2021年10月21日

空港周辺の複雑地形が誘発する低層風擾乱の予測技術研究

静岡理工科大学
総合技術研究所

桜木　俊一

【背景】

- A 空港は周辺の複雑な山岳地形により
  気流が乱れやすい地形である。

- 実際の就航パイロットの話では「着陸直前に上下方向の風を受け、機体に大きな揺れが生じることがあり、危険な場合がある。」

- これまでの観測結果から、風が西側方向から流入した際に、気流の上下方向に大きな乱れが生じることが判明している。

【研究実施項目】

- 空港およびその周辺部の地形を3Dデジタルデータ化し、CFD解析空間内に設置して、気流方向や風速などの境界条件を設定することにより、解析空間内の気流速度分布を得る。

- 着陸航路上の気流速度分布を明らかにする。

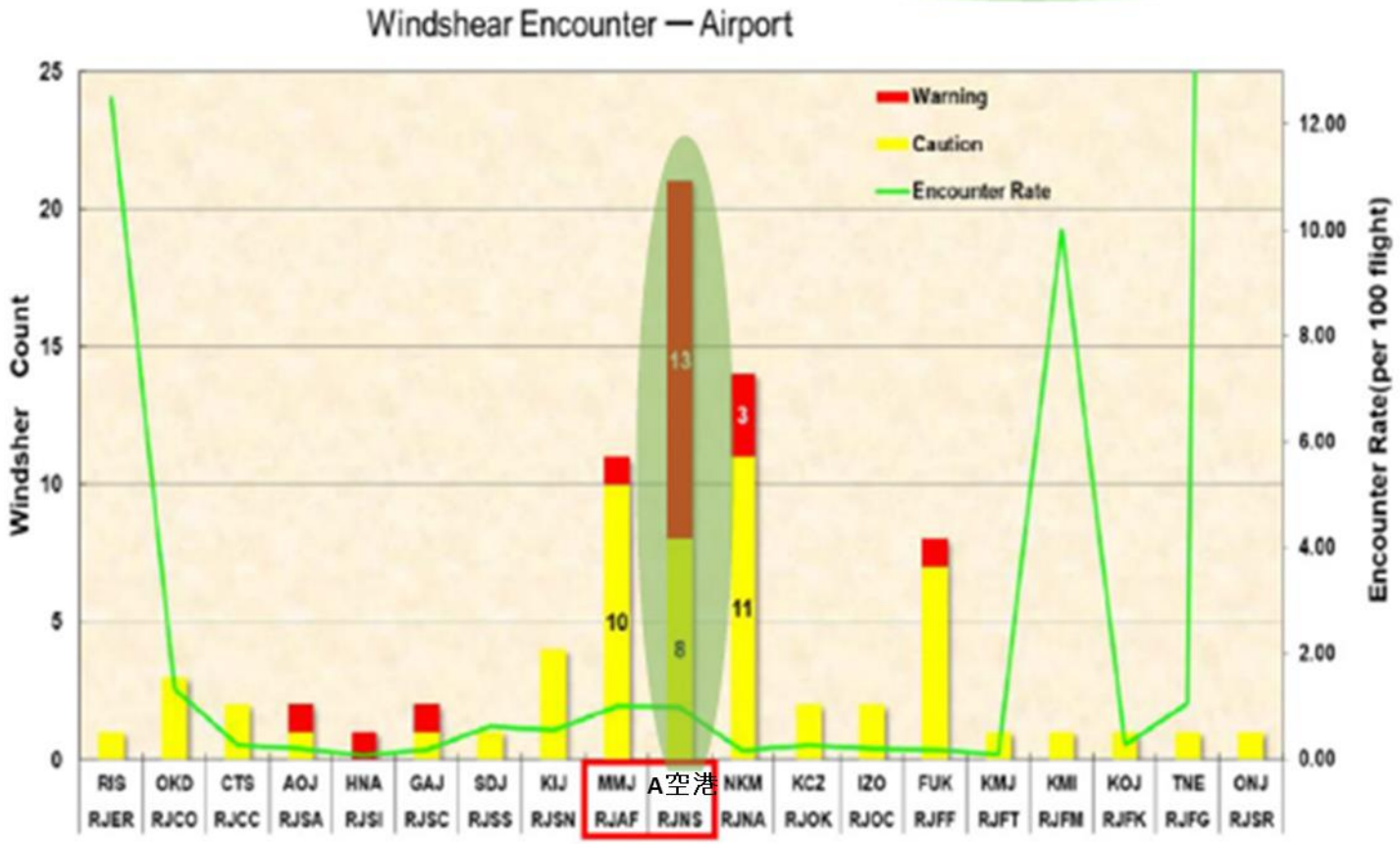
- CFD解析結果と実測値の比較により、解析結果の妥当性を検証する。

【上空から見たA空港】

周囲の起伏が激しい台地上に建設されたA空港

【国内空港のWindshear 発生件数】

次のグラフは、2017 年 12 月から 2018 年 11 月まで、過去 1 年間の Windshear 遭遇件数について、空港別に表しています。定期就航先で遭遇率が最も高いのは **MMJ 及び A空港**で、**100 便当たりそれぞれ約 1 回**発生しています。



