

# 離陸時における航空機エンジン排気(ジェットブラスト)のシミュレーション

航空本部 数値解析技術研究グループ

○石向桂一, 橋本敦, 青山剛史, 松尾裕一, 吉澤徹

## 背景

- 首都圏空港の利用拡大に伴い、**離着陸時間間隔の短縮**の要望
- 羽田空港**では、南風運用時に利用する**滑走路が互いに交差**
- 滑走路Aから離陸する航空機のエンジン排気(ジェットブラスト, 図1)は、滑走路Bに進入する航空機に対する横からの突風となり危険(図2)
  - ⇒ **ジェットブラストと航空機の干渉**を考慮した離着陸運用が要求
- ジェットブラストの速度分布を正確に予測する必要があるが、実測では実験規模が大きく、常に**風環境**に晒されているため困難
  - ⇒ **数値流体力学(CFD)**を用いた解析が必要
- ジェットブラストは、**三次元壁面乱流噴流**に分類
  - ⇒ 壁により**速度変動の非等方性**が強く(図3)、**速度分布が横に大きく拡張**
- 渦粘性近似による既存の線形乱流モデルを用いたCFDでは、壁近傍の非等方性を正確に評価できず、速度分布の横方向への拡張が再現困難
  - ⇒ **非線形乱流モデル**が必要
- 非線形乱流モデルであっても、三次元壁面乱流噴流における壁近傍の非等方性を再現するのは困難

図1. 航空機エンジン排気(ジェットブラスト)



