

流路切り換え機構の空力解析

清水邦弘^{*1}、中西英全^{*1}、三宅慶明^{*1}、東森弘高^{*1}

野崎 理^{*2}、菊地一雄^{*2}、田村敦宏^{*2}

Aerodynamic Analysis of the Flow Switch Device

by

Kunihiro Shimizu^{*1}, Hidemasa Nakanishi^{*1}, Yoshiaki Miyake^{*1}, Hirotaka Higashimori^{*1}

Osamu Nozaki^{*2}, Kazuo Kikuchi^{*2}, Atsuhiko Tamura^{*2}

ABSTRACT

The variable bypass fan engine is proposed as an engine configuration to reduce noise at take-off & landing and to obtain high specific thrust during supersonic flight. The Flow Switch Device is one of the methods to change bypass ratio. 3D Viscous Analysis was conducted to grasp the aerodynamic characteristics of the Flow Switch Device, comparing with test results.

The analysis qualitatively predicted the total pressure loss at the exit side of the Flow Switch Device, and was proved to be quite useful improvement design.

1. はじめに

第2世代超音速旅客機用のエンジンは、超音速飛行時の高比推力と同時に、離着陸時の低騒音が要求されている。騒音は排気速度の8乗に比例するため、排気速度の低減が低騒音化には最も有効であるが、超音速飛行時に高比推力を得るためには排気速度を上げる必要がある。

これはエンジンの性能面からは相反する課題となり、その両立をはかるためには何らかの可変機構により離着陸時のエンジン排気空気流量を増加させて排気速度の低減をはかる形態とする必要がある。

図1にバイパス比と排気速度の関係を示すが、最新の亜音速旅客機用のエンジンは高バイパス比により排気速度が350m/sレベルとなっている。

種々ある候補エンジン形態の中で最も直接的かつ有効にエンジン排気空気流量を増加させるエンジン形態として可変バイパス・ファンエンジンが提案されており、この可変バイパス・ファンエンジンを成立させるためのキーテクノロジーとなるのが流路切り換え機構である。

