K_{f20,fit} \quad (5)$$

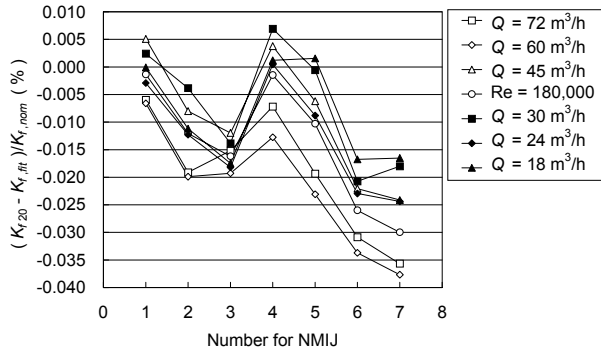


図2 各流量点におけるNMIJで校正された相対K値の経年変化

さらに、 $\delta K_{f20,i,j}$ の全流量点 (m 点) に対する平均値 $\overline{\delta K_{f20,i}}$ は(6)式から求められ、 i 番目におけるK値の近似曲線式からの偏差を意味する。

$$\overline{\delta K_{f20,i}} = \sum_j \frac{\delta K_{f20,i,j}}{m} \quad (6)$$

NMIJにおける i 番目の校正日の全流量点に対する平均値 $\overline{\delta K_{f20,i}}$ と1番目に校正した値 $\delta K_{f20,1}$ との偏差 $\overline{\Delta K_{f20,i}}$ は、(7)式から求められることから、 i 番目に校正した校正機関におけるK値に対する補正量(K値の近似曲線式の補正量) $K_{f,corr,i}$ は(8)式から算出される。

$$\overline{\Delta K_{f20,i}} = \overline{\delta K_{f20,i}} - \delta K_{f20,1} \quad (7)$$

$$K_{f,corr,i} = \frac{\overline{\Delta K_{f20,i}} + \overline{\Delta K_{f20,i+1}}}{2} \quad (8)$$

したがって、流量計の再現性(経年変化)を考慮した i 番目に校正した校正機関におけるK値の近似曲線式は(9)式で表される。

$$K_{f,fit,corr,i} = 33.077 + 1545.9Re^{-1} - 102.38Re^{-1/2} - 3.6322 \times 10^{-8}Re + K_{f,corr,i} \quad (9)$$

$K_{f,corr,i}$ の経年変化を図3に示す。また、(9)式に相当するNMIJでの校正値の管レイノルズ数に対する近似曲線式は(10)式で表され、(10)式から得られる値に対する相対K値を図4に示す。

$$K_{f,fit,corr,i,NMIJ} = 33.077 + 1545.9Re^{-1} - 102.38Re^{-1/2} - 3.6322 \times 10^{-8}Re + \overline{\Delta K_{f20,i}} \quad (10)$$

図4より補正された近似曲線式に対するNMIJでの相対K値が $\pm 0.02\%$ 以内であることから、前述の再現性の補正方法が妥当であると判断される。また、図3より経年変化に伴うK値の相対補正量が約 0.03% であることから、

輸送に伴う流量計の性能の劣化はほとんどないと言える。

3.2 比較実験結果

K値の近似曲線式(9)式に対する校正機関で得られた相対K値を管レイノルズ数に対してプロットしたものを図5に、また、校正試験で得られた全てのK値を平均した値を表3に示す。各機関での校正の繰り返し数は2~6回であった。ここで、校正機関の記号であるA~Fは、参加

