

**NMIJ流量計測クラブ
次世代エネルギーのための
流量計測ワーキンググループ
報告**

**計量標準総合センター
工学計測標準研究部門 液体流量標準研究グループ長
古市紀之**

【第1回WG】

- 開催日：2017年4月20日（木）
- トピック：高温流体における流量計測

【第2回WG】

- 開催日：2017年10月5日（木）
- トピック：混相流（気液二相流）における流量計測

【第3回WG】

- 開催日：2018年4月26日（木）
- トピック：蒸気流における流量計測

【第4回WG】

- 開催日：2019年5月16日（木）
- トピック：脈動のある流れ場における流量計測

【第5回WG】

- 開催日：2019年10月16日（木）
- トピック：流量計の過渡応答に対する評価方法について

【第6回WG】

- 開催日：2023年2月10日（金）
- トピック：流量計の過渡応答に対する評価方法のISO化について

テーマ名	液体用流量計における時間変動流量の計測・評価方法に関する国際標準化
予定事業期間	令和2年度～令和4年度
開発する規格の概要	変動のある流量に対する流量計の過渡応答性（動特性の評価）を定義する手法を規格化する。(i) 変動流に対応した秤量法または体積法による評価技術、(ii) 流速分布計測を元にした流量計測技術、(iii) 応答性が保証された流量計による比較、の3種類による流量計の応答性の評価方法を標準化する。
事業概要	流量計または流量計の評価技術における液体流量計測における精度とは、一般的には時間変動の無い一定の流量となっていることを仮定した流れ場において指示される流量値に対するものである。しかしながら、実流動場において変動のない流れ場は存在せず、何らかの時間的な変動が必ずある。これまでISOにおいては、変動流量に対する流量計の応答性の「評価方法」を定義する標準は存在せず、流量計の応答性は各流量計メーカー独自の調査によるものであり、また、この値が仕様書等に明示されている例はほとんどない。流量計測は目に見えるものではないため、変動流量計測における精度を要求するユーザーにとっては、必要な精度を本当に確保できているのかどうかは分からない状況にある。本提案においては、このような変動のある流量に対する流量計の過渡応答性（動特性の評価）を定義する手法を規格化する。
波及効果	本提案は、瞬時の流量をどの程度まで正確に計測され得るかどうかを、同一の条件下において明確化するものである。標準化により一律に流量計の過渡応答性を評価することができるようになれば、新たな流量計選定の指標ができることになり、ユーザーに対する大きな貢献が期待される。主に、流量計メーカーによる流量計の過渡応答性に対する評価軸として活用されることが期待される。本標準に対する裾野は広く、本標準の採用による産業・社会への変化について、一義的に述べることはできないが、例えば、薬品や食品製造等においては、バッチ処理に対して、流量計の応答性に応じた管理が可能となり、より効率的な製品製造ができるようになることが期待される。その結果として、効率的な運用による省エネや低コスト化への貢献が期待できる。また、プラント等において流量計の過渡応答性が明確になることは、そのプラントの安全管理等に対する寄与も期待できる。この中でも、自動車のエンジンテストベンチに用いられる燃費計測用の流量計の応答性評価への寄与は大きい。断続的な燃料噴射における変動流における精度は、現時点では一定流量条件によってのみ行うことができる。本提案によって流量計の応答性が確認できることは、瞬時の流量に対する精度を保証できることを意味し、燃費性能に対する精度向上が期待され、ひいては燃費向上への発展性や燃費性能を提示することに対する社会的安心性の向上が期待される。このように、本事業においては、我が国計量機器業界の販路拡大による産業競争力の向上と、自動車、半導体、食品加工、プラント工場等の広範な産業分野におけるユーザー企業の生産性向上に寄与することが期待される。
全体事業計画 (3年間)	<p>《令和2年度》 当該年度開始時：A 研究開発段階 目標：B 規格原案たたき台作成段階 ■実施内容：①変動流における流量の評価方法を確立し、各種流量計の過渡応答性に関する試験およびデータ収集を行う。評価方法は、秤量法、体積法と、超音波ドップラーを用いた方法を対象とする。②試験結果をもとにし、国際的整合を得るための比較試験の手法について検討を行い、1月以降において独PTBとの間にて比較試験を実施する。③国内における組織委員会を開催し、国際標準に対する素案の検討を開始する。④エキスパート登録の可能性がある国における国際標準関係者との打ち合わせを行う。令和2年度の実績値は「B 規格原案たたき台作成段階」である。</p> <p>《令和3年度》 当該年度開始時：B 規格原案たたき台作成段階 目標：C 提案用規格原案作成段階 ■実施内容：①変動流量における参照流量を付与する計測手法を国際規格として対応できるように確立するための試験を実施する。②変動流の発生方法について国際規格として対応できるシステムとして確立するための試験および計算を実施する。③国内における組織委員会を開催し、試験結果や国際的な活動を反映し、国際標準案を作成する。④国際調整を行い、新規国際規格の提案に向けての準備を行う。令和3年度の実績値は「B 規格原案たたき台作成段階」である。</p> <p>《令和4年度》 当該年度開始時：B 規格原案たたき台作成段階 目標：10.60 ■実施内容：①国際的整合性を確立するための比較試験を実施する。②国際標準原案を作成し、NP提案を行う。③必要に応じて、ISO/TC30ミーティング、もしくはエキスパート登録の可能性がある国への働きかけを引き続き行う。</p>
KPI	本事業におけるKPIの指標として、流量計のJCSS校正件数を仮置きする。本事業においては、流量計の応答性についての評価方法であり従来の平均流量に対する評価方法ではないが、現在JCSSにおいて使用されているシステムを用いた校正方法に、変動流発生法を追加し、同じシステムでJCSS校正もしくは同等の検査をできるように案の作成を進めている。そのため、本事業による国際標準化にあたり、JCSS校正件数をKPIとすることで、その妥当性の検証を行うこととする。

