

機関番号 : 52605

研究種目 : 若手研究 (B)

研究期間 : 2008~2010

課題番号 : 20760121

研究課題名 (和文) 超小型遠心圧縮機の開発

研究課題名 (英文) Design and Prototyping of Ultra Micro Centrifugal Compressor

研究代表者

平野 利幸 (HIRANO TOSHIYUKI)

東京都立産業技術高等専門学校・ものづくり工学科・助教

研究者番号 : 50469574

研究成果の概要 (和文) : 近年、超小型ガスタービンの研究開発が行われており、その中で圧縮機の性能向上は重要な課題とされている。超小型遠心圧縮機は、二次元翼を有する羽根車を超小型ガスタービンへ適用するために、子午面形状を最適化することが重要となる。本研究では、超小型ガスタービン用遠心圧縮機的设计指針を確立させることを目的として、最終モデルの 5 倍(直径 20mm)と 6 倍(直径 24mm)の外径で相似形状になるように設計、製作し、得られた性能特性の比較、検討した。

研究成果の概要 (英文) : Studies for an ultra micro gas turbine have been actively tried and the performance gain of the compressor is assumed to be an important problem. It is important that the ultra micro centrifugal compressor optimize the meridional plane to apply the impeller with 2-dimensional blade to the ultra micro gas turbine. The present study is an attempt to establish the design methodology of a micro centrifugal compressor, which is the most important component of an ultra micro gas turbine system. Two types of impeller were made for the 5 times and the 6 times size of the final target centrifugal impeller with the outer diameter of 4mm in order to assess the similitude for the impellers and tested.

交付決定額

(金額単位 : 円)

	直接経費	間接経費	合計
2008 年度	2,000,000	600,000	2,600,000
2009 年度	600,000	180,000	780,000
2010 年度	300,000	90,000	390,000
年度			
年度			
総計	2,900,000	870,000	3,770,000

研究分野 : 機械工学

科研費の分科・細目 : 流体工学

キーワード : 流体機械

1. 研究開始当初の背景

超小型ガスタービンは、超小型飛行機用ジェットエンジン、ロボットやガスタービン発電機など、高いエネルギー密度を必要とし、再利用可能でかつ携帯用電源として期待されている。超小型ガスタービンは燃料電池システムよりもエネルギー密度が 1 桁もしくはは

2 桁以上高く、上述のアプリケーションが期待されている。超小型ガスタービンの開発は MIT で最初に試みられ、MIT グループによる羽根車直径 4mm として計画されたマイクロターボの特許は、このタイプの機械への最初の挑戦としてよく知られている。

超小型ガスタービンは製造工程を含め、実

現の可能性について試行錯誤されてきているが、超小型であるため、未だに一般的な設計手法は確立されていない。そのため、まずこれがシステムとして成立するかどうかを明らかにするため、目標サイクル成立のために必要とされる各構成要素の性能が実現できるかを評価する必要がある。超小型ガスタービンの実現には、微小領域で安定燃焼できる燃焼器、高効率な圧縮機とタービン、高速空気軸受などの開発、再生熱交換器の開発とその使用によるサイクル効率の向上、高速回転発電機の開発など様々な課題を解決する必要があるが、出力を取り出し、サイクルを成立させる上で、その最初に位置する圧縮機の効率向上は最も重要な課題である。

2. 研究の目的

本研究では、超小型ガスタービンの主要な要素である超小型遠心圧縮機の実現可能性を、設計方法を含めて明らかにすることを目的とする。小型ターボチャージャをベースに、これを小型化し、超小型にまで縮小して、連続的に寸法を縮小させた場合の性能特性と流れを測定し、得られた性能特性を検討する。実験では5倍モデルである羽根車直径20mmおよび6倍モデルである羽根車直径24mmの遠心圧縮機を設計、製作し相似則に基づいて性能特性を比較する。また、設計回転数は5倍モデルでは500,000rpmであり、設計回転数での運転を目指し、その周辺技術を検討する。

