

HOPEエレボン操舵形態周りの遷音速流 Navier-Stokes 数値シミュレーション

伊藤良三^{*1}、山本行光^{*2}

Navier-Stokes Numerical Simulations of Transonic Flows about HOPE with Elevons

by

Ryozo ITO^{*1}, Yukimitsu YAMAMOTO^{*2}

ABSTRACT

A large number of flow simulations about HOPE-X has been carried out to support its aerodynamic design. In order to investigate the aerodynamic characteristics in detail, preliminary computations of transonic flows about HOPE-X with -20 degree steered elevons were executed. The CFD code used here is based on Reynolds averaged Navier-Stokes equations discretized using FVM method with TVD upwind scheme. The computational grid used here is multi block structured one consisting of 42 blocks. Total number of the grid-points is about 3.7 millions.

1. はじめに

CFDによる遷・超音速流の解析は、2004年に打ち上げ予定のHOPE-Xの空力設計に大きく寄与し[1]、数々のHOPE-Xティップフィン形状の計算が実施されてきた。一例として、HOPE-Xティップフィン形態の最終形状の一つである07HOPEでの計算結果について紹介する(図1、図2)。全機CL、CD、機体上Cp分布ともに、ETW(European Transonic Wind-tunnel)での風試結果と良く一致している[2]。

本報告では、より複雑で実機に近い形状周りの流れ場を計算するために、上記の計算で使用されてきたマルチブロックコードを改修し、07HOPEのエレボン操舵形態について試験的な計算を行ったのでその結果を報告する。

2. CFDコード

航技研で開発されたマルチブロック対応のCFDコード[3]を改修した。上述の07HOPEの様な形状では、一般曲線座標のうちの一方のみを機体表面法線方向とする計算格子を比較的容易に生成できるが、形状が複雑になると、この様な制約を持つ格子の生成は困難になる。今回の改修はこの制約を無くして格子生成を容易にすることを目的としている。使用する格子における座標の取り方の変更に伴い、一般曲線座標と機体表面の間の位置関係が多様になり、従来の様に粘性項の薄層近似ができるとは限らなくなるので、三方向すべての粘性項を計算できる様にした。詳細は参考文献を参照されたいが、コードの主な特徴は以下の通りである。

- ・三次元レイノルズ平均 Navier-Stokes 方程式
- ・有限体積法
- ・対流項に Chakravarthy の TVD スキーム [4] を適用
- ・時間積分は陰的近似因子分解法、局所時間刻み
- ・Baldwin-Lomax 乱流モデル [5]

3. 計算対象

07HOPE形状で主翼のエレボンを20度下方に操舵したものを対象とした。この形態はボディ・フラップを持たず、

流出境界まで胴体を延長した形になっている。

4. 計算格子

上記の07HOPEエレボン操舵形態の周りに42個の構造格子からなるマルチブロック格子が市販の格子生成ソフトGRIDGENにより作成された。格子生成のためだけにブロック数ははるかに少なくて済むが、後述する「NWT」のPE1台あたりの主記憶容量の制約等から、さらに細分する必要があった。格子のトポロジーは全体としてはC型(図3)だが、格子生成を容易にするために、胴体側面、主翼上面、ティップ・フィン内側の三面に囲まれた領域や、エレボンを下げることに依って翼後援に生じた三角柱状の領域(図4)には、独立した格子を生成した。機体表面の総格子点数は約8万、全空間の総格子点数は約370万である。胴体長を1としたとき機体表面法線方向の最小格子間隔は約 10^{-5} 、機体表面から外部境界までの距離は約2である。

