

平成 24 年度

修士論文

卓上ガスタービンの開発

高知工科大学大学院

工学研究科 基盤工学専攻 修士 2 年
知能機械システム工学科 筒井研究室所属

1155044

山内 大嗣

目次

第1章 序論

- 1.1 研究背景
- 1.2 ガスタービンの紹介
- 1.3 研究目的

第2章 卓上ガスタービンの製作

- 2.1 ガスタービンの基本計算
- 2.2 要求される性能
- 2.3 圧縮機（ファン）の製作
 - 2.3.1 ファンの設計
 - 2.3.2 ファンの製作
 - 2.3.3 ファンの改良
- 2.4 各部設計・製作

第3章 組立・運転

第4章 結論

謝辞

参考文献

参考資料

第1章 序論

1.1 研究背景

近年、日本では電力供給の事情が大きく変化した。2011年3月11日の東日本大震災以降、ほとんどの原子力発電所が停止を余儀なくされ、未だ再稼働の見通しがたっていない。今まで原子力で持っていた約3割のベース電力が失われ、現在ではそのほとんどが火力発電に頼っている。ところが火力発電に依存することで電気の価格高騰や環境負荷などの問題が懸念されている。そこで今、設置面積の割に出力が大きく、石油や石炭に比べて環境負荷の小さい天然ガスを燃料として利用できるガスタービンが注目されている。また、発電用のガスタービンは高温の排熱を利用して、蒸気タービンも回すコンバインドサイクルとして利用されている。この方法では60%以上の熱効率を持っている。また近年ではシェールガス開発が盛んに行われており、燃料の価格も低下することが予想される。原子力発電の今後が見通しのつかない状況で、ガスタービンによる発電は今後さらに発展していくと思われる。表1で日本における燃料別の発電電力量の変化を示す。

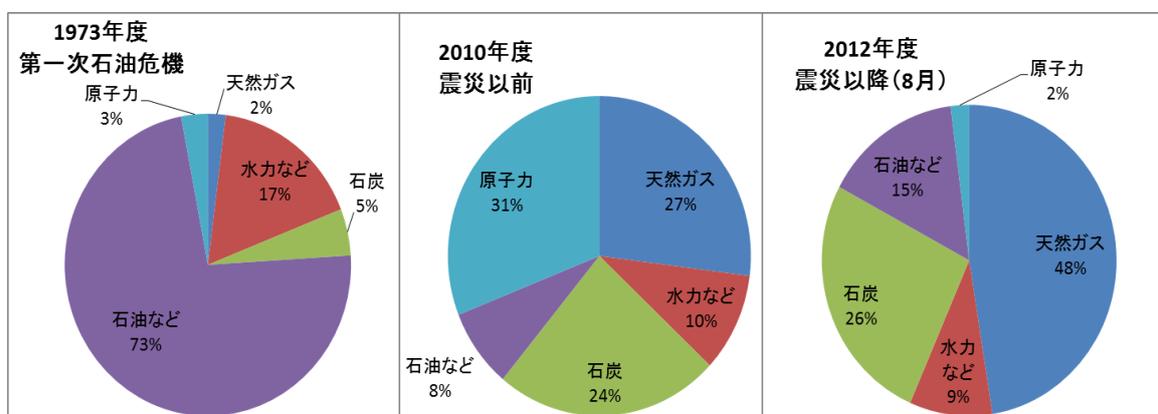


表 1.1

ガスタービンは火力発電設備、非常用発電設備、航空機エンジンなど様々な場面で活躍しており、現代社会には欠かせないものとなっている。ところが、ガスタービンは普段目にする機会がないために、一般の方だけでなく我々のような理系の学生にとっても身近なものにはなっていない。昭和51年に設立されたガスタービン学会では平成24年7月11日の時点で正会員1950人に対して学生会員が68人と非常に少ない。また大学の講義においてもサイクルについて学ぶ機会はあるが、小型のガスタービンでさえ見る機会はない。その理由として、高温、高速回転、騒音などが挙げられる。

1.2 ガスタービンの紹介

ここで世の中にあるガスタービンについて紹介していく。

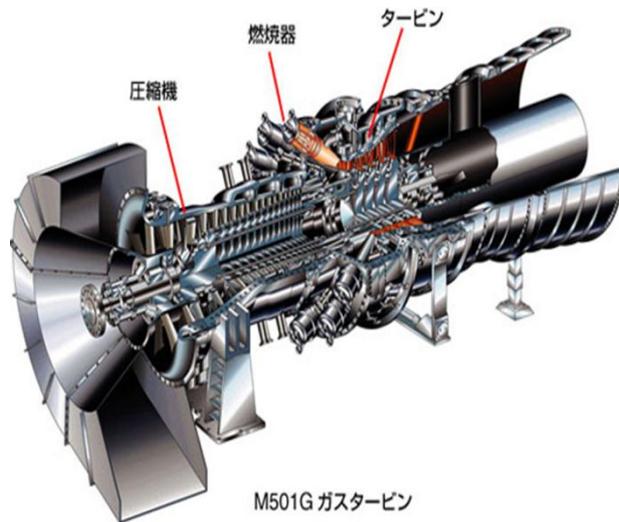


図 1.2.1

・産業用大型ガスタービン

左図は三菱重工社製の 1500℃級 G 型ガスタービンである。四国電力坂出發電所ではこのガスタービンに蒸気タービンをつないでコンバインドサイクルとして利用しており、燃料は液化天然ガスを使用している。燃焼温度は 1400℃、回転数 3600rpm、出力は約 30 万 kW となっている。

・小型ガスタービン

図 1.2.2 は研究室にある株式会社 IHI エアロスペース社製のダイナジェットという小型ガスタービンである。本研究室では月に一度これを回して充電している。燃料は灯油を使用している。このガスタービンについての詳細は表 1.2.1 に示す。



図 1.2.2

型式	NMGT-2.6DX
長さ	843mm
幅	420mm
高さ	440mm
重量	65 kg
定格出力	2.6 k VA
回転数	100,000rpm

表 1.2.1

・超小型ガスタービン

図 1.2.3 はドイツの会社が販売している超小型ガスタービンである。用途としては小型のジェットエンジンとして使用されており、大きさは缶コーヒーと同じぐらいで非常に小さいものとなっている。詳細は表 1.2.2 に示す。



図 1.2.3

商品名	Kolibri
長さ	111mm
直径	55mm
重量	200g
最大回転数	243,000rpm
排気温度	680℃
燃料	灯油

表 1.2.2

1.2 研究目的

先に挙げたように現在ではさまざまなガスタービンが開発されている。しかしどれも燃焼温度は 1000℃を超える高温であり、回転速度も非常に大きく危険である。さらに騒音の問題もあって稼働中はケーシングによって内部が見えないようになっている。またガスタービンだけでなくガソリンエンジンやディーゼルエンジンを含め、稼働中の内部が見えるエンジンは世の中には無い。

そこで私は、低温、静音、簡素化されたガスタービンは作れないかと思い、卓上ガスタービンの製作を考えた。これが完成できれば教材として利用するだけでなく、コンテストや子供用のおもちゃなどにも応用できると考えている。また学生の間実際に稼働中のものを見ることで興味を持ち、ガスタービンにかかわる技術者が増えることを期待している。

第2章 卓上ガスタービンの製作

2.1 ガスタービンの基本計算

卓上ガスタービンを製作する際に行った計算を以下に示す。

自立運転を達成するために、必要なタービンの入り口温度を求める。

圧縮機の仕事

$$W_c = C_p \frac{T_1}{\eta_c} \left(P_r^{\frac{\kappa-1}{\kappa}} - 1 \right) \quad \dots (1)$$

タービンの仕事

$$W_t = C_p \eta_t T_3 \left(1 - P_r^{-\frac{\kappa-1}{\kappa}} \right) \quad \dots (2)$$

T_1	圧縮機入口温度
T_3	タービン入口温度
P_r	圧力比
η_c	圧縮機断熱効率
η_t	タービン断熱効率
κ	比熱比

自立運転するためには、タービンの仕事が圧縮機の仕事以上であればよいので、自立運転の条件として

$$W_c \leq W_t$$

を与える。この条件と式 (1)、(2) を用いて必要なタービン入口温度を求める。

$$T_3 = \frac{\left(P_r^{\frac{\kappa-1}{\kappa}} - 1 \right)}{\eta_c \eta_t \left(1 - P_r^{-\frac{\kappa-1}{\kappa}} \right)} T_1 \quad \dots (3)$$

