



## 軸流反転ファンの性能特性試験

メタデータ	言語: jpn 出版者: 室蘭工業大学航空宇宙機システム研究センター 公開日: 2016-12-28 キーワード (Ja): キーワード (En): 作成者: 中田, 大将, 立桶, 薫, 寺内, 美和, 東野, 和幸 メールアドレス: 所属:
URL	<a href="http://hdl.handle.net/10258/00009151">http://hdl.handle.net/10258/00009151</a>

## 軸流反転ファンの性能特性試験

○中田 大将（航空宇宙機システム研究センター 助教）  
立桶 薫（航空宇宙総合工学コース 博士前期2年）  
寺内 美和（航空宇宙システム工学コース 学部4年）  
東野 和幸（航空宇宙機システム研究センター 教授）

### 1. はじめに

二重反転ファンは軸流単段の静翼＝動翼と比べ同径で大きな流量または圧縮比を取ることが知られており、船のスクルーやPCの冷却ファン等産業界において広く採用されている。本学では超音速実験機用ジェットエンジンへの適用を視野に反転ファンの基礎実験を続けている。

空力設計上の課題は反転する2枚のファンの周速度が音速程度としても、その相対マッハ数は2程度に達するため、衝撃波の形成により圧縮機効率が大きく低下することである[1][2]。この問題については近年MITのKerrebrockらがブレード上で抽気を行うことにより打開策を講じた例がある[3]。製作上の課題は反転ファンを実現するためにタービン側も反転式とし2軸のシャフトによって動力を伝達するか、あるいは1軸のシャフトから遊星ギヤ等によって反転機構を実現することが必要であり、高い軸芯精度や軸振動対策を要求する。昨年度は20000 rpmまでの回転試験を実施したが、軸受けの不具合があり定格回転までは至らなかった。今年度は大規模な改修を行った上で定格回転数の42000 rpmまでの試験を実施し、性能特性を取得した[4][5]。

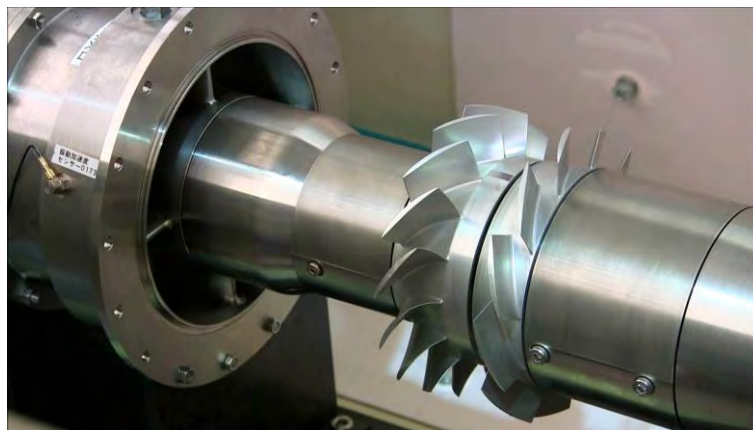


図1 二重反転ファン試験装置（ケーシングを外したところ）

### 2. 試験装置の改修

図2に改修前後の試験装置断面図を示す。旧型試験装置では片持ちであるファンをモーターベアリングで支える仕組みとなっており、22000 rpmでベアリングが破損した。改修後ではモーターカップリング（鍋谷バイテック）を介して十分に設計マージンを取ったベアリング（FAG社）に接続する設計とした。新軸系では1次の危険回転数は約15000 rpm、2次の危険回転数は定格回転数の十分上に位置している。また動バランスをこれまで以上に入念に取ることで、危険回転数附近での振動を低減した。

