

マイクロタービンの流動解析 CFD Analysis of Micro Turbine

嚴泰現¹, ○関谷直樹²,
Um Tachyoun¹, *Naoki Sekiya²

Abstract: The purpose of this study was to analyze the pressure distribution and output characteristics with respect to the rotational speed of the micro turbine used in the organic Rankine cycle using CFD. At low rotational speed, the pressure drop at the throat before the inlet becomes large, and there is concern about liquefaction of the working fluid. On the other hand, at high rotational speed, a high-pressure region is occurred on the turbine slope, and negative torque that impedes turbine rotation occurs. If the phase change is not consider, the optimum rotational speed is about 7.5×10^5 rpm.

1. はじめに

IoT デバイスのセンシング, 通信に必要な電力を周囲環境から持続的に供給可能であれば IoT デバイスの利用シーンの拡大が見込める. 周囲環境には「捨てた」もしくは「捨てる」低品位で利用価値がないとされたエネルギーが膨大に存在する. しかしながら, この低品位なエネルギーであっても IoT デバイスに必要な電力供給には十分なエネルギーである^[1].

本研究は周囲環境に存在する低品位なエネルギーの中でも, 時間も場所も問わず存在する低品位な熱エネルギーを有効利用するための小型オーガニックランキンサイクル発電機の開発を目指している. 本研究が開発を目指す手のひらサイズの小型ランキンサイクルではタービン, 流路共にミリ, マイクロスケールとなり, 作動流体が液化すると流路が閉塞しサイクルが持続しなくなる.

タービンは高圧の作動流体を膨張させることで作動流体の持つエネルギーをタービンの運動エネルギーに変換する. したがって, 十分に膨張 (圧力を低下) させることでより多くのエネルギーを運動エネルギーに変換することができる. しかしながら, 圧力を飽和蒸気圧より低下させてしまうと気体である作動流体が液化し, 下流の管路を閉塞させてしまう. 飽和蒸気圧近くまで適度に膨張させるためにはタービン回転数の検討が必要となる.

研究の第一段階として, 本研究はオーガニックランキンサイクルに用いるマイクロタービンの基本性能である回転数に対する出力特性および圧力分布を CFD を用いて解析することを目的とした.

2. 解析モデルおよび解析条件

解析したモデルは金子らによって提案, 製作実績のあるマイクロタービンを基に

した. 計算負荷を減らすために図 1 に示すように狭い隙間を取り除いた簡易モデルを使用した.

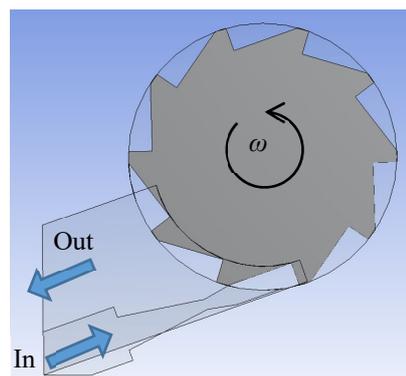


Figure 1. Analysis model of micro turbine

解析条件は実機で想定される圧力, 回転数を基に表 1 の条件で行った. 本研究では初期段階として高回転するタービン内の圧力の変化と出力の変化を調べるために, 作動流体には相変化を伴わない空気を用いた.

Table 1. Analysis condition

Fluid	Air
Inlet Pressure	0.2MPa
Outlet Pressure	101.3kPa (Open)
Rotational frequency of turbine	$1.5 \times 10^5 \sim 1.6 \times 10^6$ rpm

3. 解析結果

タービン内の圧力分布から示していく。図2に最も遅い回転数である $1.5 \times 10^5 \text{rpm}$ と最も速い回転数である $1.6 \times 10^6 \text{rpm}$ の代表的なアジマス角 θ におけるタービン中央高さの圧力分布を示す。

