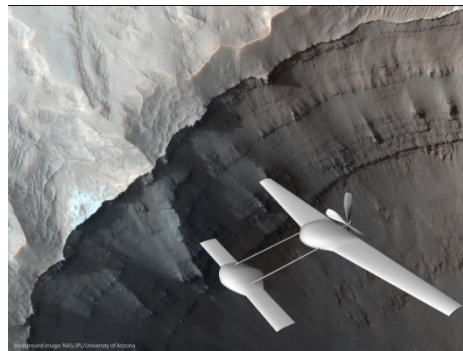


CFD屋の独い言

—CFD研究の変化と後処理・可視化への期待—



宇宙航空研究開発機構 宇宙科学研究所

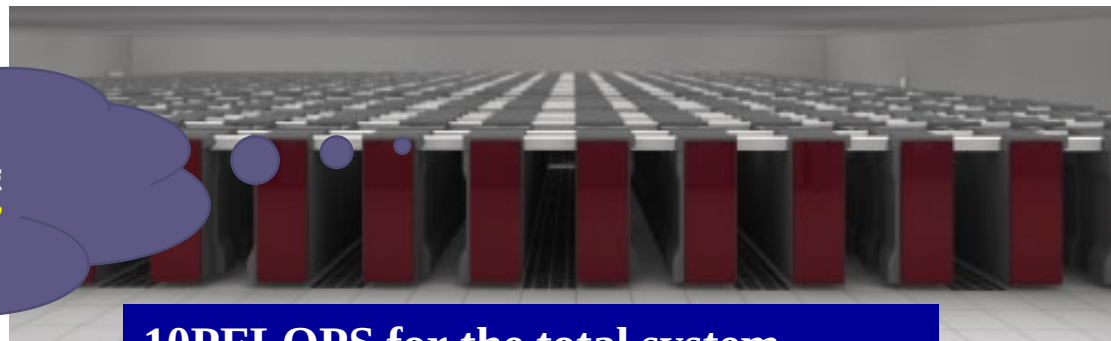
藤井 孝藏

話の概要

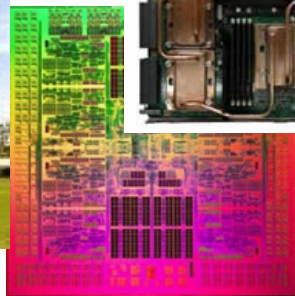
- **次世代スーパーコンピュータ「京」の利用**
 - ー 戦略分野4内での私たちの提案
 - ー 準備段階での成果
- **CFDの動向変化**
 - ー 30年前のメッセージと現在
 - ー 今後起こるであろうこと
- **CFD動向を踏まえた可視化への期待**
 - ー 可視化に関する独り言
 - ー 期待していること
- **まとめ**

次世代スーパーコンピュータ「京」

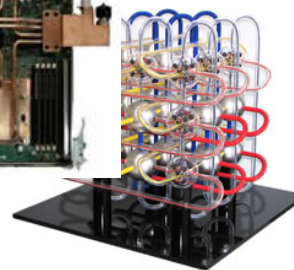
11-02-2011プレス発表
864筐体(CPU数88,128個)を接続した
最終構成にてLINPACK性能10.51ペタ
フロップスを達成. 実行効率は93.2%.



10PFLOPS for the total system



128GF/1CPU

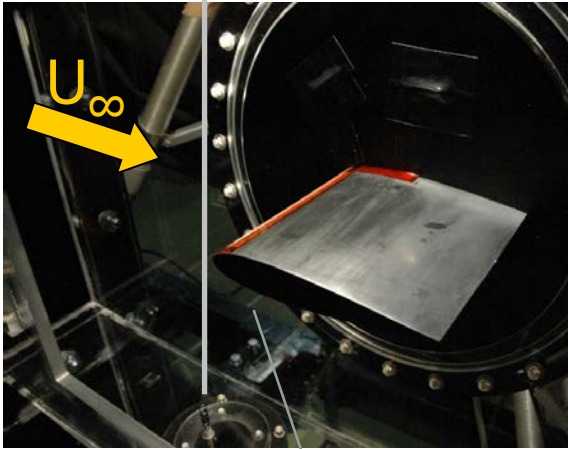


1 rack 12TFLOPS

<http://pr.fujitsu.com/jp/news/2010/09/28.html>

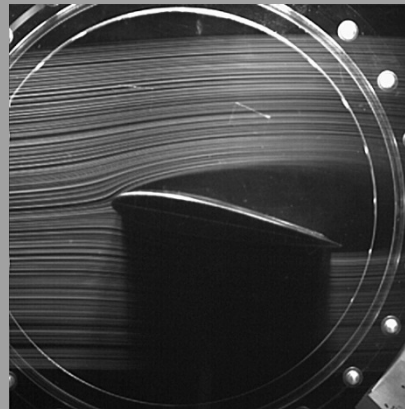
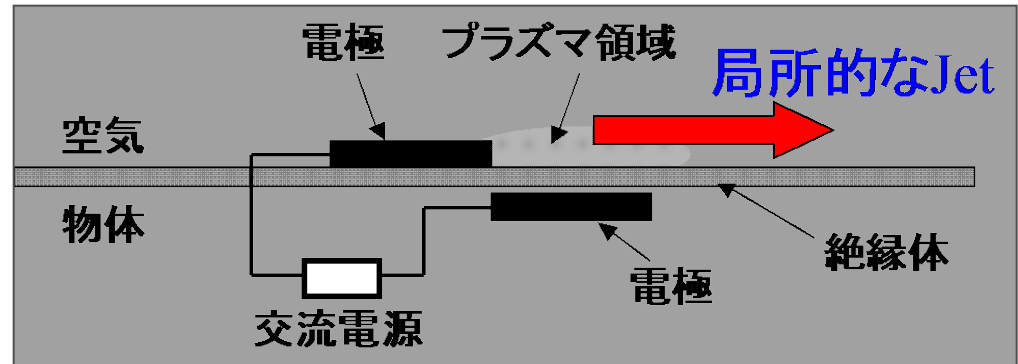
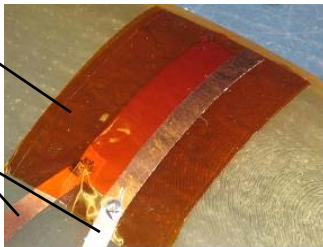
突然ですが...

空力制御デバイスー DBD プラズマアクチュエータ

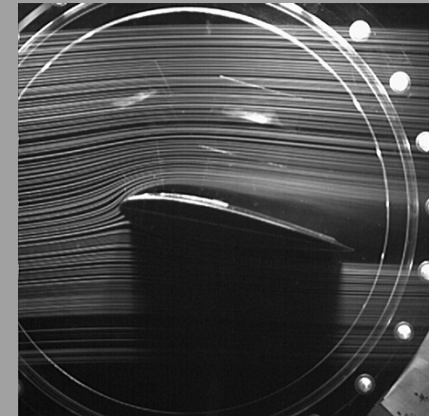


誘電体

電極



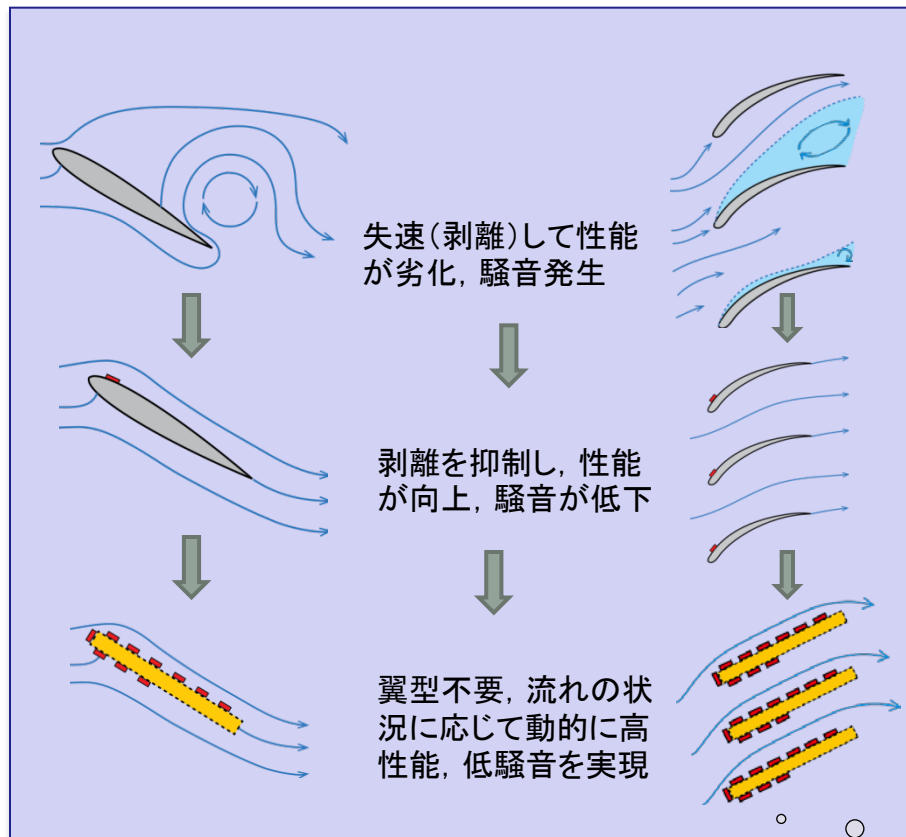
DBD OFF



DBD ON

● 計算科学による空気力学設計の限界突破

「形状を工夫する」空力設計から「動的適応型」の空力設計へ

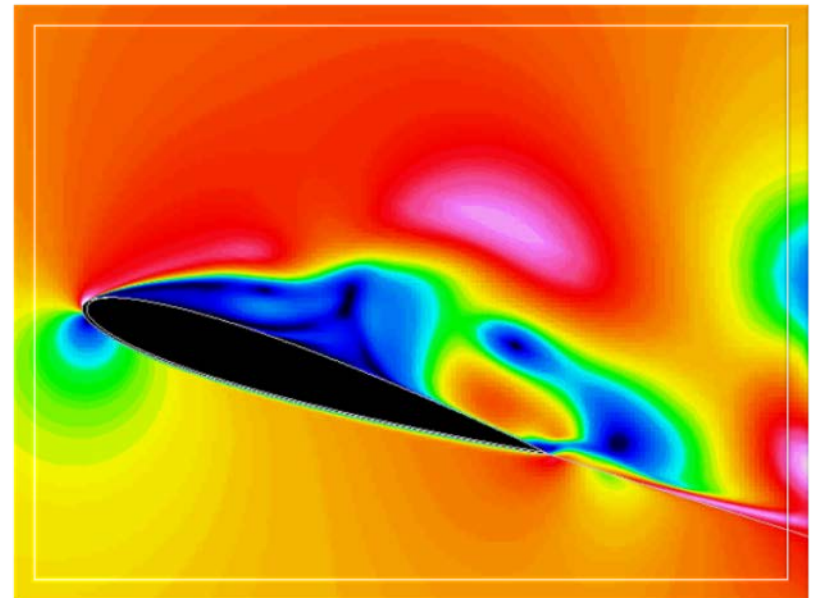
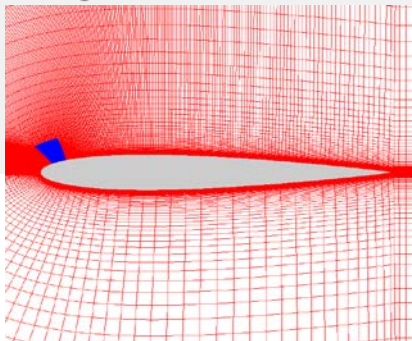
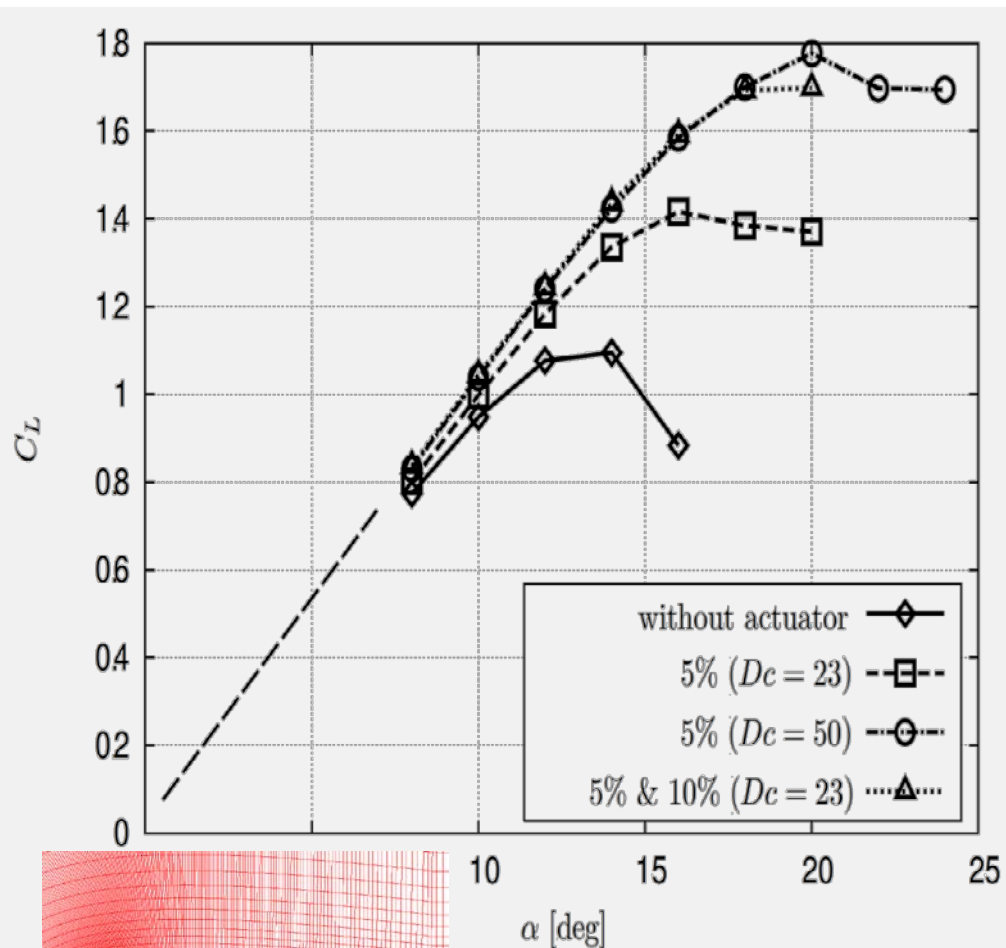


