

HYPR プロジェクトにおける CFD 研究開発の成果と将来

野崎 理*、菊地一雄*、西澤敏雄*

Summary of CFD Researches in HYPR Program – Results and Prospects

by

Osamu NOZAKI*, Kazuo KIKUCHI*, Toshio NISHIZAWA*

ABSTRACT

In the CFD research of the HYPR program, computer codes have been developed for analyzing the flow fields of compressors, turbines, intakes, etc., aiming to establish a reliable engineering tool system to be applied to the aerodynamic design of engine components. This paper summarizes the researches of CFD application conducted in the program, and presents some of the latest progresses, i.e. unsteady flow simulations in blade rows and flow simulations with heat transfer in turbines.

1. はじめに

平成元年に始まった工業技術院の「超音速輸送機用推進システムの研究開発(HYPR)」プロジェクトにおいて、トータルシステムの研究の一環として、流体ソフトウェアの研究開発を航技研と超音速輸送機用推進システム研究組合との共同研究として行った。平成10年度でプロジェクトが終了したため、今回はその研究の成果について報告し、今後の課題等について述べる。

2. 研究の概要

HYPRプロジェクトではターボとラムからなるコンバインドサイクルエンジンを目標エンジンとしており、それを成立させるには、未経験のラムエンジンの技術のみならずターボエンジンの性能をさらに向上させる必要がある。そのためには、CFD技術を利用した革新的な空力設計が必要となる。そこで本研究では、航技研とHYPR組合との共同研究として、信頼性の高い流れ解析コードシステムの構築を目指し、実績のある流れ解析コード⁽¹⁾を採用し、これを基に計算対象に適するようにきめ細かな境界条件設定等を行い、数多くの試験による検証と改良を積み重ねてきた。

3. 成果

プロジェクト前半において主として各種翼列の定常流れ、その後は他の要素の流れ、翼列非定常流れの解析等を実施した。具体的には、翼列流れとして

- ・直線翼列
- ・回転翼列
- ・翼列定常段解析
- ・翼端間隙のある場合
- ・非定常翼列干渉
- ・インレットディストーションのある場合

等の解析コードを開発した。翼列以外の流れについては、

- ・超音速インテーク

- ・フロントミキシング (ラムエアーとファンの流れの合流部)
- ・RVABI (ターボエンジン出口でラムエアーとの合流部)
- ・タービンの伝熱

等の解析を行った。今回は、翼列の流れとタービンの伝熱解析についての研究成果を報告する。

3-1 翼端間隙のある翼列の定常流れ解析

図1は圧縮機の三次元流れ解析を実施した結果である。翼端間隙のある場合と無い場合について流れ解析を行い、翼端面での圧力分布を試験結果と比較した。全体性能や周方向に平均した諸量とともに、このように翼端部の複雑な流れを細かく比較することにより、このコードが現象を適切に予測している事が確認された。

図2はタービンの段解析において、3通りの翼端間隙の扱い方に対する解析結果を比べたもの⁽²⁾である。タービンの場合は圧縮機と比較して翼厚が大きく、単一格子の場合は計算格子の歪みが大きいため、漏れ渦が過大評価されているのがわかる。

3-2 翼列非定常流れ解析

回転翼列により生ずる非定常流れがエンジンの性能に及ぼす影響を知るために非定常流れ解析を行った。図3はタービンの静翼・動翼の干渉を解析した結果で、(1)は瞬時のハブ面での圧力とミッドスパン断面におけるマッハ数を表示してある。静翼の後流が下流の動翼によって切断され、動翼表面を流れていく様子がとらえられている。(2)は動翼下流の全温分布を試験結果と比較したもので、静翼後流に相当する位置とケーシング付近に存在する高温の領域と、ハブ付近の低温の領域が予測されている。図4は燃焼器出口の温度分布の影響を考慮したタービンの段解析⁽³⁾で、(1)は瞬時の全温の分布を等高面と等高線で三次元表示したもので、高温の流れが静翼と動翼を通過しながら崩れて行く様子が観察される。(2)は動翼表面の温度変動を表示したもので、翼背面はホットストリークの周波数、腹面は静翼の周波数が支配的に現われている事がわかる。