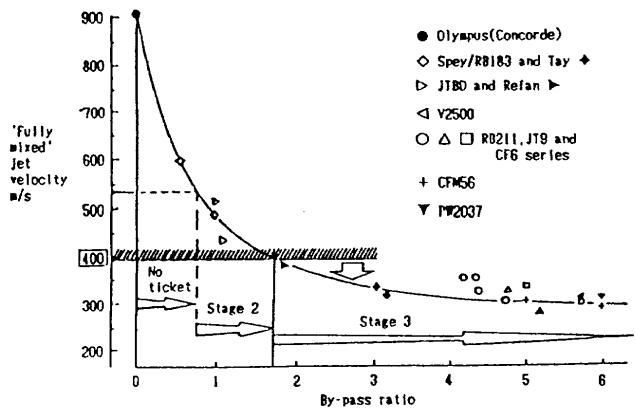


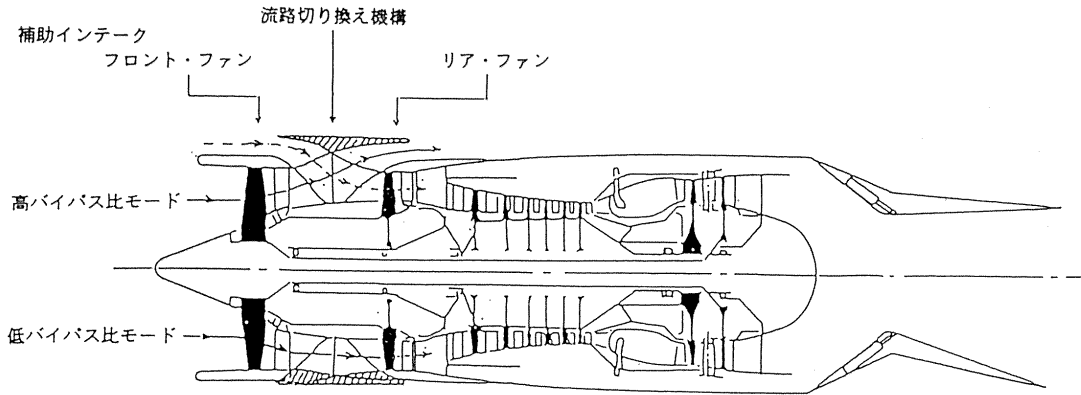
図1 バイパス比と排気速度の関係

本機構を用いた可変バイパス・ファンエンジンの概念図を図2に示す。ファン部を2段軸流形態としてフロント・ファンとリア・ファンの段間に流路切り換え機構を設置しバイパス比を可変とする。超音速飛行時はフロント・ファンとリア・ファンを直列の2段ファンとして作動し（低バイパス比モード）圧力比を高めエンジンとして高比推力を発生する。一方、離着陸時はフロント・ファンとリア・ファンを並列の2つの単段ファンとして作

^{*1}三菱重工業株式会社 ^{*2}航空宇宙技術研究所

動し（高バイパス比モード）バイパス側の空気流量を増やしてエンジン排気速度を低減することにより低騒音化をはかる。

高バイパス比モード：フロント・ファン、リア・ファン共に大気吸い込み状態。
離着陸時、亜音速巡航時など。



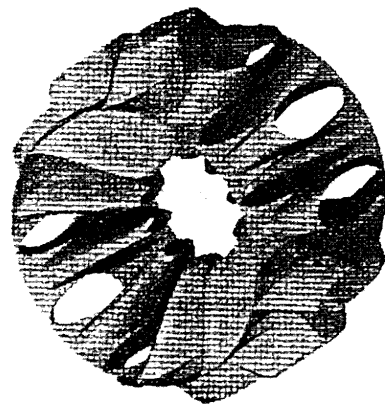
低バイパス比モード：フロント・ファン、リア・ファンを直列で用い2段ファンとして作動。
遷音速加速時、超音速巡航時など。

図2 可変バイパス・ファンエンジンの概念図

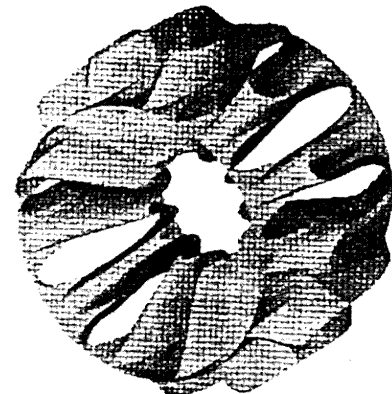
2. 流路切り換え機構

流路切り換え機構の概念図を図3に示す。切り換え機構は、上流側・下流側の2つの部分から構成され、一方が他方に対して相対的に回転することにより上流と下流の流路の接続が変化する構造となっている。上流側の部分は、入口が内径側と外径側に仕切られたセルとなっており、出口は周方向に等分に仕切られたセルとなっている。下流側の部分はその逆で入口が周方向に等分仕切られたセルとなっており、出口が内径側と外径側に仕切られたセルとなっている。双方の合わせ面は、周方向に等分に仕切られたセルの部分であり流路の切り換えは仕切られた1つのセルに相当する角度だけ周方向に回転して流路の接続を変更する。

低バイパス比モード時は、切り換え機構の入口内径側と出口内径側・入口外径側と出口外径側がそれぞれ接続し、高バイパス比モード時は、切り換え機構の入口内径側と出口外径側・入口外径側と出口内径側がそれぞれ接続する。



低バイパス比モード



高バイパス比モード

図3 流路切り換え機構概念図

3. 解析手法

(1) 解析コード

解析コードは3次元レイノルズ平均ナビエ-ストークス方程式を差分法により時間方向に解いて定常解を求める。

対流項の空間離散化には、van LeerのMUSCL法¹⁾によるTVD差分スキームを用い、粘性項は中心差分を用いた。時間差分には、Pulliam-Chausseeの対角化近似因子法²⁾を用いた。