この式より、温度比と圧力比のグラフを示す。ここで、圧縮機とタービンの平均断熱効率を50%から90%まで10%ずつ変更させている。

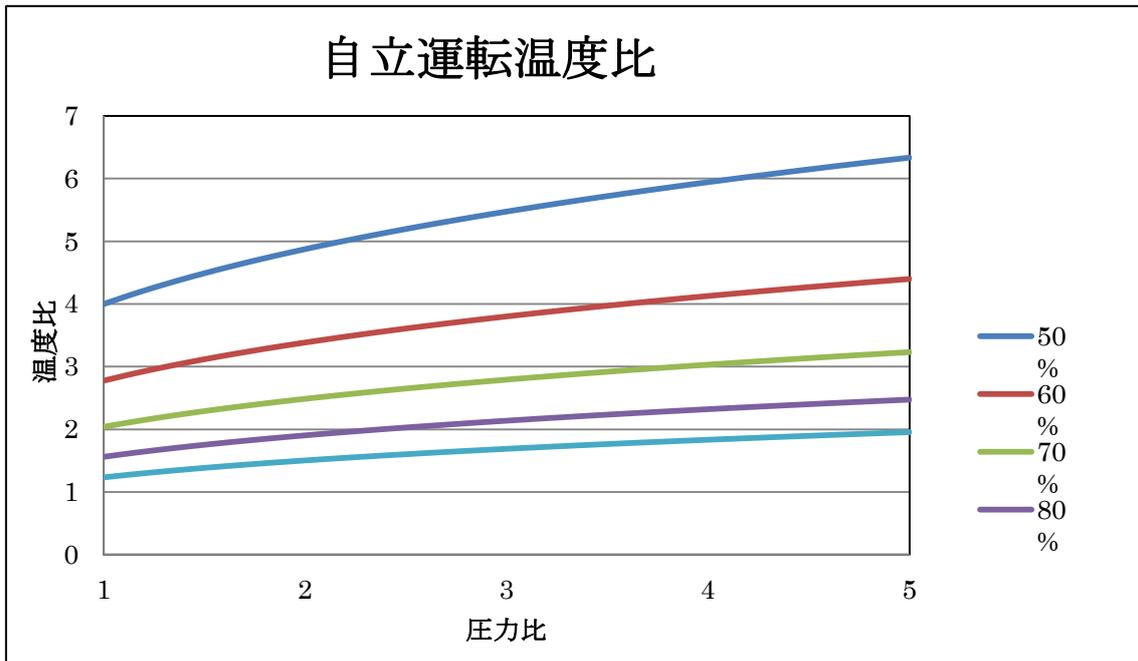


図 2.1.1 自立運転するための圧力比・温度比

次に,実際に常温(20°C)を圧縮機に流入したときのタービン入り口温度を求める.これにより,実際にタービン入り口でどの程度温度を上昇させれば自立運転するかが分かる.

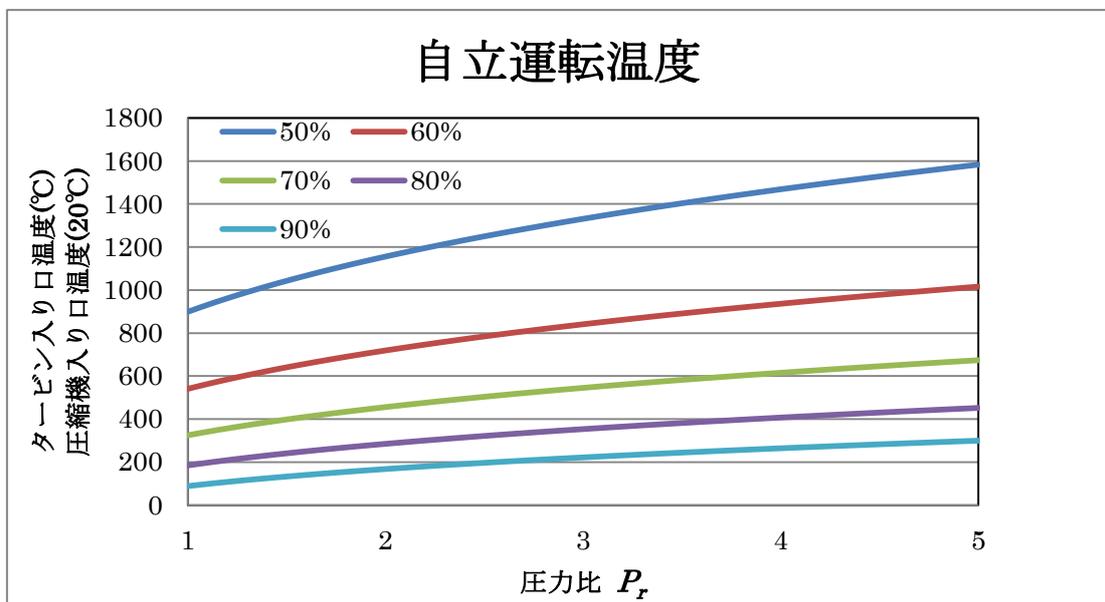


図 2.1.2 圧縮機入り口温度 20°C 時のタービン入り口温度

・試作機

卓上ガスタービンの概要をつかむため、考えている形状で製作依頼し試作機を作成した。最初に製作した試作機を以下に示す。

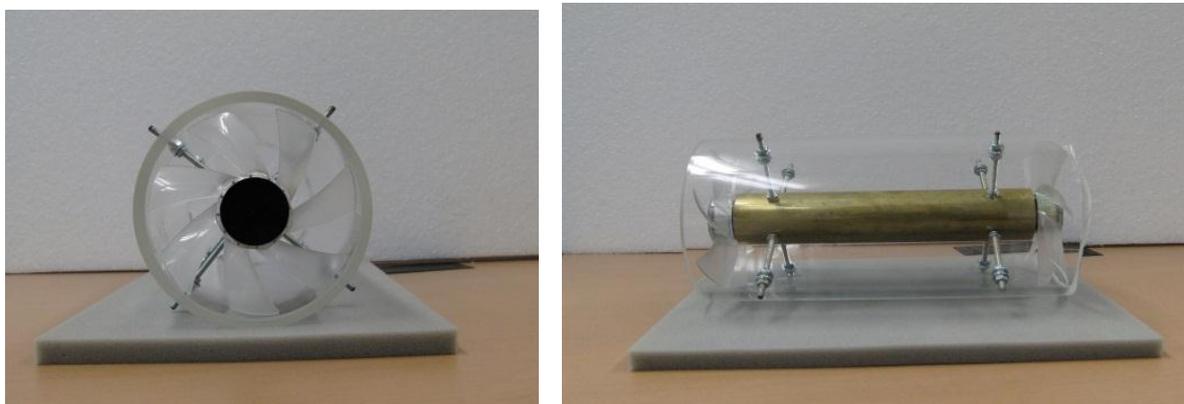


図 2.1.3 試作機

試作機では、アクリルとPC用の冷却ファンを使用した。最終的にはこのような形状での自立運転を目指す。しかし、この試作機では詳細な設計をしておらず、自立運転達成は望めない。そこで、本研究では先ず自立運転が比較的容易だと考えられる縦型で上昇気流の効果を利用した卓上ガスタービン製作を試みた。上昇気流の効果を利用し自立運転を達成し、風速等の計測を繰り返し行い、最適な設計をしていく。

2.2 要求される性能

卓上ガスタービンでは高圧力、高温は必要ない。先のグラフから分かるように平均断熱効率が80%以上のものができれば圧力比が1に近いところにおいて200°C以下で自立運転することが分かる。本研究では第一段階として200°C以下を目指し、それが達成できれば最終目標として100°C以下を目指す。

実際に製作していくうえで求められることを以下に示す

- ・ある程度の耐熱
- ・損失の少ない構造
- ・圧縮機、タービンのバランス

これらを踏まえて卓上ガスタービンを製作していく。

2.3 圧縮機（ファン）の製作

卓上ガスタービンでは圧力比はほとんど1と等しいことから圧縮機を今後、ファンと呼ぶこととする。

2.3.1 ファンの設計

まず、材料は何でどう作るかを考える。

タービンとの併用も考えて、材料は耐熱のためにアルミを使用する。また、大型のガスタービンでは羽根とボス部が別で作られており、下図のように一枚一枚取り付ける構造になっているが今回製作するファンは小型であるため、羽根だけを作ることは可能だが結合部分を製作するのが難しい。よって本研究では羽根とボス部が一体型のファンを製作する。さらに、通常、圧縮機は多段でできているが、卓上ガスタービンでは圧力比が小さいため一段で運転する。



