Change and Evolution of Numerical Simulation/Supercomputer facility and Visualization Technology～In case of JAXA～

数値シミュレーション・スパコンと可視化技術の変遷・進化～JAXAの場合～

Japan Aerospace Exploration Agency

Supercomputer Office

FUJITA, Naoyuki、FUJINO Atsushi

○藤田直行、藤野敦志

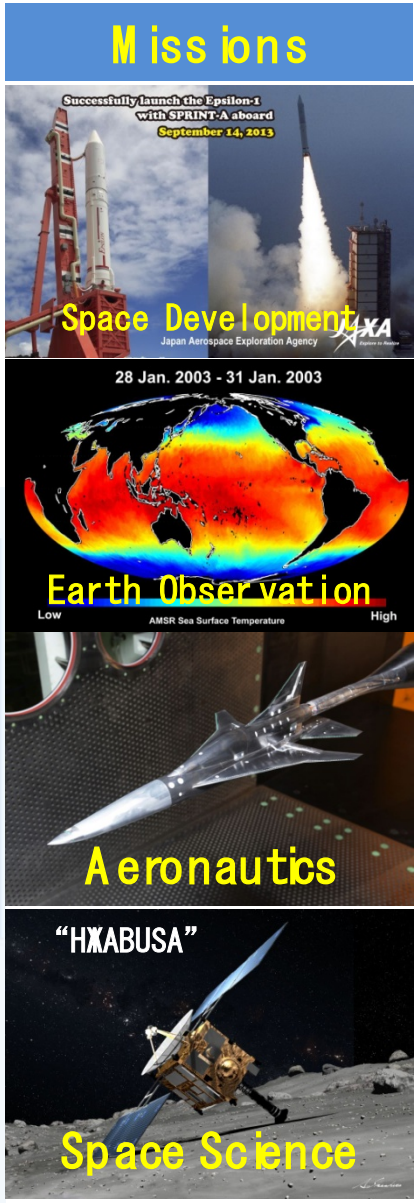
fujita@chofu.jaxa.jp

Agenda

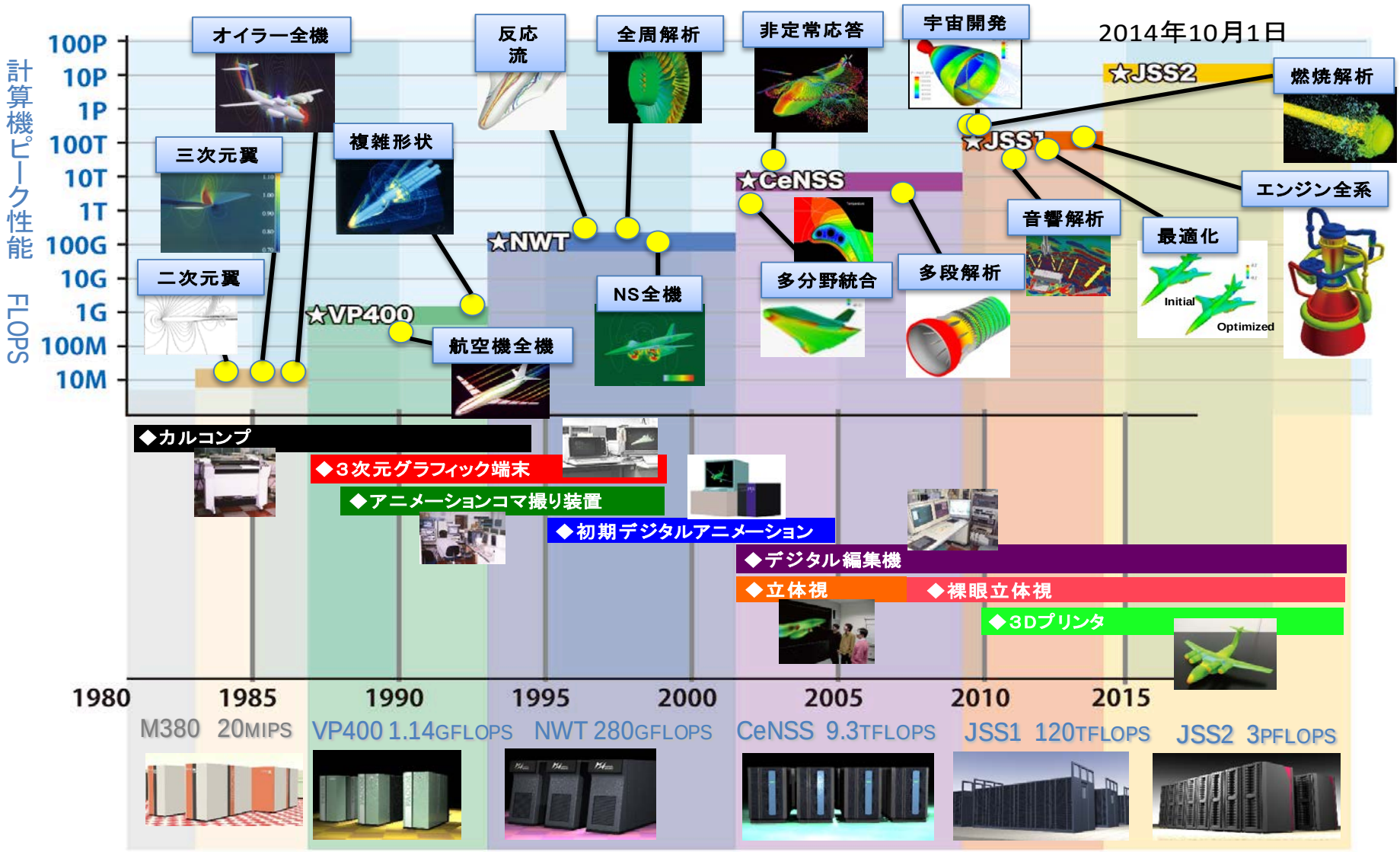
- JAXAとは
- JAXAのHPC　⇒ https://youtu.be/qPXKh4G4UY4
- JAXA可視化技術の歴史概要
- 可視化技術の歴史
- 現在取り組んでいる可視化技術
  と、
  - これからの可視化手法
- まとめ

JAXAとは

- Established at 2003
  (Formaly NAL:National Aerospace Laboratory of JAPAN)
- Employees：1,545
- Budget：　154.1 Billion JPY
  / 2.055 Billion SGD
  (April 2016)



JAXA可視化技術の歴史概要(1/3)



JAXA可視化技術の歴史概要(2/3)

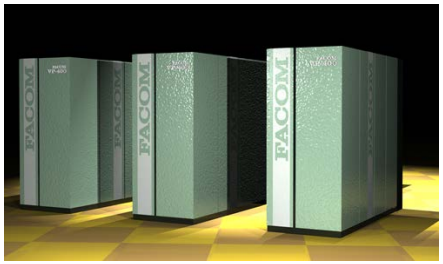
1985

1990

1995

1983
FACOM M380　20MIPS

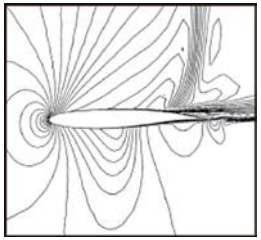
1987
FACOM VP400　1.14GFLOPS



1993
NWT　280GFLOPS

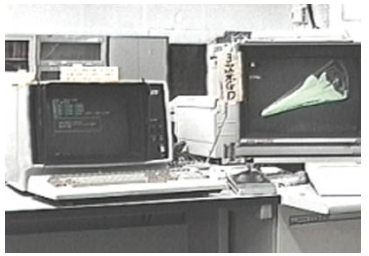
◆カルコンプによるグラフの描画

単色の線のみの表現



◆3次元グラフィック端末

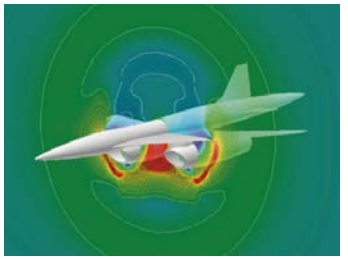
計算結果をカラー表示モニターで確認が可能となった。



◆アニメーションコマ撮り装置

アニメーションの表現により非定常計算の可視化が可能となった。
ただし、ビデオのコマ撮りに時間がかかった。

この頃よりwsによる可視化技術が進化



JAXA可視化技術の歴史概要(3/3)

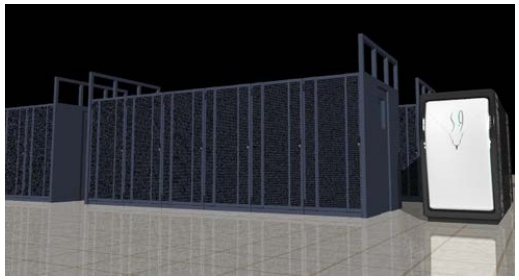
2000

2005

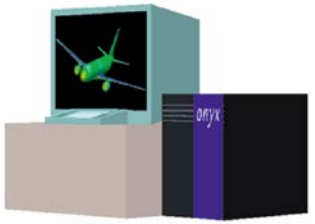
2010

2002
CeNSS　9.3TFLOPS

2009
JSS1　135TFLOPS



◆初期デジタルアニメーション
コマ撮りよりは簡単だが、
数分の記録しかできなかった。



◆デジタル編集機
スパコンで計算した結果を
簡単にアニメ動画ファイルに
出力可能となった。

◆立体視への応用
奥行きのある画像で
シミュレーション結果を
可視化。

◆裸眼立体視

◆3Dプリンタ
計算結果の
立体化へ。

■NWT：Numerical Wind Tunnel(1993～)

