

### P32-06 超小型ガスタービン用遠心圧縮機の要素試作

太田, 有 / TANAKA, Nobuyoshi / 御法川, 学 / MIZUKI, Shimpei / YAMAGUCHI, Naoki / MINORIKAWA, Gaku / 山口, 直樹 / OHTA, Yutaka / 田中, 伸佳 / OUTA, Eisuke / 水木, 新平 / 大田, 英輔

---

(出版者 / Publisher)

日本機械学会

(雑誌名 / Journal or Publication Title)

動力・エネルギー技術の最前線講演論文集 : シンポジウム

(号 / Number)

8

(開始ページ / Start Page)

537

(終了ページ / End Page)

540

(発行年 / Year)

2002-06-14

# P32-06 超小型ガスタービン用遠心圧縮機の要素試作

## Design and Fabrication of Centrifugal Compressor for Ultra Micro Gas Turbine

○山口 直樹 (法政大院) 田中 伸佳 (日本航空) 水木 新平 (法政大)  
御法川 学 (法政大) 太田 有 (早稲田大) 大田 英輔 (早稲田大)

Naoki YAMAGUCHI, Hosei University, 3-7-2, Kajino-cho, Koganei, Tokyo  
Nobuyoshi TANAKA, Japan Air Lines  
Shimpei MIZUKI, Hosei University  
Gaku MINORIKAWA, Hosei University  
Yutaka OHTA, Waseda University, 3-4-1, Oukubo, Shinjuku-ku, Tokyo  
Eisuke OUTA, Waseda University

An impeller was designed and manufactured in order to use for an ultra micro gas turbine. As the first stage of the design, the impeller with two-dimensional backward curved blades was designed and manufactured by an ordinary one-dimensional method.

The major parameters such as the relative velocity ratio, velocity triangles, pressure recovery coefficient of the vaned diffuser were chosen at the same values for those of three-dimensional impellers. The preliminary test of the impeller was made at the low rotational speed by the cold condition of the driving turbine.

*Key Words: Centrifugal compressor, Ultra micro gas turbine, Performance characteristics, Two dimensional impeller*

### 1. はじめに

遠心圧縮機は古くより産業用、航空用、車両用など幅広く使用されて来ており、また、車両用ターボチャージャーに使用されるようになってから、生産台数も飛躍的に増加している。このような背景からその設計および製造技術はかなり確立されていると考えることが出来る。

一方、近年、電力用の分散型エネルギー源などにはじまり、モバイル電源や超小型飛行機用を目指したガスタービンの小型化に対する研究や試作が盛んに試みられている。ここでは超小型ガスタービン用を考えた超小型遠心圧縮機を設計、製作し、要素テストを試み、その結果を報告する。

### 2. 設計

超小型圧縮機については既に幾つかの報告があるが(例えば文献<sup>1)~4)</sup>、羽根車が2次元形状のもの3次元形状のものがある。設計が2次元から擬3次元、3次元と高度化するにつれて性能特性が向上することは良く知られているが<sup>5)</sup>、(図1-1、図1-2)一方、超小型化のためには製作が非常に難しくなってくる。