図 2.3.1 ブレードの取り付け

ファンの製作する手順として、まずファンの概要を決め、翼弦長、取り付け角、翼厚を求めていく。

動翼直径[mm]	140
ハブ直径[mm]	50
空気の密度[kg/m ³]	1.205
羽根の枚数	4
軸流速度[m/s]	10
回転数[rpm]	3000
揚力係数	0.6~0.8
圧力比	1.001
圧力差[Pa]	101.3

表 2.3.1 卓上ガスタービンの圧縮機の概要

ここで表のように値を決定した。まずは 1 つ製作を行い、それについて検討を行い、大きさ等を変更していく。圧力比は小さいほど低温で回ることが図 2.1.2 より分かるので、圧力比は小さくした。揚力係数は根元を 0.8、先端を 0.6 とした。揚力係数により翼弦長が変化するため、根元が大きくなり全体が大きくなりすぎるのを防ぐためである。

次に翼弦長、取り付け角、翼厚を求める。

翼弦長 L

$$L = \frac{\Delta P}{\rho} \frac{1}{C_L} \frac{1}{\sqrt{U^2 + V^2}} \frac{1}{\omega} \frac{1}{N} \quad \dots(4)$$

ここで、圧力差を ΔP 、密度 ρ 、揚力係数 C_L 、軸流速度 U 、周速度 V 、角速度 ω 、羽根の数 N である。

表 2.3.1 の値を代入し翼弦長を求める。求めた結果を以下に示す。

r	L	C_L
70	21	0.6
60	25	0.6
50	27	0.6
40	30	0.6
30	33	0.8
20	38	0.8

表 2.3.2 翼弦長と揚力係数

ここで中心から翼端までの距離を r 、翼弦長を L 、揚力係数 C_L とする。

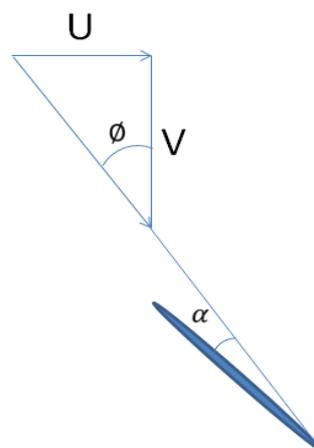
取り付け角

右の図のように翼列を考えたとき、軸流速度を U 、周速を V としたとき、取り付け角 θ は以下の式で決まる。

$$\phi = \tan^{-1} \frac{U}{V} \quad \dots(5)$$

$$\theta = \phi + \alpha \quad \dots(6)$$

ここで α は迎角となる。



r[mm]	θ [deg]
70	21.2
60	23.6
50	26.8
40	31.4
30	38.4
20	49.6

表 2.3.3 取り付け角

ここで中心から翼端までの距離 r 、取り付け角を θ とする。

翼厚の決定

翼厚を決定するためには翼型を選定しなければならない。今回製作する卓上ガスタービンの動翼は薄翼を使用する。薄翼は低レイノルズ数の時の翼特性が良いという特徴がある。使用する翼型は参考文献[1]より **NACA64-006** を選択した。

この翼型のデータを参考資料[1]に示す。

翼厚の計算結果を参考資料[2]に示す。

決定した翼弦長、取り付け角、翼厚から動翼の形状を表示するプログラムを Visual Basic で組んだ。これは、表 2.3.1 の値を変更した際に変更後の全体図が表示され。設計の結果が確認できる。これによってファンの形状がより分かりやすくなった。

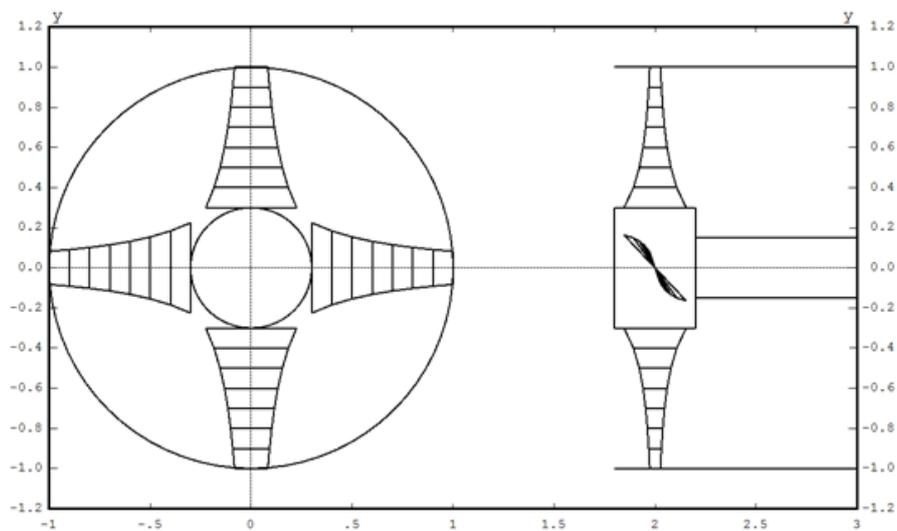


図 2.3.2 翼形状表示プログラム

さらに形状を分かりやすくするため CAD データを作製した。

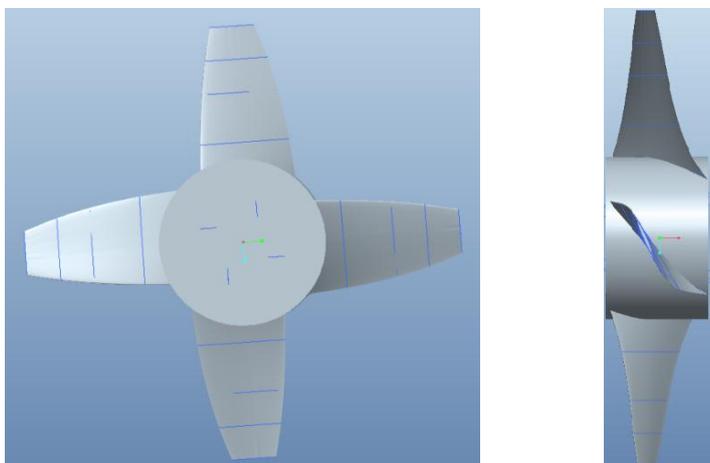


図 2.3.3 動翼の正面図と側面図

2.3.2 ファンの製作

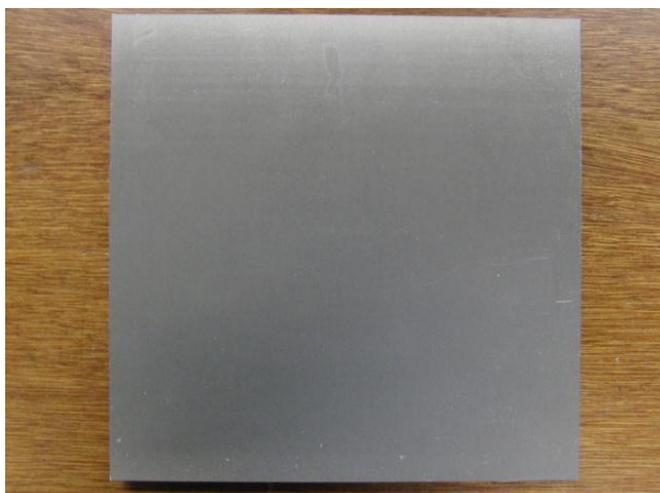
CAD データを基にファンを製作していく。ファンを製作するうえで、取り付け角やねじりも正確に作ることができることから NC 加工機を使用して製作した。今回使用した NC 加工機と仕様を以下に示す。

Roland の MDX-5000R の仕様



主な仕様	
XYZ動作ストローク	500mm(X)×350mm(Y)×250mm(Z)
テーブルサイズ	650mm(W)×380mm(D)
取り付け可能な材料重量	最大 50kg
XYZ軸駆動方式	ACサーボモータ 300W
マガジンのツール取容量	8本
取り付け可能なツールホルダ形式	テーパシャンク: JBS4003 S20T 7/24 テーパ ブルスタッド: JBS4003 S20TR-I (15°)
ツール選択方式	ダイレクトチェンジ式、固定要地指定
適応圧縮空気 (*1)	0.5~0.8MPaかつ250L/min. 以上
動作速度	最大 15m/min.
ソフトウェア分解能	0.001mm
機械的分解能	0.001mm
スピンドルモータ	ACサーボモータ: 490W(連続)、750W(5分定格)
スピンドル回転数	100~10000rpm
インターフェース	Ethernet(10BASE-T/100BASE-TX自動切替)
電源 電圧及び周波数	AC200V±10%、50/60Hz
必要な電源容量	5A
消費電力	約650W
動作音	動作時(未切削時): 68dB(A)以下、 待機時: 47dB(A)以下 (ISO7779による)
外形寸法 (*1)	1186mm(W)×1241mm(D)×1950mm(H)
重量	810kg
動作温度	5~40℃
動作湿度	35~80% (ただし結露のないこと)
付属品	電源コード、六角レンチ、スリナ、ユーザズマニュアル、 NCコードリファレンスマニュアル、ソフトウェアインストール/設定ガイド Roland Software Package CD-ROM、MODELA Player 4 CD-ROM