動的空力制御デバイス
軽量
低電力消費

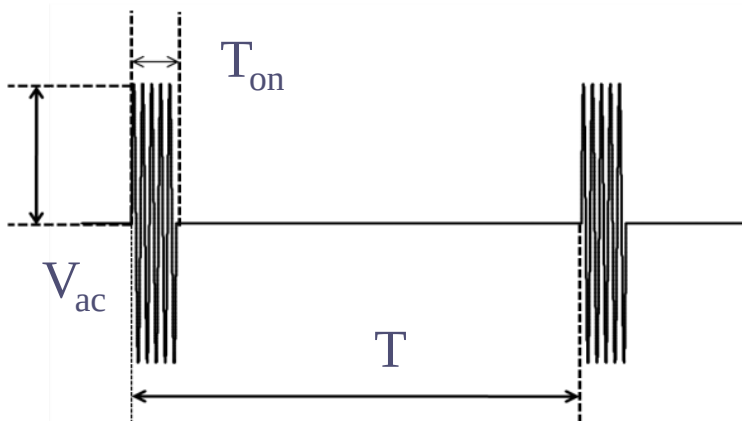
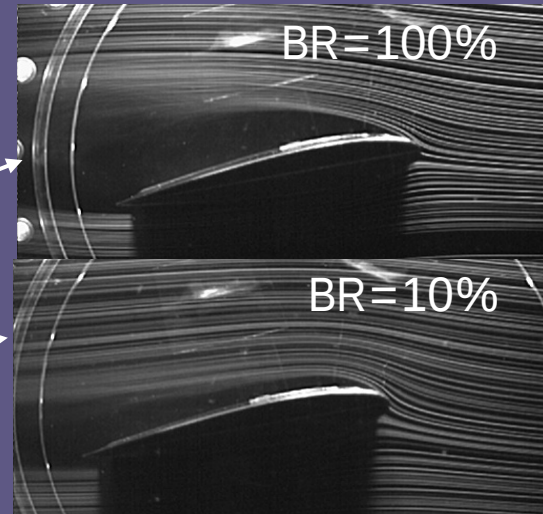
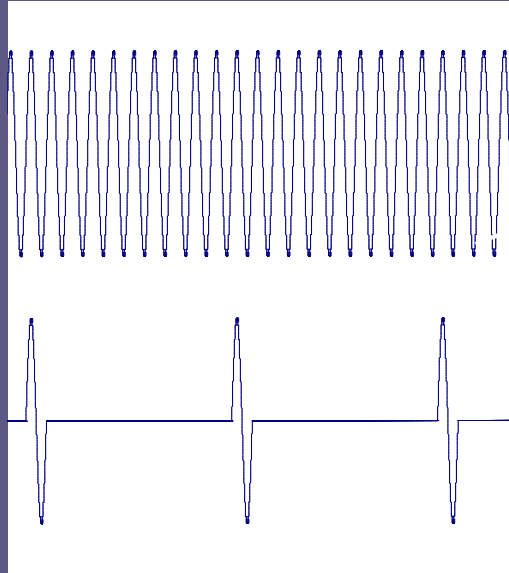
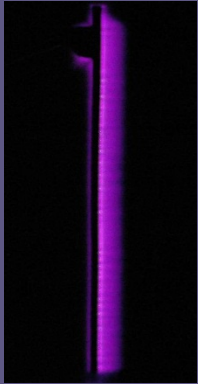


流線型はもう不要！

2次元RANSによる結果：CL- α



DBD プラズマアクチュエータ -Burst Mode



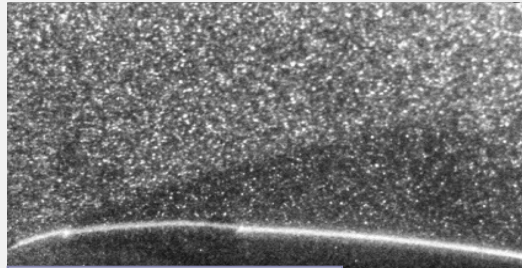
$$f_{base} = \frac{n}{T_{on}}$$

$$BR = \frac{T_{on}}{T}$$

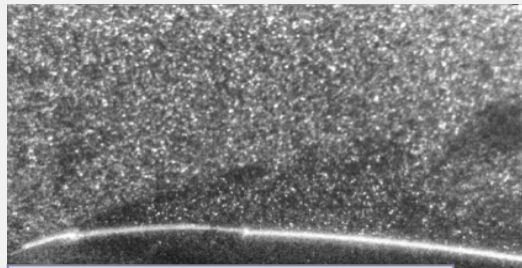
$$f^+ = \frac{1}{T} = \frac{f_{base} BR}{n}$$

$$F^+ = \frac{f^+ c}{u_\infty}$$

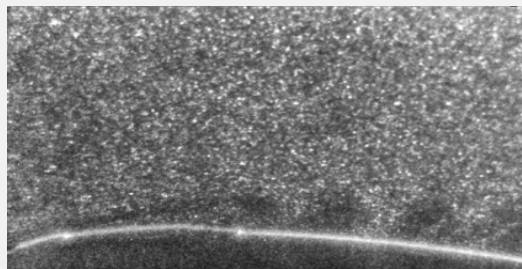
iLES計算による瞬間流れ場



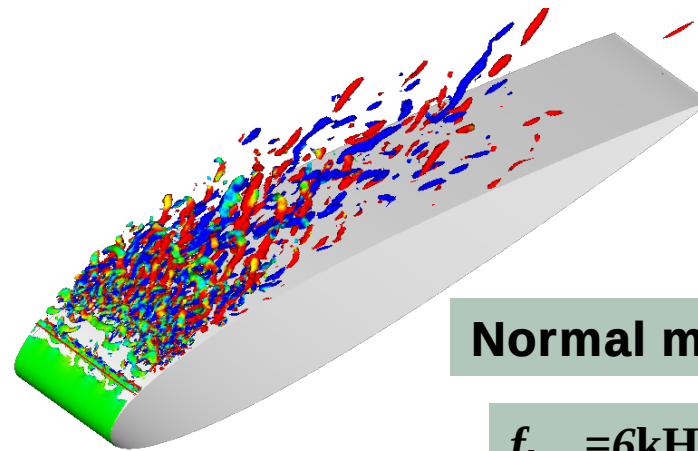
DBD OFF



Normal Mode



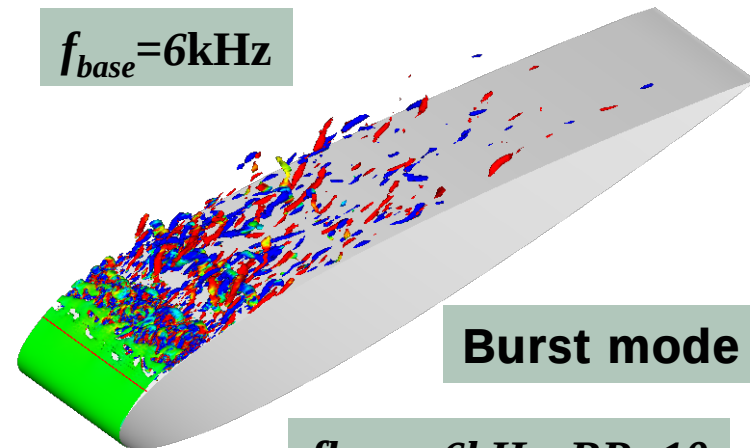
Burst Mode



Normal mode

$$f_{base}=6\text{kHz}$$

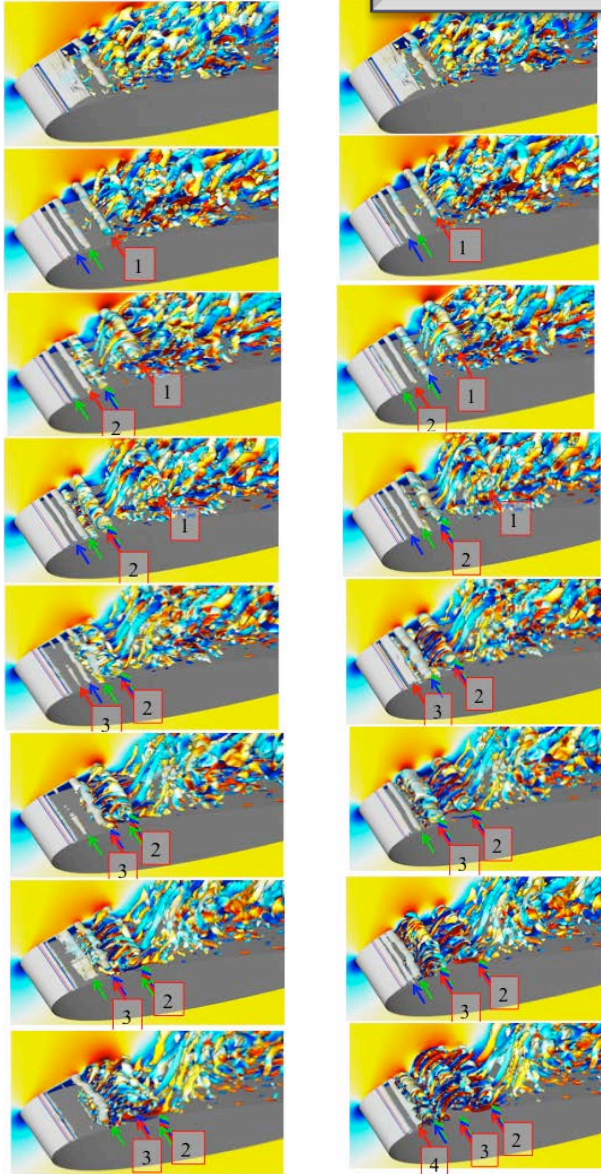
($\alpha=14$ deg.)