- 変動流量の定義は無い。ただし、プラント等の通常の管内流において流量が変動していない場は無く、それを評価する技術が求められている。例) 自動車における燃費計測、ロケットエンジンの性能評価等
- 各種流量計測規格において、変動流への応答性についての記述はほぼ皆無。そもそも流量の変動する様相について定義することが難しいので、どのような応答性が求められるか不明。



- **変動流量に対する応答性評価の指標を作るために、**
 - 標準となる変動流量場の構築
 - 変動流量を評価する手法の構築
- **変動発生点と実計測場における変動様相の相違**

Metrology for real-world domestic water metering

Short Name: Metrowamet, Project Number: 17IND13



Row of water meters of cold and hot water on the wall background

COORDINATOR

Corinna Kroner (PTB)

Characterising water meters in real-world conditions to improve their accuracy

Growing pollution levels and depleting resources mean that the world's water increasingly needs to be conserved. In urban areas around Europe, this is aided by water meters. Germany alone has 45 million water meters installed, and across the whole of Europe they represent a production value of almost €1 billion. It's expected that smart meters will help to accelerate uptake further, giving consumers convenient access to leakage detection and information about their water usage. However, achieving the sensitivity required for these devices remains a challenge and there is an outstanding need to characterise meters in real-world environments. This project will assess domestic water meters under realistic operation conditions, including typical water qualities (suspended particles, hardness, and pH), dynamic load changes, and general wear and tear. This will improve the accuracy of water consumption measurements and extend meter life, establishing their economic viability. In doing so, this should save consumers' money and ultimately contribute to Europe's pressing need to decrease its water consumption.

EURAMET Project : SRT-i13

題目 : Metrology for real-world domestic water metering

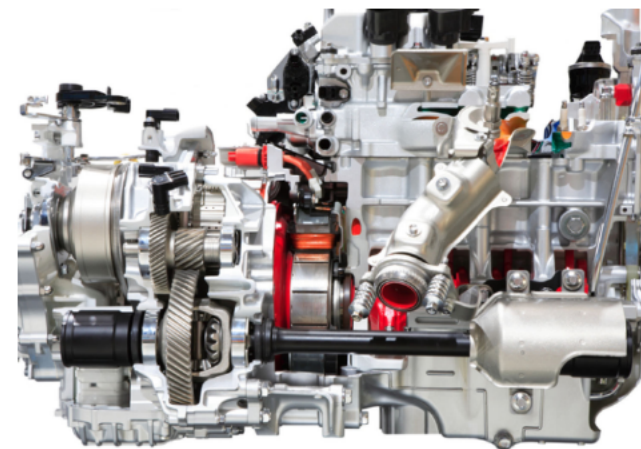
期間 : 2017 – 2020

金額 : 1.5M€ ~ 1.8M€

参加メンバー : PTB, DVGW & TZW (DE), BEV (AT), Force & DTI (DK), CMI (CZ), NEL (UK), RISE (S), UME (TR), VTT (FIN), CETIAT (F), University of Salerno (IT)

- ❑ 水道メータに関して実際の変動場を模擬する装置および変動プロファイルを設定
- ❑ 国際比較を実施

https://www.euramet.org/research-innovation/search-research-projects/details/project/metrology-for-real-world-domestic-water-metering/?L=0&tx_eurametctp_project%5Baction%5D=show&tx_eurametctp_project%5Bcontroller%5D=Project&cHash=cdb4e9930ce35a301df3877045d2abf0



Car engine on white background



EURAMET Project : SRT-i27

題目 : Sustainable advanced flow meter calibration for the transport sector

期間 : 2021 – 2024

参加メンバー : PTB, INRIM (Italy), MIKES (Finland), RISE (Sweden), UME (Türkiye), 他

- ❑ 2022 – の現在進行中のプロジェクト
- ❑ 自動車や船舶等におけるエンジンの変動流に対する評価方法の確立
- ❑ 産総研はオブザーバ参加

https://www.euramet.org/research-innovation/search-research-projects/details/project/sustainable-advanced-flow-meter-calibration-for-the-transport-sector/?L=0&tx_eurametctcp_project%5Baction%5D=show&tx_eurametctcp_project%5Bcontroller%5D=Project&cHash=614309ecb528a87b90430b6349aba53e

COORDINATOR Corinna Kroner (PTB)