今回使用したアルミの材料を以下に示す。



材質	アルミ
材料名	A5052
サイズ	20×20
厚み	30

図 2.3.4 アルミ材料

今回使用した A5052 の特徴として耐食性、成形性、溶接性が良く、加工に向いているため選択した。アルミを切削するうえで問題となるのが切削時間である。部材の強度が高いため発泡材などに比べると切削速度が落ちてしまう。そこで余分な所を切削しないように CAD データを変更し切削時間を短縮した。時間短縮のために変更した CAD データを以下に示す。

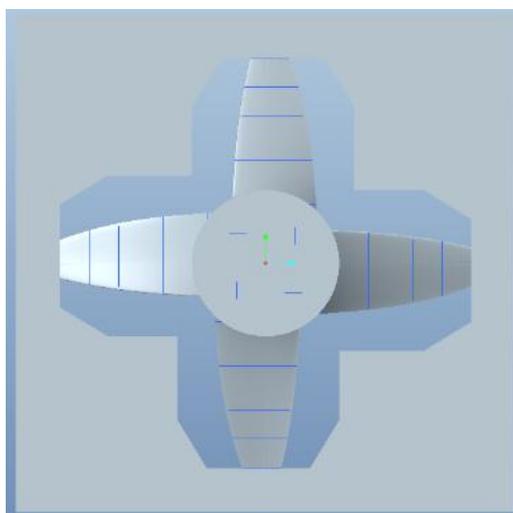


図 2.3.5 変更した CAD データ

さらに、ツールは超硬の物に変更した。このツールを使用することで、切削速度を上昇させることが出来るため切削時間が短縮できた。以下のツールを使用することにした。

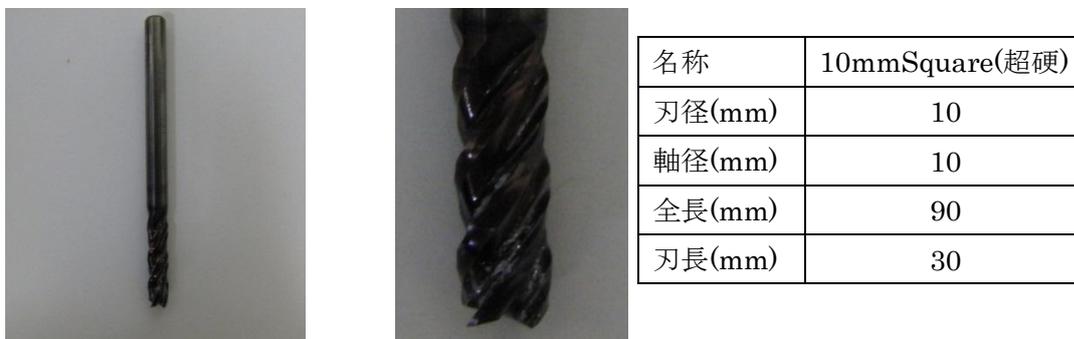


図 2.3.6 アルミ切削用のエンドミル

切削の手順として、荒削り、仕上げの順番で切削を行う。表面の荒削りを行う。切削の結果以下の図のようになる。

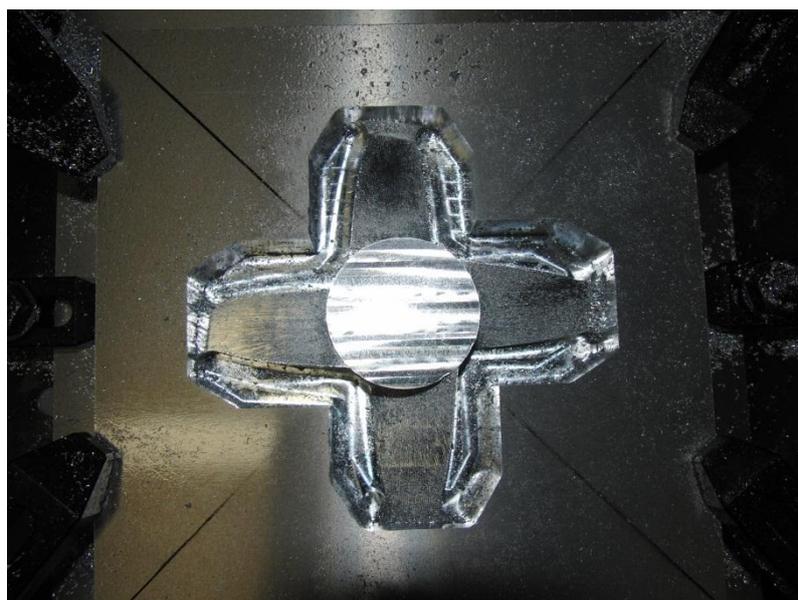


図 2.3.7 上面のアルミの荒削り

表面は粗いが金属でも問題なく切削できる。荒削りは約7時間で終了する。CADデータを改良せずに同じ形状で切削を行うと約30時間かかる。この形状にすることで大幅な時間削減が可能になったことが確認できた。

次に仕上げ加工を行う。4mmのエンドミルは軸径が刃径より大きいためシャンクの部分が触れ、切削が止まってしまうので、10mmのエンドミルを使用する。このツールだと軸径と刃径が同じサイズであり、さらに刃長も部材と同じ長さであるため、シャンクの部分が部材と触れることはない。

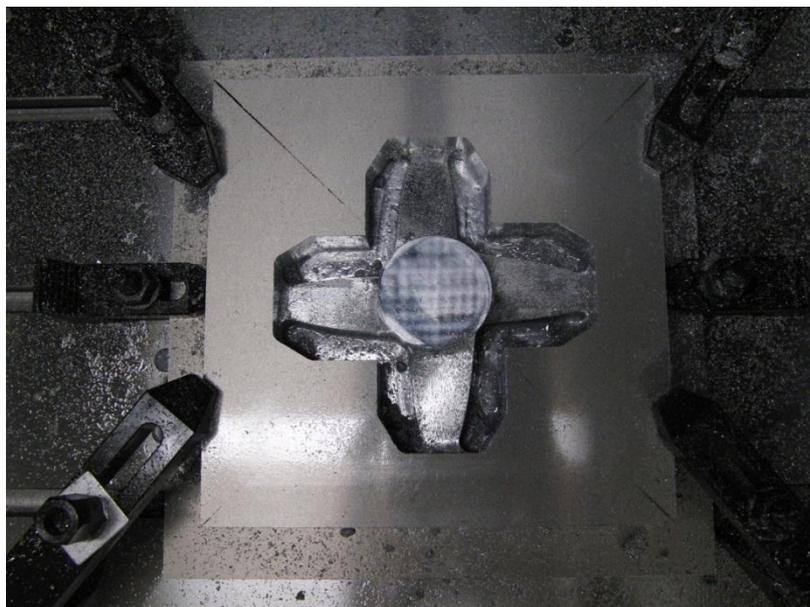


図 2.3.8 上面のアルミの仕上げ加工

ハブの部分はきれいに仕上がったが、翼の部分をよく見るとわずかだが段差が出来てしまっている。これは切り込み量が大きすぎた事とツールが原因である。この段差を無くするためにはツールをボールエンドミルに変更する。切り込み量を減らす。もしくは切削した後で旋盤を使用し表面を薄く削るという方法が考えられる。今後はボールエンドミルを使用するの切削を考えている。

