

令和 6 年 5 月 4 日現在

機関番号：13901

研究種目：基盤研究(C)（一般）

研究期間：2021～2023

課題番号：21K03852

研究課題名（和文）気液二相流の各相流量の同時測定のための電源自立型IoT流量計の開発

研究課題名（英文）Development of a power-independent IoT flowmeter for simultaneous measurement of each phase flowrate of gas-liquid two-phase mixtures

研究代表者

内山 知実（Uchiyama, Tomomi）

名古屋大学・未来材料・システム研究所・教授

研究者番号：90193911

交付決定額（研究期間全体）：（直接経費） 3,200,000円

研究成果の概要（和文）：円管内の気液二相流を気相と液相に分離することなく、気相流量 $Q_g$ と液相流量 $Q_l$ を同時に同定できる方法を開発した。タービン流量計、およびその上流と下流の円管に接続された圧力計を用いる方法である。ロータの回転数と圧力差（圧力損失）を測定することにより、二相流全体の流量 $Q_{tp}$ （ $= Q_g + Q_l$ ）と気相体積流量比（ $= Q_g/Q_{tp}$ ）が求められる。 $Q_g$ および $Q_l$ の値は、それぞれ $Q_{tp}$ および $(1 - \text{比})Q_{tp}$ として計算される。 $Q_{tp}$ 、 $Q_g$ および $Q_l$ に関する測定精度を評価したところ、それぞれ3.1%、4.8%、3.9%および3%であり、既存の測定法と同等以上であることが判明した。

研究成果の学術的意義や社会的意義

円管内で気体と液体が混在して相互作用を及ぼし合いながら流れる気液二相流は、熱交換装置や反応装置など、様々な工業装置の内部で頻りに観察される。このため、装置の動作を精密に監視・制御するうえで、気液二相流の流量測定が重要な技術となっている。とくに、気相と液相を分離することなく各相の流量を同時かつ高精度に測定できる方法の確立が切望されている。本研究では、タービン流量計と圧力センサを用いて気液二相流の各相を同時に測定できる方法を確立した。その精度は既存の技術と同程度以上であることを確認し、工業装置への実装が可能である能力をもつことも確認できた。

研究成果の概要（英文）：This study presents a method that can simultaneously measure the volumetric flowrates of each phase of gas and liquid two-phase mixtures,  $Q_g$  and  $Q_l$ , respectively, without separating the phases. The method employs a turbine flowmeter and two pressure sensors connected to the pipes upstream and downstream of the turbine flowmeter. By measuring the rotational speed of the rotor and the pressure loss across the flowmeter, the flowrate of the two-phase mixtures  $Q_{tp}$  ( $= Q_g + Q_l$ ) and the gas volumetric flowrate ratio ( $= Q_g/Q_{tp}$ ) are determined. The values of  $Q_g$  and  $Q_l$  are calculated as  $Q_{tp}$  and  $(1 - \text{比})Q_{tp}$ , respectively. This study also investigates the measurement accuracies, concluding that the full-scale accuracies of  $Q_{tp}$ ,  $Q_g$ , and  $Q_l$  are 3.1%, 4.8%, 3.9%, and 3%, respectively. These accuracies demonstrate that the proposed method is a viable solution for the determination of phase-specific flowrates in gas-liquid two-phase mixtures.

研究分野：流体工学

キーワード：気液二相流 タービン流量計

様式 C - 19、F - 19 - 1、Z - 19 (共通)

1. 研究開始当初の背景

円管内で気体と液体が混在して相互作用を及ぼし合いながら流れる気液二相流は、様々な工業装置の内部で頻りに観察される。このため、装置の動作を精密に監視・制御するうえで、気相と液相を分離することなく各相の流量を同時かつ高精度に測定できる方法の確立が切望されている。

水単相流に対して実績があるタービン流量計に着目し、その前後に圧力センサを接続する方法を着想し、ロータ回転数と圧力差(圧力損失)を測定し、その特徴量をデータベースとして用意しておけば、各相流量を同時に高精度で同定できるのではないかと着想した。また、タービン流量計で創出した電力で IoT 機器を動作させ、インターネット上のサーバーに流量データをアップロードできれば、実装時の付加価値を高められるものと考えた。