Supporting innovation for timely adoption of alternative transport fuels

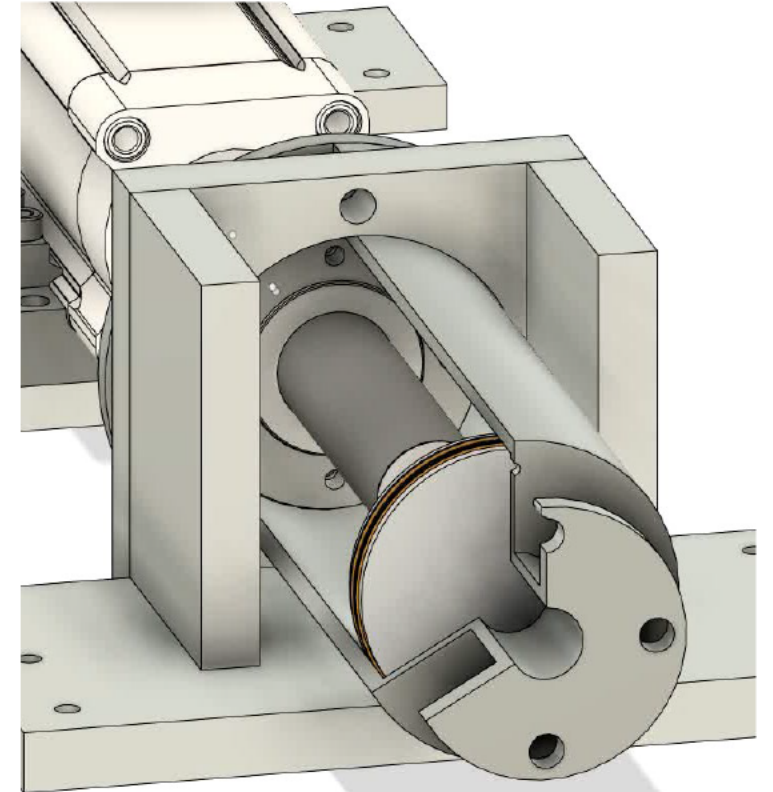
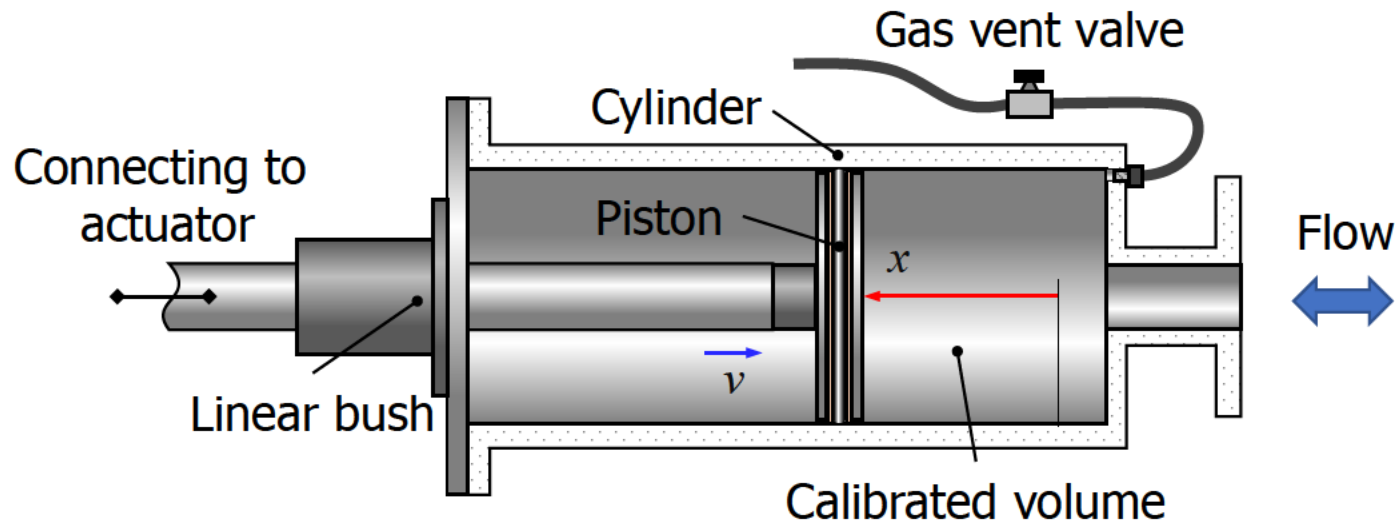
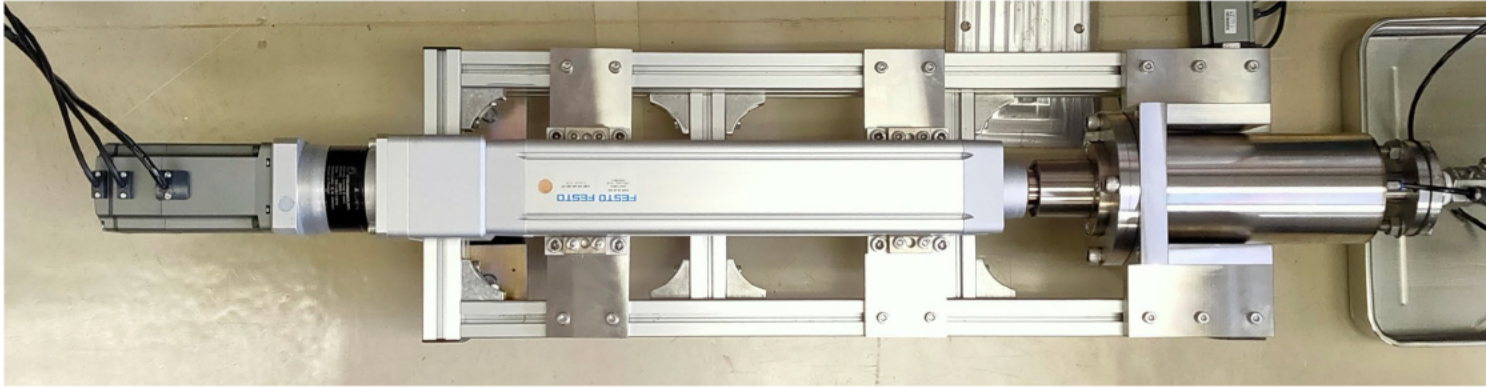
Even as the transport sector transitions to zero-carbon propulsion, innovation in combustion engine technologies remains important, for example to support compliance with emissions standards for heavy-duty vehicles and Emission Control Areas for shipping. Use of alternative fuels may help these efforts, but any new fuel imposes significant engine development costs. Performance will be influenced by fuel properties, so engine development requires knowledge of fuel properties. For example, consumption measurements depend on the quality of fuel flow measurement, which, in turn, depends on the accuracy of flow meters.

However, there is currently little insight into how flow meters perform in real-world conditions: fuel flow measurements are calibrated at steady flow rates without considering environmental influences.

