

# Promass 流量計における気体アプリケーション への水校正の転用可能性

著者： Osmel Reyes Vaillant、校正エキスパート主任、Endress+Hauser Flow

2023年4月

## エグゼクティブサマリー

このホワイトペーパーでは、気体アプリケーションで使用するためのコリオリ流量計の水による初期校正の有効性について説明します。代替流体を使用した校正の転用可能性については、AGA レポート番号 11 API MPMS 14.9 などの重要な規範文書にすでに記載されています。現在、世界的なエネルギー転換戦略に関わる流量測定アプリケーションの増加に伴い、この代替アプローチの重要性が高まっています。このアプローチを支える技術的側面についての考察、および第三者により水で初期校正されたコリオリ流量計の気体校正の結果は、お客様に弊社の校正転用可能性に基づくアプローチをご理解いただくために役立ちます。

## 目次

1	概要.....	3
2	コリオリ流量計の動作原理.....	3
3	気体アプリケーションにおける Endress+Hauser のコリオリ質量流量計.....	4
4	水校正から気体校正への転用可能性.....	5
4.1	気体アプリケーションで使用する流量計の初期計量確認としての水校正.....	5
4.2	気体アプリケーションにおける Promass の実証.....	5
5	結論.....	9
6	参考資料.....	10

## 1 概要

世界的なエネルギー転換戦略は、エネルギーの生産・消費構造を化石燃料ベースから再生可能で環境負荷の少ないエネルギー源へと変えることを目指しており、特に信頼性の高い測定インフラが必要となります。この測定インフラに関わる重要な量となるのが、流体の流量です。コリオリの法則に基づく流量計は、液体以外のさまざまなアプリケーションにも利用が広がっています。AGA や API MPMS<sup>1</sup> などの国際的な計量機関は、天然ガスの取引計量アプリケーションにおけるコリオリ質量流量計の使用を後押ししており、気体アプリケーションにおけるこの技術の採用に関して、世界中の計量・エンジニアリング団体から信頼されてきていることが明らかです。そのため、H<sub>2</sub>、CO<sub>2</sub>、天然ガスなどの流体のエネルギー転換戦略を遂行する上で、この流量測定技術は引き続き有効な選択肢となります。Endress+Hauser は、気体アプリケーションにおいて性能が実証された、さまざまなコリオリ質量流量計を提供しています。これらの流量計は、最初に校正用流体として水を使用して校正されており、校正パラメータを追加調整することなく、気体アプリケーションで優れた性能を発揮します。このテクニカルホワイトペーパーでは、気体アプリケーションへの水校正の転用可能性について分析が行われています。また、校正用流体として気体を使用する第三者校正設備の結果についても考察します。

## 2 コリオリ流量計の動作原理

コリオリ流量測定原理は、機器の計測チューブを流れる質量流量 ( $q_m$ ) と、ピックアップコイルを備えた2点 (図1のAとB) 間で検出された位相差 ( $\Delta\phi$ ) または遅延 ( $\Delta t$ ) との直線的な関係に基づいています。各計測チューブは、励磁コイルによって与えられた共振周波数で振動します。

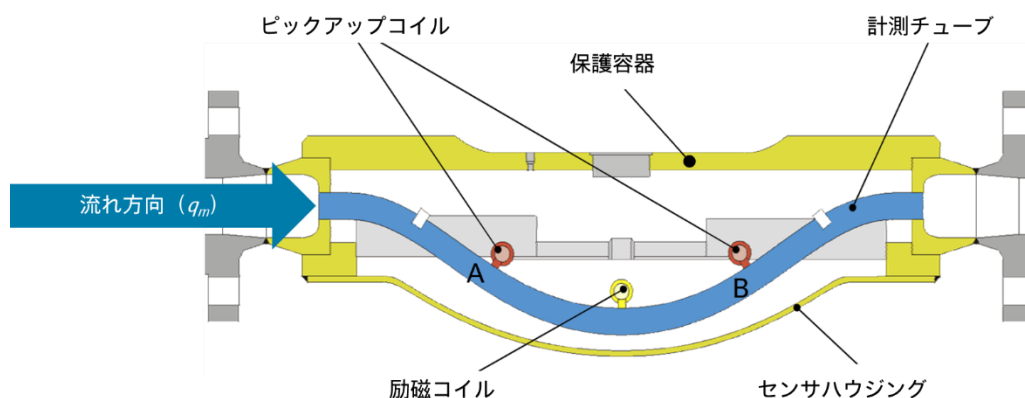


図1: コリオリセンサ (簡略図)

位相差 ( $\Delta\phi$ ) は、質量流量 ( $q_m$ ) に比例するいわゆるコリオリ力によって引き起こされます。システムのバランスは、2つの計測チューブの逆位相振動によって確保されます (Endress+Hauser Flow, 2022)。コリオリ質量流量計は、質量流量測定に加えて、流体の密度や温度といった他の2つの変数も測定します。

<sup>1</sup> AGA : 米国ガス協会 (American Gas Association)

API MPMS : 米国石油協会 石油測定標準マニュアル (American Petroleum Institute Manual of Petroleum Measurement Standards)

流体密度の変化により計測チューブの総質量が変化すると、流体密度に比例する計測チューブの共振周波数も変化します。この変数は、流量計の出力信号として使用できます。

プロセス温度と設定された基準温度（つまり、校正用流体の温度）との温度差が大きくなると、密度および質量流量の測定値にオフセットの影響が生じます。この影響は、計測チューブおよび保護容器に設置された温度センサからの信号を入力として用いて補正されます。プロセス温度の測定値も、機器の出力信号として使用できます。