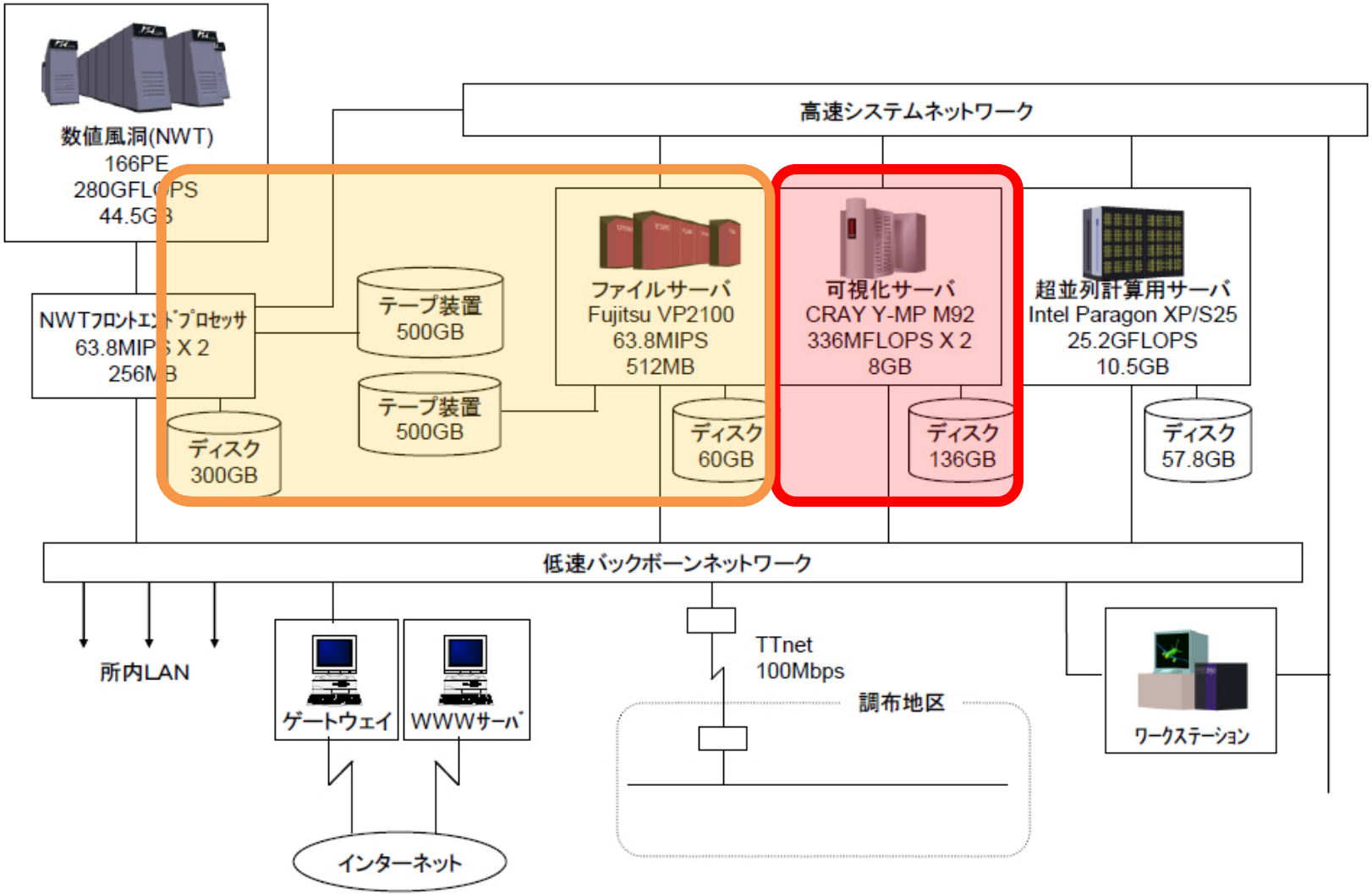
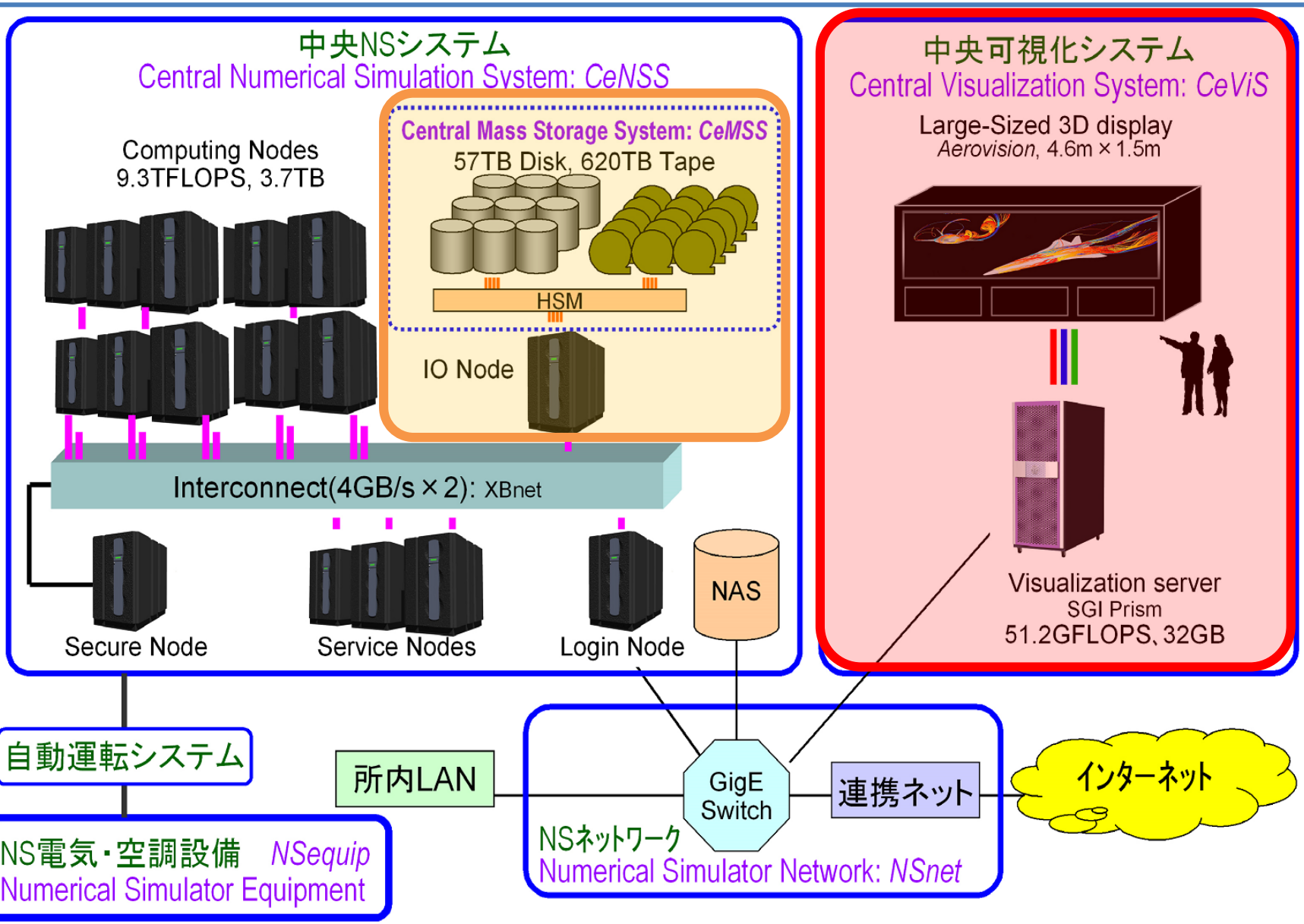
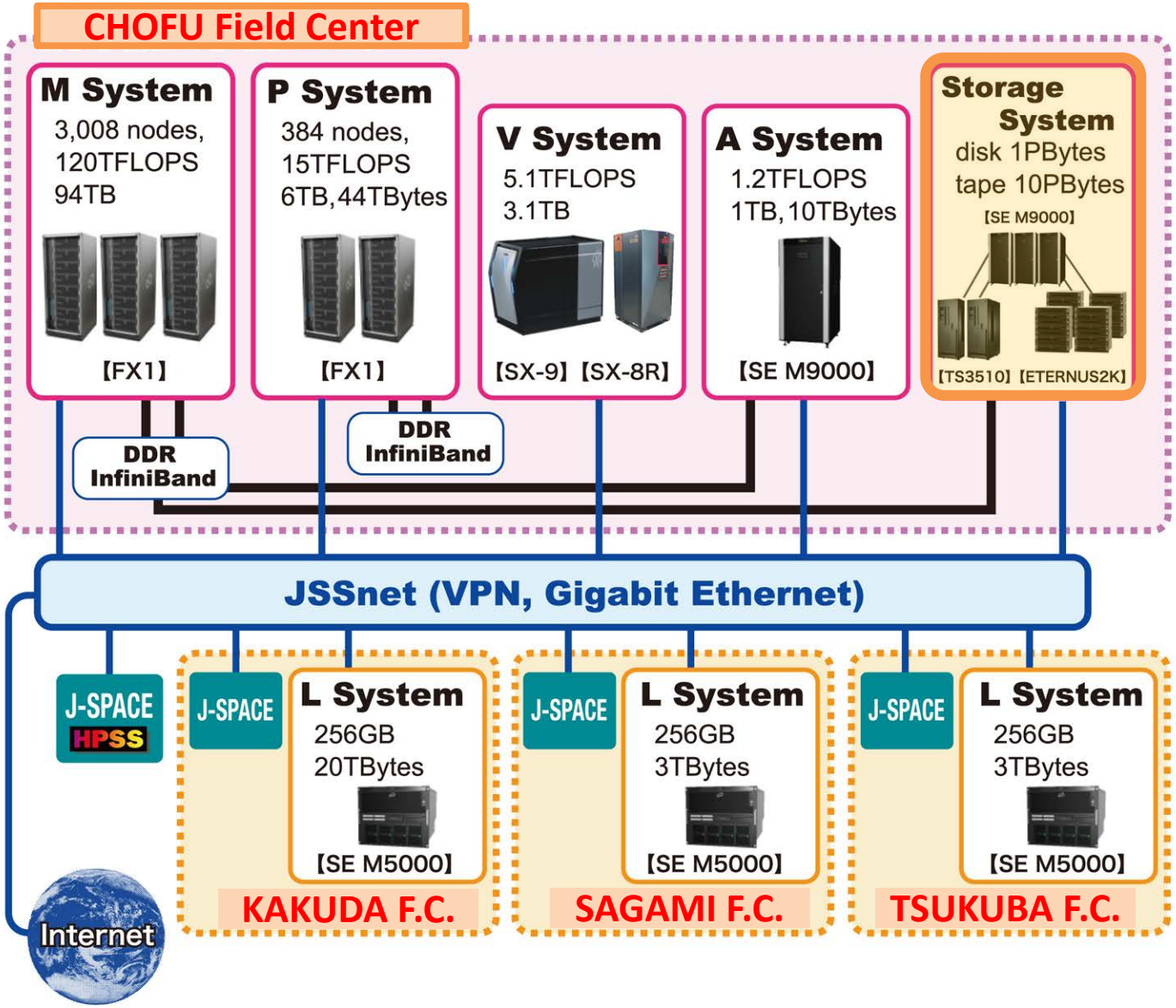


図 2.8　NS-II の構成概要

■CeNSS：Central Numerical Simulation System(2002～)



■JSS：Jaxa Supercomputer System(2009～)



JSS2 (JAXA Supercomputer System Generation 2) Phase 3 Apr. 2016～

宙 (SORA: Supercomputer for earth Observation, Rockets, and Aeronautics) System Configuration

Chofu Aerospace Center

Main System (SORA-MA)
Peak Performance：3.49 PFLOPS
Total Memory：100 TiB
Total #Nodes：3,240
Total #Cores：103,680
(1 CPU, 32 GiB / node)

Pre-Post System (SORA-PP)
Peak Performance：53.7 TFLOPS
Total Memory：10 TiB
Total #Nodes：160
Total #Cores：1,920
(2 CPU, 64 GiB / node)

Large Memory System (SORA-LM)
Peak Performance：2.10 TFLOPS
Total Memory：3.5 TiB
Total #Nodes：5
Total #Cores：80
(2 CPU, 1.0 TiB x 2 nodes)
(2 CPU, 0.5 TiB x 3 nodes)

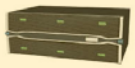
Login System (SORA-LI)
Peak Performance：1.34 TFLOPS
Total Memory：1.5 TiB
Total #Nodes：4
Total #Cores：48
(2 CPU, 0.37 TiB x 4 nodes)

Storage Area Network (Infini Band FDR)

Ethernet (1G, 10 GEthernet)

