

# SuperCartesian法の技法



日本機械学会第20回計算力学部門講演会  
OS04: 基調講演

構造格子SuperCartesian法による  
複雑形状の熱流体解析技法

2007年 11月27日

阪田 升, 長井大祐  
株式会社環境シミュレーション

# 1. Motivaion (動機付け)

現在のCFD (計算流体力学) → 非構造格子全盛

## ◆ 非構造格子の長所

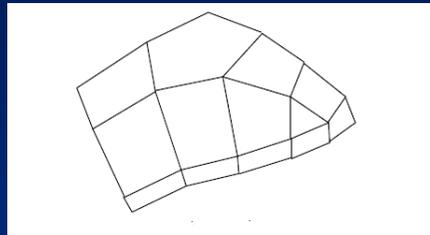
- ・ 表面形状に忠実なモデリング.
- ・ 格子粗密のコントロールが自在.
- ・ 市販の格子生成・可視化ツールが充実.

## ◆ 非構造格子の短所

- ・ 計算容量が大きい (計算時間が長い).
- ・ 高次差分, 質量バランスが取りにくい.
- ・ 精度の高い格子作成が困難 (表面3層プリズム要素).
- ・ 格子生成が遅い.
- ・ サーフェイスラッパーが自動格子生成を阻害.
- ・ 大変形の移動物体問題解法に難 (ALE).

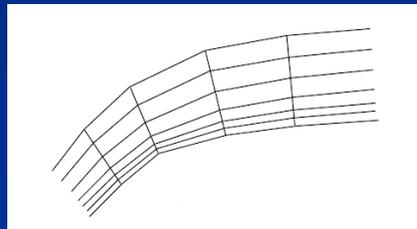
## 2. CFDの計算格子の分類

### ・有限要素法 (Finite Element Method) 非構造格子



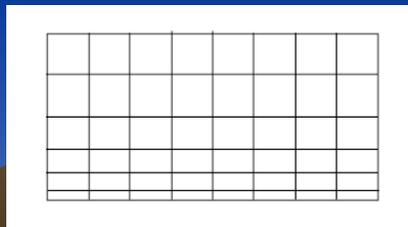
4面体 (Tetra), 5面体 (Wedge: 3角柱), 6面体 (Hexa) などの要素を組合わせて形状を表現。

### ・境界適合格子法 (Body Fitted Coordinate) 構造格子



境界形状に沿った座標系を利用する。直交座標を射影変換して曲面形状・複雑形状を表現。

### ・一般化ポロシティ法 (Generalized Porosity) 構造格子



直交格子の中で、セル毎の体積占有率と各面開口率を用いて曲面形状・複雑形状を表現。

# 3. 新しい構造格子CFD

## ◆構造格子の長所

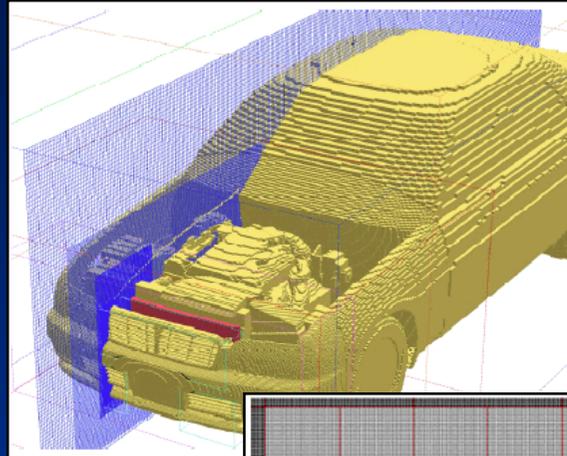
- ・計算容量が小さい(計算時間が短い).
- ・高次差分, 質量バランスが取りやすい.
- ・精度の高い格子作成が容易(曲面境界を含めて).
- ・格子生成が早い.
- ・大変形の移動物体問題解法に容易(Euler法).

## ◆構造格子の短所

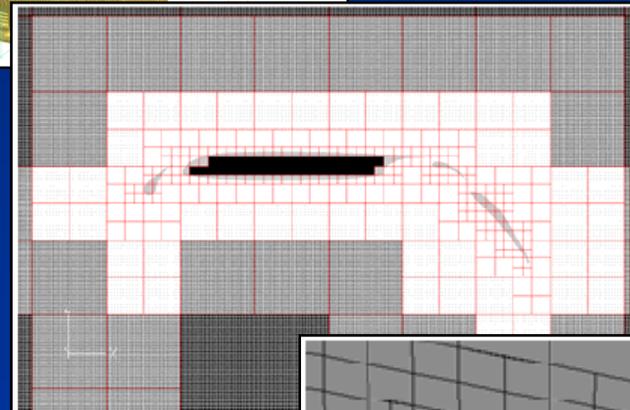
- ・表面形状に忠実 → 境界勾配値を持つ
- ・格子粗密のコントロールに難 → OctaTree の適用
- ・市販の格子生成・可視化ツールが無い.

# 4. 構造格子の利点の「再認識」

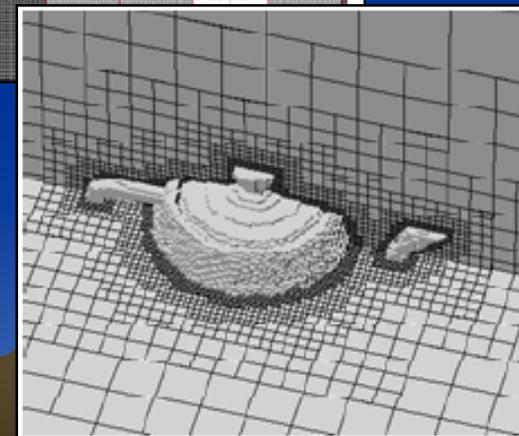
◆ VCAD OctaTree  
小野(理研)



◆ BuildingCube  
中橋(東北大)



◆ 直行適合格子  
小川(成蹊大)



# 5. Super Cartesian法とは？

**SuperCartesian法** → 一般化ポロシティ法の一つ

- ・Euler格子の中でセル毎の**体積占有率**と**各面開口率**を用いて一般的な斜め境界を表現。但し、**界面勾配**を考慮することにより、正確な境界条件の扱いが可能



