

卒業論文要旨

小型ガスタービン試作機のタービンの内部流れに関する研究

航空・ガスタービン研究室 1170045 河端 恭平

1. 諸言

ガスタービンは、圧縮機で圧縮した空気を燃料とともに燃焼させ、膨張した高温ガスでタービンを回すことによって、膨張エネルギーから回転動力やジェットのエネギーを得るための内燃機関である。レシプロエンジンは1個のシリンダー内で吸気、圧縮、燃焼、膨張、排気の各行程を間欠的に行うのに対して、ガスタービンは、圧縮機、燃焼器、タービンの各要素が流れ作業的に連続して作動流体を多量に処理できるため大出力化が容易であり、発電機・船舶・航空機などの大型機械の動力源としてさまざまな分野で使用されている。さらに、近年では小型化に注目されており、予備電源等としての使用も考えられる。

本研究室では、将来的に小型のガスタービン・ジェットエンジンの自作を目標としており、本研究は、そのための基礎研究として位置付け、ターボチャージャーに燃焼器を組み合わせた小型ガスタービン試作機の運転の確立を目指し、タービンの解析、性能評価を目的とする。

2. 小型ガスタービン試作機

小型ガスタービン試作機とは、軽自動車などに使われているターボチャージャーに燃焼器を取り付けたものである。ターボチャージャーは、タービンと圧縮機からなり、燃焼器を取り付けることによってガスタービンと同じ構造になる。図1に小型ガスタービン試作機の全体図を示す。

小型ガスタービン試作機は、エアコンプレッサー2台を使い、圧縮空気を小型ガスタービン試作機に送り込み、強制的に圧縮機とタービンを回転させ、安定して回転していることが確認できた後にLPガスを送り込み、プラグによって着火させ、始動する。運転している最中にエアコンプレッサーを停止しても圧縮機・タービンの回転が継続すれば、自立運転となる。

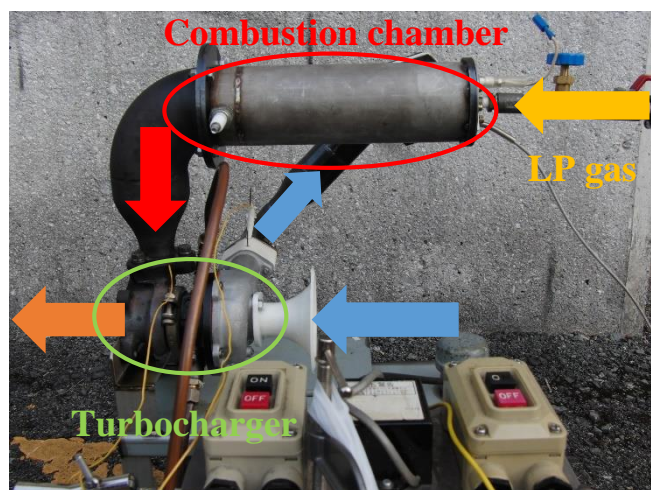


Fig. 1 micro gas turbine prototype

3. ラジアルタービンの解析

先行研究⁽¹⁾⁽²⁾は、燃焼器とタービンを切り離し、燃焼器が正常に作動するかを確認する燃焼実験を行い、燃焼器が問題なく燃焼することを確認した。その後、元の状態に戻し、ガスタービンとして作動するかを確認する運転試験を行った。運転試験時には同時に燃焼器内温度、タービン出口温度、回転数、圧縮機出口全圧、燃料流量の計測を試みたが、燃焼器内温度と回転数が計測できず、また、自立運転もできなかった。

そこで、本研究では、ターボチャージャーの性能を把握するため、ターボチャージャーを分解し、タービンおよびケーシングを定規やノギスなどを用いて、手作業で寸法を計測し、SolidWorksで3Dモデルを作った。タービンのモデルとケーシングのモデルを図2で示す。

タービンとケーシングのモデル化ができ、これらをアセンブリし、構造格子でメッシュを切り、SolidWorksのFlow Simulationで解析を行った。境界条件として、タービン出口静圧を101325Paで固定し、タービンの回転数に100rpm・1000rpm・10000rpmの3パターンを与え、3パターンそれぞれに対して、タービン入口流量0.0001~0.1kg/sを与え、複数パターンのデータを取った。1つの例として回転数1000rpm、タービン入口流量0.01kg/s、タービン出口静圧101325Paの時の流跡線を図3に示す。入口の圧力が高く、タービンが回転することによって圧力が下げられているのが分かる。