流体圧力も、内圧による計測チューブの変形により、流量および密度の測定値に影響を及ぼす可能性があります。流体圧力を固定値として、または機器へ信号入力した測定された圧力値を使用することで、この影響も機器内で補正されます。Endress+Hauser のコリオリ質量流量計における圧力の影響とその補正に関する詳細な説明は、(Rojas Sossa, 2022) に記載されています。

### 3 気体アプリケーションにおける Endress+Hauser のコリオリ質量流量計

Endress+Hauser のコリオリ質量流量計は、世界中の気体流量測定アプリケーションで注目されています。これらの流量計は、特に正確で繰返し性の高い測定が求められる場合や、直接質量測定が望ましい場合など、厳しい気体測定条件下で優れた性能を発揮します。そして、天然ガス自動車の燃料補給用 CNG（圧縮天然ガス）ディスペンサや、主に取引計量におけるさまざまな H<sub>2</sub> および CO<sub>2</sub> アプリケーションにもこれらの流量計は使用されています。これらの流量計は、ドイツ連邦物理工学研究所（German Physikalisch-Technische Bundesanstalt、PTB）など、公認機関や認証機関によって、これらのアプリケーション向けの認証を取得しており、こうしたアプリケーション向けに制定された OIML-R137（OIML-R137, 2012）勧告に準拠していることが明確に認められています。

気体アプリケーションは、コリオリ質量流量計にとっても挑戦的なアプリケーションです。これは主として、流体の密度が低く、その結果、流量計の質量流量範囲の下限付近で動作しなければならないためです。この範囲では、ゼロ点の安定性が重要な役割を果たします。Endress+Hauser のコリオリ質量流量計には、この影響を軽減するための特別な特長が備えられています。そうした特長の例としては、機器の製造に使用される材料の高い均質性と、その構造における厳格な対称性に関する許容公差の 2 つを挙げることができます。これらの特長は、計測チューブの動きに対しての機械的応答バランスをとるのに役立ち、ゼロ点の安定性への影響を軽減します。

ただし、コリオリ質量流量計による気体流量測定では、計測チューブに与えられる駆動周波数に関して共振周波数の変化をもたらす原因となる、気体の圧縮性による挙動と低音速（SoS）にも対処する必要があります。この気体に関する周波数効果は、主に、気体中の音速、流速、計測チューブ形状、という 3 つの要素によって影響されます。その影響を軽減するために補正を実施する際には、これら 3 つの要素が考慮されます (Rieder & Aguilera-Mena, 2018)。

## 4 水校正から気体校正への転用可能性

AGAレポート番号11 API MPMS第14.9章、第7項 (API MPMS, 2013) : 「代替校正用流体 (水など) による校正は、独立した流量校正試験所によって実施された試験を通じて計測システムの製造元によって、気体測定に対する追加の不確かさを付すことにより、代替校正用流体の転用可能性が実証されたコリオリ式センサの設計品に対して有効です。」 (仮訳) この記述により、新たな測定誤差および測定不確かさの値が明確に示される場合ならば、水で初期校正されたコリオリ流量計を使用すると、気体測定の校正結果を得られているものとして認められます。この代替手段は、高価な気体による初期校正/検証を回避したい場合や、また適切な気体流量校正設備がないことで実施困難な場合に、実現可能な選択肢となります。

### 4.1 気体アプリケーションで使用する流量計の初期計量確認としての水校正

Endress+Hauser のコリオリ質量流量計は、(ISO/IEC-17025, 2017) スイス認定機関 (SAS)、米国試験所認定協会 (A2LA)、中国国家適合性評価認定サービス (CNAS)、ブラジル国家度量衡・規格・工業品質院 (INMETRO) などの認定機関によって ISO/IEC 17025 に準拠して認定された水校正設備で最初に校正されます。これらの校正は、ISO 4185 規格 (ISO-4185, 1980) に準拠しており、同規格に記載されている重量法を使用して校正ファクタ (CALF) が決定されます。

水校正は推奨される方法であり、基準条件下で既知の流体を用いて流量計の性能の一貫した評価ができます。このような条件下では、偏差を特定、分離し、効果的に補正することが可能です。したがって、水校正は流量計の性能を確認し、機器の動的挙動を特徴付けるパラメータとなる流量計の CALF を決定するための理想的な出発点となります。このような理由により、気体アプリケーション用の流量計は、校正用流体として水を使用して初期校正することが可能です。

### 4.2 気体アプリケーションにおける Promass の実証

気体アプリケーションで使用するための Endress+Hauser のコリオリ質量流量計のサンプルは、Gas Research Institute - Colorado Engineering Experiment Station Inc. (GRI-CEESI)、Southwest Research Institute (SwRI)、Pigsar (高圧天然ガス計測に関するドイツ国家規格、PTB と共同)、Det Norske Veritas (DNV) などの第三者試験所のすべてにおいて、気体を使用した体系的な校正を実施しました。図2は、水、空気、乾性/湿性天然ガスを校正用流体として使用し、CEESI 設備で Promass 83F の校正を行った結果を示しています。この校正ラウンドの完全なレポートについては、(GRI-04/0172, 2004) をご覧ください。