体積占有率:  $V_f$   
流動抵抗係数:  $\xi$

体積占有率:  $V_f$   
各面開口率:  $A_x, A_y, A_z$  界面勾配

セル内では多孔質物体を仮定

セル内で界面を仮定し、流体側の運動をシミュレート

# 6. Super Cartesian法の定式化—1

## 基礎方程式1

◆運動方程式(Navier-Stokes方程式):

$$\frac{\partial (uVf)}{\partial t} + uAx(\frac{\partial u}{\partial x}) + vAy(\frac{\partial u}{\partial y}) + wAz(\frac{\partial u}{\partial z})$$

$$= Vf \cdot (-\frac{\partial P}{\partial x} + (\mu/\rho)\nabla^2 U | x + Fx)$$

$$\frac{\partial (vVf)}{\partial t} + uAx(\frac{\partial v}{\partial x}) + vAy(\frac{\partial v}{\partial y}) + wAz(\frac{\partial v}{\partial z})$$

$$= Vf \cdot (-\frac{\partial P}{\partial y} + (\mu/\rho)\nabla^2 U | y + Fy)$$

$$\frac{\partial (wVf)}{\partial t} + uAx(\frac{\partial w}{\partial x}) + vAy(\frac{\partial w}{\partial y}) + wAz(\frac{\partial w}{\partial z})$$

$$= Vf \cdot (-\frac{\partial P}{\partial z} + (\mu/\rho)\nabla^2 U | z + Fz)$$

# 7. Super Cartesian法の定式化—2

## 基礎方程式2

### ◆連続の式:

$$\partial (\nabla f) / \partial t + A_x (\partial u / \partial x) + A_y (\partial u / \partial y) + A_z (\partial u / \partial z) = 0$$

ここで、

$U$ : 速度ベクトル,  $u, v, w$ : 速度各成分,  $P$ : 圧力,

$\rho$ : 流体の密度,  $\mu$ : 粘性係数,

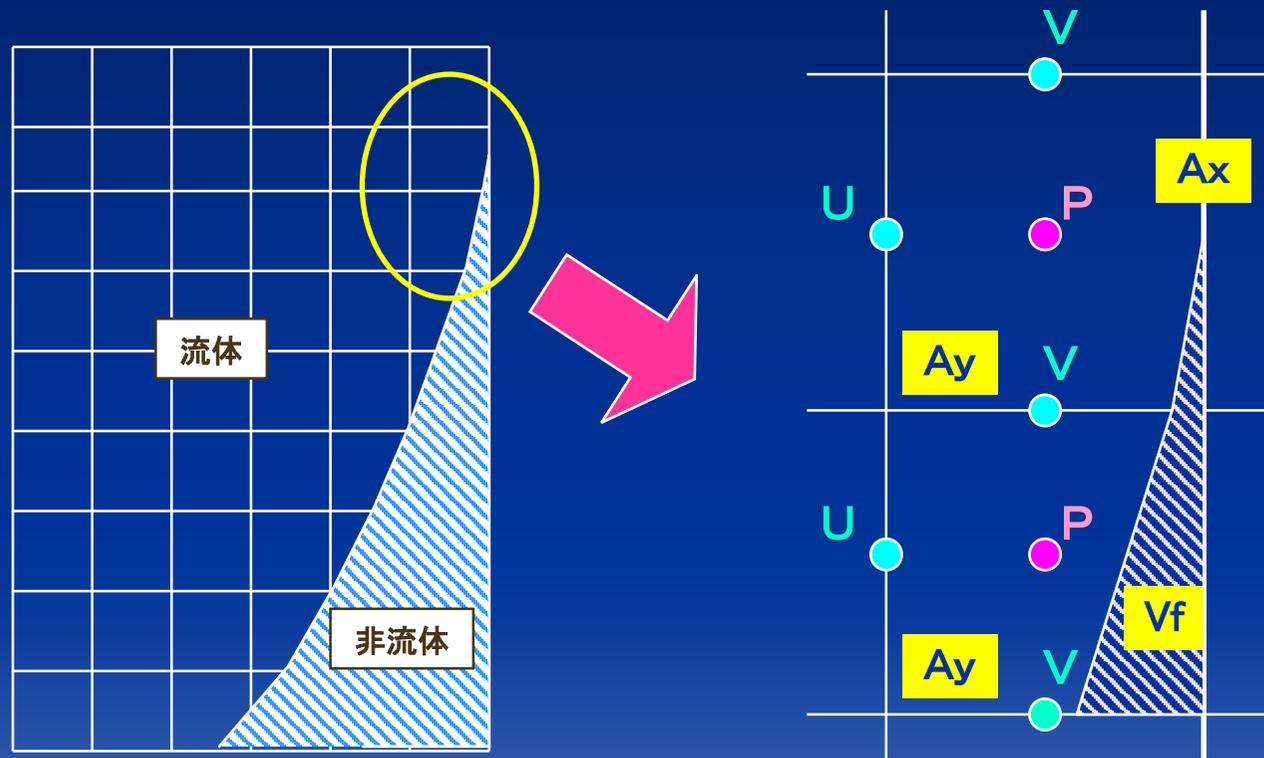
$F_x, F_y, F_z$ : 体積力各成分,  $\partial / \partial t$ : 時間に対する偏微分

$\nabla$ : nabla (=  $\partial / \partial x + \partial / \partial y + \partial / \partial z$ )

$U = (u, v, w)$ ,  $P = (P_x, P_y, P_z)$

# 8. Super Cartesian法の形状定義

- 速度成分  $U, V$  と圧力  $P$  を体積占有率と各面開口率から計算  
 斜め境界の勾配情報を形状データから生成して保持  
 (FAVOR法は圧力  $P$  のみの補正しか行わない。)

