

**スパコンで航空宇宙機(飛行機)をつくる！？**  
**－ものづくりにおけるスパコンの役割－**

**高木 亮治**  
**宇宙航空研究開発機構**  
**宇宙科学研究所**

# 本日の内容

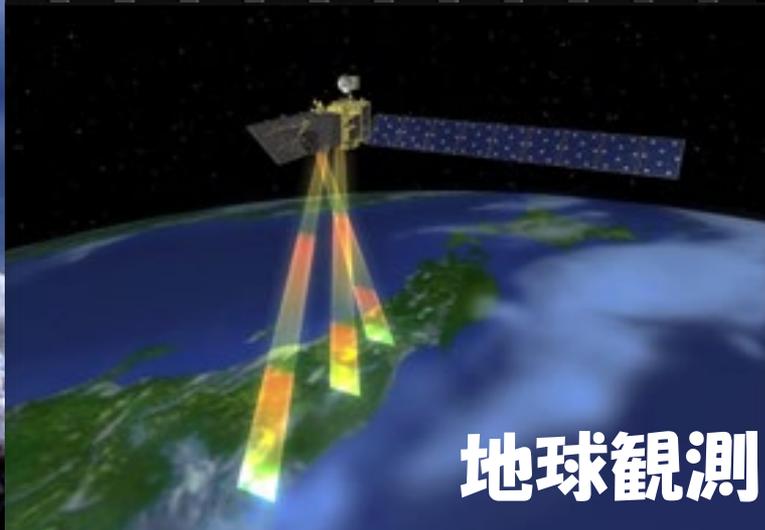
- JAXAの紹介
- ものづくりでスパコンがどう使われるか？
  - 飛行機の話
  - ポスト「京」
- まとめ