図5はインレットディストーションのある圧縮機の非定常全周流れ解析である。航空機の急上昇或はエンジンへの鳥の吸込み等により、エンジンの上流の流れが一時的に不均一に

*航空宇宙技術研究所 National Aerospace Laboratory

なる場合、回転する動翼は相対的に周期的変動流を受けるため、非定常三次元全周流れ解析を実施した。この図ではミッドスパン位置における瞬時のマッハ数分布を等高線で表示しており、翼面上の衝撃波がディストーションを受けている間弱まり、また主流に戻る際に擾乱が下流方向に伝わって行く様子が捕らえられている。

3-3 タービン伝熱解析

タービンの性能向上に必要な効率の良い冷却法の研究のために、伝熱解析を行った。図6はタービン動翼内部の冷却流路内部の流れ解析⁽⁴⁾の例である。(1)に現象のモデル化の仕方、(2)にヌセルト数分布を示している。冷却効率を上げるために設けられた乱流促進体の直前と上で、熱伝達率が増加している事がわかる。

この解析法をHYPR 低圧タービン出口案内翼上流のキャビティへの巻き込み流れの解析に応用した例を図7に示す。

(1)はタービンの断面図で、(2)はキャビティ内の温度分布を示したもので、翼の近くに見られる温度の高い領域は試験結果で観察された変色とほぼ同じ位置に存在している。

(3)はハブ付近の圧力分布を表示したものであり、 θ は周方向の位置を示す。前縁より少し腹面側に圧力の高い領域が観察される。(4)はキャビティ内部の流れを速度ベクトルで表示したものであり、試験ではタービンがオフデザイン状態で作動していたため、前述のように前縁より少し腹面側の圧力が高くなり、そのために上流にあるキャビティに高温の流れが巻き込まれ、その付近の温度を上昇させたと考えられる。

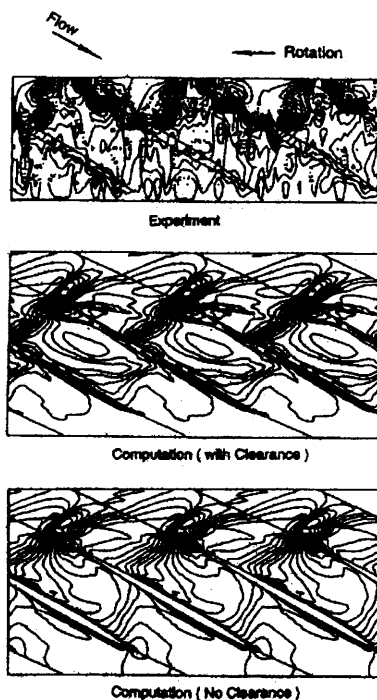


図1 翼端間隙のある圧縮機の流れ解析

4. 今後

HYPR プロジェクトが終了し、後継プロジェクトにおいてはCFD 技術を騒音低減、タービン高温化、NOx 低減等に活用する事が期待されている。しかし、CFD コードが実用ツールとして使えるためには、解法のさらなる精度向上、前後処理の充実、多要素解析コードの開発等の課題が山積しており、これからも CFD 技術の実用化を目指した基盤的な研究を進めて行く事が必要である。

文献

- (1) Matsuo, Y., Computations of Three-Dimensional Viscous Flows in Turbomachinery Cascades, AIAA 91-2237, 1991.
- (2) Nozaki, O., et al., "Effect of Tip Clearance in Three-Dimensional Cascade Flow Analysis," Proceedings of 1995 Yokohama International Gas Turbine Congress, 1995.
- (3) Hirai, K., Kodama, H., Nozaki, O., Kikuchi, K., Tamura, A. and Matsuo, Y., Unsteady Three-Dimensional Analysis of Inlet Distortion in Turbomachinery, AIAA 97-2735, 1998.
- (4) Ohkita, Y., Kodama, H., Yamawaki, H., Taniguchi, N., Yoshida, T. and Nozaki, O., Numerical Simulation of Flow and Heat Transfer in 3D Complicated Geometries Using Unstructured Grids, AIAA 97-1948, 1997.

