

次世代スパコンが切り拓く可能性について

航空機開発とスーパーコンピュータ

中橋 和博

東北大学大学院工学研究科

航空宇宙工学専攻

内 容

- **航空機の100年の進歩と最新旅客機**
- **飛行機の空気力学**
- **飛行機の空力設計手段：風洞からスパコンへ**
- **スパコンで流れを観る**
- **スパコンで形をつくる**
- **MRJ開発とスパコン**
- **スパコンの重要性**
- **まとめ**

最新の旅客機

エアバス A380



<http://www.airbus.com/en/>

- 2005年4月初飛行、2007年10月から就航
- 総二階で555人（つめれば800人）
- マッハ0.85、重さは約600トン
- 最大14,800kmの航続距離
- 運航コストは既存新型機と比べて15%低下
- 燃費も競合機に比べ13%低
- 騒音も大幅に削減

Boeing 787 ドリームライナー



<http://www.boeing.com/>

- 2009年12月に初飛行、来年に1号機が全日空に
- 217席(3クラス構成)～289席(2クラス構成)
- マッハ0.85、重さは複合材製なので軽い？
- 前のBoeing767に比べ20%の燃費改善、
- 騒音低減のための工夫
- アルミに代わって炭素繊維複合材を主翼と胴体に使用 → 複合材は錆ないので湿度を高められ快適性向上（従来機はサハラ砂漠より乾燥している）

最近の旅客機は
低燃費、低騒音が
セールスポイント

MRJ (Mitsubishi Regional Jet)



三菱航空機（株）提供

- 国産旅客機としては1962年に初飛行したYS-11以来
- 2012年に初飛行、2014年には日本の空を飛ぶ予定
- 座席数70～90席
- 他の同じサイズの旅客機に比べ20%の燃費改善、且つ圧倒的低騒音

MRJも低燃費、
低騒音がセー
ルスポイント

飛行機はなぜ飛べる？



Boeing 747-400 (1988～)

最大巡航マッハ数 = 0.85

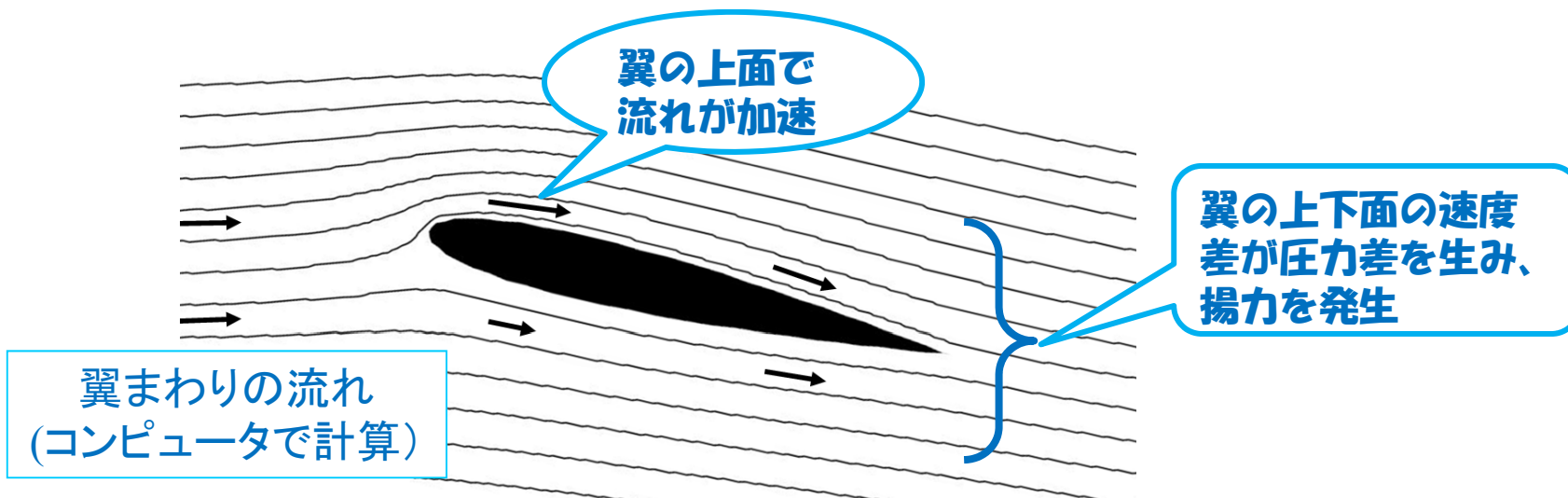
航続距離 = 14,000km (香港 - NY)