Burst mode

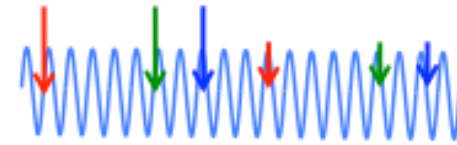
$$f_{base}=6\text{kHz}, BR=10$$

流れ構造時間変化の詳細

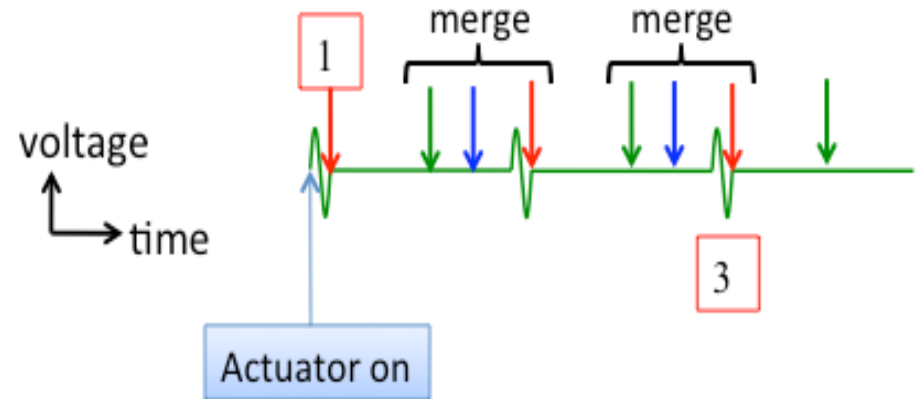


(a) Normal mode

(b) Burst mode



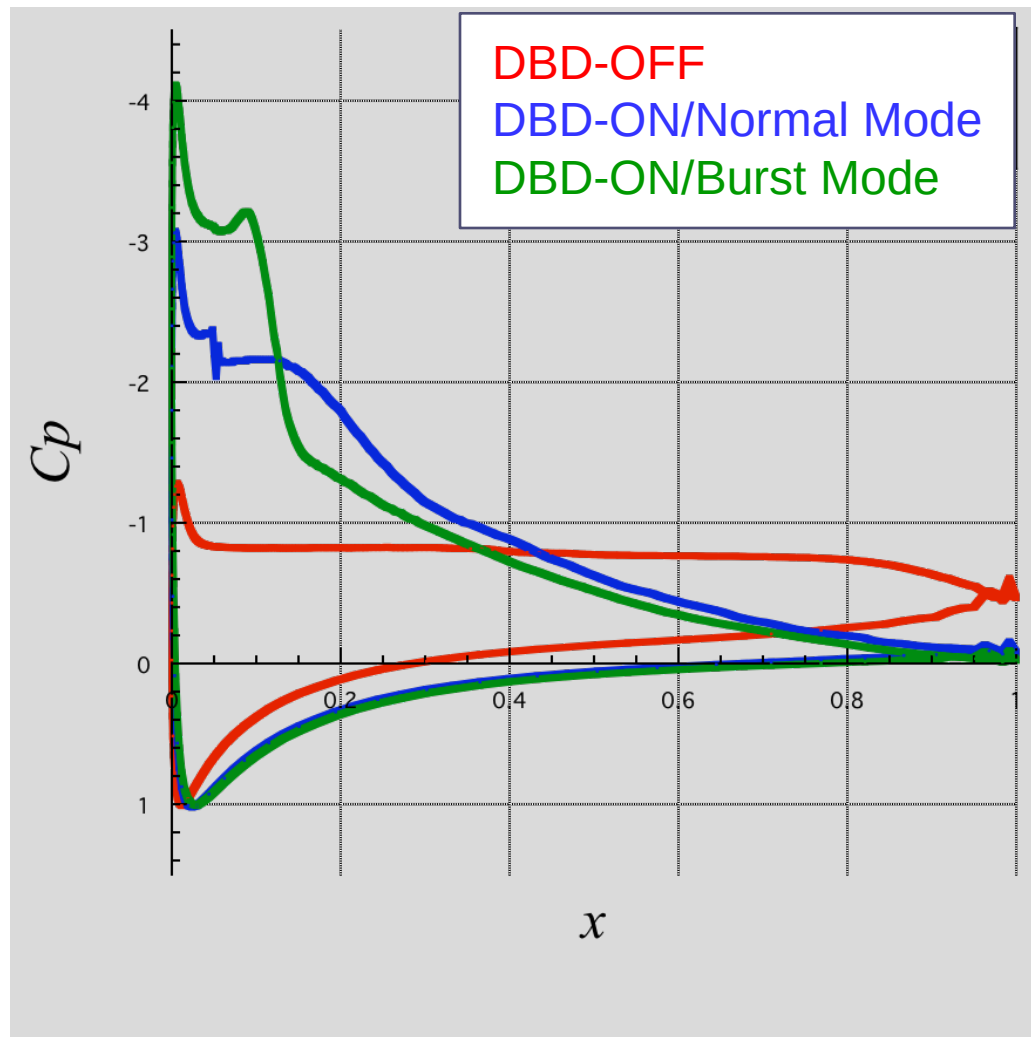
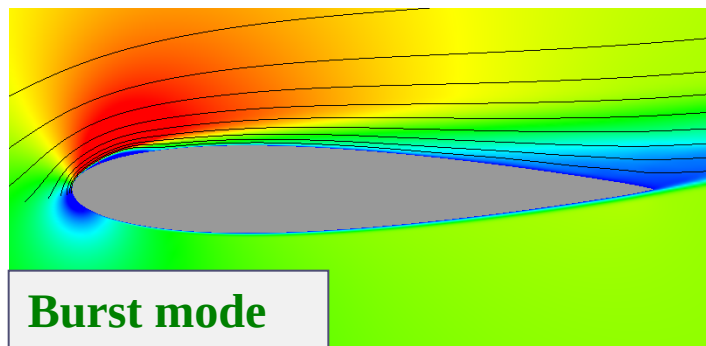
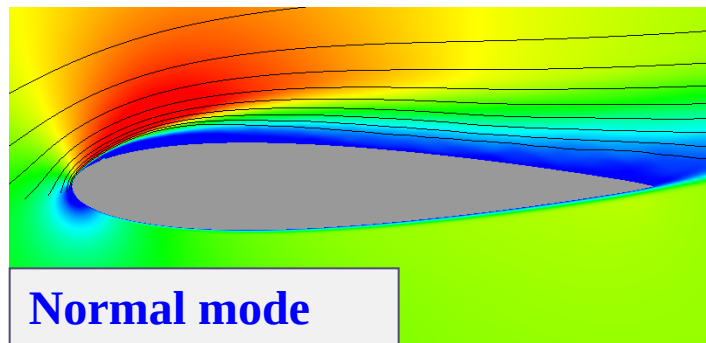
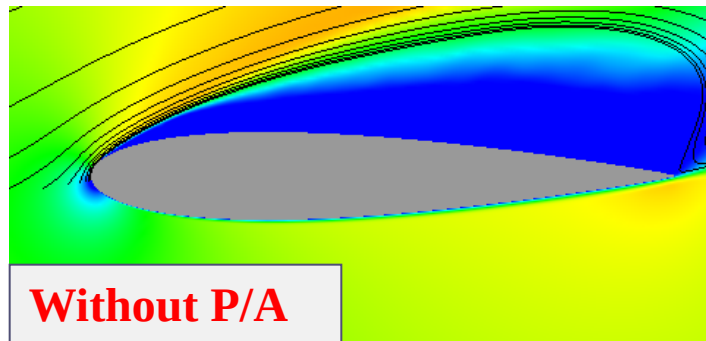
(a) Normal mode



(b) Burst mode

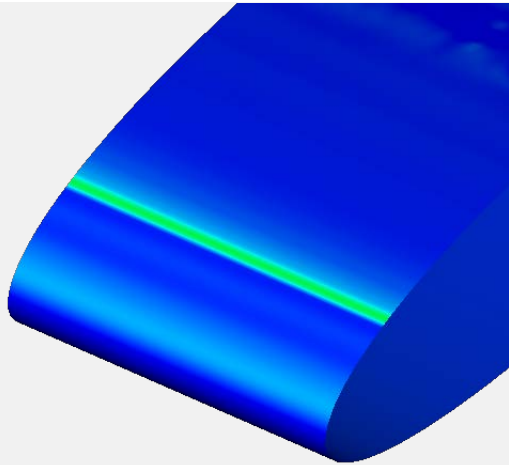
$$F^+ = \frac{f^+ c}{u_\infty}$$

時間平均流れ場と翼面上圧力分布

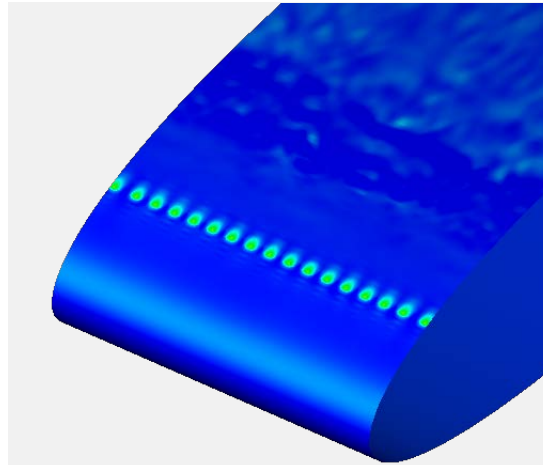


($\alpha=14$ deg.)

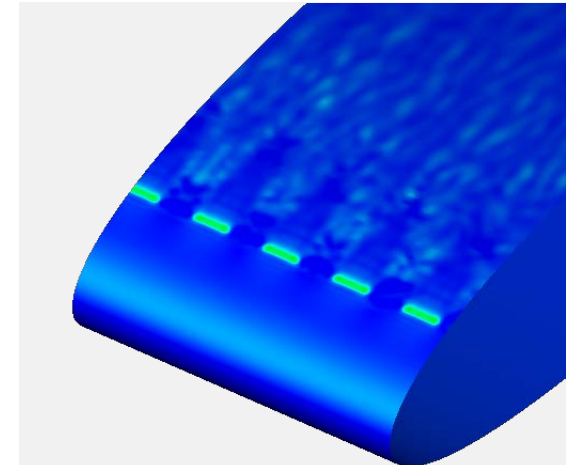
仮想実験: intermittent layout



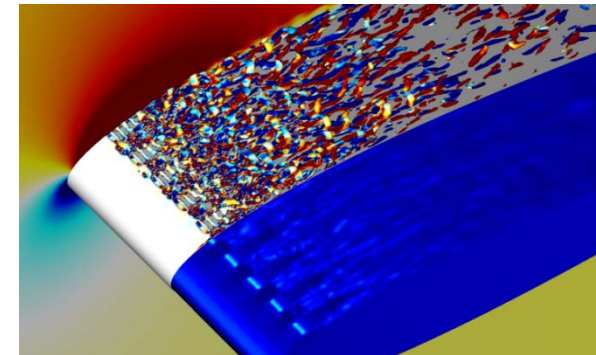
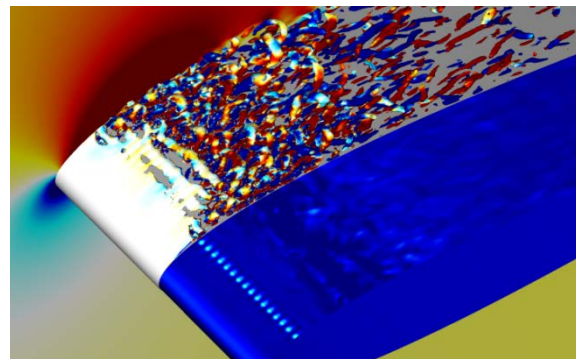
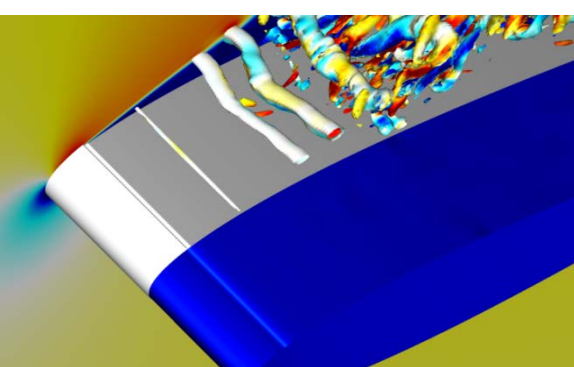
Standard actuator



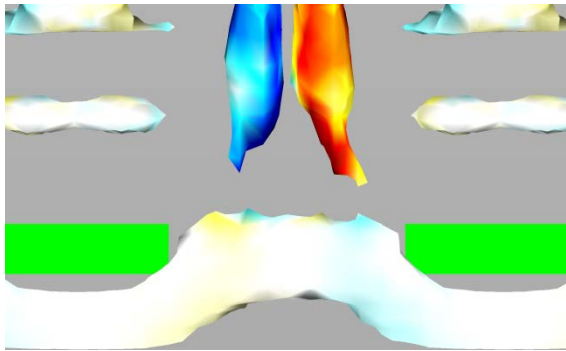
Discrete actuator(0.6%)



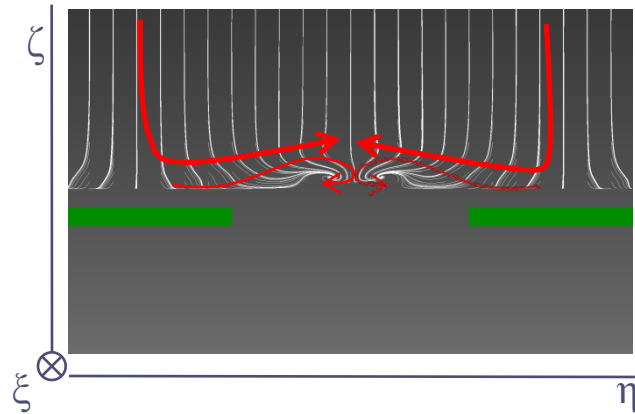
Discrete actuator(2.2%)



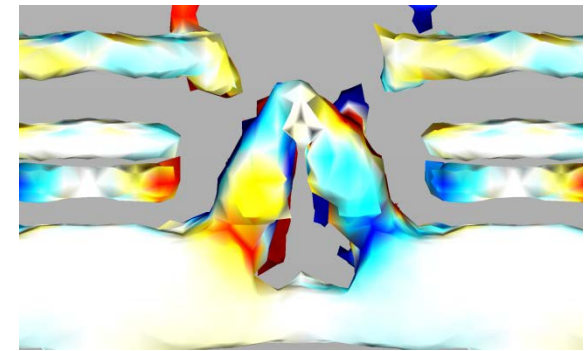
アクチュエータ間に作られる流れ構造



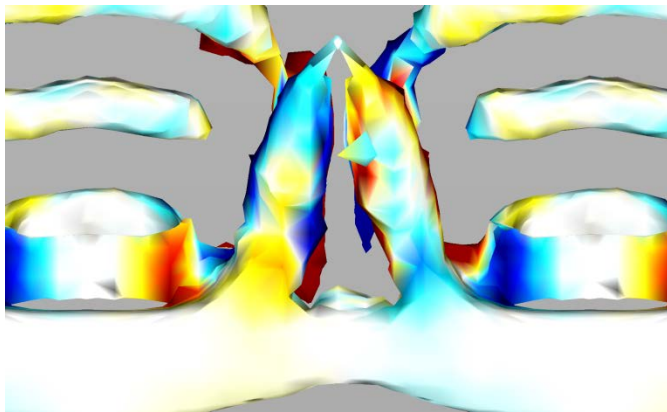
① 2D spanwise vortex



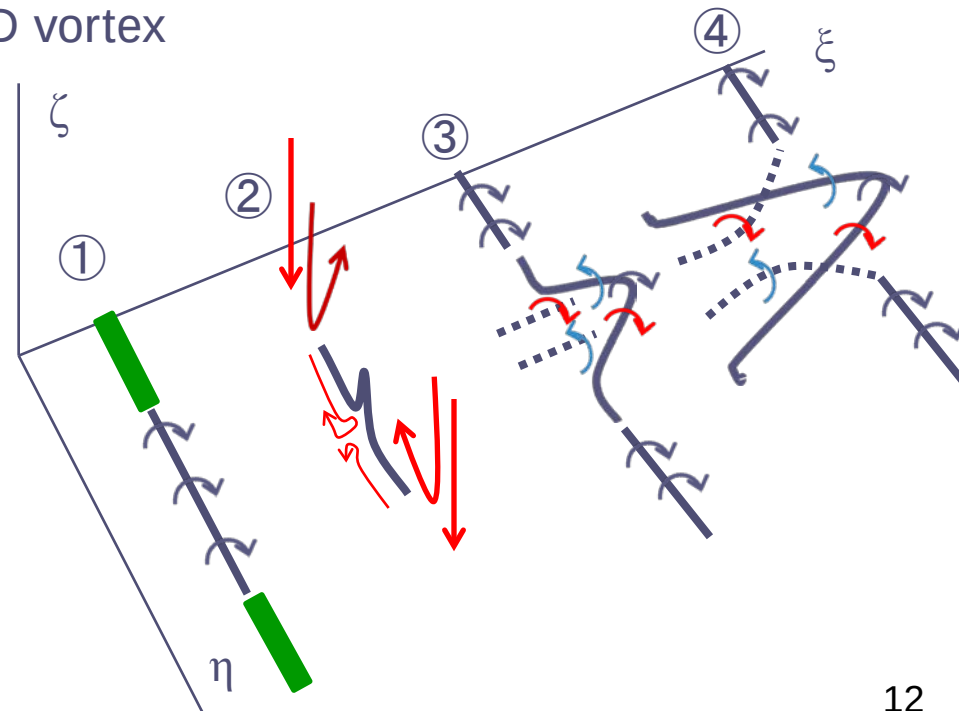
② longitudinal vortices under the 2D vortex



③ hairpin-like vortices



④ Interaction with 2D spanwise vortex



Dean Chapman のメッセージ(1977)

1977年にNASA Ames研究所でワークショップ“航空宇宙CFDに必要な計算機性能”が開催され、主催者の一人であるスタンフォード大学の Dean Chapman教授は次のように述べている。