2. 研究の目的

本研究の最終目的は、以下の2項目である。

- (1) タービン流量計を用いた、気液二相流の各相流量の同時測定法の開発
- (2) タービン流量計で創出した電力で駆動する IoT 装置による、サーバーへの流量データのアップロード機能の実装

3. 研究の方法

独自に設計したタービン流量計の立体断面図を図1に示す。ロータが中心軸上に内蔵され、2個のベアリングで支持されている。ロータは4枚の羽根をもつ。ロータの口径は30mmである。ロータは、外周に14個のネオジム磁石が埋め込まれ、ステータコアで囲まれている。よって、このタービン流量計は、三相交流発電装置でもある。

タービン流量計の30mm上流と75mm下流の円管に圧力センサを接続し、圧力差(圧力損失)を測定する。ロータの回転数  $N$  と圧力差  $p_{tp}$  を求めた。

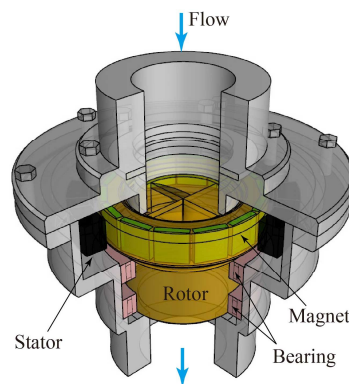


図1 タービン流量計

4. 研究成果

気液二相流の気相流量  $Q_g$  および液相流量  $Q_l$  をそれぞれ熱式流量計および電磁流量計で測定した。各測定値を  $Q_{g0}$  および  $Q_{l0}$  とする。また、これらの測定値から定まる二相流体の流量  $Q_{g0} + Q_{l0}$  を  $Q_{tp0}$  とし、気相体積流量比  $Q_{g0}/Q_{tp0}$  を  $\beta$  とする。

二相流体の流量  $Q_{tp}$  ( $= Q_g + Q_l$ ) に対してロータ回転数  $N$  を示すと図2のようになる。ただし、気相体積流量比 ( $= Q_g/Q_{tp}$ ) が  $0.01 \leq \beta \leq 0.1$  の結果が併記してある。 $N$  は  $Q_{tp}$  の増加につれて線形に増大する。 $N$  と  $Q_{tp}$  の関係は、 $\beta = 0.1$  の場合を除き、 $\beta$  にほとんど依存しない。すべての測定結果について、 $N$  を  $Q_{tp}$  の一次関数で近似すると実線のようにになる。この近似直線は、破線で示す水単相流時 ( $\beta = 0$ ) の関係とほぼ一致する。 $N$  を測定すれば、 $Q_{tp}$  を求められることが判る。

