



Gran

OHARA

201

201

南極地域観測隊  
極地研

29-30

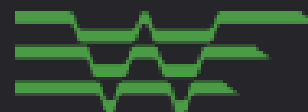
全長	14.95m	質量	27.00t
全高	5.25m	積載量	44.07t
全幅	14.7m	自重	18.355t





# ウィンドスクープとスノードリフトへの CFD活用の提案

2022年6月8日



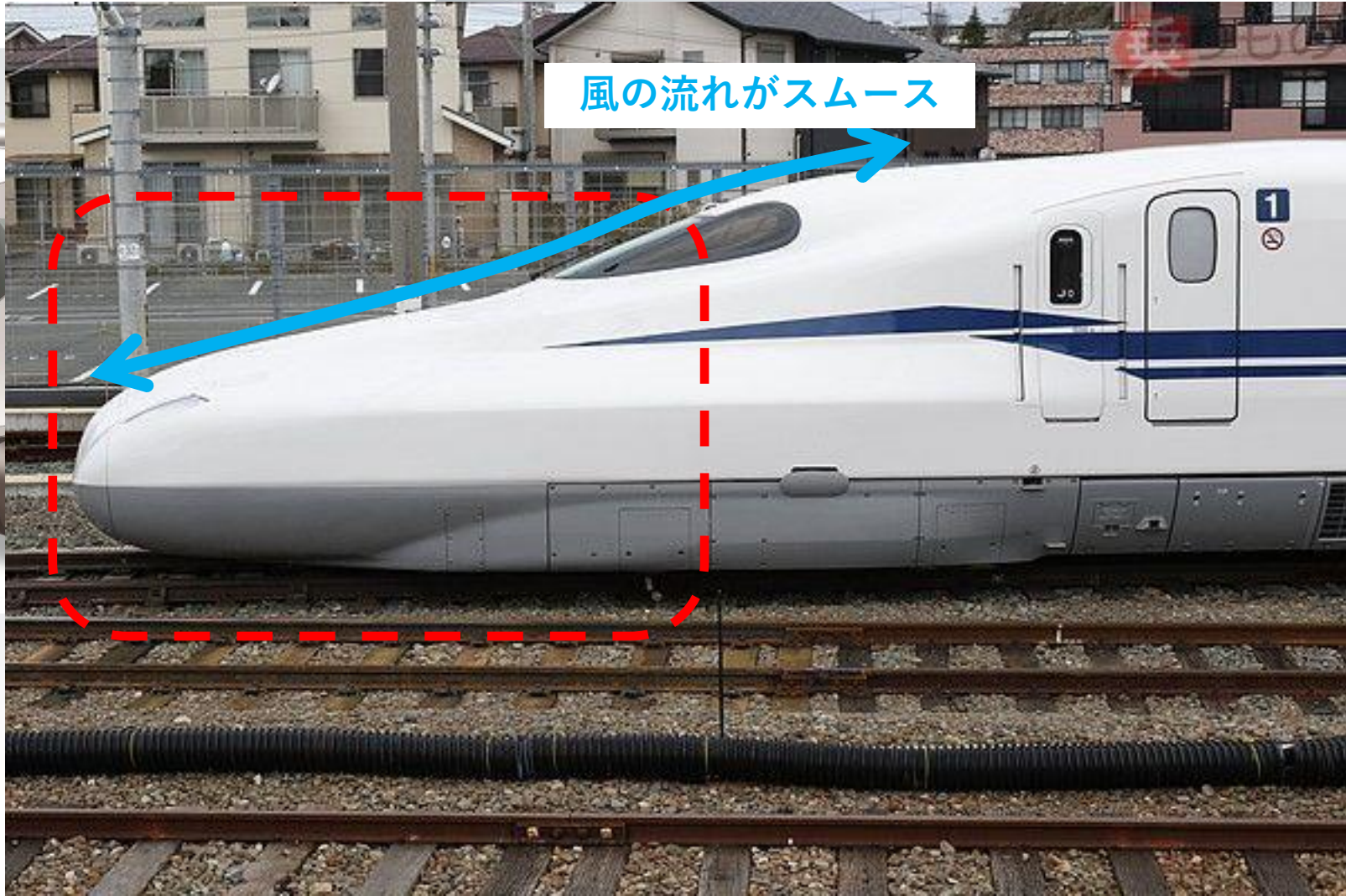
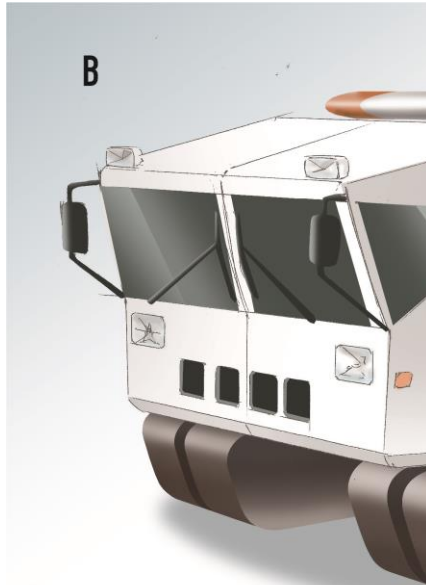
新潟工科大学  
風・流体工学研究センター



株式会社 大原鉄工所  
南極事業プロジェクト



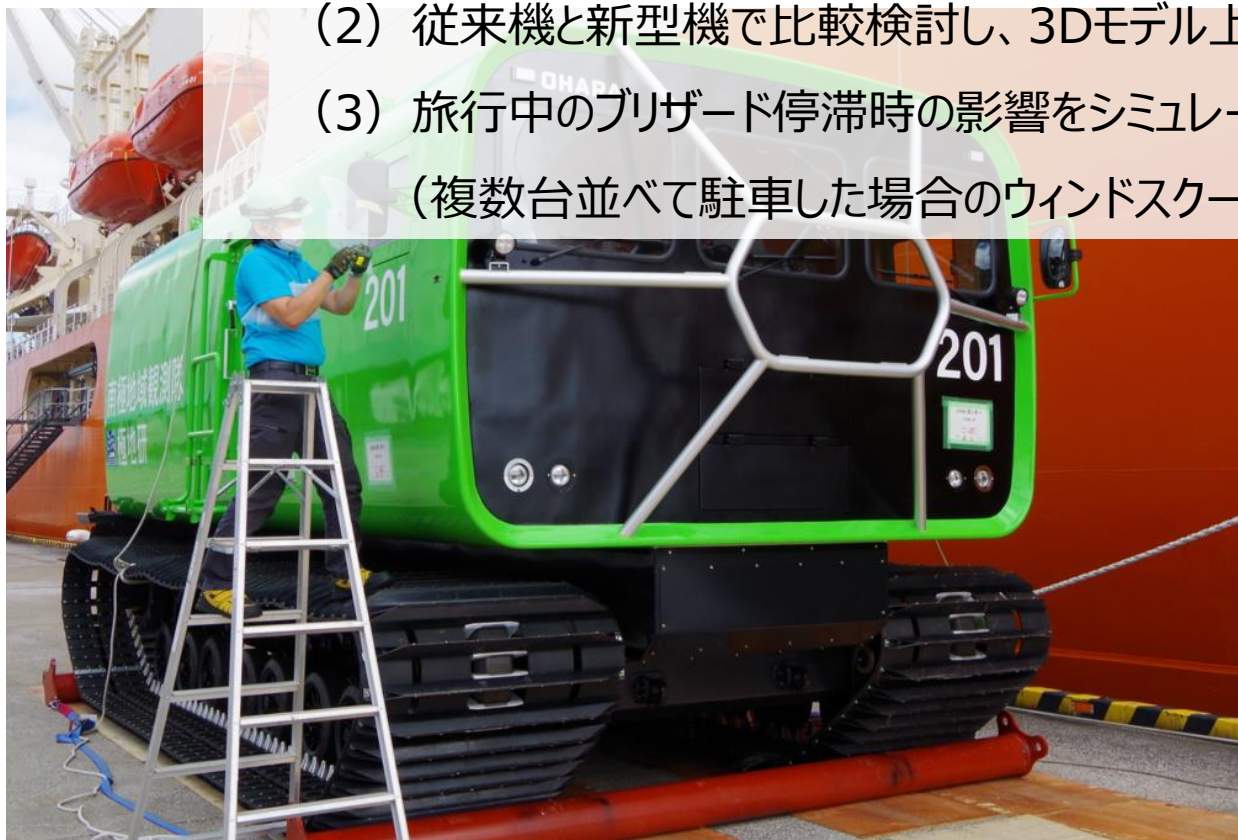






## 1. 目的

- (1) 新型機のウィンドスクープとスノードリフトの発生状況をシミュレーションし、解析手法を確立する。
- (2) 従来機と新型機で比較検討し、3Dモデル上で新型機の性能を確認する。
- (3) 旅行中のブリザード停滞時の影響をシミュレーションする。  
(複数台並べて駐車した場合のウィンドスクープとスノードリフトの発生状況も確認する。)