航空宇宙のCFDを推進すべき理由は以下の2つであり、それは今後何十年変わらないだろう。

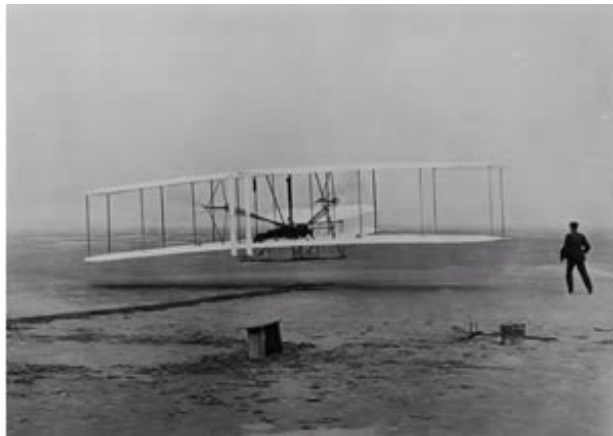
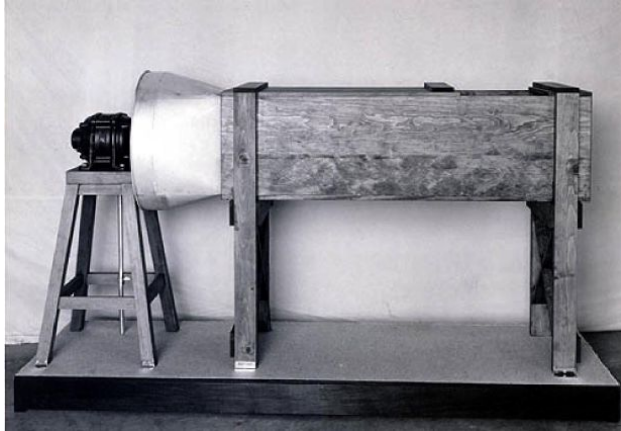
- | | |
|----------------|-----------|
| (1) 新たな重要な技術能力 | (現象理解の道具) |
| (2) 経済性 | (試験の代替) |

さらに以下のような補足がある。

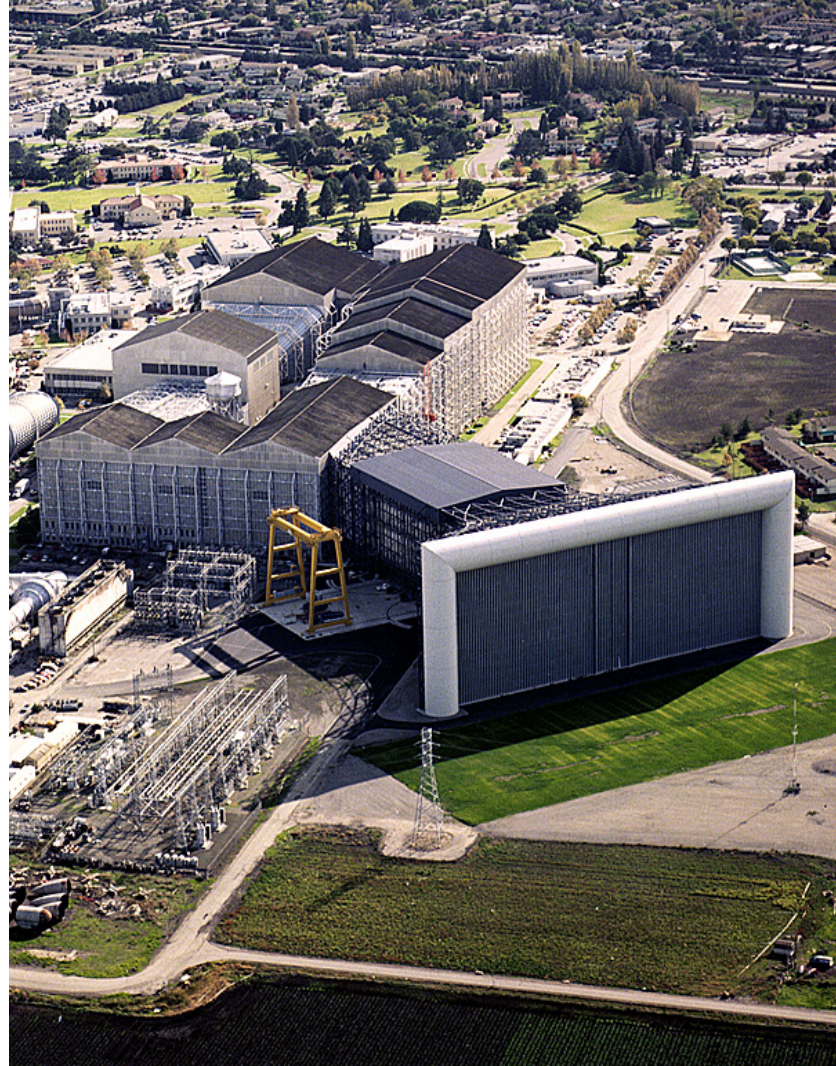
風洞試験には、**スケール効果**、風洞壁干渉、空力変形などたくさんの制約がある。CFDにも、計算機のスピード、メモリー容量、ディスク容量などの制約があるが、技術動向はそれらの制約が急速に解決しつつあることを示している。

世界の風洞

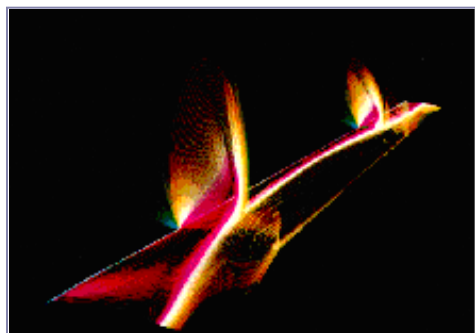
ライト兄弟が使った風洞



世界最大の風洞 (NASA Ames R. C.)



25年前の世界最速スーパーコンピュータ



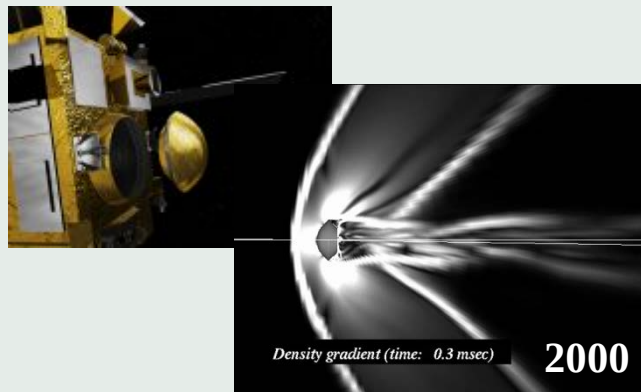
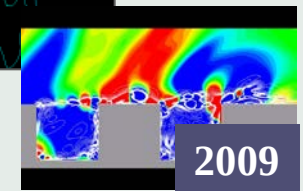
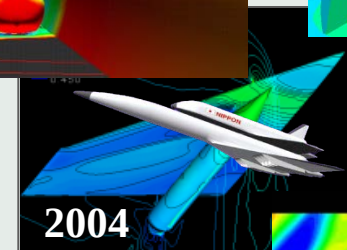
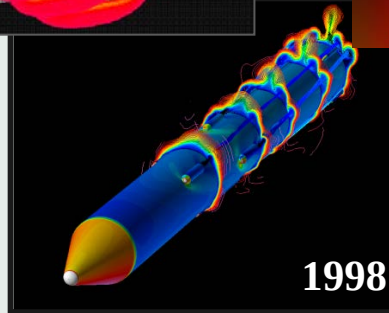
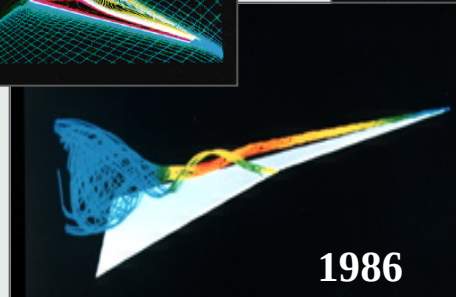
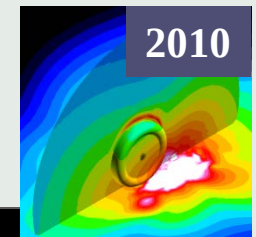
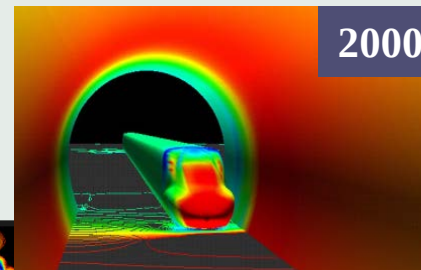
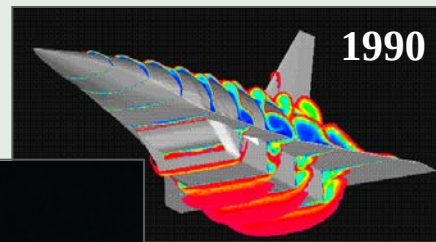
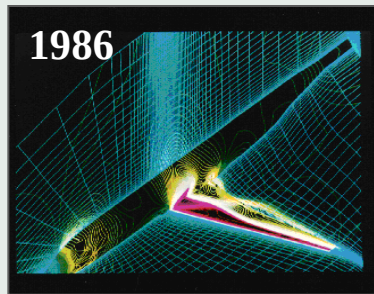
1984 年時点で世界最高速のスパコン
1 GFLOPS, 256MB メモリー

3-D Navier-Stokes with 200,000 grid points
2 hours computer time for steady state solution

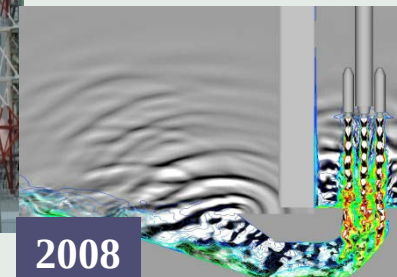
Computer time/grid/iteration

1983	CRAY 1	86.0 microsec
1983	FJT M380	272.0 microrsec
<u>1985</u>	<u>FJT VP400</u>	<u>6.7 microsec</u>
1986	CRAY 2	20.0 micosec
2000	Note Pen III (700MHz)	25.0 microsec
<u>2007</u>	<u>Pen Xeon (3.2GHz)</u>	<u>4.1 microsec</u>

これまでの計算例



はやぶさカプセル



HIIB 射点設計

ICAS 2004における私のメッセージ

30年のCFDを振り返って

- ・ CFDはこの30年発展し、産業界でも不可欠の道具となった。ただ、本質的なアプローチは変わっておらず、未だに1977年にChapmanが指摘した 優位性を発揮できないでいる。

延長線上の努力と全く新しい努力がともに必要

➤ 延長線上の努力

- ・ 流れは本質的に非定常。この特性を捉えることがより正確に流れを捉えることに不可欠。LES/RANSハイブリッド法は、今後何年かに企業でも大いに利用される道具となるだろう。

➤ 革新につながる努力

- ・ 低一高までのレイノルズ数域をシームレスに評価する手法
- ・ 詳細設計ではなく、概念設計の段階でCFDを積極的に利用する。

鍵となる技術

変化をもたらす3つの基礎技術

➤ 演算能力(スーパーコンピュータ)

先端計算機は10年で1000倍程度の速度向上を維持してきた

今の単体PCは1985年世界最高速のスーパーコンピュータより数倍速い

➤ LESおよびLESハイブリッド法

局時流動(小さな時間・空間スケールの)現象が平均場も決める.

– RANSシミュレーションの限界)

これを捉えることがスケール効果評価の鍵となる

➤ スペクトル的な高次精度手法

最近の手法は, 既存手法に比べて各方向数倍程度の空間解像度を実現

不連続現象への対応手法が課題だが, 対処方法の提案はある

今後の展望 一挑戦への復帰

➤ スケール効果を評価する(試験を越える)

低いレイノルズ数から高いレイノルズ数まで連続的に流れの領域を捉える道具として位置づけることで更なるシミュレーションの強みを発揮する。

➤ 概念設計に活用する(CFD本来の力を発揮する)