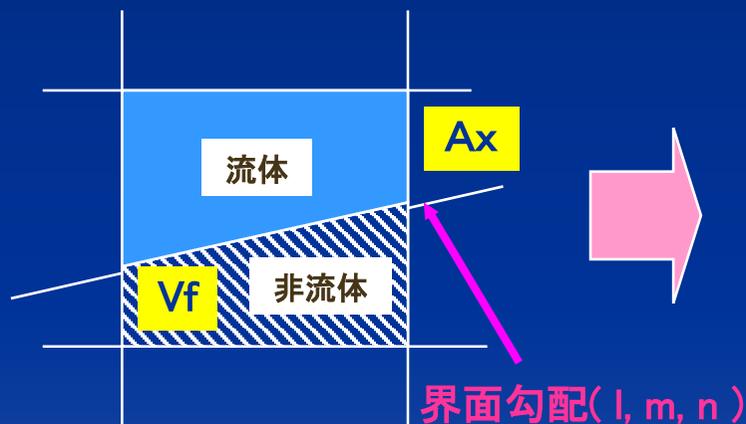


# 9. 薄物構造物への適用

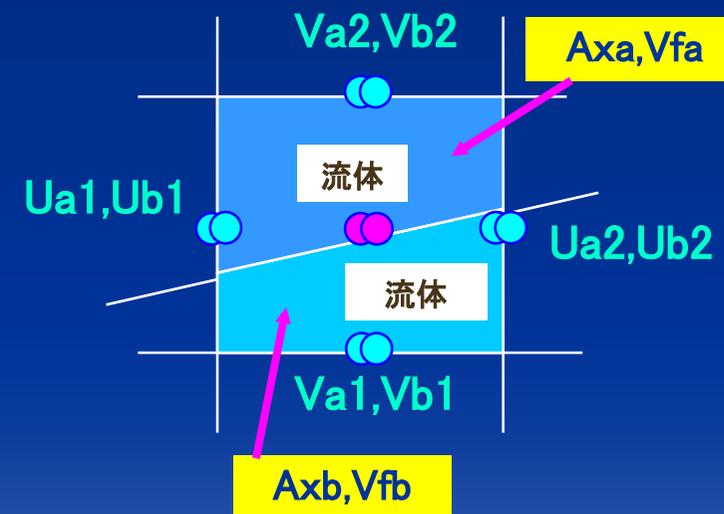
## ソリッド構造物への適用 → 薄物構造物への適用

- ・Euler格子の中でセル毎に定義している体積占有率と各面開口率を2重あるいは3重に持たせれば、薄物の表と裏ごとに、接線方向境界条件及び法線方向境界条件を表現する事が可能
- ・ソリッド構造での表現は不要 → 適用範囲の大幅な拡大

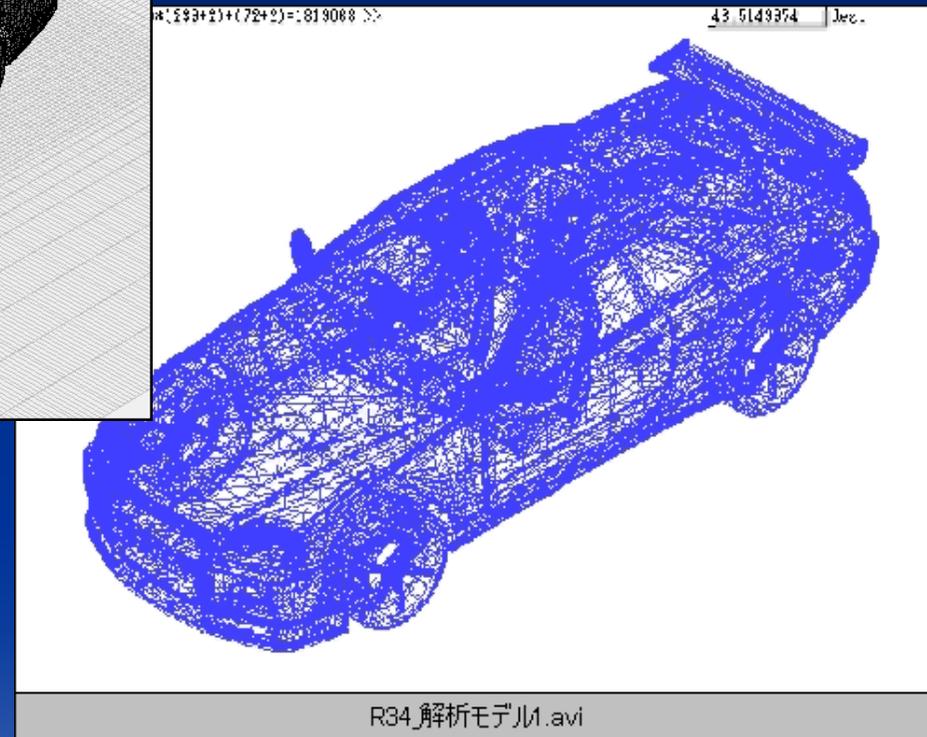
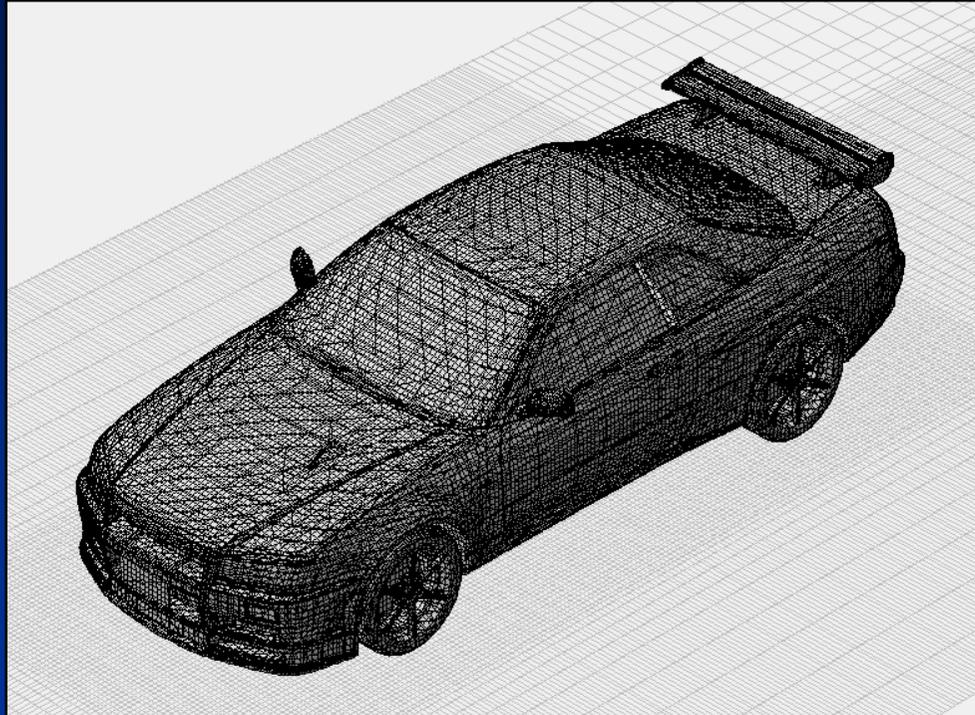
ソリッド構造向け Super Cartesian