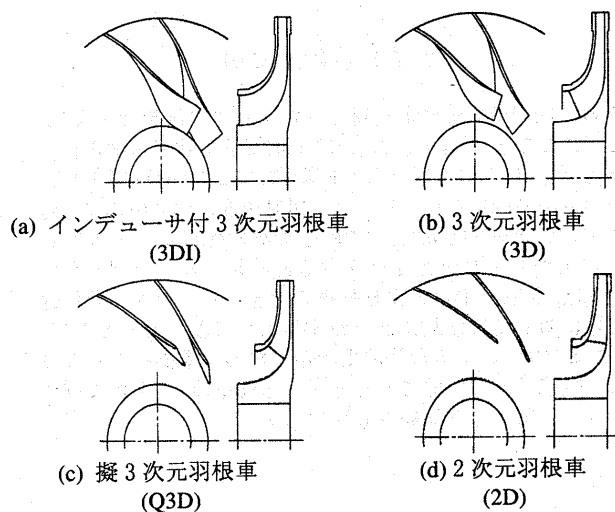


図1-1 4種類の羽根車<sup>5)</sup>

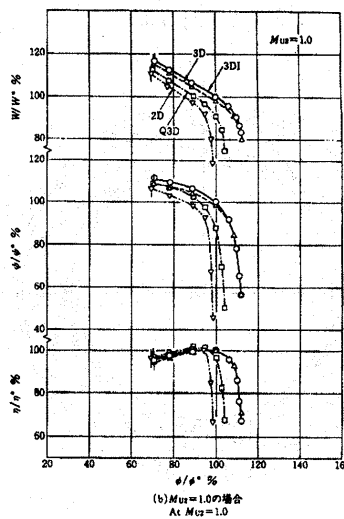
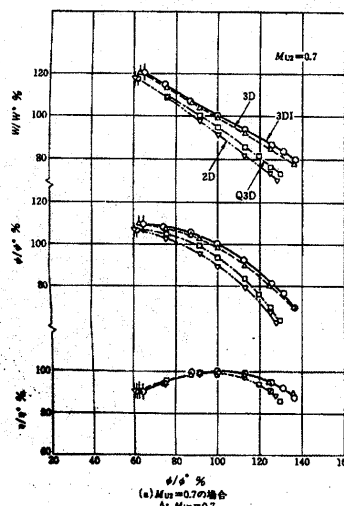


図1-2 無次元特性<sup>5)</sup>

本研究では超小型化の第一段階として、10倍モデルを対象にしているこの大きさでは3次元形状が十分可能であり、さらに小型化しても既存の設計技術で十分に対応出来ると考え、はるかに小型化された場合を想定して2次元形状を選択した。羽根車を小型化した場合のレイノルズ数を代表寸法に外径を、速度に周速度を取って考えて見る。周速度を取った理由は周速度により圧力比がおおよそ決まり、また、羽根車入口と出口の相対速度と周速度の比にはある一定の関係が存在し、さらに相対速度比には最適値が存在することによる。どのように小型化しても全圧力比を約3としているので周速度はあまり変化できない。

一方、羽根車外径は1/10になるとするとレイノルズ数は同じく1/10となる。従って、小型化に比例してレイノルズ数は減少する。反対に加工粗さを考えると、加工方法によって達成できる最小の粗さは決定される。即ち、代表寸法に対する相対粗さは寸法に逆比例して増加する。例えばMoody線図を考えると、摩擦による損失は増加して、壁面摩擦損失および円板摩擦損失が必ず増加する。さらに2次元羽根であるから羽根車入口の子午面の急激な曲がりによってはくりによる損失が生じる。また、2次元羽根であるから衝突損失は設計点でも無衝突となる位置以外で生じ、設計点以外ではさらに大きくなる。羽根車間隙損失の間隙自体を小型化により小さく取るとは困難で羽根車出口の羽根高さ比で10パーセント程度になると推測できる。