【CFDによる気流解析の流れ】

空港及び周辺の地形データを3Dデジタルデータ化

⇦

国土地理院や民間会社の提供データを使用

⇩

CFD解析空間内に設置し、最適な計算メッシュ構造を作成

⇩

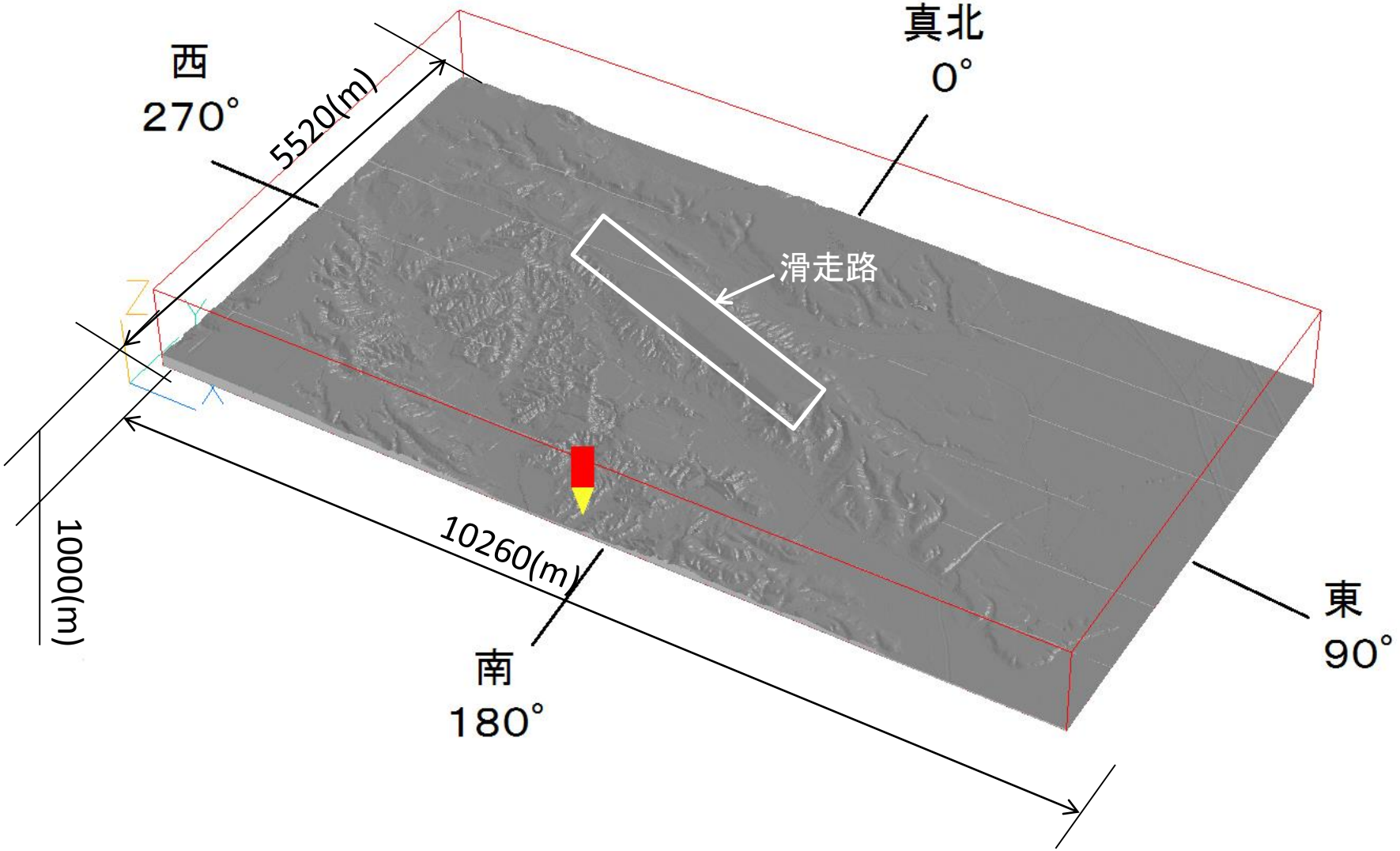
最適乱流モデル、および境界条件（風向、風速、etc.）の設定

⇨

繰り返し収束計算により、基礎方程式の解を得る

⇧

解析解の出力と、解マップの可視化



【3D地形データのCFD解析空間への設置】

【本解析での使用方程式】

●連続の式（質量保存式）

$$\vec{\nabla} \cdot (\rho \vec{V}) = 0$$

ρ：流体密度
V：流速

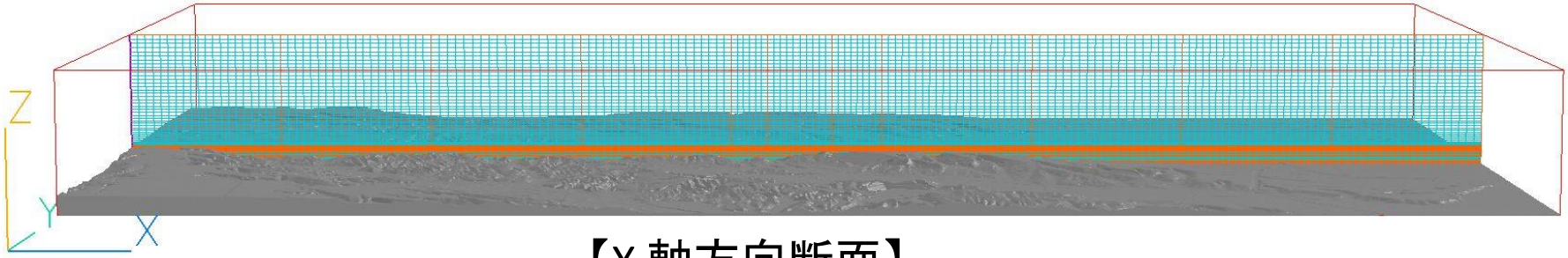
●ナビエ・ストークス方程式（運動方程式）

$$\frac{\partial(\rho \vec{v})}{\partial t} + (\vec{V} \cdot \vec{\nabla})\rho \vec{V} = \mu \nabla^2 \vec{V} - \vec{\nabla} P + \vec{F}$$