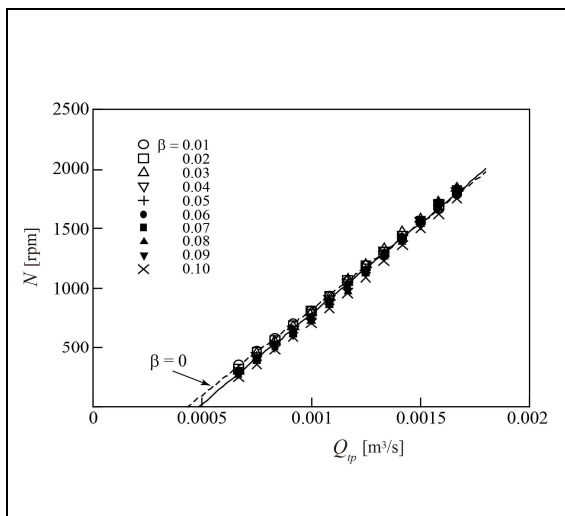


図2 二相流流量  $Q_{tp}$  とロータ回転数  $N$

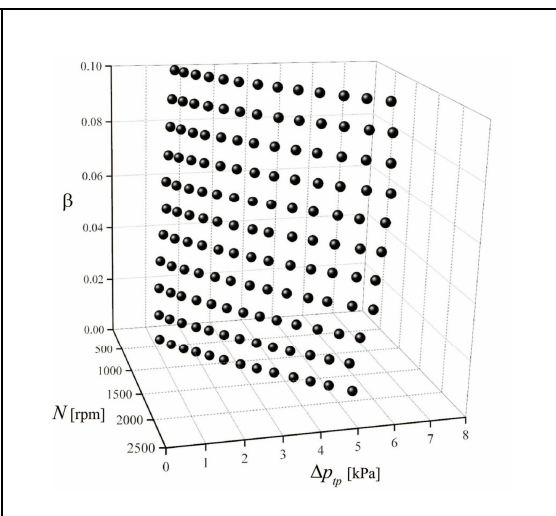


図3  $N$ ,  $p_{tp}$  および  $\beta$  の関係

図3は、 $N$ 、 $\beta_{tp}$ および $\beta$ の関係を示す。 $\beta$ の値は、 $N$ と $\beta_{tp}$ から一意に定まることを確認できる。