3. 研究の方法

(1) 羽根車および試験装置について

小型ターボチャージャを用いて、後述する実験項目を対象に性能特性および流れパターンの測定の実験を行い、使用するセンサーの作動をチェックする。羽根車用のケーシングを製作し、達成可能な試験回転数の範囲で実験および解析結果の対比を行う。性能試験では、光学式回転計、圧力変換機、小型ピトー管、熱電対などを用いる。圧力比、羽根車効率、圧縮機効率、羽根車入口および出口、羽根なしおよび羽根付ディフューザ、およびシュラウドケーシングの静圧を測定する。

二次元翼を有する遠心圧縮機羽根車において子午面形状の変化による性能への影響を調べるために、子午面形状の異なる二種類の羽根車を、直径4mmの最終モデルの5倍(直径20mm)と6倍(直径24mm)の外径で、相似形状になるように設計、製作した。またこれらの4種類の羽根車を装着した遠心圧縮機の性能試験を行い、得られた性能特性の比較、検討を行った。本研究で設計、製作した羽根車の概略図と仕様を図1および表1に示す。

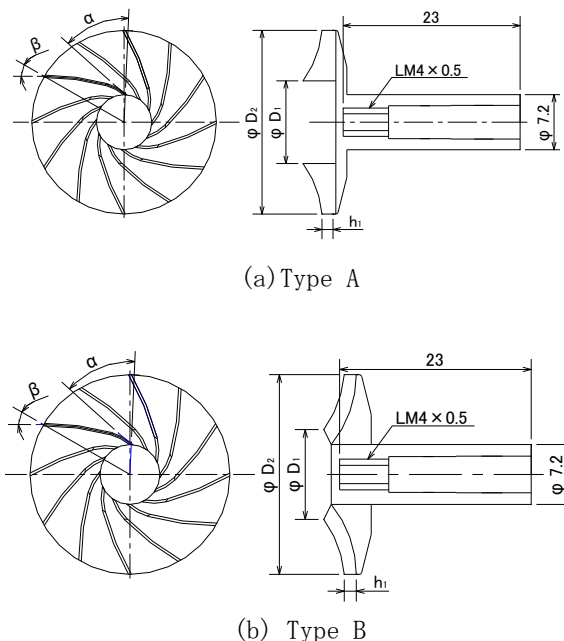


図1 羽根車の概略図

表1 羽根車の主な仕様

	6倍モデル	5倍モデル
D_1 [mm]	10.8	9.0
D_2 [mm]	24.0	20.0
N	12	
b_2 [mm]	1.44	1.20
• [deg.]	50	
• [deg.]	30	

(2) 試験方法

本研究の対象となる圧縮機は、同軸上のタービンに圧縮空気を供給することにより駆動される。圧縮機の性能試験はJIS B 8340に基づいて行った。圧縮機の作動流体である空気は圧縮機ケーシングに取り付けられた吸込みノズルから流入し、圧縮機を通過した後、流量計を経て流量調節弁により大気に放出される。本実験では流量調節弁を全開から全閉まで閉じていき測定を行った。試験装置の概略図を図2に示す。また、測定では各測定点における温度の測定には熱電対を、圧力の測定には小型デジタル圧力センサを用いた。回転数は100,000rpmから160,000rpmまで20,000rpm毎に変化させて測定を行った。各測定位置を図3に示す。

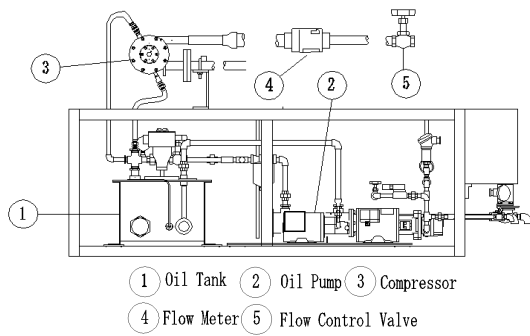
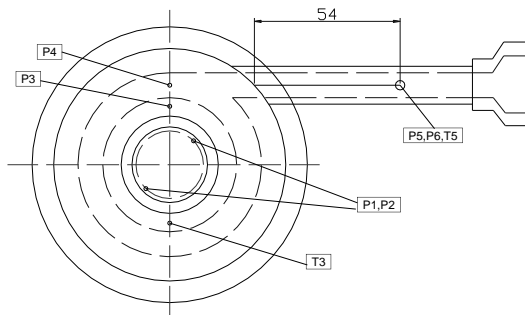