The project will provide foundations for advanced flow metrology, including for evaluating flow meter and systems accuracy for measurements of vehicle fuel consumption. Test rigs capable of generating and measuring dynamic flow changes will be set up, and the developed metrology evaluated in an inter-comparison. Protocols for a dynamic test regime will be developed and proposed to standardisation bodies, and guidelines for evaluations of flow meters in real-world operating conditions produced. New metrology will also be developed for measuring consumption of biodiesel, methanol or synthetic fuels in the maritime sector, in more representative test conditions.

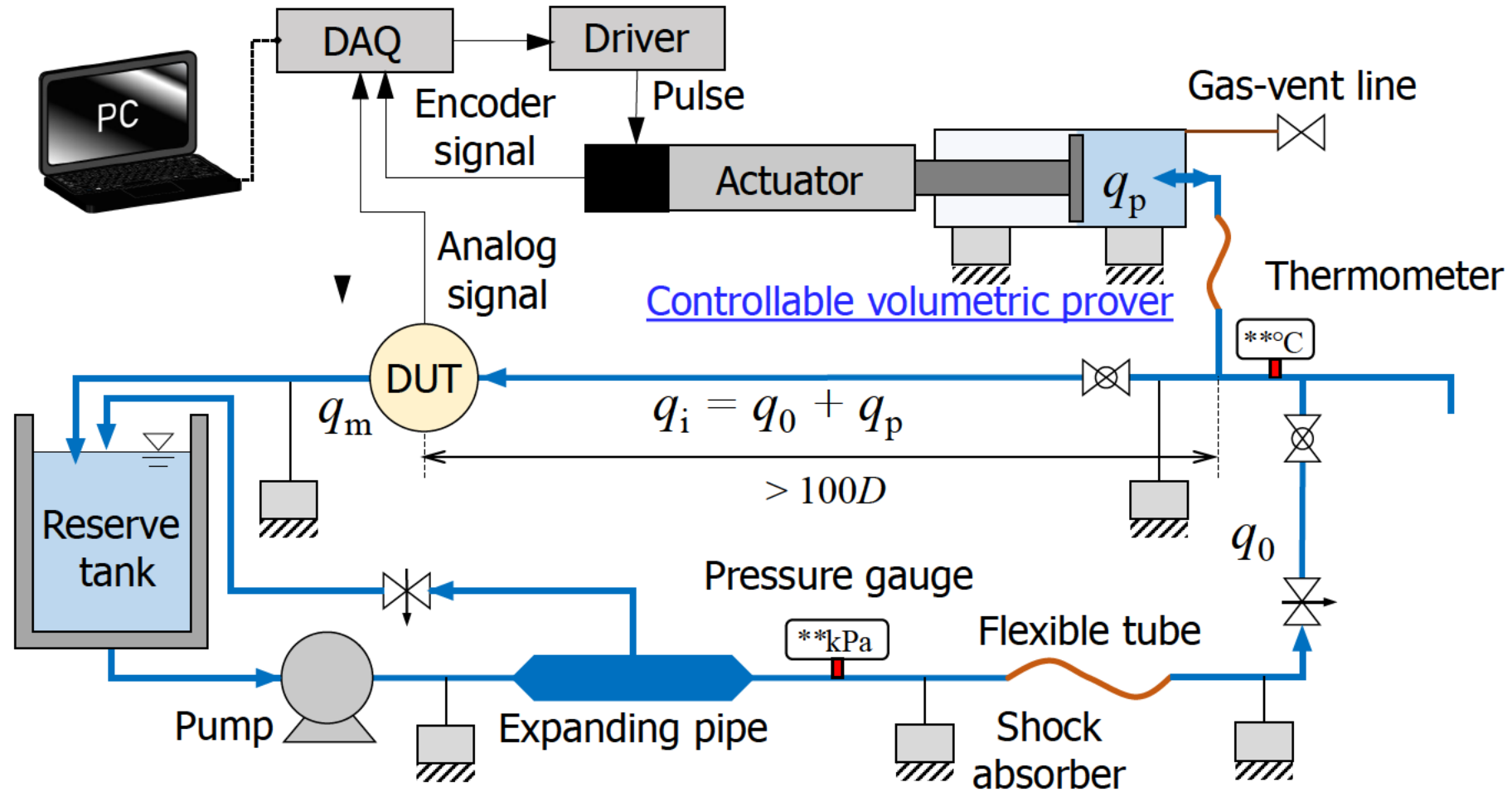
The developed metrology will enable flow meters to be characterised at close-to-operational conditions. The resulting improved understanding of the influence of fuel properties on flow measurement will contribute to improved emissions calculations, so vehicle manufacturers, freight operators, ship owners, and regulatory authorities can be supported in efforts to comply with emission standards.

