

小型ランキンサイクル用タービン・発電機の評価装置の構築と実験結果

Construction and Test of the Evaluation Apparatus for Turbine and Generator of Downsizing ORC

○大久保圭悟¹, 田中大道¹, 辻健太郎², 田中勝之³*Keigo Okubo¹, Hiromichi Tanaka¹, Kentaro Tsuji², Katsuyuki Tanaka³

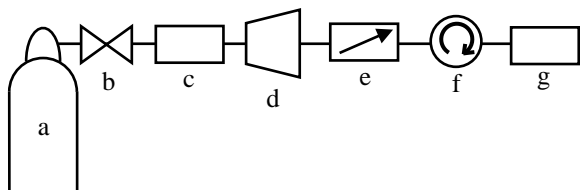
Abstract: To develop downsizing ORC generator, we selected an air motor as the turbine and a brushless DC motor as the generator. The apparatus for evaluating these devices was constructed and nitrogen gas was used as a working fluid to test their performances. The apparatus is composed of turbines, generators with a flow meter, torque sensor, and electronic load device. The experimental results such as turbine power and electric power depended on rotational speed and DC current, respectively.

1. はじめに

昨今の小型ドローンやIoTデバイスの駆動には、電池やバッテリーが用いられている。しかし、今後交換が必要な電池による駆動ではIoTデバイスでの利用の障害になる可能性がある。そこで交換が不要な発電機、中でも低品位な熱源でも発電が可能な小型ORC発電機の開発に着目した。ORC発電機の小型化のため、タービンとしてエアモータ、発電機としてブラシレスDCモータを選定し、それぞれ市販品を用いた。評価するために窒素ガスを作動流体としてエアモータを回し、DCモータで発電させた。流量計並びにトルクセンサ、電子負荷装置を用いてタービンと発電機を同時に評価できる装置を製作した。

2. 評価装置

図1に製作した実験装置の概略図を示す。



a: Cylinder b: Pressure controller c: Flowmeter
d: Turbine e: Torque meter f: Generator g: Electronic load device

Figure 1. Schematic digram of evaluation apparatus

まずシリンダーaに満たされた窒素は、減圧弁bを通して任意の圧力まで下げられ、流量計cを通りタービンdに供給される。タービンと共にトルク計eと発電機fが回転し、トルク計でトルクと回転数が計測される。また電子負荷装置gで任意の負荷を発電機に与えることができる。

3. 実験方法

(1) 無負荷

電子負荷装置による発電機の負荷を0[Ω]とし、タービンに流入させる窒素ガス圧力を0[MPa]から0.3[MPa]まで上昇させた。0.05[MPa]毎に発電機の回転数*N*[rpm]、電圧*E₀*[V]、電流*I*[A]をトルク計と電子負荷装置により測定した。測定した電圧と回転数の関係より発電機の無負荷時の特性の評価を行った。

(2) 負荷時

タービンに流入させる窒素ガスの圧力と流量を、0.3[MPa]、20[L/min]と0.3[MPa]、10[L/min]と0.15[MPa]、16[L/min]の3パターンに分け、電子負荷装置による発電機への負荷を1[Ω]から10[Ω]までまで変化させたときのタービンの回転数*N*[rpm]とトルク*T*[Nm]をトルク計で測定し、発電機の電圧*V*[V]、電流*I*[A]、発電機の実出力*P_m*を電子負荷装置で測定した。測定したタービンの回転数とトルクよりタービンの出力*P_t*を式(1)より導いた。

$$P_t = \frac{2\pi NT}{60} \text{ [W]} \quad (1)$$

圧力0.3[MPa]、流量20[L/min]の時のタービンの出力を*P_{t1}*、発電機の実出力を*P_{m1}*とする。同様に圧力0.3[MPa]、流量10[L/min]の時のタービンの出力を*P_{t2}*、発電機の実出力を*P_{m2}*、0.15[MPa]、流量16[L/min]の時のタービンの出力を*P_{t3}*、発電機の実出力を*P_{m3}*とした。各条件でタービンと発電機の実出力のグラフを作成し出力の評価を行った。また、発電機の電流とトルクの関係のグラフを作成し、発電機である直流モータの特性を確認した。