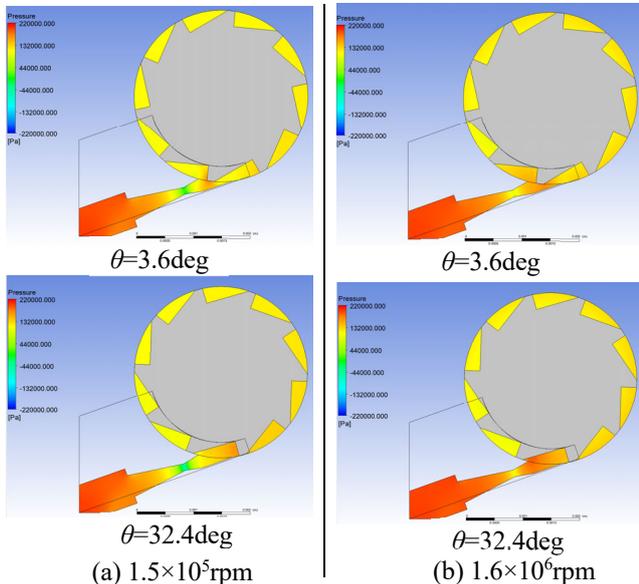


Figure 2. Contour maps of pressure at center section

回転数によらず流入口手前のスロート部で圧力が低下していることがわかる。スロート部では流路面積減少により流速が上昇し、圧力が低下する。低回転ではこの圧力低下が顕著であることから、作動流体に冷媒を用いた場合、飽和蒸気圧を下回り、液化することが懸念される。したがって、入口スロート部の圧力分布からは負荷により高回転で運転する方が適しているとわかる。一方、各アジマス角で比較すると、何れの角度においても、高回転の場合、タービン斜面に高圧領域が形成されている。この斜面に作用する高い圧力によって生じる力はタービンの回転を阻害する向きに作用する。そこで、解析より得られたタービンに生じるトルクから最適な回転数を調べた結果を次に示す。

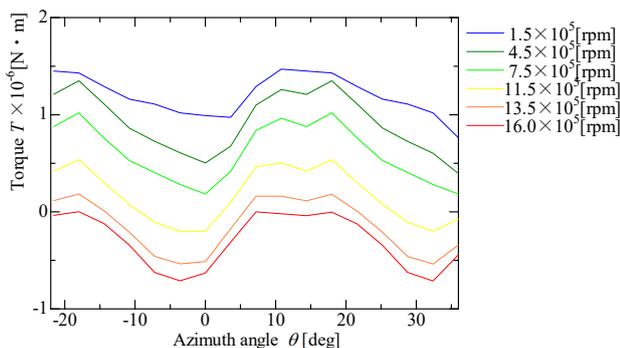


Figure 3. Variation of turbine torque for azimuth angle

図3はアジマス角におけるトルクを整理したグラフである。 10^6 回転以上で負のトルクが発生するアジマス角が存在する。したがって、タービン内部の圧力分布からは低回転で運転する方が適していることがわかる。

最適な回転数を調べるために各回転数に対するトルクおよび出力の変化をまとめた結果を図4に示す。低回転の方がトルクは大きいですが、出力に換算すると $7.5 \times 10^5 \text{rpm}$ が最適だということがわかった。

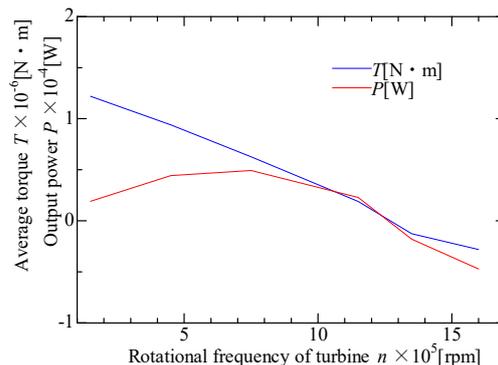


Figure 4. Variation of turbine torque and power for rotational frequency

4. まとめ

- (1) 低回転では流入口手前のスロート部における圧力低下が顕著となり、作動流体の液化が懸念される。
- (2) 高回転ではタービン斜面に高圧領域が形成されタービンの回転を阻害する負のトルクが生じる。
- (3) 相変化を考慮しない場合、最適な回転数は $7.5 \times 10^5 \text{rpm}$ 程度になる。

5. 参考文献

[1] 田中勝之, 金子美泉, 関谷直樹, 辻健太郎: 「平成30年度日本大学理工学研究所先導研究推進プロジェクトキックオフシンポジウム—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—」, 第17回日本大学理工学部理工学研究所講演会資料, 2018

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。また、本研究の解析モデルをご提供いただきました平成30年度日本大学理工学部精密機械工学科卒業生の工藤和也氏に感謝の意を表します。