Control and Management System

File System (SORA-FS)
Magnetic Disk：5 PB



LAN and SINET5

Remote Systems

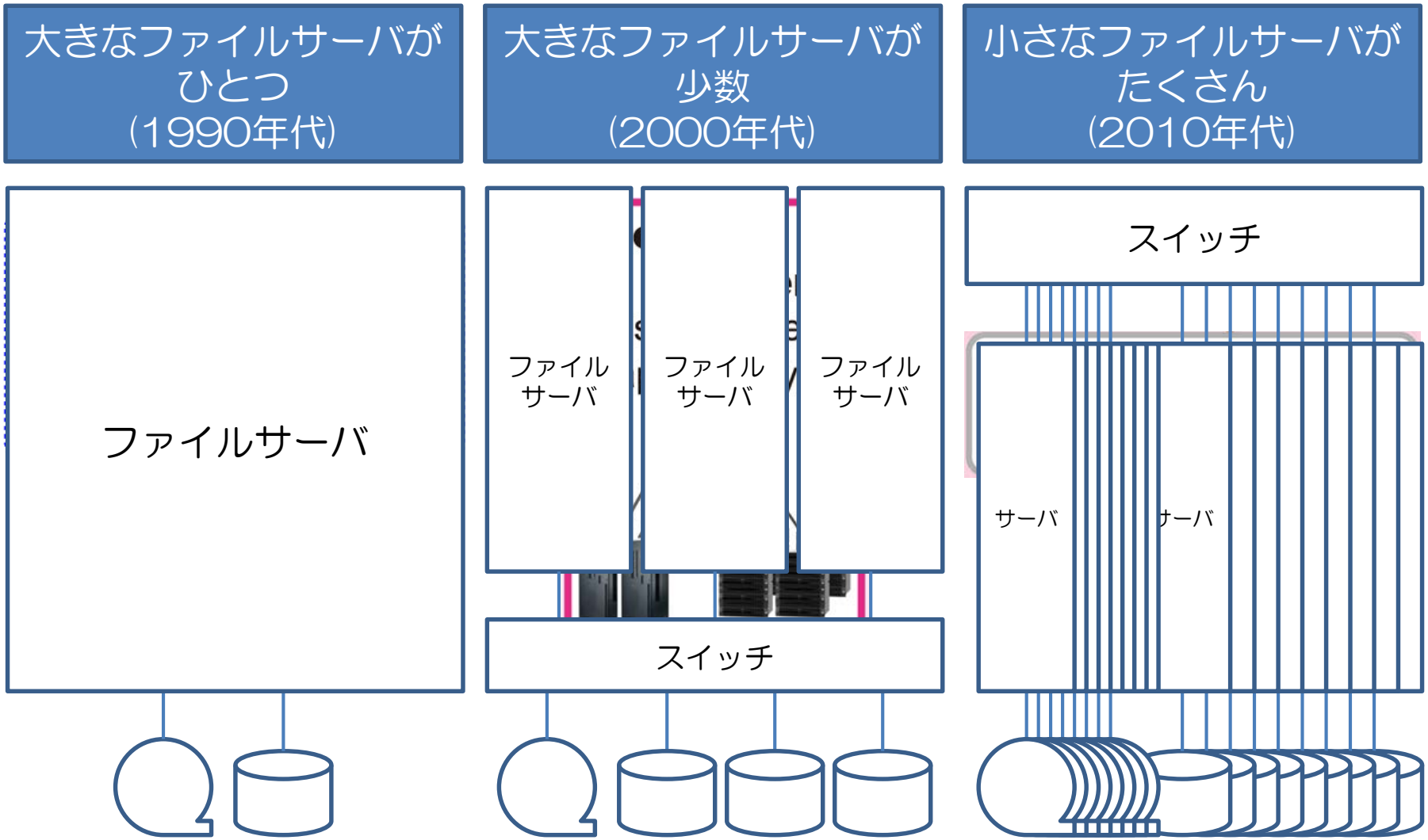
Tsukuba Space Center	Pre-Post Node (SORA-TPP)	8.40 TFLOPS	1.5 TiB	25 nodes	300 cores
	(2 CPU, 64 GiB / node)				
	Login Node (SORA-TLI)	0.336 TFLOPS	0.37 TiB	1 node	12 cores
	(2 CPU, 0.37 TiB / node)				
	File System (SORA-TFS)	200 TB			
Kakuda Space Center	File System (SORA-KFS)	100 TB			
Sagamihara Campus	File System (SORA-SFS)	100 TB			

J-SPACE
Jaxa's Storage Platform for Archiving, Computing, and Exploring

Archiver System
Disk Cache：0.7 PB
Tape：20 PB

J-SPACE
HPSS

■File System History



Agenda

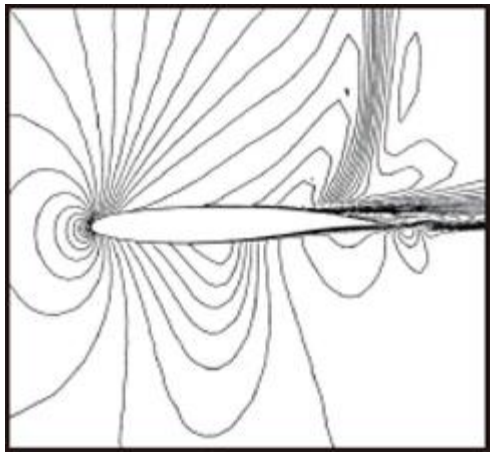
- JAXAとは
- JAXAのHPC　⇒ https://youtu.be/qPXKh4G4UY4
- JAXA可視化技術の歴史概要
- 可視化技術の歴史
  - カルコンプによるプリント可視化
  - ３次元グラフィック端末
  - アニメーションコマ撮り装置
  - 初期デジタルアニメーション装置
  - デジタルアニメーション編集装置
  - 立体視モニター
  - 裸眼立体視ディスプレイ
- 現在取り組んでいる可視化技術
  - 3Dプリンタによる立体的可視化
  - 透明樹脂積層モデル
  - 大規模可視化
  - Virtual Reality
  - これからの可視化手法
- まとめ