最大離陸重量 = 410トン

エンジン = 27トン x 4機

全長70m, 全幅64m, 全高19m

**翼面積 約500 m²で400トン近くの重さを支える
つまり翼1m²あたりで0.8トン (軽自動車一台分) を持ち上げる力を発生**



飛行機開発、空気抵抗との闘い

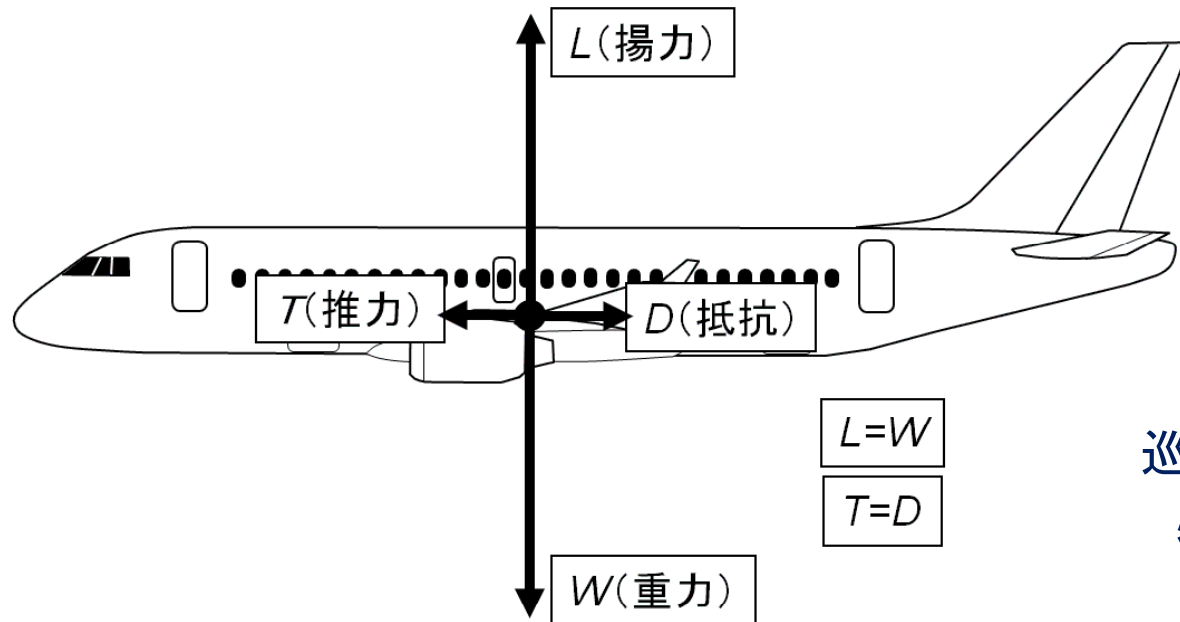
巡航飛行＝水平等速度運動

つまり加速度ゼロだから、揚力 L = 飛行機の重さ W

推力 T = 空気抵抗 D

揚力は飛行機の重さに等しい量だけ発生すれば良い！

空気抵抗が小さいほどエンジン推力を小さくでき、 CO_2 を減らせる。

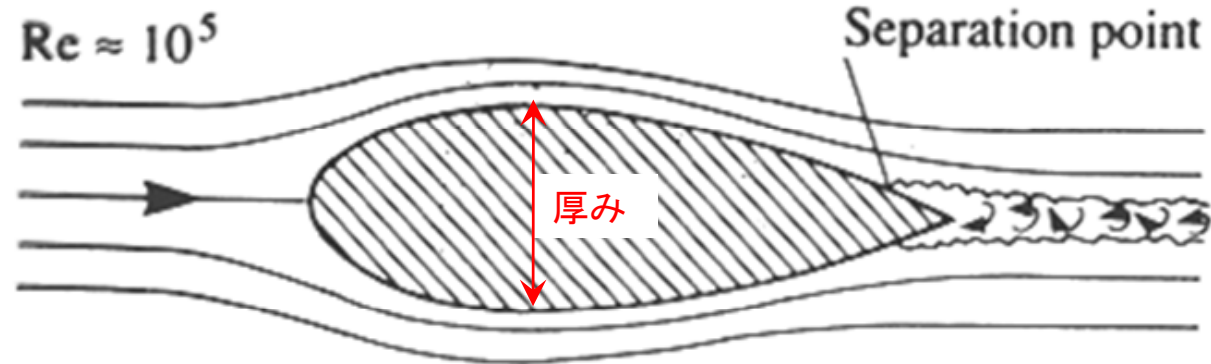


巡航飛行に必要な推力：
必要推力 $T_R = D = W / (L/D)$

