VRを用いた超音速ジェット騒音解析結果の可視化および可聴化

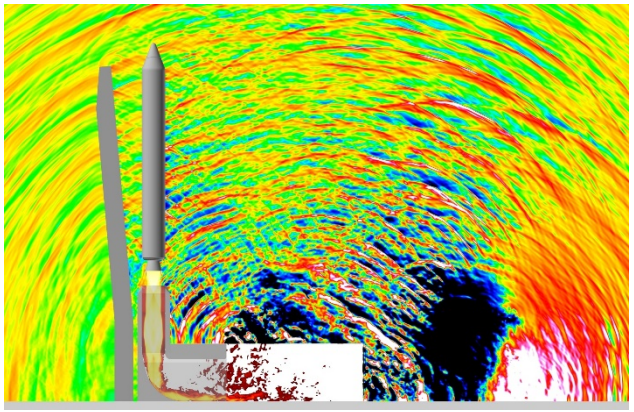
伊藤 浩之 ((株)菱友システムズ)
芳賀 臣紀, 清水 太郎, 堤 誠司 (宇宙航空研究開発機構)

背景

CFD(数値流体力学)

コンピュータによる数値計算によって，
流体の運動――流れ場，を解く技術

イプシロンロケット発射時の解析



得られた流れ場の現象を解析する可視化

- ✓ 2次元モニター上
- ✓ 複数の断面，等値面
- ✓ 固定視点からの時系列アニメーション …Etc

- □ 4次元的（空間+時間）な流れ場を人間が把握するのに適切か？
  （現象の解析，理解という視点）

- □ 知見を他者に伝える上で2次元の動画で十分か？
  （プレゼンテーション,広報）

⇒複雑な流れ場を“探査”し，”伝える”ための，新しい技術

Virtual Reality（VR) 利用の可能性

JAXA's Engineering Digital Innovation Center

コンシューマ向けVirtual Realityの進歩

90's～ CAVE(※1)

VRによる科学可視化

- ✓ 大型CAVE装置等
- ✓ 装置が高価，大規模
- ✓ ユーザ自身が設置場所に行かねばならない

→ 日々の研究・業務内で常用が困難

2012年

- ✓ Oculus Rift DK1 (※2)

2016年～

- ✓ HTC Vive
- ✓ Sony PlayStation VR

- ✓ 2012年以降，
- ✓ スマートフォン関連技術の進歩
- ✓ ゲーム用途
- ✓ 個人向けの安価なVR機器の登場

→ ユーザ1人1台で，日常的に使える

個人向けに入手できる装置とPC環境で，手軽にVRを試みることができるようになった

※1 User:Davepape (Public Domain)
https://ja.wikipedia.org/wiki/Cave_automatic_virtual_environment#/media/File:CAVE_Crayoland.jpg

※2 Sebastian Stabinger (CC BY 3.0)
https://en.wikipedia.org/wiki/Oculus_Rift#/media/File:Oculus_Rift_-_Developer_Version_-_Front.jpg

目的

- Virtual Realityを用いた数値流体シミュレーション(CFD)結果の可視化
- VR化の過程で必要な技術及び，要する作業量の評価
- 複雑な流れの中に入り込んで可視化を行うことで，新しい知見が得られるかどうかを調べる
- 広報，プレゼンテーション用途におけるVRの可能性について探る

VR装置及びマシン環境

HTC Vive

- HTC社の個人向けPC接続型VR

HP Z440

CPU : Intel® Xeon® E5-1630 v4@3.70GHz
GPU: NVIDIA Quadro P4000
Memory:64GB
OS: Microsoft Windows10 Pro

※NVIDIA社のVR Ready準拠

- ✓ 扱えるデータサイズ ∝ メモリー量
- ✓ フレームレート維持できるデータサイズ ∝ GPU性能

JAXA's Engineering Digital Innovation Center

VR開発環境

◘科学可視化ソフト

- ✓ ParaView
- ✓ EnSight

⇒ ○シミュレーションの結果をそのまま利用できる
×コンシューマ向けVRに関する機能がまだ限られる

◘360度動画

- ✓ Youtube

⇒ ○手軽に見ることができる
×動画であるため移動や干渉が不可能

◘Graphics Library

- ✓ VTK
- ✓ CAVELib

⇒ ○自由度が高い
×プログラミングの負担大(C/C++)