■カルコンプによるプリント可視化

1983～1993

可視化デバイス

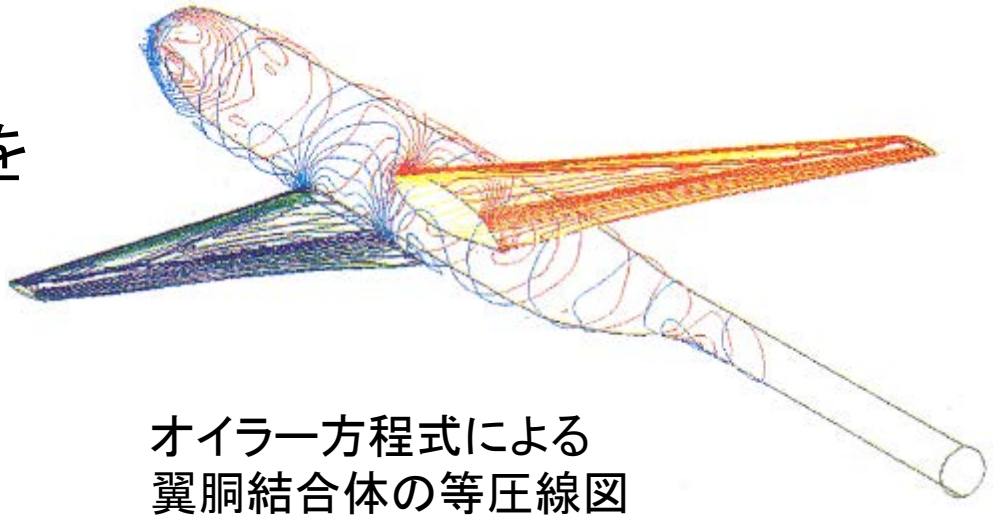
可視化事例



2次元翼の流れ

カルコンプによる可視化

ロール紙にインクで描くプロッタを利用し画像をプリントすることができるようになった。



オイラー方程式による
翼胴結合体の等圧線図

■３次元グラフィックス端末

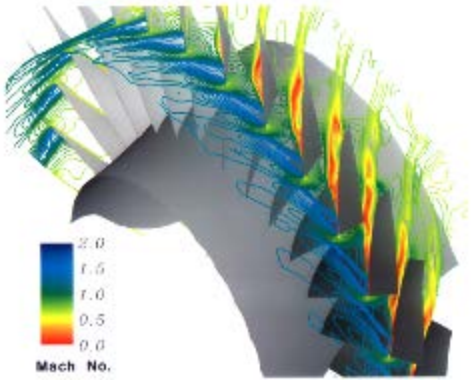
1987～1997

可視化デバイス

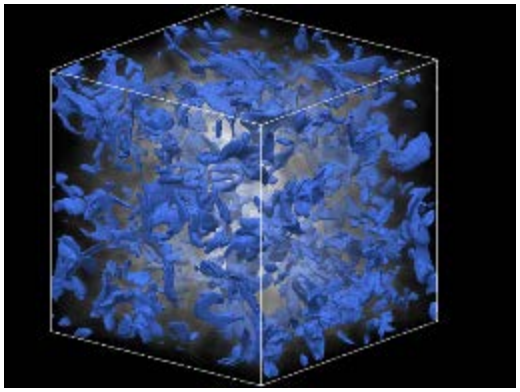
COMTEC

FIVIS

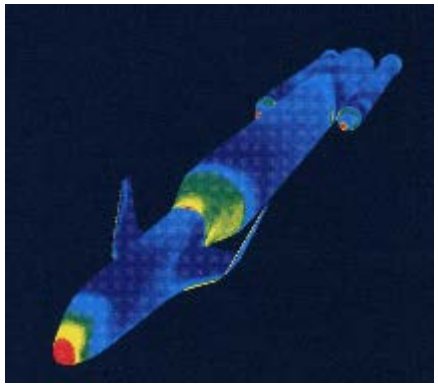
可視化事例



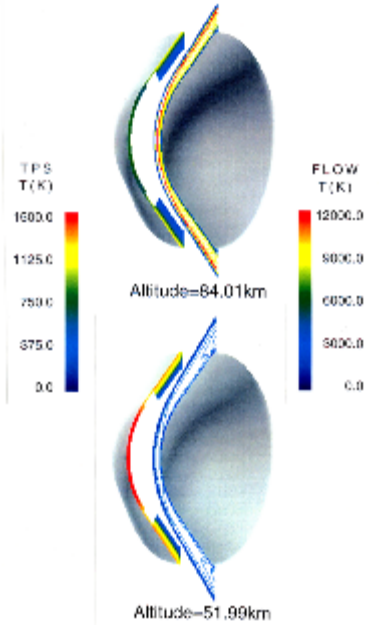
エンジン翼列



乱流



HOPE



OREX

COMTEC, FIVISによる表示

画面にグラフィックスを表示し、それを記録するカメラが装備されていた。

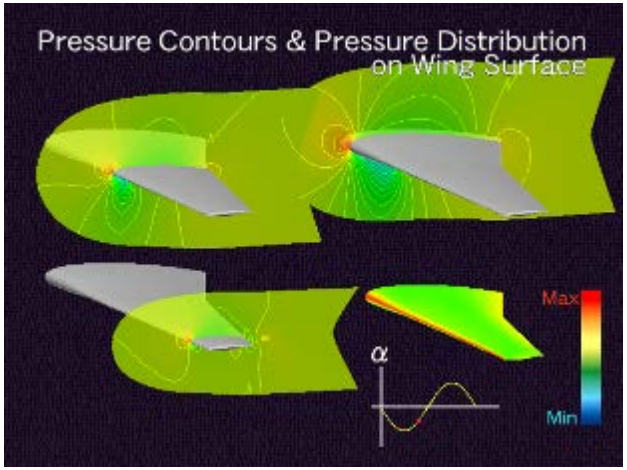
■アニメーションコマ撮り装置

1987～1997

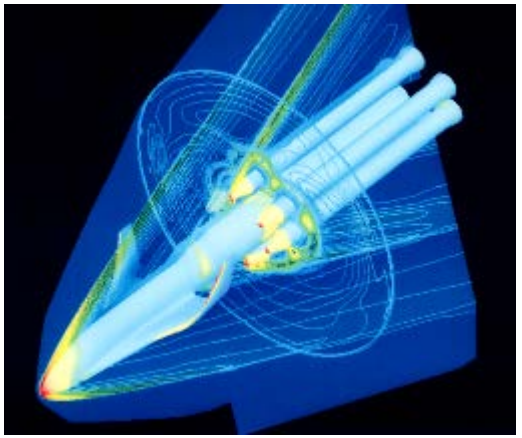
可視化デバイス

NEXUS

可視化事例



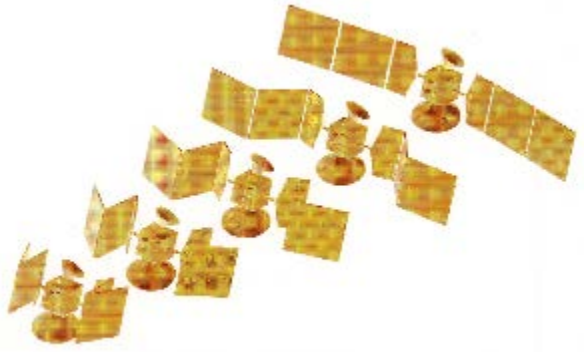
フラッター変形



HOPEブースター

NEXUSによるアニメーション録画

ビデオをパソコンで制御することにより
アニメーションのコマ撮りが可能となり
非定常計算の結果が表示できるようになった。
ただ、記録には時間がかかり、30秒に一晩
かかった。

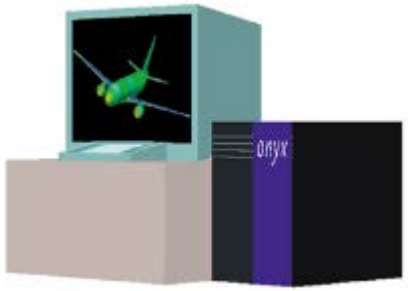


人工衛星パドルの展開

■初期デジタルアニメーション装置

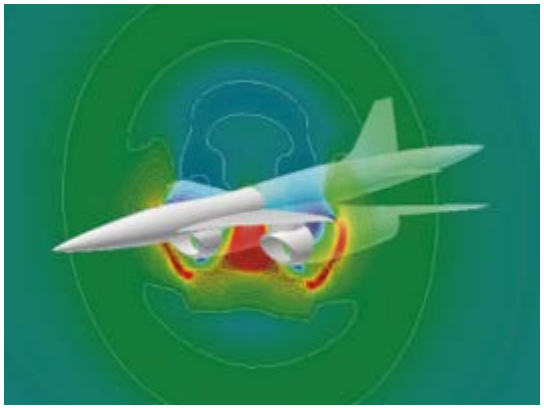
1997～2003

可視化デバイス

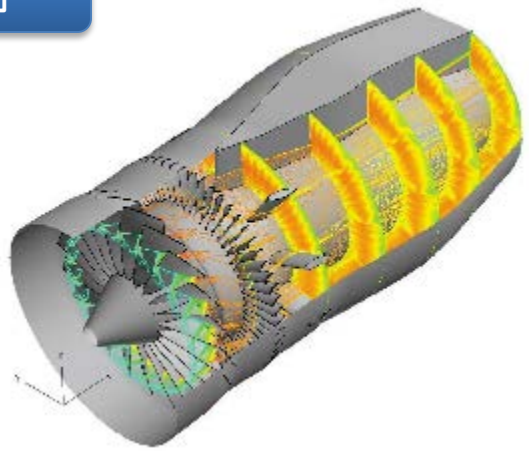


ONYX

可視化事例



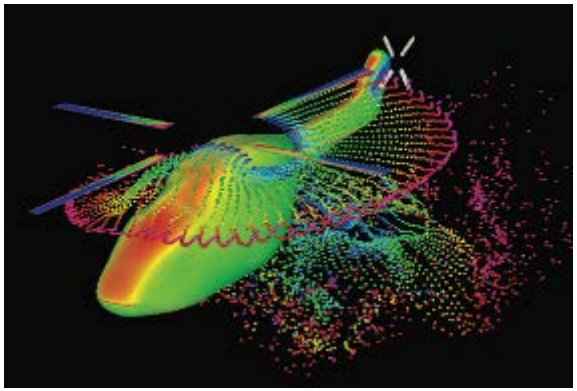
SST



エンジン内部流

ONYXによる画像の連続表示

ビデオでコマ撮りすることなく、連続的に
画像を表示し、それを録画することで
アニメーションの製作が可能となった。
しかし、読み出せる最大が30秒程度だった。



ヘリの騒音低減

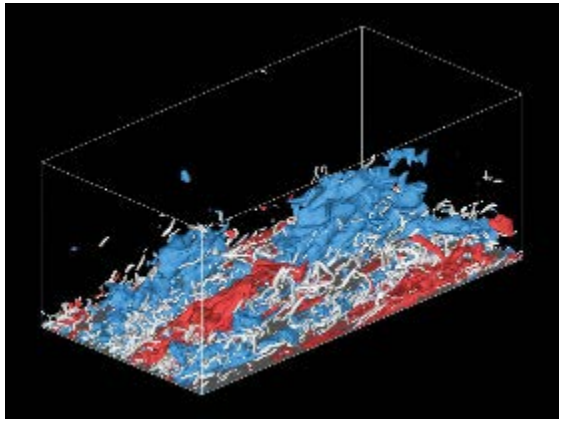
■デジタルアニメーション編集装置

2003～

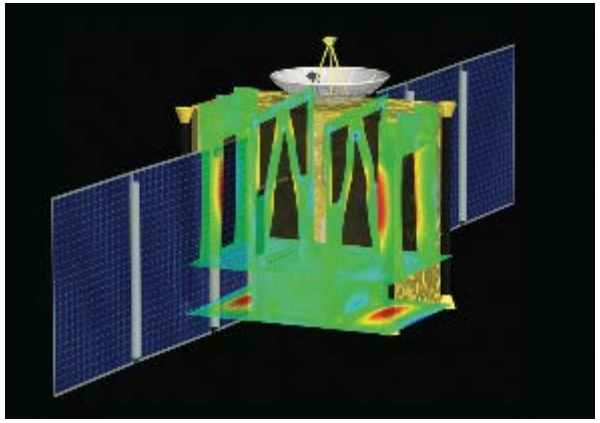
可視化デバイス

Abid Media Composer

可視化事例



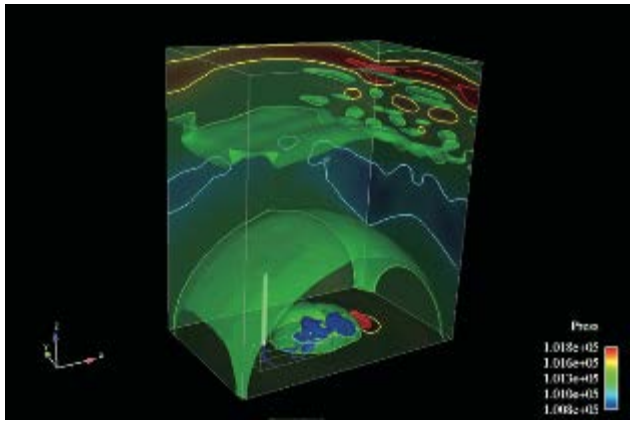
壁乱流



人工衛星の振動解析

デジタル編集装置によるアニメーション

連続画像ファイルをデジタル編集機に
読み込むだけで、簡単に動画ファイルを
作る事ができるようになった。
編集もすべてデジタルで行うようになった。

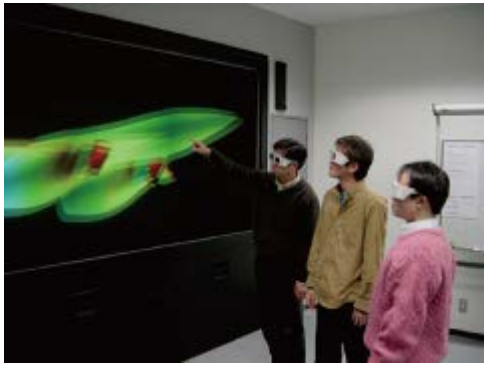


ロケット射場音響解析

■立体視モニター

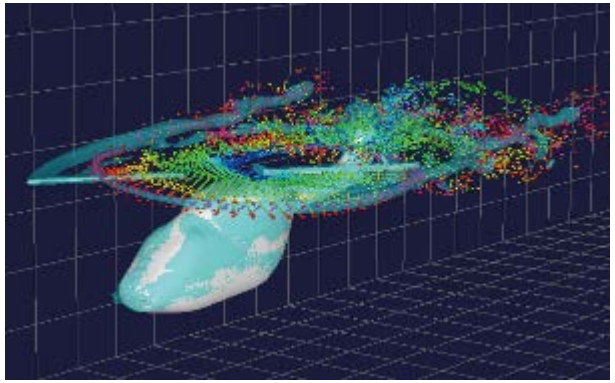
2003～

可視化デバイス

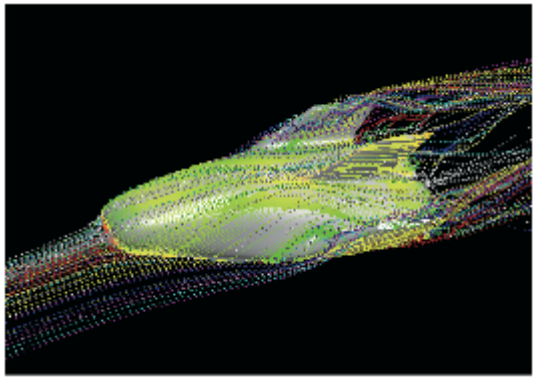


大画面3次元ディスプレー

可視化事例



ヘリコプタ



宇宙機

シミュレーション結果を立体視

シミュレーション結果を立体視することにより奥行きのある表現が出来るようになった。
ただし、このシステムは専用眼鏡が必要だった。

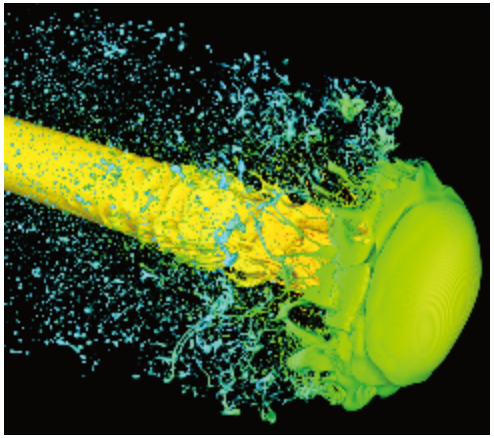
■裸眼立体視ディスプレー

2007～

可視化デバイス

裸眼立体視モニター

可視化事例

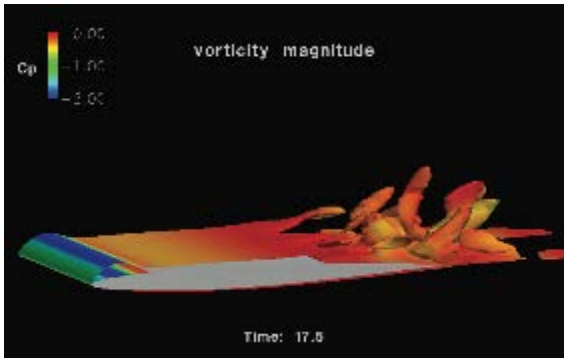


燃焼乱流

LE-Xエンジン

裸眼立体視モニターへの表示

特別な眼鏡をかける必要の無い裸眼立体視モニターへの出力により、ストレス無く立体画像を確認することができるようになった。



翼の周りの流れ

Agenda

- JAXAとは
- JAXAのHPC　⇒ https://youtu.be/qPXKh4G4UY4
- JAXA可視化技術の歴史概要
- 可視化技術の歴史
  - カルコンプによるプリント可視化
  - ３次元グラフィック端末
  - アニメーションコマ撮り装置
  - 初期デジタルアニメーション装置
  - デジタルアニメーション編集装置
  - 立体視モニター
  - 裸眼立体視ディスプレイ
- 現在取り組んでいる可視化技術
  - 3Dプリンタによる立体的可視化
  - 透明樹脂積層モデル
  - 大規模可視化
  - Virtual Reality
  - これからの可視化手法
- まとめ