©www.airliners.nl

図2. 羽田空港における滑走路交差部とジェットブラスト

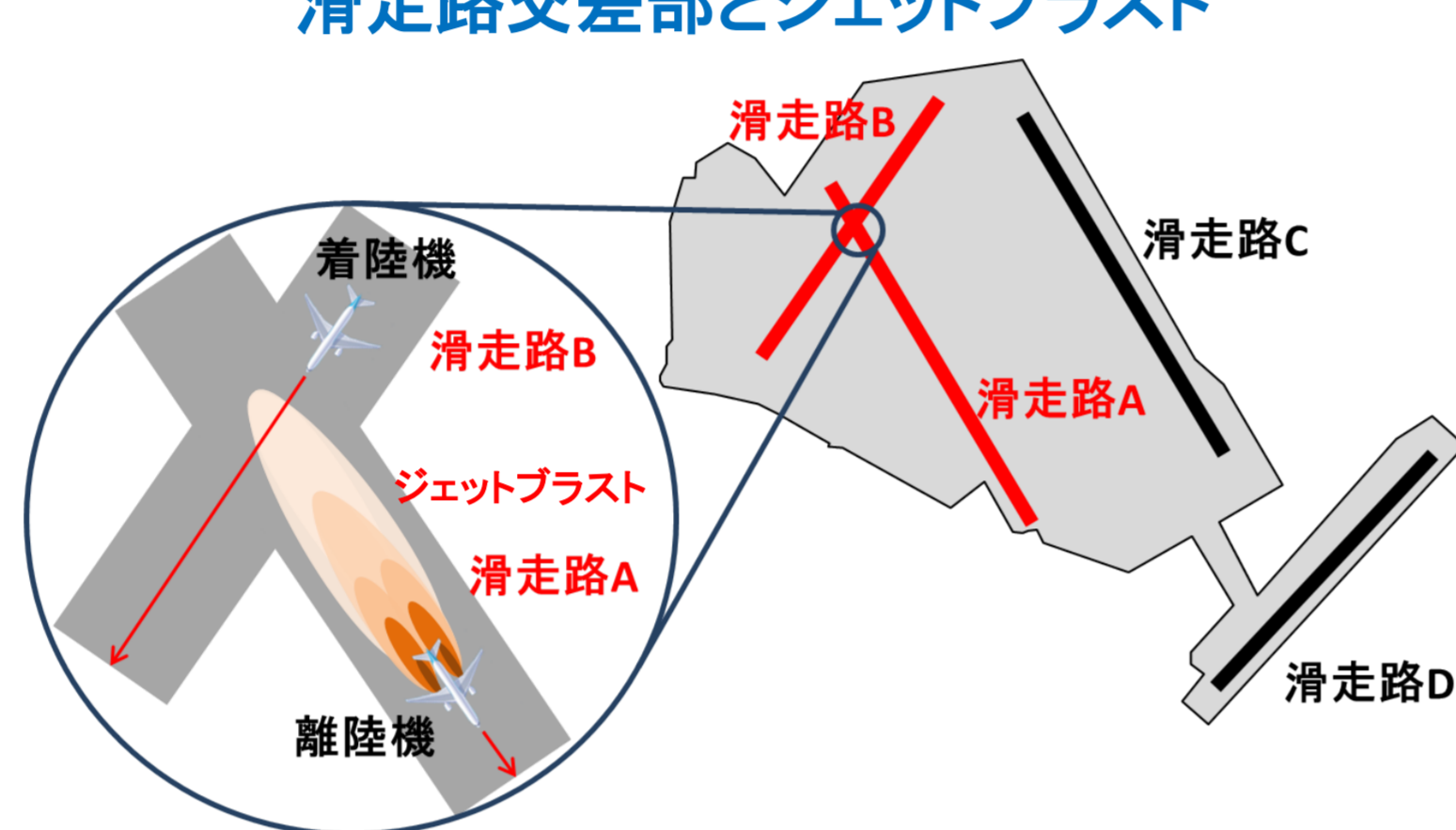
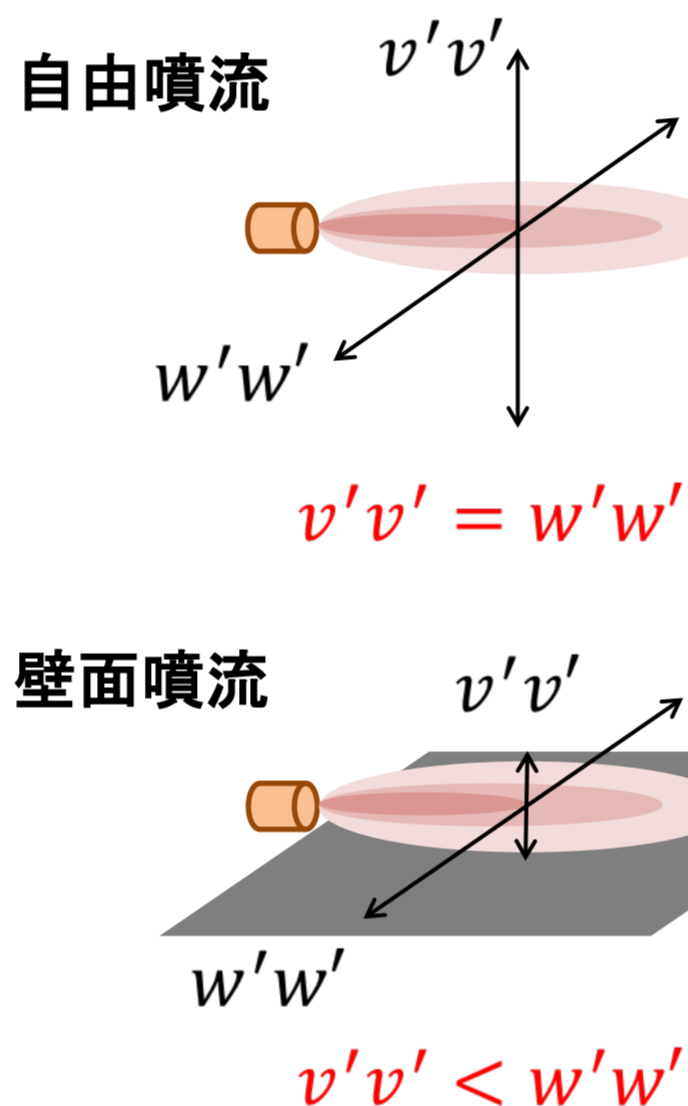