図2 試験装置



P1, P2	羽根車出口静圧
P3	ディフューザ出口静圧
P4	スクロール静圧
P5	圧縮機出口静圧
P6	圧縮機出口全圧
T3	ディフューザ出口温度
T5	圧縮機出口温度

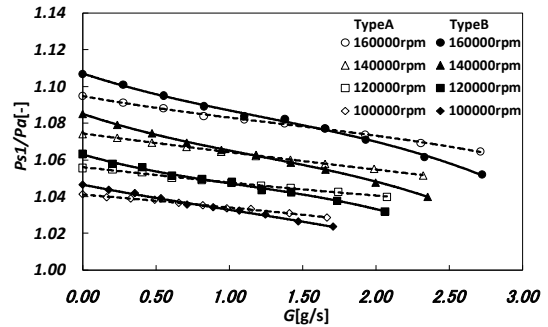
図3 測定箇所

4. 研究成果

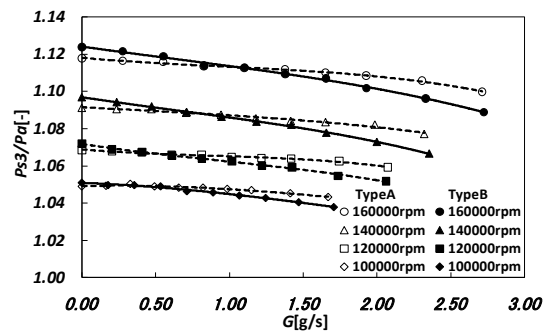
(1) 子午面形状の影響について

図4に5倍モデルの羽根車出口静圧 Ps_1 、ディフューザ出口静圧 Ps_3 、圧縮機出口全圧 Pt_5 の測定結果を示す。横軸の G は質量流量、縦軸は各測定位置での測定圧力と大気圧 P_a との圧力比である。図5には6倍モデルの場合の同様の図を示す。図4から5倍モデルでは回転数の増加にともない、圧力比が Type A と Type B とともに同程度の圧力比の上昇を示している。同一の回転数に対して Type A と Type B の羽根車を比較すると、最大流量が両羽根車でほぼ同じであることがわかる。また、高流量側では Type A の方の圧力比が Type B よりわずかに高いが、低流量側では Type B の方が高くなっている。また、この傾向を維持したままディフューザ内での圧力回復が行われている。さらに圧縮機出口全圧についても同様の傾向を示している。6倍モデルにおいては、Type A と Type B の羽根車を比較

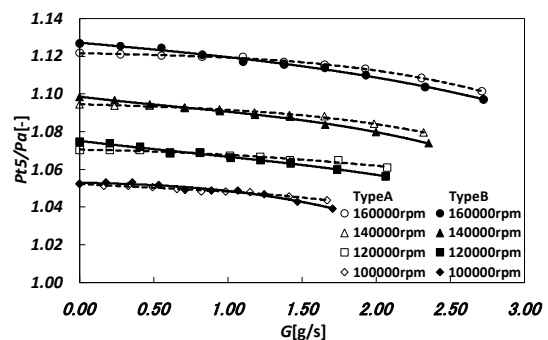
すると、5倍モデルと同様に回転数の増加にともない圧力比が両羽根車間で同程度の上昇を示しているが、最大流量については5倍モデルの場合と異なり差を生じている。また圧力比の特性については、羽根車出口静圧では高流量側で Type A の方の圧力比が高く、低流量側では Type B の方が高くなり、5倍モデルと同様の傾向を示した。しかし、ディフューザ出口静圧と圧縮機出口全圧は Type A の方がほぼ全流量域で高い値を示している。