燃費を良くするには、揚力=機体重量 (given) で空気抵抗 D をいかに減らすか？
つまり、揚抗比 (L/D) を最大 (空気抵抗 D を最小) にする！

空気抵抗を減らす流線形

流線形



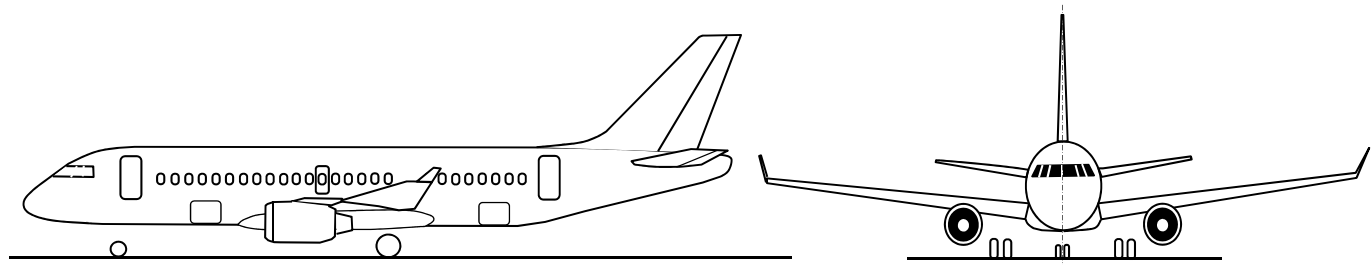
円柱
直径が上の流線形の厚みの10分の1



J. D. Anderson, JR. 著
“Fundamentals of Aerodynamics”

流線形の空気抵抗は、その厚みの10分の1の大きさの円柱と同じ！

飛行機の形は流線形が基本




空気抵抗を減らして効率よく飛ぶための形



アホウドリやカモメ
は滑空飛行が得意



グライダーと同じ
細長い翼のお陰

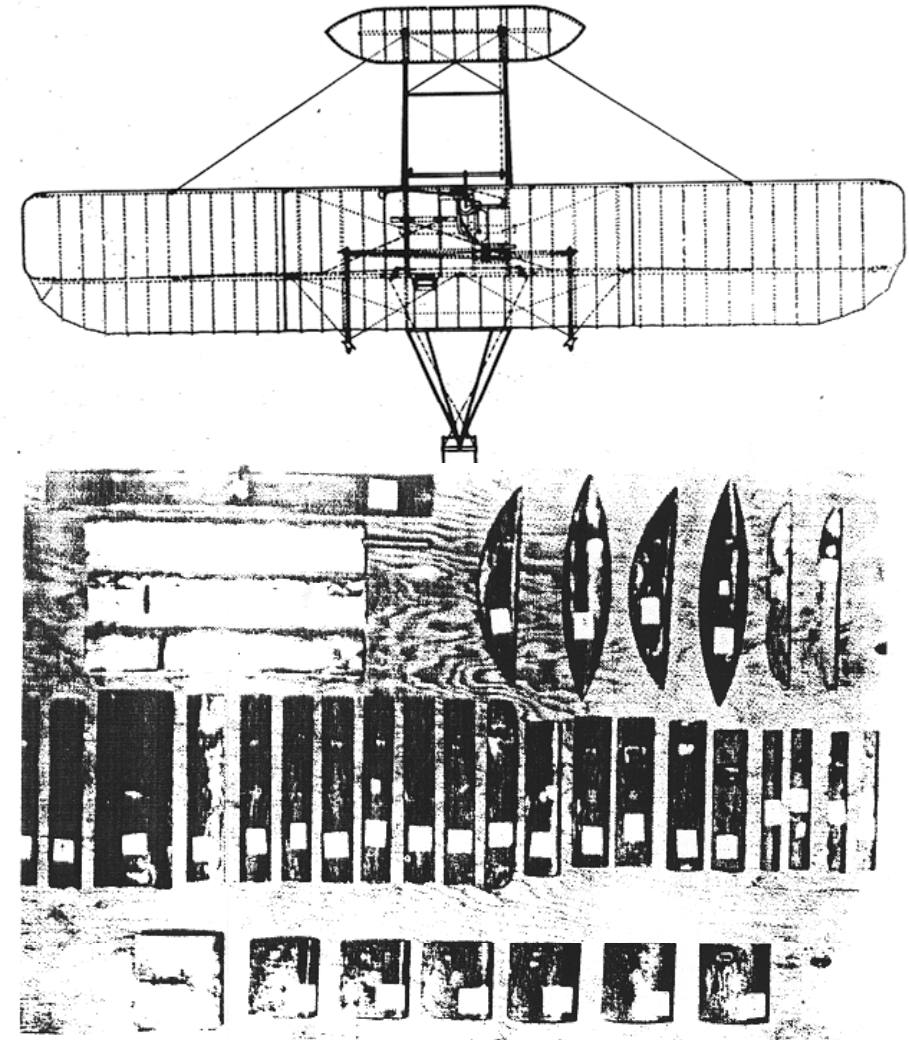
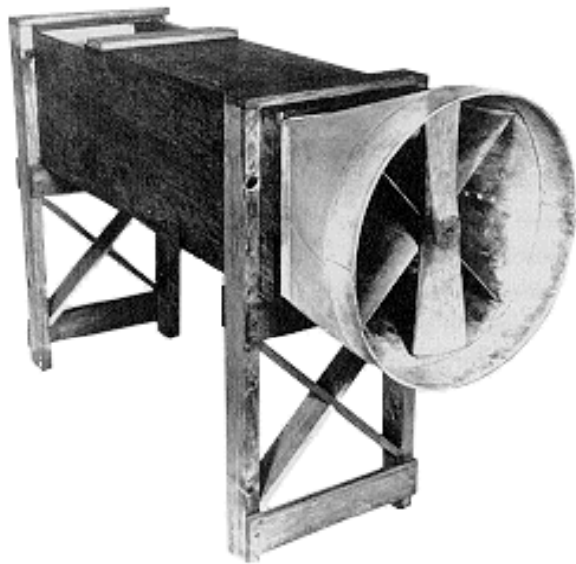