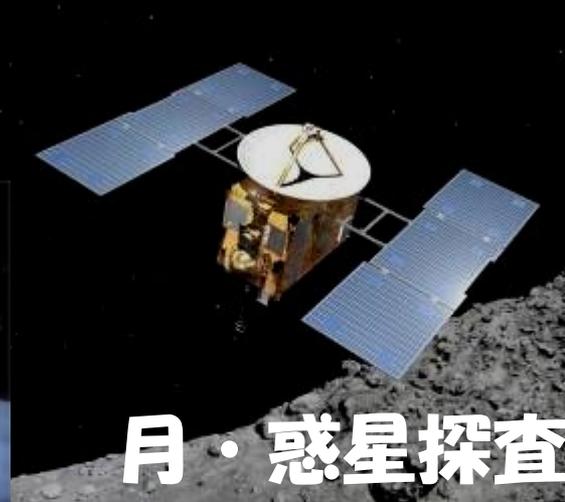
ロケット



# JAXAのしごと



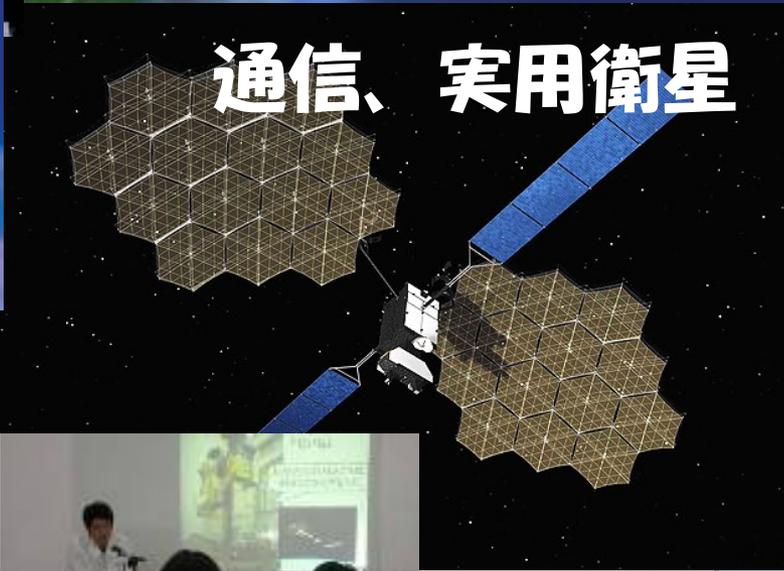
地球観測



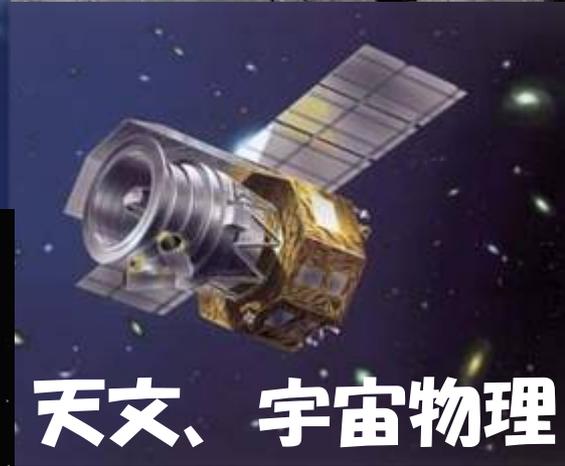
月・惑星探査



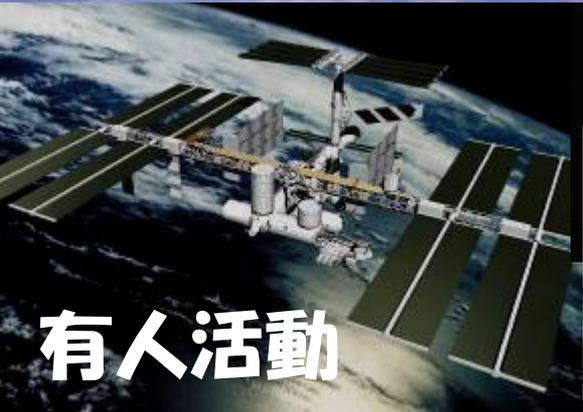
航空機



通信、実用衛星



天文、宇宙物理



有人活動



教育



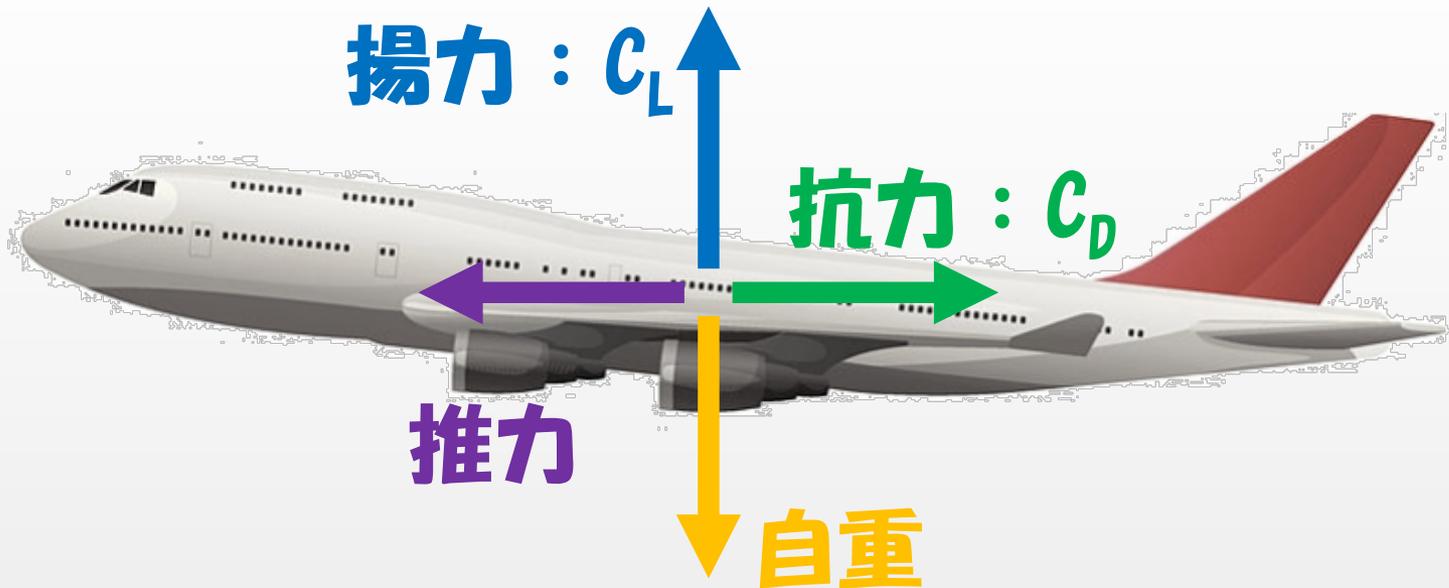
未来の技術

# 飛行機の話

- スパコンを使って飛行機を作る？
- ポスト「京」の話

# 飛行機の空力設計

- どんな形の飛行機が良いか？



- 飛行機に働く空気力（揚力、抗力）がどうなるか？

— 形を決めたら働く力を評価 → 形を修正 —

# 飛行機の空力設計

- 飛行機に働く力を測る（予測する）
  - 実際に飛行機を作って飛ばす：飛行実験
  - 模型を使って実験する：風洞実験
  - 計算機で計算する：数値シミュレーション
    - ✓ 計算流体力学：Computational Fluid Dynamics (CFD)



# 数値シミュレーションって？

- 物理現象を数学モデル（式）で表して、  
計算機で解析（解く）すること。
- 空気の流れを表す式：Navier-Stokes方程式（N. S. 方程式）

- 質量保存の式：