薄物構造向け Super Cartesian

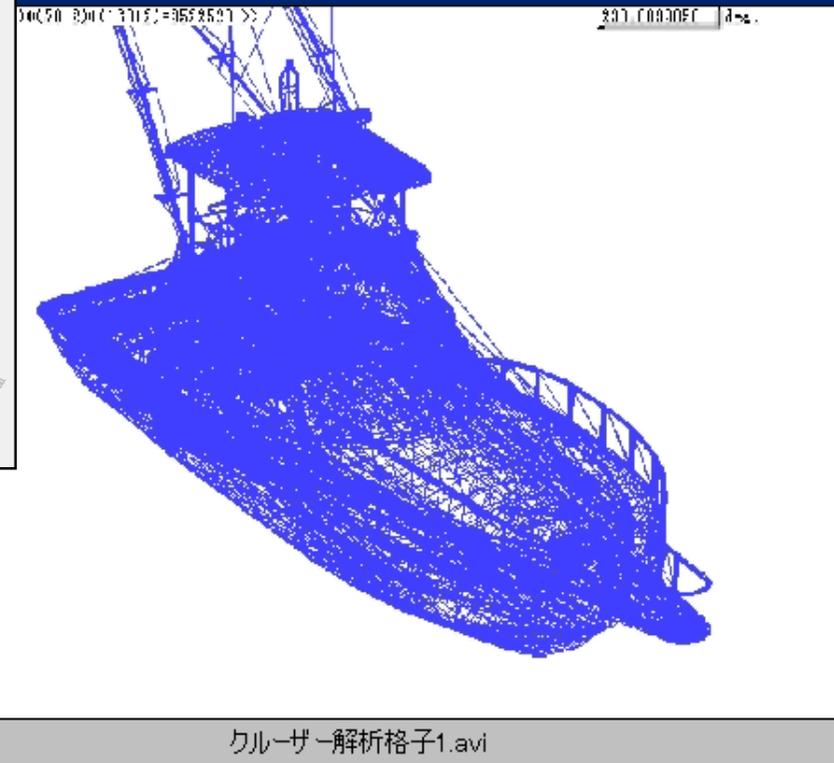
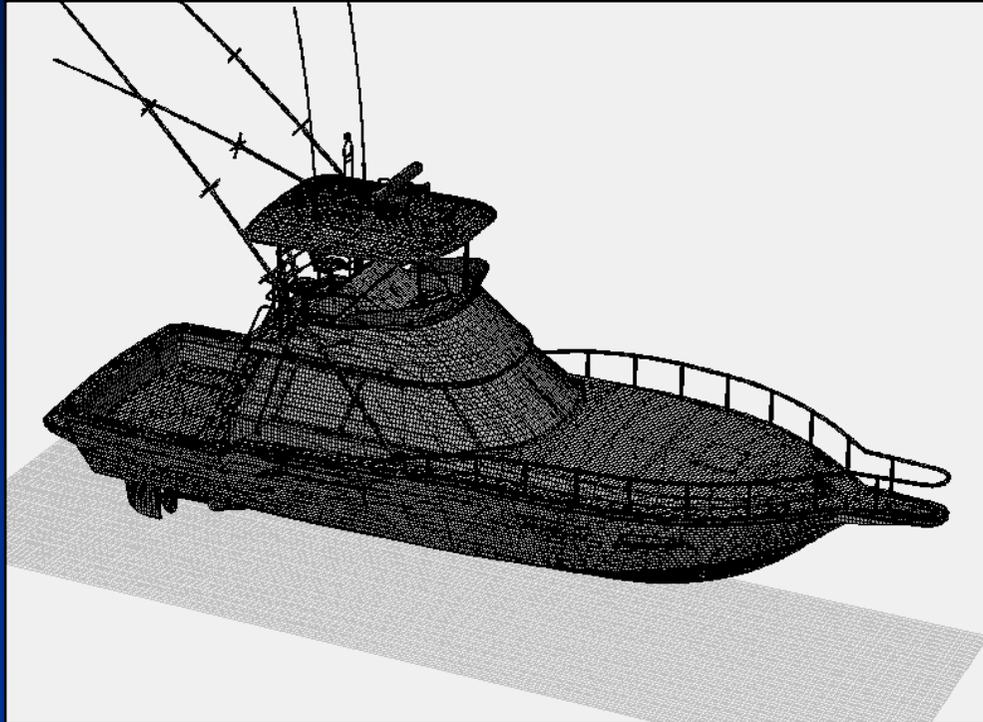