課題解決や詳細な形状改善などではなく、イノベーション創造手段としてのシミュレーションが期待される。

火星航空機の概念設計 - 火星探査航空機WGの活動から

火星大気

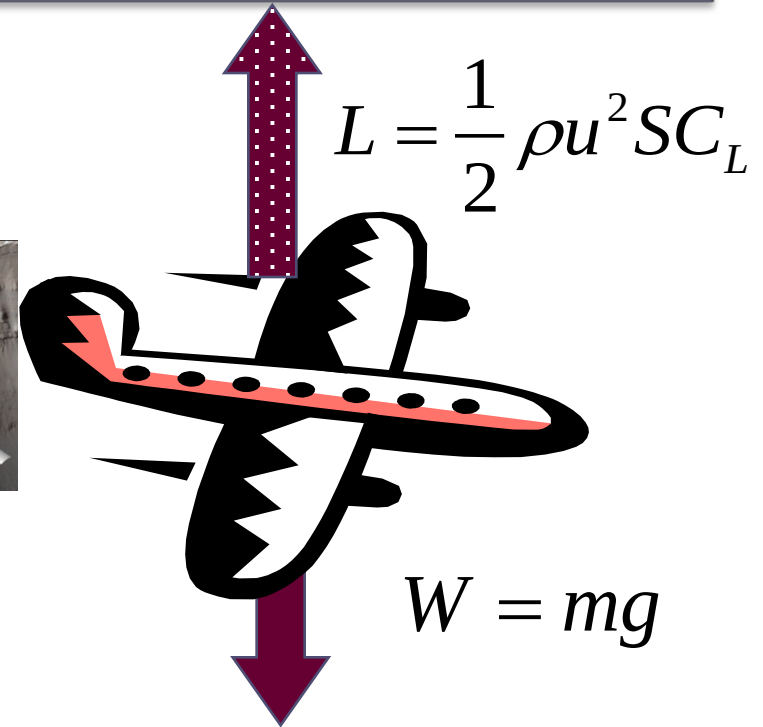
気体密度: 地球の1/100

重力加速度: 地球の1/3

音速: 地球の2/3

気体種: CO₂

突風の存在: 20m/s



揚力を如何にして維持するか？

揚力

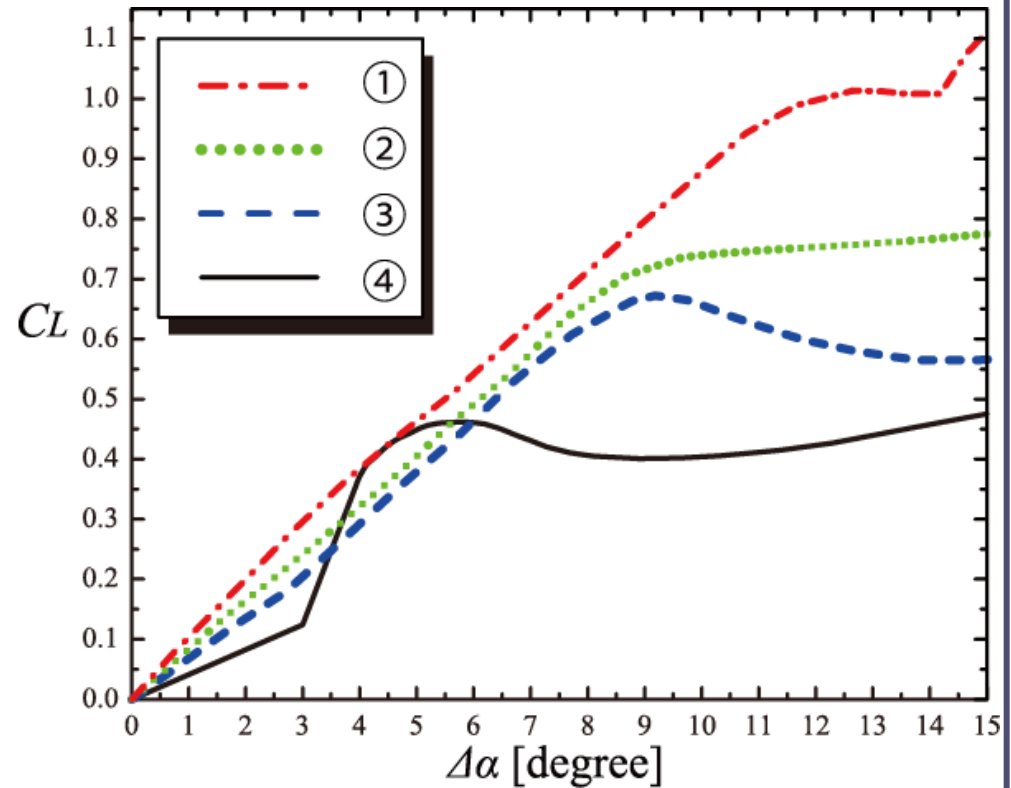
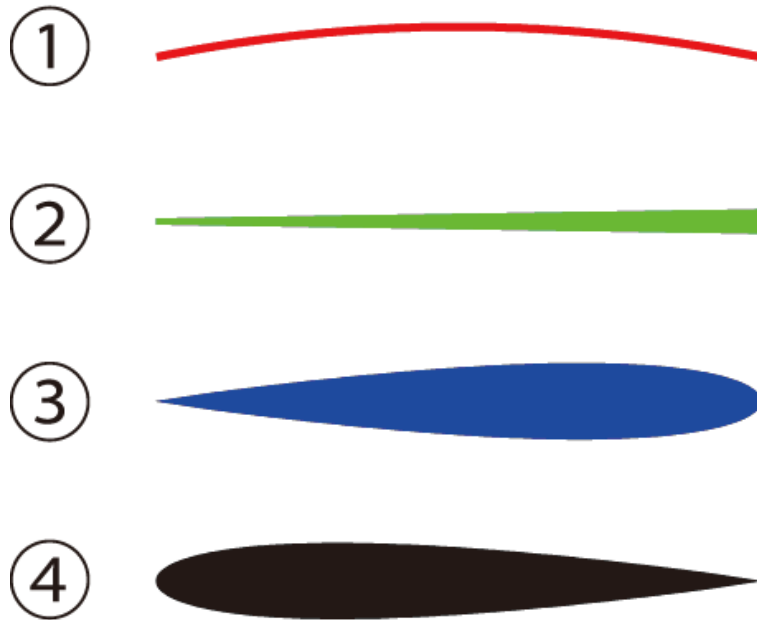
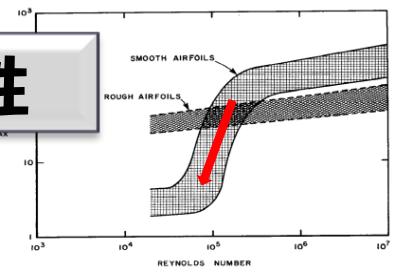
$$L = \frac{1}{2} \rho u^2 S C_L$$

ラジコン飛行機を火星で飛ばすには

- ・離陸重量を50gに
- ・巡航速度を171m/s(M=0.66)に
- ・翼幅を46mに
- ・33倍の揚力係数をもつ翼形状を開発

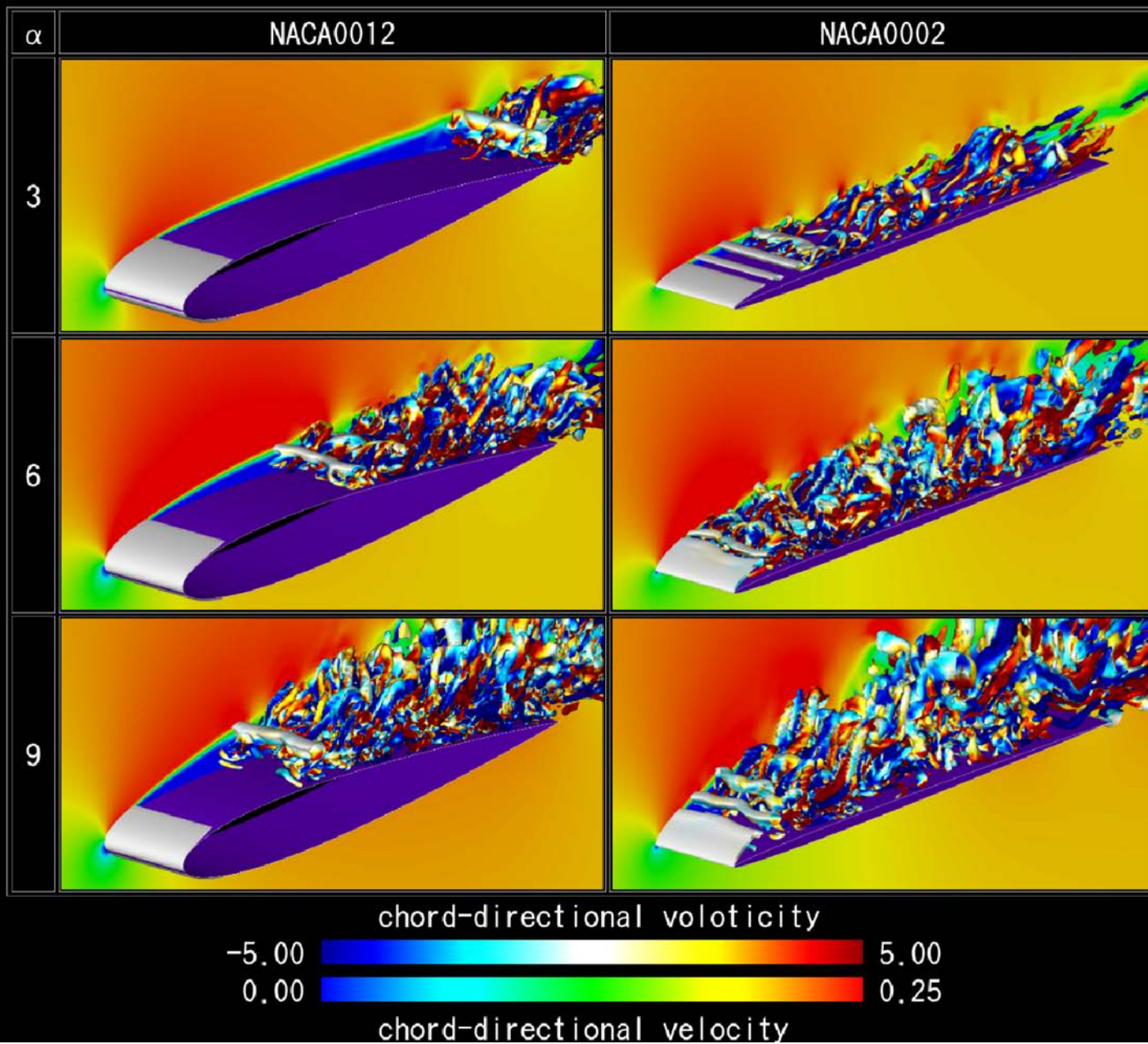
加えて、低レイノルズ数流れという課題がある。

低レイノルズ数における翼型の揚力特性



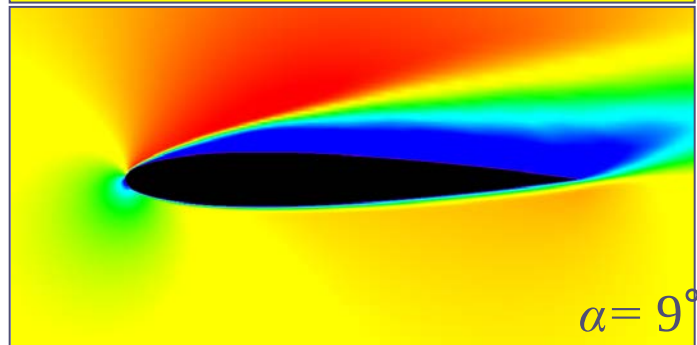
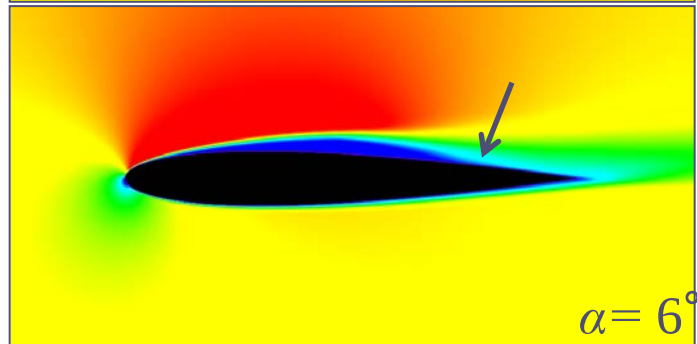
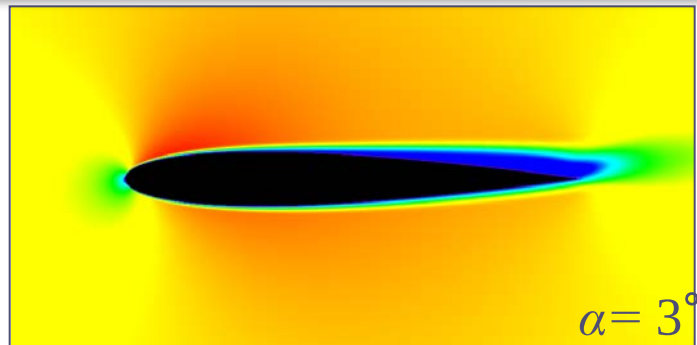
B.V. Laitone , Experiment : $Re=2.07 \times 10^4$ AIAA Journal, 1996

- 低レイノルズ数では薄翼が良い？
- 層流剥離泡はどのように存在するのか？

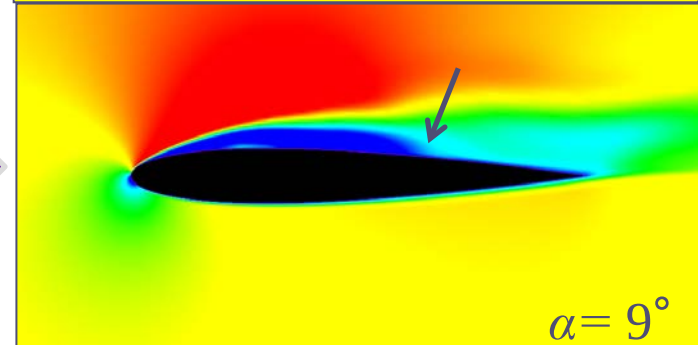
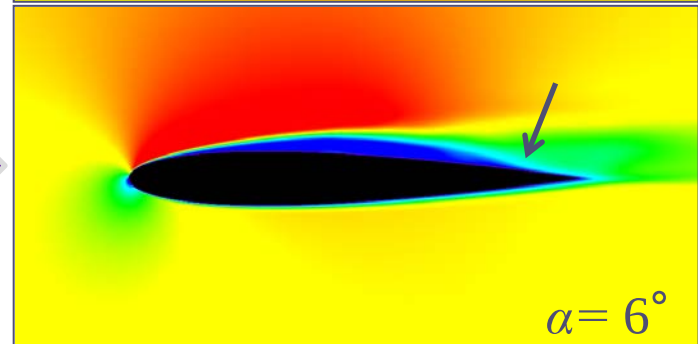
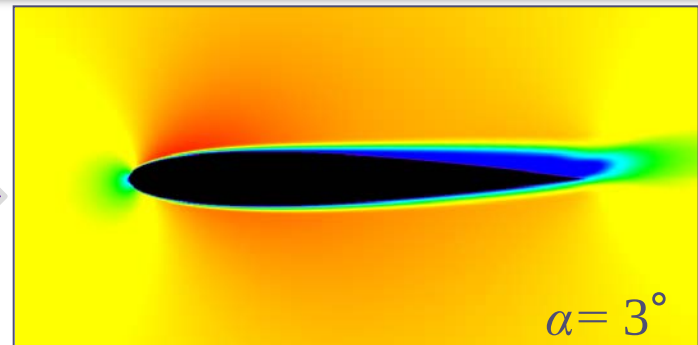


LESと2DRANSの比較:厚翼(NACA0012)

3D LES(Time and Span-wise averaged)