$$\frac{\partial \rho}{\partial t} + \frac{\partial \rho u_j}{\partial x_j} = 0$$

- 運動量保存の式：

$$\frac{\partial \rho u_i}{\partial t} + \frac{\partial}{\partial x_j} (\rho u_i u_j + p \delta_{ij}) + \frac{\partial \tau_{ij}}{\partial x_j} = 0, \tau_{ij} = -\mu \left( \frac{\partial u_i}{\partial x_j} + \frac{\partial u_j}{\partial x_i} - \frac{2}{3} \frac{\partial u_k}{\partial x_k} \delta_{ij} \right)$$

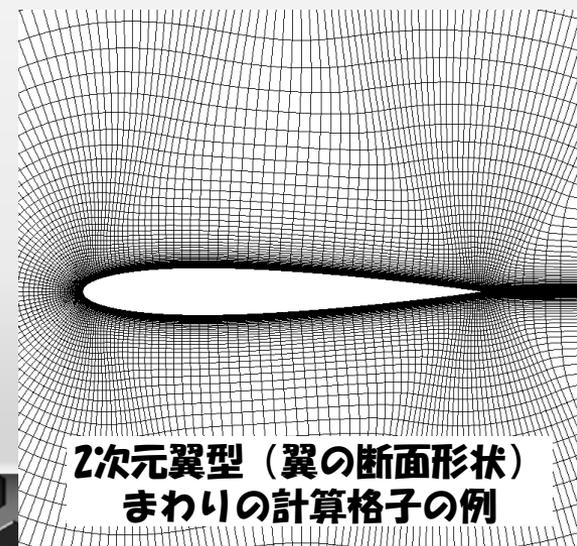
- エネルギー保存の式：

$$\frac{\partial E}{\partial t} + \frac{\partial}{\partial x_j} ((E + p) u_j) + \frac{\partial}{\partial x_j} (\tau_{ij} u_i + q_j) = 0, q_j = -\kappa \frac{\partial T}{\partial x_j}, E = e + \frac{1}{2} \rho u_j^2$$