翼端の折れ曲がり
(ウイングレット)も
空気抵抗を減らす
ための工夫

ライト兄弟も細長い翼が良いことを風洞試験で発見

主翼のアスペクト比(細長比)と誘導抵抗
の関係は当時は知られてなかった

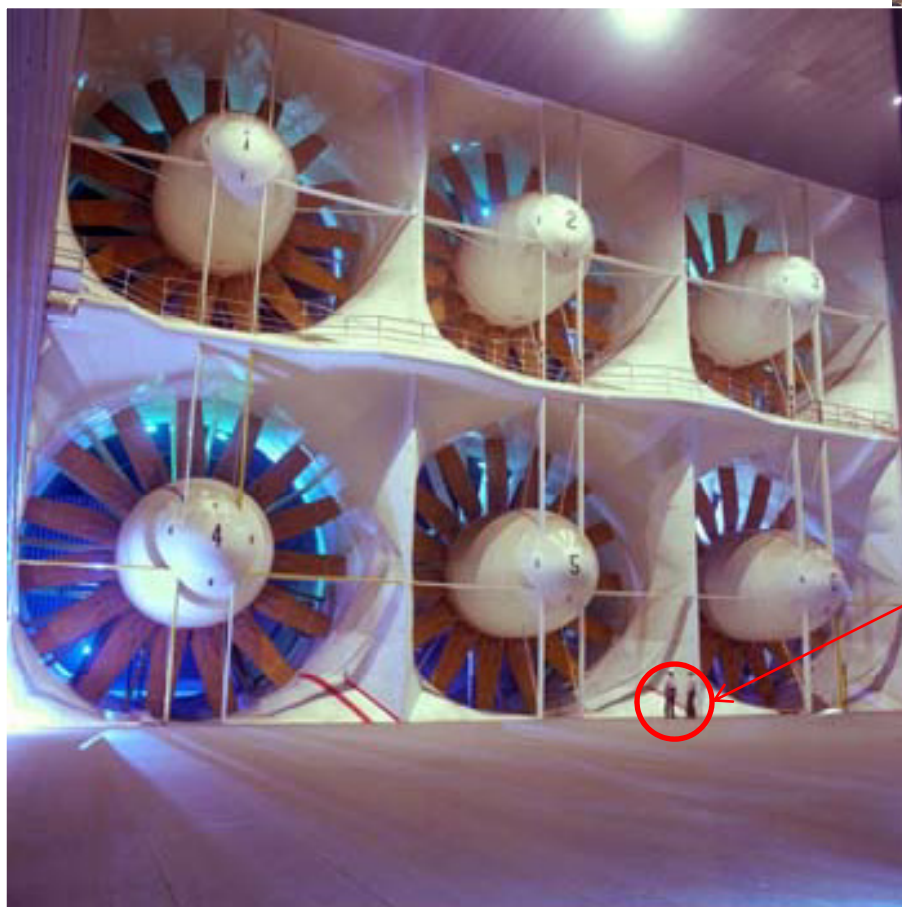
→ 風洞実験で独自に発見



ライト兄弟の風洞と、そこで試験した様々な翼

風洞は航空機開発に不可欠な装置 飛行条件に近づけるために巨大化・高性能化

NASA Ames の巨大風洞
(測定部は24x36 [m])



ここに人が
立っている

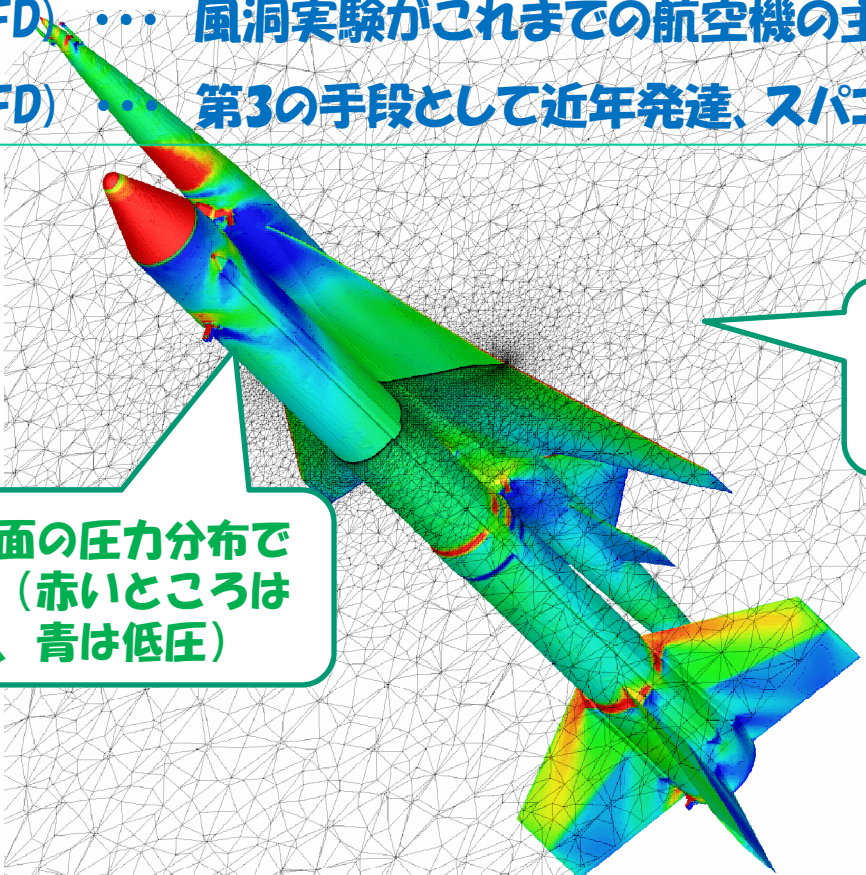
しかし、飛行条件を完全に模擬する風洞は技術的にもコスト的にも困難

風洞試験に代わる新しい手段 CFD（数値流体力学）

空気の流れ：ナビエ・ストークス方程式を解けば分かる。しかし難しい・・・

ナビエ・ストークス方程式に対する3つの研究手段

1. 理論的(TFD) ... 空力設計の基本理論、しかし具体的な形状設計には困難
2. 実験的(EFD) ... 風洞実験がこれまでの航空機の主な設計手段、しかし高コスト
3. 数值的(CFD) ... 第3の手段として近年発達、スパコンで実用化が加速