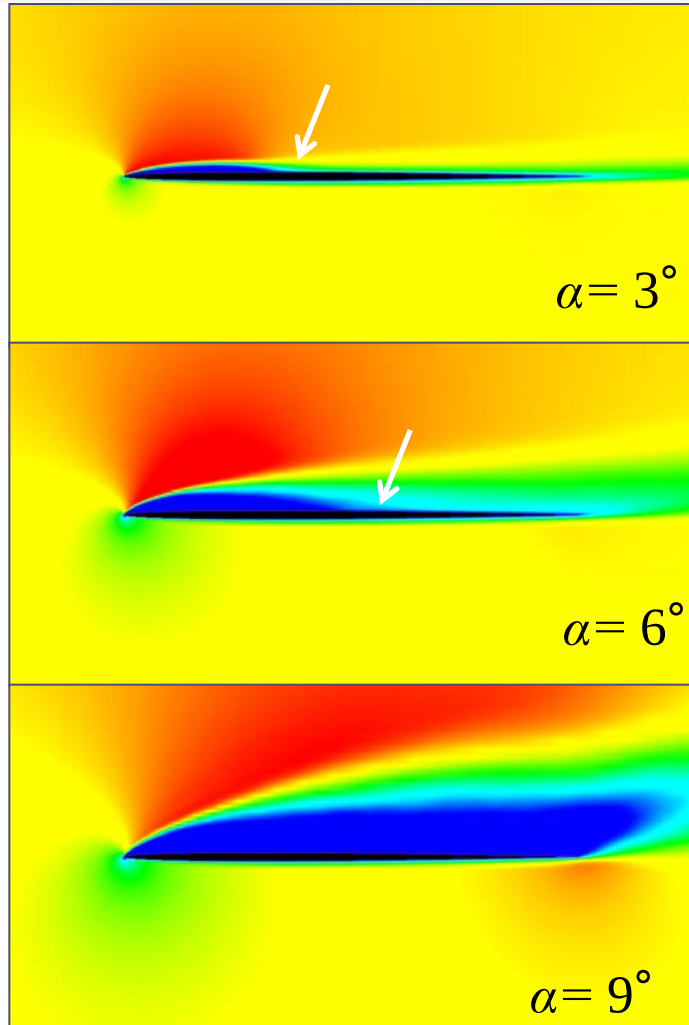
2D RANS(Time averaged)



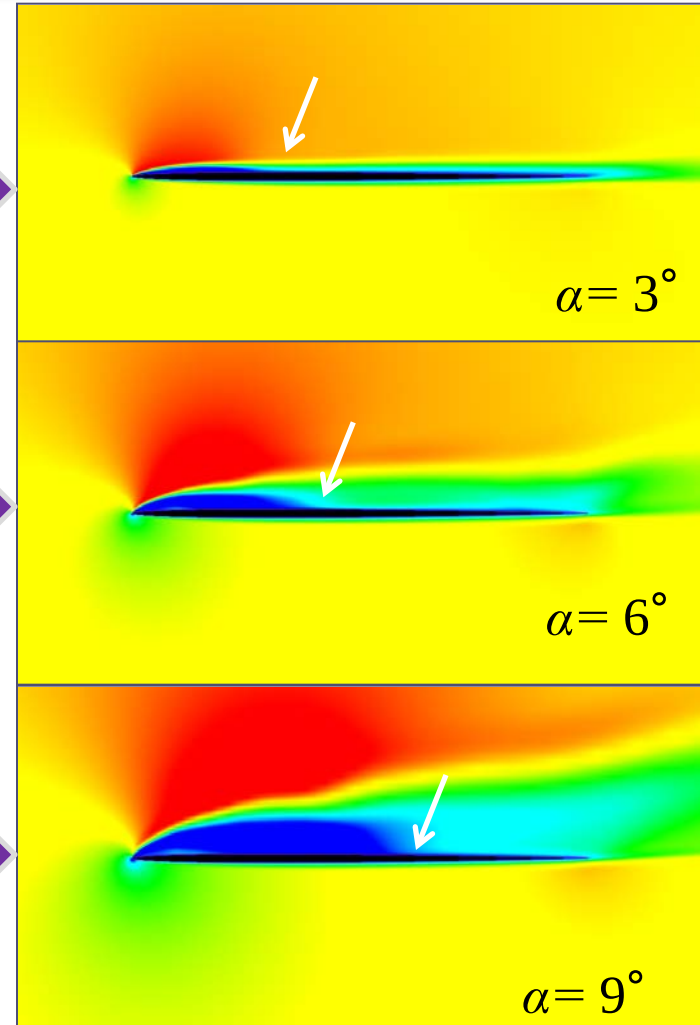
高迎角の大規模な前縁剥離では 2D RANS は非物理的な解を出す.

LESと2DRANSの比較: 薄翼(NACA0002)

3D LES(Time and Span-wise averaged)



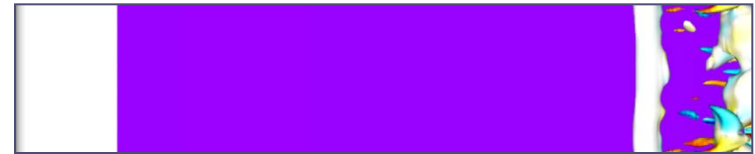
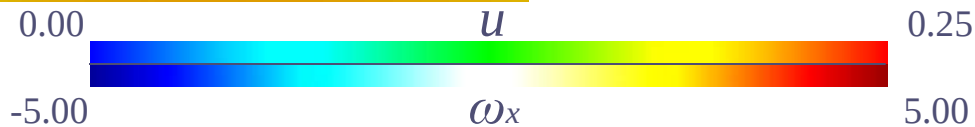
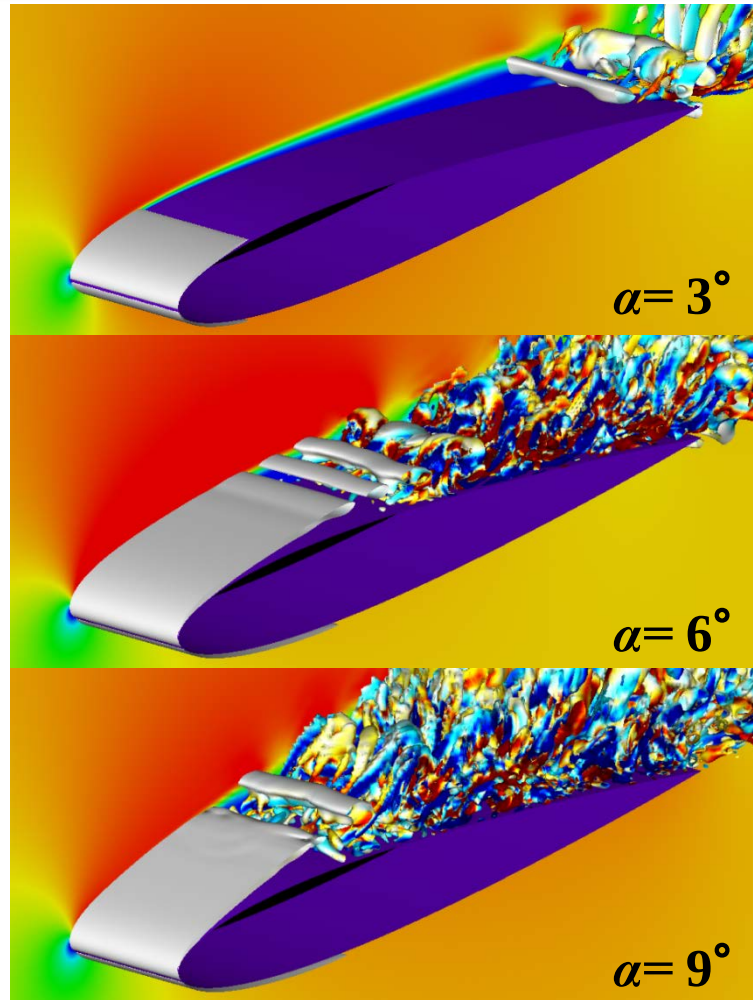
2D RANS(Time averaged)



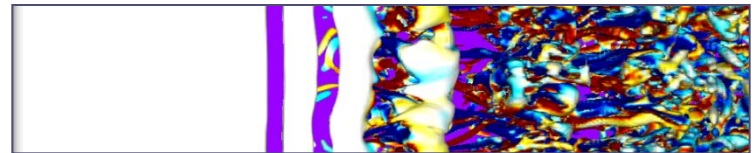
小規模の剥離であれば, RANSでもおよその予測ができる。

LESシミュレーションでの瞬間場

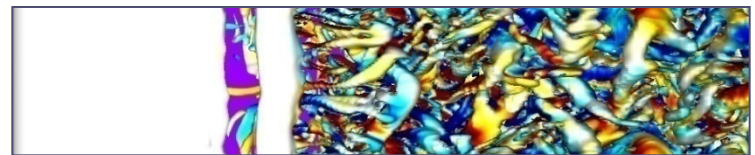
3D LES with Physical Time Step



剥離流れ
⇒緩やかな剥離で遷移が遅れる



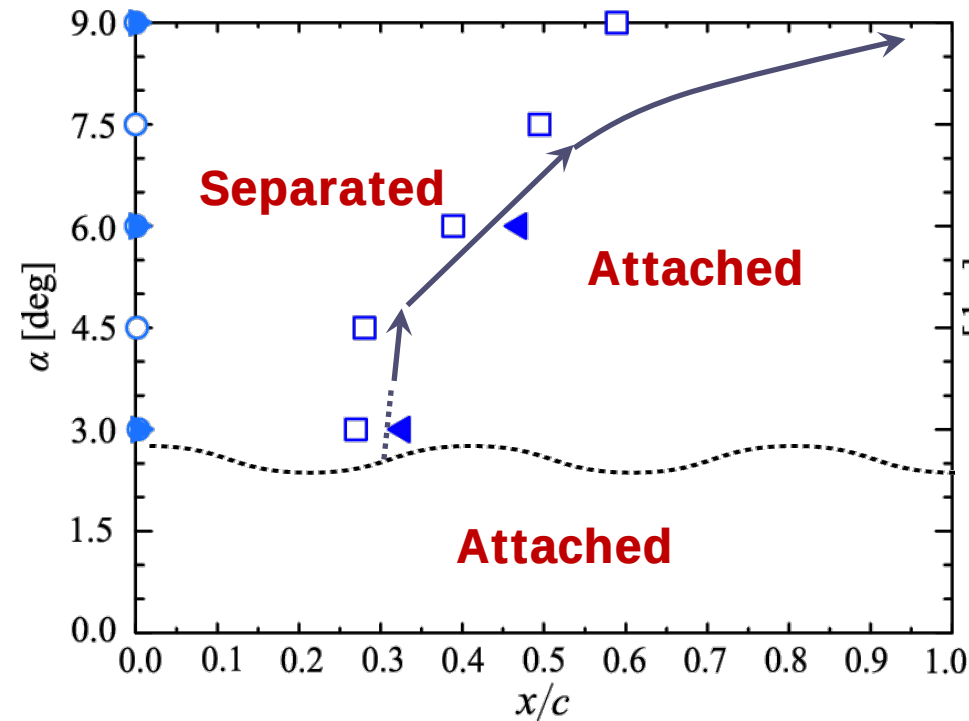
剥離⇒遷移⇒再付着



剥離⇒付着せず⇒前縁失速

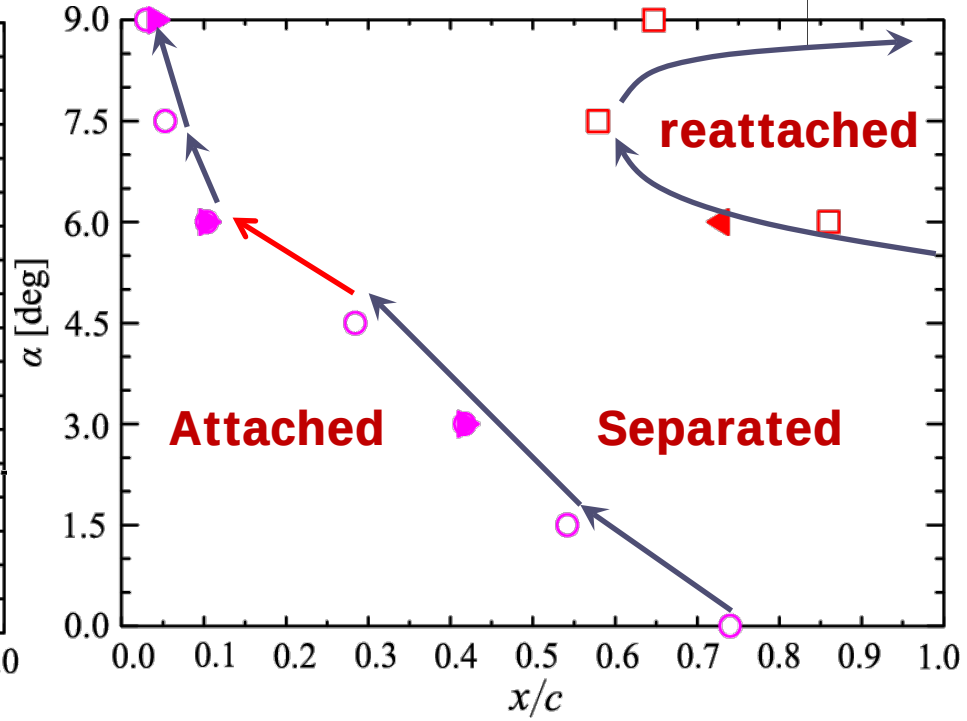
Separation and Reattachment Points

3D-iLES		
2D-Lam.		



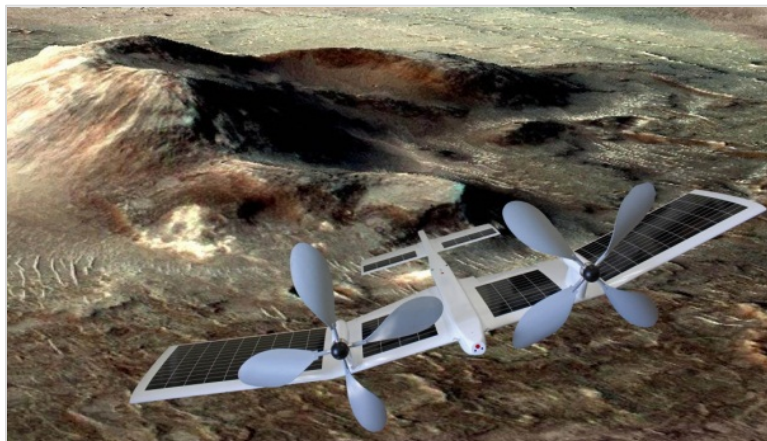
NACA0002

3D-iLES		
2D-Lam.		