図3. 壁の影響による速度変動の非等方性



## 課題

- 三次元壁面乱流噴流に対する**非線形乱流モデル**の構築
- ジェットブラストに対する**風の影響**の把握

## 目標

- 空港風環境下における**ジェットブラストの挙動**をCFDを用いて評価し、羽田空港における**運用基準改定に資する**ことを目指す

## 社会へのインパクト

- 離着陸間隔が**最適化**されることによる**空港容量の拡大**, および**安全性の向上**

## ②ジェットブラストに対する横風の影響

- 横風を与えた双発同軸噴流で風環境下のジェットブラストを模擬し、数値解析を実施
- 横風の向きをパラメトリックに変え、ジェットブラストが偏向する様子を調査

図4. 高さ一定面(y/D=3.0)における速度分布の比較

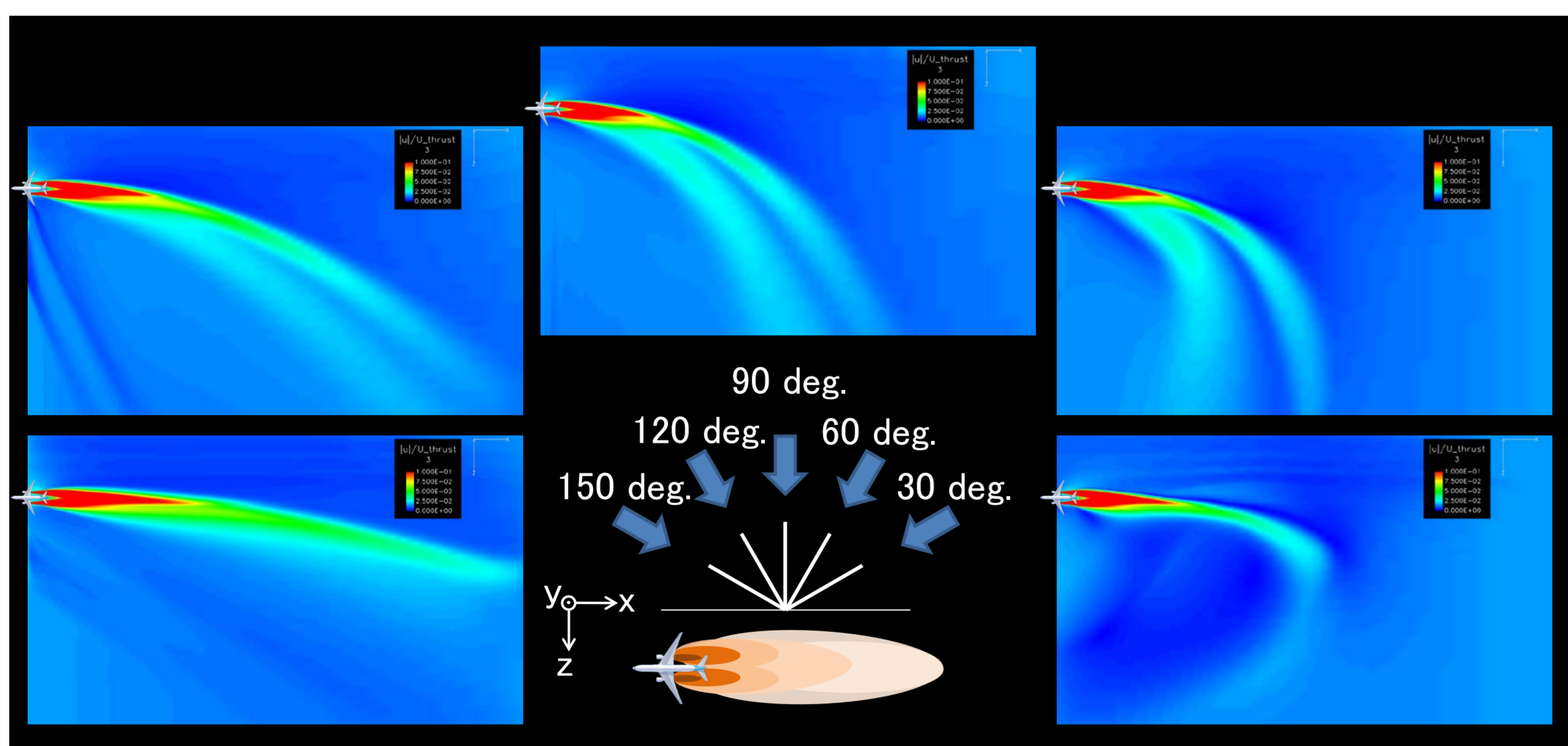
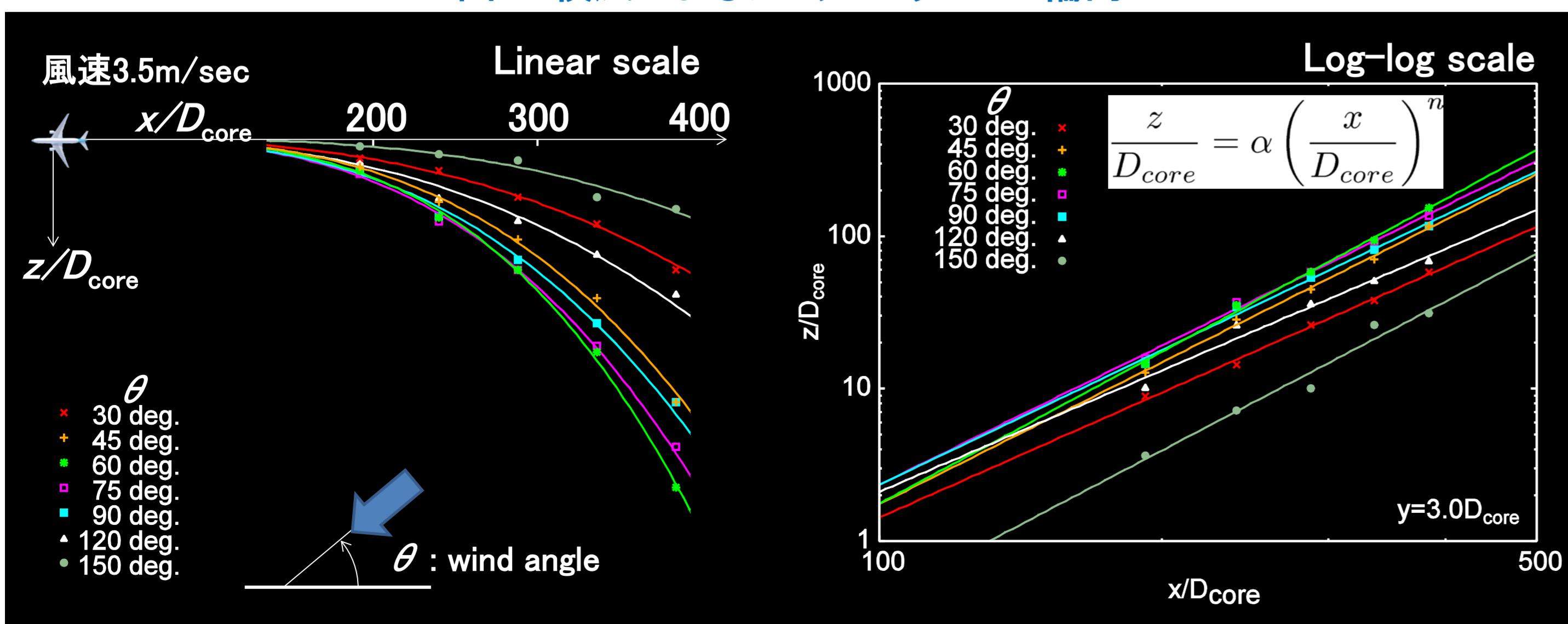


図5. 横風によるジェットブラストの偏向



- ジェットブラストは、横風を受けることにより風下側に偏向し(図4)、噴流ノズル出口からの距離に対し**冪関数**に従う軌跡を描くことを確認(図5)