- クレイ数学研究所が2,000年に設定した1つのミレニアム懸賞問題の一つ
- N. S. 方程式の解の存在と滑らかさ
- 100万ドルの懸賞金

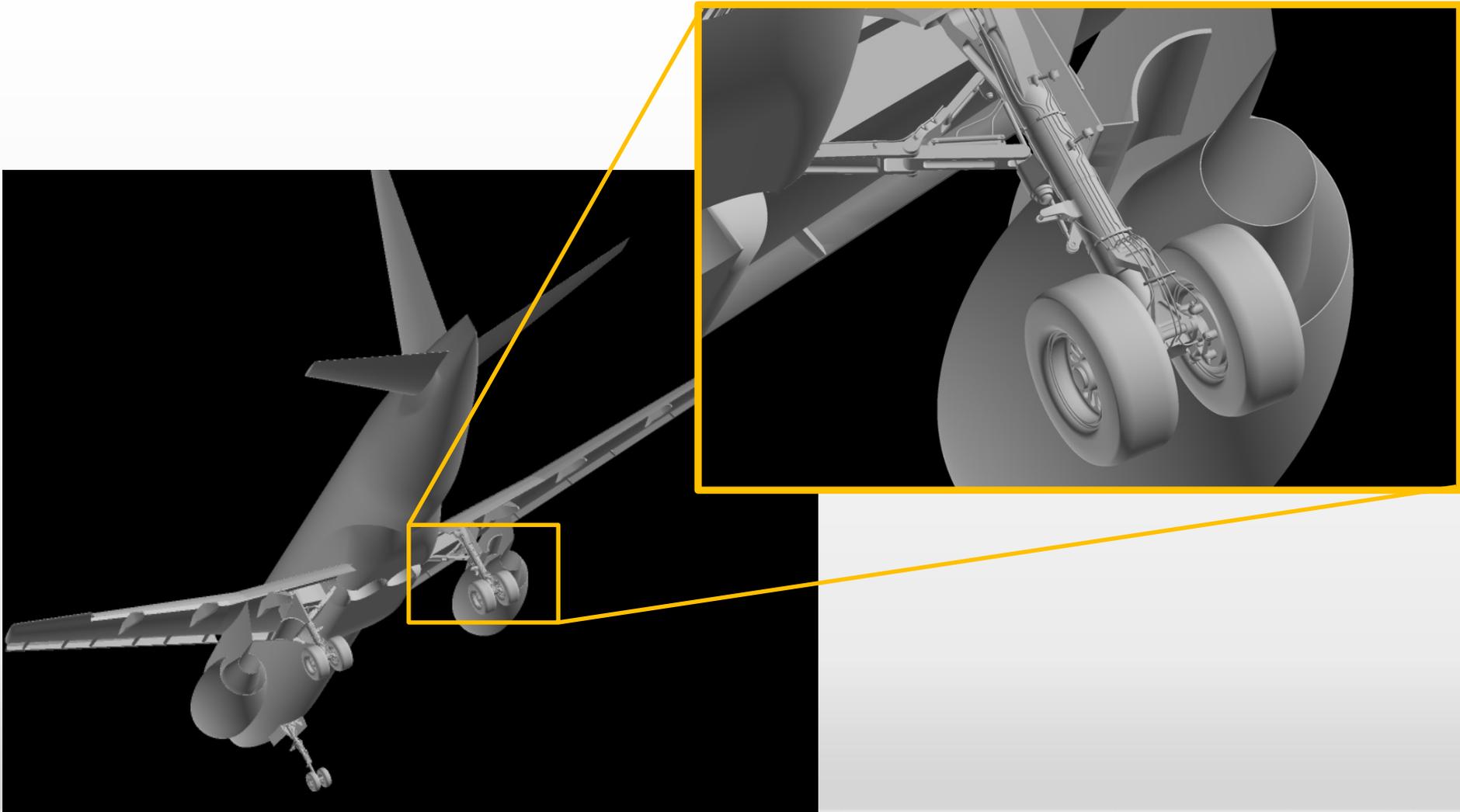
# 数値シミュレーションって？

- Navier-Stokes方程式は難し過ぎて解析的には（人の頭だけでは）解けない！！
  - 計算機の助けを借りて解く！！
- 空気の流れの計算は大変なので、大きなスーパーコンピュータが必要
  - 機体形状を正確に表現するため
    - ✓ 計算格子が沢山必要
  - 空気力を正確に予測するため
    - ✓ 計算格子が沢山必要
  - 結果を速く得るため