新型機 OHARA-LAV



従来機 SM100S

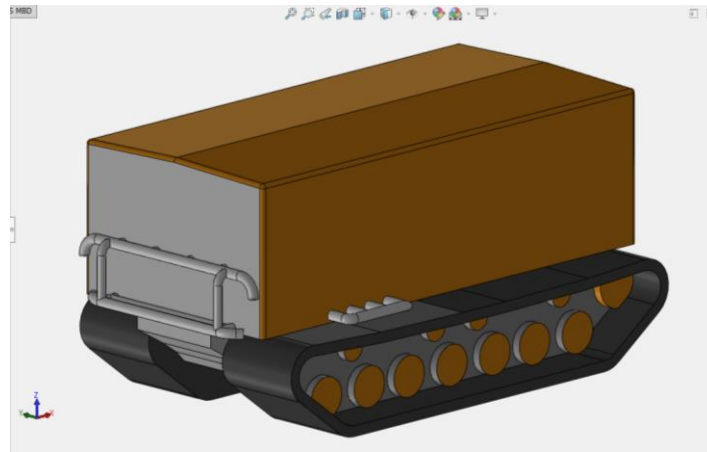


## 2. 解析方法及び条件

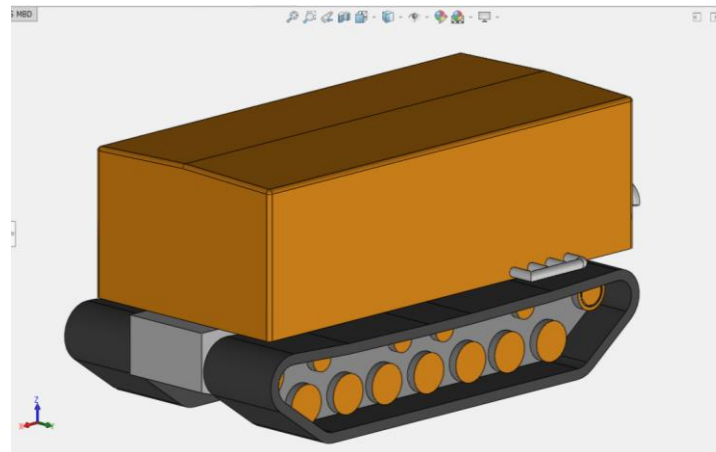
### 2-1 解析モデル

(1) 解析モデルの作成：設計用3Dデータを一部簡略化して作成した。概要を図1に示す。

従来機



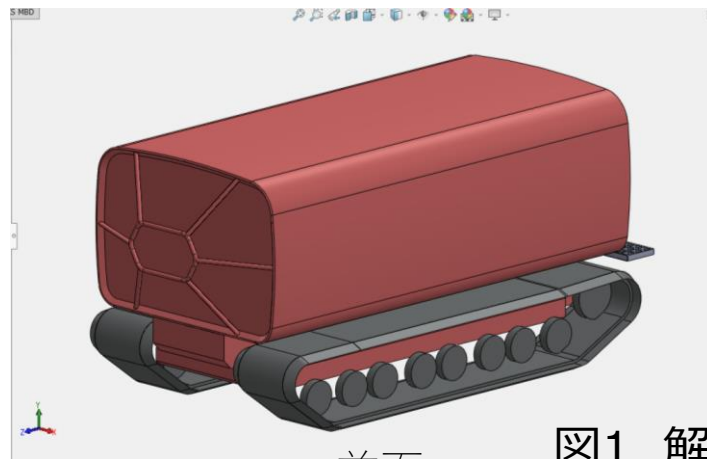
前面



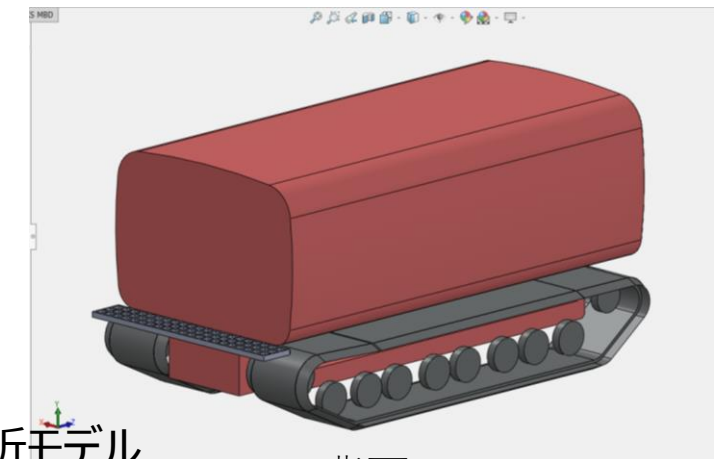
背面

風上からの見  
付け面積：  
 $11.4\text{m}^2$

新型機



前面



背面

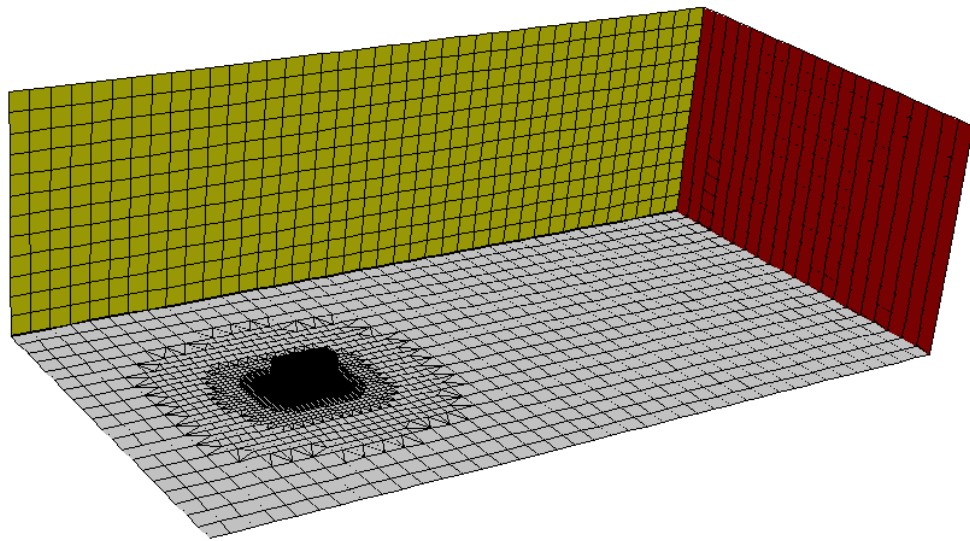
風上からの見  
付け面積：  
 $13.8\text{m}^2$

図1 解析モデル

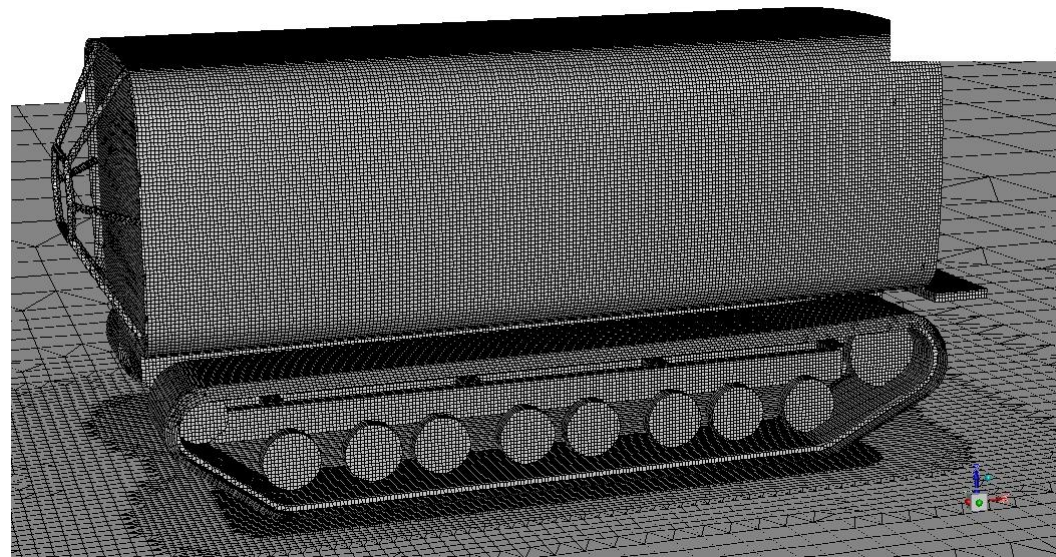
## 2-2 解析メッシュ

### (1) CFD解析用のメッシュの作成

新型機のメッシュの概要を図2及び図3に示す。総メッシュ数は 1,496,925である。



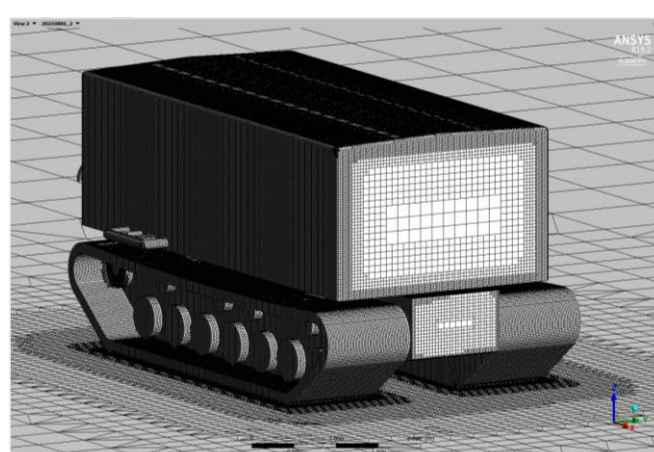
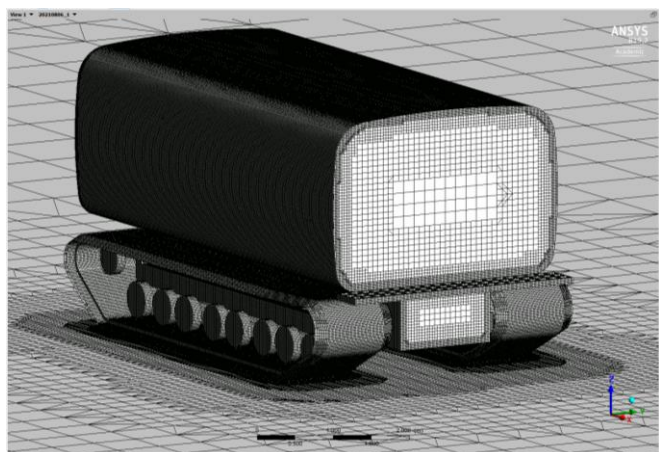
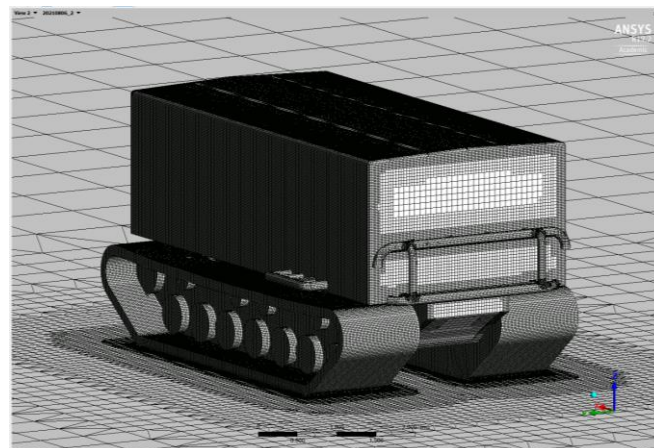
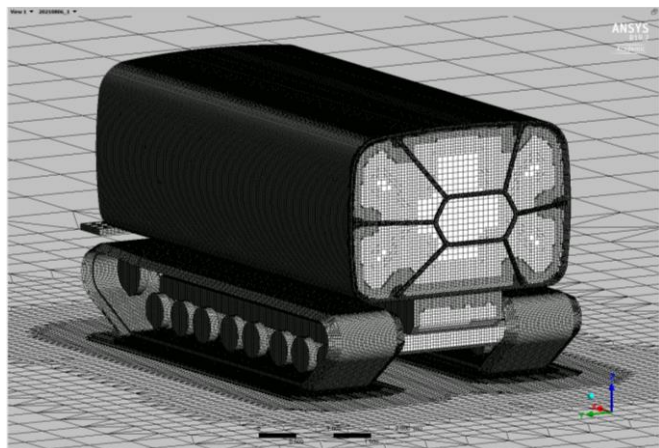
解析領域全体



車両拡大

図2 CFD解析用のメッシュ





新型機

従来機

図3 解析モデル・メッシュ (新型機・従来機の比較)





## 2-3 解析条件

### (1) CFDの設定

- ① ANSYS19.2を使用。定常RANS解析（レイノルズ平均モデルでの定常解析）
- ② 乱流モデル：標準 $k-\varepsilon$  model（剥離や旋回流は苦手だが、安定感があり計算時間が短い）
- ③ 壁境界条件：Standard Wall Functions
- ④ Pressure-Velocity Coupling: SIMPLE
- ⑤ Spatial Discretization
  - Gradient: Least Square Cell Based
  - Pressure : Second Order
  - Momentum: 2nd order Upwind
  - Turbulent Kinetic Energy, Turbulent Dissipation Rate: First Order Upwind
- ⑥ 収束判定条件：Scaled residual  $10^{-5}$ 以下



## (2) 流入境界条件

- ① 対数則を仮定する。雪面の粗度長 $z_0$ は $0.001\text{m}$ とする。
- ② 平均風速は、地上 $10\text{m}$ で $30\text{m/s}$ とする。図4参照（ $\approx 108\text{km/h}$ ：A級ブリザード相当）

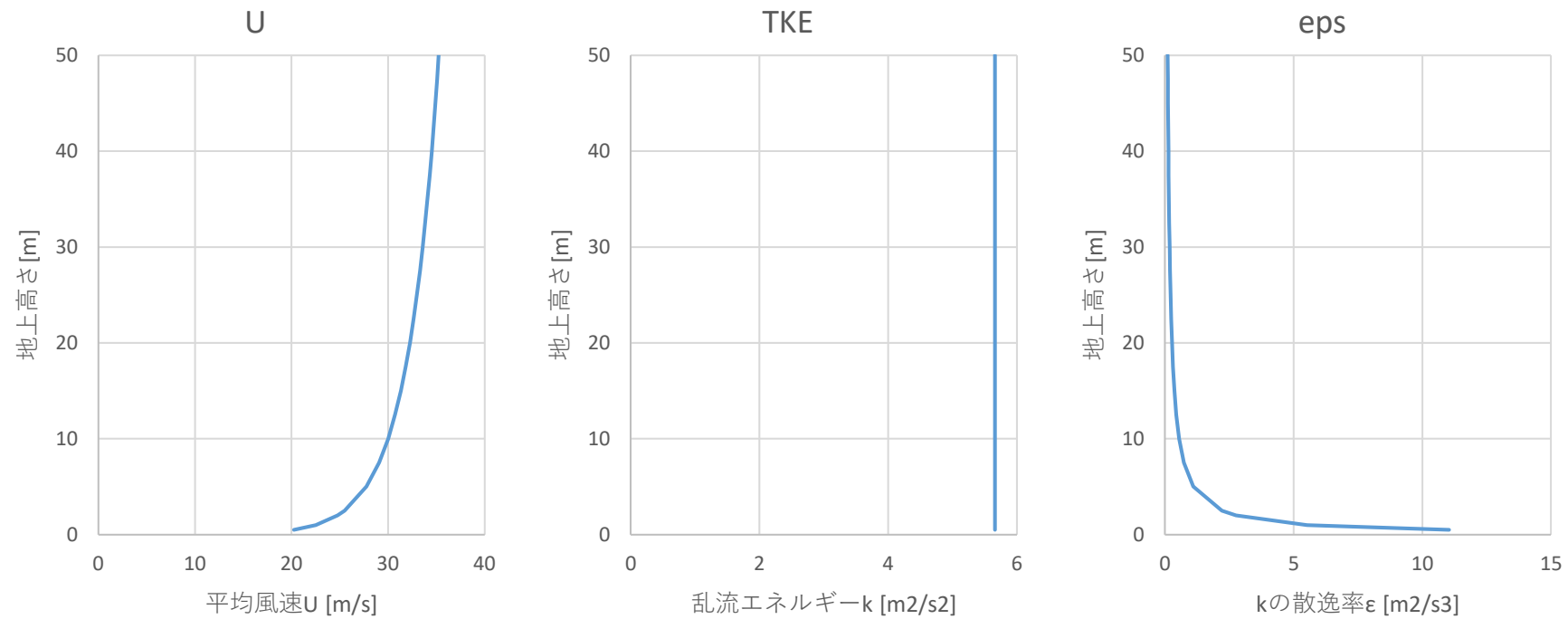


図4 流入境界条件



### (3) 雪粒子解析

- ① Discrete Phase Model (DPM) : 粒子の運動を追跡するモデル。モデルの概念を図5に示す。
- ② 粒子に作用する抗力: 球体を仮定
  - Diameter粒径: 0.0002m (0.2mm)
  - Density密度: 150 kg/m<sup>3</sup>
- ③ 粒子運動に作用する乱流の効果 : Turbulent discret random walk model
- ④ 発生位置 : 地上0.05m (5cm)
- ⑤ 発生量 : 0.005 kg/s