■3Dプリンタによる立体的可視化(基本①②)

①

可視化デバイス=3Dプリンタ

②

可視化事例=いろいろな表現

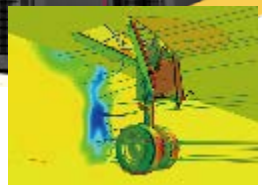
計算結果を3Dプリンタによって立体化へ

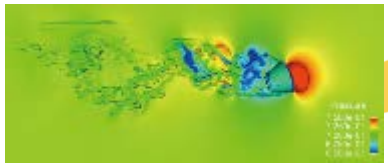
今まではモニターの中でのみの表示であったが、
3Dプリンタにより実体の制作が可能となった。
手に取ることによる現象の理解と発見に期待が高まる。

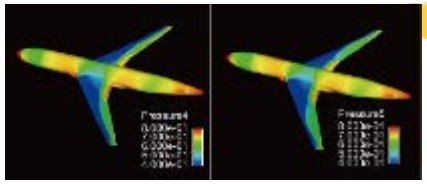
■3Dプリンタによる立体的可視化(基本③)

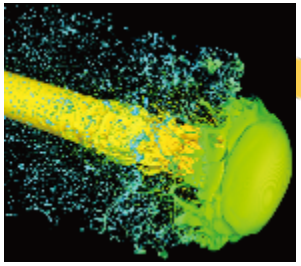
③

スパコン等による
計算結果









3Dプリントのためのデータ処理

単色の表面格子プリント

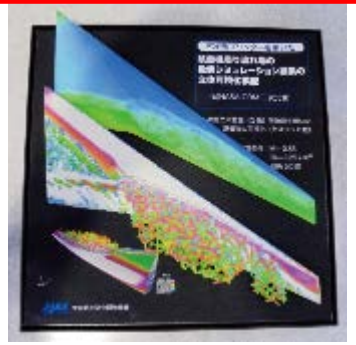
カラーの空間分布プリント

カラーの表面格子プリント

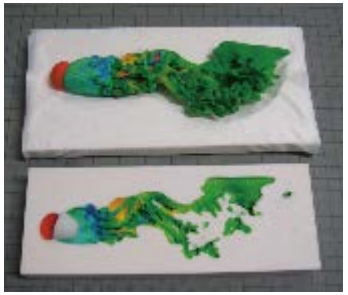
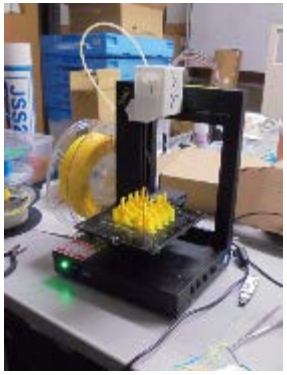
複数のデータを比較するプリント

複数の造形材による
燃焼乱流の空間プリント

複数のモデルを比較するプリント



■3Dプリンタによる立体的可視化(①3Dプリンタ)

安価で扱いが楽な お手軽プリンタ	造形精度が高い アクリル樹脂系プリンタ	フルカラー出力可能な 石膏粉末系プリンタ	多色刷り高精度 アクリル樹脂系プリンタ
			
			
「UP Plus2」 積層ピッチ　0.15mm ABS樹脂 ＊そこそこ作れる	「Objet EDEN」 積層ピッチ　0.016mm UV硬化アクリル樹脂 ＊単色のプリントのみ	「ZPrinter」 積層ピッチ　0.089mm 石膏パウダー ＊石膏なので弱い	「CONNEX3」 積層ピッチ　0.016mm UV硬化アクリル樹脂 ＊透明樹脂プリント可能

http://www.3d-printer.jp/stratasys/informations/release-2014-connex3-lease.html

■3Dプリンタによる立体的可視化(②いろいろな表現)

●機体の表面圧力分布
航空機の飛行時の機体表面圧力分布を表現しました。

●機体の表面圧力分布と空間圧力分布
垂直な面と合わせて表現しました。

■3Dプリンタによる立体的可視化(②いろいろな表現)

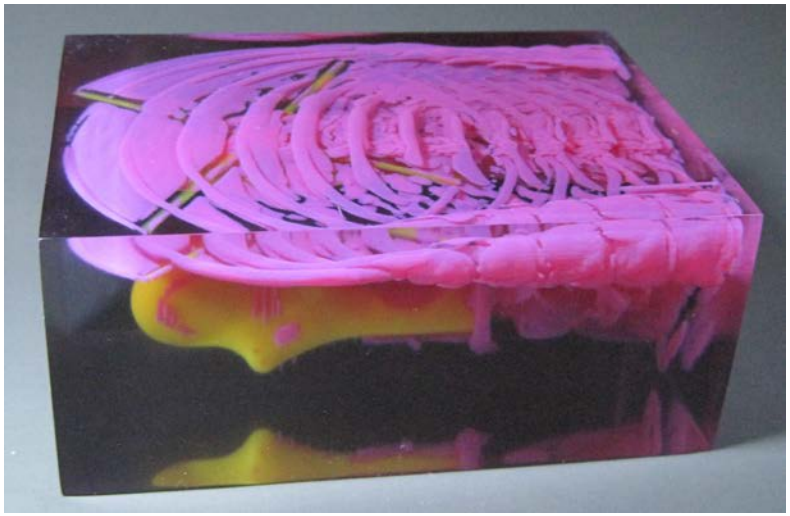
●翼上の流れの表現
翼から剥離する流れを等値面として再現しました。
ただし、この方法だと翼や渦から離れた等値面は分離してしまいます。

●大気圏突入カプセルの流れ
カプセルの後方に出来る流れを等値面で再現しました。
こちらは、機体、渦から離れた部分も再現できるように、半身を凹ませる方法で表現しています。

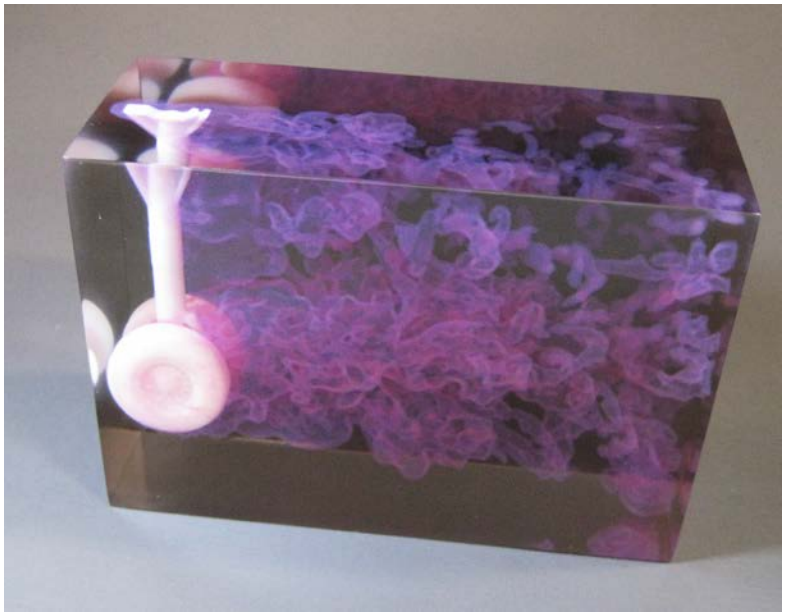
カラーモデル

■ 3Dプリンタによる立体的可視化(②いろいろな表現)

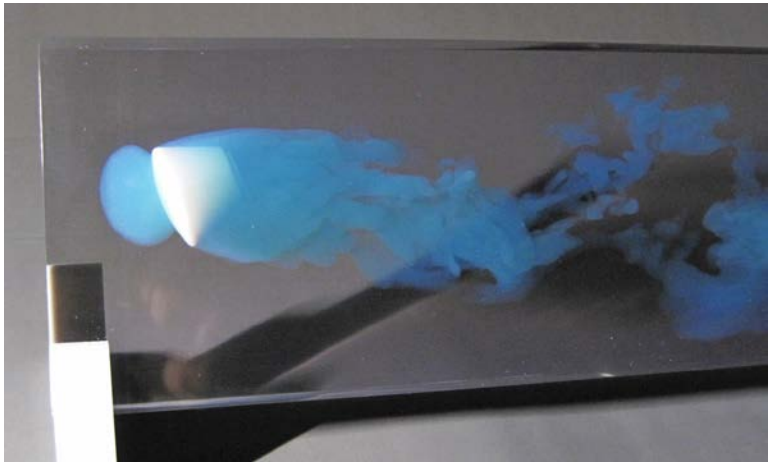
研究分野が機体まわりの流れの表示が中心であることから、透明樹脂で造形できる3Dプリンタの出現により、可視化技術としての完成度が非常に上がったと思われました。



ヘリコプターの渦



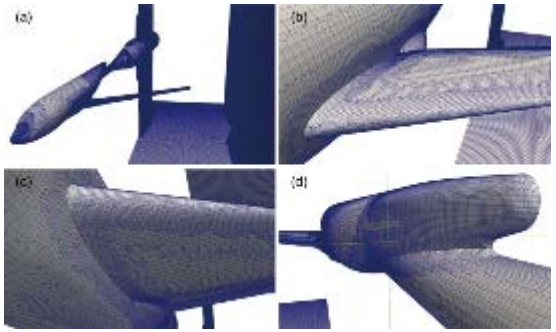
ランディングギアによる流れの乱れ



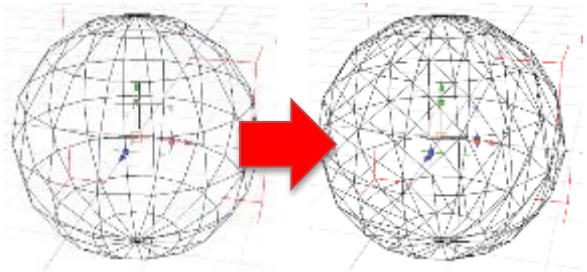
HTV-Rの再突入時の流れの変化

■3Dプリンタによる立体的可視化(③独特のデータ処理)