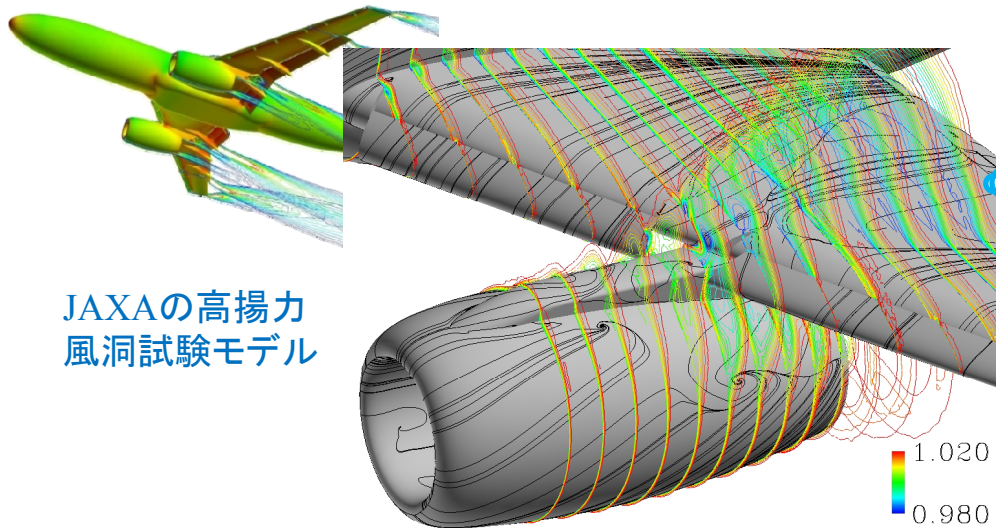


機体表面の圧力分布で色づけ（赤いところは
高圧、青は低圧）

空間を細かな網の目（格子）
に分割、その網の目の一つ
一つで流れを解いていく

JAXAで2005年に飛行試験された超
音速実験機打ち上げ形態周りの流れ
の計算。
この図は東北大のCFDソフト(TAS)と
スパコンで計算。

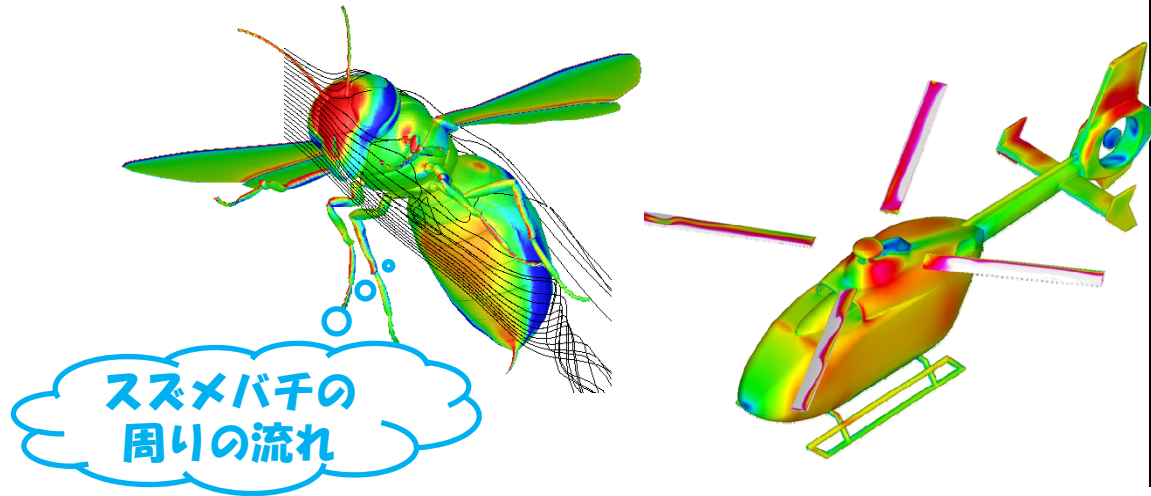
スパコンで流れを観る



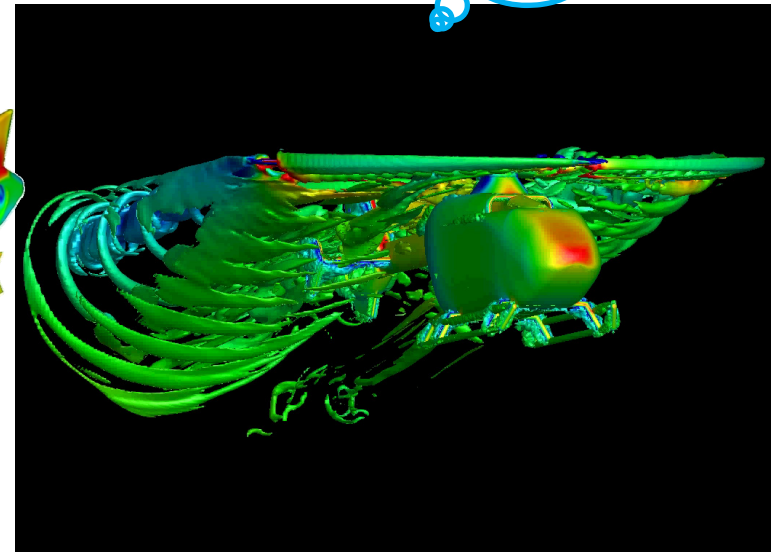
JAXAの高揚力
風洞試験モデル

着陸時はエンジン
ナセルのために翼
の上の流れが少し
剥がれている

ヘリの作る
渦の様子



スズメバチの
周りの流れ



JAXAと共同研究の成果

飛行機まわりの流れを正確に計算するには何百万、何千万
もの格子でナビエ・ストークス方程式を解かなくてはならず、
現在のスパコンでもまだ能力不足

スパコンで形を作る

東北大学サイバーサイエンスセンターのスパコンを使って行った次世代航空機の設計例



次世代BWB旅客機の設計
Pambagjo@Tohoku Univ.