- DPM

- ✓ 粒子一つ一つの運動を、離散的(ラグランジュ的)に解く
- ✓ ただし、存在するすべての粒子をモデル化することは解析コスト上非現実的であるため、基本的に代表粒子によるモデル化を行う

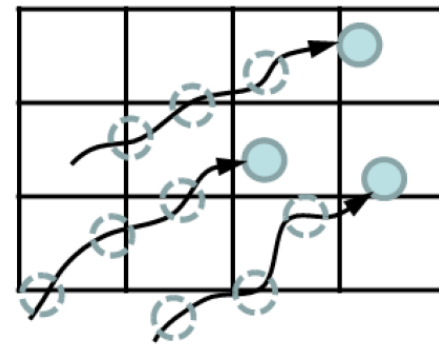


図5 DPMの概念

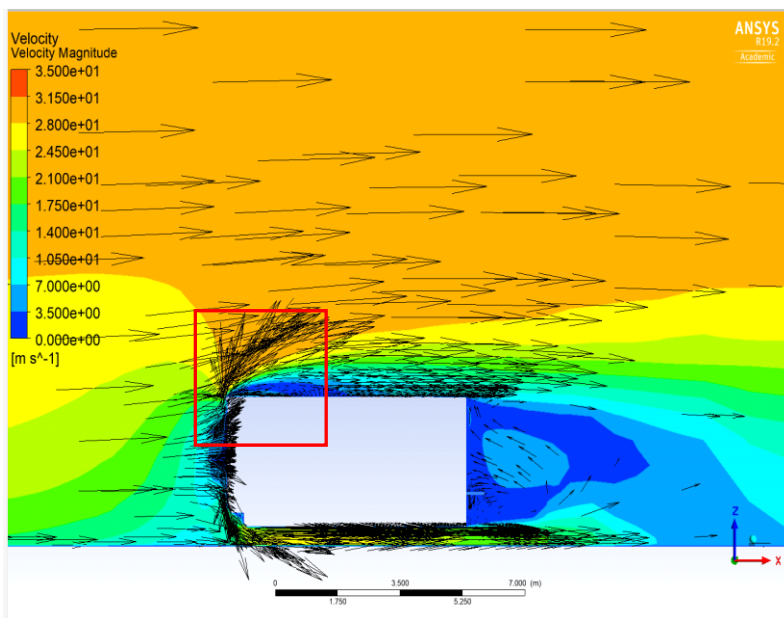


### 3. CFD解析結果

#### 3-1 新型・旧型車両の比較（単体）

(1) 図6に中心断面の風速ベクトルの比較を示す。新型機の方が屋根部分の流れのはく離に伴う逆流が大きい。従来機の方が機体下部に気流がスムーズに侵入している。

新型機



従来機

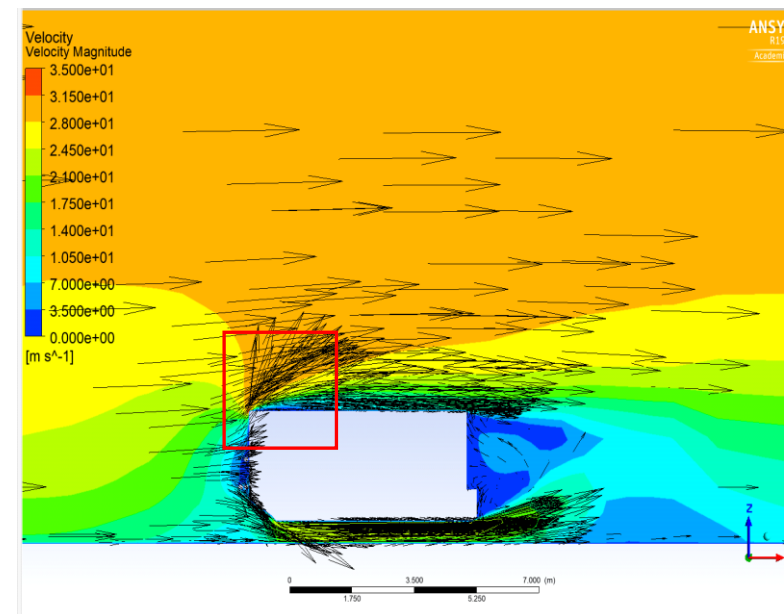
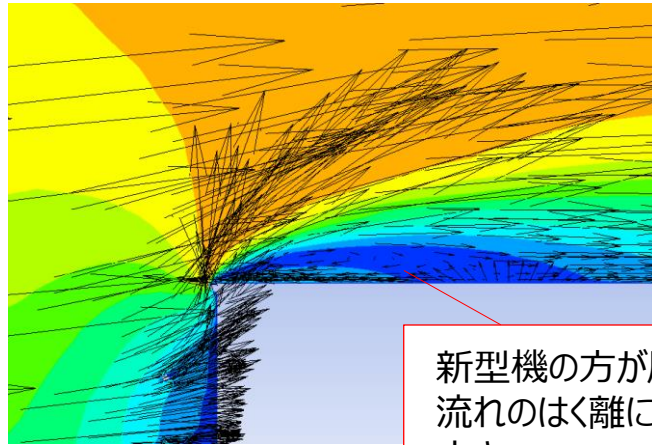


図6-1 風速ベクトルの比較（中心断面）

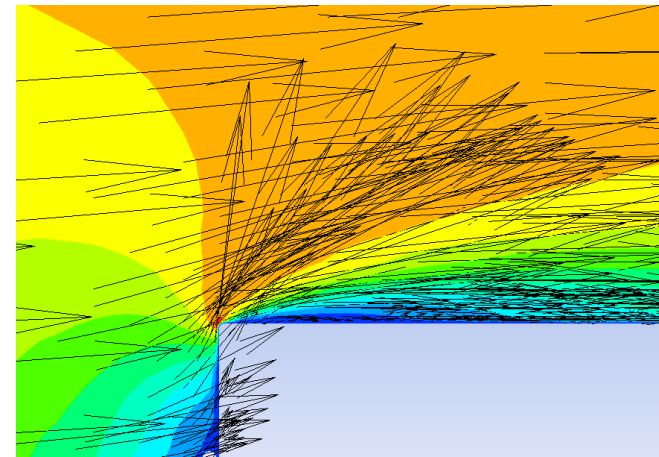
## 新型機



屋根面付近  
の拡大

新型機の方が屋根部分の  
流れのはく離に伴う逆流が  
大きい

## 従来機



雪面付近の  
拡大

従来機の方が気流がスムーズ  
に下部に侵入する

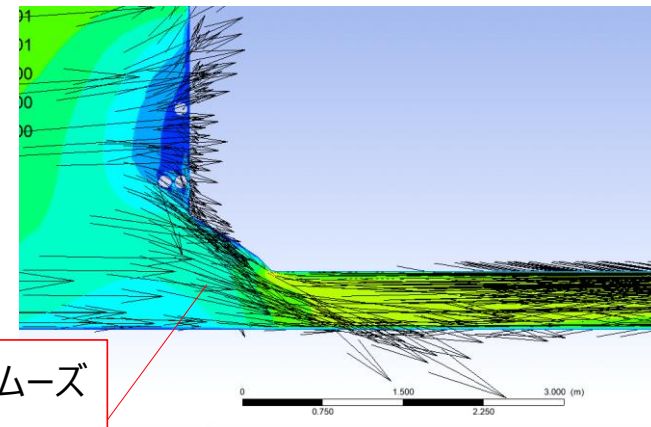
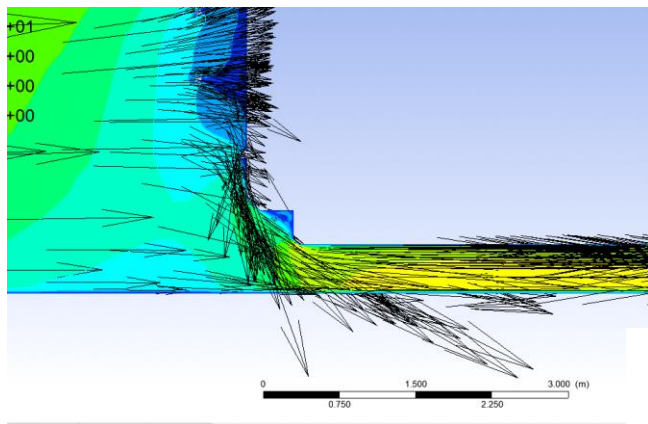
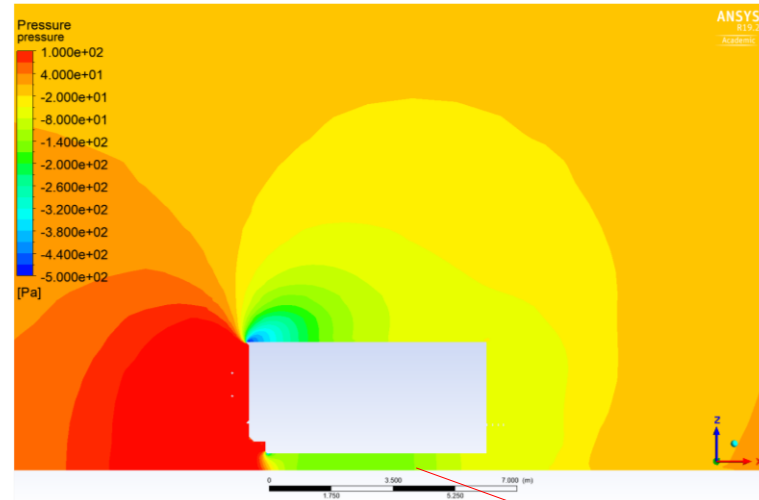


図6-2 風速ベクトルの比較 (中心断面)



(2) 図7に中心断面の静圧の分布を示す。車両下部の圧力が従来機の方が低い。  
いわゆる空力抵抗は新型機の方が大きい。

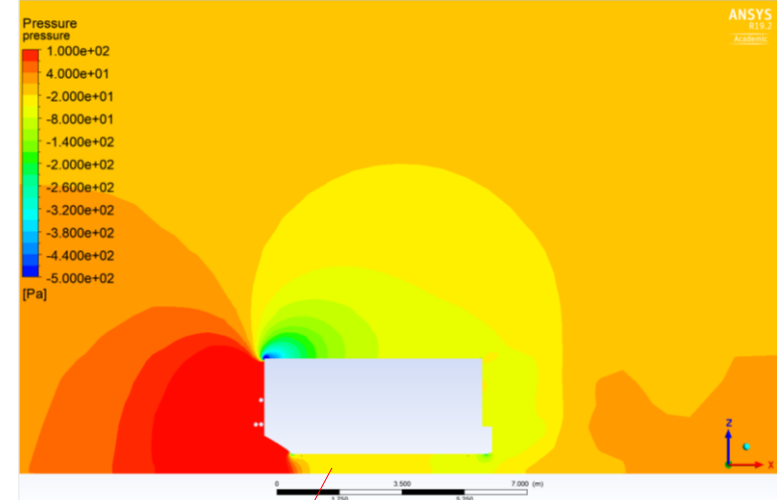
### 新型機



抗力係数Cd : 0.71

いわゆる空力抵抗は  
新型機の方が大きい

### 従来機



抗力係数Cd : 0.56

車両の下部分の圧力が、  
従来機の方が低い

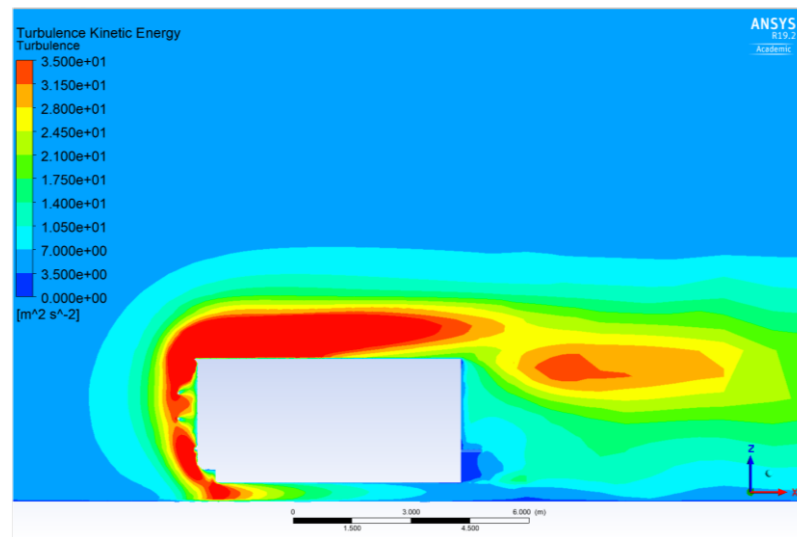
図7 圧力のコンター図 (中心断面)

