

軸流反転ファンの基礎実験

○ 中田大将、棚次亘弘、湊亮二郎（室蘭工業大学）

Experimental Study on the Counter Rotating Fan

Daisuke Nakata, Nobuhiro Tanatsugu and Ryojiro Minato (Muroran Institute of Technology)

Key Words: Counter Rotating Fan, Jet Engine, 3-hole Pitot tube

1. はじめに

軸流反転ファンは PC の冷却ファンや船のスクリュー等では広くその有用性が認められている概念である。航空機エンジンにおいては Open rotor タイプと Ducted タイプに分けられる。前者は後流の整流作用やカウンタートルクの相殺を主たる目的とし、An-70 輸送機に搭載されている D-27 ターボプロップを始めとして実用化されている。高速での飛行環境に適すと考えられる Ducted タイプのものは DLR-CRISP、Rolls Royce 社の RB-529[1]プロジェクトなど高バイパス比エンジンを狙った試作例が 1990 年前後にあるが、現在に至るまで実用化には至っていない。

本学では超音速無人実験機オオワシにおける主推進機関として反転ファン式超音速用ジェットエンジンの採用を想定し、CFD 解析などを主体とした設計を行ってきた[2]。1 段動翼＝静翼の軸流ファンを用いる場合と比べファン効率の改善が期待できるが、2 枚のローターの相対速度は超音速となるため通常の軸流ファンに比べ低い回転数で衝撃波による効率の低下が発生し、長所を發揮するための適切な設計は難しい[3]。重要なパラメータとしては 1)前段＝後段の回転数比、2)ファン間距離などが挙げられるが、これらの影響について実験装置を構築し、基礎実験を行う体制を整えたので報告する。