# 10. Super Cartesian法による形状表現



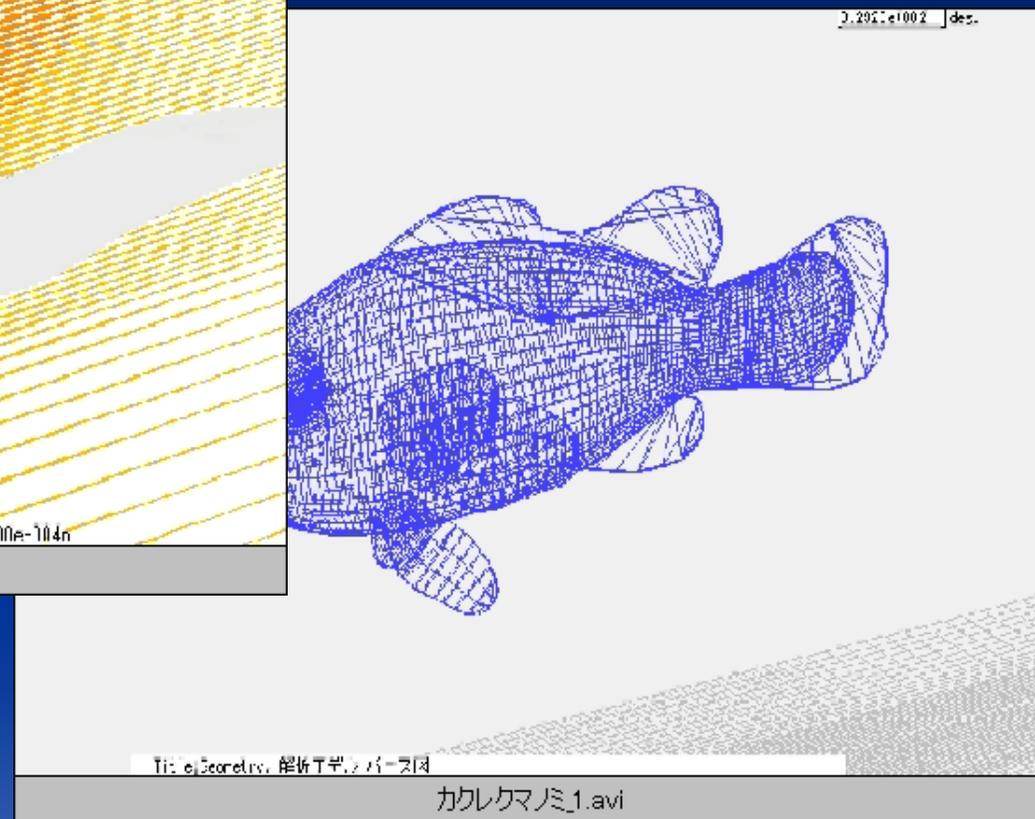
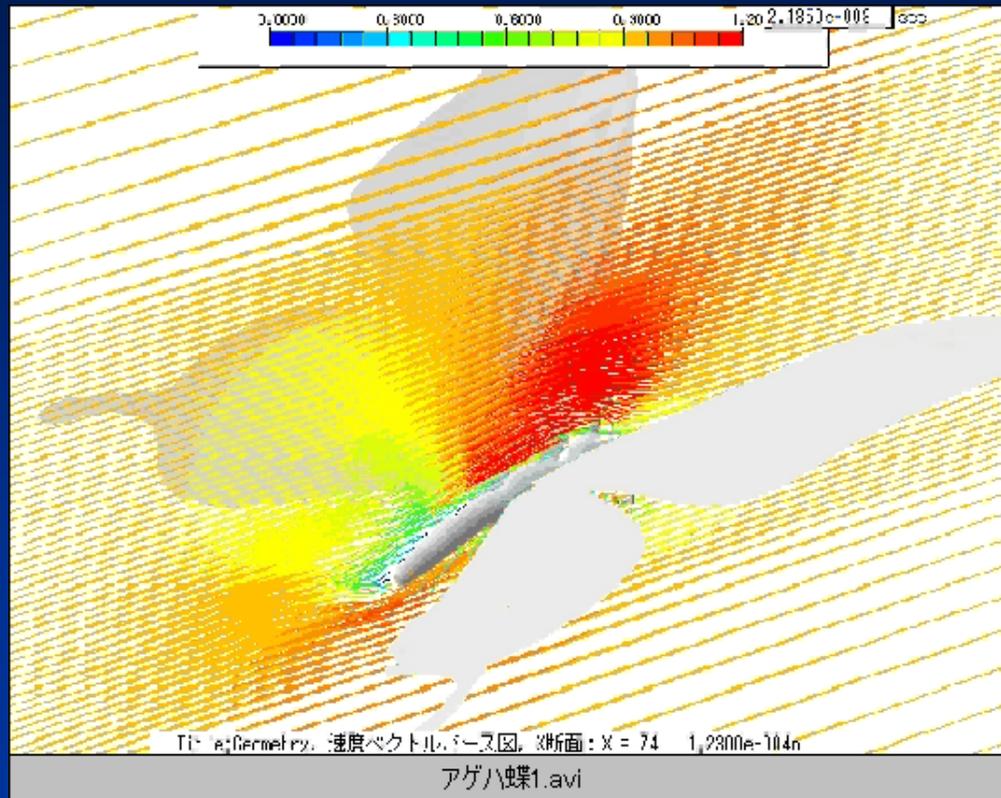
乗用車の解析用格子