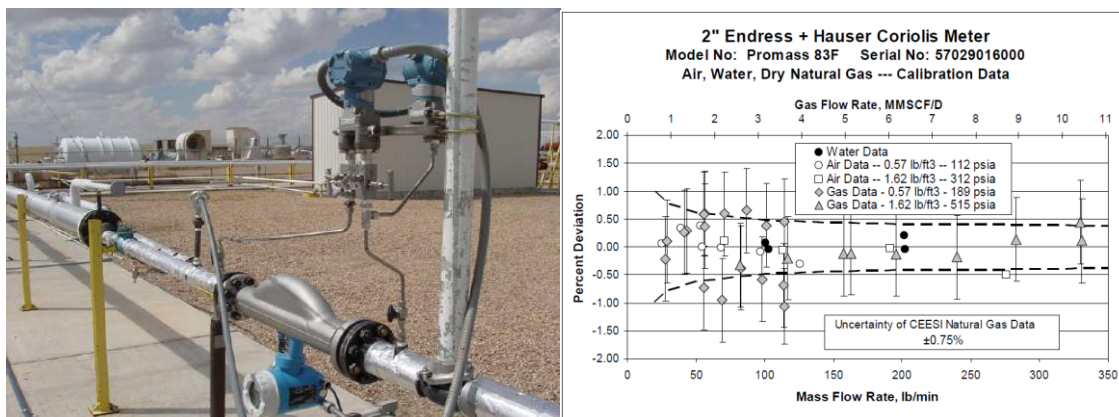


図 2 : CEESI 湿式試験設備で校正された Promass 83F (左)、校正結果 (右) (GRI-04/0172, 2004)

弊社の品質保証方針の一部であるこれらの第三者校正は、実際のプロセス条件下での気体流量測定における計測システムの性能を証明することを目的としており、水校正で得られた CALF に対する調整は行っていません（「as found」調整前）。新しい校正設備の条件下では、ゼロ点検証が必須であり、必要に応じてゼロ点調整が実行されています (DE-19-MI002-PTB001, 2019)。これらの校正で使用される基本設定および設置方法は、製造元の設置要件と設備の校正手順に従います。

最終的な目標は、実施する校正の規格に関する文書に従って流量計が最大許容誤差または最大許容限度を満たしていること、および流体と測定流量範囲に対して製造元が指定した最大測定誤差を満たしていることを証明することです。

校正用流体として天然ガスを使用し、Pigsar 設備（図 3 を参照）で得られた最近の校正結果が付録 1～3 に示されています。すべての校正は、水による初期校正で得られた同じ CALF を使用して実行されました。圧力が流量測定値に及ぼす影響は、(Rojas Sossa, 2022) で説明されているように気体圧力を考慮することによって機器内で補正されました。

校正範囲全体にわたる誤差値は常に、機器の技術仕様書 (Endress+Hauser Flow, 2022) で気体流量測定に対して指定されている最大測定誤差の範囲内でした。この値は、機器の線形範囲において ±0.25% o.r. に相当します。そのため、誤差も OIML-R137 の最大許容誤差 (MPE) 精度等級 0.5 の範囲内に収まります。

流量の加重平均誤差 (FWME) と流量値ごとの拡張測定不確かさ U (k=2) は、それぞれの校正証明書 (付録 1～3) にも記載されています。



図 3 : Pigsar 設備で、校正用流体として天然ガスを使用して校正されている Proline Promass Q 呼び口径 200A

天然ガスと水の校正を組み合わせる Pigsar で校正された流量計の誤差曲線を図 4 に示します (付録 3 を参照)。Promass Q 呼び口径 200A は、最初に Reinach の Endress+Hauser Flow の設備で水を使用して校正されました。この校正は、57 698 kg/h と 229 184 kg/h の 2 点でのみ行われました (最大許容誤差は±0.1% o.r.、拡張測定不確かさ U (k=2) は 0.054% に相当)。

拡張されたターンダウン比 (最大 33:1、表 1 を参照) において高い繰返し性と直線性によって、機器が示した高いゼロ安定性により校正範囲全体わたって水と天然ガスの校正結果の一貫性が実現します。こうした望ましい性能と実験データにより、このホワイトペーパーで取り上げた水校正から気体校正への転用可能性アプローチの正しさが裏付けられました。

表 1

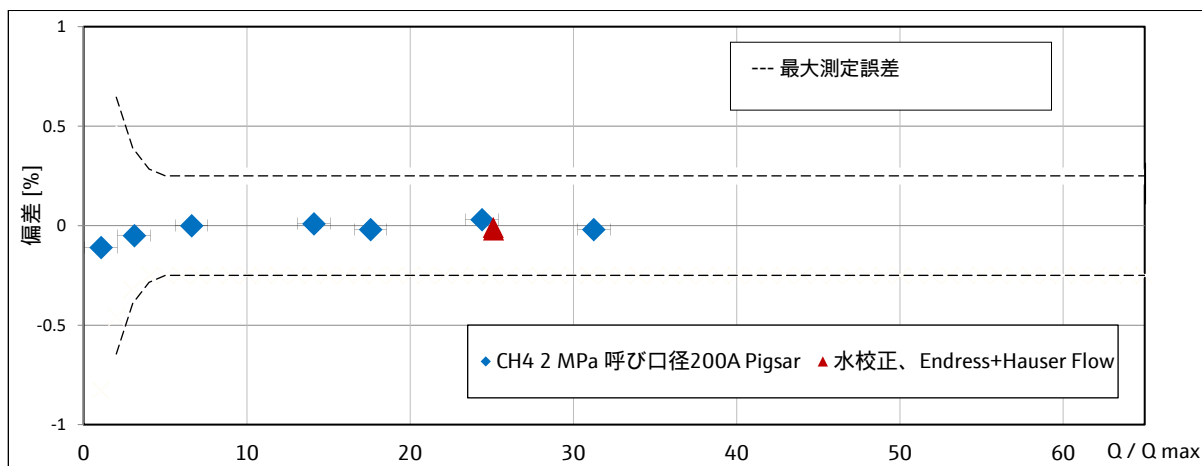


図 4 : 水および天然ガスを使用して校正された Promass Q 呼び口径 200A の誤差曲線 :  
 天然ガスでの測定性能は良好 (水校正で決定された CALF 値を使用)