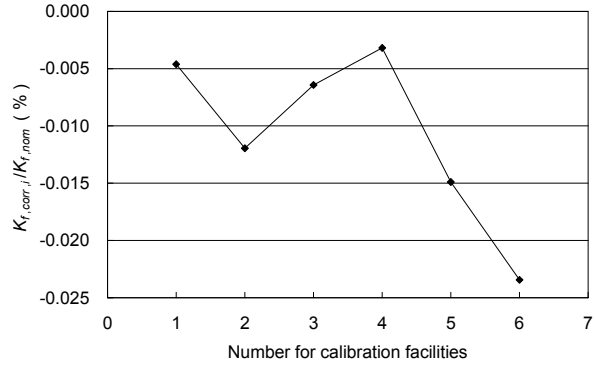


図3 各校正機関におけるK値の近似曲線式のための相対補正量

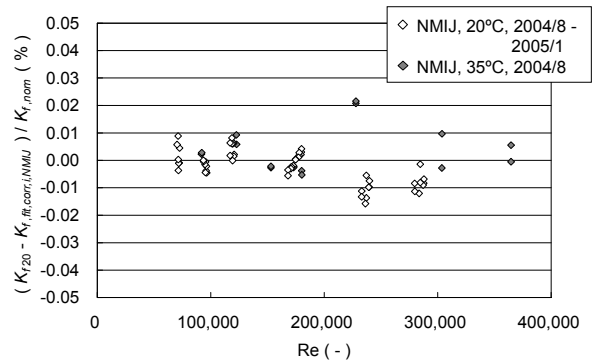


図4 補正された近似曲線式((10)式)に対するNMIJで校正された相対K値

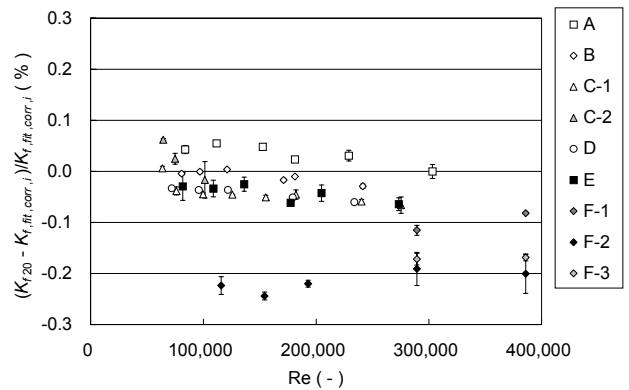


図5 校正機関での相対K値

表3 (9)式に対する校正機関での相対K値

校正機関	(9)式に対する相対K値の平均値 (%)
A	0.03
B	-0.01
C	-0.03
D	-0.04
E	-0.05
F	-0.18

校正機関で得られた相対K値の平均値の大きい順に付与されている。また、C、Fの両校正機関は複数台の標準器で校正を行ったことから、図中のプロットとして標準器ごとに記載した。6機関の内、A～Eの5機関でのNMIJに対する相対偏差が±0.1 %以内であり、国家標準値と良好に一致することがわかる。しかしながら、F機関の値は国家標準に対し0.2 %以上の偏差があることから、高い精度を達成するためには、国家標準からトレーサビリティを確保し、精度管理のさらなる向上が必要であることがわかる。

4. まとめ

タービン流量計を仲介器として石油流量の国家標準と国内校正機関との比較実験を行った。その結果、適切な収納箱の使用により流量計の輸送の影響を十分低減でき

ることがわかった。また、今回対象とした液種及び流量範囲では、一部を除いて国内校正機関の校正値は国家標準に対して±0.1 %以内で一致した。今後は石油流量のJCSS制度を立ち上げることを最終目標として、校正機関の再現性について調査するとともに、他の液種、流量での流量計による比較実験を行う予定である。

5. 謝辞

本実験は日本計量機器工業連合会との共同研究により実施され、また石油流量研究会の参加企業の協力を得た。記して謝意を表する。

参考文献

- 1) 嶋田隆司, 土井原良次, 寺尾吉哉, 高本正樹: 国家標準としての石油流量計校正設備の開発, 日本機械学会論文集B編 71-703(2005)854-861
- 2) JIS Z 8765-1980タービン流量計による流量測定方法, 日本規格協会(1980)
- 3) S.P. Hutton : The effect of fluid viscosity on turbine meter calibration, Proc. Flow Measurement the Mid-80' (1986) Paper 1.1
- 4) P. Lau and K. Stolt : Calibration Intercomparison on Flowmeters for Kerosene, SP Report 77 (1995)