(3) 図8に中心断面の乱流エネルギーの分布を示す。

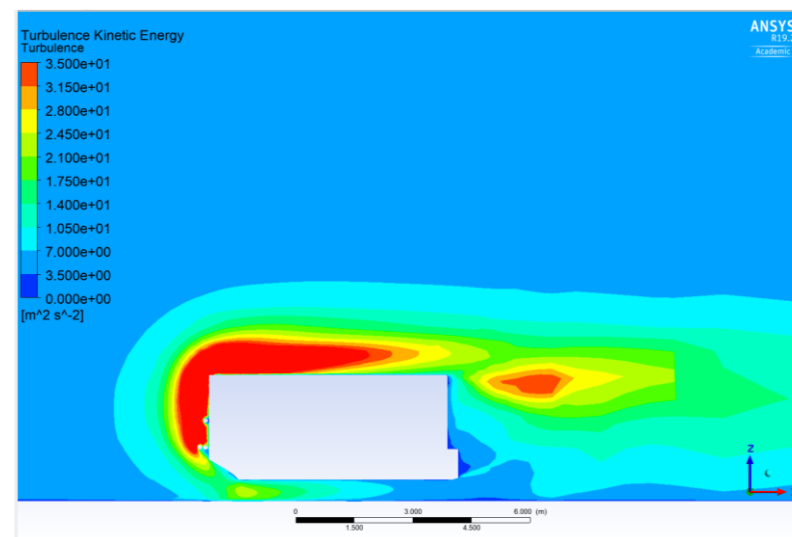
新型機の方が屋根面及び前面下部の乱流エネルギー\*が大きい。

\*乱流エネルギー：流れの乱れの強さ（平均流速からのずれの大きさ）を意味する。

乱流の度合いをみる場合に使用される。例えば平均流速からのずれが大きいと値が大きくなるため、この値が大きいと周囲の流体との混合作用も大きいと評価できる。



新型機



従来機

図8 乱流エネルギーの分布



(4) 図9に従来機の周辺雪面のWall Shear Stressの分布を示す。

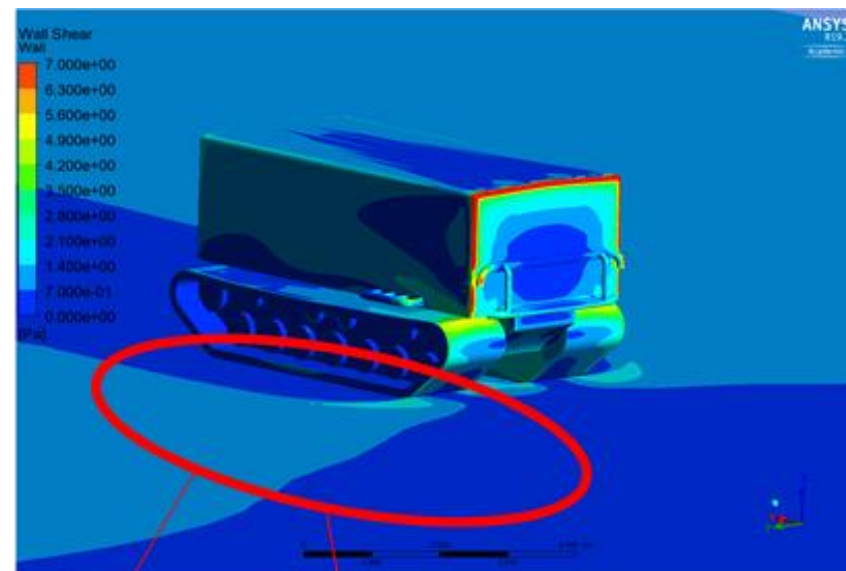
Wall Shear Stressは雪面に作用するせん断応力で、この大きさに比例して侵食が発生する。

観測のWind Scoopの位置と概ね対応している。



車体周りのWind scoop

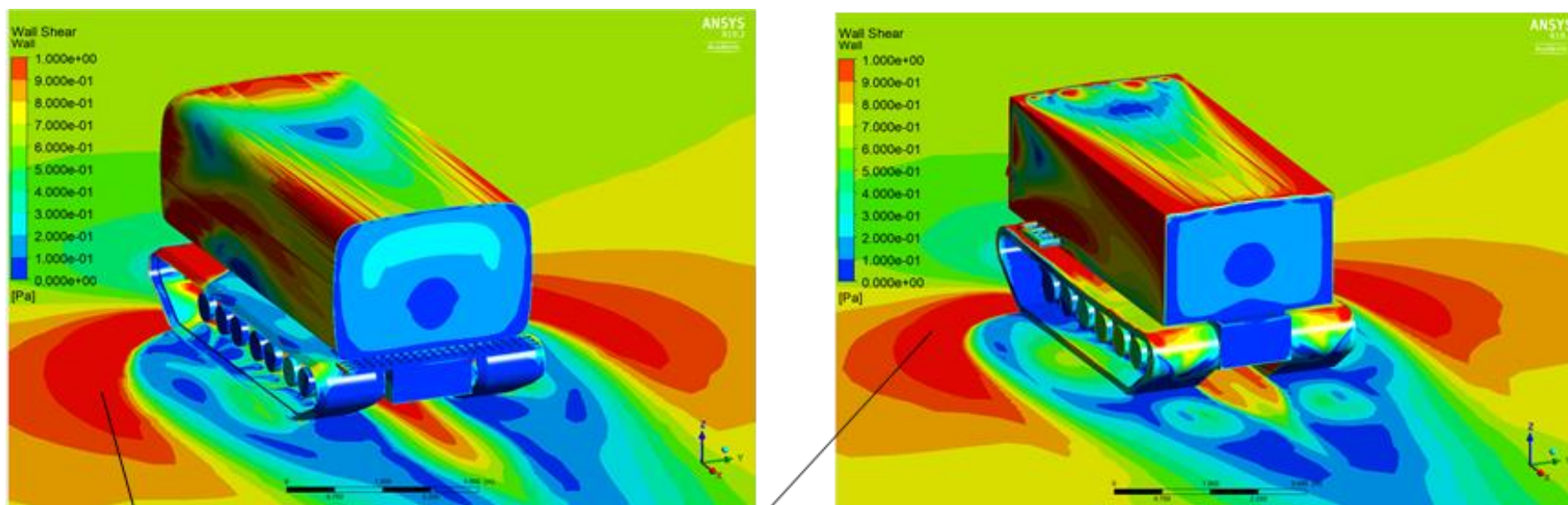
Wind scoopの位置と概ね  
対応している。



Wall Shear Stressは雪面に作用  
するせん断応力で、この大きさに  
比例して侵食が発生する

図9 雪面のWall Shear Stress (従来機)

- (5) 図10,11にWall Shear Stressの比較（雪面）の新型機と従来機の比較を示す。  
両者の周辺応力はほぼ同様の分布であり、Wind scoopの大きさはそれほど変化しないものと考えられる。



新型機

従来機

風上側の周辺応力は、同様の分布である。  
= Wind scoopの大きさはあまり変化しないと予想される。

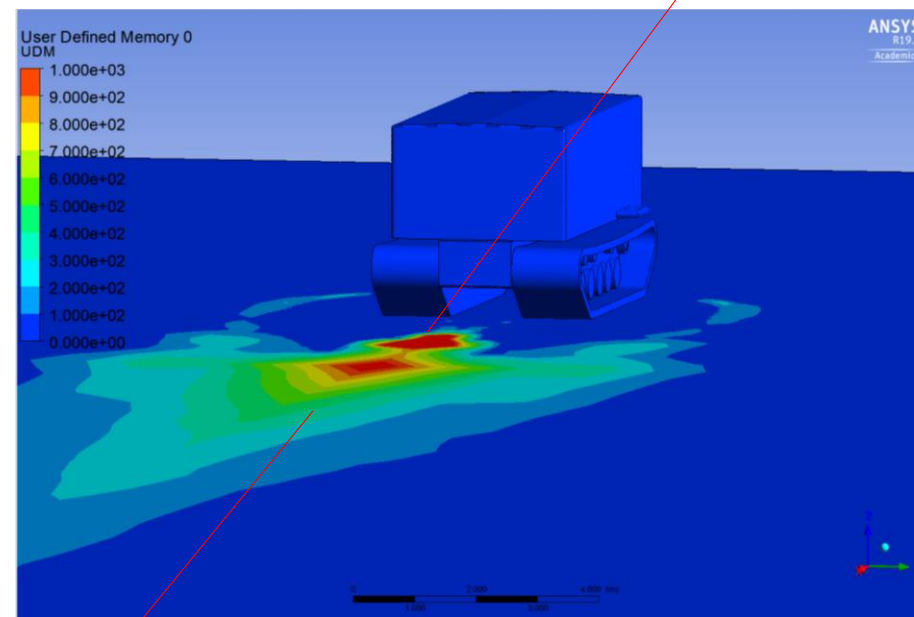
図10 Wall Shear Stressの比較（雪面）背面



(6) 図11に、雪粒子を地上0.05mの発生面から、粒径0.2mm, 密度150kg/m<sup>3</sup>, Total flow rate: 0.001kg/s, DRW model Trail: 20の条件で雪粒子を発生させた場合の付着量の分布を示す。中央付近で値が大きくなっており、観測結果と形状は類似している。



形状がよく似ている



中央部分で値が大きい

(従来機)

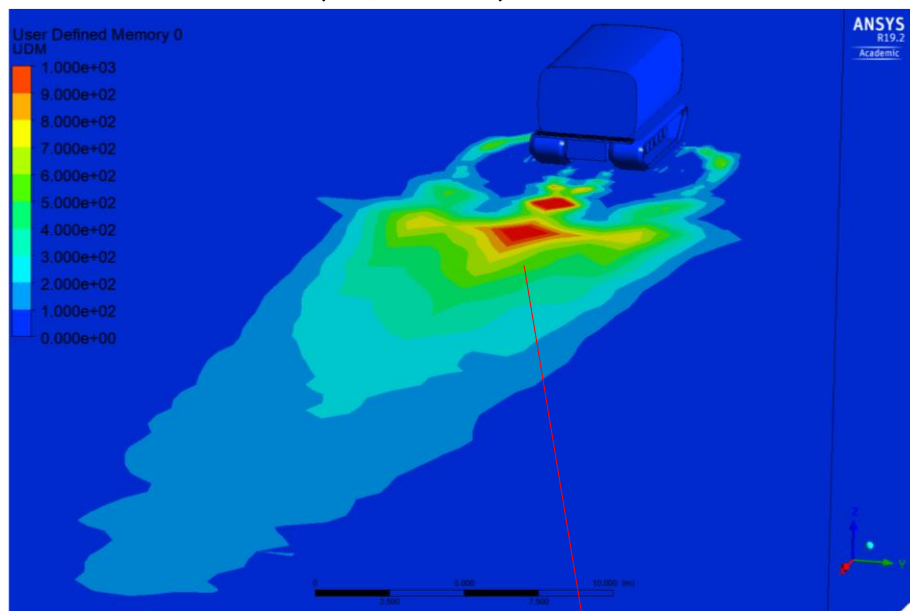
図11 雪面と背面の雪粒子の付着量 (地表面)