## ①三次元壁面噴流用の非線形乱流モデルの構築

- 壁近傍に作用する強い非等方性を考慮するため、レイノルズ応力の構成方程式に3つの付加項を加えた非線形構成方程式<sup>※1</sup>を導入(図6)
- 2方程式乱流モデルであるShear Stress Transport (SST)乱流モデルに構築した非線形構成方程式を適用
- 三次元壁面乱流噴流の数値解析を行い、既存の線形SST乱流モデルの結果や実験結果<sup>※2</sup>と速度場を比較

※1 Birch et al. Fluid Dyn., 2001

※2 名大との共同研究により取得

図6. レイノルズ応力の非線形構成関係式<sup>※1</sup>

$$-\rho \langle u'_i u'_j \rangle + \frac{2}{3} \rho k \delta_{ij} = 2\rho \nu_t \left( S_{ij} - \frac{\delta_{ij}}{3} S_{kk} \right) + \rho C_1 \varphi_1 \left( n_i n_j - \frac{\delta_{ij}}{3} \right) \left( \frac{\nu_t}{d} \right)^2 + 2\rho C_2 \varphi_2 \nu_t \left\{ \left( S_{ij} - \frac{\delta_{ij}}{3} S_{kk} \right) - \frac{1}{2} n_i n_m P_{jm} - \frac{1}{2} n_j n_m P_{im} + \frac{\delta_{ij}}{3} n_k n_m P_{km} \right\} + 8\rho C_3 \varphi_3 \nu_t \frac{S_{ik} \Omega_{kj} + S_{jk} \Omega_{ki}}{(S^2 + \Omega^2)^{1/2}}$$

レイノルズ応力

線形項

再分配

2次の非線形項

$\nu_t$ : 渦粘性,  $n_i$ : 壁に垂直な単位ベクトル

$S_{ij}$ : 歪み速度テンソル,  $\Omega_{ij}$ : 渦度テンソル,  $P_{ij} = S_{ij} + \Omega_{ij}$ : 速度勾配テンソル