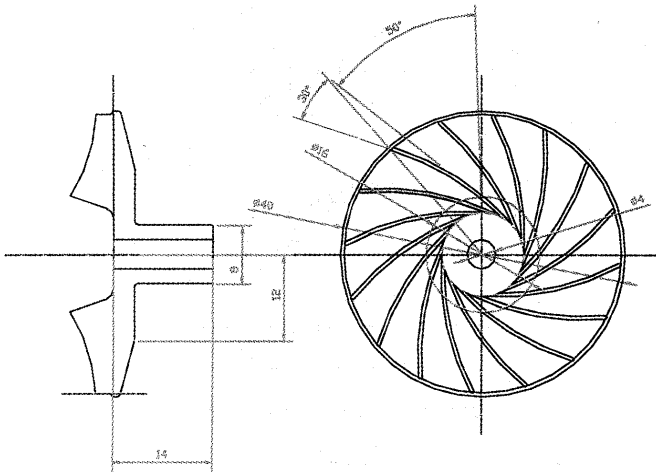


図 2-1 羽根車

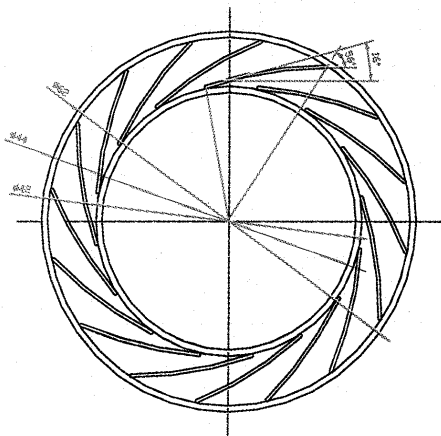


図 2-2 ディフューザ

以上のような点を考慮し、図 1-1<sup>5)</sup>および図 1-2<sup>5)</sup>に示す結果を参考にすると本羽根車は3次元形状のものに対して、達成できる効率もかなり低く、また、作動範囲もかなり狭くなることが実験するまでもなく確実に予想できる。従って、このような2次元羽根のメリットは製作が簡単であることだけになるが、これをベースとしてより高い効率と広い作動範囲を達成させる試みがこれからの大きな課題と考えられる。また、既存のデータベースによる設計法が適用できなくなり、新たなデータの蓄積が必要となると考えられる。

設計された羽根車およびディフューザ形状を図 2-1 および図 2-2 に示す。設計に際しては、インデューサ衝突損失、壁面摩擦損失、2次流れ損失、漏れ損失、混合損失、円板摩擦損失およびディフューザでのブロッキングと圧力回復率などを考慮し、すべり係数にはWiesnerの式を用いた<sup>6)</sup>。圧縮機各要素の入口と出口の全圧力、静圧力、相対速度、絶対速度および流れ角、温度などを検討し、形状の修正は非常に容易である。さらに予備計算としてCFDを用い、とくに羽根車入口で予想通り強いはくりが生ずることも確かめられた。図 3 には羽根車入口部分の子午面内翼面中央での速度ベクトルを示す。計算を簡便に行うために、羽根車入口部分はスパン方向に直線形状となっている。羽根先端、シュラウド側に大きな剥離による渦が認められる。

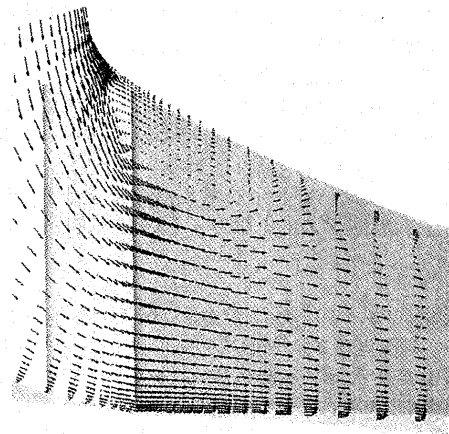


図 3 子午面形状の CFD

参考に性能予測法により得られたマップの例を図 4 に示した。ここで $\pi$ は全圧力比、 $G$ は重量流量で効率も示されている。設計点において予測した回転数は220000rpmであり、流量は0.033kgf/sで入口と出口の相対速度比は0.68である。ここで用いた性能予測法<sup>6)</sup>では壁面摩擦係数などの仮定された定数などを変化させたりすると結果に大きな相違が生じ、また、3次元形状のより外径の大きいインデューサ付き羽根車に対して実験結果と一致するようになっているので、図 2 および図 4 のような構成要素からなる圧縮機に対しては正確な性能予測は困難であると考えられる。羽根車およびディフューザの主要な緒元を表 1 に示す。