TDV差分スキームは、Godunov³⁾型の上流差分スキームで、Roe⁴⁾の平均化により得られる数値流束関数の式を用いてリーマン問題を近似リーマン解法で解いている。Godunov型のスキームは1次精度でTVD安定に解を求めるが、ここではさらに区分的1次関数を仮定するMUSCL法により2次精度に改良されている。なお、乱流モデルはBaldwin-Lomaxモデルを用いた。

(2) 解析格子

解析は、低バイパス比モードと高バイパス比モードの2ケースについて行われた。図4に解析格子を示す。

格子は、流れ方向に55点、周方向に39点、径方向に80点である。

(3) 境界条件

入口境界では全圧、全温、流入角を与え、出口境界では静圧を与えた。これらの値は、試験結果を用いたが出口静圧については、流量を試験結果に一致させるために変更した。

4. 解析結果

図5に低バイパス比モードの解析結果を示す。内径側では流路の中央付近から剝離が発生している。これは、内径側の流路面積変化の急変によるものと考えられる。

外径側では、通路の後半部から剝離が発生して大きな渦を形成しており、流路面積の変化と外形側の曲率が影響しているものと考えられる。

図6に高バイパス比モードの解析結果を示す。内径側では大きな剝離はない。外形側では流路中央付近から剝離が発生しているが低バイパス比モードと比較すると小さい。

以上の結果から流路後半部の形状については、改良の余地があることが判明した。

5. 試験結果との比較

図7に解析結果と試験結果の比較を示す。図は、流路出口における全圧分布を比較したもので、等高線および下限値は試験結果に合わせた。

損失のレベルは解析結果の方が大きいですが、分布については、定性的に一致していると考えられる。

表1に全圧損失係数の比較を示す。解析結果は低バイパス比モード、高バイパス比モードとも試験結果より約3%大きい。ただし、高バイパス比モードと低バイパス比モードの全圧損失係数の比は、ほぼ一致する。

表1 全圧損失係数の比較

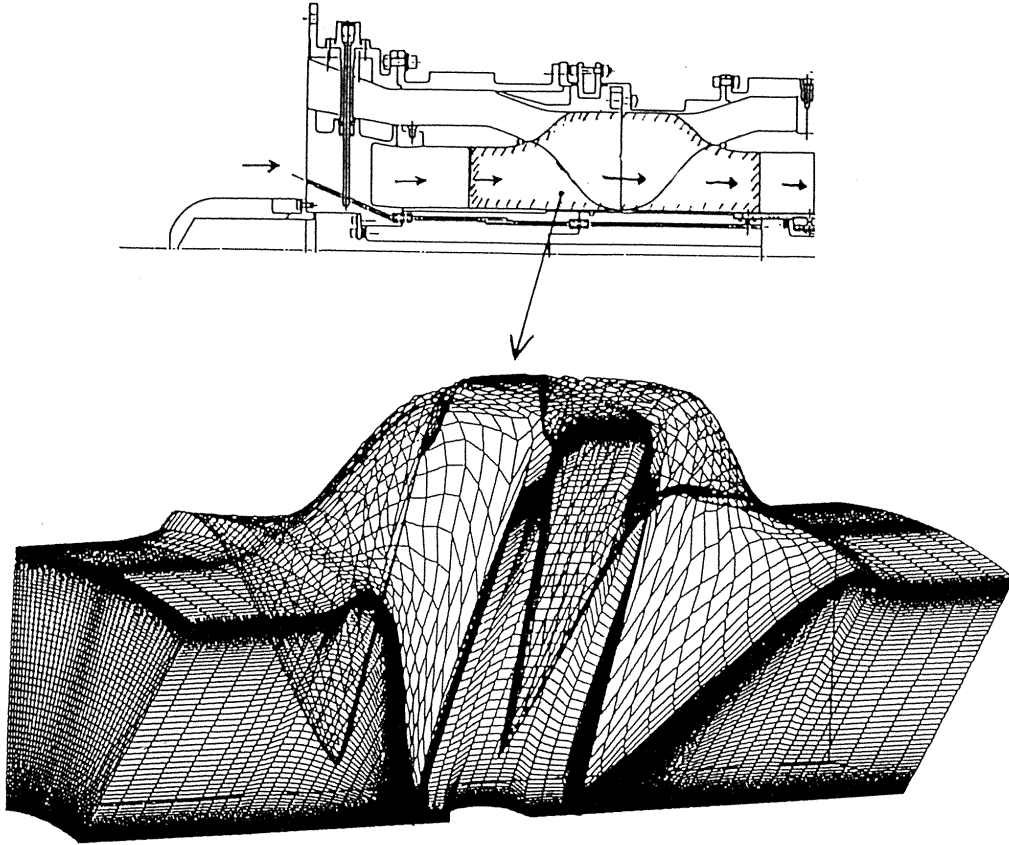
	試験	解析
低バイパス比モード	7.78 %	10.90 %
高バイパス比モード	6.96 %	9.40 %