(a) 羽根車出口静圧

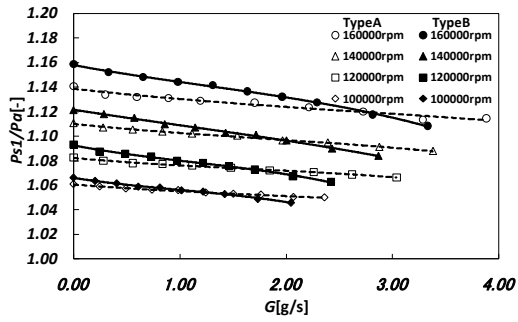


(b) ディフューザ出口静圧

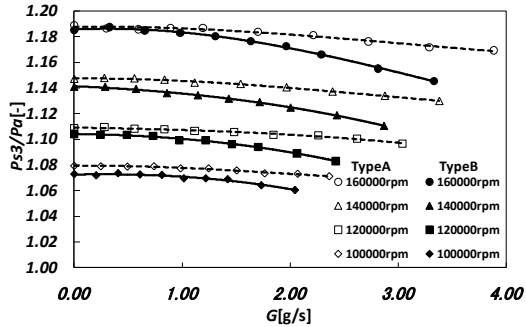


(c) 圧縮機出口全圧

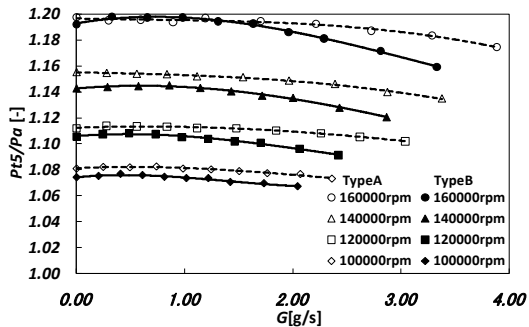
図4 性能曲線(5倍モデル)



(a) 羽根車出口静圧



(b) ディフューザ出口静圧



(c) 圧縮機出口全圧

図5 性能曲線(6倍モデル)

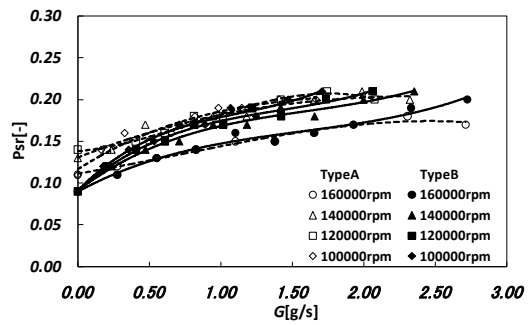
(2) 子午面形状の影響について

先ほどの性能特性では、ディフューザ出口静圧と圧縮機出口全圧は Type A の方がほぼ全流量域で高い値を示している。

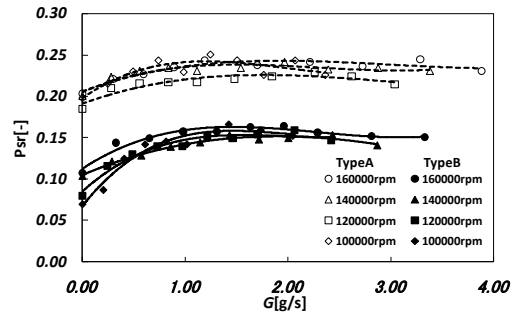
高流量側では Type A の方の圧力比が高く、低流量側では Type B の方が高くなる特性が5倍モデルと6倍モデルの羽根車出口で確認された。しかしこれらの傾向は5倍モデルではディフューザ下流側まで維持されるが、6倍モデルでは Type A の方が全流量域で高い圧力比を示した。このことから、羽根車とディフューザとの組合せの良否が存在すると考えられる。そこで各羽根車に対してディフューザ性能を評価するために、ディフューザ圧力回復率 P_{sr} を算出し、その結果を図6に示

す。図6から分かるように、5倍モデルでは Type A と Type B 間にディフューザ圧力回復率 P_{sr} の明確な差は現れていないが、6倍モデルでは Type A と Type B 間で明確な差を生じ、さらに全ての羽根車の中で6倍モデルの Type A の羽根車が他の羽根車より高い回復率を示していることが分かる。