可制御容積型プルーバ (CVP) 装置の概要



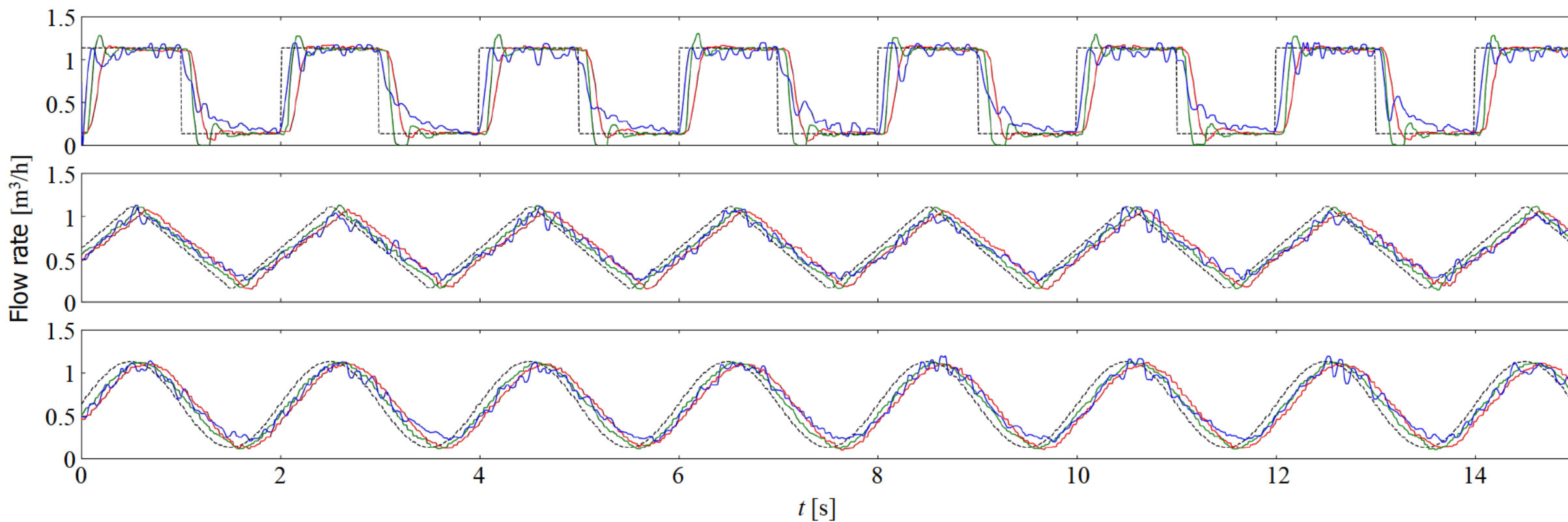
Max. pressure: 1.3 Mpa
Flow rate: 4 m³/h (1 L/s)

実験装置

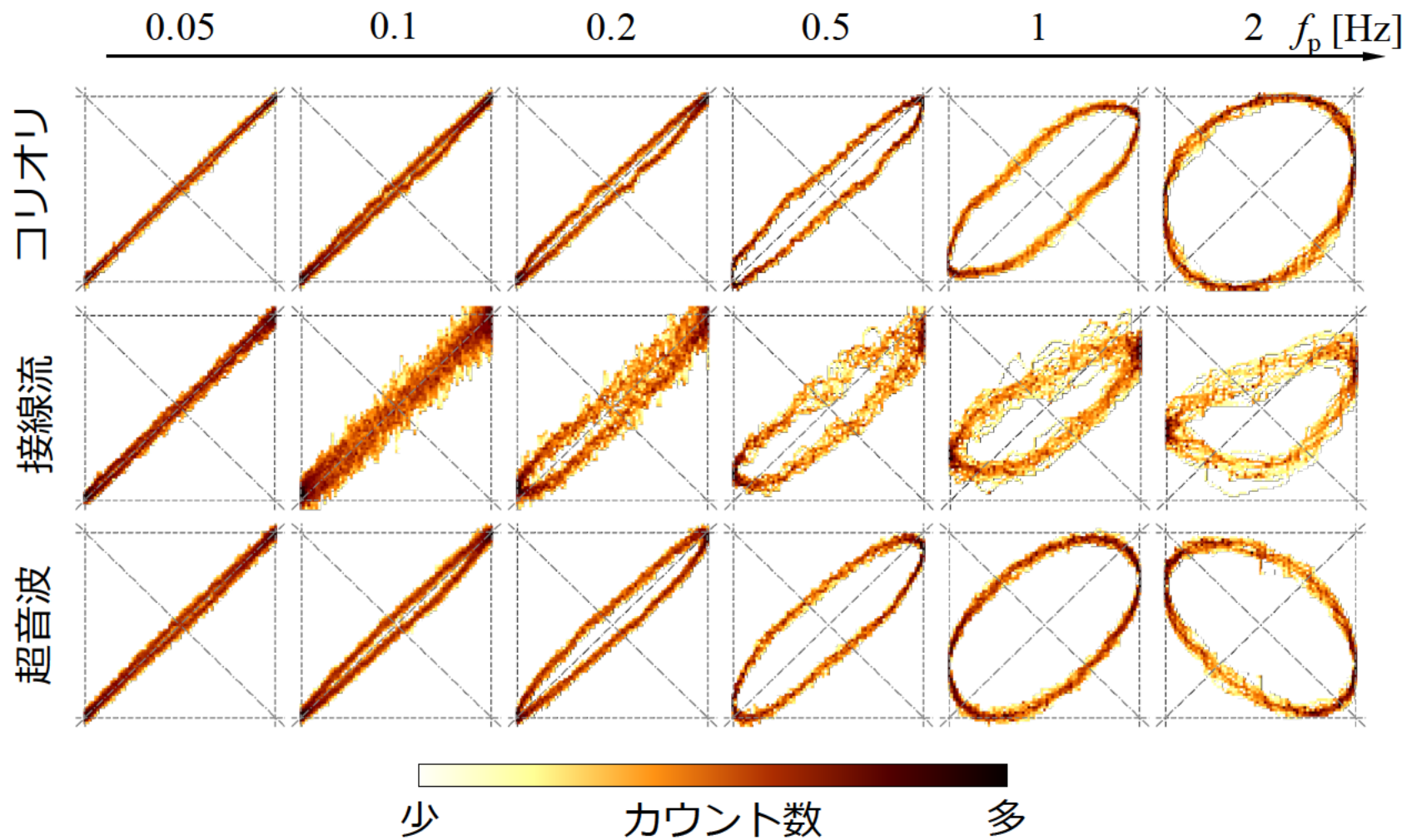
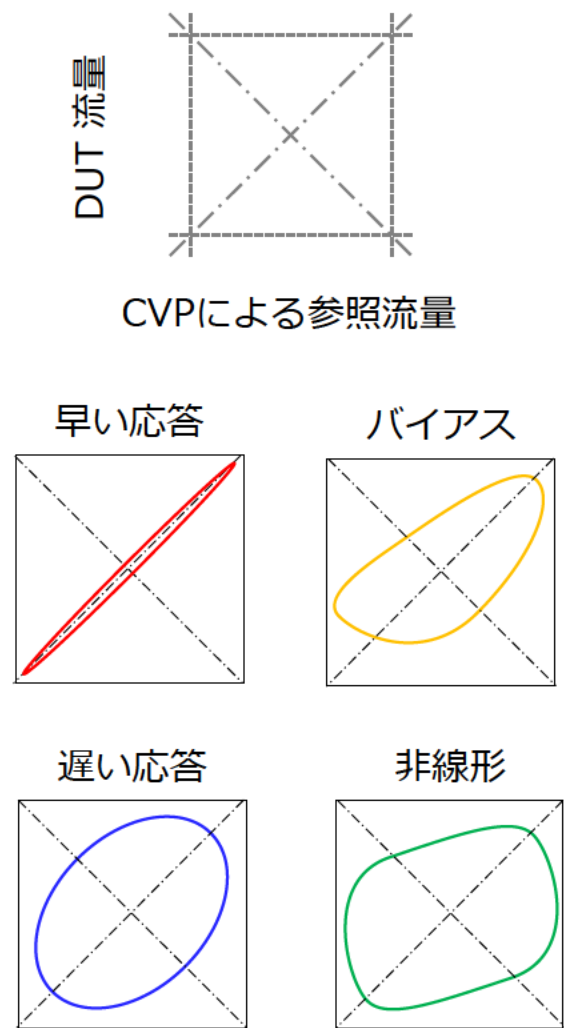


