

## 普遍的な LES を実現する SGS 応力方程式型モデリングの研究

報告書番号：R21JCMP08

利用分野：競争的資金

URL：<https://www.jss.jaxa.jp/ar/j2021/18533/>

### ● 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

### ● 問い合わせ先

松山 新吾(matsuyama.shingo@jaxa.jp)

### ● メンバ

松山 新吾

### ● 事業概要

本研究では SGS 応力の輸送方程式を解くことにより, 対象とする流れ場に合わせたチューニングを全く必要としない普遍的な LES の実現を目指す. SGS 応力方程式は空間フィルタリング操作から厳密に導出されるものであるが, 式に含まれる相関項についてモデリングを必要とし, その良し悪しが LES の解析精度を決める. そこで, 乱流噴流の DNS データベースを利用したアプリオリテストにより相関項のモデリングを行い, 新たな SGS 応力方程式型 LES モデルを確立する.

参考 URL: <https://kaken.nii.ac.jp/ja/grant/KAKENHI-PROJECT-18K03963/>

### ● JAXA スーパーコンピュータを使用する理由と利点

SGS 応力方程式の相関項をモデリングするためのアプリオリテストには DNS による統計データが必要となる. 本研究で目指すような  $Re > 10000$  以上の高レイノルズ数条件で DNS を実施するには 10 億点オーダーの格子点数が必要であるため, スパコン上でのみ実行が可能な大規模解析になる. したがって, 本研究の遂行にはスパコンが必須である.

### ● 今年度の成果

・ $Re=10^4$  の平面乱流噴流の DNS データベースを利用したアプリオリテスト(図 1)により格子スケール(GS)速度成分と SGS 応力に対する SGS 速度成分の相関を分析した結果(図 2), GS 速度成分と SGS 応力をインプットとして SGS 速度成分を評価するテーブルを構築できる見込みが得られた.

・SGS モデルが効果的に機能するためには GS 成分が正確であることも重要であるため, SGS モデルを使用しない陰的 LES (ILES) により平面乱流噴流の LES を実施した. 高次精度補間スキームなどを使用して十分な空間解像度を実現することで GS 成分を正確に評価可能であることを示した(図 3 および 4).

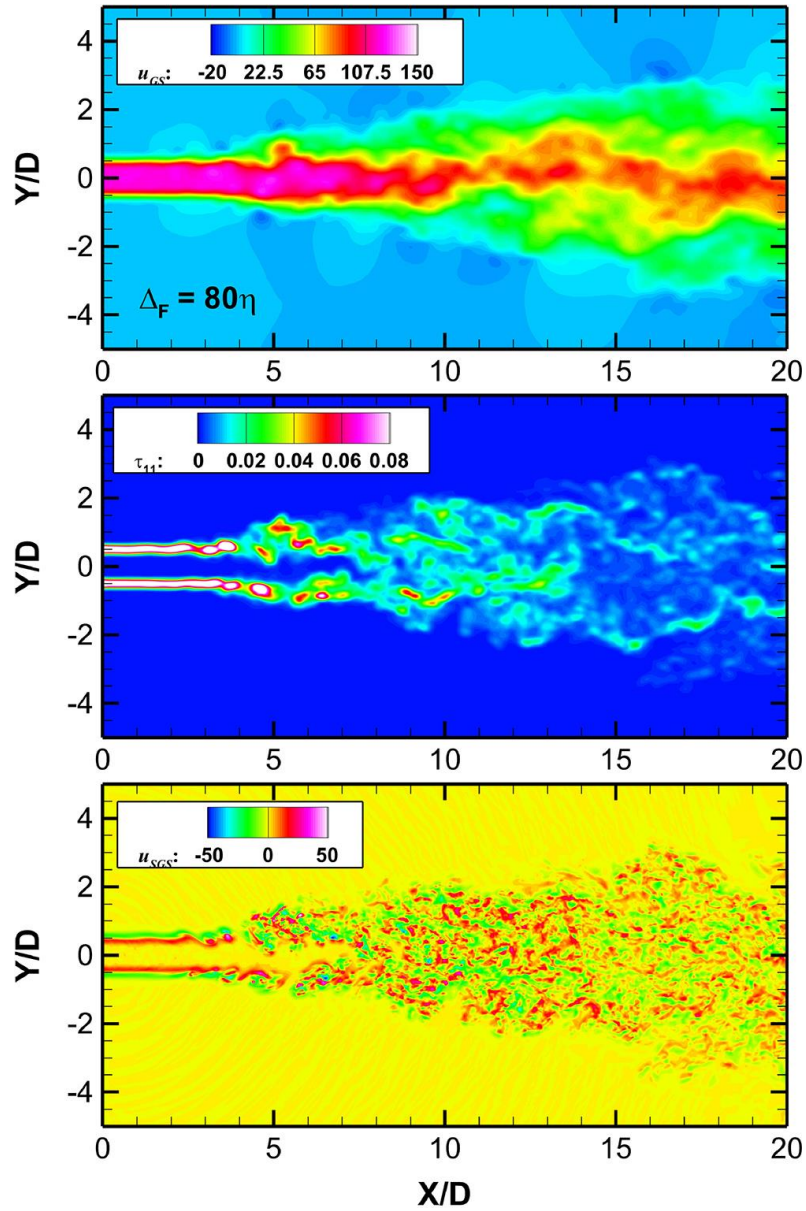


図 1:  $Re=10^4$  の平面乱流噴流の DNS データベースを利用したアプリオリテストの例.