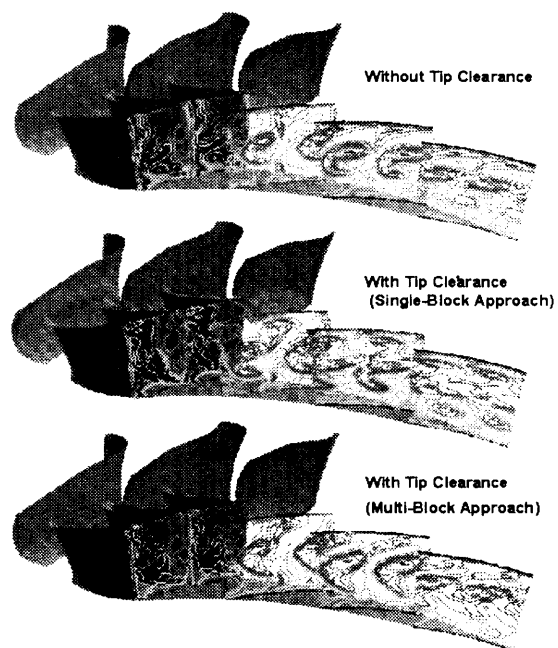
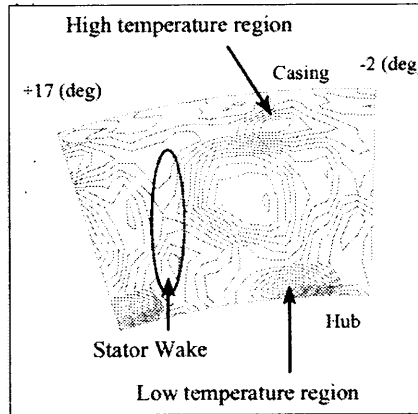