以上の結果から、羽根車直径は子午面形状の違いによる羽根車単体の性能特性の傾向に対しては影響を与えないが、羽根車とディフューザとの組合せに対しては影響を与える結果となった。さらにこのディフューザ性能の違いが、6倍モデルにおいて Type A の最大流量が Type B より増加した原因と考えられる。



(a) 5倍モデル



(a) 6倍モデル

図6 ディフューザでの圧力回復率

(3) 相似則の検討

羽根車出口周速が等しくなる5倍モデルの回転数 120,000rpm と6倍モデルの回転数 100,000rpm における性能特性を比較した。図7に羽根車出口静圧 P_{s1} の測定値を大気圧で無次元化した圧力比と流量係数の関係を示す。羽根車に対しては5倍と6倍モデル程度の違いでは相似性は保たれると考えられる。Type B も同様の結果が得られた。

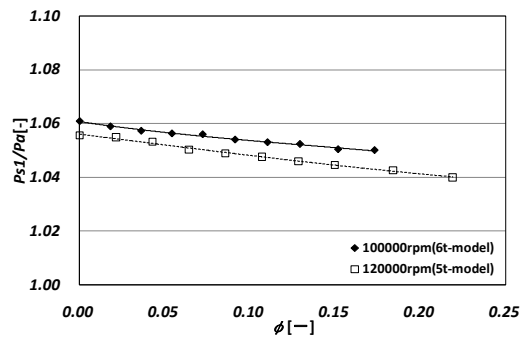


図7 羽根車出口の静圧力比(Type A)

(4)まとめ

性能試験結果を比較すると流量に関しては相似則が成り立ったが、圧力比は相似にはならなかった。小型化するにつれて羽根車では、チップクリアランスが製作の都合上、大きくなってしまったため、回転数をあげても得られる全圧力比が上昇しなかった。寸法を完全に相似にすることは極めて困難であり、小型化による性能低下は最終寸法に向けてさらに大きくなることが推察される。また、2次元翼を有する遠心圧縮機羽根車において子午面形状の変化による性能への影響を調べるために、子午面形状の異なる二種類の羽根車を、直径4mmの最終モデルの5倍(直径20mm)と6倍(直径24mm)の外径で、相似形状になるように設計、製作し、得られた性能特性の比較、検討を行った。羽根車直径は、羽根車性能に対する子午面形状の違いによる傾向に対しては影響を与えないが、羽根車とディフューザとの組合せに対しては影響を与えた。ディフューザでの圧力回復率の違いが圧縮機の最大流量に影響を与えた。

本研究の次の開発段階における超小型ガスタービンおよび超小型遠心圧縮機を実現するための重要な課題は羽根車を設計回転数で運転することである。

5. 主な発表論文等

[雑誌論文] (計1件)

① Toshiyuki Hirano, Hoshio Tsujita, Ronglei Gu, Gaku Minorikawa, Design and Prototyping Centrifugal Compressor for Ultra Micro Gas Turbine, International Journal of Fluid Machinery and Systems, Vol. 2, No. 4, pp. 426-430, 2009.

[学会発表] (計3件)

① Toshiyuki, HIRANO, Prototyping of Ultra Micro Centrifugal Compressor -Influence of Meridional Configuration-, 3rd Asian Joint Workshop on Thermophysics and Fluid Science, Sept. 10-13, 2010,

Matsue, Japan.

② 岡本秀一, 超小型遠心圧縮機の要素試作と実験-子午面形状の影響-, 第37回ガスタービン定期講演会講演論文集, pp. 235-240, 2009年10月21日, 山口県教育会館(山口県)

③ Toshiyuki HIRANO, Design and prototyping of centrifugal compressor for ultra micro gas turbine (Experimental and computational performance evaluation), Proceedings of 2nd Asian Joint Workshop on Thermophysics and Fluid Science, Luoyang, May. 12-14, 2008, Luoyang, China.

6. 研究組織

(1)研究代表者

平野 利幸 (HIRANO TOSHIYUKI)

東京都立産業技術高等専門学校・ものづくり工学科・助教

研究者番号: 50469574