P：流体圧力
μ：流体粘性係数
F：外力項
（重力など）

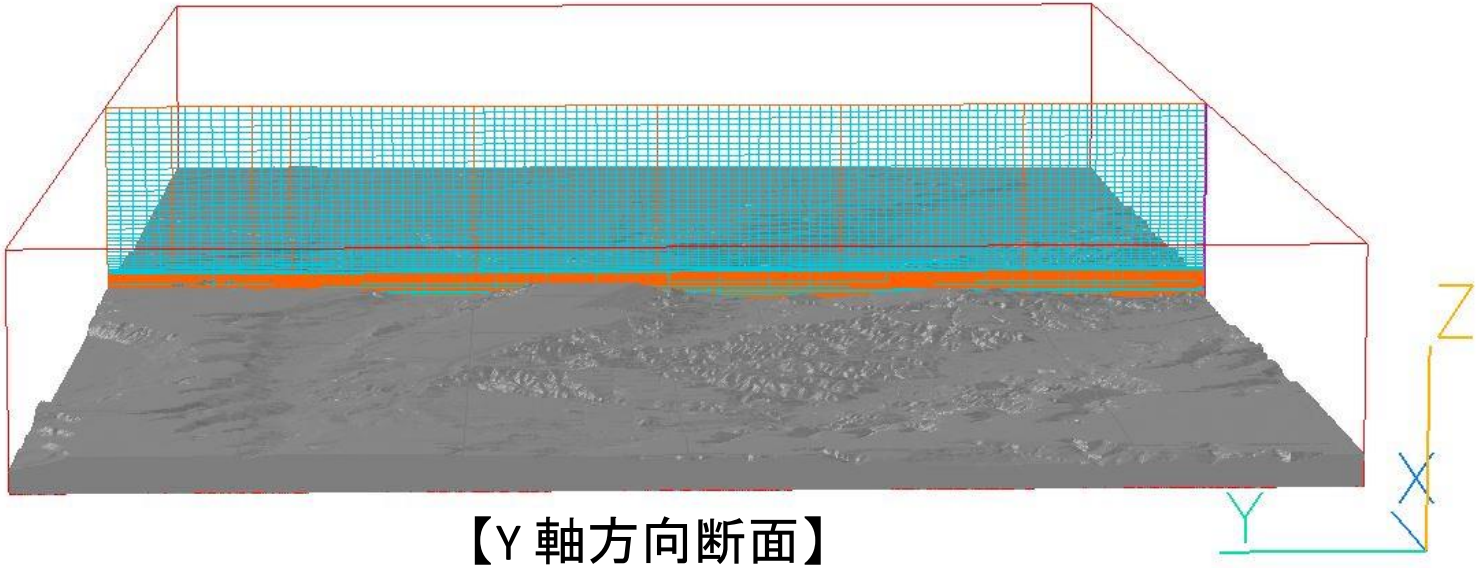
（＊）乱流モデルは LVEL モデル(0方程式系)を使用。

【解析空間のメッシュ構造】



【X 軸方向断面】

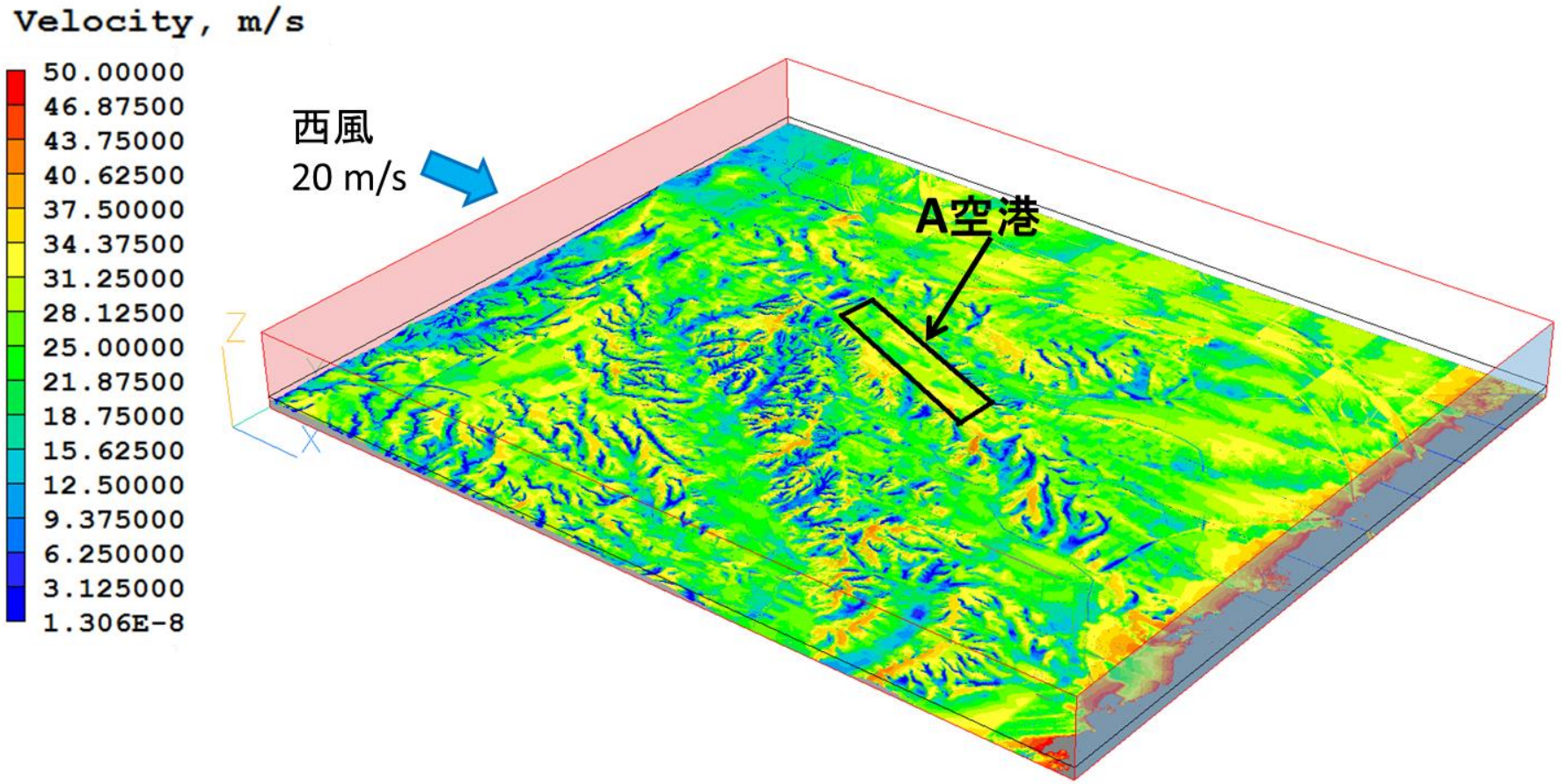
メッシュ数 156個（単位メッシュ幅 66m）