(7) 図12は新型機と従来機で比較したものである。

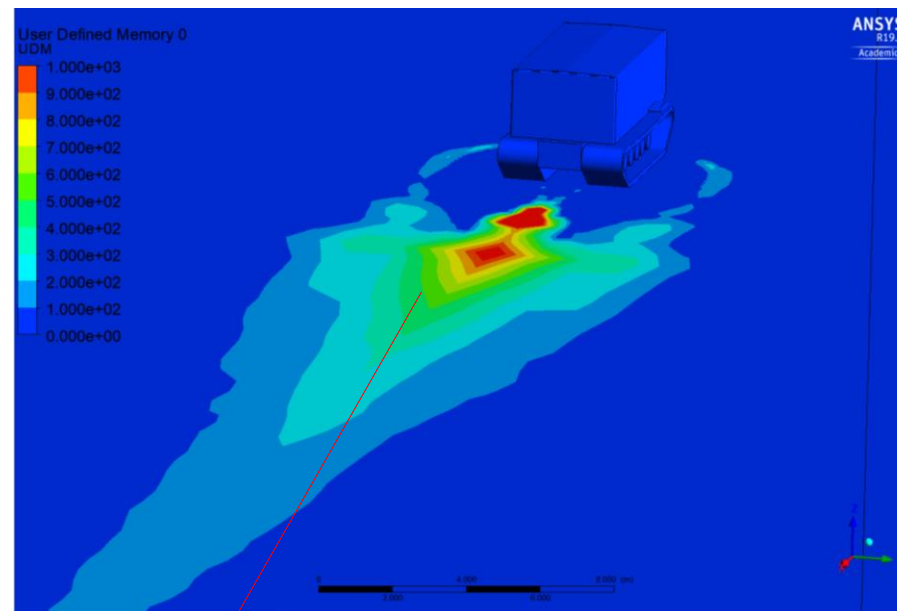
車両近くの地表面への付着量は新型機と従来機で同程度である。

しかし、全体的な付着が予想される範囲は新型機の方が広い。

(新型機)



(従来機)



Range Max 1000

車両近くの地表面への付着量は新型機と従来機で同程度である。しかし、全体的な付着が予想される範囲は新型機の方が広い。

図12 雪面と背面の雪粒子の付着量



(8) 図13に、雪粒子を地上0.05mの発生面から、粒径0.2mm, 密度150kg/m<sup>3</sup>,

Total flow rate:0.001kg/s

DRW model Trail: 20 の条件で雪粒子を発生させた場合の付着量の分布を示す。

**新型機の方が広い面に付着する傾向はあるものの、車両背面への付着量は新型機の方が2割ほど少ない。**

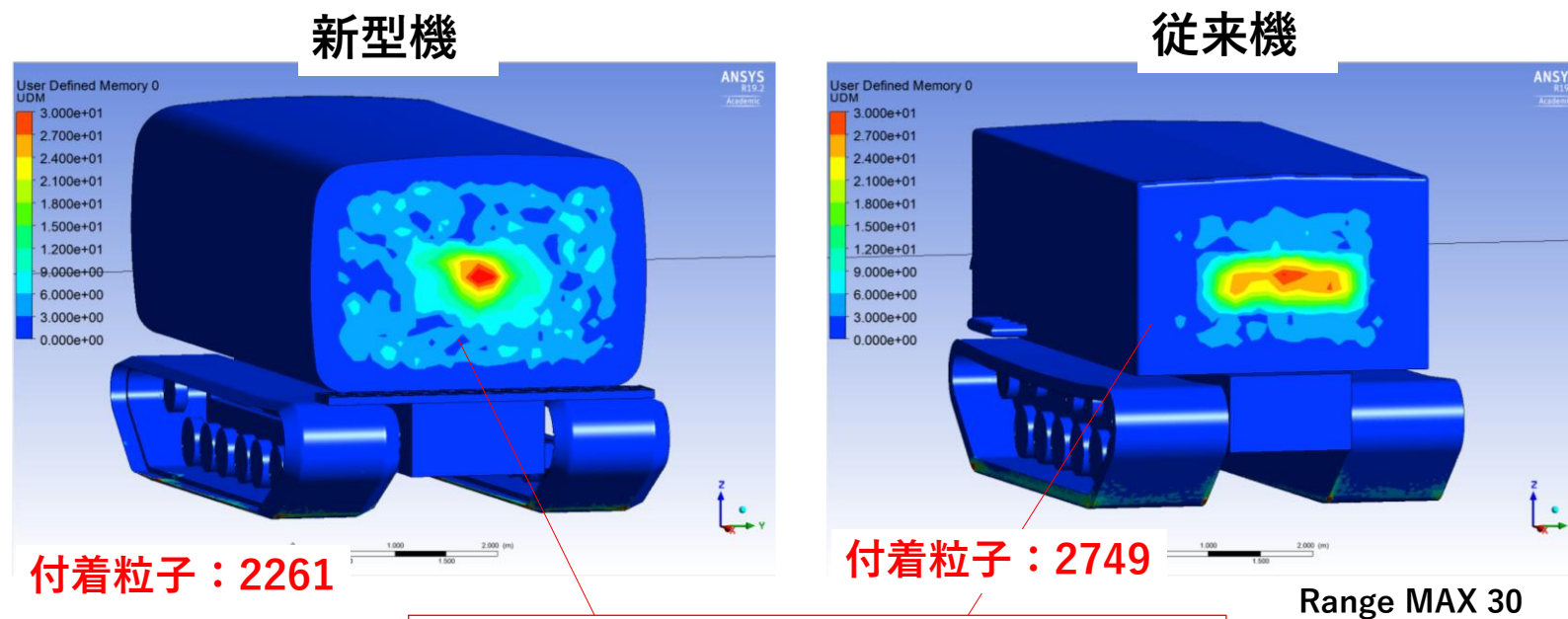


図13 雪粒子の付着量の比較（背面）



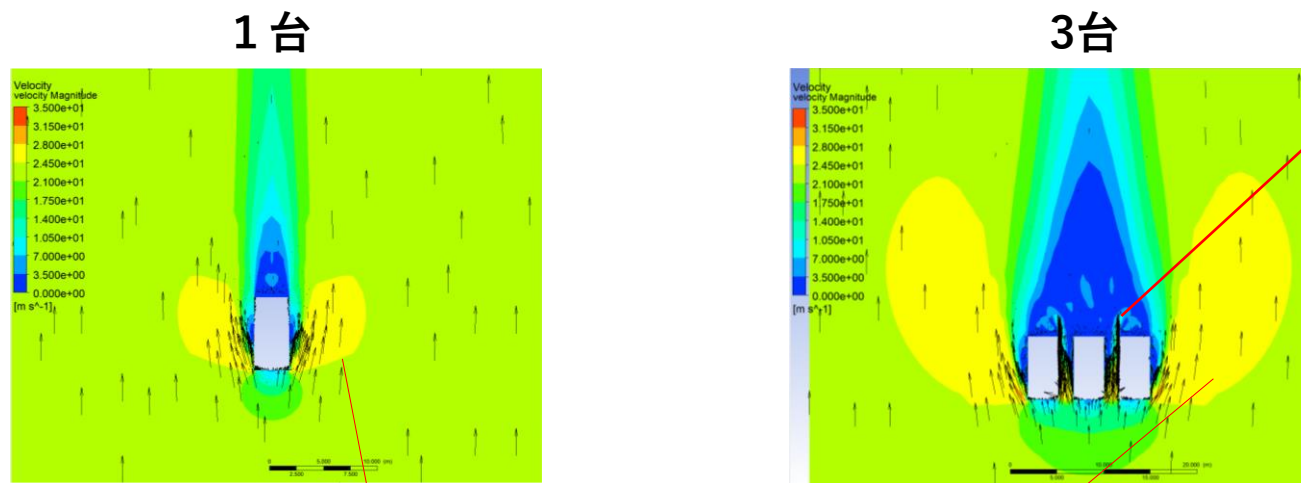


### 3-3 新型車両を複数台配置した場合

(1) 図15,16に地上1.5mにおける風速ベクトルの水平断面の比較を示す。

3台並列することで、風に対する見付け面積が大きくなるため、側方の風速が大きい領域が広がる。

また風下側の弱風域は3台分が一体化して、広い弱風領域となる。



車両と車両の隙間は1mに  
設定し、解析した

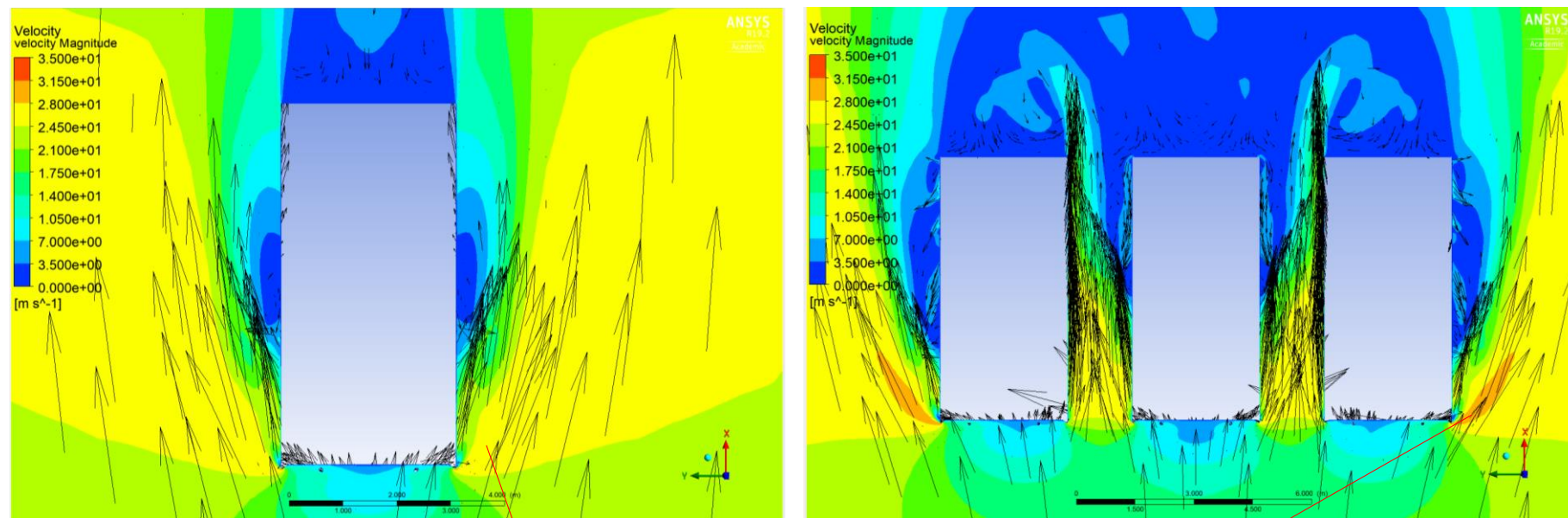
3台並列することで、風に対する見付け面積が大きくなるため、側方の風速が大きい領域が広がる。また風下側の弱風域は3台分が一体化して、広い弱風領域となる。

図15 風速ベクトルの比較 (水平断面1.5m)