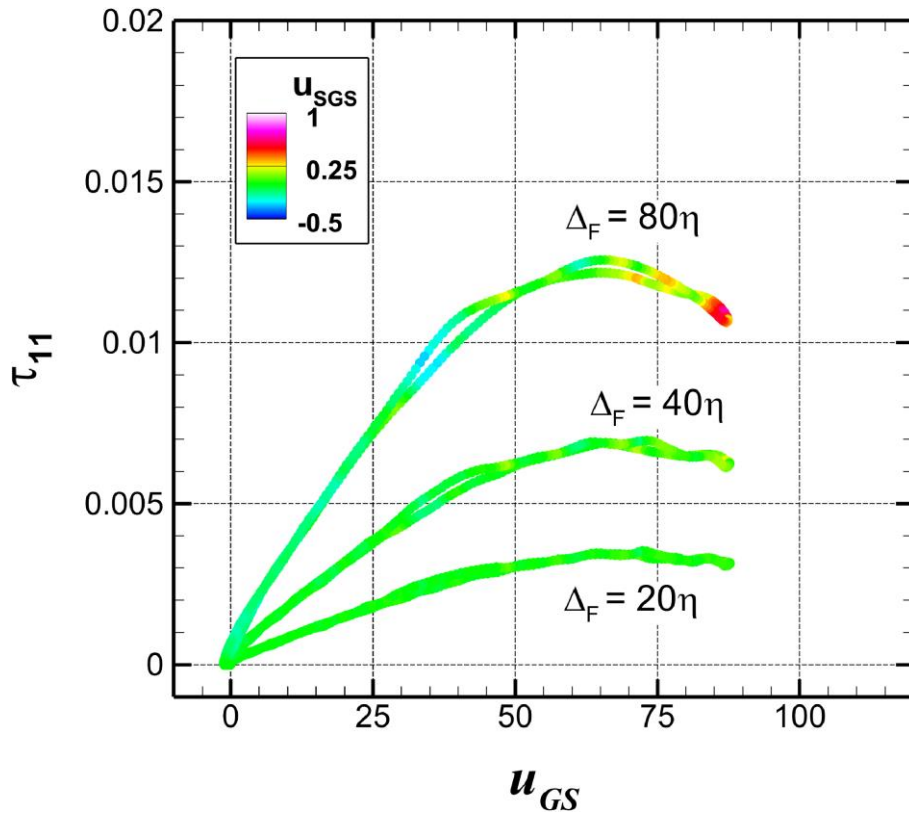


図 2: GS 速度( $u_{GS}$ )と SGS 応力( $\tau_{11}$ )に対する SGS 速度( $u_{SGS}$ )の相関.