今回のこの仕上げにかかった時間は約 9 時間である。CAD データを変更しなければ約 30 時間かかるため、仕上げの面でも大幅な時間短縮が確認できた。

以下に下面の荒削りと仕上げを行った結果を示す。

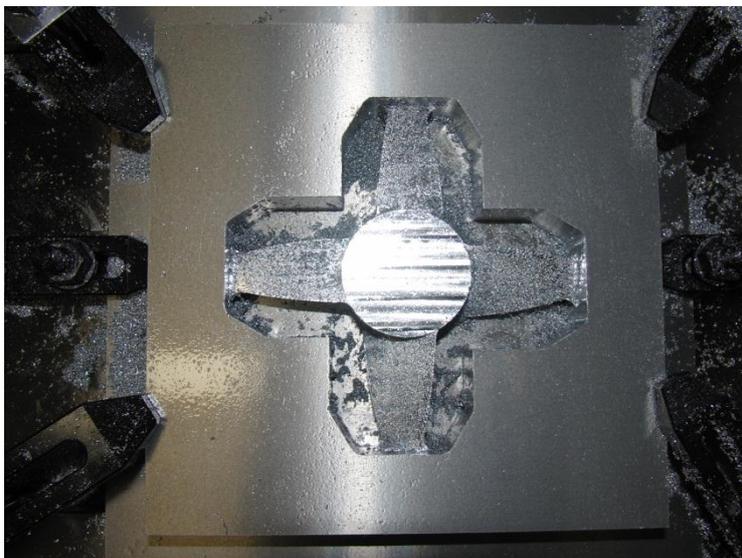


図 2.3.9 下面のアルミの荒削り
裏面の荒削りは上面と同じ時間で問題なく切削できている。

次に仕上げである。



図 2.3.10 下面のアルミの仕上げ

反対面ではハブ部が宙に浮いているためしっかり固定されずに図のように表面がでこぼこになってしまっている。この問題を解決するためには、アルミ材とハブの厚みを同じにするか浮いた部分の下に台座を置く方法が考えられる。また、上面の加工時と同じように翼の部分にも段差が出来ている。

2.3.3 ファンの改良

ここまで主に平成 23 年度に行った研究として NC 加工機を用いたファンの製作について紹介してきたが平成 24 年度での研究としてはじめに、ファンの改良を行った。アルミ材を NC 加工機で切削すれば正確な物が作れるが、製作時間が非常に長く、重量が重いことや、余分な部分との切り離し等の問題があった。そこで製作時間のさらなる短縮と製作方法の簡易化を目指した。

新しい製作方法

材料は耐熱を考慮して引き続きアルミで製作する。しかし軽量化のため 0.3mm のアルミ板を使用する。卓上ガスタービンでは低レイノルズ数領域なので翼型は必要なく、平板でも変わらないことから薄いアルミ板を採用した。ファンの形状は先に導出したものを引き続き利用し、製作を容易にするためわずかに直径を大きくした。今回製作したファンを以下に示す。

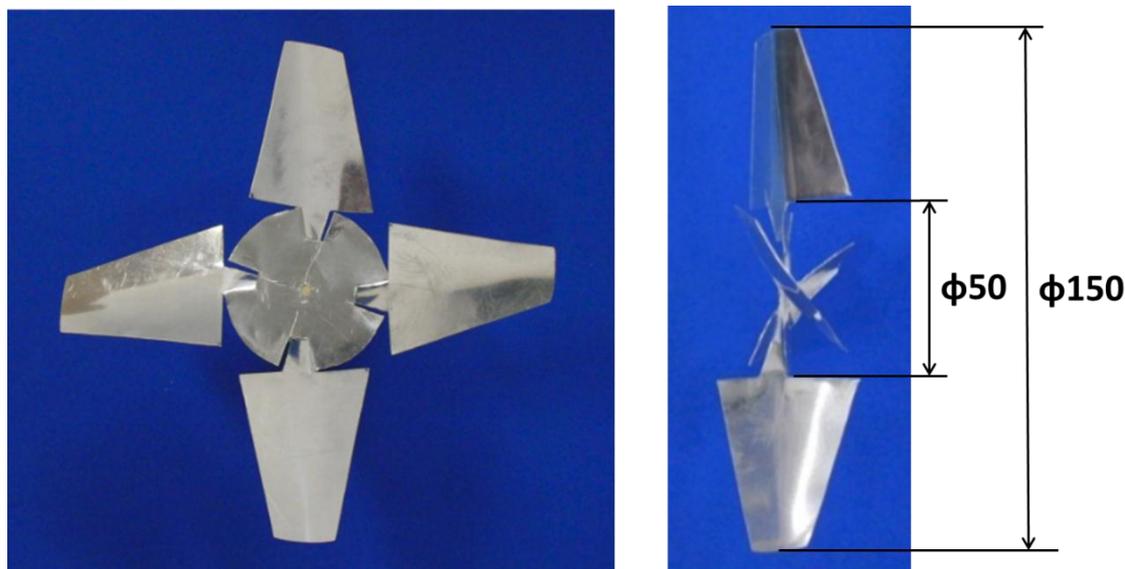


図 2.3.11 改良したファン

このファンでは厚み 0.3mm、20×20mm のアルミ板を電動糸鋸で切り、ヤスリ等で細かく削り曲げることで製作した。これによって製作時間が大幅に短縮され 2 時間程度で製作できるようになった。風速や回転数などは設計する際に自ら決めて与えているので、製作時間の短縮によってさまざまな条件で製作することが可能となった。また薄い平板で製作したため 7g まで軽量化を実現した。さらに少しでも効率を高めるために羽根の前縁、後縁部をわずかに削いでいる。これらの試みによって低い風速でも回ることが可能になった。

・問題点

アルミ板切り出しによって大幅な時間短縮が可能になったが三軸の加工機を用いないことで新たな問題が生じた。主な問題点を以下に示す。

1. 強度
2. 取り付け角
3. ファンのバランス

1. アルミ板の厚みを 0.3mmの薄いものを使用したことにより、羽根の根元で曲げている箇所強度面に心配があった。しかし回転のみに関しては十分な強度があった。そのため、羽根が破断した場合は時間短縮できたことにより再度ファンを作ることで対応していく。
2. 加工機での製作においてはCADデータで数値的に正確な取り付け角でファンを製作できたが、今回のファンでは平板を曲げているため正確な角度をつけるのが困難である。そこで、加工機で型を作りそこにファンを押し付けて角度をつけることを検討している。
3. アルミ板の切り出しは糸鋸やヤスリを使用しているため正確なバランスが取れていない可能性がある。現段階では、実際にファンを回転させて微調整していく。

2.4 各種設計・製作

卓上ガスタービンを運転するためにファンやタービン以外の必要なものを製作していく。まず必要なものとして以下のようなものがあげられる。

- ・ファン取り付け部品
- ・軸
- ・受け皿
- ・ガイド
- ・外装

ここで、ファン取り付け部品、軸、受け皿に関しては Solid Works で 2 次元図面を書き、坂本鉄工所へ製作依頼した。設計した図面を参考資料[3]、[4]、[5]に示す。完成したそれぞれの部品を以下に示す。

図 2.4.1 ファン取り付け部品



図 2.4.2 ファンへの取り付け



ファンの取り付け部品はファン同様に軽量化を図るためアルミで作製した。ファンへの取り付けは 4 か所をボルト・ナットで固定し、軸への取り付けは軸の半径方向にボルトで締め付けることで固定する。図 2.4.2 に実際にファンに取り付けた図を示す。ファンへの取り付けとして 4 か所固定する部分を設けていたが、4 か所をボルト・ナットで固定すると重量が思っていたより増えたため 2 か所で固定することにした。また、圧縮機側では耐熱が必要ないことから固定するボルト・ナットをプラスチック製のものを使用し軽量化を図った。



図 2.4.3 軸

軸の先端は損失を減らすために丸みをつけて面ではなく点で回るようにした。上部では軸ブレを防ぐためにベアリングを取り付けた。また、現在使用していないが今後を考えてねじ切りも加えている。長さは、長すぎると振動が発生するため 500mm とした。