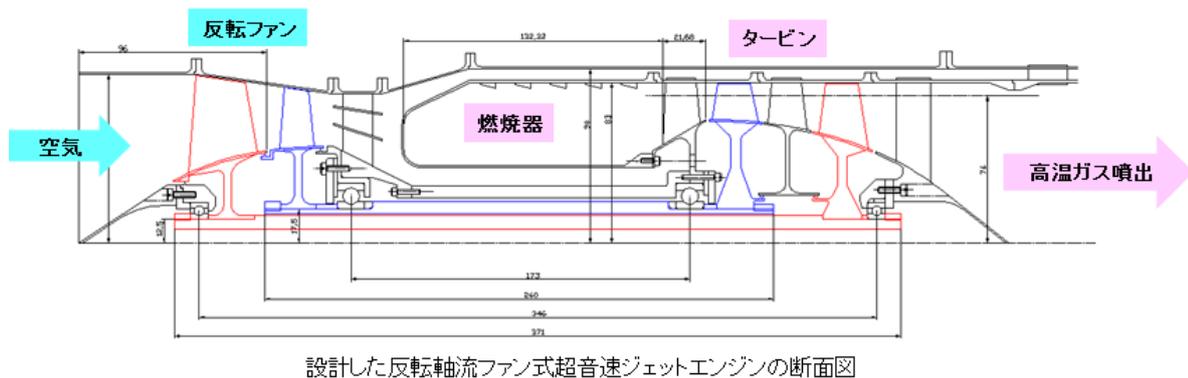


図 1 : 反転軸流ファン式超音速ジェットエンジン断面図

目標圧力比： 2.8

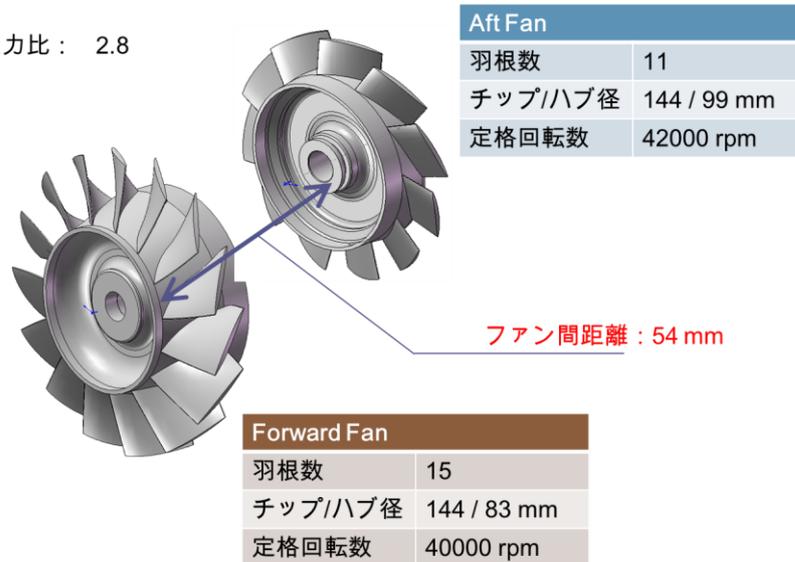


図 2 : 反転ファン設計点

2. 実験装置

2-1 羽根主要設計諸元

図 2 に設計した反転ファンの 3 次元形状を示す。前/後段の羽根数はそれぞれ 15/11 枚であり、公約数の存在しない組み合わせになっている。ファン間距離は 54 mm で、ファン径に対する比は 0.35、前段ブレードの翼弦長に対する比は 0.89 である。一般にファン間距離が近すぎる場合、相互の干渉が大きくなり、逆にファン間距離が遠すぎると翼列間での全圧ロスにつながる[4]。今後、ファン間距離を変化させた試験が重要となるが、現段階では固定したファン間距離にて試験する。

2-2 動力装置

動力装置としては外径が 60 mm の電動 RC 機用 11kW 直流ブラシレスモーターを使用した(図 3)。真空槽内で使用するため、全体をモールドし、かつモーター周囲を不凍液で水冷している。電源としては、4000mAh・セル数 14 の LiPo バッテリーを 4 並列で使用している。これにより、定格回転数での運転を連続で 6 分間行うことが出来る。

2-3 計測系の確認

図 4 に示す通り、静圧ポート 15 箇所（1 段ファン上流、1 段動翼上、1-2 段間、2 段動翼上、2 段出口の 5 か所×周方向 3 箇所）、3 孔ピトー管を 4 か所（1 段ファン上流、1-2 段間、2 段出口、オリフィス直前）に配置した。ピトー管は r 方向および θ 方向にステップモーターにより駆動でき、左右の孔に差圧計を取付け、中央の孔に全圧計を取り付けて用いる。差圧計の出力がゼロとなる方向にピトー管を向け、その地点での角度と全圧から流速ベクトルを推算できる。



Lehner Motoren Technik Type 3080 Brushless motor	
最大消費電力	11 kW
最大回転数	50,000 rpm
外径/シャフト径	60 mm / 10 mm

Hyperion 7 cell Lipo Batteries × 8	
電圧	29 x 2 = 58 V
最大電流	160 A
持続時間	6 min
エネルギー密度	80Wh/kg