四角格子により同一平面に頂点がのっていない

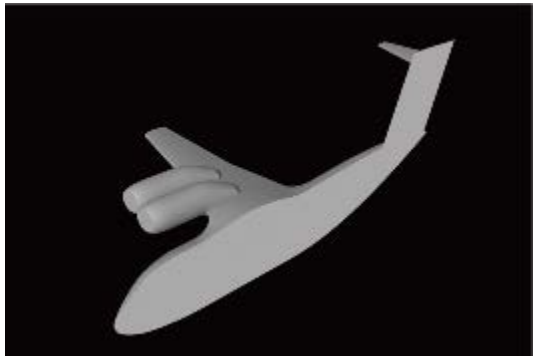


四角格子を三角格子に変換する

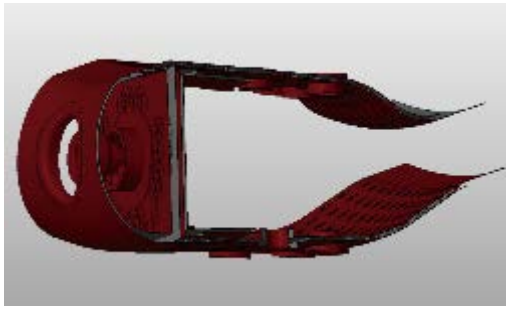


格子が立体として閉じていない

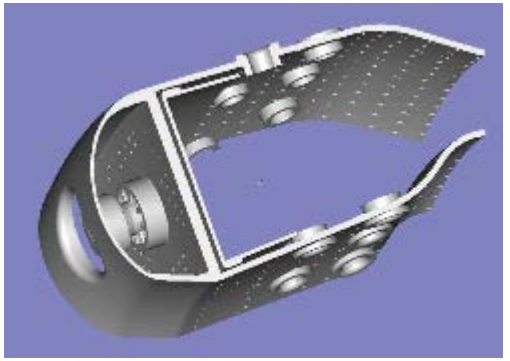
開いている形状を閉じる



形状に厚みがない



形状に厚みをもたせる



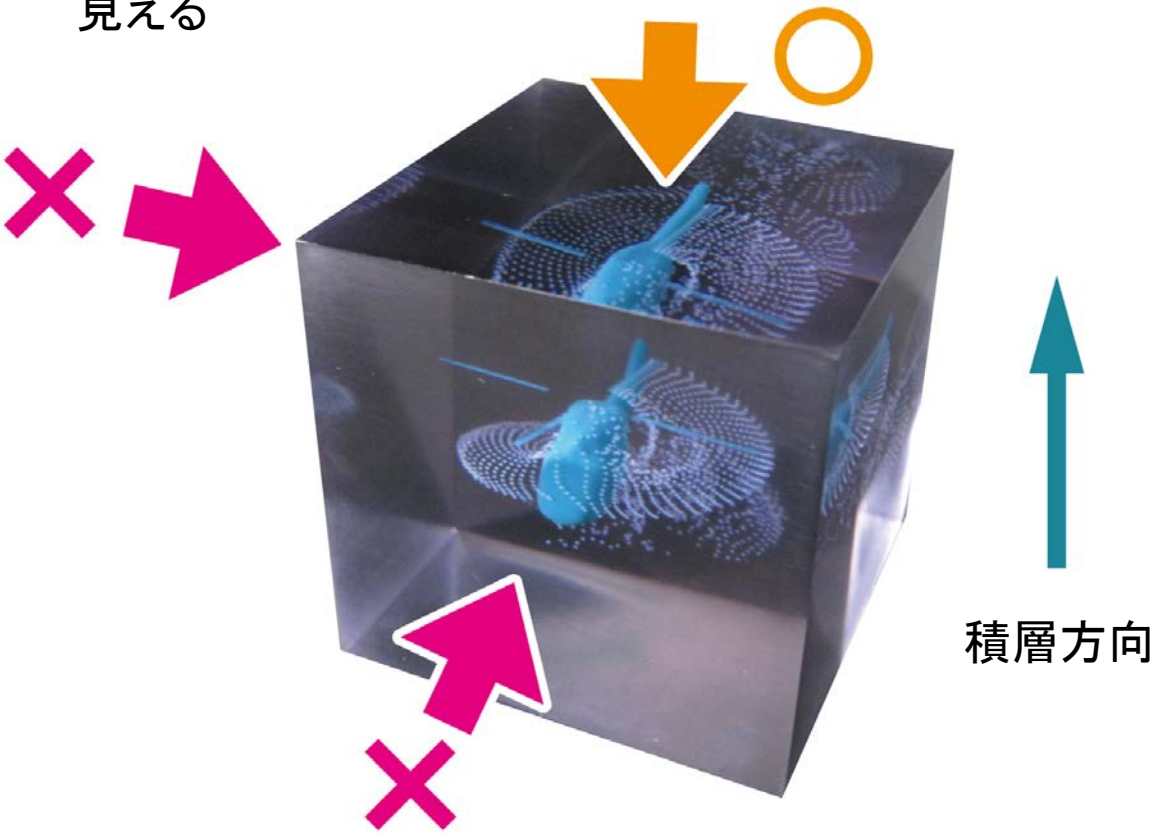
■透明樹脂積層モデル

「透明樹脂の中に不透明樹脂で立体を造形する立体的可視化」には、根本的かつ致命的な欠陥がありました。それは「積層面に平行に見ると中の物体がぼやけて見える」と言う現象です。透明樹脂を積層する時に材質が不均等な層状態となり、それが原因でぼやけて見えるようです。

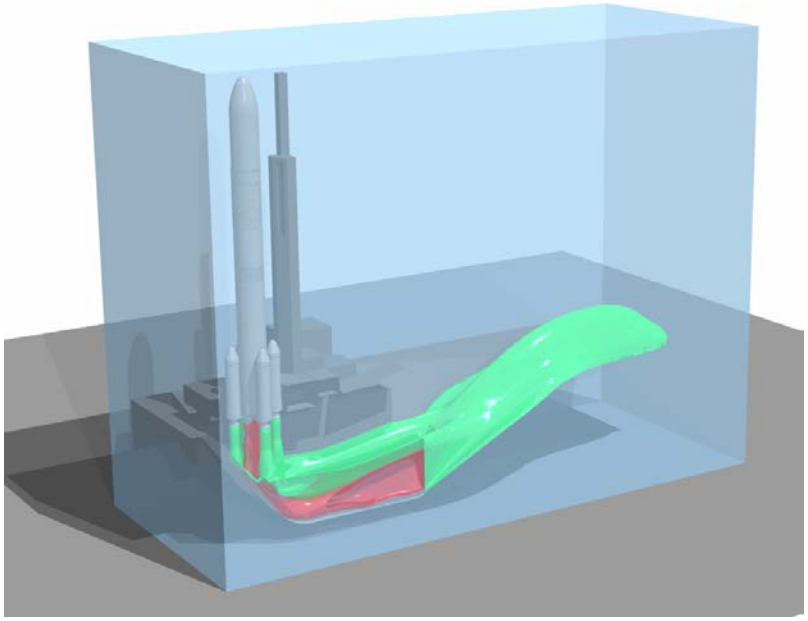
原因は特定できていませんが、積層することで透明材質に光を屈折させる層ができるようです。