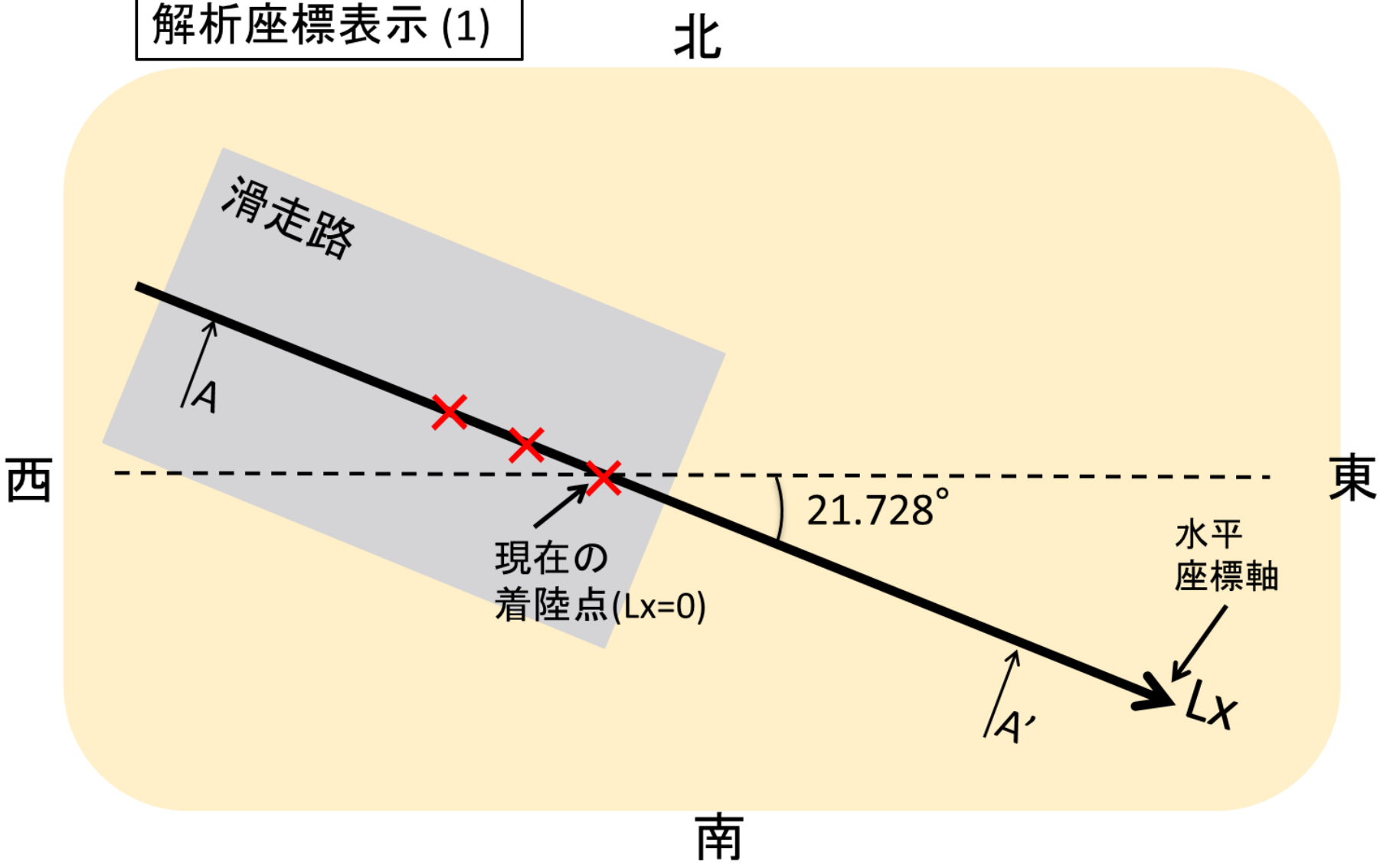
【Y 軸方向断面】

メッシュ数 92個（単位メッシュ幅 60m）

A 空港周辺部の地表近傍速度分布

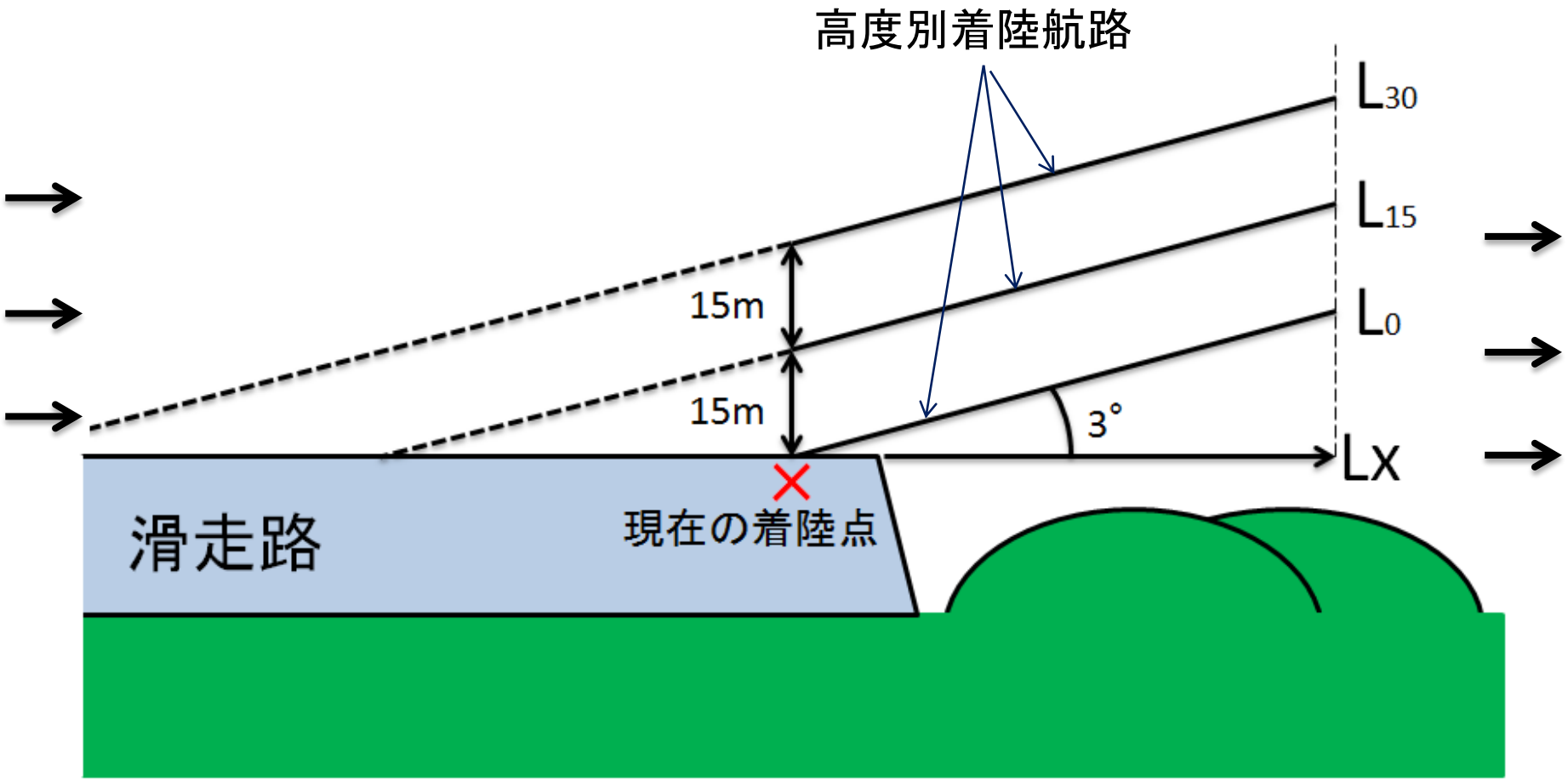


解析座標表示 (1)



【滑走路周辺を真上から見た図】

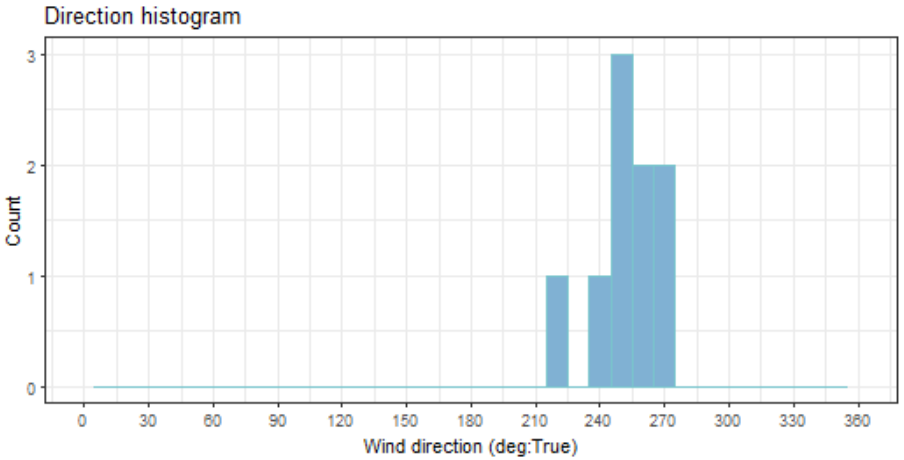
解析座標表示 (2)