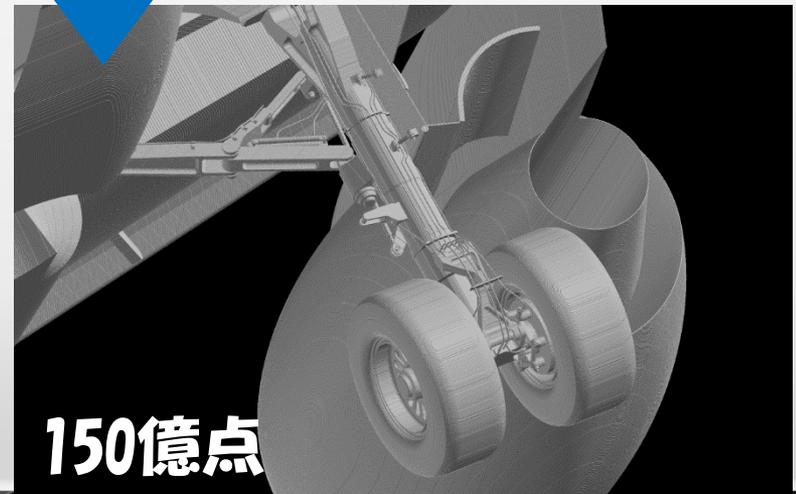
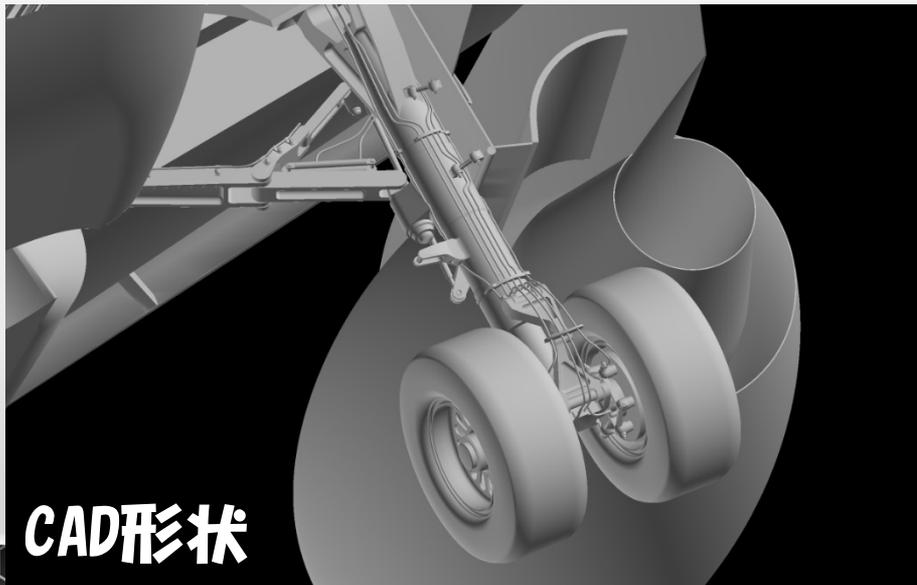
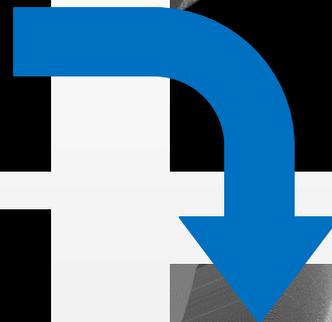
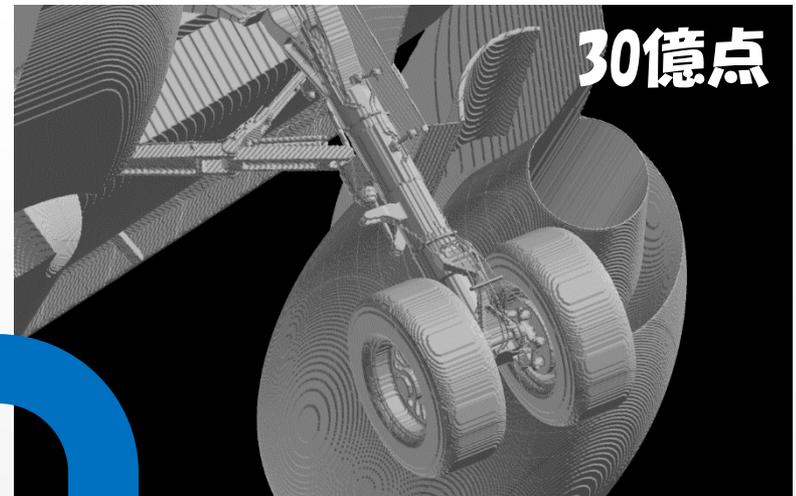
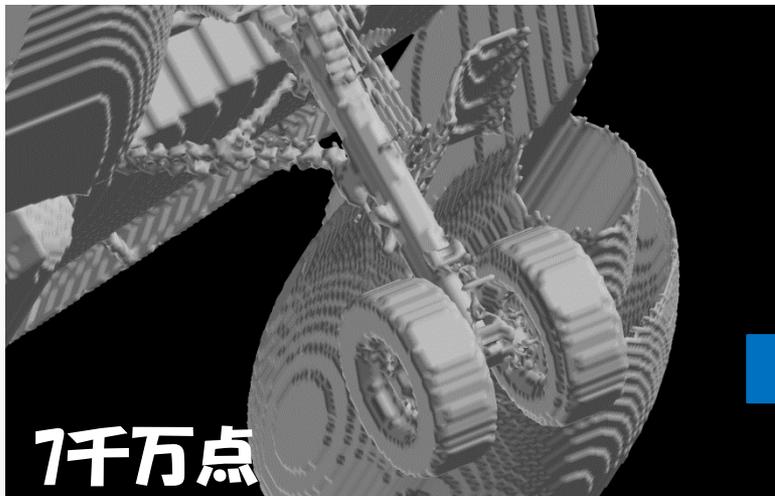