今回の形状はエレボンを操舵しているため、翼後縁のところの計算格子が「1.」で紹介した計算に用いられたものと比べて大きく異なり、複雑である(図5)。

5. 計算結果

テストケースとして、マッハ数=0.7、レイノルズ数= 1.0×10^8 、迎角 $\alpha=0$ 度の一様流条件で計算した。Baldwin-Lomax 乱流モデル[5]を適用するには機体表面からの距離を明確に定義しなければならないが、今回の格子には、機体と線で接するブロックがあり、その距離の見積もりが困難なので、全域を層流として計算している。計算は、航技研の分散主記憶型並列ベクトル計算機「NWT」の14台のPEを使い、各PEに3個のブロックを受け持たせて行われた。計算負荷を各PEにあまり均等には割り当てなかったこともあり、計算結果を得るのに最長のPEで約100時間を要した。局所時間刻みでは格子間隔が狭いところほどタイムステップを小さくするが、ブロック境界付近でタイムステップが小さくなり過ぎる傾向があるので、タイムステップの下限値を設定してその影響を緩和した。ブロック境界において、等圧線が滑らかでなく、やや計算の収束が十分でないところが見受けられるが、定性的には全体として良好な結果である(図6)。図7に機体表面の流れを示す。エレボンに依って流れが押しのけられている様子や、エレボンの上面から

^{*1}大興電子通信株式会社 DAIKO DENSHI TSUSHIN LTD.

^{*2}航空宇宙技術研究所 National Aerospace Laboratory

側面に向かう流れが良く捕らえられている。

6. まとめと今後の課題

マルチブロック CFD コードを改修し、07HOPE のエレボン 20 度下げ形状におけるエレボン隙間流れの解析を行った。

ブロック境界における計算の収束の高速化と、乱流モデルに関する改良を施し、コードをより実用的なものに行きたい。

謝辞

GRIDGEN によりマルチブロック格子を作成して頂いた、株式会社トータルシステム研究所の戸谷行博氏に感謝します。

参考文献

- [1] 伊藤、山本、「HOPE の遷・超音速流空力設計 CFD 解析」、NAL SP-41, pp.361-366, 1999.
- [2] 川崎重工業株式会社、「遷音速域風試データの整理作業報告書」、1998 年 3 月
- [3] 橘、高梨、「複雑な形状の航空機まわりの流れの数値シミュレーション」、NAL SP-10, pp.195-199, 1989.
- [4] Chakravarthy, S. R., "The Versatility and Reliability of Euler Solvers Based on High Accuracy TVD Formulations", AIAA paper 86-0243, 1986.
- [5] Baldwin, B. S. and Lomax, H., "Thin Layer Approximation and Algebraic Model for Separated Turbulent Flow", AIAA paper 78-257, 1978.