Pigsar で実施されたすべての校正の証明書は、付録 1～3 に示されています（表 1 を参照）。

表 1：第三者設備における各 Endress+Hauser の流量計の校正結果が記載された付録のリスト

付録	センサ モデル	呼び 口径	校正流量範囲 [kg/h]	ターン ダウン比	圧力 [bar]	流体	FWME [%]	校正設備
1	Promass F	25	84 - 2 800	33:1	20	CH <sub>4</sub>	-0.1	Pigsar
2	Promass Q	25	84 - 2 800	33:1	20	CH <sub>4</sub>	-0.08	Pigsar
3	Promass Q	200	2 400 - 70 000	29:1	20	CH <sub>4</sub>	0.0	Pigsar
			455 - 746	1.6:1	30	H <sub>2</sub>	0.18	DNV
			493 - 1 091	2.2:1	2.3	N <sub>2</sub>	0.08	DNV
4	Promass Q	80	466 - 1 337	2.9:1	40	H <sub>2</sub>	0.33	DNV
			7 184 - 36 021	5:1	2.1	H <sub>2</sub> O	-	Endress+Hauser Flow

別の校正が DNV 設備の Promass Q 呼び口径 80A で、3 MPa と 4 MPa の水素、および 0.23 MPa の窒素を使用して実施されました（付録 4 を参照）。この流量計は、最初に Endress+Hauser Flow (Reinach) において、7 184 kg/h～36 021 kg/h の 5 点で（最大許容誤差±0.05% o.r.、U (k=2) は 0.025%相当）水による校正が行われました。

「as found（調整前）」の気体校正は、水での最大校正流量の約 1.3%～4%の質量流量で実行されました。これらの校正において、気体密度は 2.3 kg/m<sup>3</sup>～3.3 kg/m<sup>3</sup> の範囲となり、これは H<sub>2</sub> アプリケーションではよく見られる状況です。

校正中の誤差（偏差）、繰返し性の尺度としての誤差の標準偏差 (Std. Dev (95%))、拡張測定不確かさ (U-tot (95%)) が付録 4 に示されています。AGA レポート番号 11 API MPMS 第 14.9 章) で定義されている流量の加重平均誤差 (FWME) もこの付録で確認できます。

図 5 に示すように、流量計レンジのゼロ点の安定性が重要となる領域においても、校正中に得られた誤差値は、この流量（ラッパ型、非線形領域）での気体流体の最大測定誤差の範囲内でした。また、ほとんどの誤差値が、線形領域での気体流量測定に関して機器の技術仕様書に規定されている最大測定誤差値 (±0.25% o.r.) 以内であったことも注目に値します。

気体測定条件下でも証明されたこの性能は、高いゼロ点安定性、機器の高い繰返し性とリニアリティによって可能となりました。

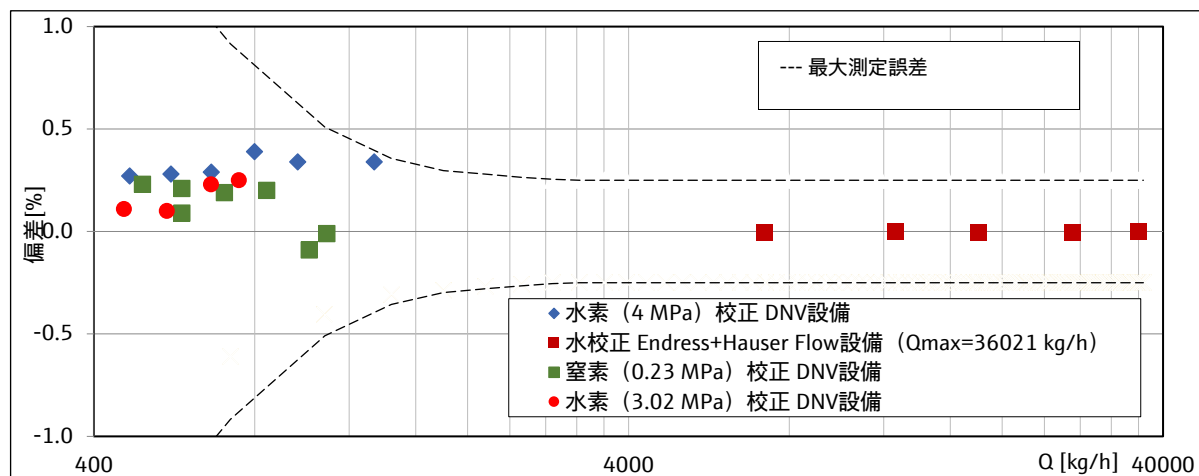


図 5 : H<sub>2</sub> 校正、N<sub>2</sub> 校正、水校正を組み合わせた Promass Q 呼び口径 80A の誤差曲線

## 5 結論

Endress+Hauser のコリオリ質量流量計は、水による初期校正で得られた値と同じ CALF を使用して、多様な気体アプリケーションで一貫して非常に優れた性能を示しました。理論的な考察にとどまらず、第三者の気体校正設備において、異なるセンサと呼び口径、異なる流体、圧力、密度などを使用して信頼性の高い結果が得られました。これらの流量計はすべて最初に水を使用して校正され、それ以上の CALF の調整は行われていません。本書には、最近実施された校正の一部が記載されています。

これらの結果は、高いゼロ点安定性と、拡大されたターンダウン比での高い繰返し性と直線性を兼ね備えた Endress+Hauser のコリオリ質量流量計の高度な設計により実現しました。それと同時に、気体の音速 (SoS) や振動チューブ内の圧力効果などの影響要因も、適切な補正を行うために考慮されています。

これらの結果の検証は、公認機関が Endress+Hauser のコリオリ質量流量計に対して OIML-R137 に準拠した取引計量認証を付与する際に考慮される要素の 1 つとなります。このような認証を維持するためには、第三者校正設備での機器の定期的な試験も必要です。この試験結果により、気体アプリケーションで使用される弊社のコリオリ質量流量計シリーズに適用される Endress+Hauser の校正転用可能性アプローチを拡張し、強化していくことも可能になります。これにより、コストと時間のかかる特別な校正を気体で新たに行う必要がなくなります。同時に、技術仕様書に記載されている、国内および国際基準で要求される機器の性能要件を維持できます。

## 6 参考資料

API MPMS, C. 1. (2013). Measurement of Natural Gas by Coriolis Meter.