6. まとめ

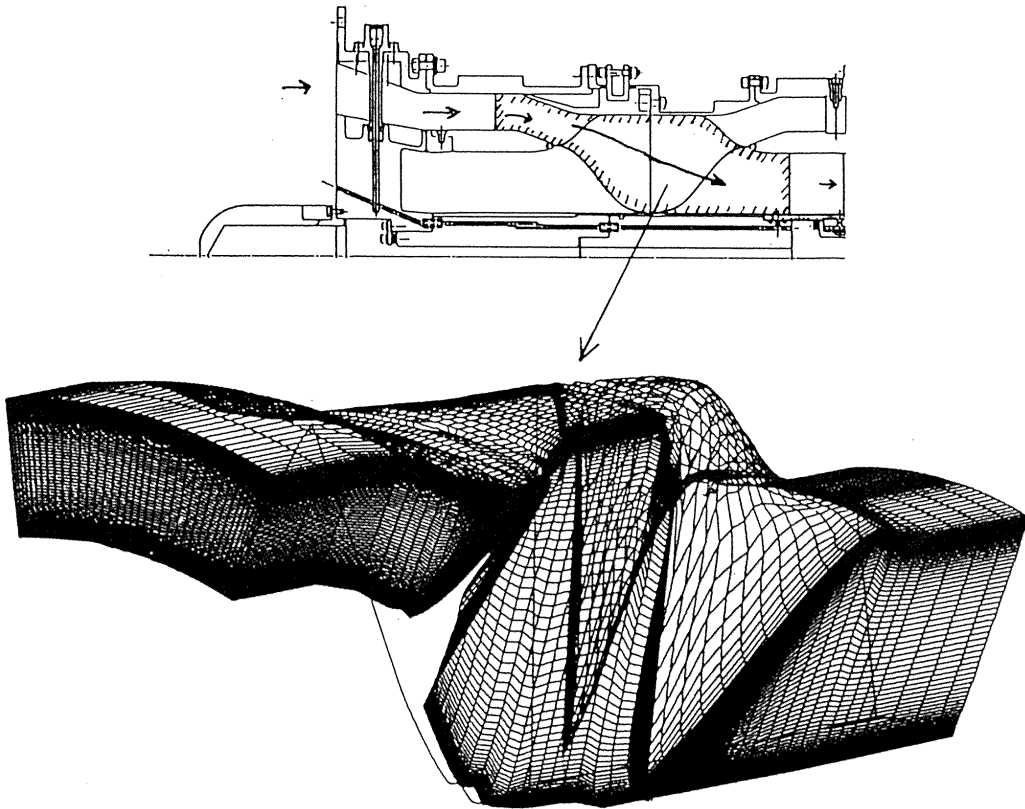
- (1) 定性的な傾向は、全圧分布、損失係数とも試験結果とほぼ一致する。
- (2) 剝離の発生領域を特定できるため、改良の検討に本解析コードが有効であることが判明した。