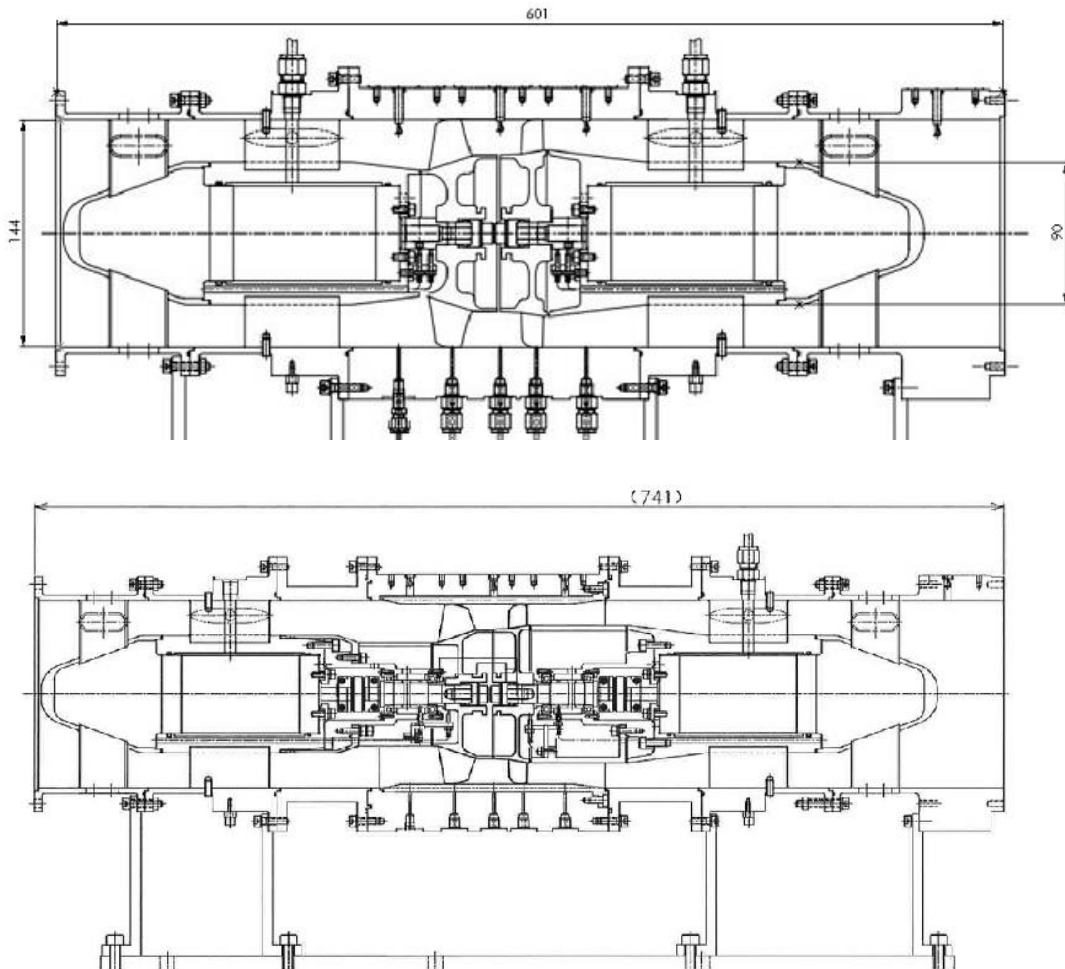


図2 改修前後の試験装置概観図

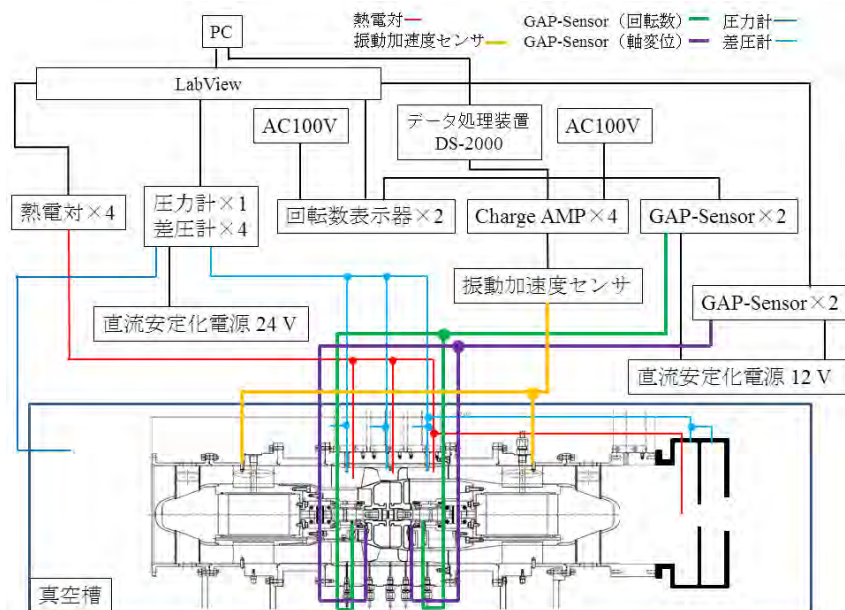


図3 試験装置計測系一覧

図3に計測系の概要を示す。本装置では2枚の反転ファンは10kW電動モーターで駆動され、電源には14セルのLiPoバッテリーをそれぞれのファンに対し4個ずつ使用する。1段ファン手前、1-2段ファン間、2段ファン背後での圧力と温度を計測し、全温上昇と圧力比を算出した。また、回転数、軸変位、ケーシングの加速度振動、バッテリー電圧と電流を計測している。2段ファン背後にダブルチャンバを設け、初段のオリフィス前後の差圧で流量測定を実施すると共に、後段のオリフィス口径を順次変えて流量を調整し、P-Qカーブを取得した。

### 3. 実験結果

図4～7に取得された回転数、全温度、静圧、流量の一例を示す。静圧で Vacuum Box とあるものは本試験装置を収めている真空チャンバ内の圧力である。真空チャンバ内は真空ポンプで常時ひいており、試験中も徐々に変化しているが、4-6 kPa の範疇で圧力比に大きな差異は認められなかった。(実際には圧力が低いほうが僅かに圧力比低下する。これはレイノルズ数の低下により粘性の影響が大きくなるためである。) 1段目手前では流れによる圧損で圧力は外部よりもかえって低下する。