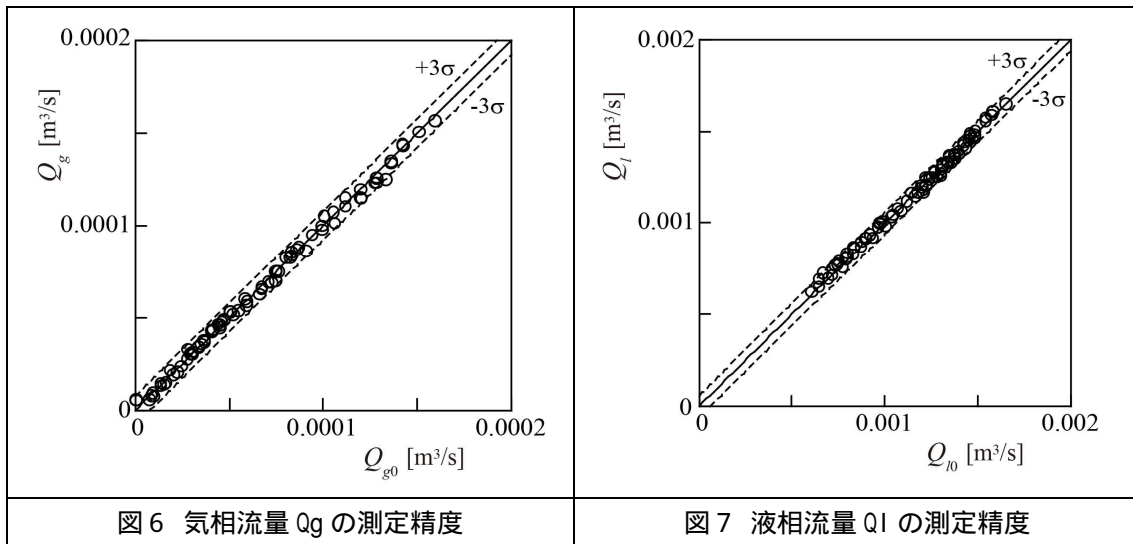
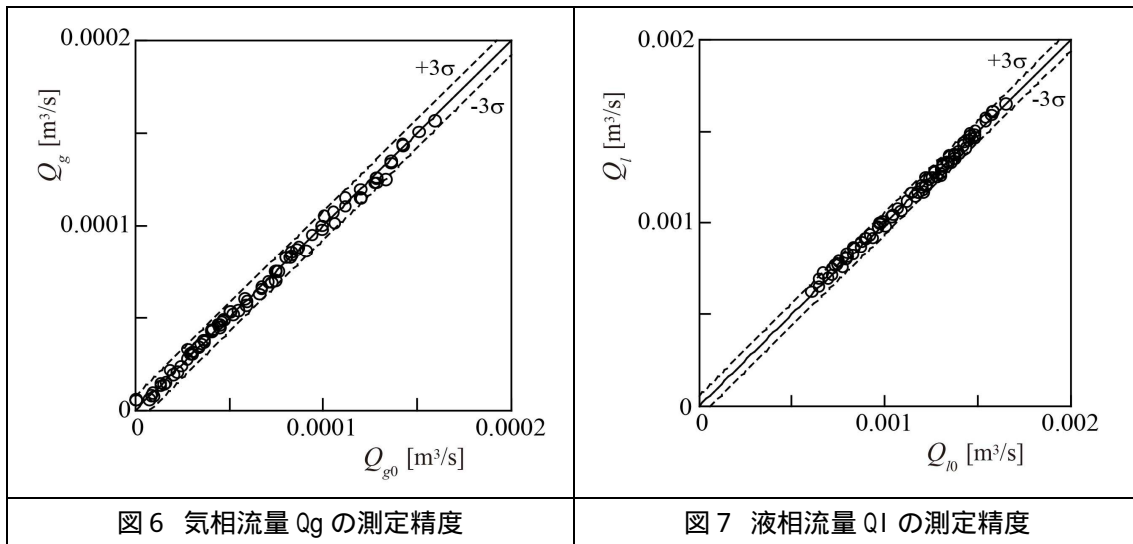
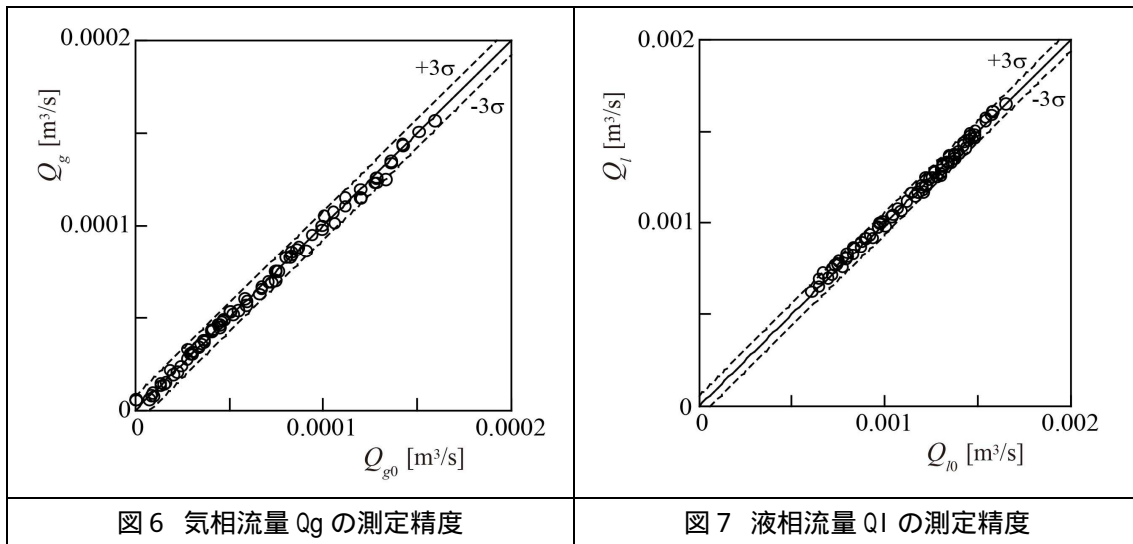
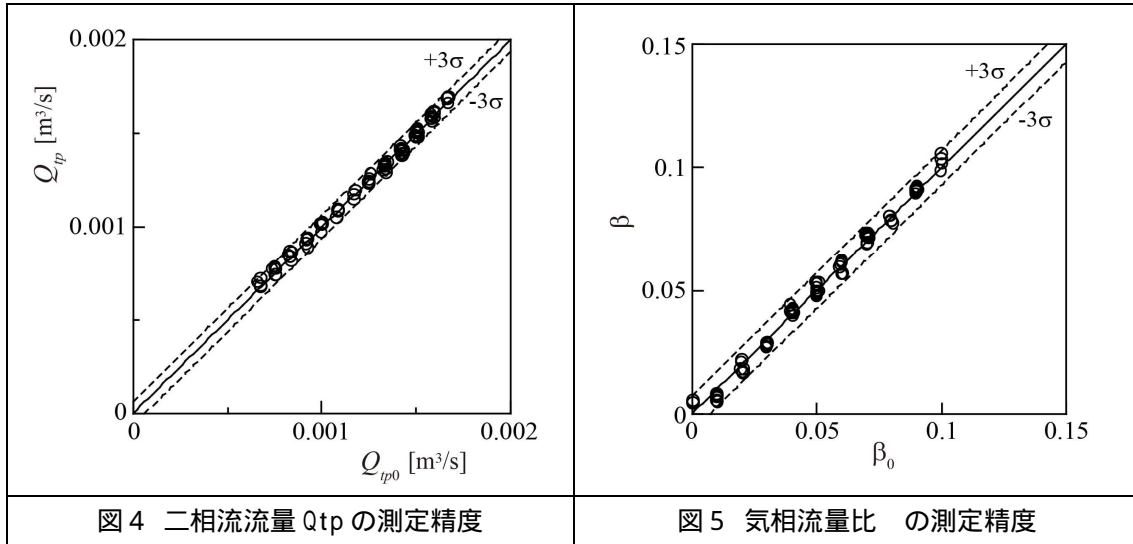
$N$ を測定し、図2を用いて $Q_{tp}$ を求めた。 $Q_{tp}$ と $Q_{tp0}$ の関係を図4に示す。誤差の標準偏差を計算し、 $\pm 3\sigma$ の値を示すと破線のようなになる。フルスケール精度は3.1%である。