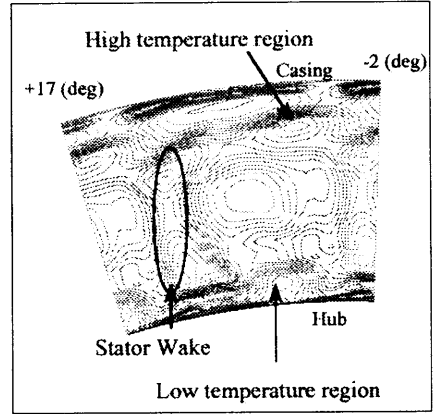
図2 翼端間隙の扱い方の比較



(1) 瞬時の等マッハ数線



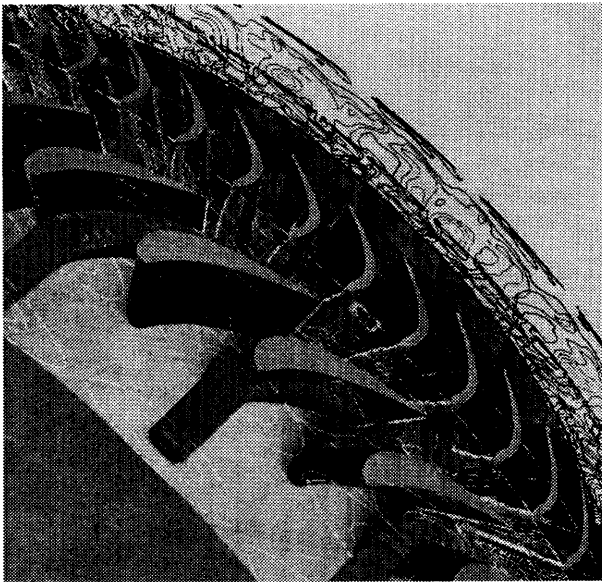
試験結果



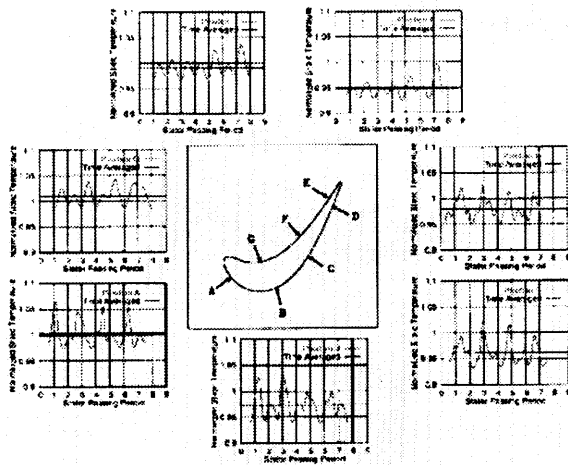
解析結果

(2) 動翼下流の全温分布の比較

図3 タービン動翼・静翼干渉の解析



(1) 瞬時の全温分布



(2) 翼面の温度変動

図4 ホットストリークの非定常解析

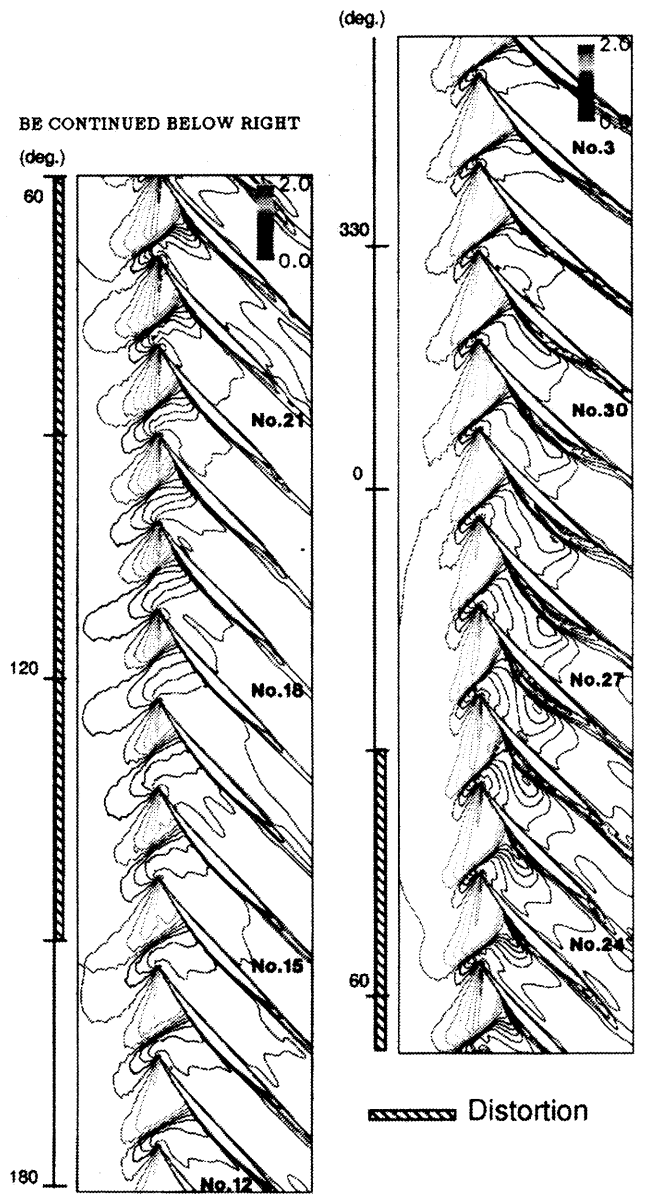
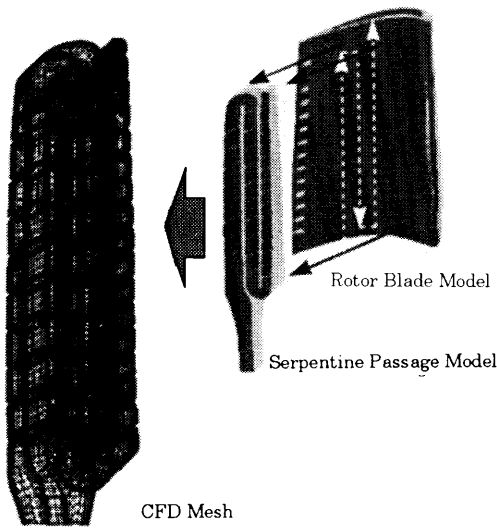
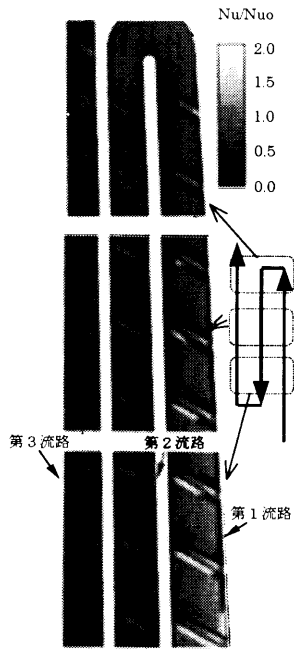