NACA0012

火星探査航空機実現に向けて



Computer time requirement for LES

Typical 2nd Order TVD scheme	Lower than $Re=10^5$	$Re=10^6$	Higher than $Re=10^7$
Computer time on 1 TFLOPS	40 days	11 years	1,100 years
Computer time on 1 PFLOPS	1 hours	40 days	1 year

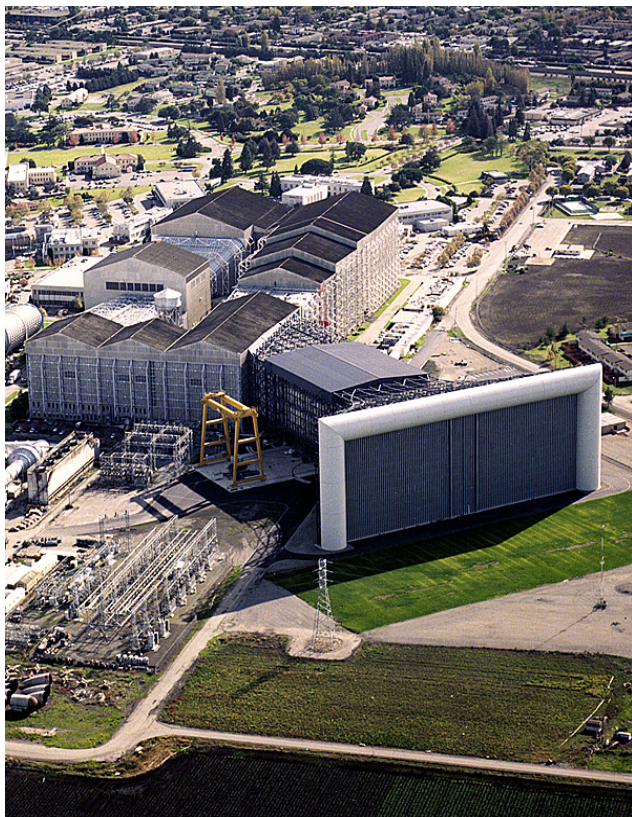
Spectral-like Compact or WCNS Schemes	Lower than $Re=10^5$	$Re=10^6$	Higher than $Re=10^7$
Computer time on 1 TFLOPS	8 hours	1 month	9 years
Computer time on 1 PFLOPS	28 seconds	2/3 hours	3 days

* Assuming perfect scalability

* Personal prediction based on the performance of former ISAS supercomputer

スケール効果は巨大設備を必要とする

“80x120” ft Wind Tunnel at NASA Ames R. C.

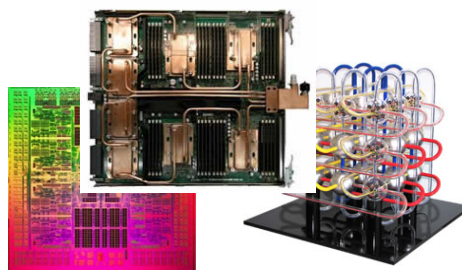


<http://quest.arc.nasa.gov/aero/wright/teachers/wfomanual/science/reading.html>

Supercomputer “KEI” in Kobe



10PFLOPS for the total system



128GF/1CPU



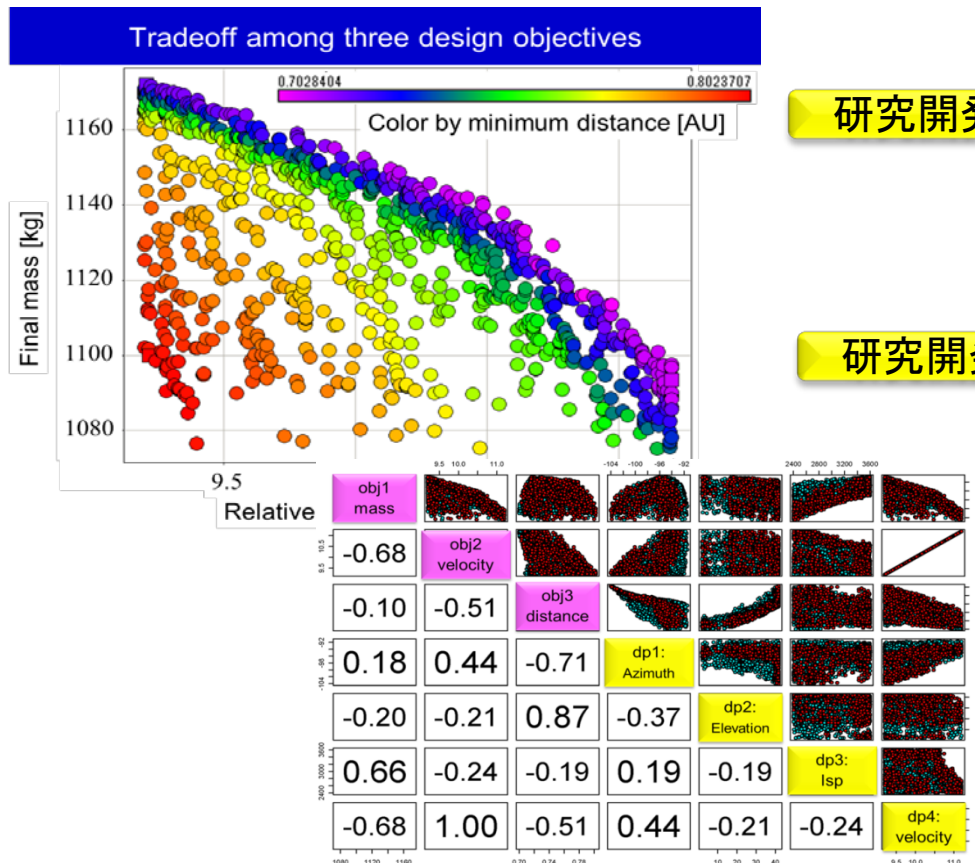
1 rack 12TFLOPS

<http://pr.fujitsu.com/jp/news/2010/09/28.html>

戦略アプリ「ものづくり分野」提案④

多目的設計探査による設計手法の革新に関する研究開発

- 大規模多目的設計探査による「ものづくり」設計問題に有用な強い道具を生み出し、社会に提供することで産業界の革新をもたらす



研究開発項目①

研究開発項目②

製品の設計問題

多目的設計最適化

パレート最適解

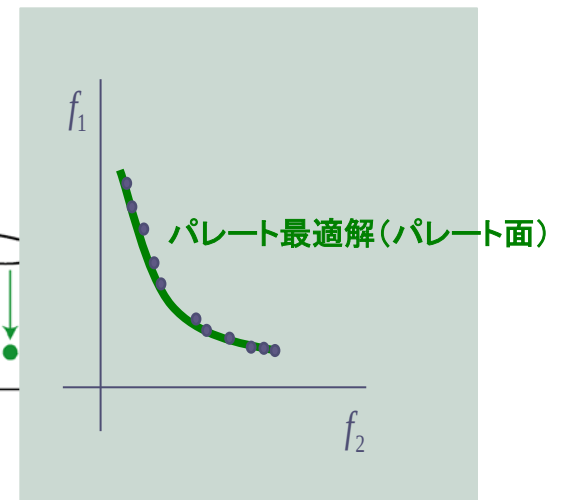
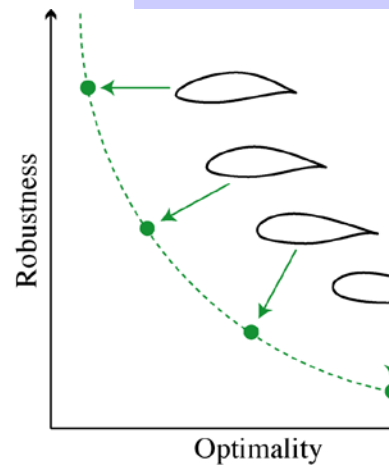
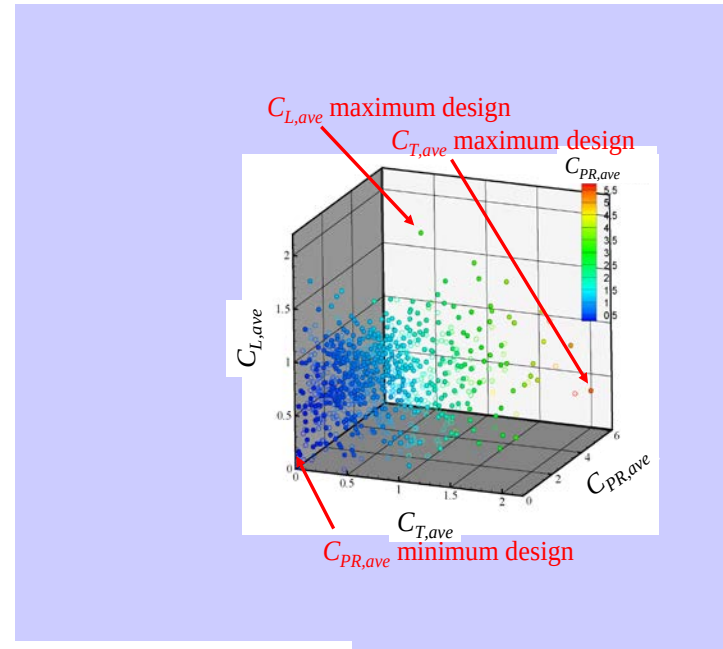
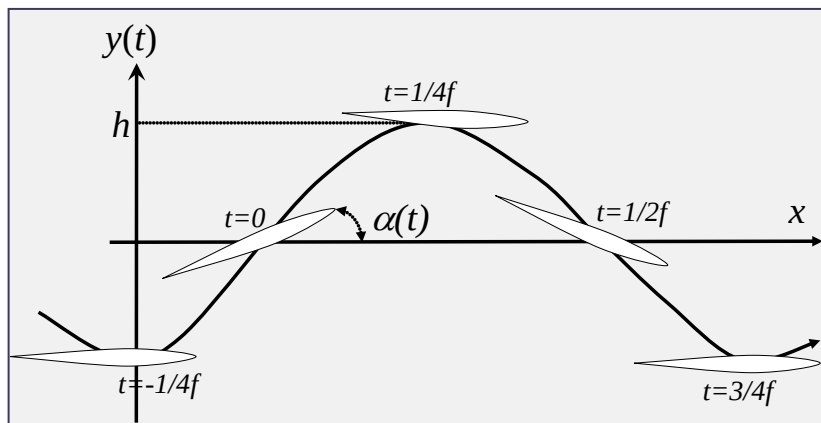
データマイニング

