

ワークショップ：ONERA M5 全機形態まわりの流れの解析 結果の纏め

廣瀬直喜 中道 二郎
航空宇宙技術研究所

Compendium : CFD Workshop on Transonic Flow Analysis around ONERA M5 Full Configuration

HIROSE, Naoki and NAKAMICHI, Jiro, NAL

Abstract

There were four applicant teams for the present workshop. Because of time span between the announcement and the workshop was short to conduct full computation for three-D aircraft configuration even now, only one applicant presented the complete set of cases. The remaining teams presented some of the problems or trial case. After the workshop they are working on to complete analyses and will present their results in near future which will be put on the CFD_on_Web. In this compendium, because of this, a general survey look on the applicants analyses is presented. As a conclusion, it was found that three-D aircraft simulation is not so easy task to obtain reasonable data comparable to wind tunnel testing for aeronautical design.

1. はじめに

本課題に対してワークショップ開催時点で4チーム(防衛庁-三菱, 航技研, 東北大, 川崎重工)の応募があった。昨年度シンポジウムでワークショップの課題を提示したが, 応募要綱を固めて依頼したのが年末になり, 応募者が計算と取り組む時間的猶予があまりなかったこともあり, 全課題を解いたのは以前から取り組んでいた防衛庁-三菱チームだけであった。

計算をするにあたり, 一番の障害となったのは, 各チームで異なる計算格子生成法を用いているが, 共通して, 与えた M-5 形状に対して正確かつ細かな格子を作る作業に手間取ったことである。いまや流れ計算法自体は各チームとも確立しており, したがって, 乱流モデル, 乱流遷移をどう扱うかの問題はあるものの, あとは格子さえできれば計算は自動的にできるようになっている。しかし, 格子生成は10年前と比べるとグラフィックス端末での表示が高速, 容易にできるようになっているにもかかわらず, 相変わらず難しいということが明らかになった。

なお各チームからワークショップで発表が行われ, 本書にそれぞれ論文として発表していただいているので, 各チームの解析内容についてはそれらを参照されたい。この纏めを書く時点で各論文原稿ならびに解析結果のデ

ータ, 図がわれわれには届いていないため, このまとめはワークショップ時にわかった情報によることをおことわりする。各応募者とも今後の追加解析の結果をもって提出の予定なので, 詳しい定量的な比較や図の纏めはその時点までお待ちいただきたい。

2. 応募の概要

応募された各チームの方程式, 解析法, 乱流モデルの概要を表1に示す。また表2, 3, 4に夫々格子生成法, 計算領域, 計算情報を示す。

3. 検討

結果の印象を簡単に記す。

まず方程式はいずれも RANS ないし薄層 RANS である。薄層近似であるか否かは機体表面に境界層方向に十分格子を取っている限り関係ない。解法は非構造格子に対する FVM が多く, TVD タイプの人口粘性評価を行っている。時間積分は陰的な Gaus-Seidel 系, 乱流モデルは Spalart-Allmaras である。乱流遷移判定に S-A モデルを用い, 乱流粘性計算自体は Baldwin-Barth 1Eq. というのもあった(川崎重工)。航技研, 東北大はとりあえずは完全乱流での解析とした。この場合は当然, 乱流遷移点分布は得られず, また課題 C の結果に差が出ることが予想される。今後, 完全乱流と遷移込みの結果を期待したい。

全格子数は150万から560万までで10年前と変わらない。境界層内部特に粘性低層の分布は乱流境界層の定量的解析には重要と見られるが、どれも最小巾が大体 $O(1 \times 10^{-5})$ 位で $1/Re^{(1/2)}$ 内に15-20点とっており、必要条件は満たしているとみられる。一方、計算領域の外部境界は焼く40-45 b (semi-span)取り、十分遠方に抑えている。ただ、逆に、全体格子数は150万程度だとこのために境界層内でも急速に格子間隔が増大しているかもしれない。いずれ格子データの提出を待つて調べたい。

表4によると収束の判定基準をどう定義するか、結構まちまちである。この種の流れの計算では、定常解への収束でも、じわじわとゆっくり流れが変化してゆくので、判断に苦しむ場合が多い。そのため、判定条件によって収束までの繰り返し回数も大幅な違いが認められる。