周期関数波形入力時の各流量計による流量計測結果

..... CVP — コリオリ流量計 — 接線流式流量計 — 超音波流量計

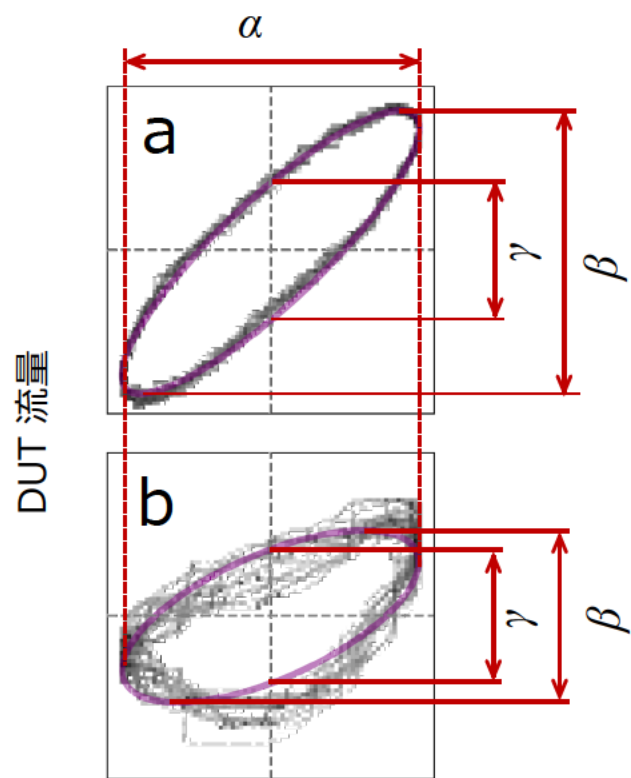


リサージュ曲線による表現



リサージュ曲線形状に基づく応答性の定量化

— 一次楕円フーリエ近似

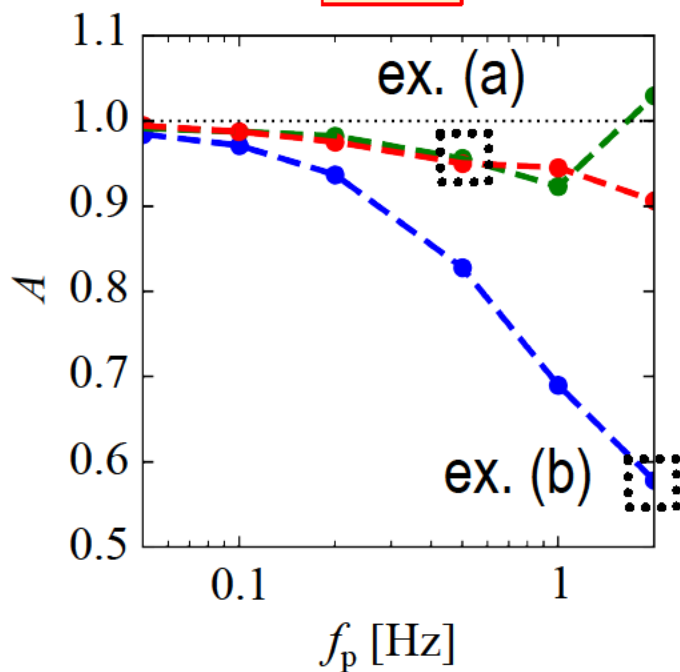


DUT 流量

CVPによる参照流量

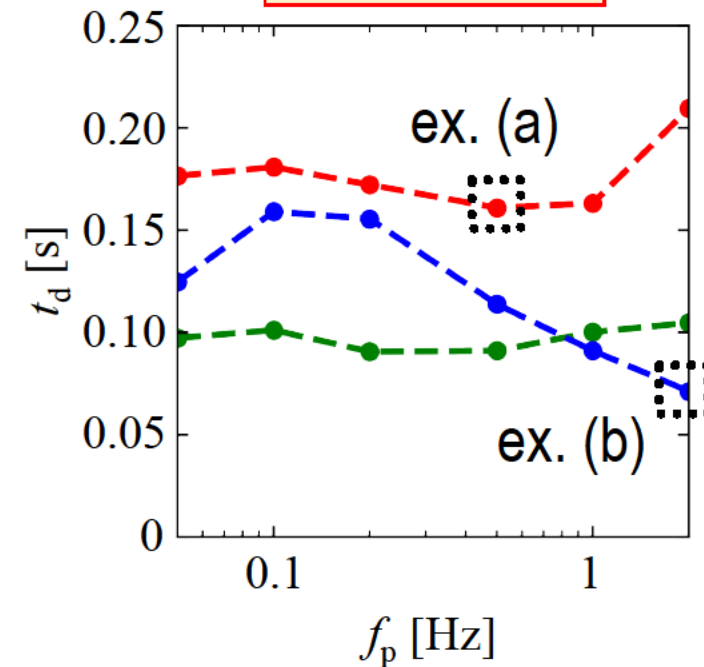
振幅比

$$A = \frac{\beta}{\alpha}$$



時定数

$$t_d = \frac{1}{2\pi f_p} \sin^{-1} \frac{\gamma}{\beta}$$



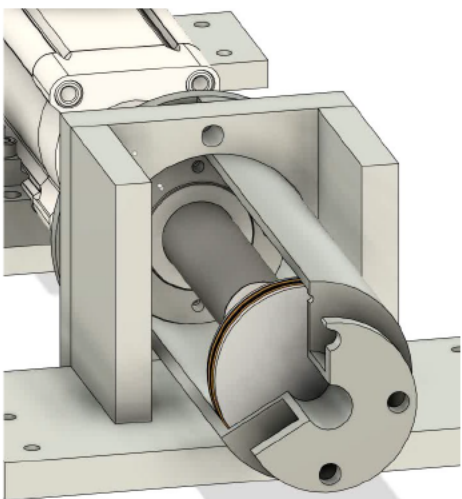
---●--- コリオリ

---●--- 接線流式

---●--- 超音波

まとめと展望

- * 流量計応答性評価のためのCVP設計・開発
- * いくつかの解析方法を確立し，応答性能の定量化
 - > 「応答性の不確かさ」はどの要因が支配的か？
 - > ISOに向けて，評価装置・手順・結果の解釈の体系化