表 1 圧縮機の設計仕様

羽根車	入口直径[mm]	20
	出口直径[mm]	40
	羽根枚数	16
	羽根厚[mm]	0.5
	入口羽根高さ[mm]	6.05
	出口羽根高さ[mm]	2.4
	羽根入口角度[°]	50
	羽根出口角度[°]	30
	出口流れ角[°]	76
ディフューザ	入口直径[mm]	42
	出口直径[mm]	60
	羽根枚数	16
	羽根厚さ[mm]	0.5
	羽根高さ[mm]	2.4

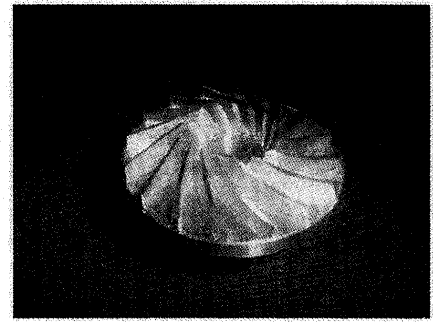


図 5-1 羽根車

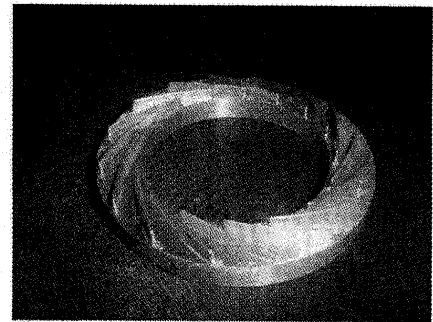


図 5-2 ディフューザ

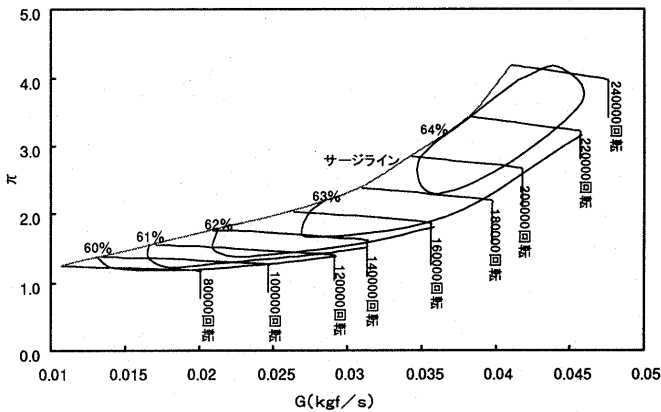


図 4 性能予測

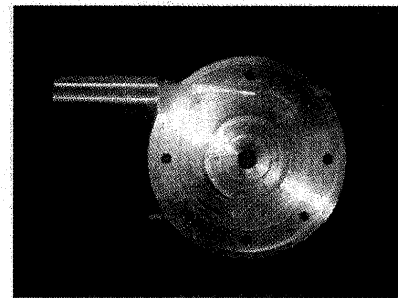


図 5-3 ケーシング

### 3. 圧縮機の試作

図 5-1 から図 5-3 に試作した圧縮機の写真を示す。この羽根車の駆動には軽自動車用のターボチャージャーを利用して、圧縮機部分、すなわち、羽根車、ディフューザおよび吸い込みベルマウスを含むケーシングだけを設計、製作した。羽根車およびディフューザの流路加工は 3 軸加工が可能なマシニングセンタを用いて行った。羽根車の材料は A7075 を使用した。設計においては羽根厚さがスパン方向に一定であったが、回転時の強度を考慮し、根元部の羽根厚さを 1.0mm とし、テーパ状に仕上げた。また、リーディング部では流れの方向が急激に変わるため、シュラウド側からハブ側にかけて角度を付けた。ディフューザは真鍮製で、羽根なしと羽根付きの 2 種類を試作し、シュラウド側より流路に固定した。なお、ケーシング壁面とシュラウドとの隙間は 0.3mm である。羽根車、ディフューザを経た流れはディフューザ下流の等断面積のスクロールを経て、吐き出し管に導かれ、その途中のオリフィスにより流量を測定した。また、回転数は光電式回転計により計測した。また、タービン側で測定した羽根車入口静圧、出口静圧、ディフューザ出口静圧および全圧と圧縮機出口空気の温度を測定して性能を計算した。また圧縮機の組立断面図を図 6 に示す。

