

研究の課題名

超小型ウエルズタービンによる非定常性の強い 往復気流の高精度流量測定法に関する研究

松江工業高等専門学校 助教授

報告者 高尾 学

報告日 2004年(平成16年)9月17日

1. 本研究の意義、特色

本研究では、超小型ウエルズタービンを利用した非定常性の強い往復流の高精度流量測定法の有効性を明らかにする。本研究で提案される新しいタービン流量計による流量測定法に関する研究は、世界中の研究機関において誰も着手しておらず、本研究の遂行は医用工学上極めて重要であるとともに、現在まで困難とされてきた工学分野での往復流の流量測定にも応用でき、流体工学における流体計測技術の発展にも貢献できると考えられる。

2. 実施した研究の具体的内容、結果

1. 往復流型タービンによる呼吸量計測の概要

本研究で提案する呼吸量計測器では、往復流中で気流の方向に関係なくタービンが回転できるように、往復流型タービンを採用し、タービン特性に及ぼす呼吸による気流の乱れの影響を少なくするため、タービン前後に整流器を設置した。流量の決定方法については、ピックアップ、カウンタおよびコンピュータにより検出されるタービンの角速度 ω および角速度 α を、既知のタービン特性曲線に照合することにより、流量が一義的に決定できると思われる。また、本研究では実施していないが、サーミスタなどの気流方向を特定するためのセンサを組合せることにより、呼吸状態の正確なセンシングが期待できる。

2. 実験方法

実験装置は、往復気流発生装置、ノズルおよびタービン試験装置で構成される。まず、パルスモータとボールネジにより、直径120mm、長さ142mmの円筒シリンダー内にあるピストンを往復運動させることにより往復気流を発生させ、そして、ノズル(またはディフューザ)(絞り角 10°)を通して、タービン試験装置内に往復気流を導いた。

タービン試験装置の構造は、次の通りである。内径20mm、長さ212mmのパイプの中央に往復流型タービンを配置し、タービン前後には軸受を兼ねた長さ65mmの整流器を設けた。また、タービンと軸受の摩擦を少なくするため、回転軸の両端は針状に加工され、整流器側面の穴と点接触をなしている。タービン回転数の測定は、ロータのハブに開けられた穴(直径0.25mm×80個)にレーザダイオードでレーザ光を照射し、穴を通過した光を光電子増倍管(PM)で受光して行った。その際、PMの出力は増幅および波形整形され、カウンタで計数された。

供試タービンとしては、波力発電用往復流型タービンの中で最も簡素な形状を有するウエルズタービンを採用した。本タービンの仕様は翼弦長:3.75mm、翼型:NACA0020、翼枚数:10枚、翼高さ:3.75mm、翼端直径:19.5mm、ハブ比:0.6、取付け角: 0° である。

本研究では、呼吸を模擬した気流パターンとして、正弦波状の流量変化を有する往復気流{流量 $q=Q\sin(2\pi t/T)$ 、 T :周期、 t :時間、 Q :最大流量}をタービン試験装置に発生させ、そ

の際のタービンの角速度 ω を測定することにより、タービンの挙動を求めた。さらに、実際の計測における本呼吸量計測器が及ぼす呼吸運動への影響を調べるために、タービン前後の圧力差 Δp もあわせて測定した。なお、本研究では $3 \leq T \leq 5s$ および $368 \leq Q \leq 437ml/s$ の気流パターンについて実験を行った。

3. 実験結果

3.1 周期的往復流に対するタービンの起動特性

本呼吸量計測器のタービン幾何形状は、通常のタービンに比べ極めて小さいため、タービンの挙動に及ぼすレイノルズ数や軸受における摩擦の影響が大きいと思われる。そこで、タービンが往復気流に対して静止状態から起動できるかどうかを確認するため、タービンの起動特性を調べた。その結果、本研究で採用した最大流量 Q の範囲において、角速度 ω が静止状態から約7周期で安定状態に到達することがわかった。また、安定状態において ω は気流パターンとほぼ同期した。

次に、上記の実験から最大流量 Q と安定状態でのタービン角速度の平均値 Ω の関係を求めた。その結果、いずれの T についても Q が Ω に対して線形的に変化し、流量の大きさがタービンの挙動に強く反映することが確認できた。

上述の結果より、本呼吸量計測器により、呼吸による気流パターンが周期的である場合、呼吸の周期、呼吸数および最大流量の計測が可能であると考えられる。

3.2 タービンの加速度特性

タービンの角速度および角加速度の測定により、流量が一義的に決定できる可能性を調べるため、3.1節における安定状態のデータを次式のように定義される無次元角加速度 α^* および流量係数 ϕ に変換し、それらの特性曲線を求めた。

$$\alpha^* = \alpha I / (\rho U R A_{trR} / 2) = \alpha I / \{ \rho (r R \omega)^2 A_{trR} / 2 \} \quad (1)$$

$$\phi = v_a / U R = (q / A_t) / (r R \omega) \quad (2)$$

ここで、 A_t ：タービン流路断面積、 I ：ロータ慣性モーメント、 $r R$ ：タービン平均半径、 $U R$ ： $r R$ におけるロータ周速度、 v_a ：流路断面平均軸流速度、 ρ ：空気密度である。

その結果、全体的な傾向として α^* は ϕ とともに増加しており、既知の相互関係を用いることで、非定常流の流量がタービンの角速度および角加速度の値から一義的に得られる可能性を示した。しかし、増速および減速過程のデータが全データの近似曲線を境界としてほぼ二分されており、この事実よりタービンの加速度特性において反時計回りのヒステリシスが生じているものと考えられる。したがって、正確な呼吸量計測を行うためには、ヒステリシスの除去が必要であると思われる。

3.3 タービン前後の圧力差

本呼吸量計測器が被測定者の呼吸運動の抵抗になるかどうかを調べるために、往復気流におけるタービン前後の圧力差 Δp を調べた。その結果、本研究での気流パターンにおいては、常に Δp は $20Pa$ と比較的 low、呼吸運動への影響が小さいことがわかった。

3. 本研究を実施したグループに属するおもな研究者の氏名・役職名

高尾 学 松江工業高等専門学校 助教授
亀谷 均 松江工業高等専門学校 教授

4. 研究実施時期

平成15年3月1日から16年8月31日まで

5. 本研究に関連して発表した主な論文等

- (1) Study on a Flowmeter with Wells Turbine for Bi-Diretional Airflow, M. Takao, H. Kametani and T. Setoguchi, Proceedings of the 7th Asian International Conference on Fluid Machinery, Fukuoka, Japan, Paper No.50003, (2003-10) ※
- (1) Flowmeter with Wells Turbine for Bi-diretional Airflow, M. Takao, H. Kametani and T. Setoguchi, Flow Measurement and Instrumentation. (投稿中)

6. 内外における関連研究の状況

医療現場における一般的な呼吸量計測器としては、タービン流量計、差圧型流量計、熱線型流量計、超音波流量計などが使用されており、さらなる高精度かつ低コストの計測器を開発するため研究が国内外で積極的に実施されている。

7. 今後の発展に対する希望

本計測器について、今後、タービンの加速度特性におけるヒステリシス現象の発生原因を解明するとともに、その除去方法を考案し、本測定法による正確な呼吸量センシングを確立したい。