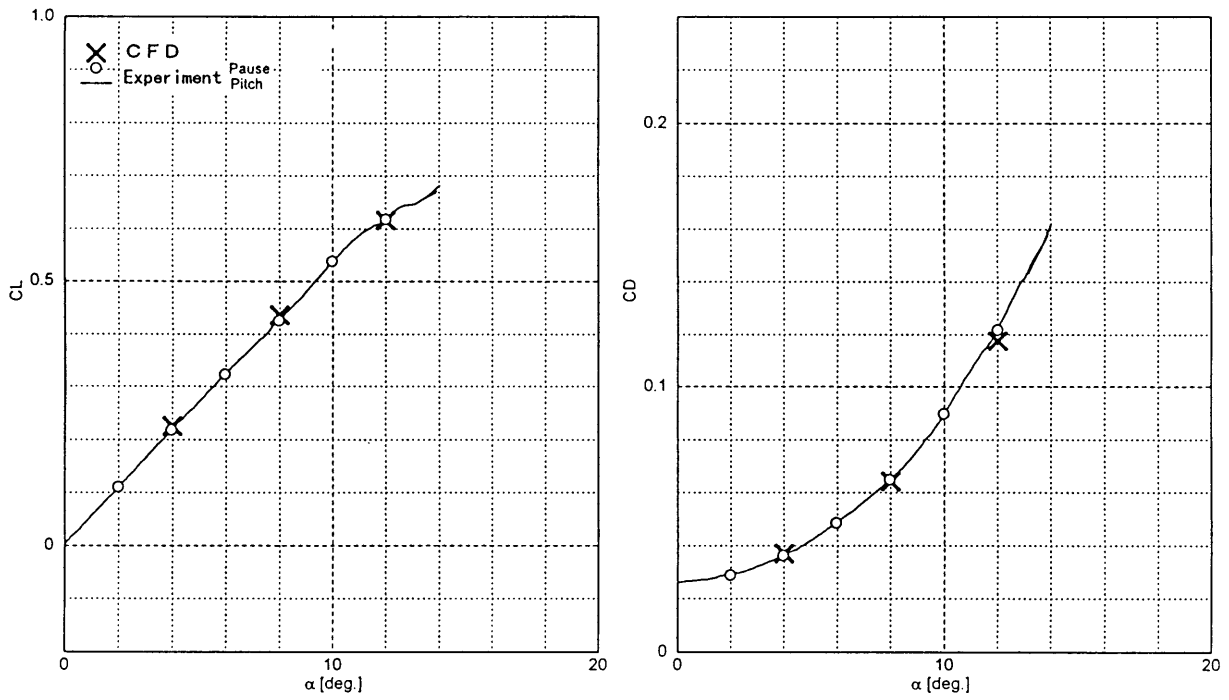


図1 0.7 HOPE形状CFD結果 (全機CL, CD)
 $M_\infty=0.9$ 、 $Re=6.41 \times 10^7$