DE-19-MI002-PTB001. (2019). *EU Type-examination Certificate Promass F/O/X 300/500. PTB.*

Endress+Hauser Flow. (2022). TI01222D/06/EN/08.21. *Technical Information Proline Promass F 500 Coriolis flowmeter.*

GRI-04/0172. (2004). Gas Research Institute: Topical Report, Coriolis mass flow meter performance with water, air, dry-gas and wet-gas.

ISO/IEC-17025. (2017). General requirements for the competence of testing and calibration laboratories.

ISO-4185. (1980). Measurement of liquid flow in closed conduits Weighing method.

OIML-R137. (2012). International Organization of Legal Metrology. *Gas Meters, P. 1 Metrological and technical requirements, P. 2 Metrological controls and performance tests (Including Amendment 2014).*

Rieder, A., & Aguilera-Mena, J. (2018). Coriolis Flow meters. *Japanese Society of Mechanical Engineers Handbook.*

Rojas Sossa, V. (2022). Pressure effect of Coriolis Flowmeters and compensation. *Endress+Hauser Flow, Technical Paper.*



付録 2 : Promass Q 呼び口径 25A ; 84 kg/h – 2800 kg/h CH4 2 MPa 時



page 1 of 4

Calibration Certificate

Number 19189/2021  
Date 2021-04-23

**Applicant** Name: Endress & Hauser Flowtec AG  
Order no. 275001178

**Meter under test** Description: Coriolis meter  
Manufacturer: Endress+Hauser  
Type: Promass Q  
Serial number: RB0F7202000  
Nominal size: 1"  
Range of flowrate: 84...2800 kg/h  
Year of manufacture: 2020  
Nominal diameter of meter: 25 mm  
Nominal diameter of flange: 25 mm  
Nominal flange pressure: ANSI 600 RF

**Date of test** 2021-04-23

**Results** The results of the calibration are presented on page 3.

**Test procedure** PTB-Prüfregeln Band 30, Messgeräte für Gas, Hochdruckprüfung von Gaszählern  
Physikalisch-Technische Bundesanstalt, Braunschweig und Berlin, 2003

**Test facility** pigsar represents the National Standard of the Federal Republic of Germany for the unit of volume for high pressure natural gas under supervision of PTB. pigsar disseminates the harmonised values for the unit of volume for high pressure gas flow measurements of the Federal Republic of Germany, France and The Netherlands. pigsar maintains a management system according to EN ISO 17025.

**Traceability** The presented results of the calibration are based on the unified Dutch-French-German reference values for the unit of volume for high-pressure gas flow measurements. On June-02-1999, PTB (Physikalisch-Technische Bundesanstalt) and VSL (formerly NMI-VSL, Netherlands Measurement Institute - Van Swinden Laboratorium) and later on May-04-2004 LNE (The Laboratoire national de métrologie et d'essais) have joined the harmonization (unification) procedure and the use of these reference values, see page 2.

Dorsten, 2021-04-23



pigsar™ Vier Gas Services GmbH & Co. KG | Hellener Straße 125 - 46284 DORSTEN | GERMANY | www.pigsar.de | e-mail: info@pigsar.de

This calibration certificate may not be reproduced other than in full except with the permission of the issuing laboratory. Calibration certificates without signature and seal on the first page are not valid.



page 3 of 4

Certificate Number: 19189/2021  
Date: 2021-04-23

<b>Applicant</b>	Endress & Hauser Flowtec AG					
<b>Meter under Test</b>	Type	Coriolis meter Promass Q				
	Manufacturer	Endress+Hauser				
	Serial number	RB0F7202000				
	Nominal Size	1"				
	Year of manufacture	2020				
<b>Test Conditions</b>	Test medium	Natural gas	CO <sub>2</sub>	1,53	mole %	
	Pressure, absolute	21,2	bar	H <sub>2</sub>	0,0	
	Gas Temperature	17	°C	Calorific value,s	10,36	
	Gas density (ρ, T)	17,0	kg/m <sup>3</sup>	Density,normal	0,8312	
	Dyn. viscosity (μ, T)	1,15E-5	Pa s	Normal conditions (273,15 K; 101,325 kPa)		
<b>Results</b>	Qi / Qmax	Qi (kg/h)	Reynoldnumber	Deviation (%)	n	U <sub>meter</sub> (%)
(as left)	0,03	85,09	0,11 *10 <sup>6</sup>	-0,11	6	0,12
	0,05	132,83	0,16 *10 <sup>6</sup>	0,04	5	0,05
	0,10	281,18	0,35 *10 <sup>6</sup>	0,13	5	0,03
	0,22	602,46	0,74 *10 <sup>6</sup>	0,03	5	0,03
	0,46	1278,39	1,58 *10 <sup>6</sup>	-0,17	5	0,10
	0,64	1804,60	2,22 *10 <sup>6</sup>	-0,13	5	0,19
	0,98	2735,50	3,35 *10 <sup>6</sup>	-0,01	6	0,14

Weighted mean error, with continuous and linear decrease of weighing factor between 0,7 Qmax and Qmax: -0,08 %.

The deviation is defined as:  $Deviation = \frac{(Indicated\ Value - Reference\ Value)}{(Reference\ Value)} \cdot 100\%$

where the reference volume refers to the conditions at the meter under test. The reported values of this deviation are the arithmetic means of n single repeat measurements at each flow-rate.

