複雑流れの数値解析技術の研究

報告書番号:R21JDA201N16 利用分野:航空技術 URL:https://www.jss.jaxa.jp/ar/j2021/18349/

● 責任者

青山剛史, 航空技術部門航空機ライフサイクルイノベーションハブ

● 問い合せ先

溝渕泰寛(mizobuchi.yasuhiro@jaxa.jp)

● メンバ

阿部 浩幸, 松山 新吾, 溝渕 泰寛, 南部 太介

● 事業概要

航空宇宙分野における流体シミュレーションの対象は航空機・宇宙機周りの乱流や化学反応をとも なう流れ場である.また,ガスタービンエンジン・ロケットエンジン燃焼器などのシミュレーションで は複雑な形状を取り扱わなければならないことも多い.本研究ではそのような多様な物理現象や複雑 な形状を高精度・効率的に解析することが可能な数値解析技術を確立することを目指す.

● JAXA スーパーコンピュータを使用する理由と利点

本研究では Direct Numerical Simulation (DNS) と Large Eddy Simulation (LES) による乱流解析 が主要な手段であるため、必然的に三次元非定常解析を実施しなければならない.また、燃焼流など の解析においては化学反応により生じる多数の化学種に関する支配方程式を解かなければならない. このような解析は計算コストが非常に高く、スーパーコンピュータを使用した解析が必須である.

● 今年度の成果

・複雑形状を対象にした解析では非構造格子を使用することが多いが,一般的に解析の空間精度は二 次精度にとどまる.本研究では,親セルの内部に高次精度補間用のサブセルを持つメニーブロック法 を提案し,非構造格子上で空間高次精度による解析を可能にした.本年度は Re=3900 の円柱周りの流 れについて, ヘキサセル非構造格子を使用して空間五次精度の LES を実施した.

・大気圏突入カプセルの低マッハ数飛行時には動的な不安定性が問題になる.低マッハ数飛行時の非 定常な空力特性を高精度に評価するため,カプセル模型の遷音速風洞試験について LES を実施し,解 析精度の検証を行った.

・極超音速流における境界層の乱流遷移は今だ予測が難しい問題である. 乱流遷移のメカニズムを明

らかにし, 設計に使用できるような遷移の予測モデルを構築するデータを取得するため, M=5 におけ る平板境界層の乱流遷移に対する DNS を実施した.



図 1: Re=3900の円柱周りの流れに対する空間五次精度での LES. (上図)円 柱周りのヘキサセル非構造格子,および,(下図)瞬時の渦度分布.



図 2: カプセル模型の遷音速風洞試験に対する LES. (上図)M=0.6, (中図)M=0.95, (下図)M=1.4 における疑似シュリーレン画像.



図 3: M=5の平板境界層に対する DNS. (上図)渦構造により可視化した乱 流遷移の様子, (下図)遷移位置付近での詳細な渦構造. 図中の渦構造は速度 勾配テンソルの第二不変量の等値面をマッハ数により色付けしたもの.

● 成果の公表

-査読なし論文

[1] 第2回直交格子 CFD ワークショップ講演集, JAXA-SP-21-009, 2022.

-口頭発表

[1] 松山 新吾, "詳細反応モデルによる乱流噴霧燃焼の LES, "第 59 回燃焼シンポジウム, 2021.

[2] 松山 新吾, 竹田 裕貴, 上野 和之, 高木 亮治, 佐々木 大輔, 高橋 俊, 菅谷 圭祐, 今村 太郎, " ワークショップを通した直交格子 CFD の手法改善に関する取り組み, "第 35 回数値流体力学シンポ ジウム, 2021. [3] 松山 新吾, 小島 淳, 布目 佳央, 丹野 英幸, 川島 秀人, "メタン・酸素による回転デトネーション燃焼器の CFD 解析, "第61回航空原動機・宇宙推進講演会, 2022.

● JSS 利用状況

● 計算情報

プロセス並列手法	MPI
スレッド並列手法	OpenMP
プロセス並列数	64 - 1664
1 ケースあたりの経過時間	120 時間

● JSS3 利用量

総資源に占める利用割合**1(%): 0.45

内	訳

計算資源		
計算システム名	CPU 利用量(コア・時)	資源の利用割合 ^{*2} (%)
TOKI-SORA	10,613,142.93	0.52
TOKI-ST	24,238.33	0.03
TOKI-GP	0.00	0.00
TOKI-XM	0.00	0.00
TOKI-LM	804.28	0.06
TOKI-TST	0.00	0.00
TOKI-TGP	0.00	0.00
TOKI-TLM	0.00	0.00

ファイルシステム資源		
ファイルシステム名	ストレージ割当量(GiB)	資源の利用割合 ^{*2} (%)
/home	245.06	0.24
/data 及び/data2	16,981.33	0.18
/ssd	1,369.39	0.35

アーカイバ資源		
アーカイバシステム名	利用量(TiB)	資源の利用割合 ^{*2} (%)
J-SPACE	55.17	0.37

※1総資源に占める利用割合:3つの資源(計算,ファイルシステム,アーカイバ)の利用割合の加重平均 ※2資源の利用割合:対象資源一年間の総利用量に対する利用割合

● ISV 利用量

ISV ソフトウェア資源		
	利用量(時)	資源の利用割合 ^{*2} (%)
ISV ソフトウェア(合計)	267.17	0.19

※2 資源の利用割合:対象資源一年間の総利用量に対する利用割合