図 2.4.4 受け皿

受け皿は簡単に移動しないように鉄で作製し、抵抗を減らす油をさすために中央に向かってくぼませている。さらに軸ブレを無くすため、中央部分に R1 で溝を作った。

ここから、自ら製作したものを紹介する。

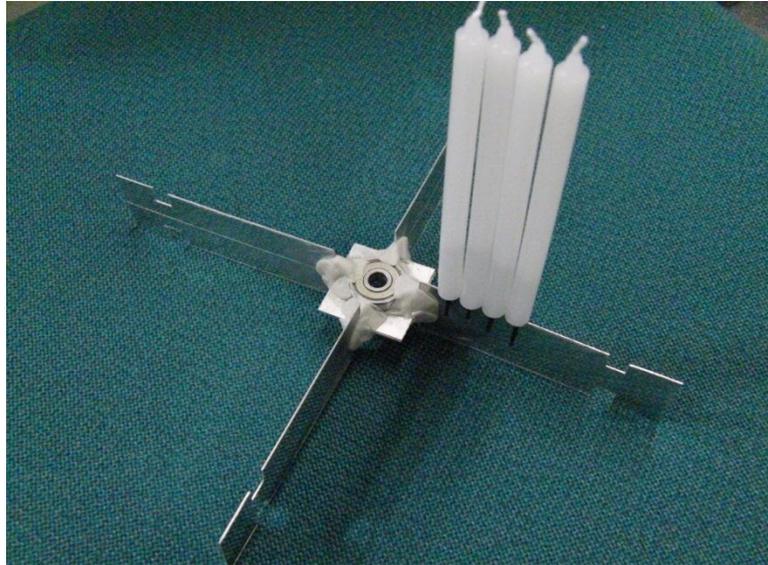


図 2.4.5 ガイド

煙突として利用する塩ビ管のつなぎ目として利用する。また燃焼部として使用するロウソクの取り付け部としても扱う。素材はファンと同じくアルミ板を使用し、製作方法もファンと同じく糸鋸で切った後に曲げて製作し、流れに対して並行になるようにし抵抗を低減した。また曲げた部分は強度が低いためエポキシ樹脂で補強した。ロウソクの取り付けはロウソク下部にヘアピンを差し込みガイド一列に 6 本取り付け、計 24 本のロウソクを取り付け燃料とした。この時、ロウソクが半径方向に倒れ、塩ビ管や軸に影響を与えないように 6 本のロウソクを溶かしたロウでつなげて転倒を防ぐ。燃料として使用したロウソクを以下に示す。

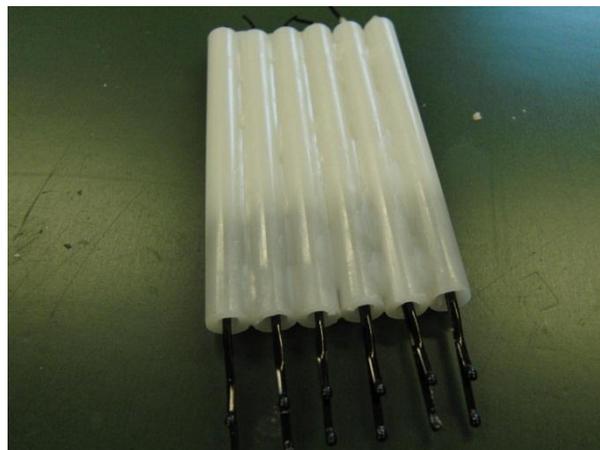


図 2.4.6 使用したロウソク

第3章 組立・運転



図 3.1 外装 全体図

上図は高さ 535mm で実際に回すときは、この上に 350mm の塩ビ管を乗せ煙突効果を高める。土台として 440×290×148mm の市販されている台の中央部に塩ビ管の直径に合わせて穴をあけ、L字の留め具を取り付け塩ビ管を差し込める構造にした。また塩ビ管等の重さで下にずれないように L字のねじを打ち込み留め具とし、わずかに高さを変更できるようにした。以下に組立時の図を示す。



図 3.2 土台組立



図 3.3 ずれ防止留め具

台の高さは塩ビ管の入り口面積より吸い込み口の帯状の面積が大きければ、風速は増速されるので計算により求めると、地面から塩ビ管の入り口までの高さは 60mm 以上であればよいことが分かった。そこで今回は地面からの高さを 90mm で設置している。

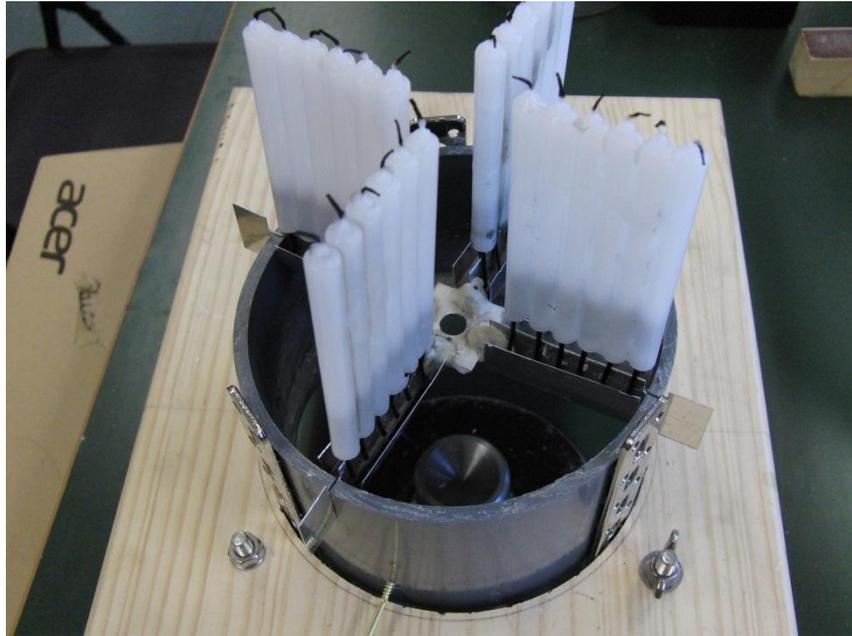


図 3.4 ロウソクの取り付け

上図はガイドとロウソクを取り付けた図であり、ここにファンを取り付けた軸、タービンを取り付け、300mmの塩ビ管と上側のガイドを取り付ける。組み立てて上から見たものを以下に示す。



図 3.5 組立図 上部

ファンとタービンの両方つけると、スムーズに回すための調整が非常に困難になる。どちらもチップクリアランスが小さいため正確に中心をとらなければ、羽根の先端が塩ビ管に当たりうまく回らない。ファンやタービンの取り外し、取り付けを行う際はガイドをはずし上または下から抜き取る。この時、羽根の強度が低い場合塩ビ管に羽根が接触しないように細心の注意が必要である。またロウソクに火をつけるときはタービンの間からチャッカマンで火をつけるためこの時も同様に羽根との接触に気をつける必要がある。

・運転

ここから実際に運転した結果を示す。

ロウソク 24 本で煙突無しで回した結果回転数は低い自立運転は達成できた。しかし風速も低くガスタービンとしての働きはできていない。そこで 350mm の煙突を追加して運転を行ったところ、風速・回転数ともに上昇した。これは煙突効果による上昇であり、ガスタービンとしての働きをより明確にみるために今後は煙突効果がある状態で実験していく。

まずファンとタービンをつけずにロウソクのみで風速を計測すると約 0.8m/s であることが分かった。この風速を基準とし、タービンのみの場合と、ファン・タービン両方の場合で交互に風速・回転数を計測した。タービンのみで風速・回転数を計測すると風速は約 0.7m/s となり回転数は約 120rpm となった。ファン・タービン両方の場合は風速が約 0.72m/s となり回転数は約 150rpm となった。風速は平均で 0.02m/s 増速しておりこの時、計測したすべてで風速の減少は見られず、わずかではあるが増速していた。

今回の計測では風速はファンの入り口付近で塩ビ管に小さな穴をあけ、そこに風速計を差し込み計測した。回転数の計測は当初、赤外線を利用した回転計を利用していたが、ロウソクの火に反応しうまく計測できず正確な値を示さなかった。そこで透過形フォトセンサ CNZ1023 を使用して正確に計測することができた。フォトセンサを取り付けた図を以下に示す。



図 3.6 フォトセンサ CNZ1023

実際に運転していると垂れたロウがファンに乗り、徐々に回転数が落ちていた。そこで以下に示すようにロウの受け皿を取り付けた。この時できるだけ空気抵抗の少ない形状を保持するためアルミ板を曲げガイドに直接取り付けた。