入力波形

矩形波

三角波

正弦波

疑似インパルス

実波形

データ処理

リサージュ曲線

アンサンブル平均

解析方法

周波数
スペクトル
解析

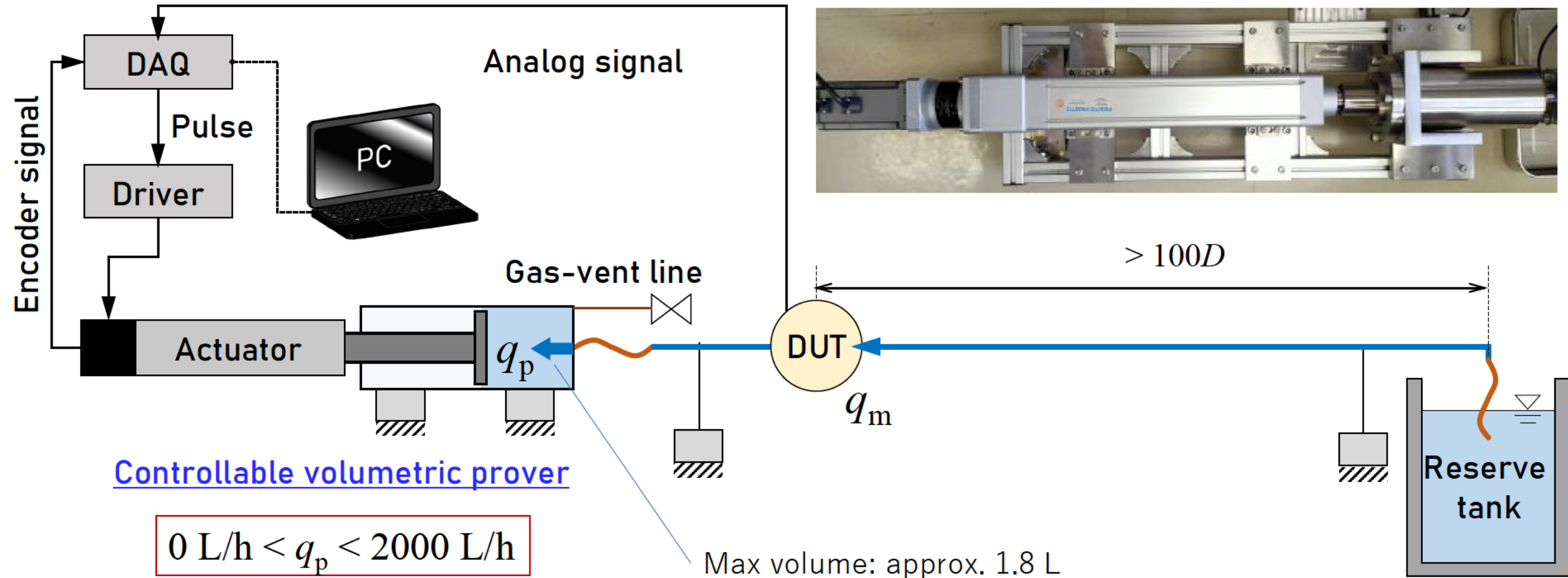
楕円フーリエ
解析

過渡応答
関数近似解析

累積誤差
解析

相互相関解析

実波形入力実験 . . . ドイツ国立理工学研究所(PTB)との連携



自動車燃料の流量を模擬した変動波形

使用した流量計

Coriolis mass flowmeter

Endress+Hauser

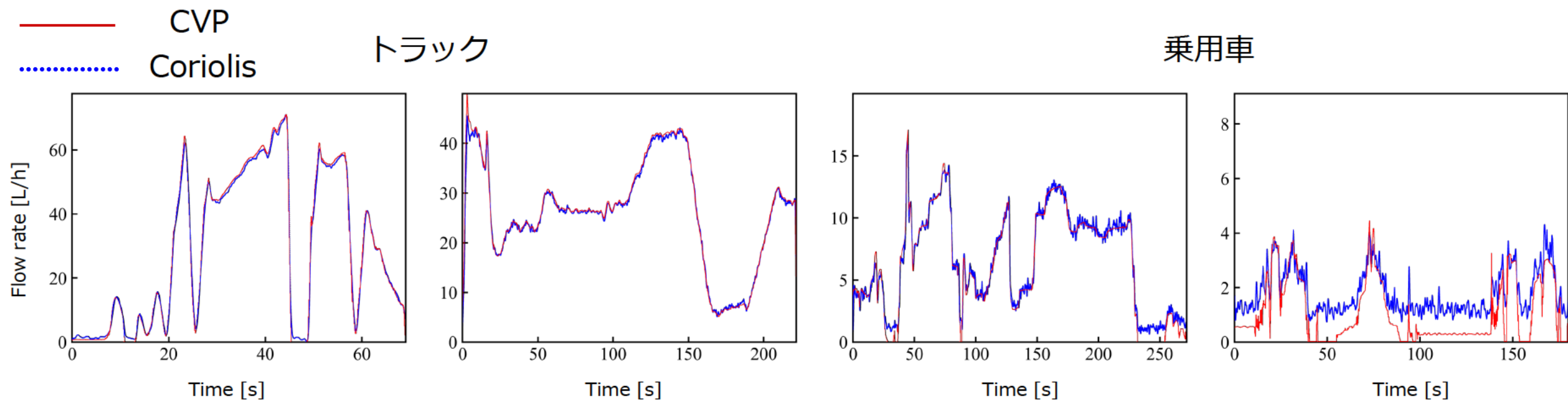
Promass 83F15

Current output mode: 0-20 mA (from 0 L/h to 100 L/h)

Low cutoff function stopped

Time constant: 0.01 s

Symmetry mode: Output negative flow rate symmetrically



タイトル	内容
1. Scope	
2. Normative references	
3. Terms and definitions	
4. Target of flow meter and flow field	本節においては、対象となる流量計、流量や口径、流体といった本国際標準において適応可能な条件を示す。
4.1 Type of testing flow meters	対称となる流量計の種別
4.2 Diameter of testing flow meter	被試験流量計の直径
4.3 Type of fluid	流体種類
5. Definitions of transient flow rate	本節においては、流量計の応答性を評価するための指標に対する定義を示す。
5.1 Dynamic response time	流量がステップ変化した際の応答性評価に対する定義。
5.2 Pulsation responsibility	流量がサイン波上に变化した際の応答性評価に対する定義。遅れ時間、周波数応答性、振幅応答性に対する評価指標の定義。
5.3 Response error	変動流量場における瞬時および平均に対する流量計の精度に対する定義。リサージュ図による計測精度に関する定義。
6. Flow pattern and examination setting	本章においては変動流の種類とその要求事項、また試験設備の例とその要求事項を示す。
6.1 Step flow	ステップ流の定義と配管レイアウト例
6.2 Pulsating flow / Sin flow	パルス流の定義とレイアウト例
6.3 Triangle flow	三角波流の定義とレイアウト例
6.4 Long period pattern	長期間における変動流に対する定義
7. References	本章においては被試験流量計を評価するための参照流量計測システムまたは設備に対する要求事項を示す。
7.1 Reference flow metering system	参照流量計測システム（動的秤量法、体積法、流速分布計測法、比較法）
7.2 Monitoring of motions	バルブ開度またはシリンダーの作動状態のモニタリング。
8. Testing procedure	本章においては、6章と7章の組み合わせによる、5章に定義された評価指標に対する試験方法を示す。
8.1 Combinations between flow pattern and reference flow rate	フローパターンと参照流量計測の組み合わせ