The reported total uncertainty is defined as:  $U_{tot} = \sqrt{U_{harmonized}^2 + U_{meter}^2}$

where U<sub>harmonized</sub> is the expanded uncertainty of the harmonized reference value, stated as the standard uncertainty of measurement multiplied by the coverage factor k=2, and U<sub>meter</sub> is the expanded standard uncertainty of the meter under test, determined on the base of n repeats at each flow-rate, multiplied by Student-t-factor (n) / n<sup>0,5</sup>, with a probability of 95%.

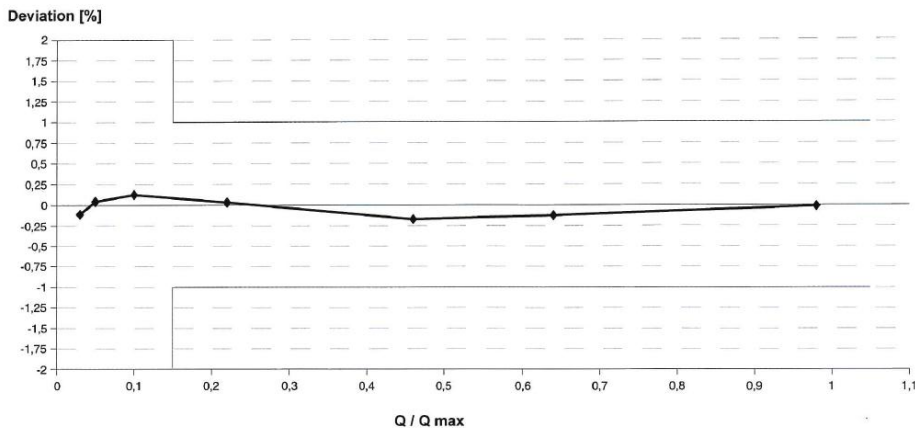
**Remarks** Security marks are applied  
At customer's request the meter had not been adjusted.  
The meter had been calibrated at 20 bar and at 40 bar.  
The results at 40 bar are presented in certificate no. 19222/2021.

Following parameters have been used during the calibration and have an influence to the test results:  
Measuring mode: Gas  
Gas type: Methane  
Meter factor: 0,83113  
Stored zero(pipo): -43,1  
Sensor pressure con. (bar): 20  
Zero offset before calibration (g/3 min): -5,281  
Zero offset after calibration (g/3 min): -0,151

Tested in Dorsten at pigsar, on 2021-04-23 Görgülü

This calibration certificate may not be reproduced other than in full except with the permission of the issuing laboratory. Calibration certificates without signature and seal on the first page are not valid.

page 4 / 4					
19189/2021					
<b>Error Curve</b>					
Type of meter:	Coriolis meter	Customer:	Endress & Hauser Flowtec AG	DN:	25 mm
Meter no.:	RB0F7202000	Manufacturer:	Endress+Hauser	Size:	1"
Date:	2021-04-23	Gear 1:	-	p(abs):	21 bar HF 2000,00 pulses / kg
Inspector:	Görgülü	Gear 2:	-	Q max:	2800 kg/h pulses / kg
				Q min:	84 kg/h pulses / kg
					pulses / kg



付録 3 : Promass Q 呼び口径 200A ; 2400 kg/h – 70000 kg/h CH<sub>4</sub> 2 MPa 時



page 1 of 4

Calibration Certificate		
<b>Number</b>	19756/2021	
<b>Date</b>	2021-12-15	
<b>Applicant</b>	Name:	Endress+Hauser Flowtec AG
	Order no.	1005273117
<b>Meter under test</b>	Description:	Coriolis meter
	Manufacturer:	Endress+Hauser
	Type:	Promass Q
	Serial number:	TEST0002145
	Nominal size:	8"
	Range of flowrate:	2400...70000 kg/h
	Year of manufacture:	2021
	Nominal diameter of meter:	200 mm
	Nominal diameter of flange:	200 mm
	Nominal flange pressure:	ANSI 600 # RF
<b>Date of test</b>	2021-12-15	
<b>Results</b>	The results of the calibration are presented on page 3.	
<b>Test procedure</b>	PTB-Prüfregeln Band 30, Messgeräte für Gas, Hochdruckprüfung von Gaszählern Physikalisch-Technische Bundesanstalt, Braunschweig und Berlin, 2003	
<b>Test facility</b>	pigsar represents the National Standard of the Federal Republic of Germany for the unit of volume for high pressure natural gas under supervision of PTB. pigsar disseminates the harmonised values for the unit of volume for high pressure gas flow measurements of the Federal Republic of Germany, France and The Netherlands. pigsar maintains a management system according to EN ISO 17025.	
<b>Traceability</b>	The presented results of the calibration are based on the unified Dutch-French-German reference values for the unit of volume for high-pressure gas flow measurements. On June-02-1999, PTB (Physikalisch-Technische Bundesanstalt) and VSL (formerly NMI-VSL, Netherlands Measurement Institute - Van Swinden Laboratorium) and later on May-04-2004 LNE (The Laboratoire national de métrologie et d'essais) have joined the harmonization (unification) procedure and the use of these reference values, see page 2.	
	Dorsten,	2021-12-15



*Signature*

pigsar™ - Vier Gas Services GmbH & Co. KG · Hallerner Straße 125 · 46284 DORSTEN · GERMANY · www.pigsar.de · e-mail: info@pigsar.de

This calibration certificate may not be reproduced other than in full except with the permission of the issuing laboratory. Calibration certificates without signature and seal on the first page are not valid.