10年前と大きく違うのは計算機の高速化である。前回は航技研のVP400を用いての計算であったが、今回はスパコン、グラフィックス専用機、さてはPC Clusterにいたるさまざまなマシンで行われた。特にAthlon 1.2GHzを使ったClusterでもスパコンSX4の二分の一の速度でしかも収束まで20時間で計算されていることは、注目値する。計算の中身についてさらに詳しい比較検討することが望まれる。

最初に書いたように、比較してまとめるデータが不足しているので、ここでは一般的な印象のみを記した。近いうちに全応募者からのデータをそろえて、比較、また遷音速風洞風試結果との検証なども行えることを強く望んでいる。それらは順次 CFD_on_the Web に掲載する

とともに、本稿を読んで新たな挑戦者の応募を待つものである。

終わりに、このワークショップのため、多くのマンパワーと計算機パワーをつぎ込み、応募された方々にあつくお礼申し上げる。

受付番号	代表者	所属	基礎方程式	スキーム/時間積分	時間刻み法	乱流モデル	遷移判定
2001M5-1	沖 良篤	防衛庁技術	RANS	Cell-centered FVM FDS(Roe)、嶋の手法	LU-SGS陰解法	Spalart-Allmaras	S-Aモデルの 遷移パラメータ (Ct3、Ct4)を変更
2001M5-2	山本一臣	航技研UPACS	RANS	Cell-centered FVM Roe-MUSCL AUSM(S-Aモデル)	Matrix-freeGS陰解法 SGS(S-Aモデル)	Spalart-Allmaras	なし(課題Bのみ)
2001M5-3	大林 茂	東北天航空	RANS	TVD型風上差分	LU-SGS陰解法	Baldwin-Lomax	完全乱流
2001M5-4	越智章生	川崎重工	薄層RANS	UG3 MUSCL+AUSM(SHUS)	MFGS陰解法	Baldwin-Barth IE	S-A 1Eq.判定

表1. 計算法

受付番号	格子生成法	種類	全格子 /要素数	主翼面上 格子数	H尾翼面 格子数	V尾翼面 格子数	胴体表面 格子数	スティンク 格子数	最小格子幅	備考
2001M5-1		Hybrid 非構造格子	1,492,336	12,161	3,051	2,139	3,495		1.5x10E-5	1/rtRe内 15/13点
2001M5-2	GRIGEN	マルチブロック 構造格子	5,659,360 95ブロック	不明	不明	不明	不明	不明	9x10E-4 mm (0.65x10E-5)	
2001M5-3	GRIGEN	同上	不明	不明	不明	不明	不明	不明	不明	
2001M5-4	PUFGG	マルチブロック 非構造格子	1,819,937	8,910	2,058	1,029	14,142	2,392	不明	

表2. 格子生成法

受付番号	外部境界 上流	下流	上下方向	横幅方向	備考
2001M5-1	43.676 × b/2	45.916 × b/2	44.796 × b/2	44.796 × b/2	
2001M5-2	不明	不明	不明	不明	
2001M5-3	不明	不明	不明	不明	
2001M5-4	40 × b/2	40 × b/2	40 × b/2	40 × b/2	

表3. 計算領域

受付番号	計算情報		繰返し回数	使用計算機	計算時間 /ケース	計算時間 /ステップ格子点	備考	その他
	収束判定 パラメータ	収束条件						
2001M5-1	L, CD, CM	CL: 2 × 10 ⁻³ CD: 3 × 10 ⁻⁴ CM: 2 × 10 ⁻³	124,414回 150,000回 50,000回	SX-4/2C	348時間 420時間 170時間	5.9x10 ⁻⁶ sec 6.4x10 ⁻⁶ sec 6.4x10 ⁻⁶ sec	Re=1mil Re=2mil Re=60mil	課題以外迎角の計算実行 風試と比較した Re1mil:-3~0°, 2mil:-4~+3°
2001M5-2	保存変数 の残差	5x10 ⁻⁹	4,300回	Onix 3400 14CPU	50時間	7.4x10 ⁻⁶ sec	収束判定 現状の状態	局所時間刻み法で CFL=1000で計算
2001M5-3								
2001M5-4	ΔCL, ΔCD の変化	x10 ⁻⁵ /stepで 収束とみなす	2000回	PC Cluster 1.2GHzx4	20時間	15x10 ⁻⁶ sec		

表4. 計算情報