図 3 : ファン駆動用モーターとバッテリーボックス

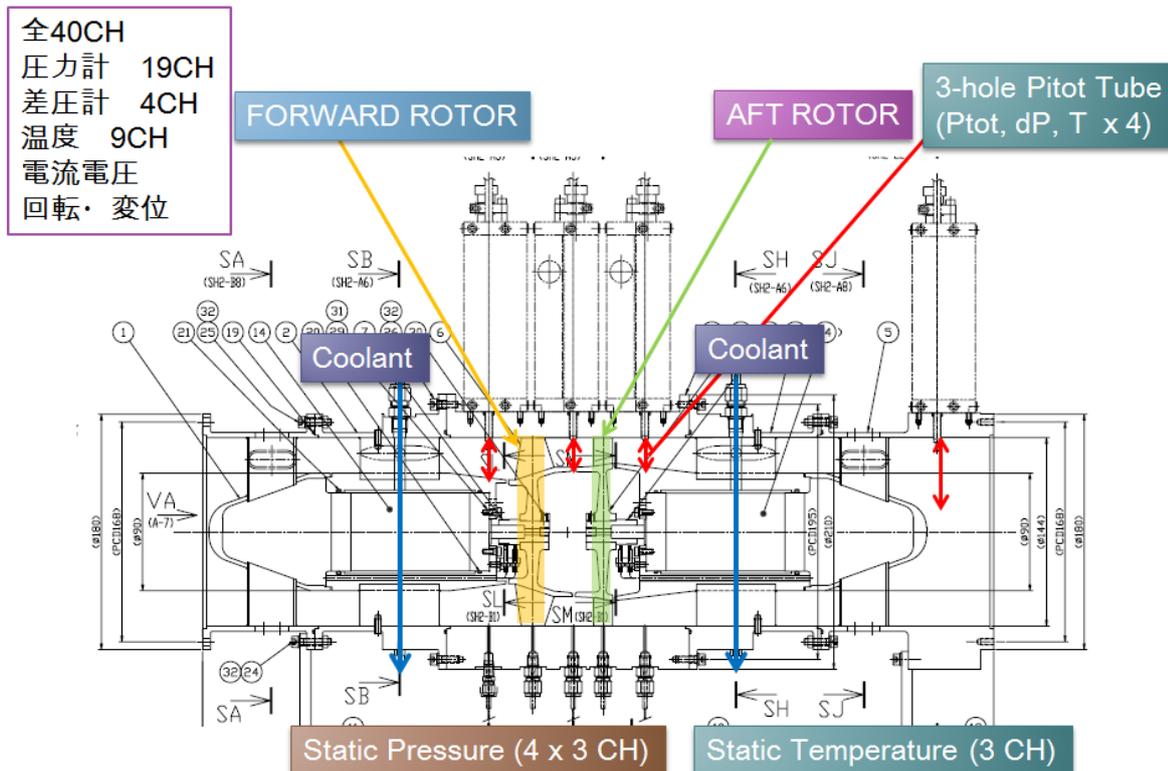


図 4 : 計測点一覧

図 5 に示すようにピトー管挿入位置にはシース熱電対も組み込まれているが、温度についてはピトー管の熱容量が大きく、静定まで長い時間を要する。これまでの試験では 3 分程度経っても静定する様子が見られない。バッテリーの連続駆動時間は定格回転数で 6 分程度のため、素線がむき出しとなっているような熱容量の小さい熱電対を用いることで静定までの時間を短くしたい。