気流解析のイメージ図(A-A’断面図)

実機の飛行データ（A 空港）

風向きとIAS変化量の関係
(IAS: Indicated Air Speed)



風向きと
ゴーアラウンド(着陸再試行)回数の関係

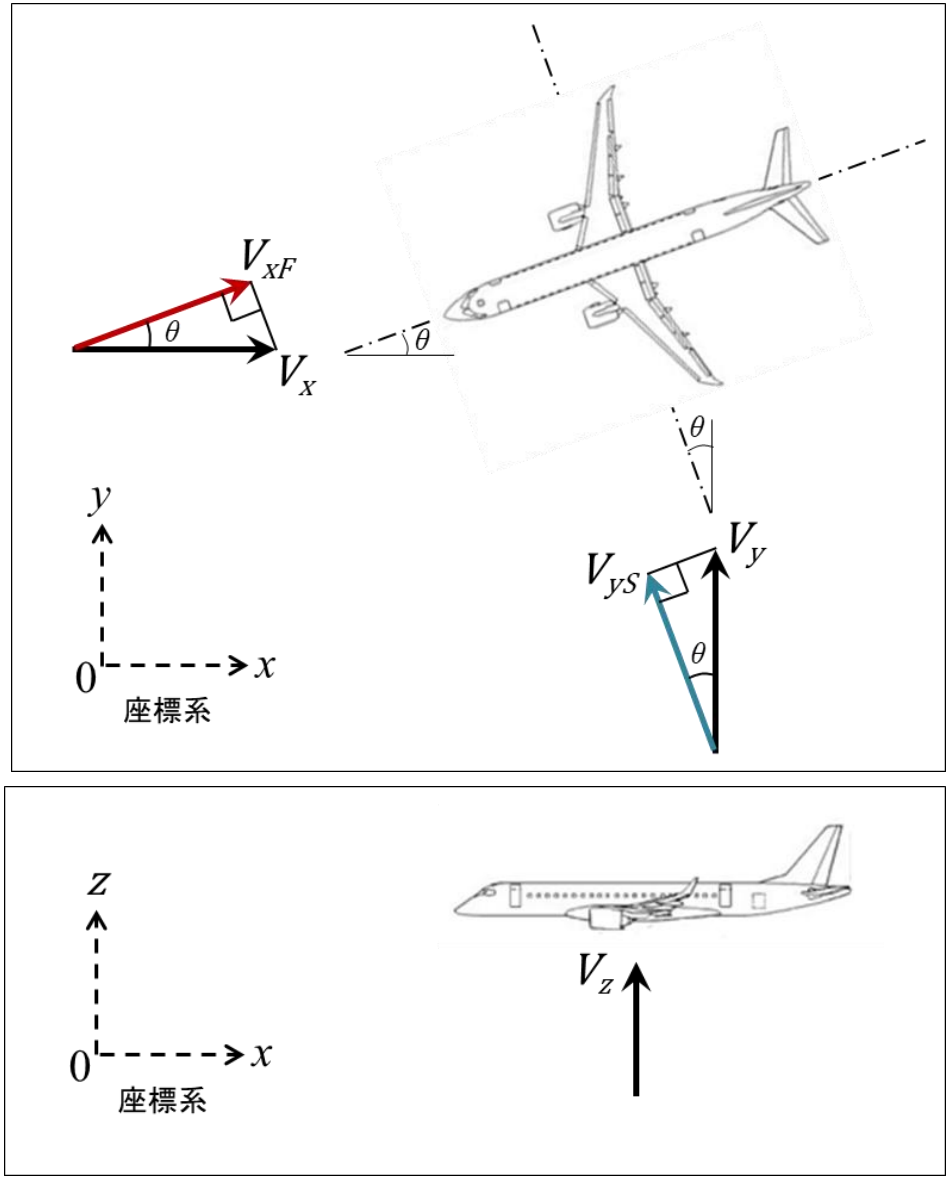
磁方位250° ～270° (真方位243° ～263°)付近が気流の乱れによる影響が大きいと考えられる