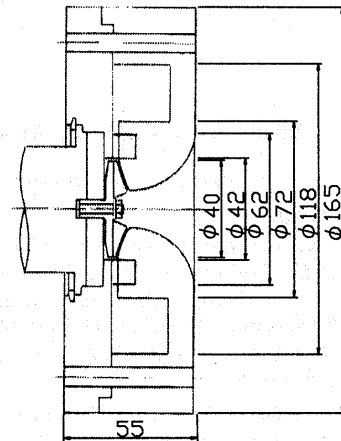


図 6 圧縮機組立断面図

#### 4. 実験結果および考察

実験はコールドテストのため、設計点よりはるかに低い50,000rpmで行った。図7に羽根なしと羽根付きディフューザの場合の測定結果を示す。当然のことながら羽根付きディフューザの場合が作動範囲は狭いが、設計点で高い全圧力比が得られた。これらの結果を性能予測による結果(図4)と比較する。図4では50,000rpmにおける性能曲線は明示していないが、流量および圧力がやや低く出ているものの、定性的には一致しており、効率は60%程度であると推察される。なお、設計に用いた性能予測法による結果は、実験による結果とかなり相違したため、ここでは除外した。

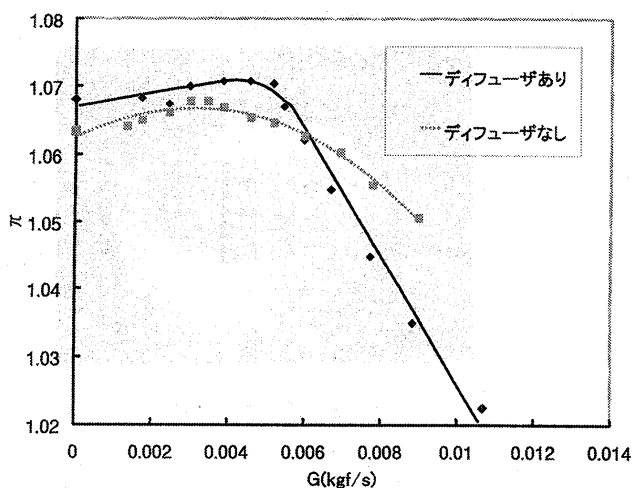


図7 実験結果

#### 5. おわりに

予定よりかなり遅れたため、全く初期の予備実験結果だけしか報告できない。燃焼テストの準備が整い次第、ケーシングトリートメントなどを含めた、より高効率で広い作動範囲を目指した試験を行い、設計指針の確立を図りたい。

本研究開発は、NEDOの平成13年度エネルギー・環境国際共同研究提案公募事業「ボタン型ガスジェネレータ実用化技術開発」を東京大学生産技術研究所が受託し、その一貫として行われたものである。

#### 参考文献

- (1) S. Ashley, Turbine on a Dime, Mechanical Engineering, 1997-10
- (2) 日本ガスタービン学会誌・マイクロガスタービン特集号, Vol.29, No.3, 2001-5
- (3) S. Tanaka et al., Design and Fabrication Challenges for Micromachined Gas Turbine Generators, 9th ISROMAC, 2002-2
- (4) K. Isomura et al., Design Study of a Micromachined Gas Turbine with 3-Dimensional Impeller, 9th ISROMAC, 2002-2
- (5) 安斉章他、高性能遠心圧縮機的设计システム、エバラ時報、No.146, pp.27-35, 1990
- (6) Michael R. Galvas, Analytical Correlation of Centrifugal Compressor Design Geometry for Maximum Efficiency with Specific Speed, NASA TN D-6729, (1972)