8.2 Dynamic response time	動的応答時間に対する試験方法
8.3 Pulsation responsibility	周波数応答性に対する試験方法
8.4 Response error	精度に関する試験方法
9. Uncertainty	不確かさについて示す。
10. Reporting	結果の報告方法について示す。

- ❑ Strategy 2017-2027, Consultative Committee for Mass and Related Quantities (CCM), *BIPM Publications* (2019).
- ❑ Schumann, D., Kroner, C., Unsal, B., Haack, S., Kondrup J.B., Christophersen, N., Benková, M., Knotek, S., Measurements of water consumption for the development of new test regimes for domestic water meters, *Flow Meas. Instrum.*, 79 (2021), 101963.
- ❑ Büker, O., Stolt, K., Lindström, K., Wennergren, P., Penttinen, O., Mattiasson, K., A unique test facility for calibration of domestic flow meters under dynamic flow conditions, *Flow Meas. Instrum.*, 79 (2021) 101934.
- ❑ **Furuichi N., Cheong, KH., Yoshida, T., Experimental study to establish an evaluating method for the responsiveness of liquid flowmeters to transient flow rates, *Flow Meas. Instrum.*, 82 (2021), 102067**
- ❑ Warnecke, H., Kroner, C., Ogheard, F., Kondrup, J.B., Christoffersen, N., Benková, M., Büker, O., Haack, S., Huovinen, M., Ünsal, B., New metrological capabilities for measurements of dynamic liquid flows, *Metrologia*, 59 (2022), 025007
- ❑ **Yoshida, T., Furuichi N., Development of controllable volumetric prover for evaluating responsiveness of flowmeter under controlled-transient flows, *Measurement*, 208 (2023), 112456**
- ❑ **Yoshida, T., Furuichi N., Efficacy assessment of controllable volumetric prover for quantifying the responsiveness of various flowmeters, *Measurement*, 220 (2023), 113369**