【機体に作用する正対風、横風、上下流と計算された速度成分との関係】

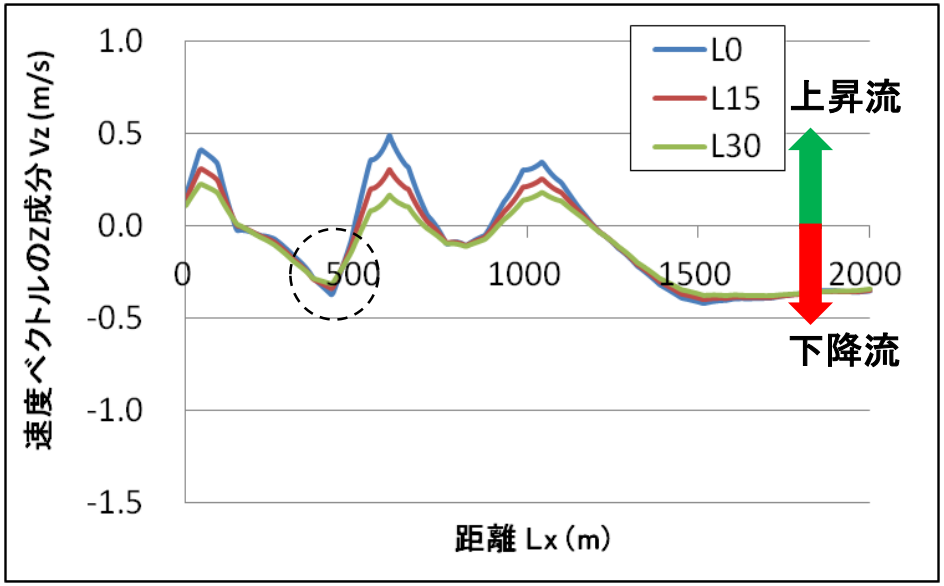
PHOENICSによる速度成分の計算値 (Vx, Vy, Vz) から、機体の正対風VxF と横風VyS を計算する方法。

右のベクトル図を参照して、

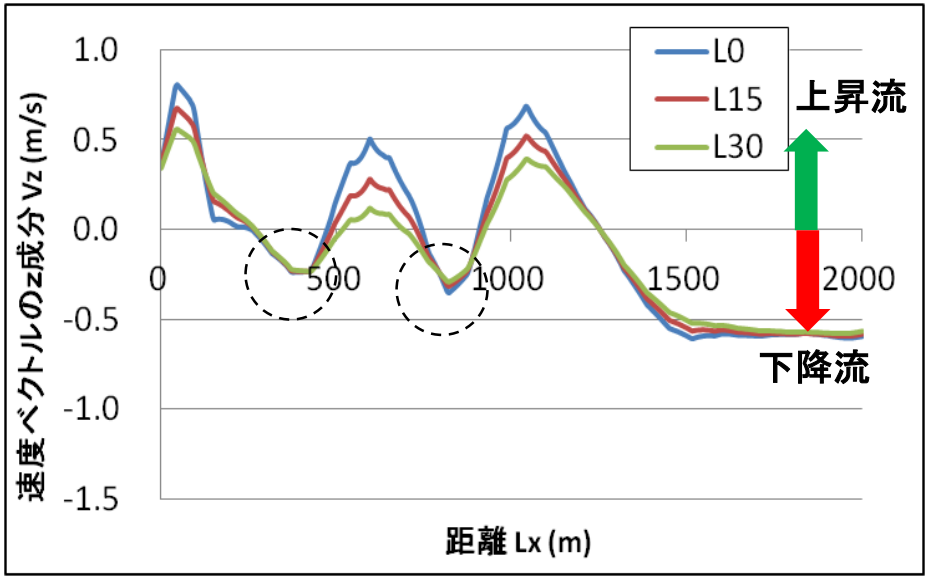
$$\begin{cases} V_{xF} = V_x \cos\theta + V_y \sin\theta \\ V_{yS} = V_y \cos\theta - V_x \sin\theta \end{cases}$$