1: 日大理工・学部・精機 2: 日大理工・教員・電気 3: 日大理工・教員・精機

4. 実験結果

(1) 無負荷時の発電機の電圧と回転数

無負荷時の発電機の電圧 E [V]と回転数 N [rpm]の関係は $E_0 = 0.0023M$ [V]であった。

(2) 無負荷時のタービンの出力

流入させる窒素ガスの圧力と流量の違いによるタービンの出力を図 2 に示す。

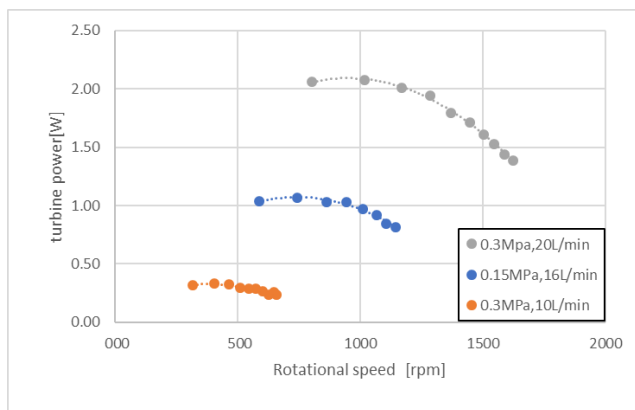


Figure 2. Dependence of rotational speed on turbine power

各条件でタービンがどれだけの出力を出せるかを比較するために、それぞれのピーク値で評価を行った。タービンの出力に作動流体がどの程度の影響を及ぼすか評価するために、入力する圧力が等しく、流量が 10[L/min]異なる P_{11} と P_{12} を比較すると、 P_{11} と P_{12} のそれぞれのピーク値は P_{11} が 2.07[W]、 P_{12} が 0.33[W]であり P_{11} は P_{12} に比べ約 6.3 倍の大きさであった。また P_{11} と P_{12} のピーク値の時のタービンの効率は P_{11} の時に 2.07[%]、 P_{12} の時に 0.66[%]であった。出力に大きな差が出たのは、流量の違いによる圧力損失が影響していると考えられる。次にタービンの出力に対する圧力と流量の影響を評価するために P_{12} と P_{13} を比較した。入力条件が P_{12} と比べて圧力が 0.15[MPa]小さく流量が 6[L/min]大きい P_{13} のピーク値は 1.07[W]であり P_{12} の約 3.2 倍の大きさであった。また P_{13} の時のタービンの効率は 2.67[%]であった。

(3) 負荷時の発電機の出力

各条件における発電機の電流と出力の関係を図 3 に示す。

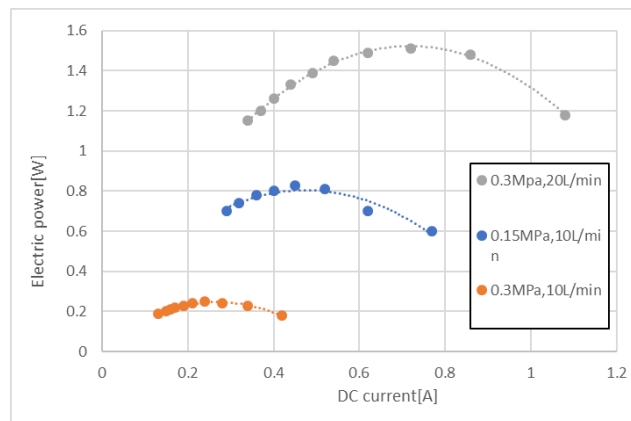


Figure 3. Dependence of DC current on electric power

P_{m1} が 1.51[W]、 P_{m2} が 0.25[W]、 P_{m3} が 0.83[W]、となった。タービンの出力に対する発電機の効率は P_{m1} の時に 75.1[%]、 P_{m2} の時に 83.9[%]、 P_{m3} の時に 80.8[%]であった。これはタービンの最大出力と同様に P_{m1} と P_{m2} を比較すると約 6.0 倍、 P_{m2} と P_{m3} を比較すると約 3.3 倍であった。ガスに対する発電機の効率は 0.3[MPa]、10[L/min]の時に最小で 0.36[%]、0.15[MPa]、16[L/min]の時に最大で 2.08[%]であった。

5. まとめ

今回の実験で圧力、流量、負荷を入力のパラメータとしてタービンの出力、発電機の出力と特性を評価することができた。今後、今回使用したタービンと発電機を用いてランキンサイクルのシステムを構築し、作動流体を冷媒に変更し実験を行う予定である。冷媒を用いる際はシステムを密閉する必要がある、トルク計などのセンサを取り付けることができない。従って発電機をセンサとしてタービンと発電機を評価する必要がある。また、今回の実験によりタービンと発電機の出力を評価できたことにより、タービンと発電機それぞれの効率とシステム全体の効率を求められるようになった。今後はシステムの最適化のための条件も研究していきたいと思う。

6. 謝辞

本研究は、平成 30 年度日本大学理工学部理工学研究所先導研究推進助成金の援助を受けました（プロジェクト題目：IoT デバイスのための低品位な熱源を利用した超スマート発電機の研究開発）。ここに、感謝の意を表します。