$N$ と $\beta_{tp}$ を測定し、図3を用いて $\beta$ を同定した。 $\beta$ と $\beta_0$ の関係を図5に示す。 $\beta$ の値はフルスケール精度4.8%である。

求めた $Q_{tp}$ と $\beta$ を用いて $Q_g (= \beta Q_{tp})$ を計算した。 $Q_g$ と $Q_{g0}$ の関係を図6に示す。フルスケール精度3.9%である。

図7は、液相流量 $Q_l [= (1 - \beta)Q_{tp}]$ の誤差を示す。フルスケール精度3%である。

上述の測定精度は、既存の測定方法と同等以上である。したがって、本方法の優位性を確認できた。



5. 主な発表論文等

〔雑誌論文〕 計1件（うち査読付論文 1件/うち国際共著 0件/うちオープンアクセス 1件）

1. 著者名 Uchiyama Tomomi, Miyamoto Shogo, Horie Kosuke, Takamure Kotaro	4. 巻 23
2. 論文標題 Simultaneous Measurement of Volumetric Flowrates of Gas-Liquid Bubbly Flow Using a Turbine Flowmeter	5. 発行年 2023年
3. 雑誌名 Sensors	6. 最初と最後の頁 4270 ~ 4270
掲載論文のDOI（デジタルオブジェクト識別子） 10.3390/s23094270	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスとしている（また、その予定である）	国際共著 -

〔学会発表〕 計1件（うち招待講演 0件/うち国際学会 1件）

1. 発表者名 Miyamoto, S., Sakamoto, Y., Horie, K., Uchiyama, T., Takamure, K., Nakayama, H.
2. 発表標題 Simultaneous Measurement of Volumetric Flowrates of Each Phase of Gas-Liquid Two-Phase Flow by a Self-Powered IoT Turbine Flowmeter,
3. 学会等名 19th International Conference on Flow Dynamics (ICFD202)（国際学会）
4. 発表年 2022年

〔図書〕 計0件

〔産業財産権〕

〔その他〕

-

6. 研究組織

	氏名 （ローマ字氏名） （研究者番号）	所属研究機関・部局・職 （機関番号）	備考
研究分担者	高牟禮 光太郎 (Takamure Kotaro) (80847335)	名古屋大学・未来材料・システム研究所・助教  (13901)	

7. 科研費を使用して開催した国際研究集会

〔国際研究集会〕 計0件

8. 本研究に関連して実施した国際共同研究の実施状況

共同研究相手国	相手方研究機関
---------	---------