2次元翼型（翼の断面形状）  
まわりの計算格子の例

# 形状の正確な表現

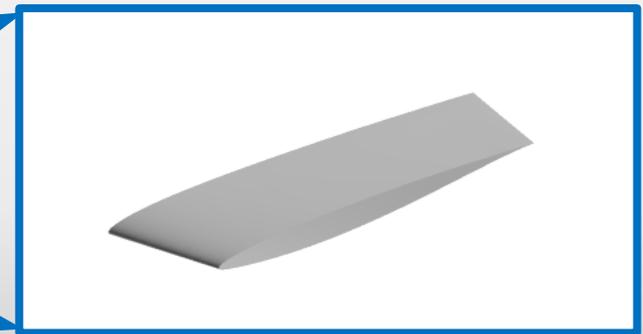
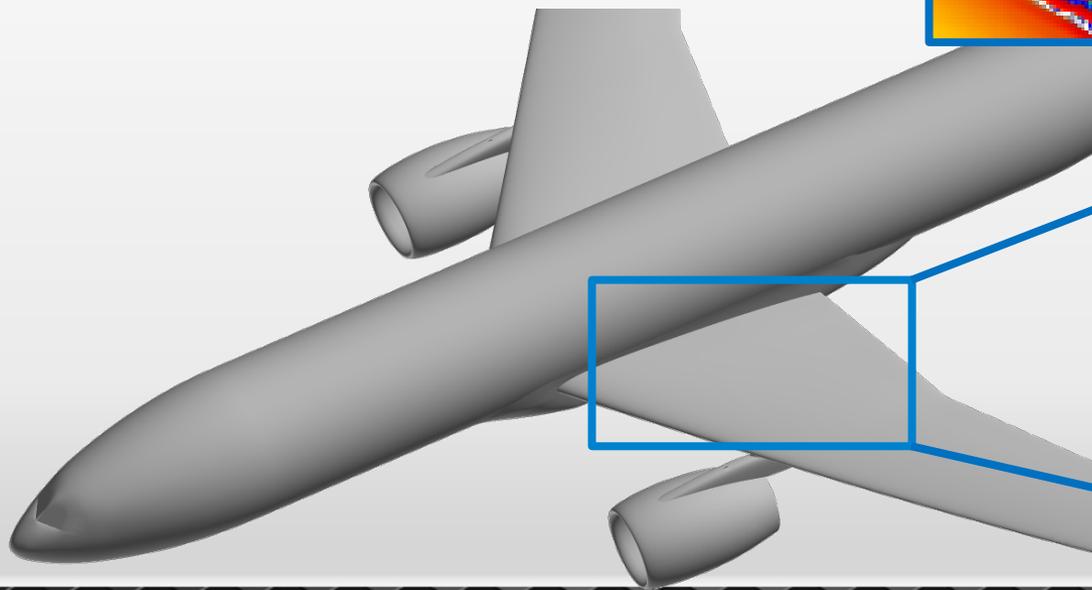
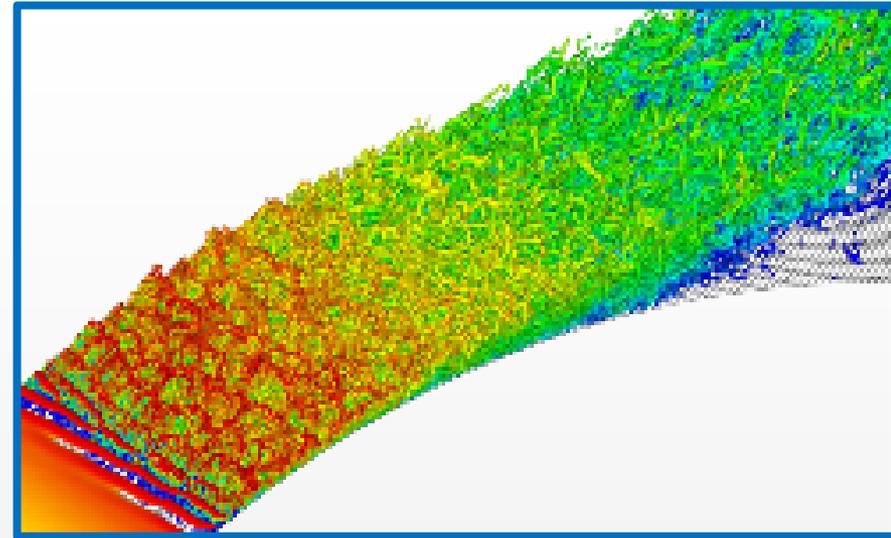