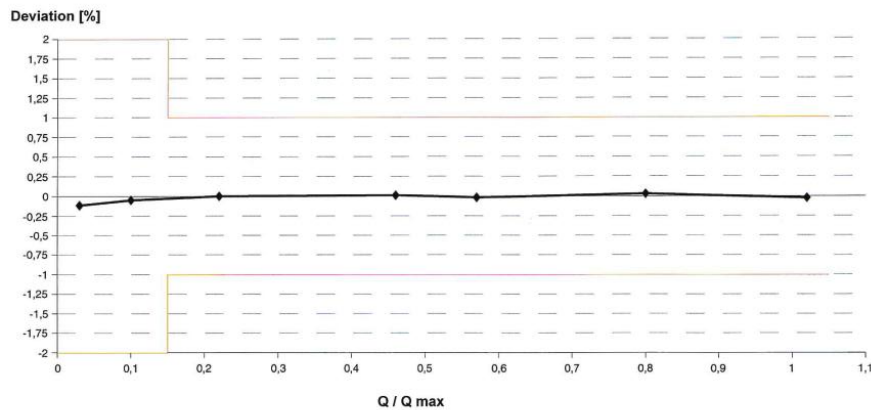


page 3 of 4

Certificate Number:		19756/2021	
Date:		2021-12-15	
<b>Applicant</b>	Endress+Hauser Flowtec AG		
<b>Meter under Test</b>	Type	Coriolis meter Promass Q	
	Manufacturer	Endress+Hauser	
	Serial number	TEST0002145	
	Nominal Size	8"	
	Year of manufacture	2021	
<b>Test Conditions</b>	Test medium	Natural gas	CO <sub>2</sub> 1,41 mole %
	Pressure, absolute	20,6 bar	H <sub>2</sub> 0,0 mole %
	Gas Temperature	20 °C	Calorific value,s 10,36 kWh/m <sup>3</sup>
	Gas density (ρ, T)	16,3 kg/m <sup>3</sup>	Density,normal 0,8299 kg/m <sup>3</sup>
	Dyn. viscosity (ρ, T)	1,15E-5 Pa s	Normal conditions (273,15 K; 101,325 kPa)
<b>Results</b>	Qi / Qmax	Qi (kg/h)	Reynoldnumber
(as left)	0,03	2426,27	0,37 *10 <sup>6</sup>
	0,10	7089,82	1,09 *10 <sup>6</sup>
	0,22	15157,84	2,33 *10 <sup>6</sup>
	0,46	32303,27	4,96 *10 <sup>6</sup>
	0,57	40249,26	6,18 *10 <sup>6</sup>
	0,80	55909,73	8,59 *10 <sup>6</sup>
	1,02	71991,80	11,06 *10 <sup>6</sup>
	Deviation (%)	n	U <sub>meter</sub> (%)
	-0,11	7	0,03
	-0,05	6	0,04
	0,00	6	0,02
	0,01	6	0,04
	-0,02	6	0,08
	0,03	7	0,14
	-0,02	8	0,12
	U <sub>tot</sub> (%)		
	0,26		
	Weighted mean error, with continuous and linear decrease of weighing factor between 0,7 Qmax and Qmax:	0 %.	
	The deviation is defined as:	$Deviation = \frac{(Indicated\ Value - Reference\ Value)}{(Reference\ Value)} \cdot 100\%$	
	where the reference volume refers to the conditions at the meter under test. The reported values of this deviation are the arithmetical means of n single repeat measurements at each flow-rate.		
	The reported total uncertainty is defined as:	$U_{tot} = \sqrt{U_{harmonized}^2 + U_{meter}^2}$	
	where U <sub>harmonized</sub> is the expanded uncertainty of the harmonized reference value, stated as the standard uncertainty of measurement multiplied by the coverage factor k=2, and U <sub>meter</sub> is the expanded standard uncertainty of the meter under test, determined on the base of n repeats at each flow-rate, multiplied by Student-t-factor (n) / n <sup>0,5</sup> , with a probability of 95%.		
<b>Remarks</b>	Security marks are applied		
	The meter had been calibrated at 20 bar and at 40 bar.		
	The results at 20 bar are presented in certificate no. 19756/2021.		
	Tested in Dorsten at pigsar, on	2021-12-15	Görgülü

This calibration certificate may not be reproduced other than in full except with the permission of the issuing laboratory. Calibration certificates without signature and seal on the first page are not valid.

Error Curve							
Type of meter:	Coriolis meter	Customer:	Endress+Hauser Flowtec AG	DN:	200 mm	p(abs):	21 bar HF 62,5000 pulses / kg
Meter no.:	TEST0002145	Manufacturer:	Endress+Hauser	Size:	8"	Q max:	70000 kg/h - pulses / kg
Date:	2021-12-15	Gear 1:	-			Q min:	2400 kg/h - pulses / kg
Inspector:	Görgülü	Gear 2:	-				- pulses / kg - pulses / kg





**DNV**  
**Test Certificate**



**Applicant:** Endress+Hauser Flowtec AG  
Christoph Merian-Ring 4  
4153 Reinach  
Switzerland

**Certificate No.:** H001  
**Page:** 1 of 2

**Meter:** Serial No.: T6040202000  
Meter type ID: Promass Q 300, DN80  
Manufacturer: Endress+Hauser Flowtec AG  
Type: Coriolis  
Build Year: 2022

**G-size:** n.a.  
**Pressure rate:** ANSI-300  
**Diameter [mm]:** 100  
**Q-min [kg/h]:** 0  
**Q-max [kg/h]:** 7836  
**P-max [bar]:** -  
**Density range [kg/m³]:** -

**Project Description:** Flowtest of E-H Coriolis on DNV hydrogen loop  
**Project No.:** 10370462

**Test method:** The deviation of the meter under test is established with the master meter method.

**Gas composition [mol%]:** H<sub>2</sub>: 99,996 N<sub>2</sub>: 0,004

**Test Date:** 2022-07-20

**Result:** The 'As Left' results of the Test are presented on page 2.

**Uncertainty:** The reported expanded uncertainty is based on the standard uncertainty of the measurement resulting in a coverage probability corresponds to 95% uncertainty. The standard uncertainty has been estimated based on known Test and estimated model uncertainties.

