

超小型遠心圧縮機の要素試作に関する研究 (FR1 マイクロエネルギー変換)

ASAKA, Yuichiro / 平野, 利幸 / MINORIKAWA, Gaku / 御法川, 学 / MIZUKI, Shimpei / OHTA, Yutaka / 太田, 有 / 大田, 英輔 / 顧, 茸蕾 / Ohta, Eisuke / 朝賀, 裕一郎 / HIRANO, Toshiyuki / 水木, 新平

(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 / 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)

9

(開始ページ / Start Page)

43

(終了ページ / End Page)

44

(発行年 / Year)

2004-06-22

FR 1-09 超小型遠心圧縮機の要素試作に関する研究

Study on prototyping of ultra-micro centrifugal compressor components.

水木 新平(法政大) ○御法川 学(法政大) 平野 利幸(法政大) 朝賀 裕一郎(法政大)
 顧 茸蕾(法政大) 大田 英輔(早稲田大) 太田 有(早稲田大)

Shimpei MIZUKI, Gaku MINORIKAWA, Hosei University, 3-7-2 Kajinocho, Koganei-shi, Tokyo
 Toshiyuki HIRANO, Yuichiro ASAKA, Ronglei GU, Graduate school of Hosei university
 Eisuke OUTA, Yutaka OHTA, Waseda university

In order to establish the design methodology of ultra micro centrifugal compressor, which is the most important component of ultra micro gas turbine unit, a 10 times size of the final target model was designed, prototyped and tested. A 2-dimensional impeller was chosen as the first model due to its productivity and the experiment was done by using a turbocharger for automobile. The performance characteristics were measured and compared with the prediction. The stress and the vibration analysis in the operating condition were also performed. Then, a 5 times and a 2.5 times model with a full 3-dimensional shape were designed and prototyped by a precise stereolithography method.

Key words: Ultra-micro centrifugal compressor, Performance characteristics, 2-dimensional impeller, Stress analysis, Vibration analysis, Stereolithography

1. 緒言

近年、モバイル電源などへの利用を考えた超小型ガスタービン(UMGT)に関する研究や試作が盛んに試みられている。現在、提案されている超小型ガスタービンの概念設計では羽根車直径 $D_2=4\text{mm}$ であり、製造工程を含めた実現可能性について検討が行われている。本研究では、超小型ガスタービン用遠心圧縮機の設計指針を確立することを目指し、最終サイズの10倍サイズモデルを設計製作して試験を行うとともに、CAEによる検討を行った。また、次ステップとして5倍サイズモデルについても概念設計を実施した。

2. 実験装置および方法

超小型化への第1ステップとして、図1に示すような10倍サイズモデル($D_2=40\text{mm}$)を設計製作した。設計はGalvasの方法を用い、設計回転数 $N=220,000\text{rpm}$ における圧力比は3とした。羽根車およびディフューザ形状は最終サイズの加工性を考慮した2次元形状である。実験は、小型ターボチャージャーを流用して圧縮機部分のみを製作した装置にて行った。なお、コールドエアによる性能試験を行ったため、羽根車回転数は $N=80,000\text{rpm} \sim 110,000\text{rpm}$ である。また、設計回転数における強度・振動特性ならびに内部流れの様子を数値解析により検証し、2次元形状の問題点について考察した。この結果を受け、次のステップとして、5倍サイズならびに2.5倍サイズの3次元形状の羽根車を設計した。これらはラピッドプロトタイプング装置(マイクロ光造形装置)にて試作し、形状評価を行った。

3. 実験結果および考察

3.1 10倍モデルの性能試験

図2は $N=110,000\text{rpm}$ および $N=100,000\text{rpm}$ における全圧を、3種類のディフューザ形状で比較したものである。羽根付

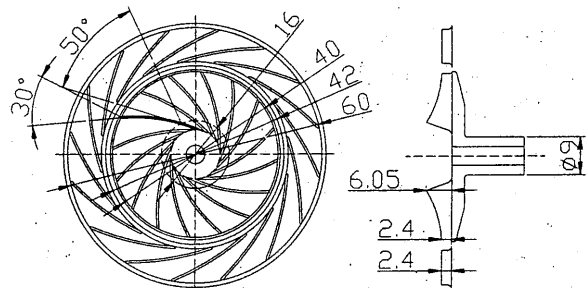


Fig.1 Drawing of impeller and diffuser

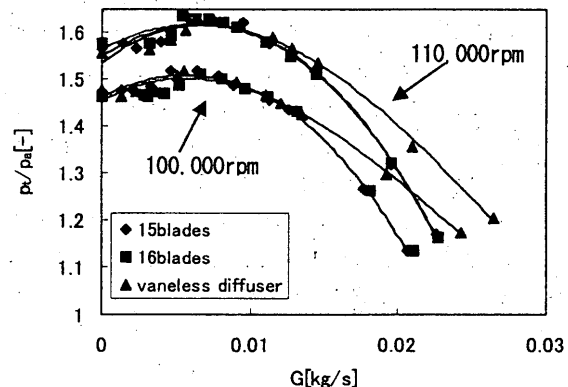


Fig.2 Performance characteristics of various diffuser types

きディフューザは羽根なしと比べ、作動範囲は狭い一方、最大全圧力比は若干高い値を示しているが、ディフューザの設計についてはさらなる検討が必要と思われる。

3.2 応力・振動解析

設計回転数における羽根車に生じる応力および振動モードの影響を調べるため、NASTRANによるFEM解析を行った。遠心力による応力解析においては、遠心力により花卉開花状に羽