# 形状の正確な表現



# 空気力の正確な予測

- 細かな渦を捉えないと精度よく予測できない。
- 速く、大きくなると渦は小さくなる。

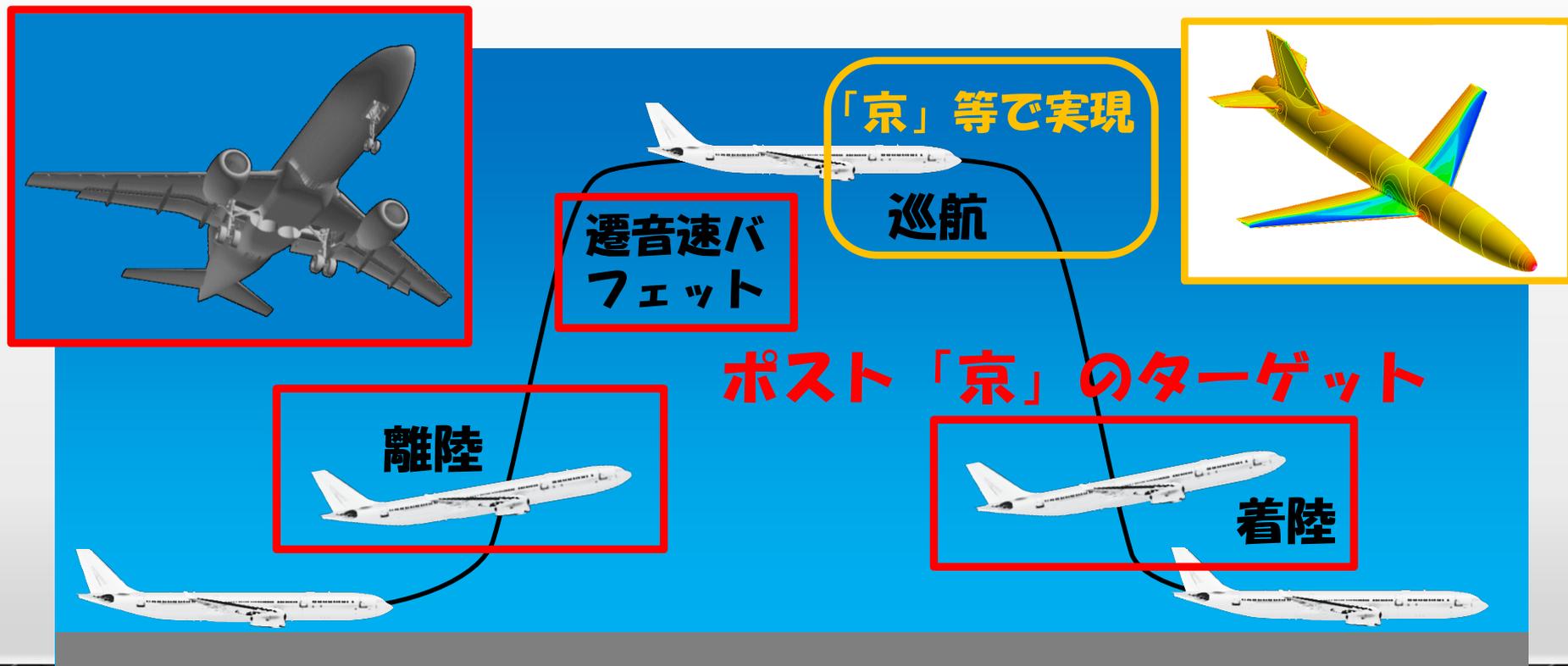


# 結果を速く得る

- 「ものづくり」では1ケース計算できてもあまり役に立たない。
  - 不具合の原因究明には有効（それでも複数の解析が必要）
  - 実際の設計に使うためには
    - ✓ **決められた期間**（設計期間）内に
    - ✓ **より多くの設計候補**（数百～数千、数万）を評価する
    - ✓ **ことで、より良い設計**（最適設計）にすることが必要
- 計算機が100倍速くなれば
  - 従来と同じ時間で100倍のケース数が実施可能
  - 1/100の時間で評価が可能 ⇒ 迅速な判断が可能

# ポスト「京」で目指すもの

- **実飛行条件での詳細形状全機**の**高速・高精度解析**
  - これまで解析できなかった解析（遷音速バフエット、離着陸時の失速特性や騒音解析など）を実現



**スパコンがなくても、  
飛行機は飛んでたよ  
ね？**

**ロケットも。**

# スパコンがない時代に飛行機は生まれた

- **最初は鳥などのまね**
  - 翼の発明
- **飛行試験**
  - 命がけ
  - 現在でも莫大な試験費用
    - ✓ 型式証明の飛行試験：
      - 5機 × 2年
      - 数千億円

レオナルド・ダ・ヴィンチのオーニソプターの絵

リリエントールのハンググライダーの絵

# スパコンがない時代でも飛行機は飛んでいた

- **風洞試験**
  - 風洞の発明
  - 現在でも手間と費用

ライト兄弟の風洞  