設計に関する知識

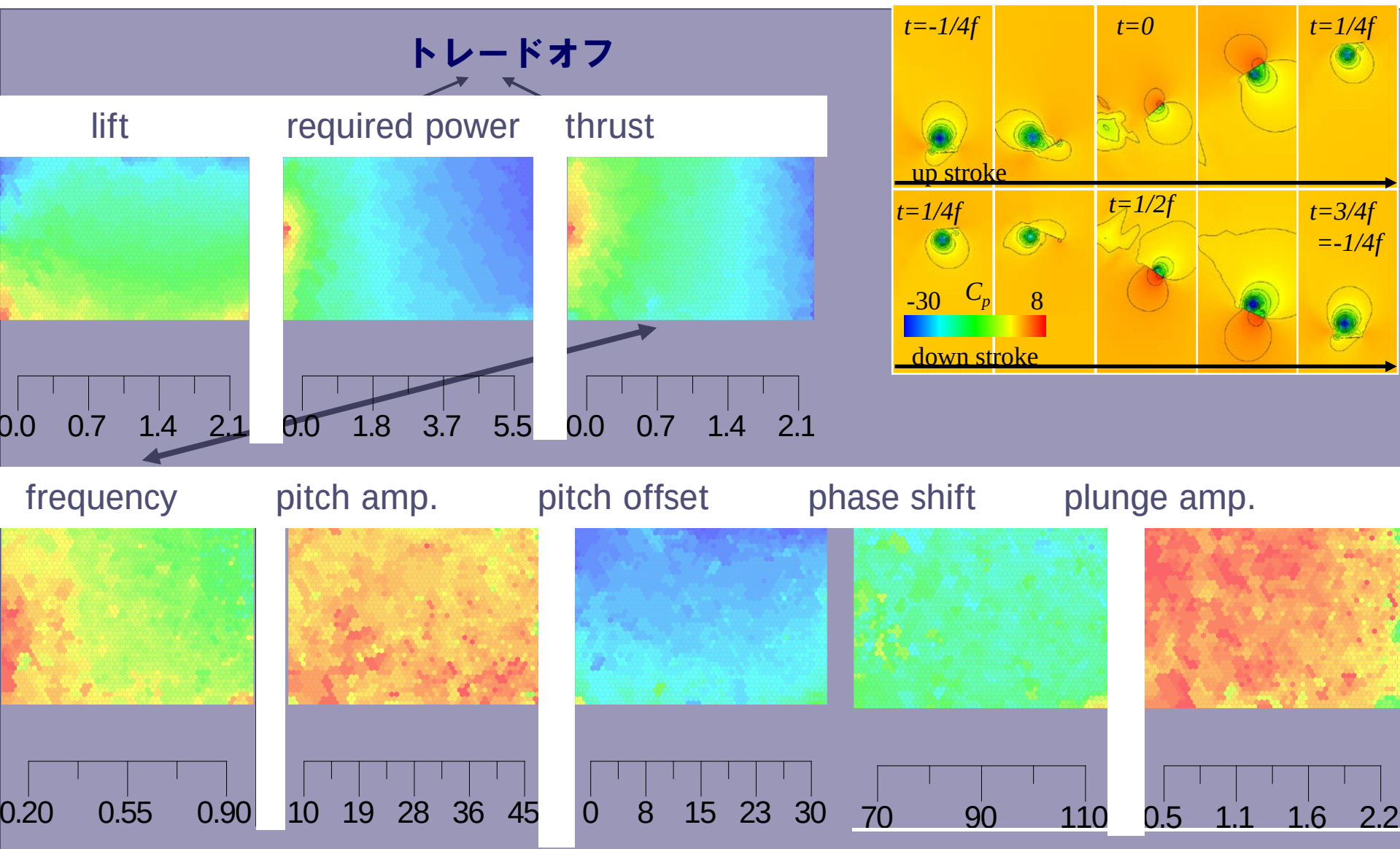
(例)羽ばたき運動の多目的空力最適化問題



GIT web siteより



自己組織化マップ(SOM) 設計探査手法の1例



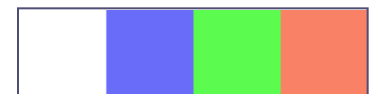
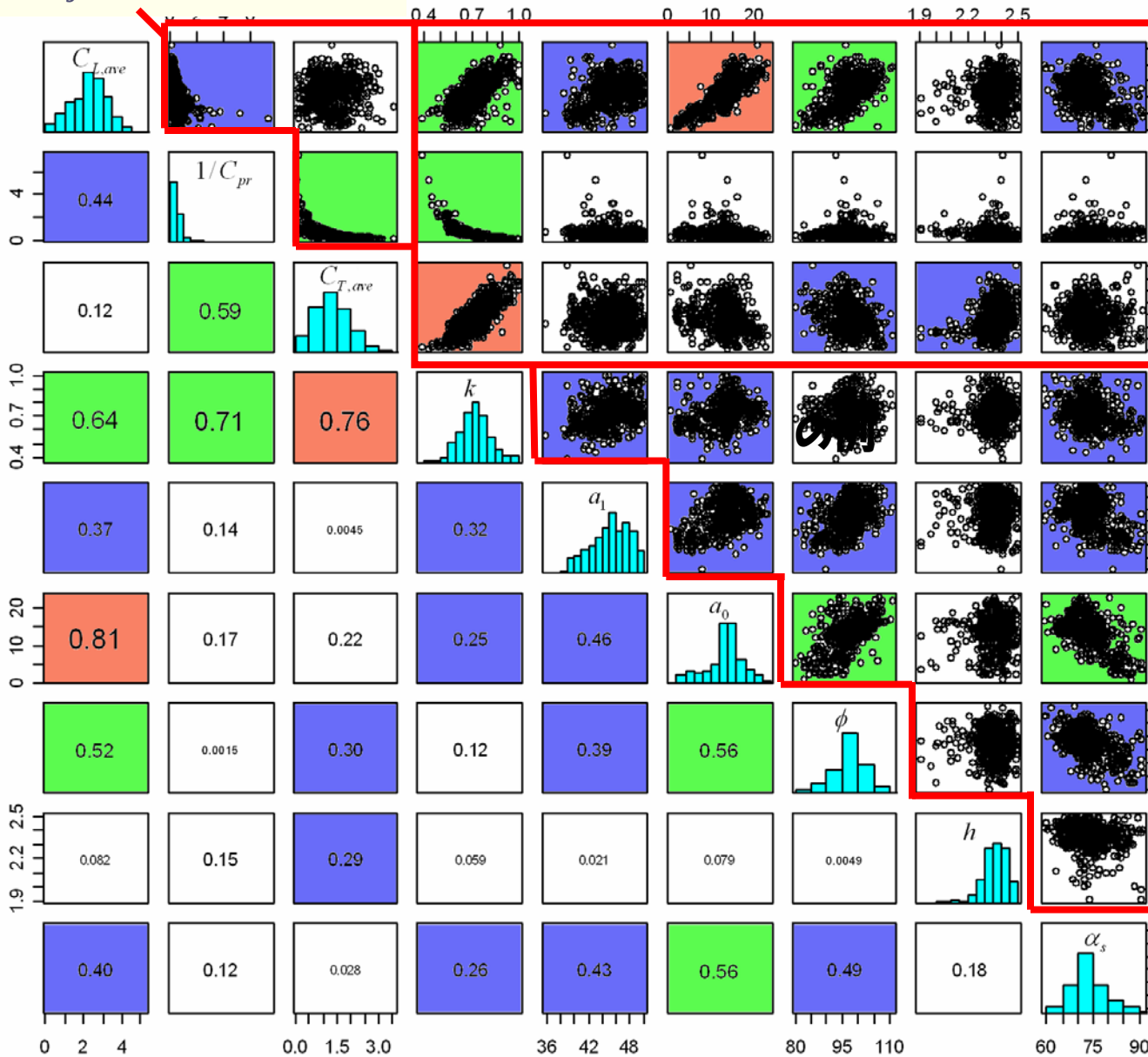
散布図行列(SPM) + 相関係数 - 別の例

最適化を行う際に大切なことは何か

Objectives

Objectives vs. Variables

Variables vs. variables



CFD可視化ソフトウェアの歴史

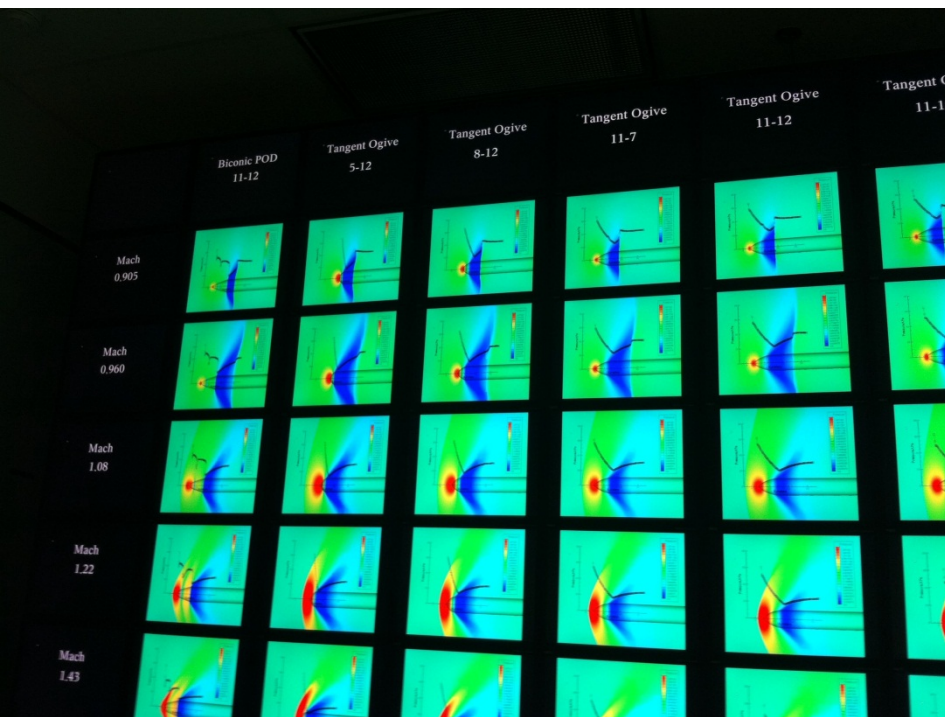
- **1980年代に今の「後処理」可視化の概念が成立.**
 - シミュレーション結果のデータをディスクに保存
 - 保存ファイルの単位は時間1ステップ(当時, 定常問題が主であったため)
- **解析は非定常流れへ.**
 - しかし, 可視化ソフトの概念は変わらず. おさなりの対応で処理.
- **さらにスケール効果を評価できる手法へ.**
 - 単にデータ量だけでなく, データ自体が変わってきた.



非定常データをリアルタイムに眺める

可視化への期待 その1

ハイパーウォール (NASA Ames R. C.)



タッチパネル方式ならなおよい。さらにバーチャルに仮想空間に出せないか？

可視化への期待 その2

現状アニメーションの限界と改善への期待

- 単に各瞬間の表示を並べただけ
 - 前処理によるアニメーション作成の考え方でよいのか？
- あらかじめ決められた視点
 - アニメーションであっても定常データのように自由に視点を変えたい
- あらかじめ決められた表示内容
 - アニメーションであっても表示関数や表示内容を自由に変えたい

セミナーや講演などの最中にこれができるようにしたい。

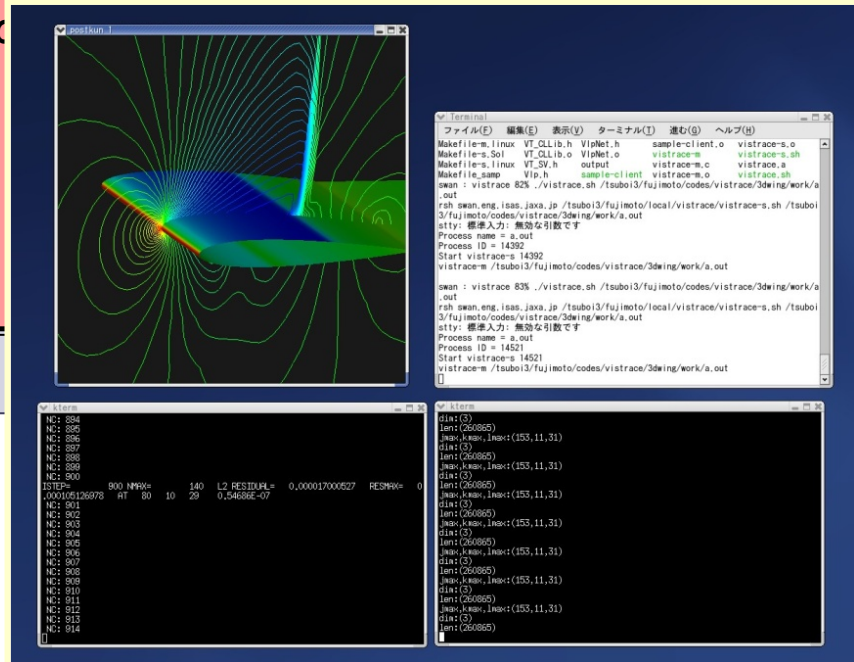
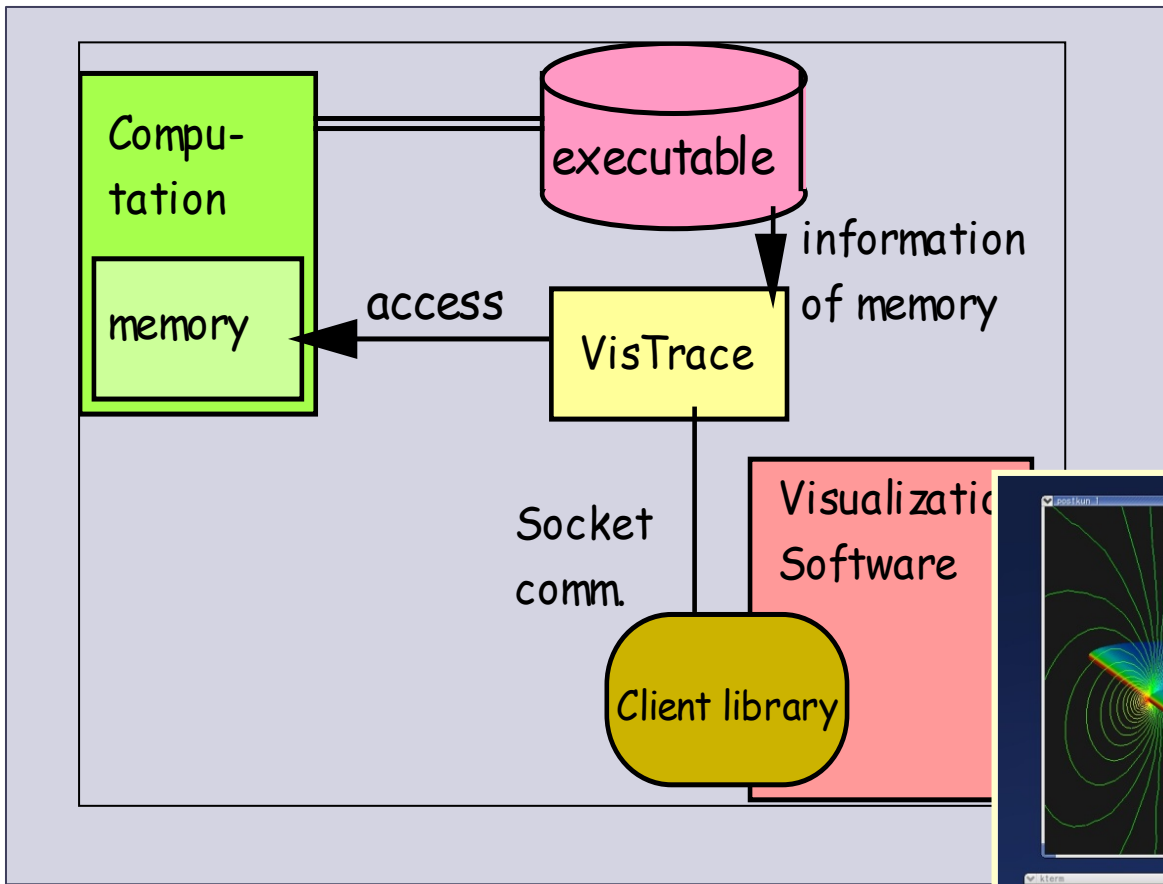
*高速ネットワークと大容量メモリーを有する高速サーバー

VisTraceを思い出して

要求要件：後処理可視化と同じことをリアルタイムにしたい

- 見たいデータや関数などがリアルタイムに変えられる
- シミュレーションソフトウェアに手を入れる必要がない
- 走っているシミュレーションの状態を見に行ける
- 並列・データ分散環境を意識する必要がない
- 普段使っている可視化ソフトと組み合わせて使える
- 必要なデータのみ送ることでネットワークの負担がない

VisTraceの仕組み



おわりに

➤ ペタを利用した大規模数値シミュレーション

- スケール効果を評価する（試験を越える）

低いレイノルズ数から高いレイノルズ数まで連続的に流れの領域を捉える道具として位置づけることで更なるシミュレーションの強みを発揮する。

- 概念設計に活用する（CFD本来の力を発揮する）

課題解決や詳細な形状改善などではなく、イノベーション創造手段としてのシミュレーションが期待される。

➤ 対応する可視化ソフトウェアへの期待

- ハイパーウォールの発展型を誰か作ってくれないか
- 新たな考え方で可視化ソフトウェアはできないか