1台

3台



拡大図

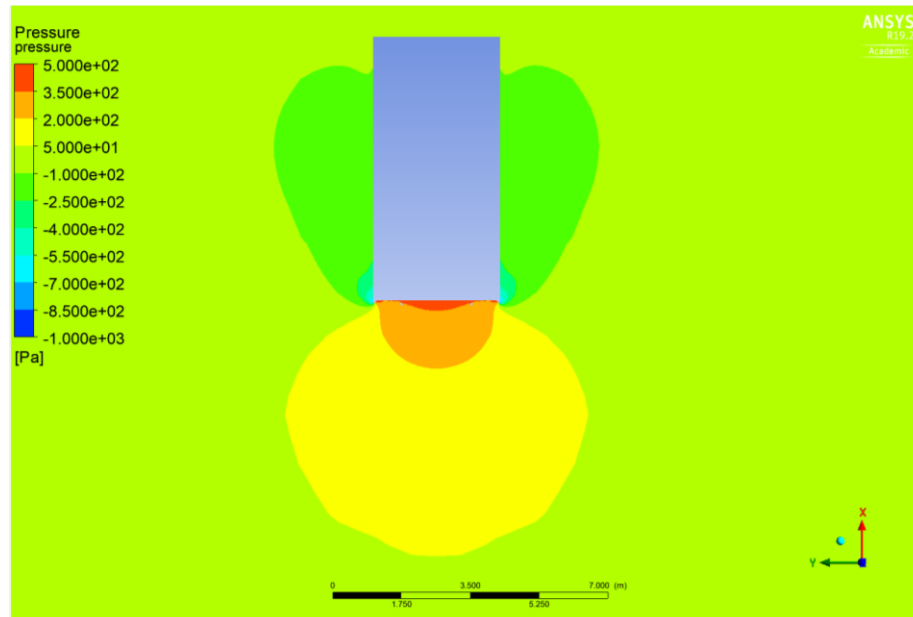
3台並列配置した場合、コーナー部で強風が発生する。

図16 風速ベクトルの比較（水平断面1.5m）



(2) 図17に地上1.5mにおける圧力（静圧）の水平断面の比較を示す。  
3台並列することで1台の場合と比べて大きな分布の違いは現れない。

1台



3台

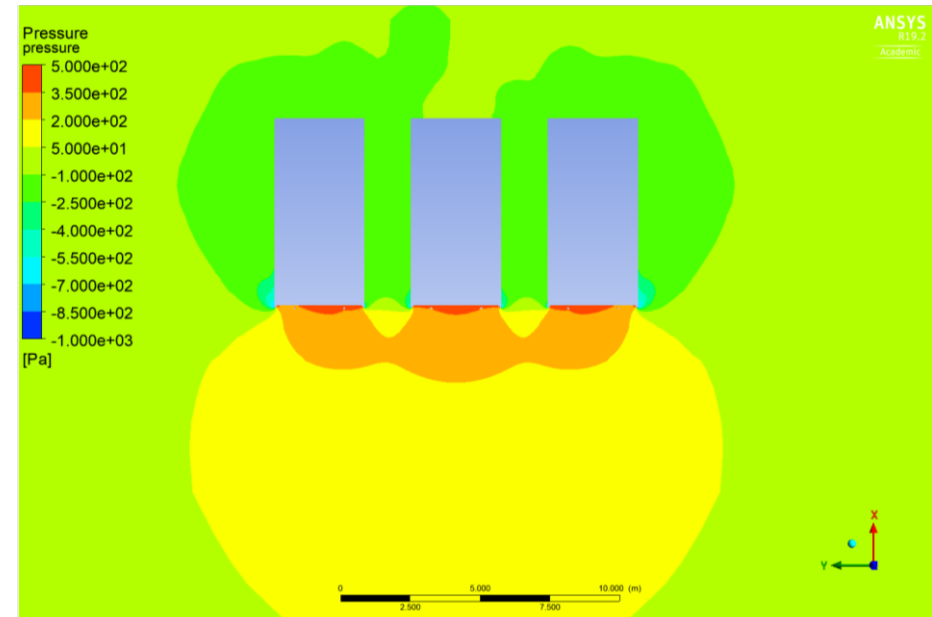
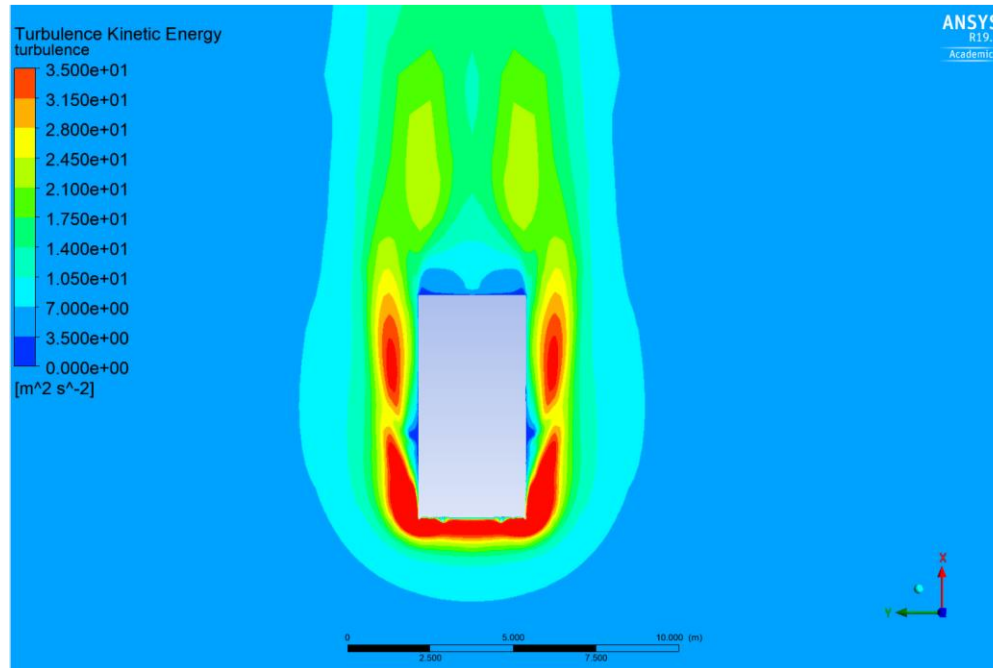


図17 圧力のコンター図（水平断面1.5m）

- (3) 図18に地上1.5mにおける乱流エネルギーの水平断面の比較を示す。  
圧力と同様に3台並列することで1台の場合と比べて大きな分布の違いは現れない。

1台



3台

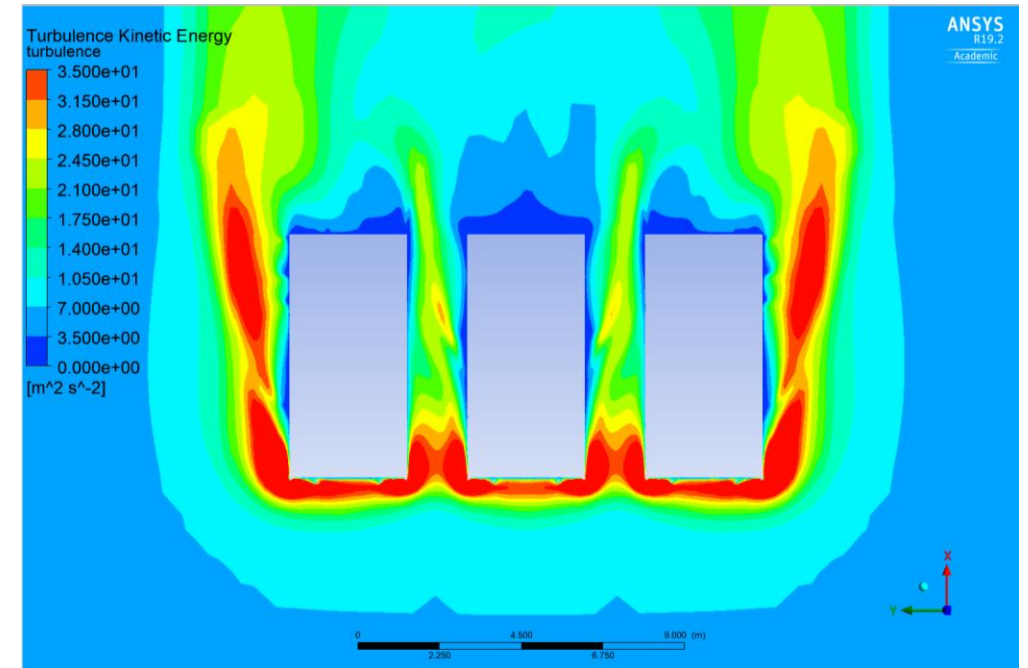
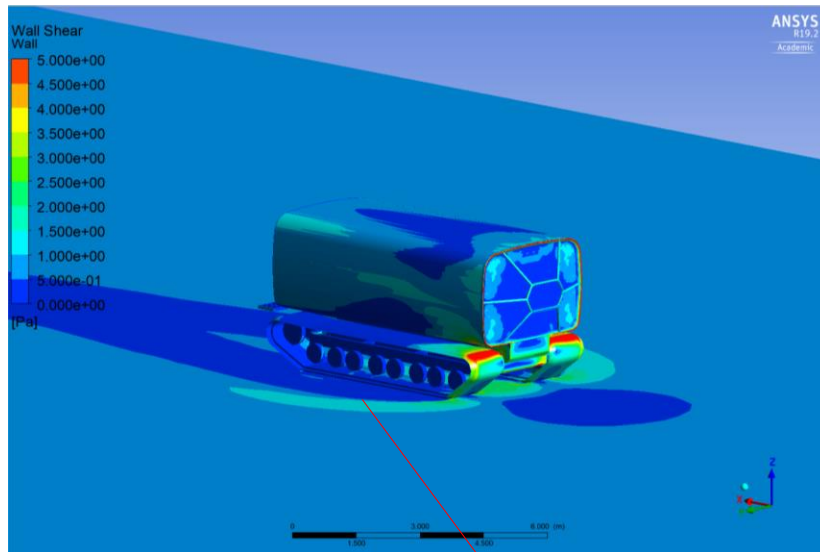


図18 乱流エネルギーの分布 (水平断面1.5m)

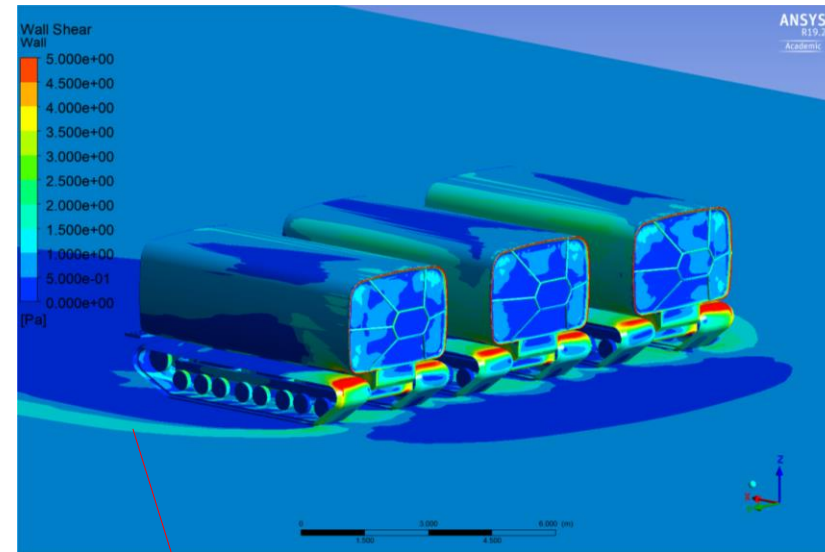


(4) 図19に地上雪面及び車体面のWall Shear Stress分布の比較を示す。  
3台並列配置した場合、側方のshear stressの大きな領域がやや大きくなる。

1台



3台

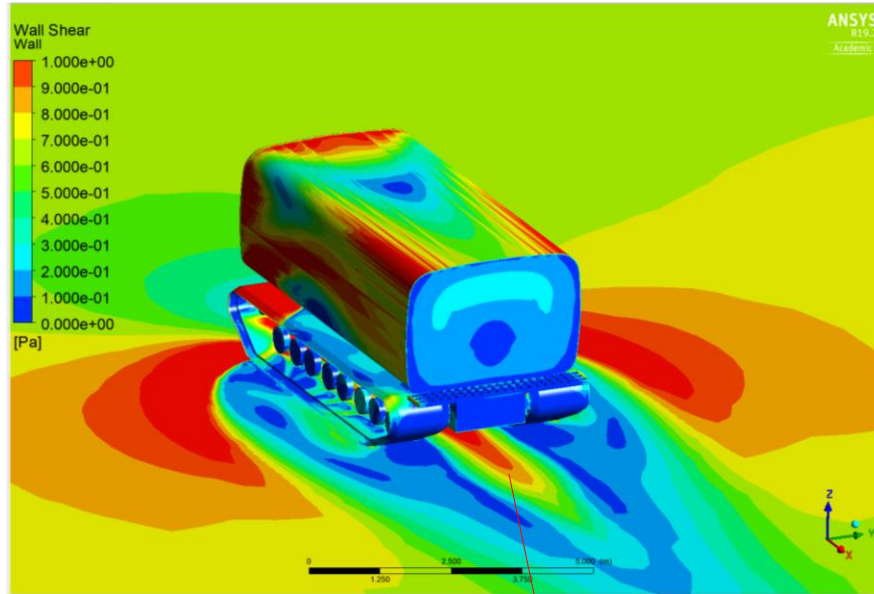


3台並列配置した場合、側方のshear stressの大きな領域がやや大きくなる。

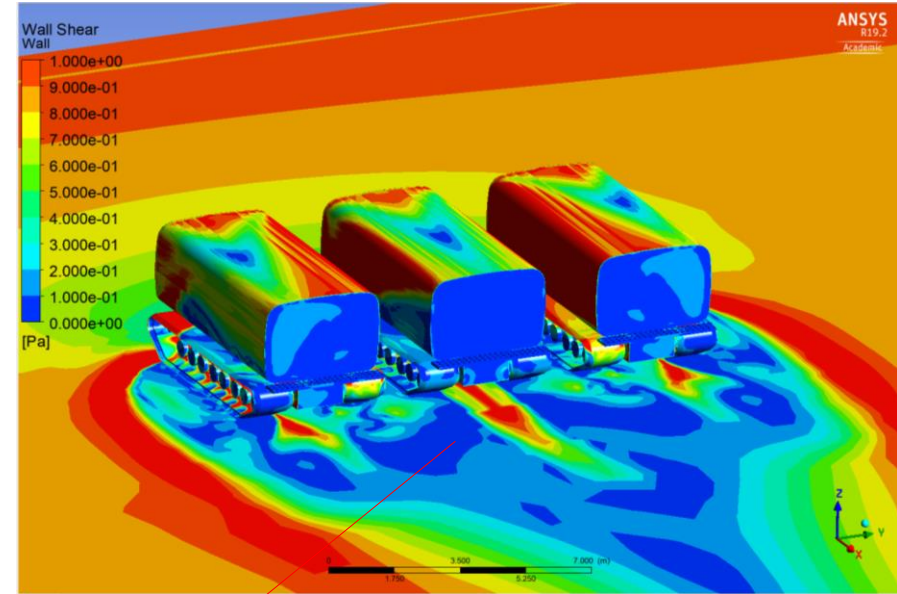
図19 雪面のWall Shear Stress

(5) 図20に地上雪面及び車体面のWall Shear Stress分布の1台と3台の場合の比較を示す。  
背面から見ると、中央の車両風下のShear Stressの分布は大きくは変化しない。