低ソニックブーム次世代超音速機の設計
Sasaki@Tohoku Univ.



複葉超音速機の設計
Maruyama@Tohoku Univ.



静かな次世代旅客機の設計
Yoneta@Tohoku Univ.

**3次元空間を飛ぶ飛行機の形の自由度は大
そのなかから効率良く飛ぶための形を見つけるのにスパコンの威力は絶大**

MRJの設計にはスパコンが大活躍

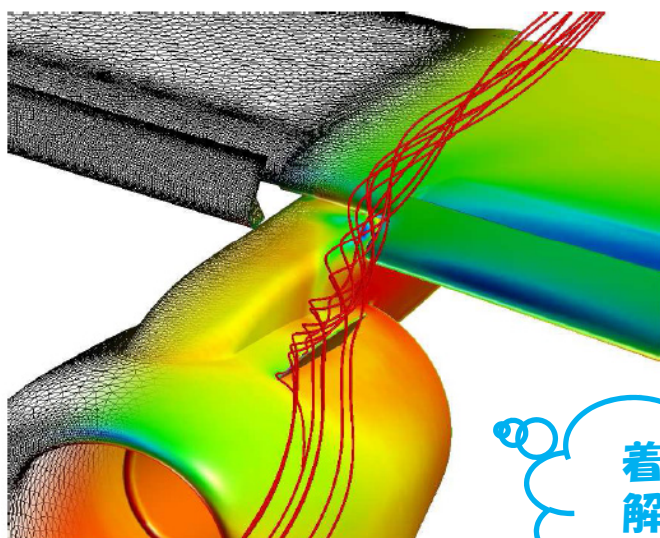
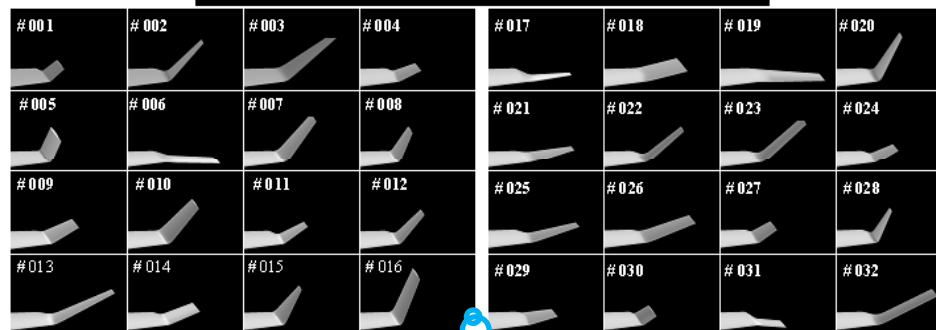
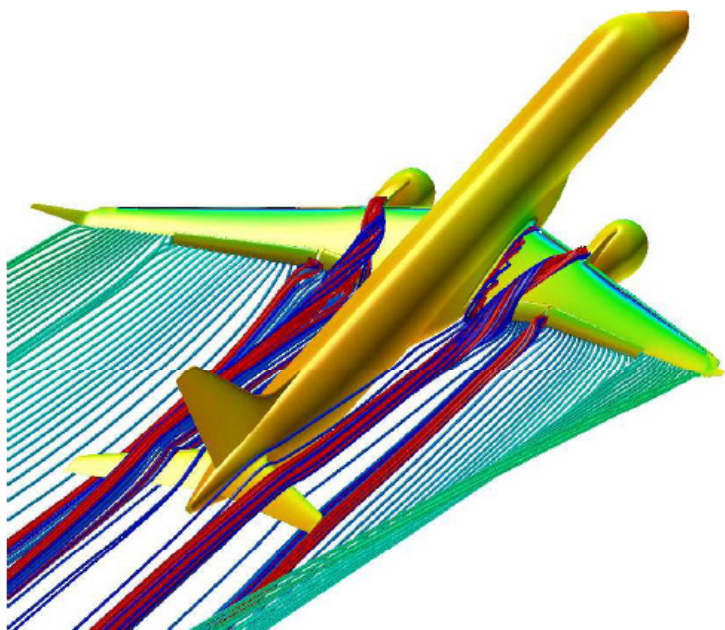
風洞