また、縦軸に圧力降下比、横軸にタービン入口流量をとり、タービンの性能曲線を求めた。その性能曲線を図4に示す。回転数が違うにも関わらずほぼ同じようなグラフになっているが、流れ場を確認すると条件ごとに違う結果が出ているため、ラジアルタービンではこのような性能曲線になることが正しいと考える。

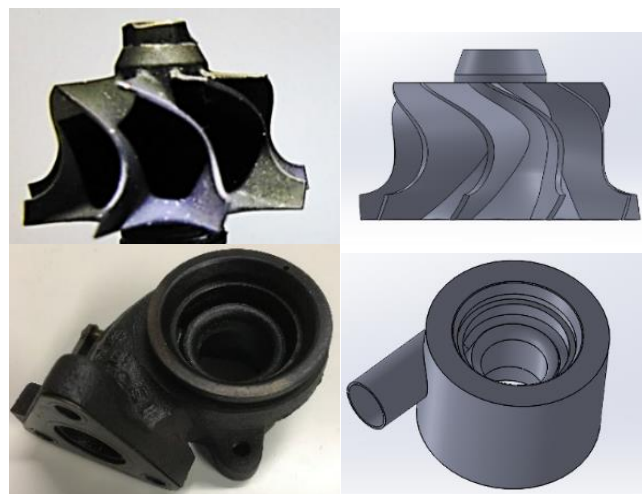


Fig. 2 Turbine model and Casing model

4. 小型ガスタービン試作機の運転試験

先行研究のときの計測項目にさらに圧縮機出口温度および圧縮機出口静圧を加えて小型ガスタービン試作機の運転試験を行った。

最初は、圧力スキャナーの計測レンジを圧縮機出口圧力が超えてしまい、圧縮機出口全圧・静圧がともに計測できなかった。燃焼器内温度も燃焼中でも温度上昇が見られず、正常に計測できていない。また、回転数もパルス状のようになり、計測できている時とできていない時がある。これは光学式タコメーターの受光部および反射板にオイルが飛散し付着する影響によるものであると考える。

圧力スキャナーの計測レンジオーバーで圧縮機出口全圧・静圧が計測できなかった解決策として U 字マンオメーターを使用し、U 字マンオメーターで圧縮機出口全圧を、圧力スキャナーで圧縮機出口動圧を計測することとして、2 回目の実験を行った。このときは圧縮機出口全圧、圧縮機出口動圧ともに計測できたが、燃焼器内温度は計測できなかった。また、自立運転も試みた。エアーコンプレッサーの 1 台目を止めた時は、まだ運転し続けていたが、2 台目も止めると運転は止まってしまう自立運転は失敗した。原因として、空気流量の減少に対して燃料流量が調整できず、空燃比が合っていないと考えた。燃料流量は手動により、細かい調節が困難であったため、燃料流量計の代わりに流量制御機能が付いているマスフローコントローラを使用することとした。

次に燃焼器内温度の計測機器および計測位置を変更し、マスフローコントローラの確認を含め 3 回目の実験を行った。このときは燃焼器内温度を計測することができた。しかし、計測結果を見てみると、タービン出口温度より燃焼器内温度のほうが低いことが分かる。このことから、燃焼器内で完全燃焼しておらず、タービン内でも燃焼を続けた結果、タービン入口で最高温度に至らず、これが、自立運転がうまくいかない理由のひとつであると考える。図 5 に計測結果を示す。

そこで、計測できた圧縮機出口全圧・動圧、回転数、燃料流量をもとにタービンの速度三角形を求め、求められた速度三角形からタービンの仕事を求めた。また、共同研究者が同様に計算した圧縮機のデータを用いて、タービンと圧縮機の仕事を比較した。図 6 にタービン仕事と圧縮機仕事を比較したグラフを示す。現状では圧縮機仕事の方が大きくなっていることが分かり、タービン仕事の方が大きくなるようにするには、空気流量を増加させる必要がある。実験結果を踏まえ、燃焼器の改善が必要で、燃焼器の改善が空気流量の増加にもつながると考える。

文献

- (1)宮城喜一, マイクロガスタービンの性能評価に関する研究, 学部論文, 2016
- (2)渡辺雄虎, マイクロガスタービンの運転試験に関する研究, 学部論文, 2016