図5 イレットディストーションのある圧縮機の瞬時のマッハ数

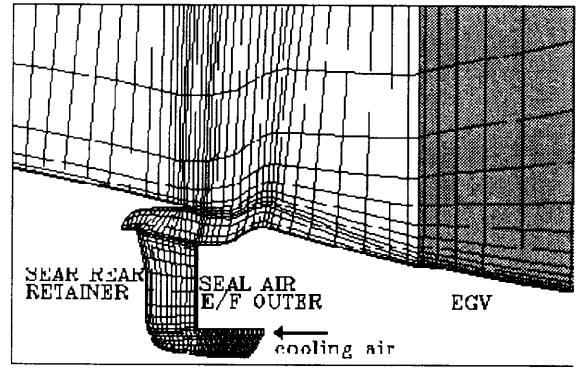


(1) モデル化

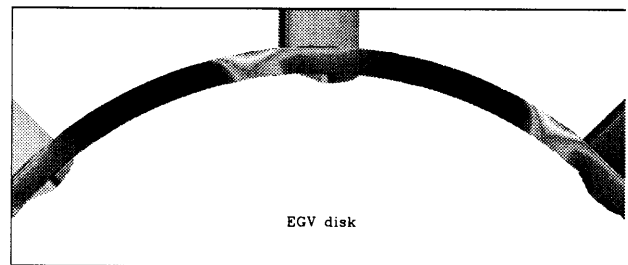


(2) ヌセルト分布

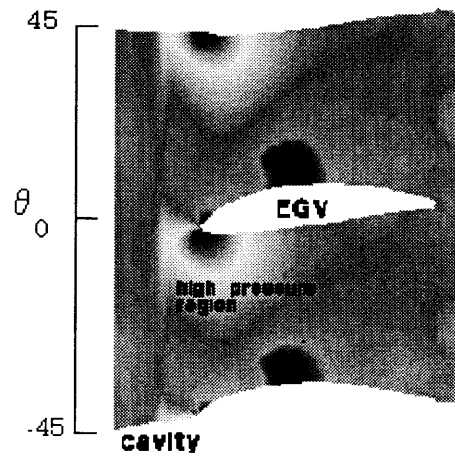
図6 タービン冷却流路の流れ解析



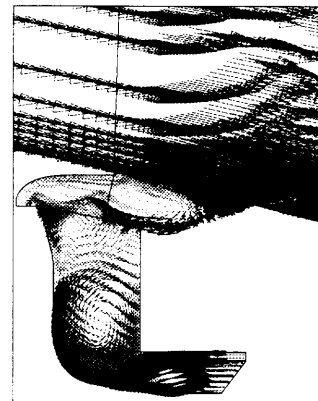
(1) キャビティ付近の格子



(2) キャビティ内部の温度分布



(3) ハブ付近の圧力分布



(4) キャビティ内部の流れを速度ベクトル

図7 タービンキャビティへの巻き込み流れの解析