**Traceability:** The reference turbine meter used was calibrated at 4 pressures in ISO 17025 accredited labs. The behaviour of the turbine reference meter under hydrogen has been predicted using the PTB turbine model, described in DNV document ESNL 220127 FFA. Precaution is that the reference is not compared with other references under hydrogen flow.

**Remark:** Reference meter: 4' Elster Instromet SM-RI-X, G250, built 2014, s.n. 10520901

**Signatures:** For DNV Netherlands B.V. Groningen 2022-12-09  
Task responsible:  Peter Groeneveld  
Principal analyst:  Bertus Bergmas

**Meter:** Serial No.: T6040202000  
Meter type ID: Promass Q 300, DN80  
Manufacturer: Endress+Hauser Flowtec AG  
Type: Coriolis

**Certificate No.:** H001  
**Page:** 2 of 2

**Adjustment [%]:** no  
**FWME As Lft [%]:** 0,33

**Results:**

Rev. flow [m³/h]	MUT flow [kg/h]	Deviation [%]	CMC (95%) [%]	Std Dev. (95%) [%]	U-tot (95%) [%]	Reynolds [-]
426	1337	0.34	0.36	0.14	0.38	638583
307	962	0.34	0.36	0.03	0.36	387866
255	798	0.39	0.36	0.03	0.36	321264
212	663	0.29	0.36	0.13	0.38	267650
178	557	0.28	0.36	0.10	0.37	225427
149	466	0.27	0.36	0.10	0.37	188677

Location	Date	Medium	P [bar] abs	T [°C]	Rho [kg/m³]
Groningen	2022-07-20	Hydrogen	40,0	33,0	3,13

**Deviation:** Formula = ( IndicatedFlow / ReferenceFlow - 1 ) \* 100%

**CMC:** Test and Measurement Capability is the (95%) uncertainty that is normally available for Tests.

**U-tot:** U-tot is the total (95%) measurement uncertainty.

**Ambient conditions:** 33 ± 2 °C

**Disclaimer:** Please note that this report reflects the performance of the calibrated device only at the time of test and in the circumstances prevailing during the Test.

DNV Netherlands B.V. Energieweg 17, 9743 AN Groningen, The Netherlands. Phone: +31 50 700 97 00 www.dnv.com figroningen@dnv.com

Reproduction of the complete certificate is allowed. Parts of the certificate may only be produced with written approval of the calibration laboratory.

DNV Netherlands B.V. Energieweg 17, 9743 AN Groningen, The Netherlands. Phone: +31 50 700 97 00 www.dnv.com figroningen@dnv.com

Reproduction of the complete certificate is allowed. Parts of the certificate may only be produced with written approval of the calibration laboratory.

© DNV Netherlands B.V. | The Netherlands. | All rights reserved.  
Energieweg 17, 9743 AN Groningen | P.O. Box 2029, 9704 CA Groningen | The Netherlands.  
T +31 50 700 97 00 | Trade register 09006404

© DNV Netherlands B.V. | The Netherlands. | All rights reserved.  
Energieweg 17, 9743 AN Groningen | P.O. Box 2029, 9704 CA Groningen | The Netherlands.  
T +31 50 700 97 00 | Trade register 09006404



3015432079  
Purchase order number

N.V. Nederlandse Gasunie  
Customer

NL-3007032251-10 / Endress+Hauser Flowtec AG  
Order No./Manufacturer

Promass Q 300 3"  
Sensor/Transmitter

To040202000 / To040202000  
Serial No.

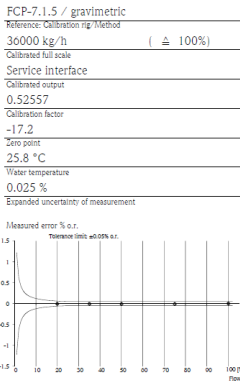
Tag No.  
New

Condition

Flow [t/h]	Flow [kg/h]	Duration [h]	m target [kg]	m meas. [kg]	Δ e.e.* [%]	Outp.** [t/h]
20.0	7104.13	75.1	149.917	149.911	-0.004	7.19
35.0	12608.4	43.0	150.576	150.571	-0.003	9.60
50.1	18030.0	50.1	251.058	251.041	-0.007	12.01
75.0	20994.9	33.5	251.559	251.541	-0.007	16.00
100.1	30621.0	35.2	351.937	351.946	0.003	20.01
-	-	-	-	-	-	-
-	-	-	-	-	-	-
-	-	-	-	-	-	-
-	-	-	-	-	-	-
-	-	-	-	-	-	-
-	-	-	-	-	-	-

\*e.e.: of reading  
\*\*maximum read (+/- 20 mA)

**Endress+Hauser**  People for Process Automation



For detailed data concerning output specifications of the unit under test, see Technical Information (TI), chapter Performance characteristics.

This calibration certificate was generated electronically. It documents the traceability to national standards, which realize the physical units of measurements (SI).

The reported expanded uncertainty of measurement is stated as the standard uncertainty of measurement multiplied by the coverage factor k=2, which for a normal distribution corresponds to a coverage probability of approx. 95%. The expanded uncertainty of measurement includes uncertainty components of the reference, the calibration method, the environment and of the device under test. A typical value is used for the uncertainty component of the device under test. The reported results of measurement are single measurements.

15.06.2022  
Date of calibration

M. Mancuso  
Operator

Phuong Le  
Head

Endress+Hauser Flowtec AG  
Kägenstrasse 7  
CH-4153 Reinach

[www.addresses.endress.com](http://www.addresses.endress.com)

---