# 1 1. Super Cartesian法による形状表現



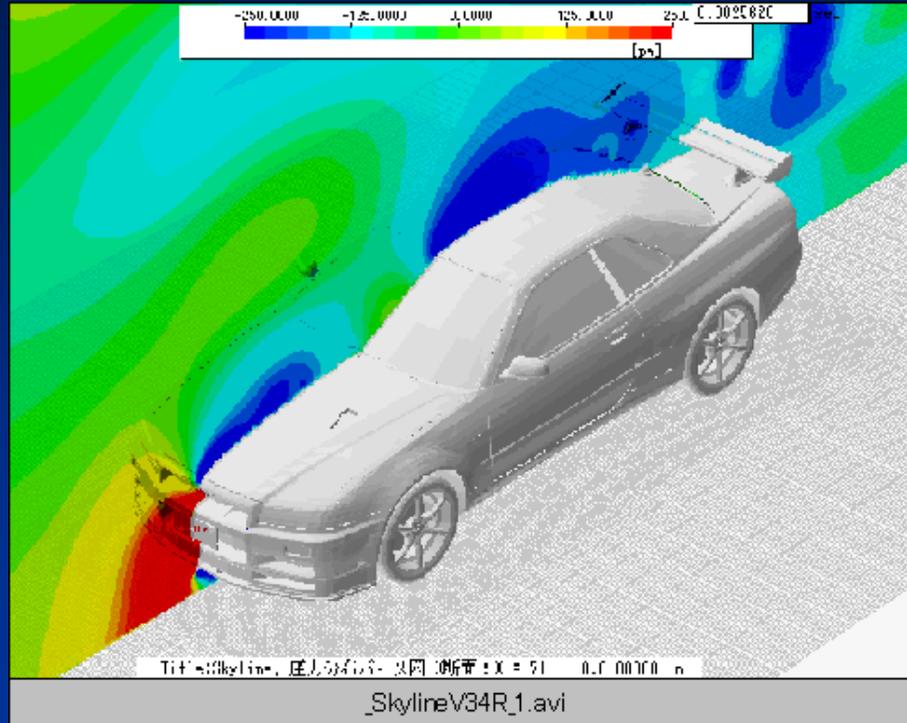
クルーザーの解析用格子

# 12. SuperCartesian法のシミュレーション例



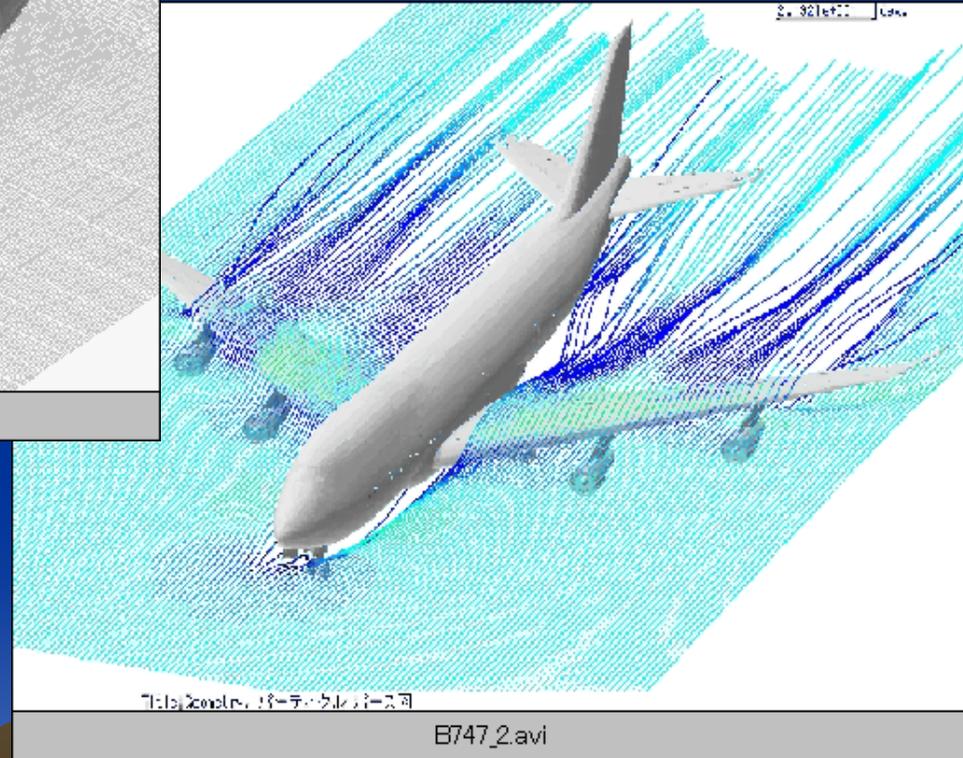
蝶・魚類の格子生成例とシミュレーション結果

# 1.3. SuperCartesian法による空力解析



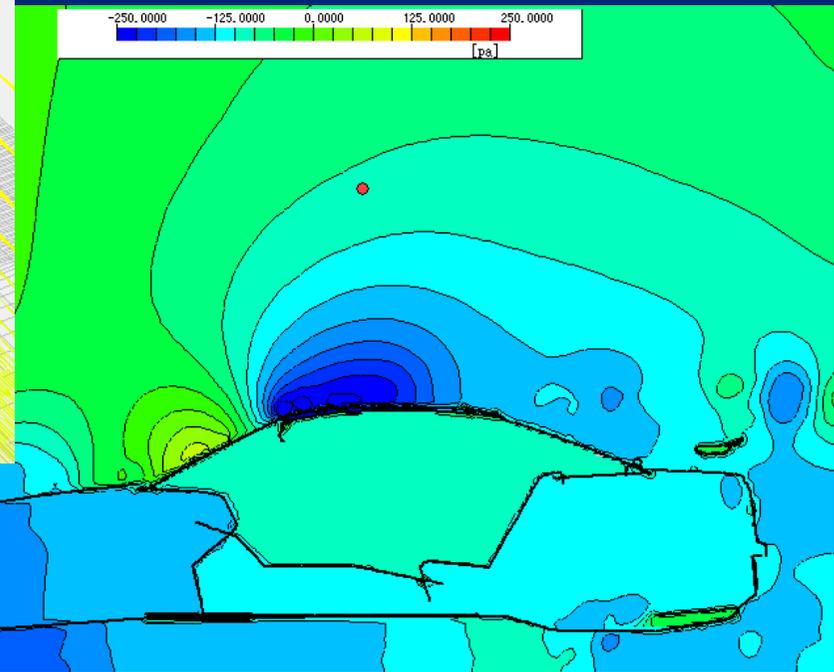
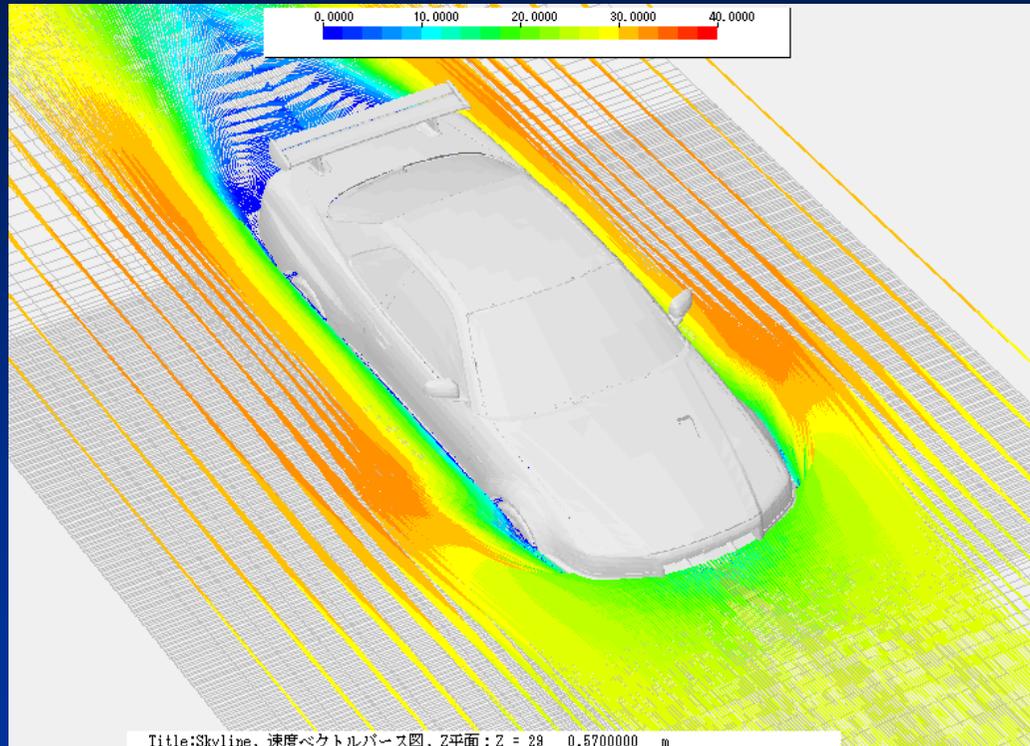
自動車車体空力シミュレーション