真方位243°から流入した際の気流速度分布（着陸航路上のVzプロファイル）

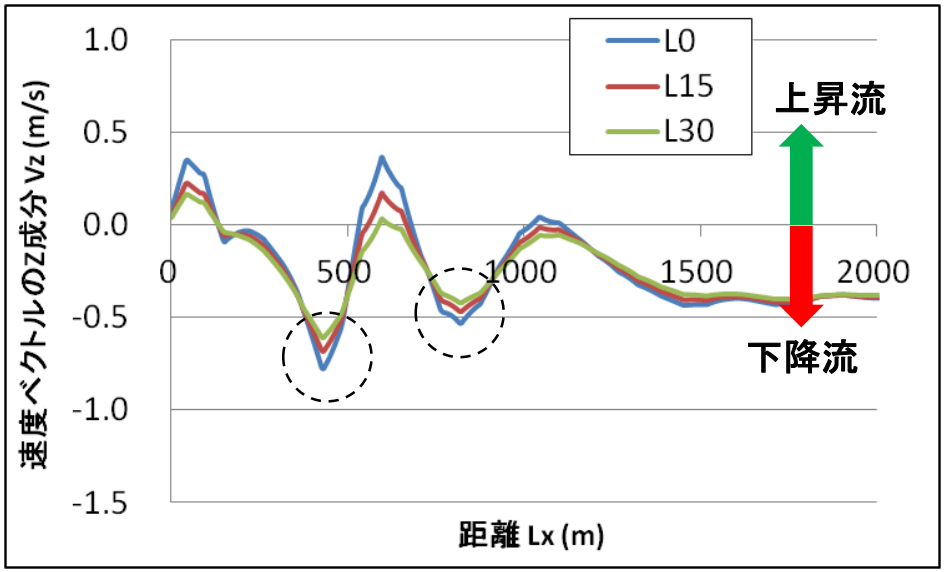


風速10m/s

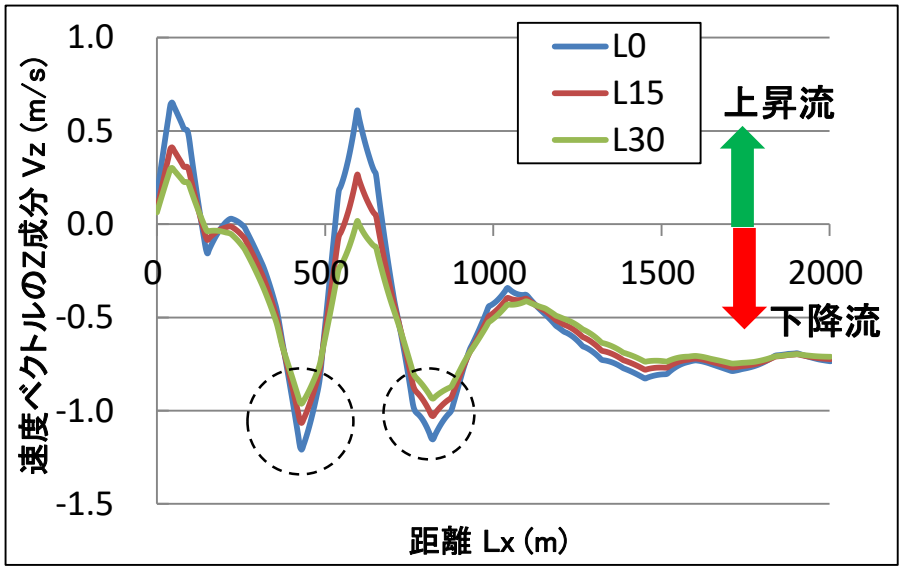


風速20m/s

真方位263°から流入した際の気流速度分布（着陸航路上の Vz プロファイル）



風速10m/s



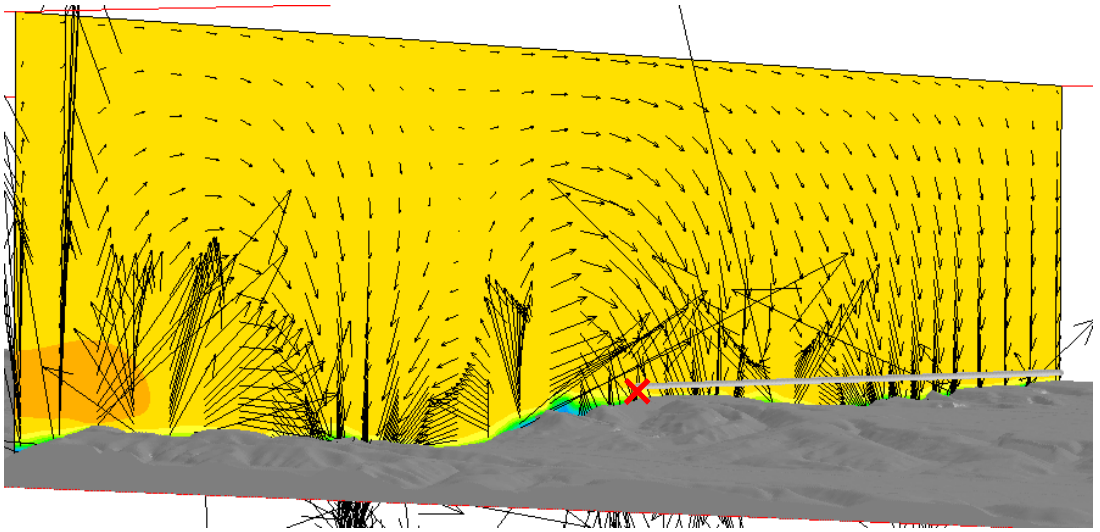
風速20m/s

Lx=400, 800m地点で下降気流が強く出ている
着陸点を移動させ、高度を上げることにより
気流の乱れの影響を小さく抑えられている。

各地点での風速断面図(風速20m/s, 真方位263°)