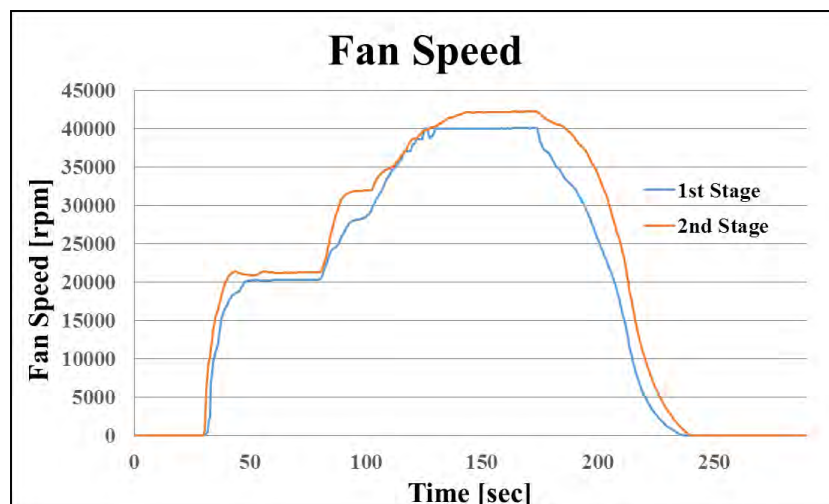


図4 回転数

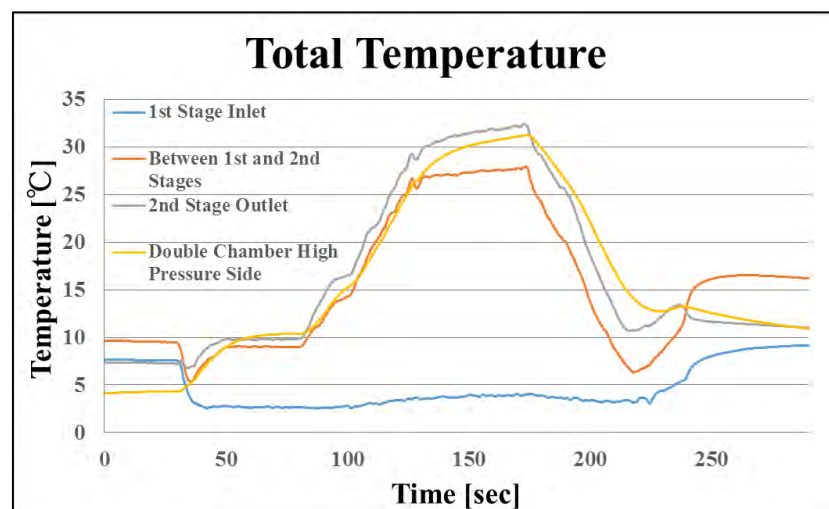


図5 全温度

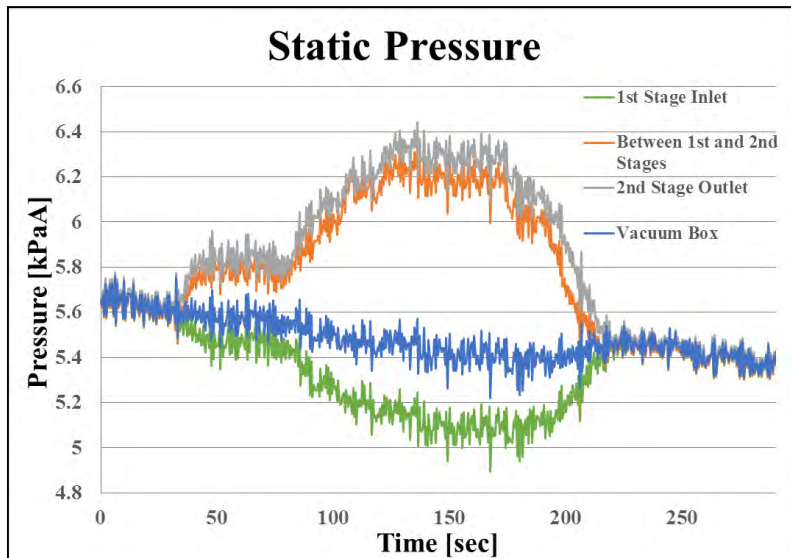


図6 静圧

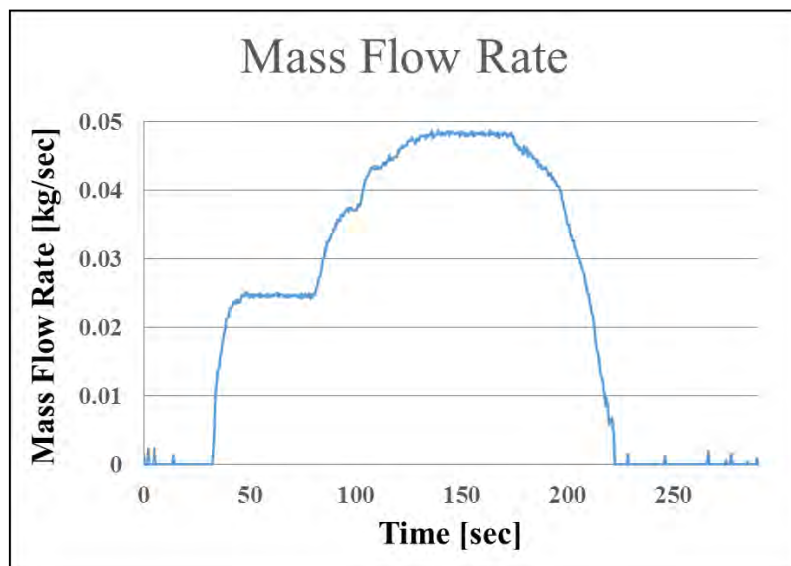


図7 流量

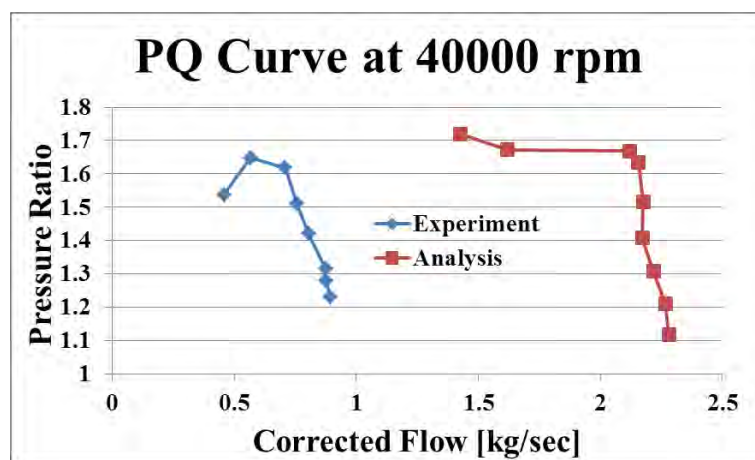


図8 P-Q カurve

図8に本試験で得られたP-Qカーブを示す。圧力比はANSYS CFXによる解析値とほぼ近いが流量レンジが大きく狂っている。