スパコン



MRJの設計にはスパコンが大活躍



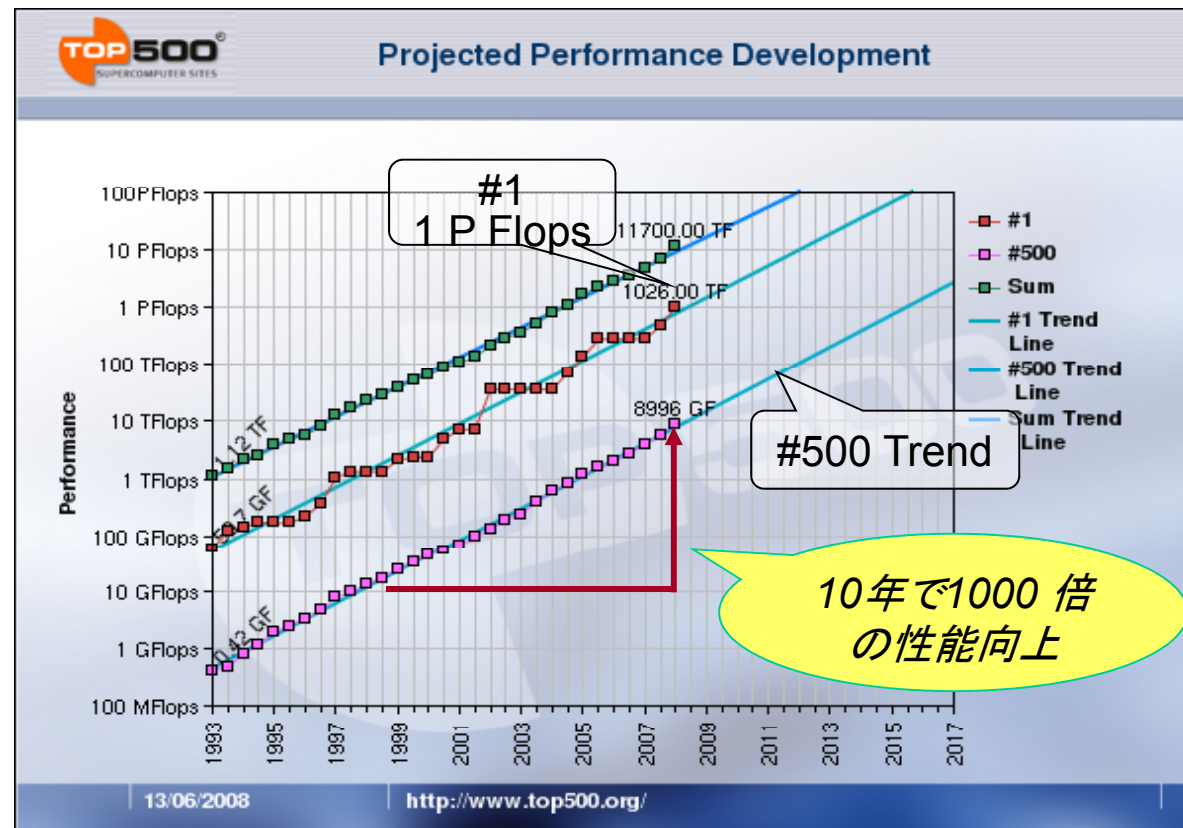
着陸形態の
解析と設計

空気抵抗を減らす
ウイングレット形
状の探索

これらの図は三菱航空機(株)から提供されたものです。
JAXAおよび東北大学のスパコンとCFDソフトが協力しています。

スパコンの発達と航空機開発への利用

Supercomputers
TOP500 (June 2008)



スパコン+CFDで風洞試験を減らしているボーイングの例
(NASA CP-2004-213028)

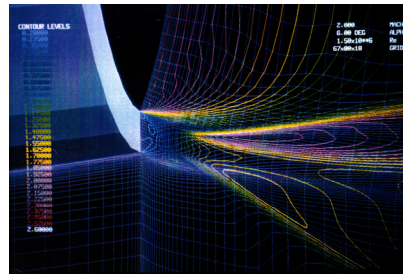
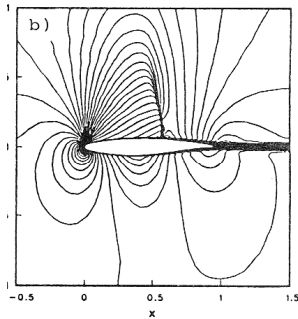
Boeing 767(1980年代の開発)・・・77個の翼を風洞で試験

Boeing 787(2000年代の開発)・・・5個の翼を風洞で試験

スパコンとCFDで世界を牽引してきたNASA

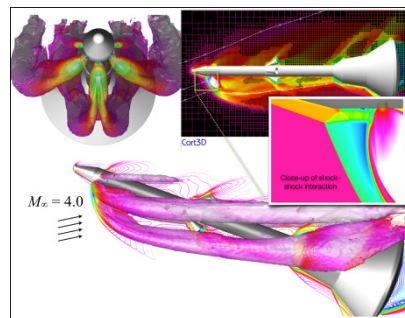
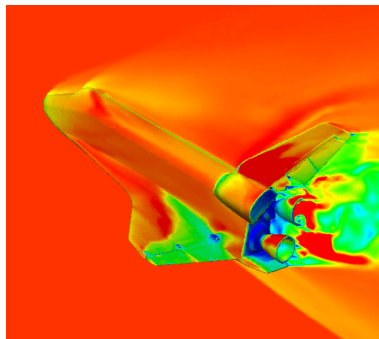
NASA Advanced Supercomputing (NAS) Division
at NASA Ames Research Center