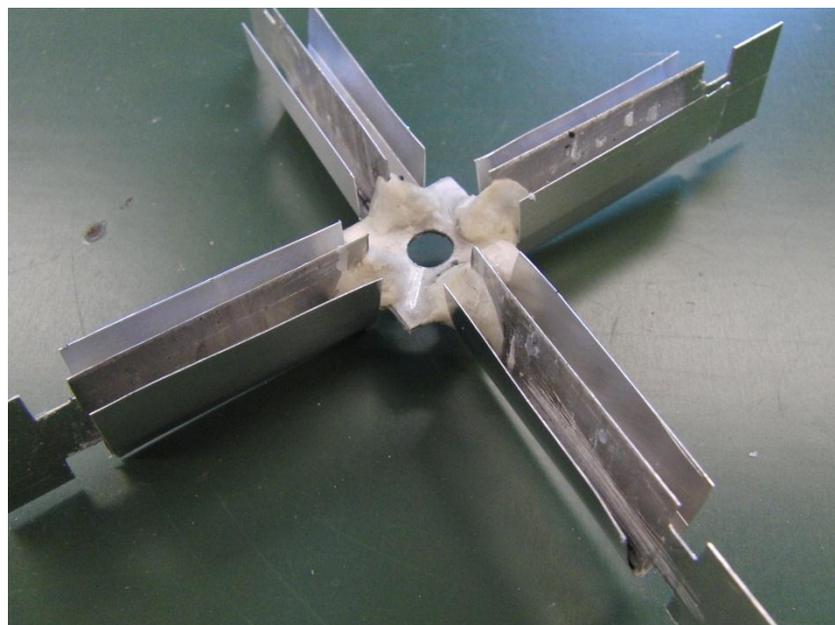


図 3.7 ロウの受け皿

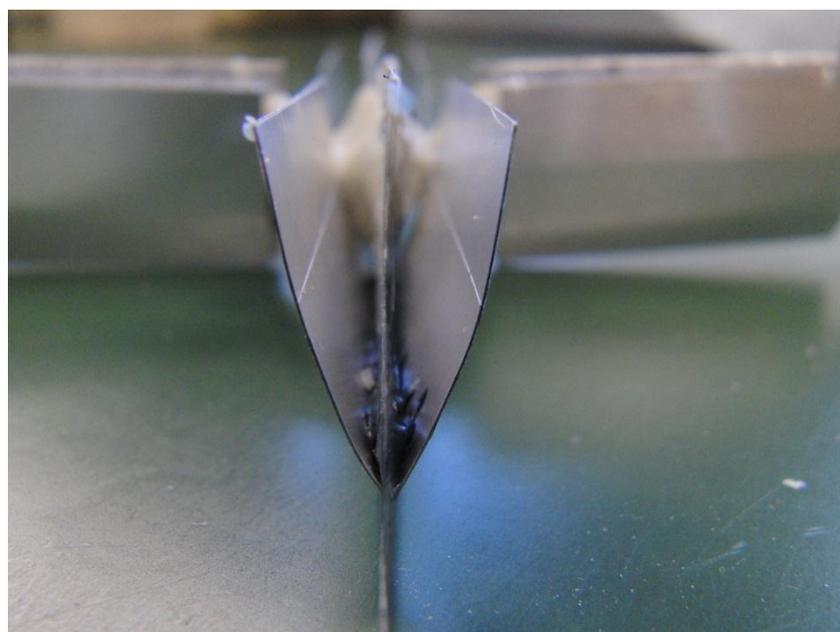


図 3.8 ロウの受け皿 側面図

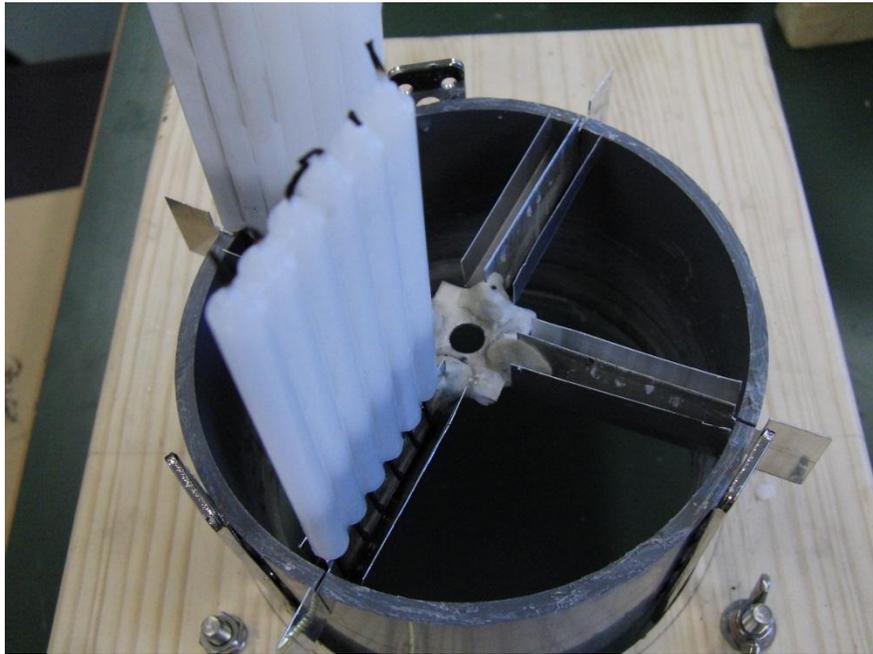


図 3.9 受け皿付ガイド

この受け皿によってファンへ垂れるロウが減少し連続運転時間も増加した。しかしそれでもまだあふれたロウが垂れており、また軸が通る部分にロウが流れ、回転に影響を及ぼしていた。ロウが垂れたファンを以下に示す。



第4章 結論

今回、上昇気流の効果もあって自立運転は達成でき、ガスタービンとしての効果は確認できた。ファンをつけることで風速・回転数ともに大きくなっているため微力ながらファンとしての役割を果たしているといえる。さらに、正確なデータとして残っていないが、圧縮機を取り付けることで風速が10%以上増加した時もあった。また静音に関しては稼働中、全くと言っていいほど音をたてず回転しているため達成できたといえる。しかし、今後改善すべき点も多く見つかった。改善すべき点として主なものを以下に挙げる。

1. 燃料の問題
2. 内部構造の透明化
3. 設置及び運転の簡素化

1. まず本研究では燃料としてロウソクを使用していたが、熱量としては十分得られるものの、垂れたロウが回転に影響を及ぼしたり、着火が困難であったり、ロウソクが倒れて塩ビの外壁を溶かしてしまうなどの問題があった。この解決策として今後はロウソクを内部に配置せずにライター等の構造を取り出し、外側からガスを送り燃焼させることで回転の影響をなくしていく。さらにライター等を使うことで火力の調整、つまり熱量の調整ができることも期待されるまたロウソクを使わないことで煤の問題も解決できると思われる。
2. 今回外装として利用したのが塩ビ管だったため内部構造や運転中のタービンやファンが見えなかった。今後は塩ビ管同様に扱いやすいアクリルの使用を考えており、耐熱が足りなければガラスの使用も考えている。また塩ビ管は水道管用のものが多く誤差も多い。誤差の小さいものを使用することによって設計が簡単になりチップクリアランスも一定に保つことができる。

3. 実験するうえで運転するためのセッティングに多くの時間がかかった。ファンとタービンをつけた後、両方の羽根の先端が塩ビ管に当たらない位置を探さないといけないため、誰にでも簡単にはなっていない。今後はファン・タービンの取り付け方を簡素化し、ガイドの中心取りはネジを回すだけで調整できるなど、誰にでも扱える構造にしていく必要がある。

本研究で構造が簡単で、静かに低温で回るガスタービンの可能性を示すことができた。しかし、まだまだ上昇気流による補助で回っている部分が多く、今後はガスタービンの力を十分に発揮できるようにしていく必要があり、長時間の定常運転、100℃以下での自立運転の目標達成を目指す。

謝辞

本研究を行うに当たり、本研究全体にわたってご指導いただきました高知工科大学 筒井康賢先生にこころより深く御礼申し上げます。

本研究を行うに当たりファン製作に関しての基盤を作り、多忙な中、製作・実験においてご協力いただいた岩浅君に感謝し、本年度の研究において、ともに製作・実験を進めてきた福田君に深く感謝いたします。

参考文献

[1]H. ABBOTT AND ALBERT E. VON DOENHOFF, THEORY OF WING SECTIONS(1958),P346

[2]ガスタービン技術継続教育教材作成委員会,ガスタービン教育シンポジウム教材「ガスタービン」(2010),

参考資料 [1]

翼型データ

NACA64-006			
x/c	y/c	x/c	y/c
0	0	40	2.995
0.5	0.494	45	2.919
0.75	0.596	50	2.775
1.25	0.754	55	2.575
2.5	1.024	60	2.331
5	1.405	65	2.05
7.5	1.692	70	1.74
10	1.928	75	1.412
15	2.298	80	1.072
20	2.572	85	0.737
25	2.772	90	0.423
30	2.907	95	0.157
35	2.981	100	0

翼型を $x-y$ 平面で考えると,

x/c の値に翼弦長を掛けると x 座標が求まり,同じように y/c の値に翼弦長を掛けることで y 座標が求まる.ここで翼厚は y 座標の値となる.

これを図示すると翼形状になる.