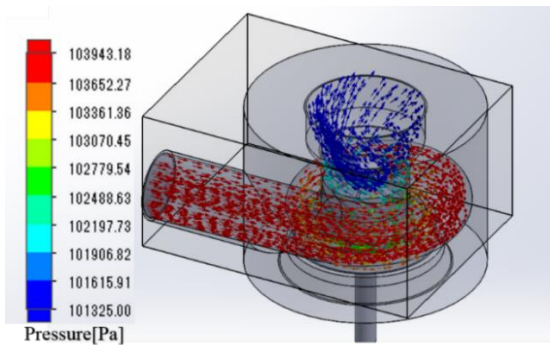


Fig. 3 Particle path (1000rpm, 0.01kg/s)

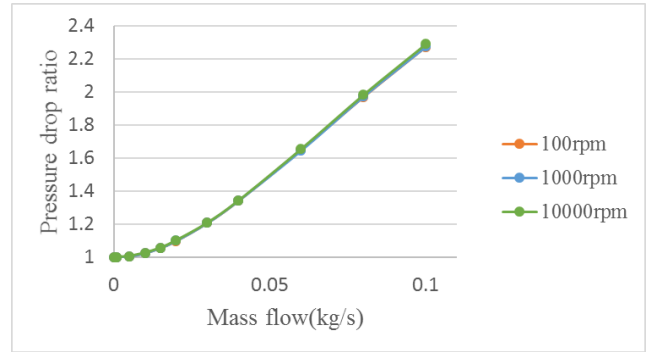


Fig. 4 Performance curve

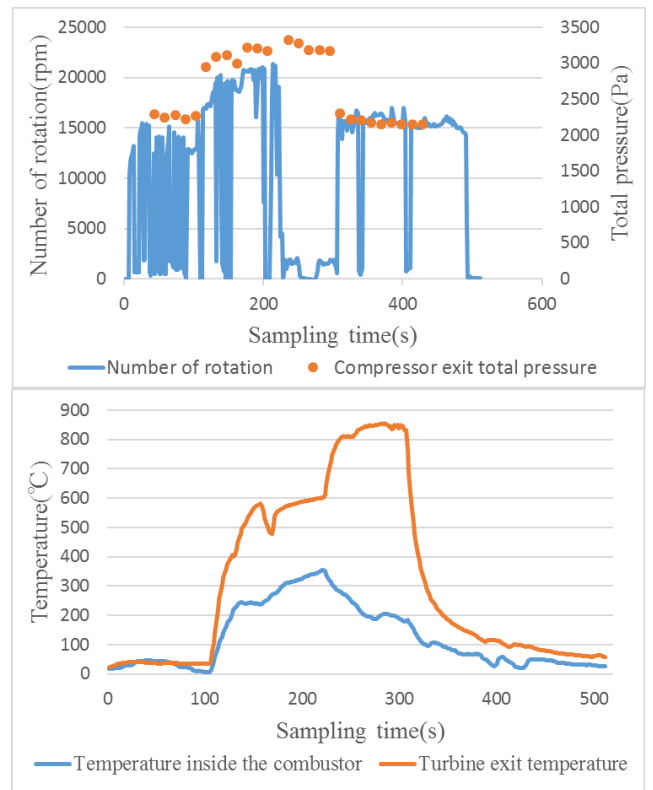


Fig. 5 Measurement result

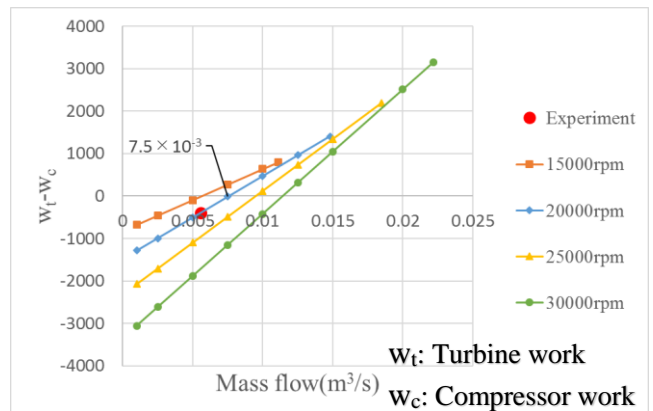


Fig. 6 Comparison of work