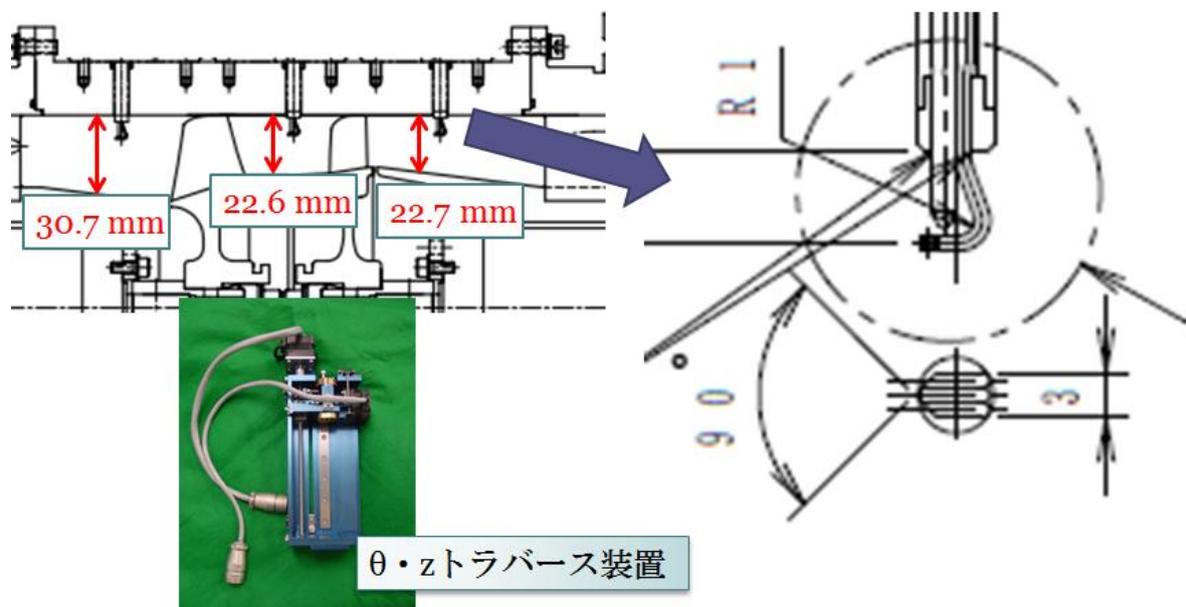


図5：3孔ピトー管概要

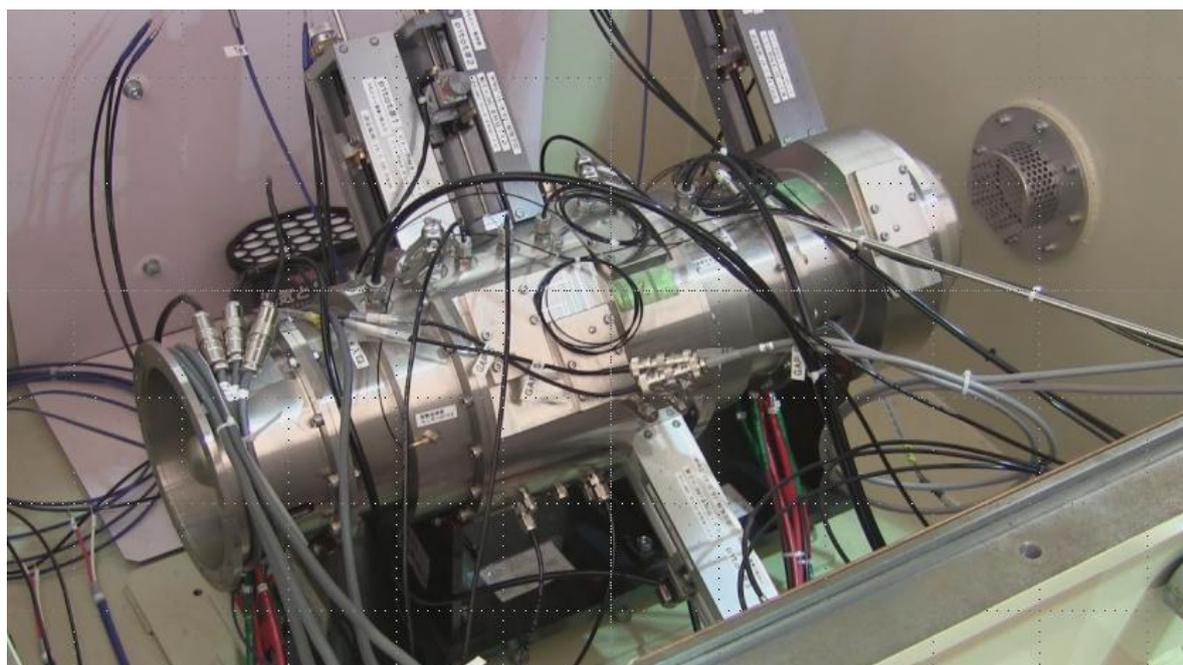


図6：反転ファンリグ試験機概要

図6に反転ファン試験機概要を示す。現在までに大気圧環境下で18000rpmまでの回転数で試験を行った。流量は2段ファン出口に径の異なるオリフィスプレートを取り付けて変化させる。図7はファン1のみを9600rpmで回転した際の1段上流のピトー管で測定された流速ベクトルの例である。チップとハブの間に急激な流速ベクトルの変化が認められる。上流側を整流せず、狭い真空容器に入れたことによる影響などが考えられ、今後ベルマウスまたはハニカム板で整流するなどの対策を施して再試験する予定である。

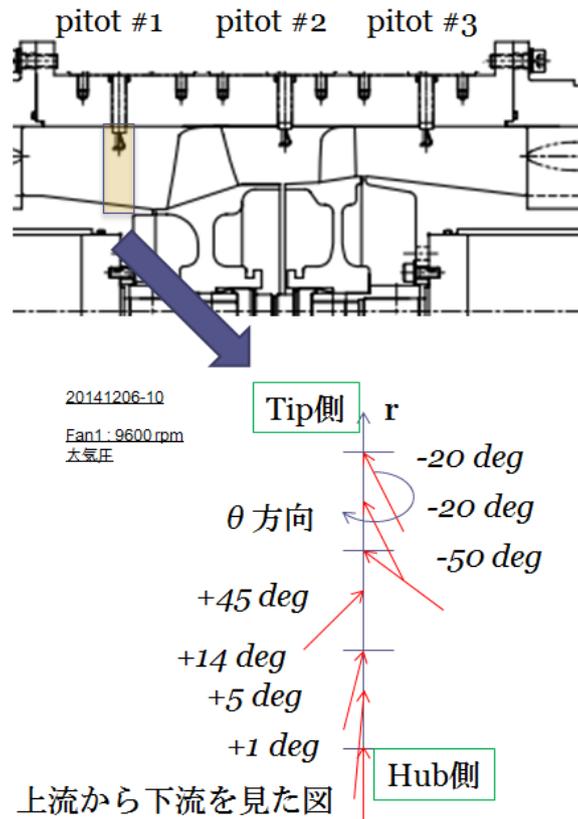


図7：1段ファン上流の流れ場の様子（角度情報のみ）。Hub=Tip の間に流速ベクトルの急変する箇所がある。

3 まとめ

超音速機エンジンへの適用を目指した反転ファンリグ試験機を整備した。上流側の整流を行う必要性が指摘される。今後、真空槽内で定格回転数までの試験を行い、ファン効率を低下させないようなファン間距離、回転数比などについて知見を得る予定である。

参考文献

1. N. J. Peacock, et. al., “Advanced Propulsion Systems for Large Subsonic Transports,” *Journal of Propulsion and Power*, Vol.8, No.3, 1992
2. Ryojiro Minato, et. al., “Development of Counter Rotating Axial Fan Turbojet Engine for Supersonic Unmanned Plane,” AIAA2007-5023
3. 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
4. 岡部、福富、重光、二重反転型小型軸流ファンの前後段翼列間距離の影響、日本機械学会流体工学部門講演会論文集, 2010