7. 参考文献

- 1) van Leer, B., "Towards the ultimate conservative difference scheme, V. A second order sequel to Godunov's methods," J. Comp. Phys., Vol. 32, 1979, pp. 101-306.
- 2) Pulliam, T.H. and Chaussee, D.S., "A Diagonal Form of a Implicit Approximate-Factorization Algorithm," J. Comp. Phys., Vol. 39, 1981, pp. 347-363.
- 3) Godunov, S.K., "Finite difference methods for numerical computation of discontinuous solutions of equations of fluid dynamics," *Mstematiceskii Sbornik*, Vol. 47, 1959, pp. 271-306.
- 4) P.L. Roe, "Approximate Riemann Solvers, Parameter Vectors, and Difference Schemes," J. Comp. Phys., Vol. 43, 1981, pp. 357-372.

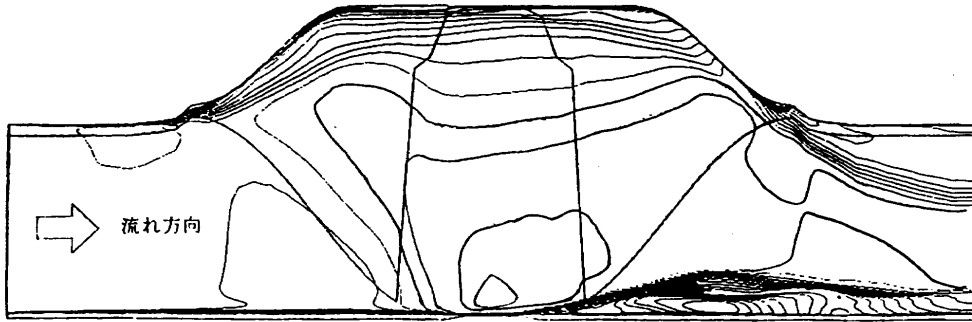


低バイパス比モード

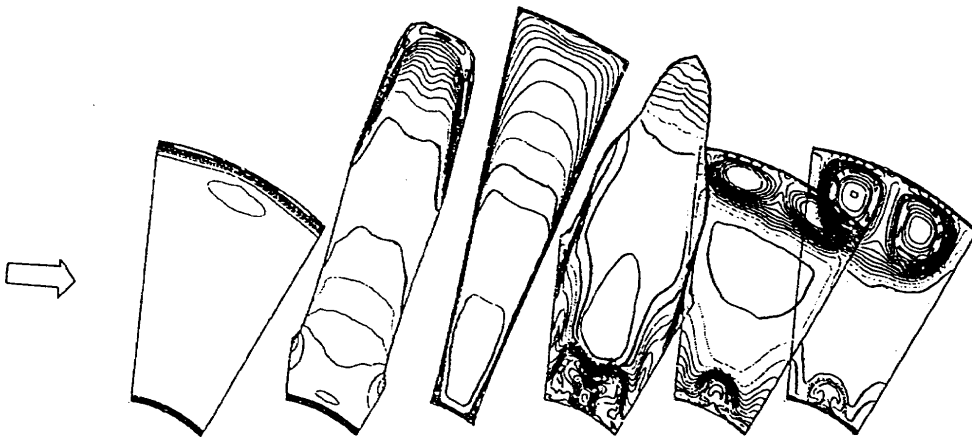


高バイパス比モード

図4 解析格子

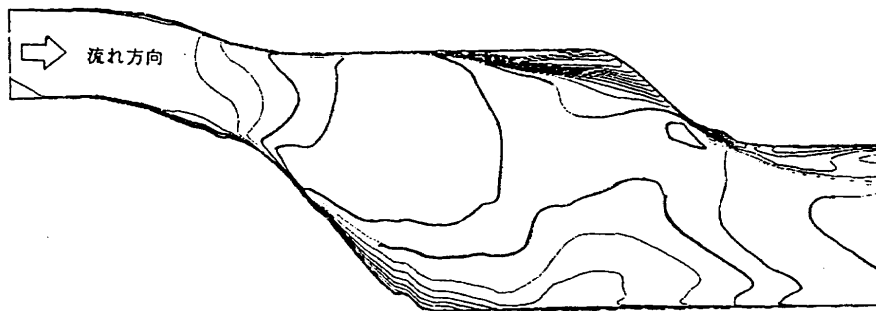


流れ方向等マッハ線図

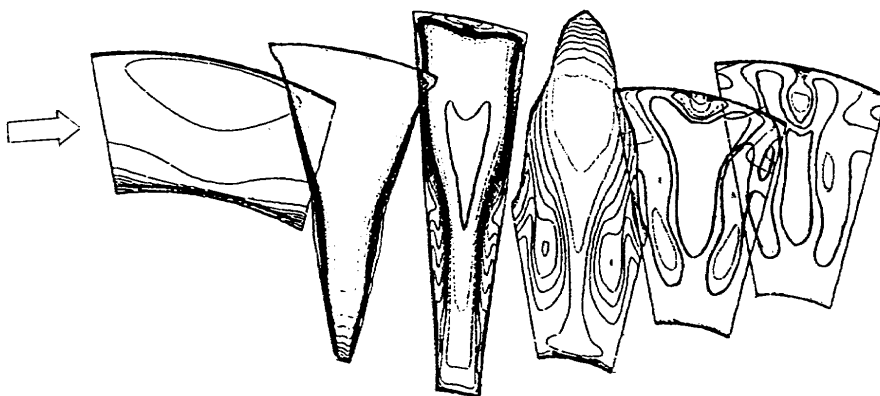


任意断面等マッハ線図

図5 低バイパス比モード解析結果

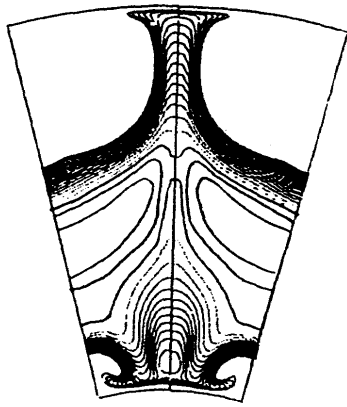


流れ方向等マッハ線図

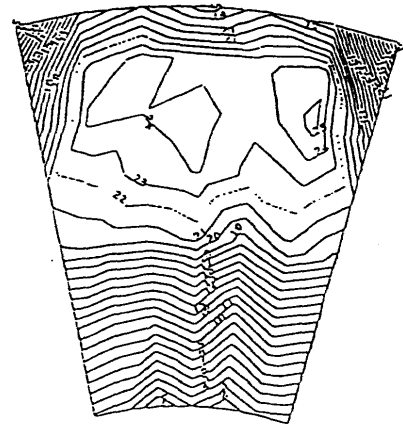


任意断面等マッハ線図

図6 高バイパス比モード解析結果

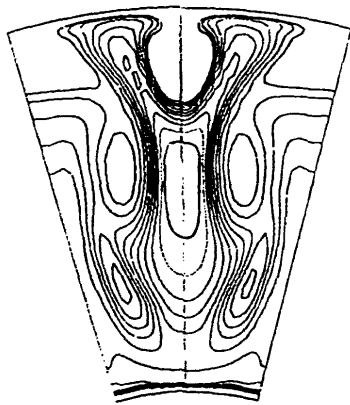


解析結果

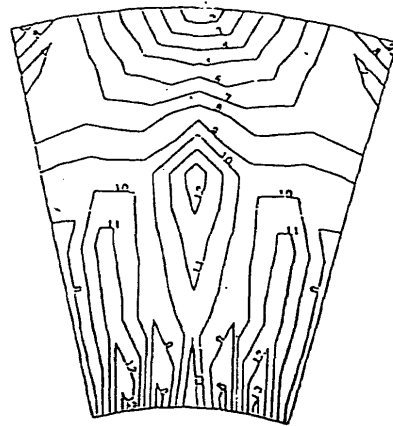


試験結果

出口全圧分布（低バイパス比モード）



解析結果



試験結果

出口全圧分布（高バイパス比モード）

図7 解析結果と試験結果の比較