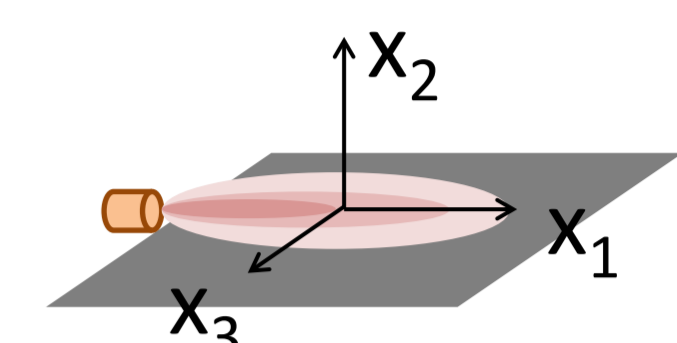


図7. 後方遠方断面(x/D=300)における速度分布の比較

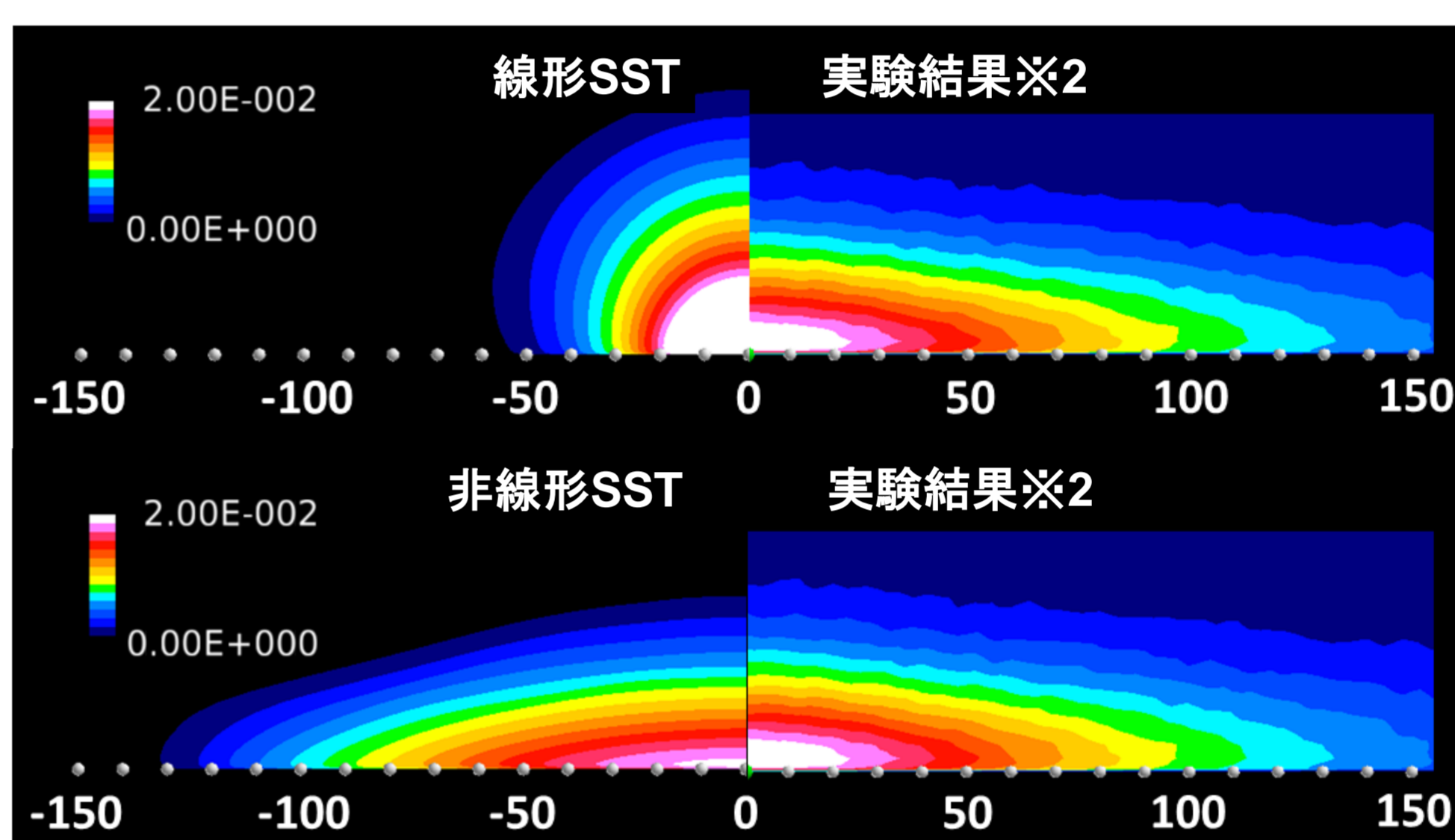


図8. 速度半値幅の定義

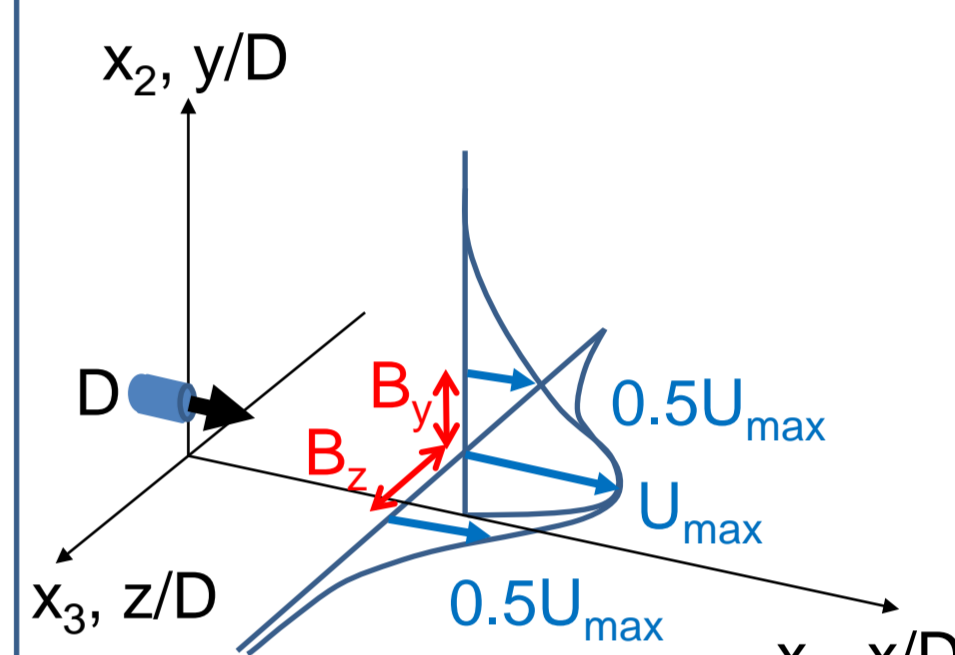


図9. 速度半値幅の比較