積層面に平行方向からは「ぼやけて」見える

積層面に垂直方向からは綺麗に見える

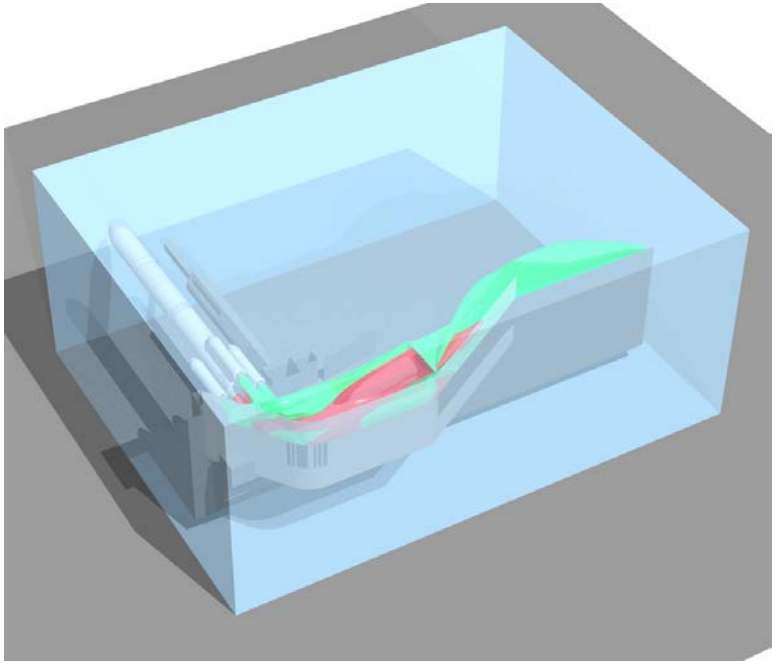


■透明樹脂積層モデルは、ぼやける

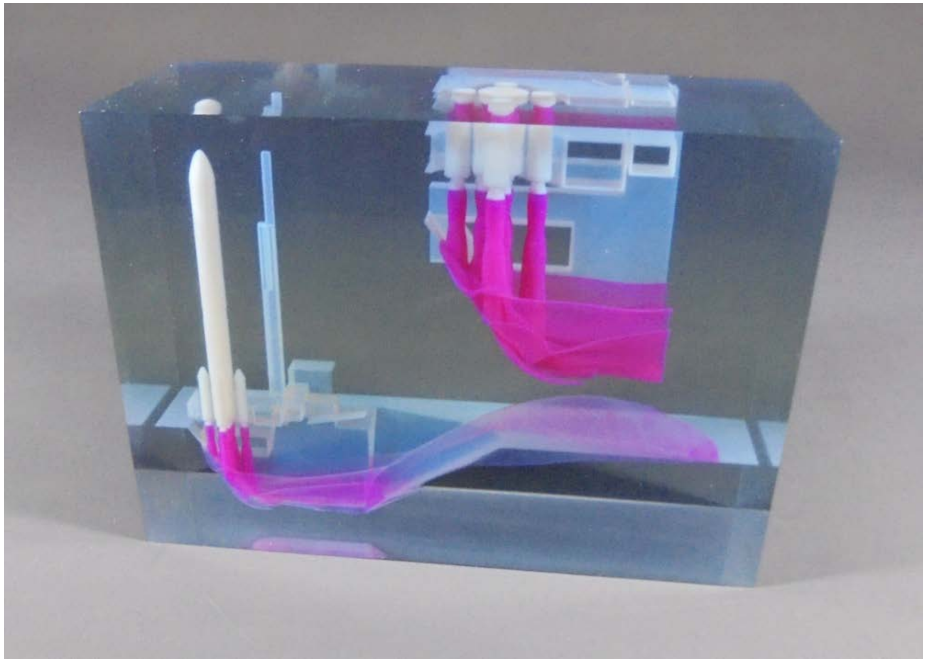


このような「H3ロケットの射場のシミュレーション」を立体化するとします。

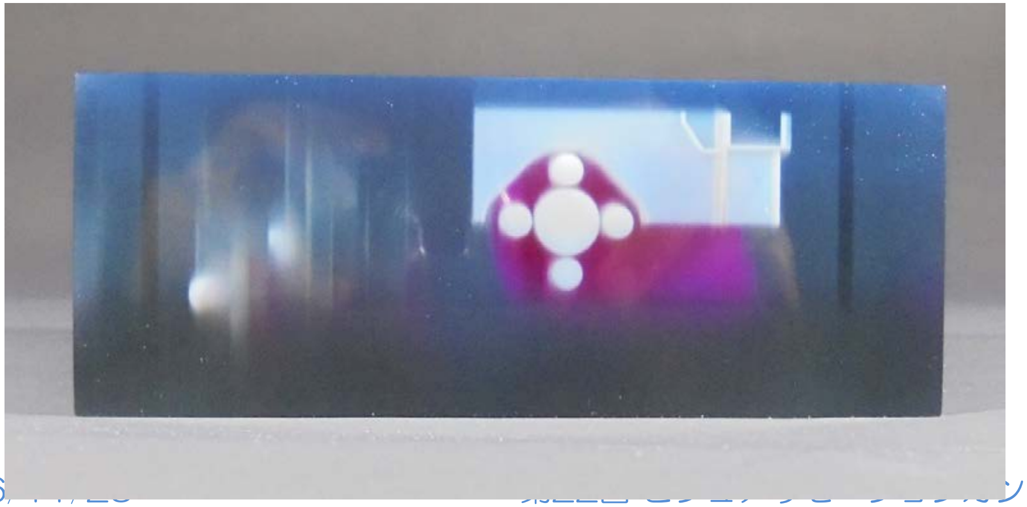
このように立てて出力すると時間がかかりますので、横に寝かせて造形します。



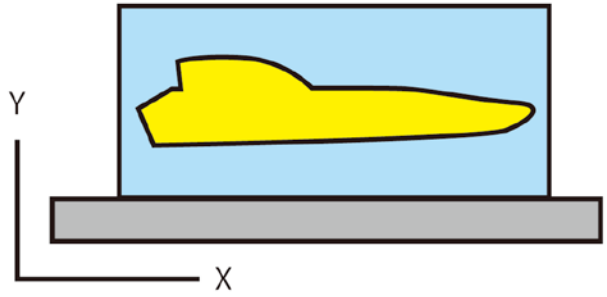
■ぼやけた出力例



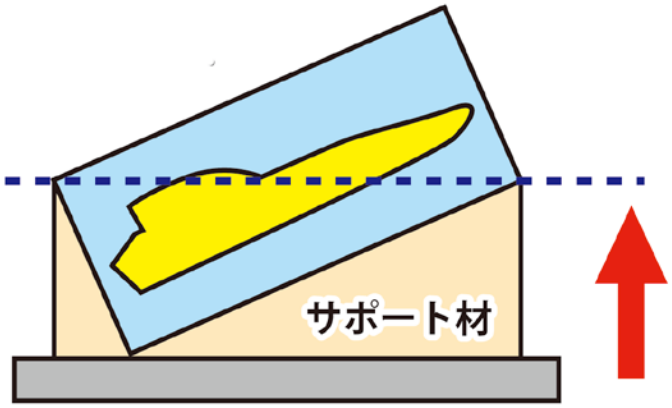
モデルが完成して、造形した正面、
この場合は直方体の一番広い面は
非常に綺麗に見えます。
側面を真正面から見ると写真のように
ぼやけて見えます。
上から見ても同様です。

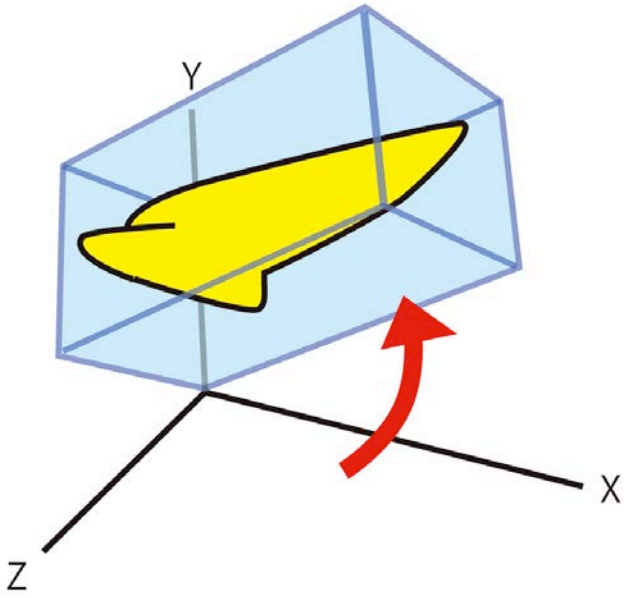


■ぼやけて見えないための工夫

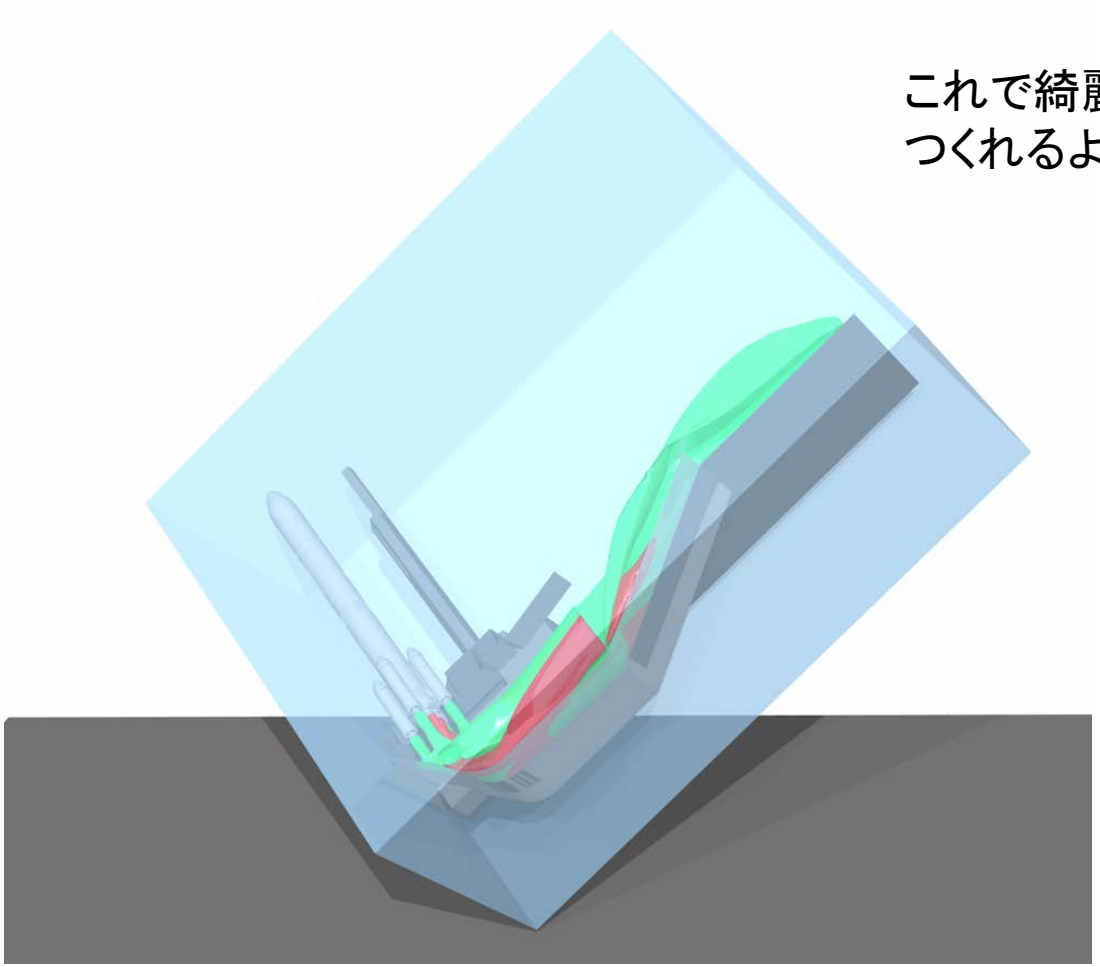


積層面に平行で見なければ綺麗に見えるのであれば、そもそも造形するするときに角度をつけて造形し、ぼやける角度を人があまり見ない角度にいれこめば、完成したモデルはストレス無く見えるモデルになるのではないかと思いました。





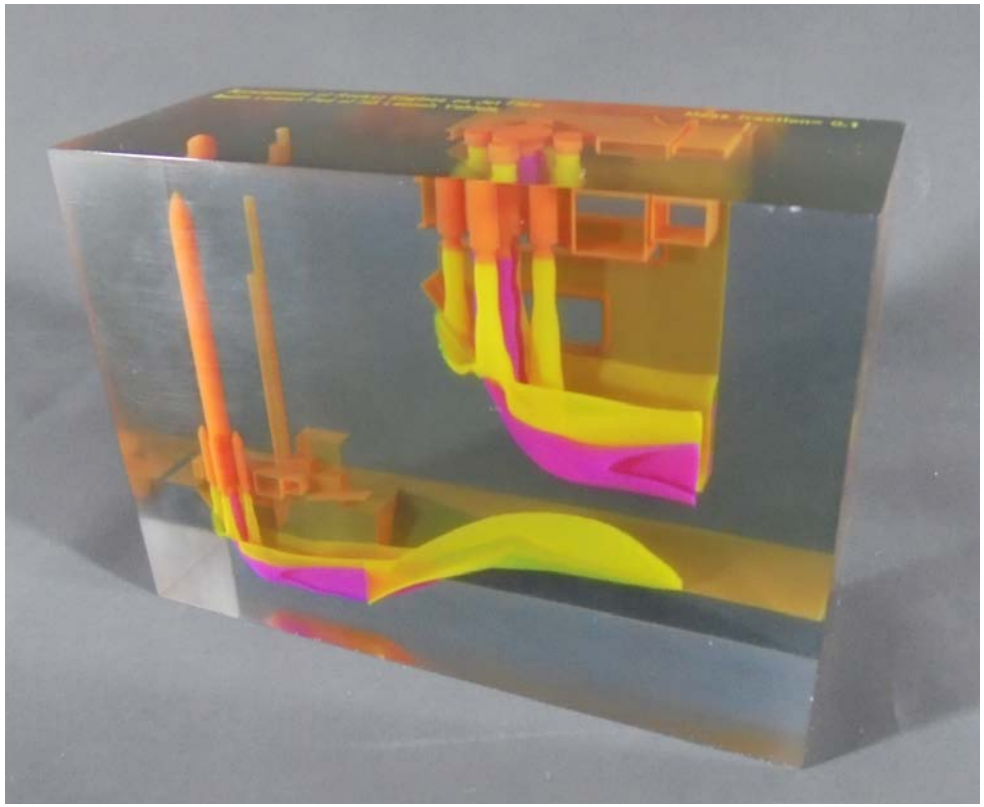
■ロケット射場を例にすると



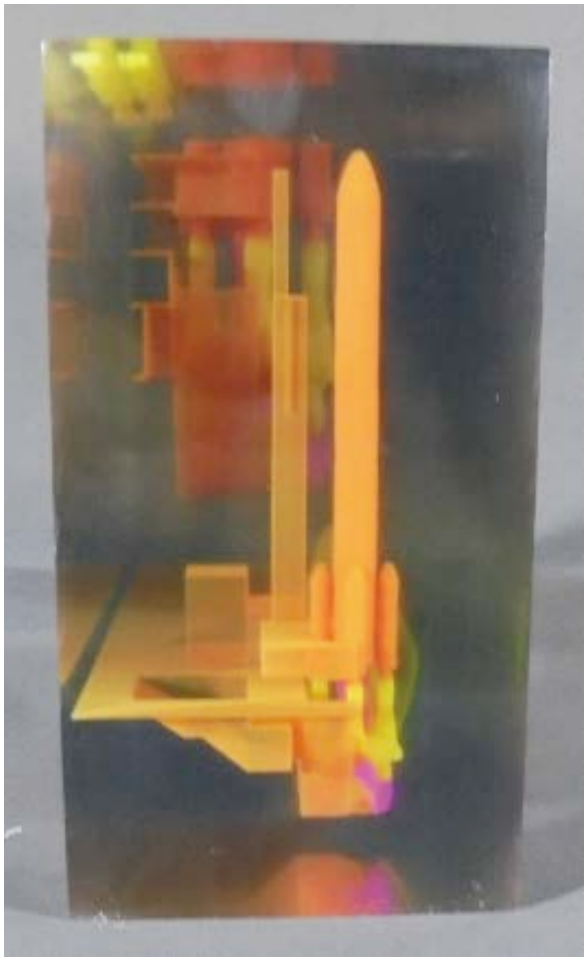
立方体であれば、x軸45°、z軸45°に
回転させれば「ぼやける」方向が
ちょうど対角の頂点にはいります。