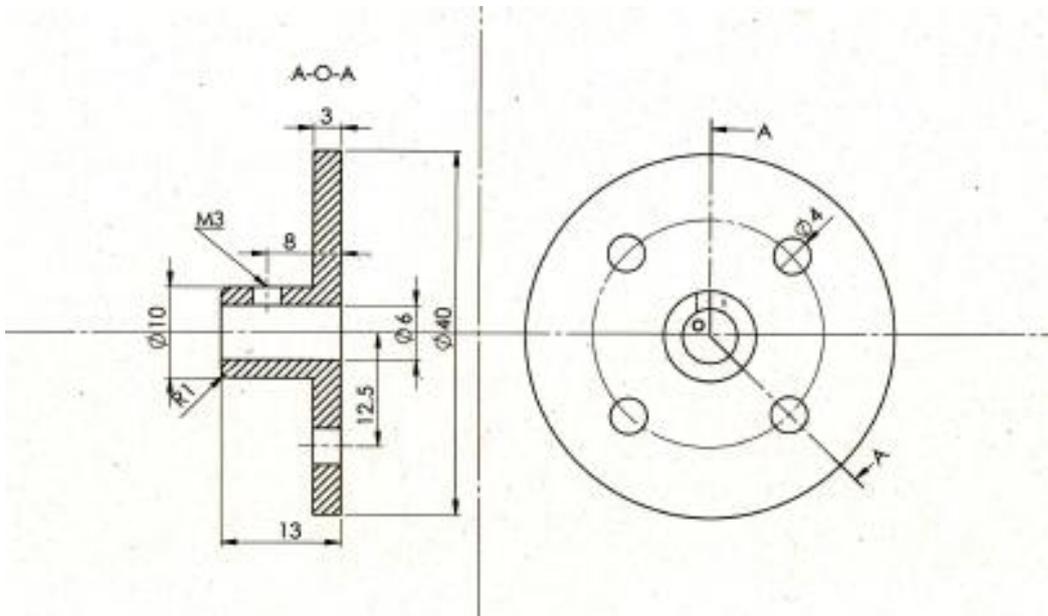
実際に求めた翼弦長と翼型のデータから翼厚を決定する.

参考資料 [2]

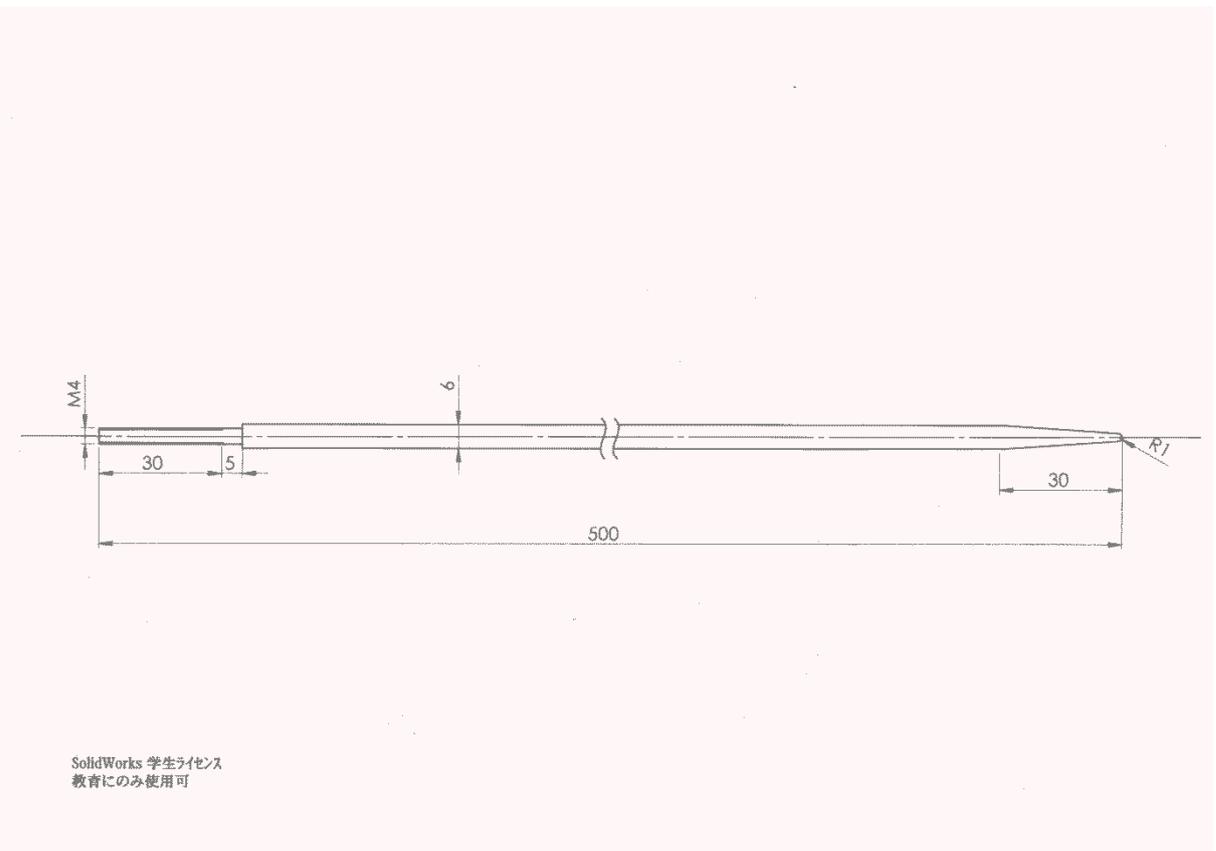
翼厚の計算結果

70		60		50		40		30		20	
x	y	x	y	x	y	x	y	x	y	x	y
0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
0.105	0.104	0.125	0.124	0.135	0.133	0.150	0.148	0.165	0.163	0.190	0.188
0.158	0.125	0.188	0.149	0.203	0.161	0.225	0.179	0.248	0.197	0.285	0.226
0.263	0.158	0.313	0.189	0.338	0.204	0.375	0.226	0.413	0.249	0.475	0.287
0.525	0.215	0.625	0.256	0.675	0.276	0.750	0.307	0.825	0.338	0.950	0.389
1.050	0.295	1.250	0.351	1.350	0.379	1.500	0.422	1.650	0.464	1.900	0.534
1.575	0.355	1.875	0.423	2.025	0.457	2.250	0.508	2.475	0.558	2.850	0.643
2.100	0.405	2.500	0.482	2.700	0.521	3.000	0.578	3.300	0.636	3.800	0.733
3.150	0.483	3.750	0.575	4.050	0.620	4.500	0.689	4.950	0.758	5.700	0.873
4.200	0.540	5.000	0.643	5.400	0.694	6.000	0.772	6.600	0.849	7.600	0.977
5.250	0.582	6.250	0.693	6.750	0.748	7.500	0.832	8.250	0.915	9.500	1.053
6.300	0.610	7.500	0.727	8.100	0.785	9.000	0.872	9.900	0.959	11.400	1.105
7.350	0.626	8.750	0.745	9.450	0.805	10.500	0.894	11.550	0.984	13.300	1.133
8.400	0.629	10.000	0.749	10.800	0.809	12.000	0.899	13.200	0.988	15.200	1.138
9.450	0.613	11.250	0.730	12.150	0.788	13.500	0.876	14.850	0.963	17.100	1.109
10.500	0.583	12.500	0.694	13.500	0.749	15.000	0.833	16.500	0.916	19.000	1.055
11.550	0.541	13.750	0.644	14.850	0.695	16.500	0.773	18.150	0.850	20.900	0.979
12.600	0.490	15.000	0.583	16.200	0.629	18.000	0.699	19.800	0.769	22.800	0.886
13.650	0.431	16.250	0.513	17.550	0.554	19.500	0.615	21.450	0.677	24.700	0.779
14.700	0.365	17.500	0.435	18.900	0.470	21.000	0.522	23.100	0.574	26.600	0.661
15.750	0.297	18.750	0.353	20.250	0.381	22.500	0.424	24.750	0.466	28.500	0.537
16.800	0.225	20.000	0.268	21.600	0.289	24.000	0.322	26.400	0.354	30.400	0.407
17.850	0.155	21.250	0.184	22.950	0.199	25.500	0.221	28.050	0.243	32.300	0.280
18.900	0.089	22.500	0.106	24.300	0.114	27.000	0.127	29.700	0.140	34.200	0.161
19.950	0.033	23.750	0.039	25.650	0.042	28.500	0.047	31.350	0.052	36.100	0.060
21.000	0.000	25.000	0.000	27.000	0.000	30.000	0.000	33.000	0.000	38.000	0.000

参考資料 [3]



参考資料 [4]



参考資料 [5]