(レプリカ) の絵



# スパコンは必要？

- 飛行機はスパコンがない時代に生まれ、飛んでいた。
- 風洞実験や飛行試験
  - 莫大な試験費用が必要
  - 風洞試験：実際の飛行環境ではない
- スパコン+数値シミュレーションによる試験の代替。
  - コスト削減・期間短縮
  - 正確性の向上

ライトフライヤーの絵



MRJ (三菱リージョナル  
ジェット) の絵

# スパコン (+数値シミュレーション) のメリット

- 試験（風洞試験、飛行試験）の代替だけ？
- 様々なアイデアを、より正確に検討し、具体化することが可能！！
  - もの作りの現場での3Dプリンターと似ている。
    - ✓ アイデアがあればすぐに形に（性能を知ることが）できる。
- **これまで実現していない、新しい飛行機の実現手段として必須**
  - 再使用型宇宙往還機
  - 惑星探査飛行機
  - 未来の飛行機
    - ✓ 空飛ぶ車？



# 更にその先

- 試験（風洞試験、飛行試験）の代替
- 新しい飛行機の実現手段として必須
- **設計・開発での利用から運用での利用へ**
  - 飛行状態をセンシングし、リアルタイムで飛行状況を**予測**・評価することで最適な飛行制御を行う：スマート飛行機の実現

# まとめ

- **飛行機を作る時のスパコン+数値シミュレーションの役割について紹介した。**
  - **スパコンがなくても飛行機は作れた。**
  - **でも新しい飛行機を作るためには大きなスパコンが必要**
- **ものづくりにおいて、スパコン+数値シミュレーションは新しいアイデアを実現するための重要な道具**
  - **今までのものはスパコンがなくても作れる。**
  - **新しいものはスパコンがないと作れない。**