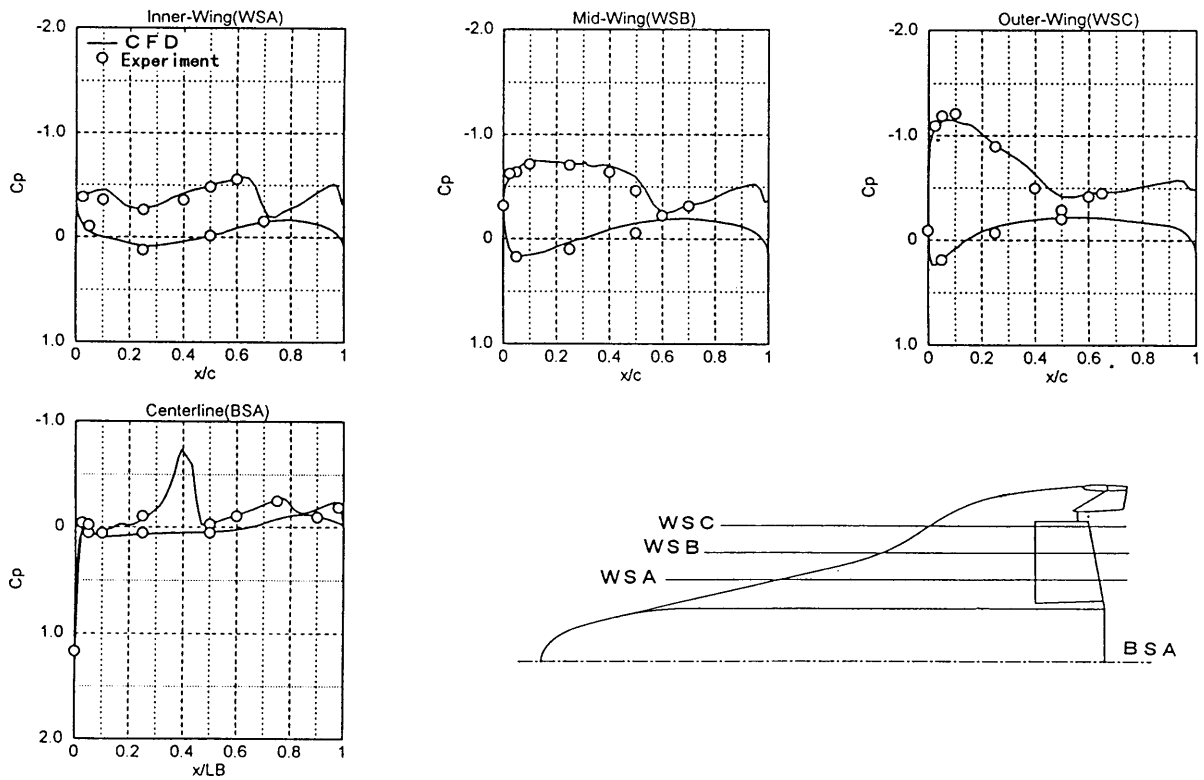


図2 0.7 HOPE形状CFD結果 (翼、胴体上Cp分布)
 $M_\infty=0.9$ 、 $Re=6.41 \times 10^7$ 、 $\alpha=8^\circ$