1台



3台



中央の車両風下のShear Stressの分布は大きくは変化しない。

図20 Wall Shear Stressの比較 (雪面) 背面



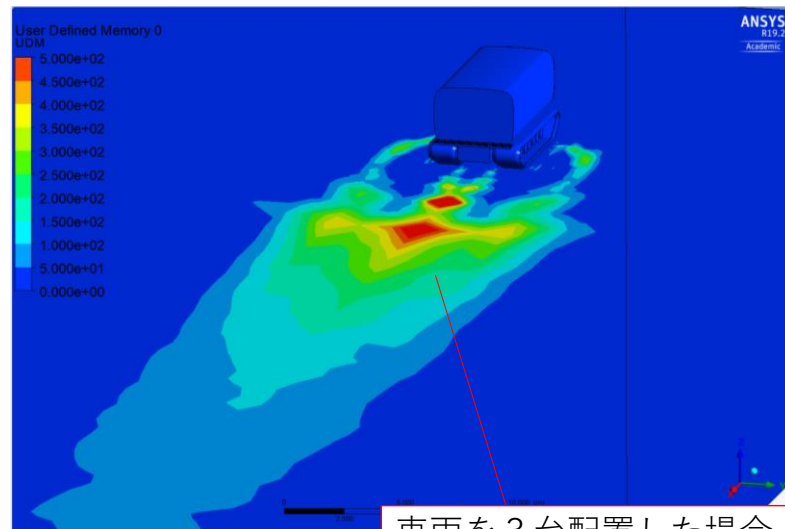
(6) 図21に、地上0.05mを発生面として、粒径0.2mm, 密度150kg/m<sup>3</sup>

Total flow rate: 0.001kg/s

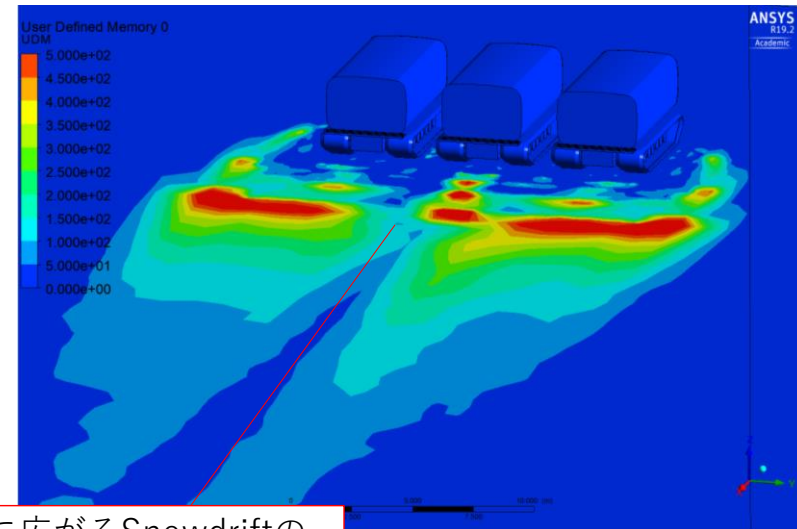
DRW model Trail: 20 の条件で雪粒子を発生させた場合の地表面の雪粒子の付着量の比較を示す。

車両を3台配置した場合、横に広がるSnowdriftの形成が予測される。

1台



3台



車両を3台配置した場合、横に広がるSnowdriftの形成が予測される。

Range Max 500

図21 雪面と背面の雪粒子の付着量（地表面）

(7) 図22に、地上0.05mを発生面として、粒径0.2mm, 密度150kg/m<sup>3</sup>

Total flow rate: 0.001kg/s

DRW model Trail: 20 の条件で雪粒子を発生させた場合の背面の雪粒子の付着量の比較を示す。

車両を3台配置した場合、背面への雪の付着には大きな違いは現れない。

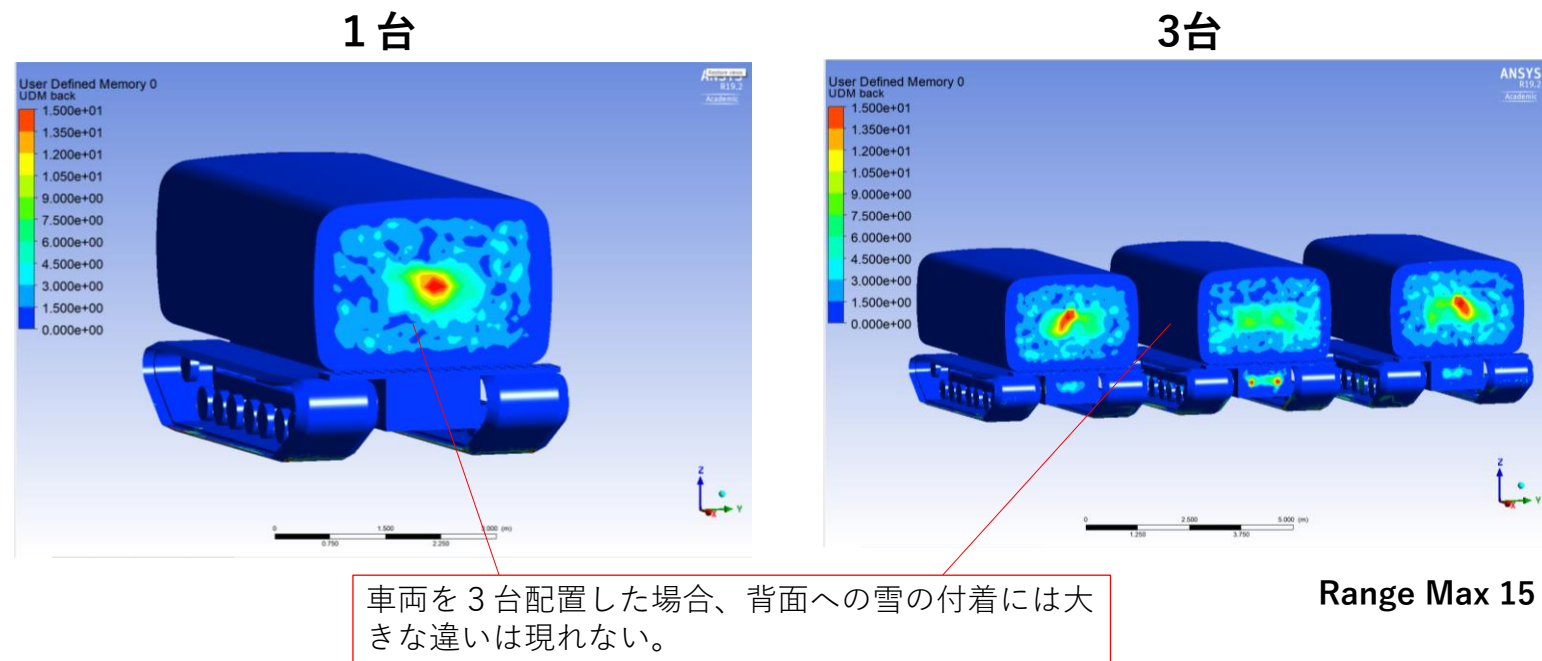


図22 雪粒子の付着量の比較（背面）

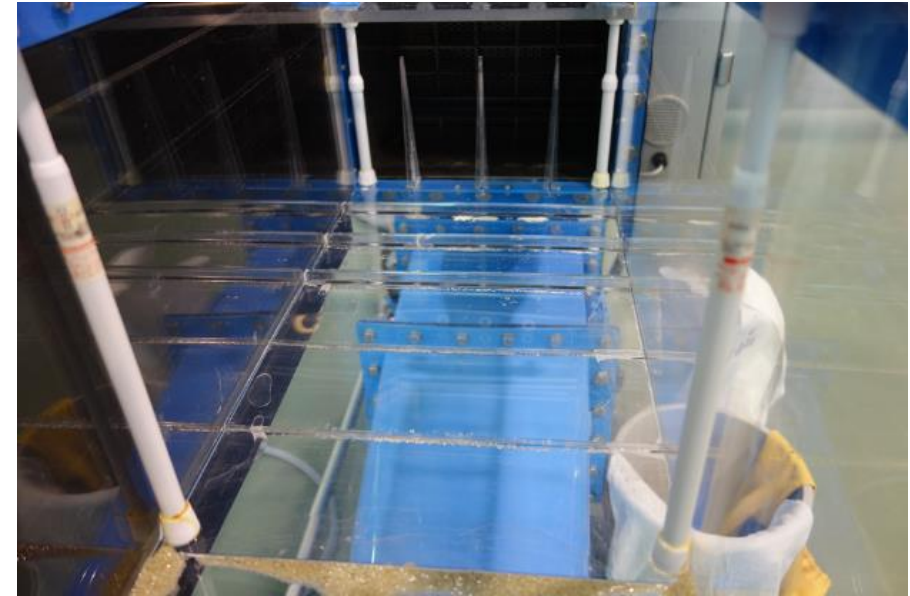
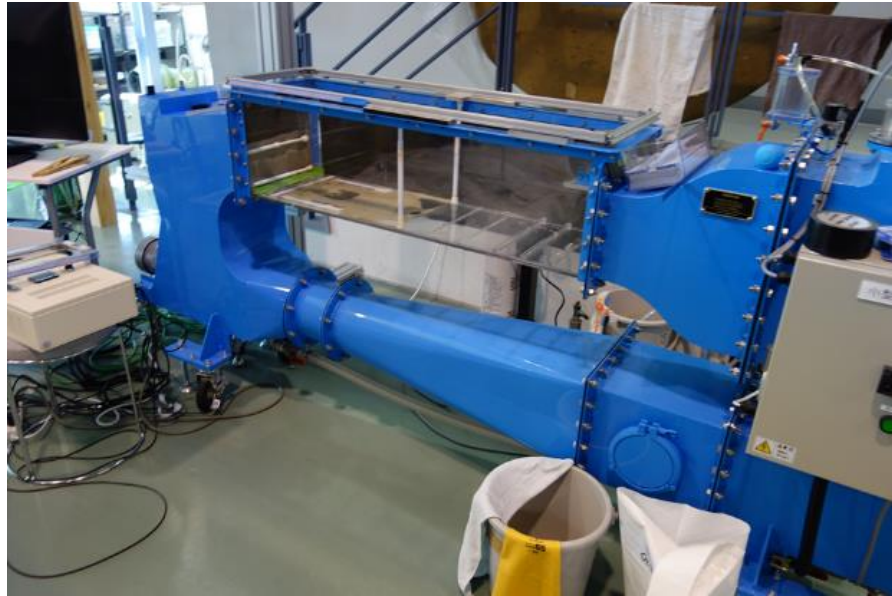


## 4. 水槽実験結果（参考）

### 4-1 実験概要

新潟工科大学 風・流体工学研究センター所有の回流式水槽を使用する。概要を図23に示す。

水槽内には境界層を作成するためのスパイヤとラフネスが設置されている。



条件：流速は約0.3~0.4m/s、使用した砂粒子は珪砂5号（粒径約0.5mm）

図23 回流式水槽

## 4-2 実験結果

- (1) 砂粒子を厚さ3mmに敷き詰めた上で、水を流し、砂の侵食・堆積状況を確認した。
- (2) 図24に新型機の模型周辺の砂粒子の堆積・侵食状況の変化を示す。  
風上側の側面ではく離によって砂が侵食され、その砂は風下側に堆積する。  
この傾向は、現地において観察される侵食によるWind scoopと類似する傾向である。