航空機空力シミュレーション



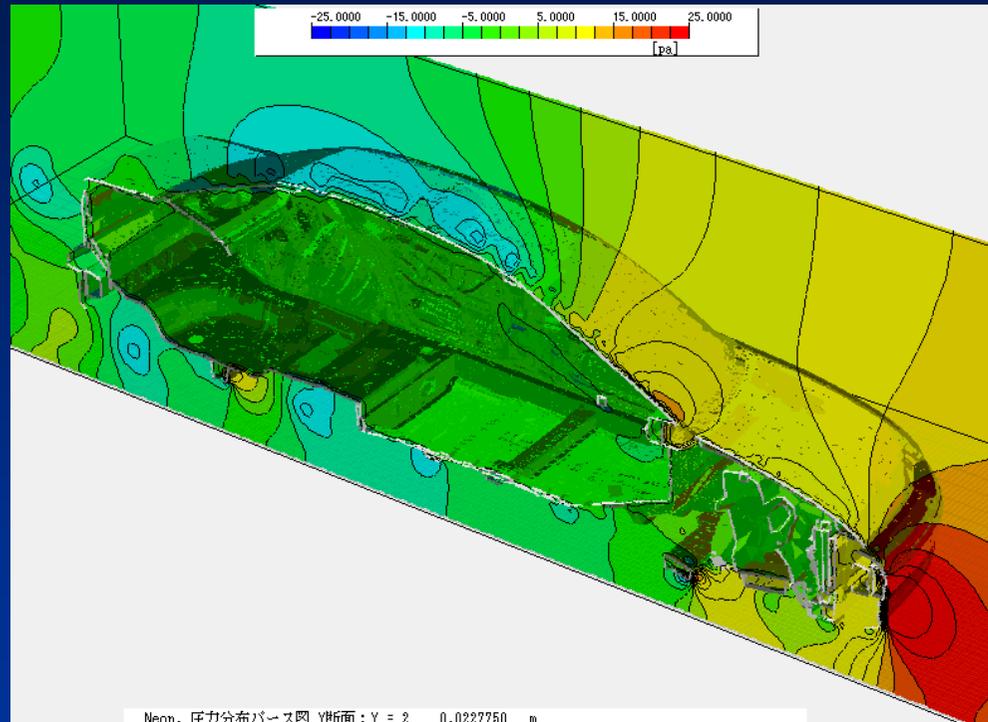
# 14. SuperCartesian法での薄物構造解析

自動車車体空カシミュレーション

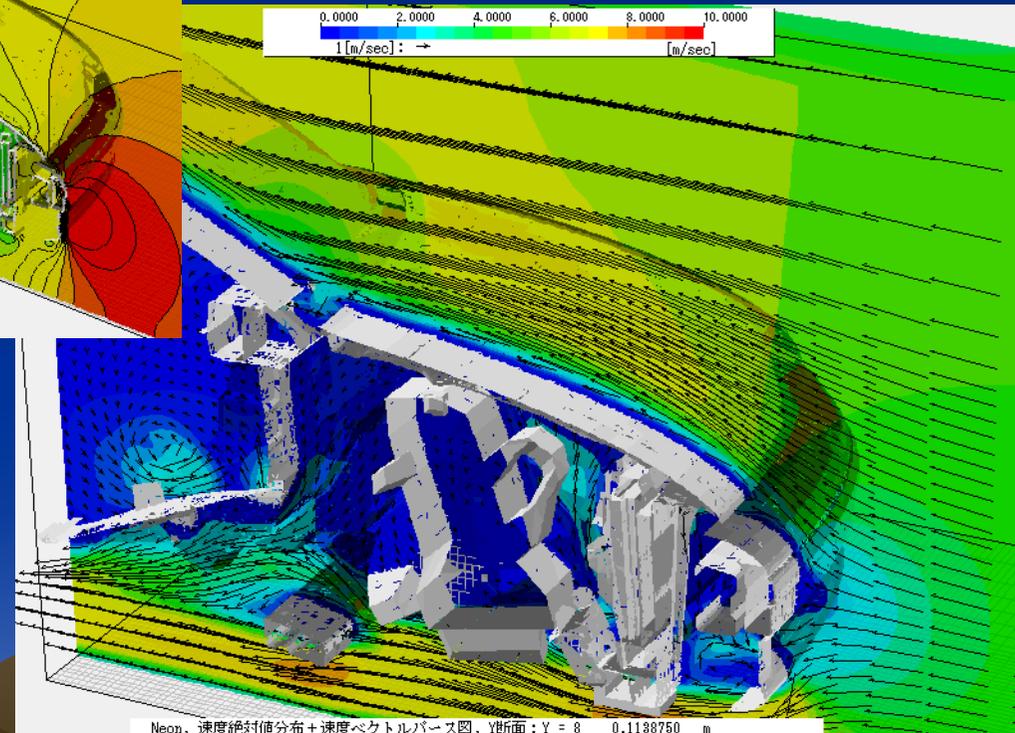


# 15. SuperCartesian法のシミュレーション例

自動車車体風入りシミュレーション

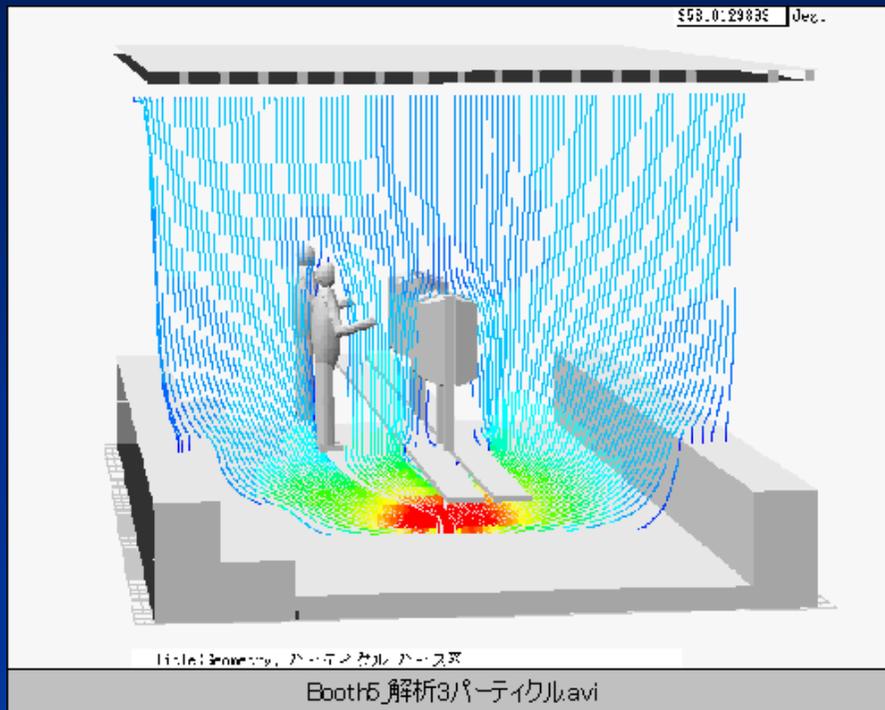


Neon, 圧力分布パース図 Y断面: Y = 2 0.0227750 m