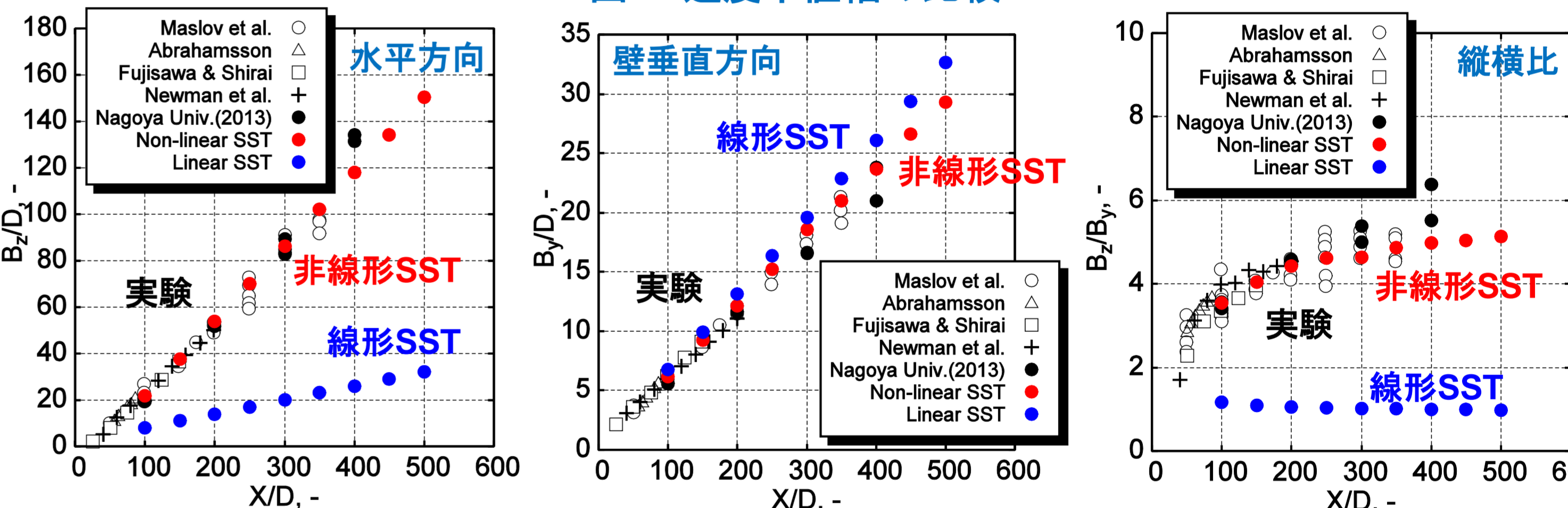
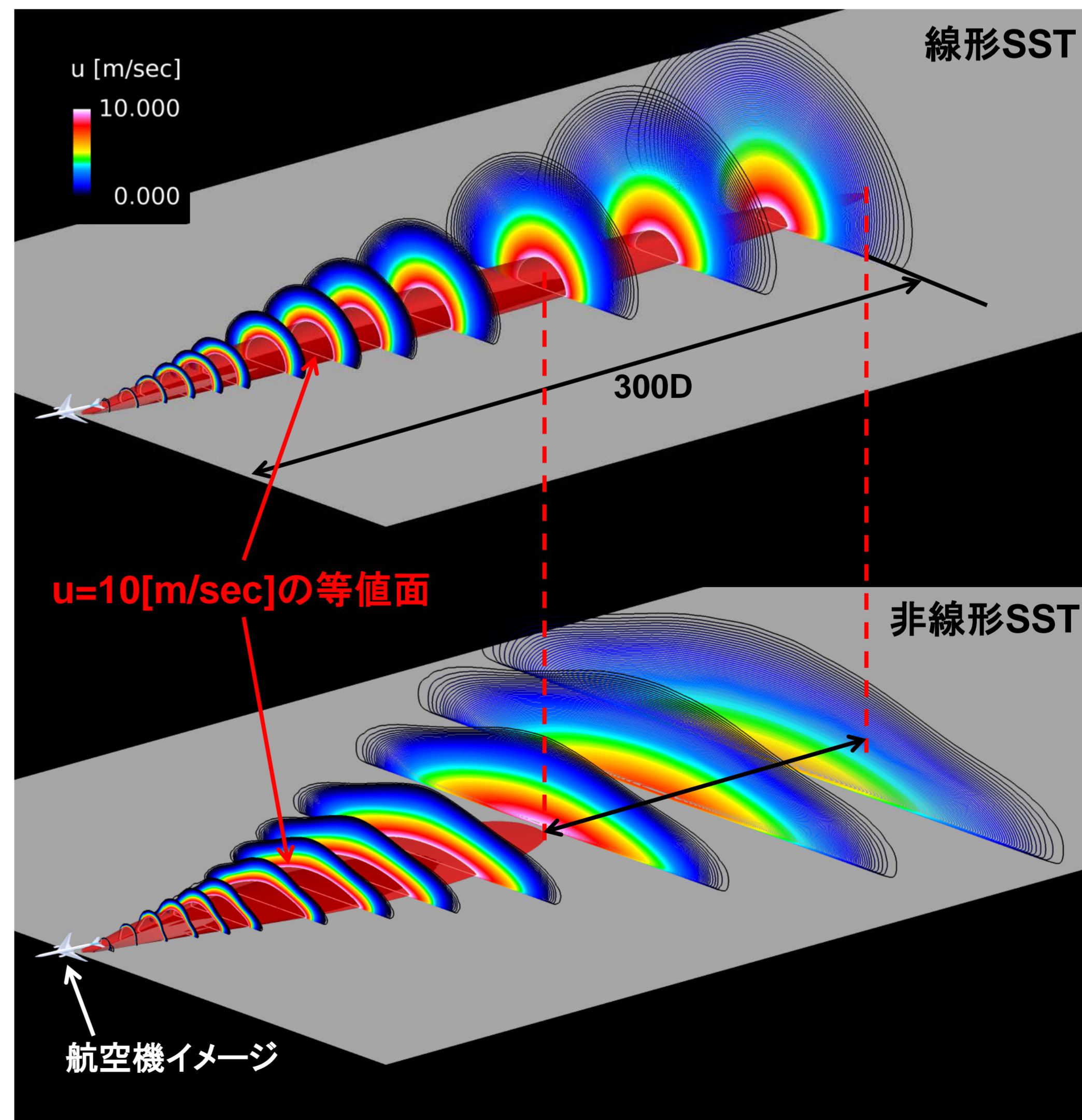


図10. 速度等値面(10m/sec)の比較



- 非線形構成方程式の導入により、実験で確認された速度分布が横方向へ大きく広がる様子を再現(図7)
- 速度分布の広がり方を速度半値幅(図8)により定量的に比較すると、線形乱流モデルでは水平方向の速度半値幅を過小評価したことで縦横比がほぼ1となり実験との不一致が見られるが、非線形乱流モデルでは、水平・壁垂直方向ともに実験を良く再現し、縦横比も実験と一致(図9)
- 速度等値面を比較すると、非線形乱流モデルの結果は、線形乱流モデルに比べ横方向に広がるとともに、噴流軸方向には短くなることを確認(図10)