1970年代後半からCFD研究で世界を牽引

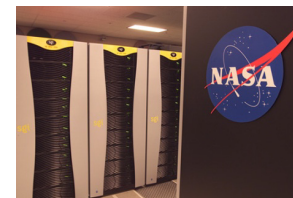


1980年代前半
Cyber205やCRAY-
X-MP等の当時の世界
最速スパコンを導入

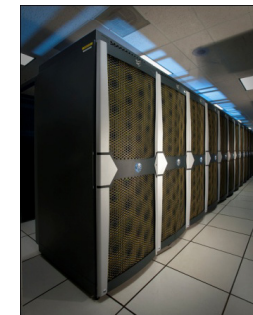
2000年代、航空宇宙分野の様々なところで CFDが活用されている



[http://people.nas.nasa.gov/~aftosmis/
cart3d/cart3d_images.html](http://people.nas.nasa.gov/~aftosmis/cart3d/cart3d_images.html)



2004.11
"Columbia" が
TOP500 で1位



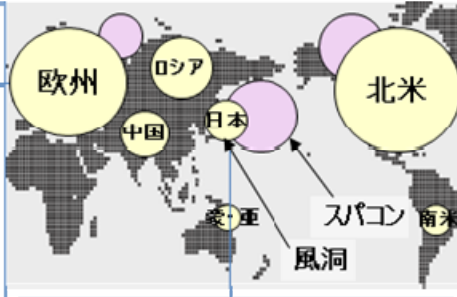
2009.11
"Pleiades" が
Top500 の6位

航空機開発に必須の風洞設備では、日本は欧米に大きく遅れる → スパコンで挽回！

欧州



European Transonic Windtunnel (ETW)
 仏・独・英・蘭が共同で整備・運用している欧州最先端の風洞。マッハ数0.15-1.3。測定部2.4m×2.0m、低温・加圧により実機飛行環境を模擬可能。

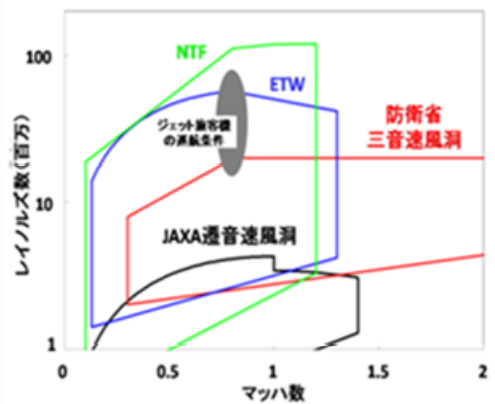


米国



AEDC 80ft x 120ft 亜音速風洞
 NASAエイムズ研究センター敷地内にある世界最大の風洞。マッハ数0-0.15、測定部2.4m×3.7m、駆動するファンの直径は4階建てビルの高さ。

日本航空宇宙学会
 「航空ビジョン」より
 (<http://www.jsass.or.jp/>)




日本



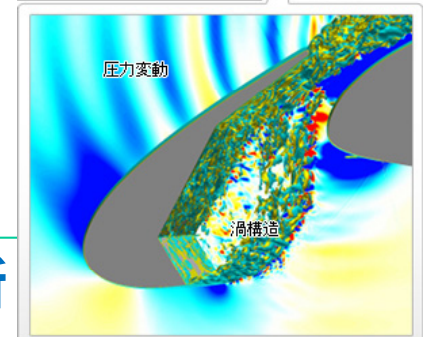
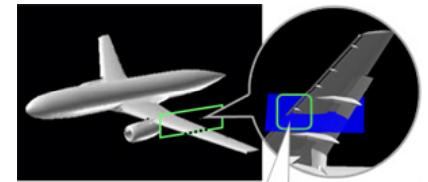
JAXA 2m x 2m 亜音速風洞
 マッハ数0.1-1.4、測定部2m x 2m。1960年の設立以来、我が国における全ての航空機開発に貢献。現在最もニーズの高い風洞で、フル稼働している。



防衛省 三音速風洞
 マッハ数0.3-4.0、測定部2m x 2m。2006年設立



National Transonic Facility (NTF)
 NASAラングレー研究センターにある米国最先端の風洞。マッハ数0.2-1.2、測定部2.5m x 2.5m、低温・加圧により実機飛行環境を模擬可能。

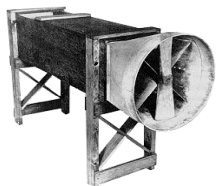
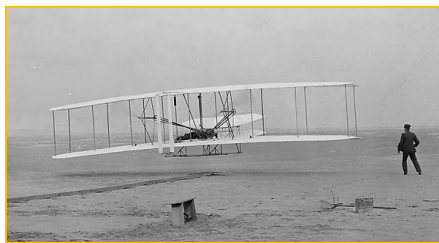


JAXAでは、その前身の航空宇宙技術研究所のときからスパコンとCFDで活躍、90年代にはスパコン性能で世界を牽引

JAXA航空プログラムグループの空力騒音解析

航空宇宙における次世代スパコンへの期待

- 風洞試験の代わりを務めつつあるスパコン(Digital Wind Tunnel)
 - スパコンの性能向上で静かでCO₂排気の少ない航空機開発を加速
- スパコンの更なる高性能化を見込んで、スパコン内で飛行試験をするDigital Flightの研究も始まる
 - 安全な航空機や革新航空機の開発を促進
- 開発経験の少ない日本で高性能な旅客機MRJを生み出すことに、スパコンとCFDが大きな役割
- 航空宇宙の設備で欧米に遅れる日本にとって、スパコンは極めて重要な開発ツール



100年前は風洞で開発



三菱航空機(株)提供



現在は風洞とスパコンで開発



将来はスパコン
で革新航空機!