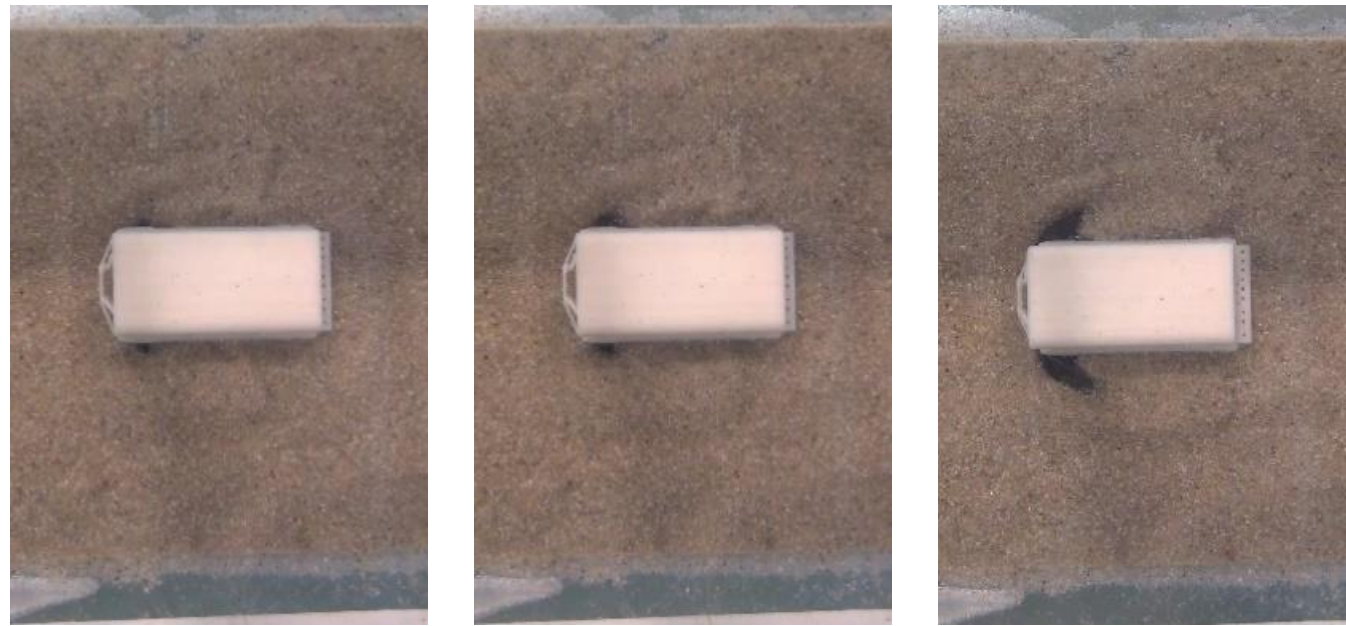


図24 砂の堆積・侵食状況の変化（新型機）



- (3) 図25には、新型機と従来機の模型を並べて、砂の堆積・侵食状況を比較した状況を示す。  
中央部は、模型の相互作用によって侵食が少なくなっている。  
2つの模型で侵食・堆積の状況に大きな違いはない。

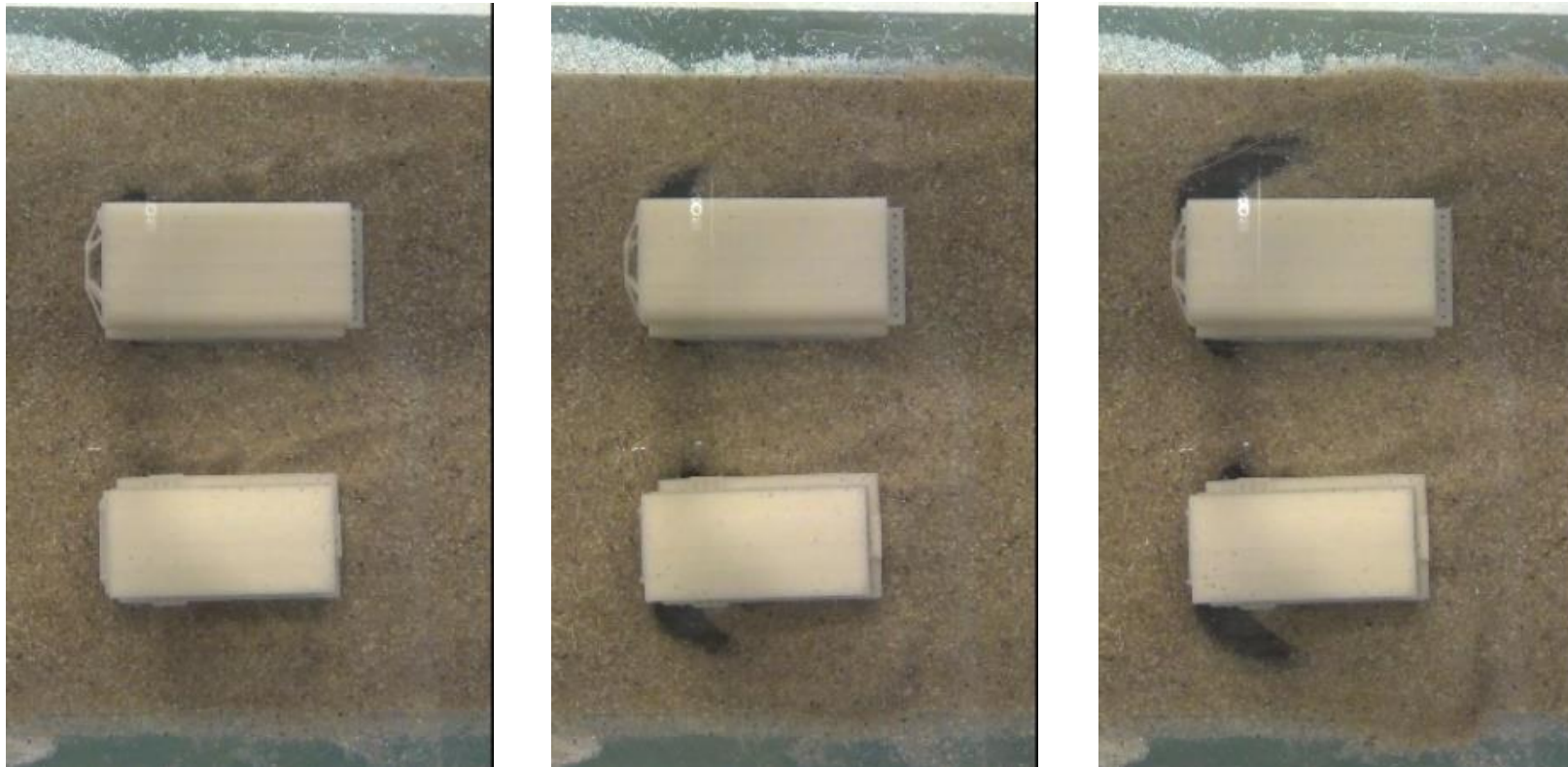
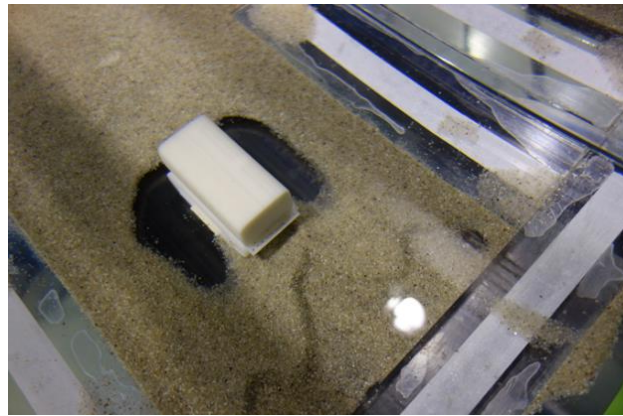


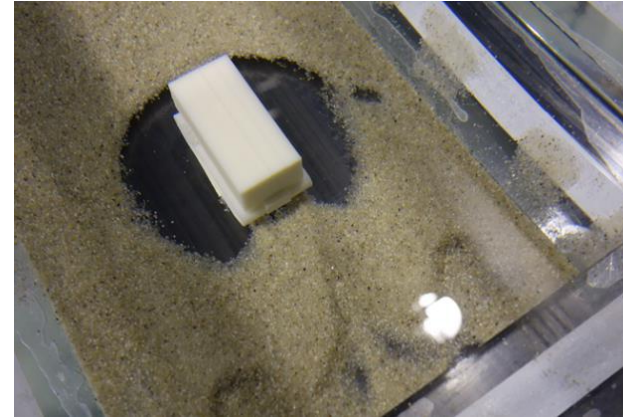
図25 砂の堆積・侵食状況の変化（新型機と従来機の比較）



- (4) 図26は、より流速を速くした実験の同時間経った後の砂の堆積状況である。  
従来機に比べて新型機の方が、侵食域が狭くなる傾向を示した。
- (5) 定性的にはCFDの結果と対応する結果であったと言える。



**新型機**



**従来機**

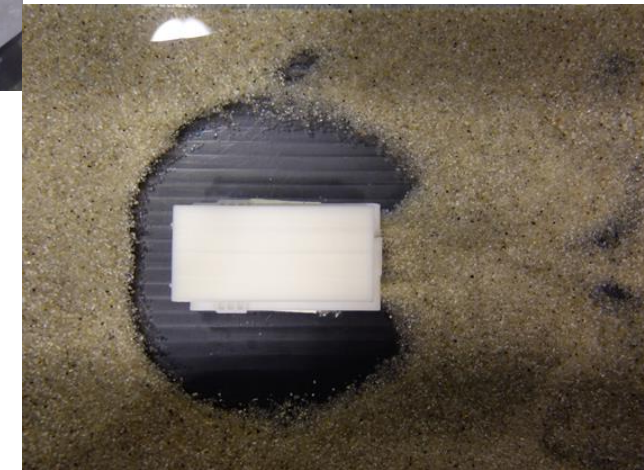


図26 砂の堆積・侵食状況の変化（新型機と従来機の比較）





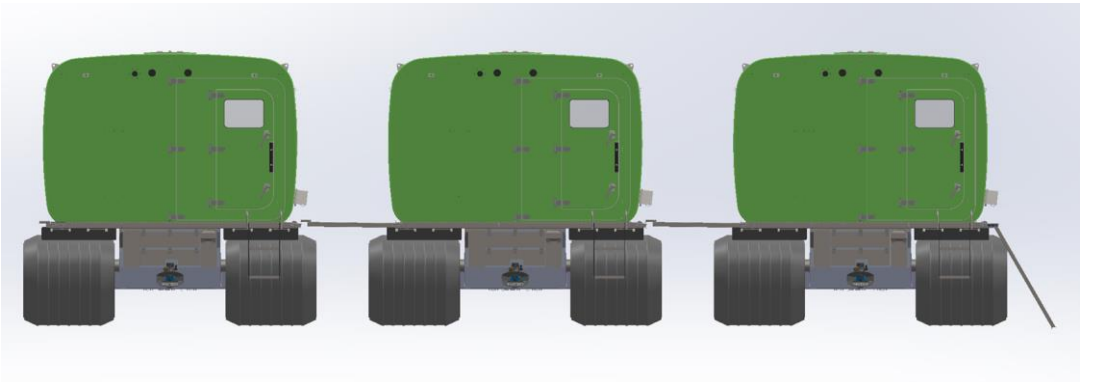
## 5. まとめ

- (1) 新型機の方が、車体の角部における流れのはく離が大きいいため、周囲に回り込む流れが阻害される傾向にある。
- (2) 従来機は、車体前面下部が斜めになっているため、風が車体下に入り込みやすい。  
一方、新型機は車体下部のキャタピラーの間部分に流れ込む風量が小さくなり、その結果として、背面部に回り込む逆流も小さくなる。
- (3) 新型機における背面の付着量は、中心付近に付着する量は従来機よりも少ないものの、付着する範囲はやや広いと予想される。
- (4) ウインドスクープの形成に関しては、大きな違いは生じないと予想される。
- (5) 風下の吹きだまりに関しては、車両近くの地表面への付着量は新型機と従来機で同程度である。  
しかし、全体的な付着が予想される範囲は新型機の方がやや広いと予想される。
- (6) 新型車両を3台並列配置した場合、風速分布に違いは見られるが、車両間に極端な強風領域は見られない。  
後方に横に広い吹きだまりの発生が予測されるが、車両への雪粒子の付着に大きな変化は予想されない。
- (7) 水槽実験の結果は、定性的にはCFDの結果を再現した。

## 6. 雪上車の将来への展開

### 6-1 安全面

- (1) 観測旅行中のブリガード停滞時においても、複数台を並列に配置することで、後方デッキを伸張し、地表面に降りることなく、車両間の移動が可能になる可能性がある。
- (2) 解析手法を整えることで、風向及び風速を可視化することが出来れば、安全なエリアなどの教育にも展開出来る。





## 6-2 運用面

- (1) S16等における車両等の残置（冬季保管）においても、車両配置によりその後の引き出し（除雪）労力が減る可能性がある。
- (2) 解析手法を整えることで、他のケース（S16残置機など）にも適用できる可能性がある。
- (3) CFD解析により、スノードリフトの軽減対策をシミュレーションすることで、より効果的な対策を事前検討できる。



### 参考文献

- (1) 昭和基地管理棟後流域建物周辺の吹きだまり観測と人工雪を用いた風洞模型実験 高橋弘樹・半貫敏夫・鮎川 勝・阿部 修
- (2) 昭和基地におけるスノードリフト軽減のために実施した雪対策 石沢賢二



**ご清聴**  
**ありがとうございました**