これはダブルチャンバの長さを軸方向に大きく取れなかったため、静圧から流量を推算する際に大きな誤差があるのではないかと考えている。今後、ダブルチャンバの実流量キャリブレーションを実施したい。

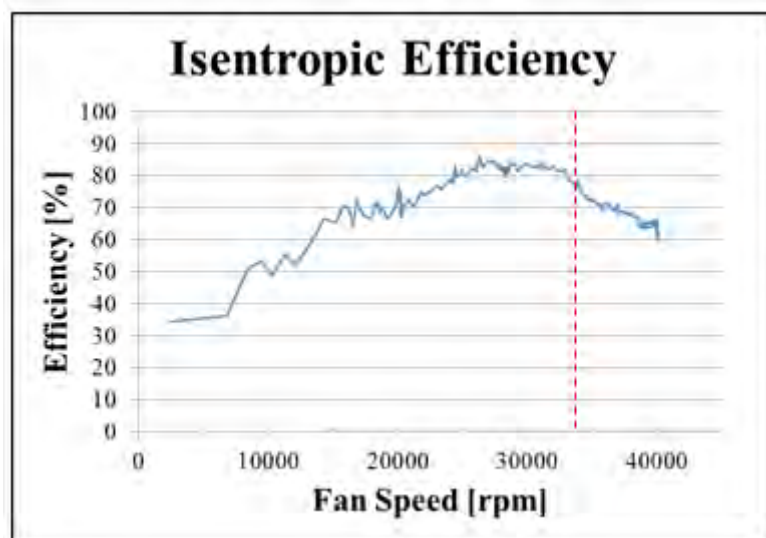


図9 ファン効率（1－2段の積）

ファン効率を図9に示す。これは1－2段の積として求めたものである。流量に大きな誤差があるため絶対値については要精査する必要がある。定性的には34000 rpmを境に効率が大きく低下していることがわかる。回転試験器からは34000 rpmを境に空力的に干渉しているような音が聞こえた。即ち、この辺りから一段目、二段目の周速の相対速度はマッハ1を超え、2段ファン翼において剥離等が発生している可能性が推察される。