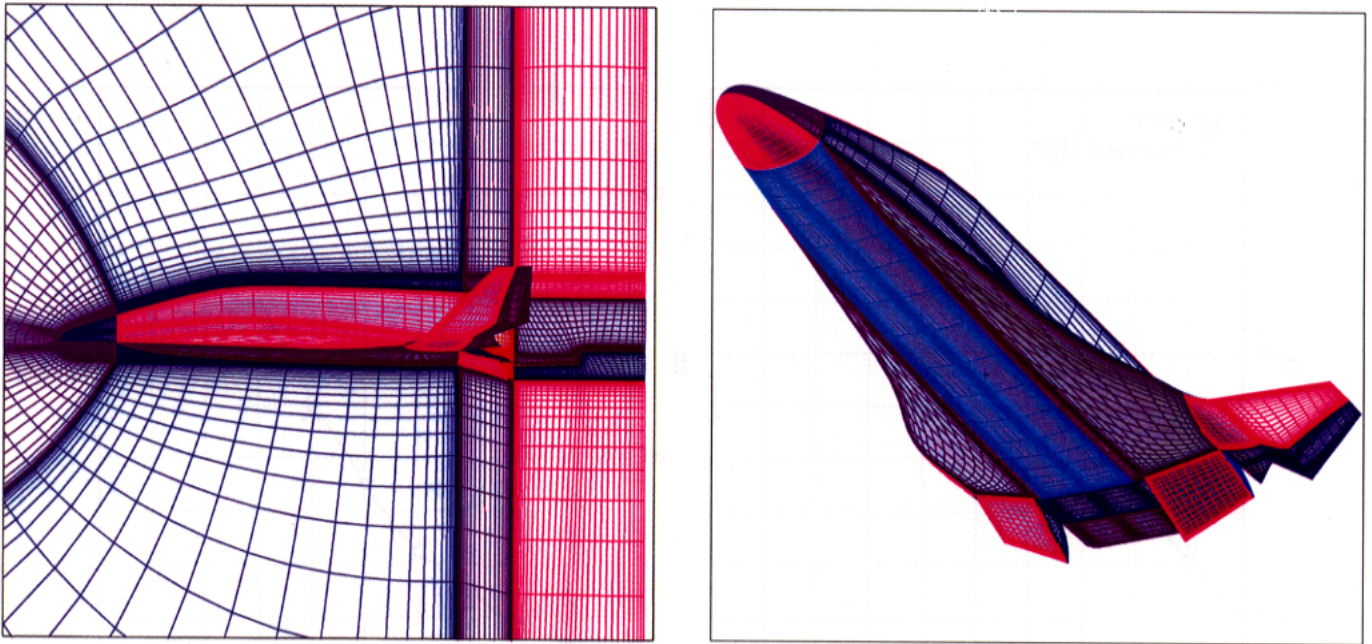


図3 計算格子

左…機体表面、対称面
 右…機体表面、斜め下方から見る

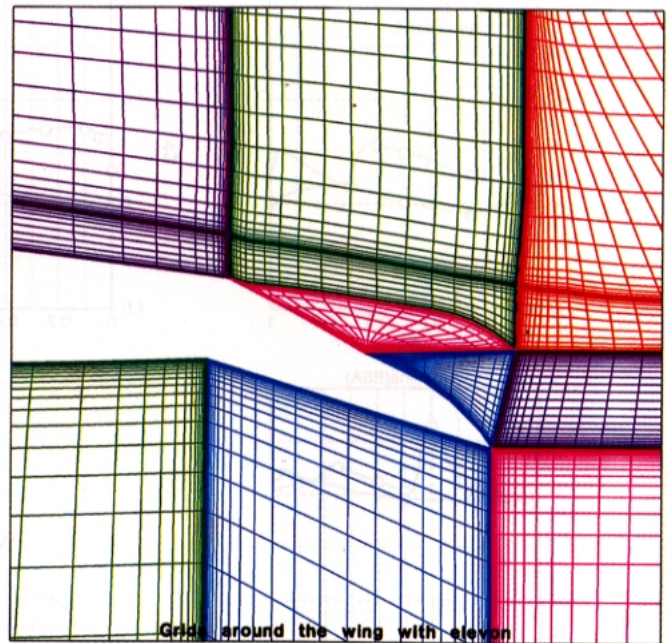
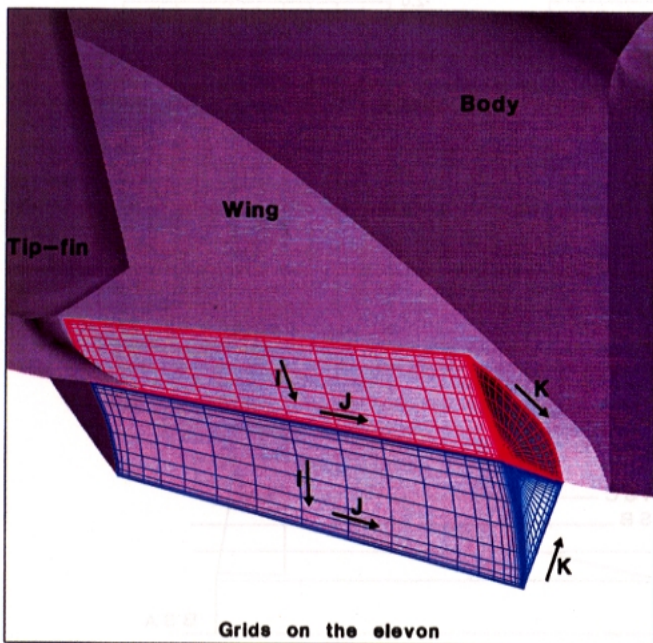