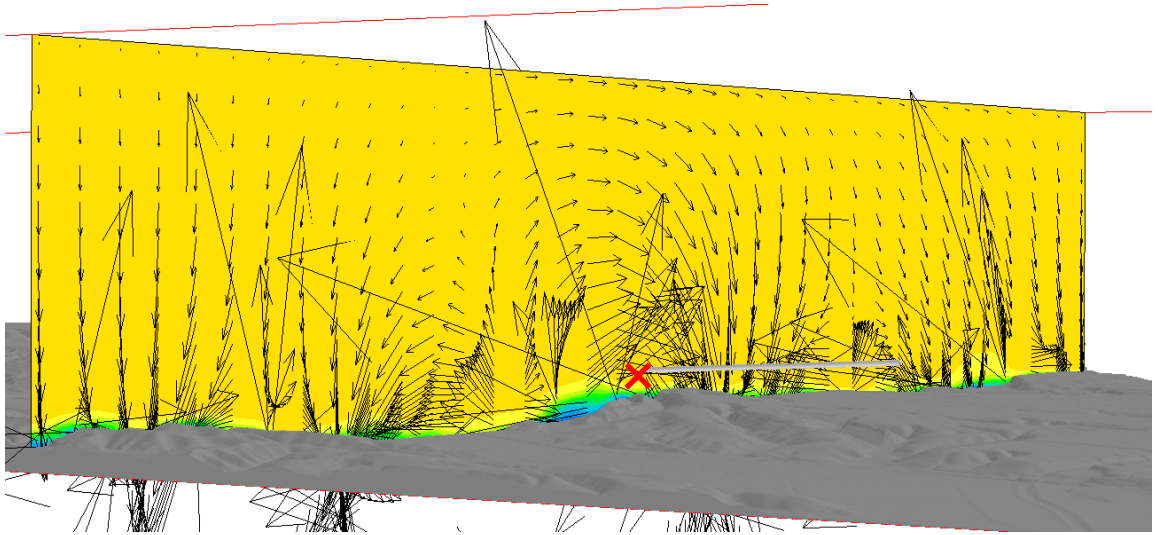
Lx=400m

×が機体の位置



Lx=800m

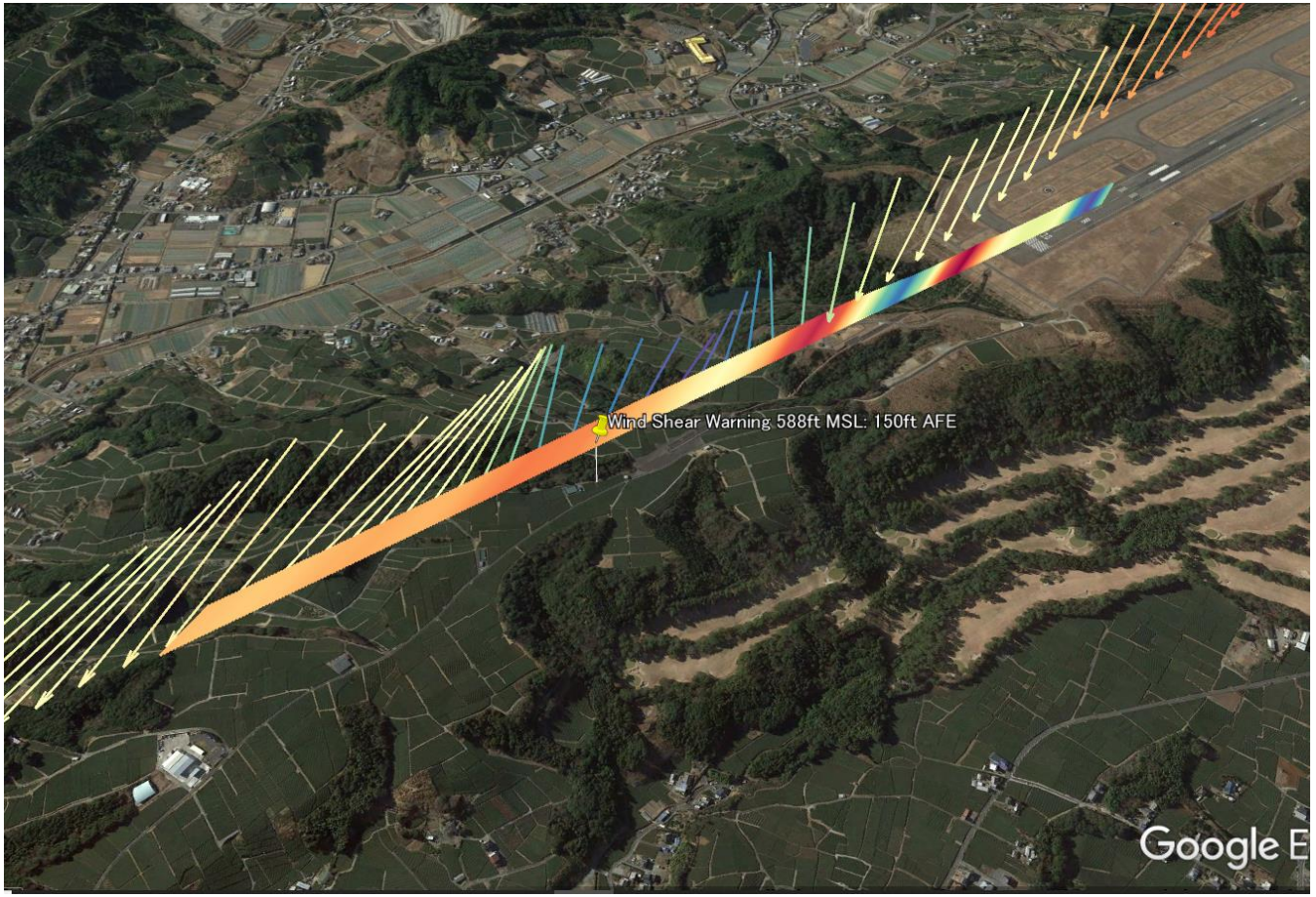
×が機体の位置



GoogleEarth上での計算値と実測値の比較

A 空港での
2018年5月の実例
（着陸再試行実施）

機体実測データを
用いた画像処理



帯が計算値、矢印が測定値(風向と強度)を示す。
青（上昇気流）⟷ 赤（下降気流）

実測値による機体の動きと
CFD解析値を比較した
コンピュータグラフィックス（CG）画像

【結論】

Ａ空港周辺では、西側からの風の流入により着陸直前に強い下降気流が発生し、危険性が高いことが判明した。

ＣＦＤ解析結果と航空機からの実測データは、良く一致し、気流予測におけるＣＦＤ解析の有効性が明らかになった。

今後は、他の空港周辺部での気流解析にも、本解析手法を使用し、気流状況の解明が可能であると予想される。

END