根車が変形し、最大主応力値は試作品の材料である A7075 の引張強度をはるかに上回り、2 次元形状の制約の中ではこのような応力を緩和できる流路形状を見つける必要がある。次に羽根車の固有値解析を行った結果、羽根入口部先端が花卉開花状に振動する 3 次の固有モードが $f=10,210\text{Hz}$ 以上で現れ、羽根の振動が始まることがわかった。図 3 に 3 次の固有振動数における振動モード形状を示す。

3.3 流動解析

次に、10 倍モデルの羽根車およびディフューザ内部流れの流動解析を実施した。図 4 は羽根車回転数 $N=150,000\text{rpm}$ 、 $200,000\text{rpm}$ および $220,000\text{rpm}$ の性能予測結果を実験結果 ($N=100,000\text{rpm}$) と比較したものである。設計回転数である $N=220,000\text{rpm}$ では、ディフューザありの場合で最大流量約 0.03kg/s 、最大圧力比約 3.1 を得ており、ほぼ所望の性能が得られることが推察される。一方、ディフューザなしの場合では最大圧力比がやや低い傾向となっている。図 5 は $N=200,000\text{rpm}$ における羽根車の内部流れの等マッハ線図である。2 次元形状の流路形状では、速度の低い領域がシュラウド側だけでなく、ミッドスパン領域にまで及んでいる。

3.5 5 倍モデルの設計検討

10 倍モデルにおける実験解析結果から、2 次元形状の羽根車では設計回転数においては内部流れの最適化や強度において問題があり、その主な利点は加工性に限定されることが明らかであり、3 次元形状の羽根車の適用についても検討の必要があると思われる。そこで、5 倍モデル ($D_2=20\text{mm}$) を小型ターボチャージャー用圧縮機の設計概念に基づいて設計した。設計点における流量は 0.02kg/s 、圧力比は 3 とし、効率 68%、回転数 $N=500,000\text{rpm}$ で設計した。羽根入口角度および出口角度はそれぞれ 51° 、 30° であり、羽根出口は 45° の傾斜角を有している。羽根枚数は 9 枚、羽根厚さは 0.34mm である。なお、この羽根車は設計回転数における遠心力に対しては十分な強度を有していることを、応力解析により確認した。また、形状検討を行うため、積層ピッチ $50\mu\text{m}$ のマイクロ光造形装置により 5 倍モデルおよびこれをそのまま $1/2$ に縮小した 2.5 倍モデル ($D_2=10\text{mm}$) の羽根車を試作したものを図 6 に示す。これらを直接実験に用いることは不可能であるが、造形モデルは十分に流路が表現できており、今後は低回転域でのモデル試験や形状最適化などに応用する予定である。

4. 結論

超小型ガスタービン用遠心圧縮機を開発するため、その 10 倍サイズのモデルを設計・試作し、性能特性を調べるとともに、解析による検討を行った。その結果、2 次元形状の流路では遠心力に対する強度や内部流れに大きな課題があることが確認された。また、3 次元形状とした 5 倍サイズのモデルについても設計検討を行った。今後は両者の問題点を考慮しながら要素形状を改善するとともに、設計回転数における実験を行うための周辺技術を検討していきたい。

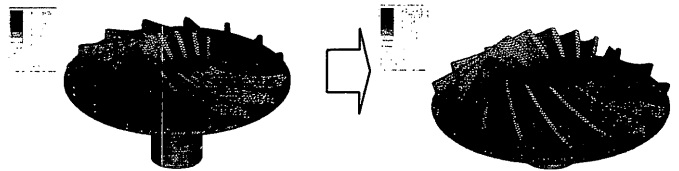


Fig.3 Vibration mode shape of impeller (3rd mode [$f=10,210\text{Hz}$])

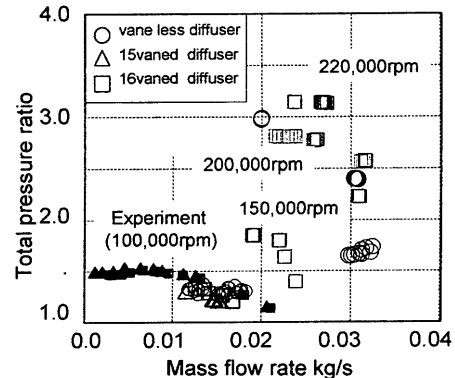


Fig.4 Comparison of performance characteristics

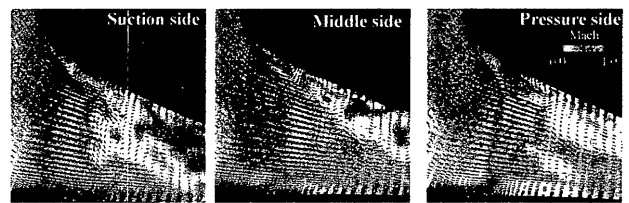


Fig.5 CFD result of internal flow of impeller at $N=200,000\text{rpm}$

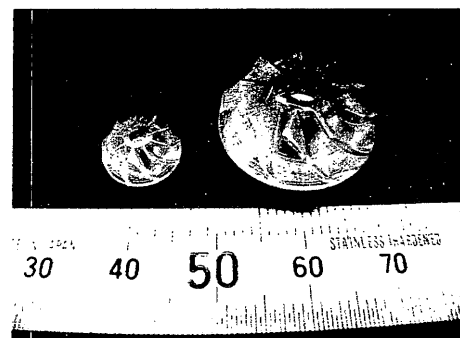


Fig.6 5 times and 2.5 times impeller model made by stereolithography

参考文献)

- 1) MIZUKI S. et al, Design and Prototyping of Micro Centrifugal Compressor, Journal of thermal science, Vol.12 No.1, p.33-37 2003-2
- 2) 御法川他, 超小型遠心圧縮機の要素試作に関する研究, 日本機械学会 2003 年度年次大会講演論文集(IV), p.323-324, 2003-8