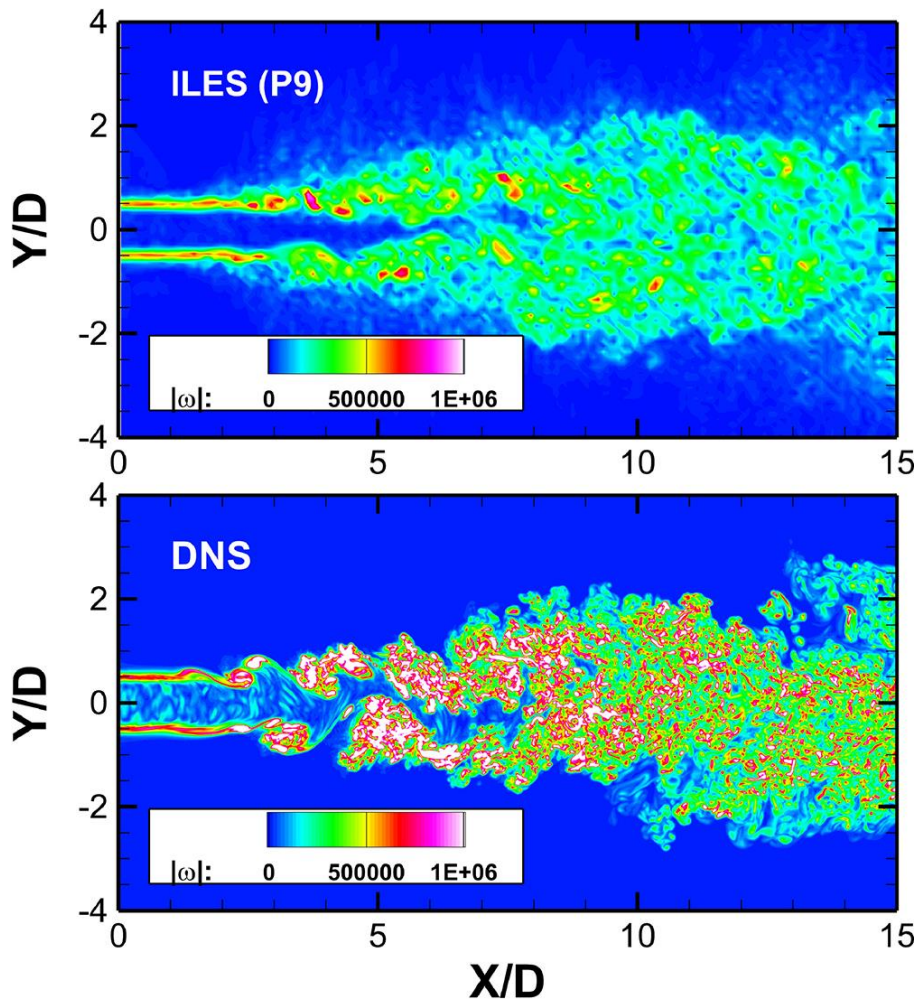


図 3:  $Re=10^4$  の平面乱流噴流に対する ILES(九次精度補間), および, DNS による解析結果. x-y 断面における瞬時の渦度分布を表示.

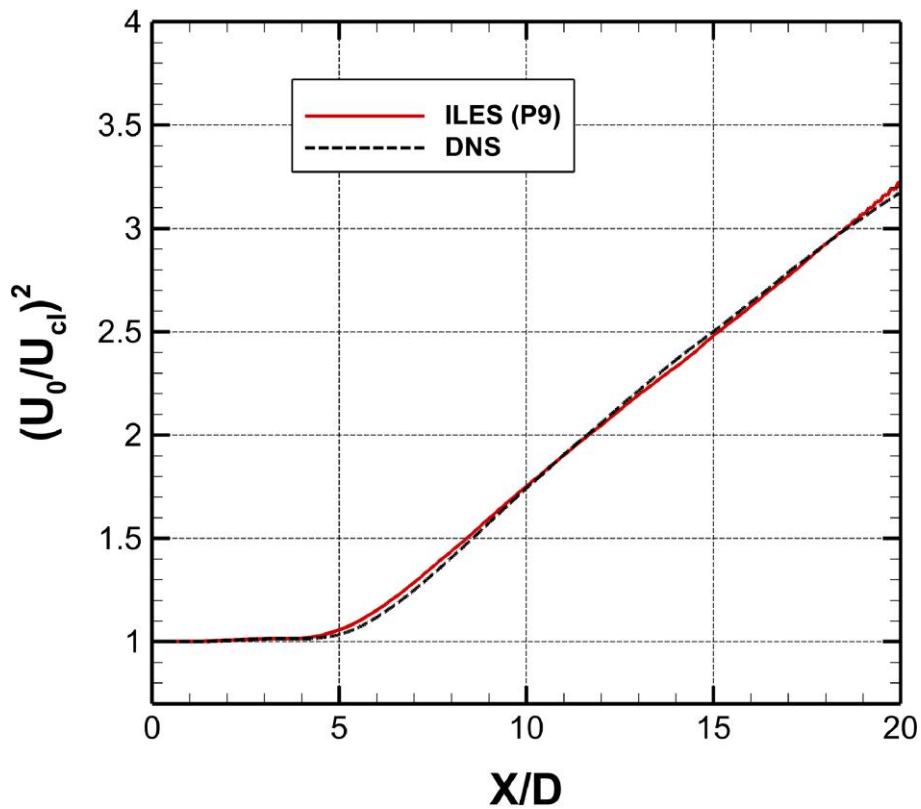


図 4: 噴流の中心線(Y/D=0)に沿った平均速度分布の比較結果.

## ● 成果の公表

-査読付き論文

[1] Shingo Matsuyama, "Implicit Large-Eddy Simulation of Turbulent Planar Jet at  $Re = 10^4$ ", under review in Computers & Fluids.

-査読なし論文

[1] 松山 新吾, "SGS モデルなんて飾りです. ユーザーにはそれがわからんのです", 宇宙航空研究開発機構特別資料: 第 53 回流体力学講演会/第 39 回航空宇宙数値シミュレーション技術シンポジウム論文集, JAXA-SP-21-008, pp.167-173, 2022.

-口頭発表

[1] 松山 新吾, "SGS モデルなんて飾りです. ユーザーにはそれがわからんのです", 第 53 回流体力学講演会/第 39 回航空宇宙数値シミュレーション技術シンポジウム, 2021.

[2] 松山 新吾, "陰的 LES と DNS の比較を通した LES に関する一考察", 第 37 回生研 TSFD シンポジウム, 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	750 - 1500
1 ケースあたりの経過時間	460 時間

● JSS3 利用量

総資源に占める利用割合※1 (%) : 2.63

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	62,471,135.64	3.04
TOKI-ST	12,659.39	0.02
TOKI-GP	0.00	0.00
TOKI-XM	0.00	0.00
TOKI-LM	0.00	0.00
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	62.50	0.06
/data 及び/data2	3,840.00	0.04
/ssd	12.50	0.00

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	0.00	0.00

※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)	390.94	0.27

※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