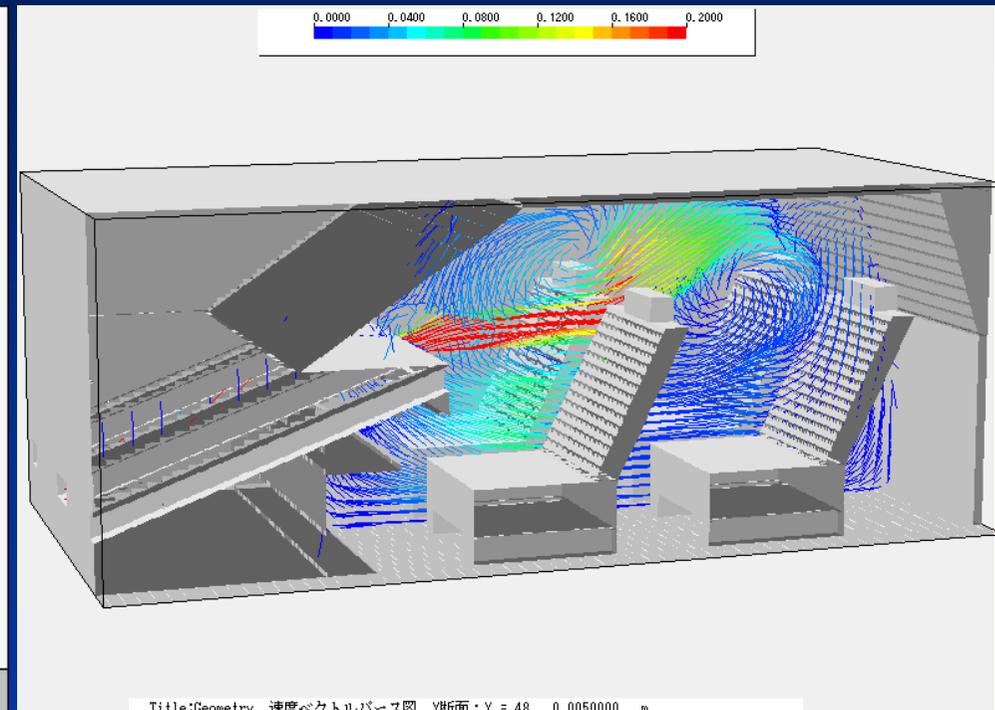


Neon, 速度絶対値分布+速度ベクトルパース図, Y断面: Y = 8 0.1138750 m

# 16. SuperCartesian法のシミュレーション例

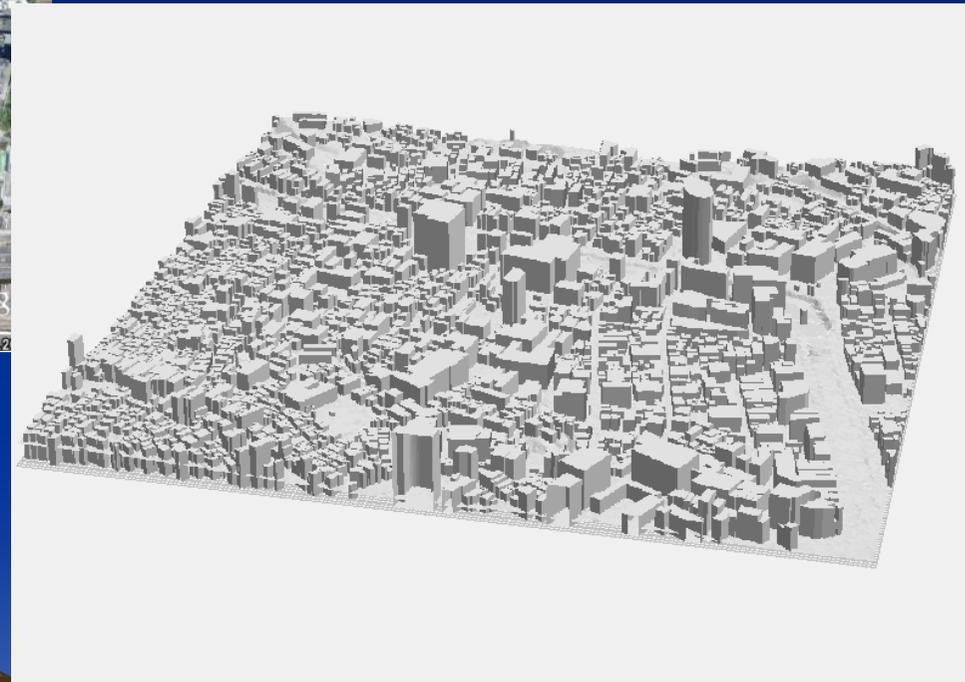
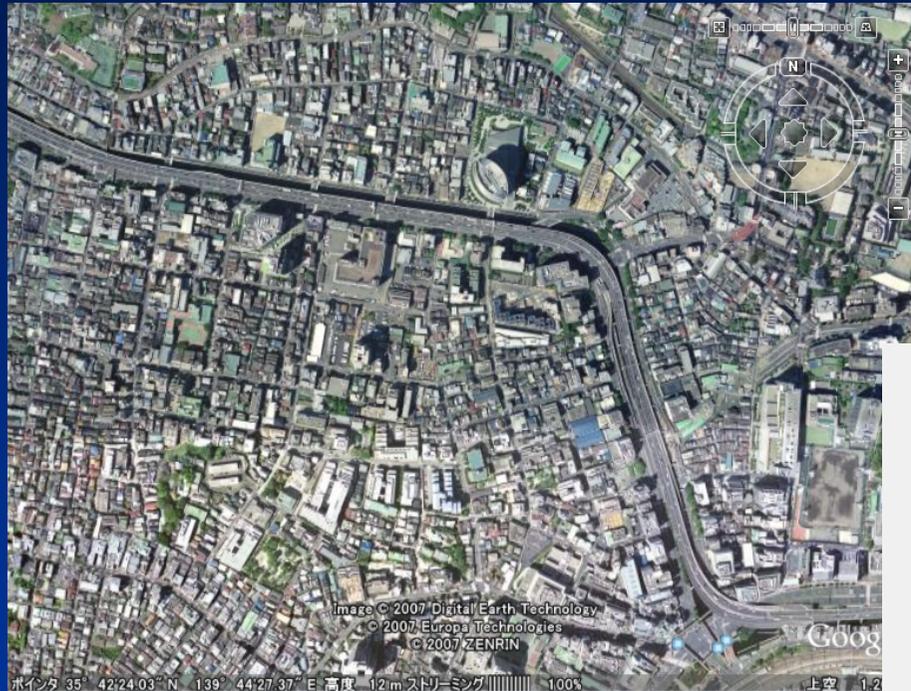


塗装ブース気流シミュレーション



自動車車室内気流シミュレーション

# 17. Super Cartesian法による形状表現



GISデータとCADデータの融合(全景)