図4 エレボン付近の計算格子

左…斜め後ろ上方から見る
 右…中央付近断面計算格子

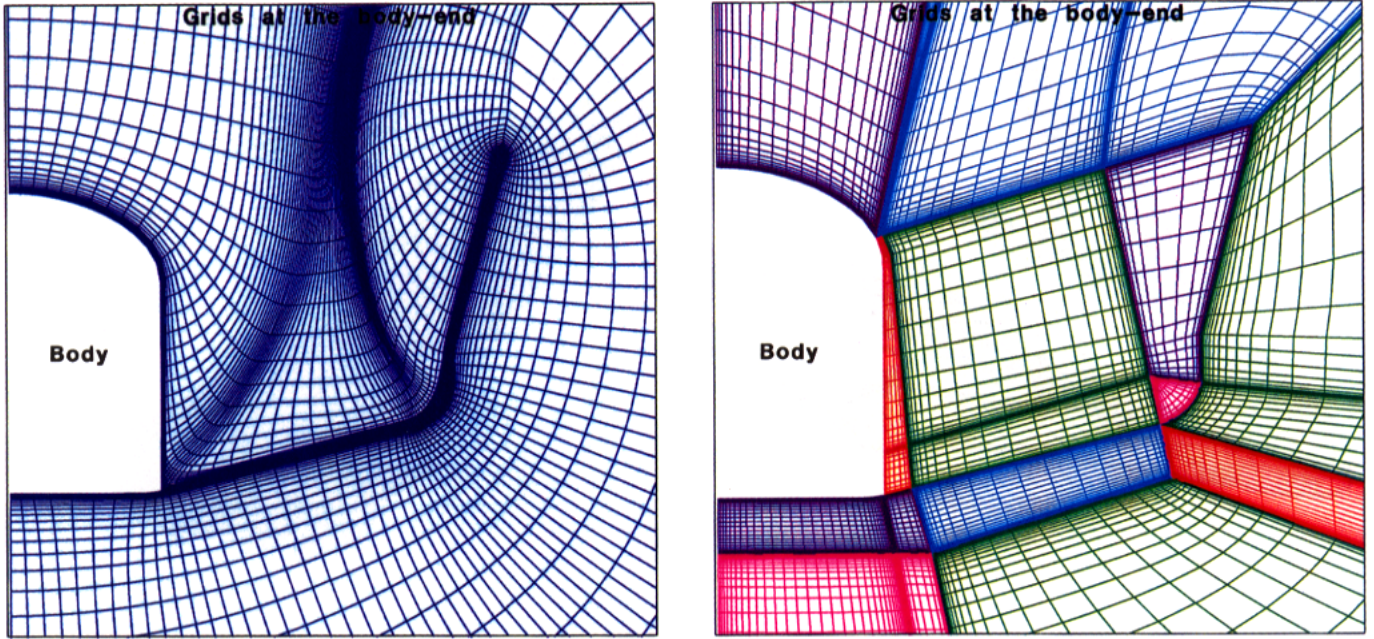


図5 胴体後端の計算格子
 左…従来のもの、エレボン無し
 右…今回のもの、エレボン有り

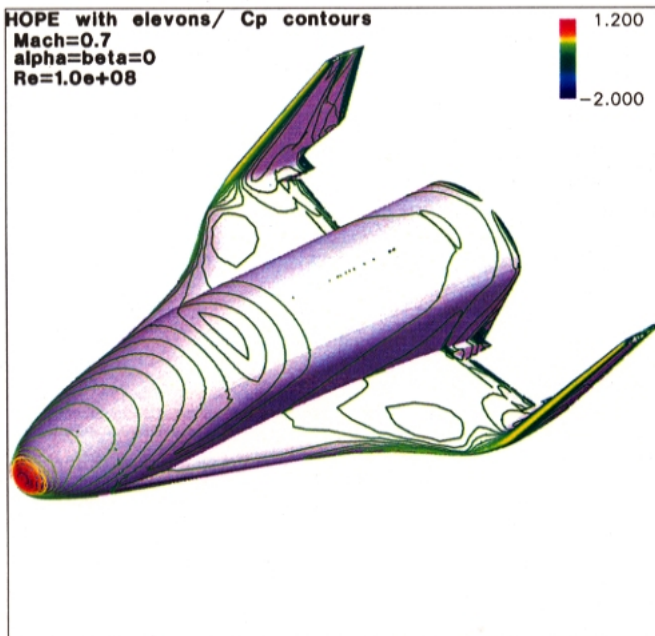


図6 機体表面等圧線
 左…斜め上方から見る
 右…斜め下方から見る

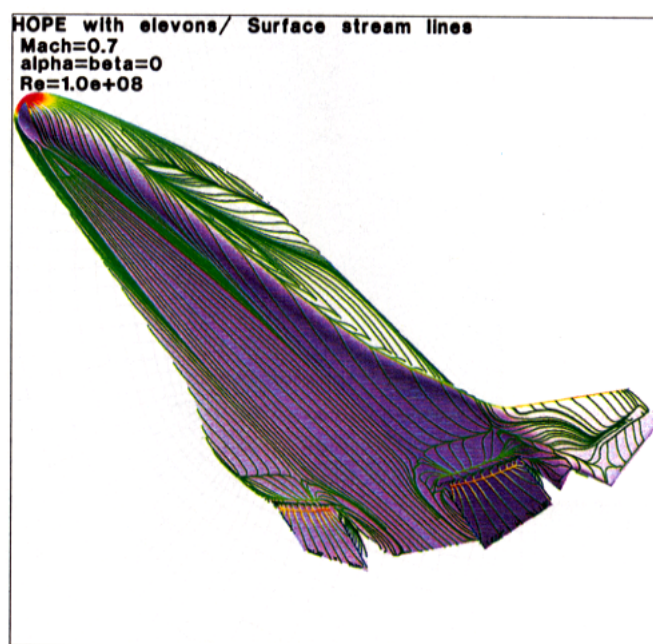


図7 機体表面流線

左…斜め上方から見る
右…斜め下方から見る