#### 4. CFD 解析

図10および図11に定格の50%および100%での2段目ファンにおけるマッハ数分布を示す。定格の50%では流れは概ね滑らかに（赤い部分はM=0.75である）見えるが、定格の100%では前縁での不連続面とそれに伴う剥離が起こることが伺える。

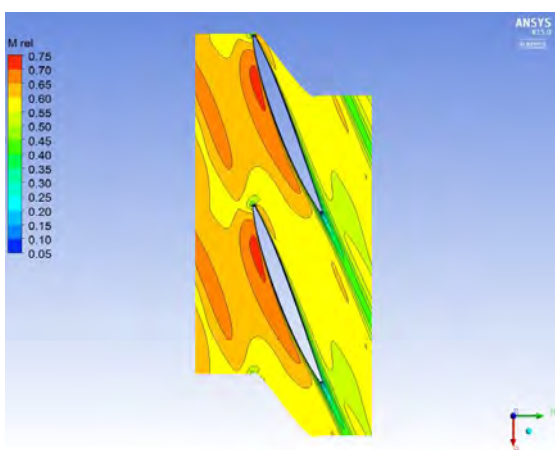


図10 21000 rpmでのマッハ数分布 (CFD)

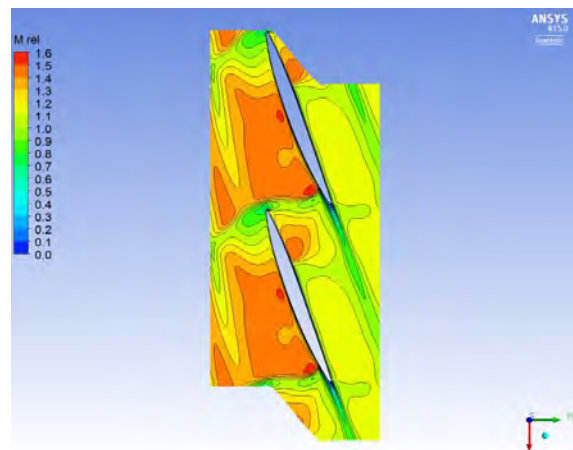


図11 42000 rpmでのマッハ数分布 (CFD)

## 5. まとめと今後の予定

反転ファンの定格までの運転を実施し、予想されていた通り前後段の相対周速がマッハ1を超える34000 rpmあたりから効率の低下を確認した。効率の低下は急激にではなく、回転数の上昇と共にゆるやかに起こる。また、この時干渉音が観測される。CFD解析と実験結果は流量の点で良い一致を見ないものの、定性的には効率低下は2段目前縁でのショックの発生とそれに伴う剥離であることが原因とわかる。今後これを回避するには、Kerrebrockらが採用した2段目翼での抽気、あるいはファン間距離を離すことによる干渉の緩和などが考えられる。回転数比の調整によってもいくらか緩和できる可能性がある。いずれにせよ、相対マッハ数が1を超える領域では効率低下を完全に防ぐことは難しく、低下を出来るだけ食い止める方策となるであろう。

## 参考文献

- [1] Xiao-He Yang, et. al., “Design of Two Counter-Rotating Fan Types and CFD Investigation of Their Aerodynamic Characteristics,” ASME 2011 Turbo Expo: Turbine Technical Conference and Exposition, 2011.
- [2] Ryojiro Minato, et. al., “Development of Counter Rotating Axial Fan Turbojet Engine for Supersonic Unmanned Plane,” AIAA2007-5023, 2007.
- [3] J. L. Kerrebrock, et. al., “Design and Test of an Aspirated Counter-Rotating Fan,” *Journal of Turbomachinery*, Vol. 130, Issue 2, 2008.
- [4] 立桶薫, 超音速軸流反転ファン実験装置の構築及び評価, 室蘭工業大学 2015 年度修士論文
- [5] 寺内美和, 反転ファンの周囲圧力の変化における性能特性の検討, 室蘭工業大学 2015 年度卒業論文