これで綺麗にみえるモデルが
つくれるようになりました。

■6面から、はっきりと見える例



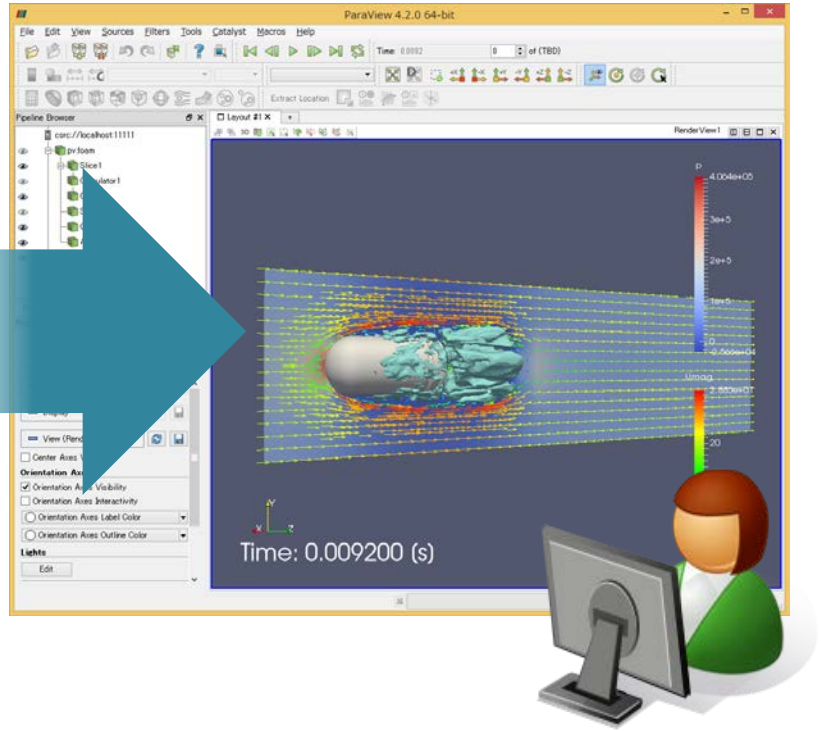
このモデルは造形方法を変えたわけではないのに、
それぞれの面の正面から見ても綺麗に見えます。



真横も綺麗に見えます。

■大規模並列可視化(ParaView)

大規模な計算結果

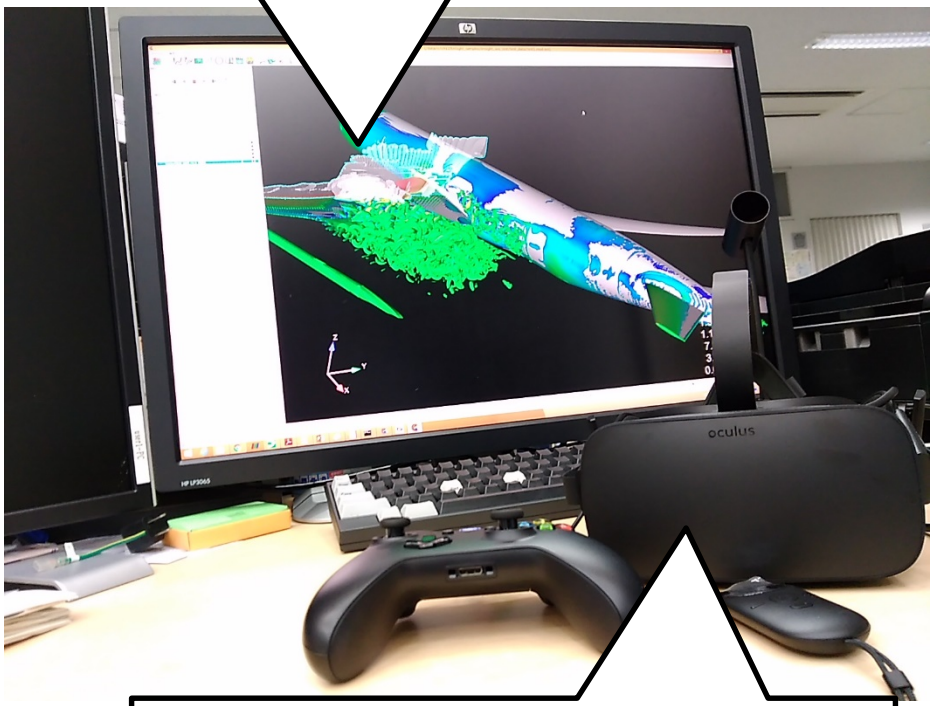


大規模遠隔可視化環境を実現

SORA-PPの分散並列環境に、ParaViewが持つリモートレンダリング機能と分散レンダリングにより、数百億格子規模の計算結果の可視化を、ユーザの端末から自在に行うことができるようになった。計算機の確保～ソフトウェアの設定・実行をワンストップサービス化。

Virtual Reality (HMD)

EnSight



Oculus rift

大日向さん、ありがとう！

これからの可視化手法

- 課題
  - 可視化データの巨大化
  - 可視化作業の定型化
  - 夜間に可視化
  - ライセンスの効果的利用
- 手法
  - In-situ可視化
  - バッチ可視化

Agenda

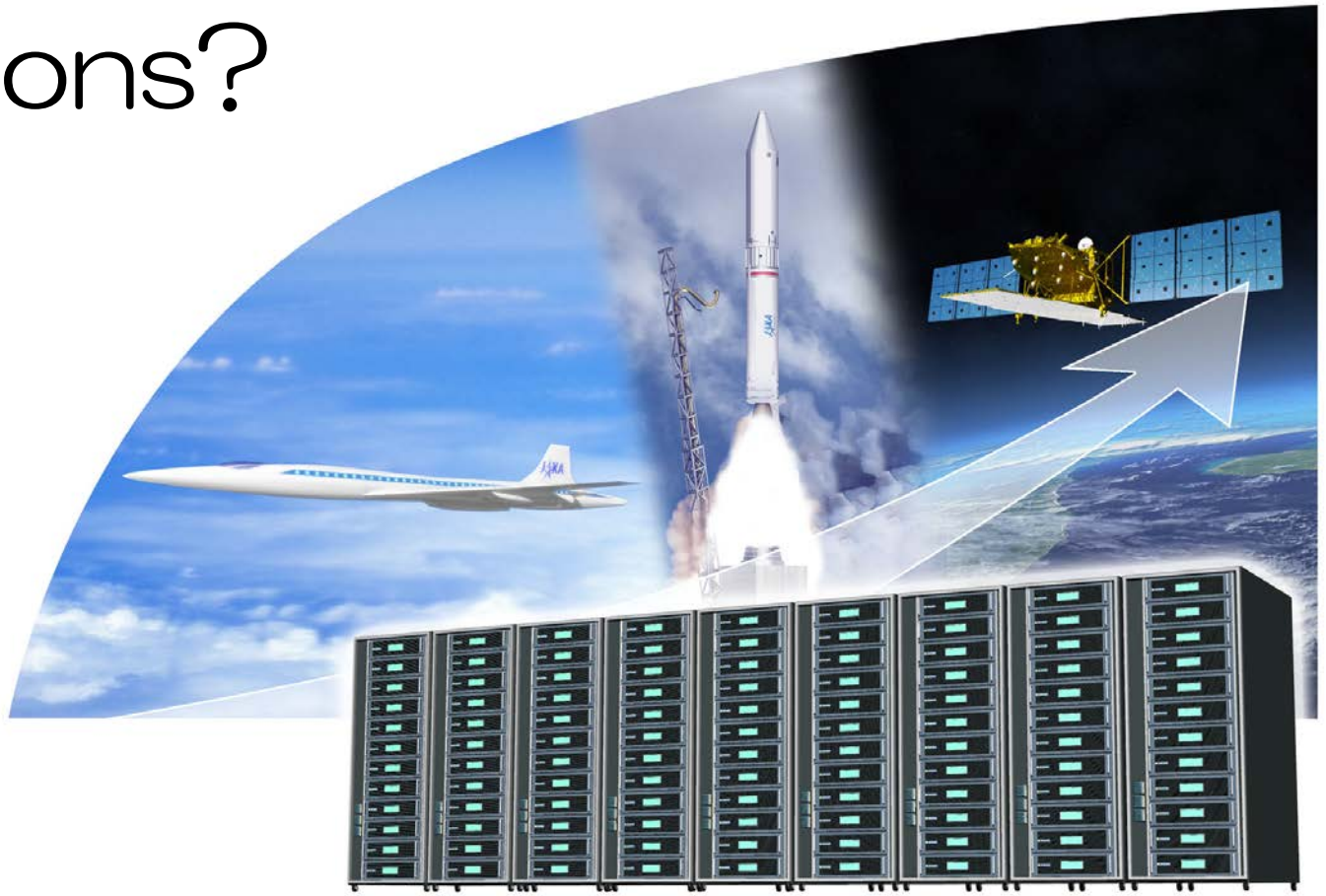
- JAXAとは
- JAXAのHPC　⇒ https://youtu.be/qPXKh4G4UY4
- JAXA可視化技術の歴史概要
- 可視化技術の歴史
  - カルコンプによるプリント可視化
  - ３次元グラフィック端末
  - アニメーションコマ撮り装置
  - 初期デジタルアニメーション装置
  - デジタルアニメーション編集装置
  - 立体視モニター
  - 裸眼立体視ディスプレイ
- 現在取り組んでいる可視化技術
  - 3Dプリンタによる立体的可視化
  - 透明樹脂積層モデル
  - 大規模可視化
  - Virtual Reality
  - これからの可視化手法
- まとめ

まとめ

- 可視化技術の歴史
  - カルコンプによるプリント可視化
  - ３次元グラフィック端末
  - アニメーションコマ撮り装置
  - 初期デジタルアニメーション装置
  - デジタルアニメーション編集装置
  - 立体視モニター
  - 裸眼立体視ディスプレイ
- 現在取り組んでいる可視化技術
  - ３Dプリンタによる立体的可視化
  - 透明樹脂積層モデル
  - 大規模可視化
  - Virtual Reality (HMD)

★これからの可視化手法

- In-situ可視化
- バッチ可視化

Thank you very much.

Questions?