今回は，ゲームエンジンを使用

◘ゲームエンジン

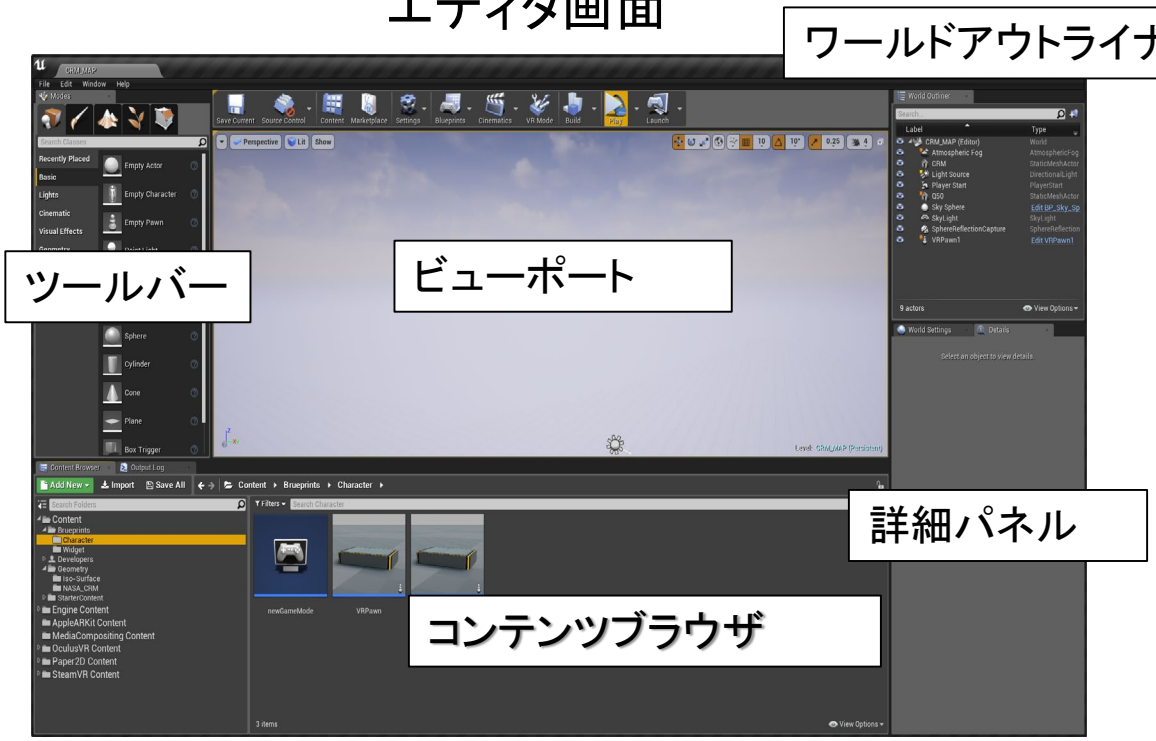
- ✓ Unity
- ✓ UnrealEngine4

⇒ ○プログラミングの負荷少
×データの前処理が必要

Unreal Engine 4

- ✓ Epic Games社製ゲームエンジン
- ✓ 使用言語はC++もしくは，BluePrint

エディタ画面

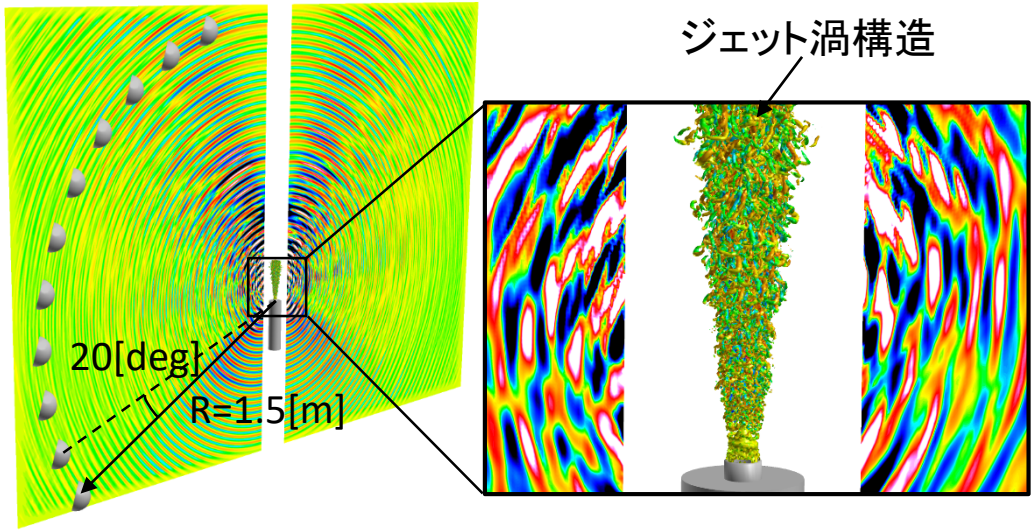


代表的なゲームエンジンである，Unreal Engine 4(UE4)を今回使用

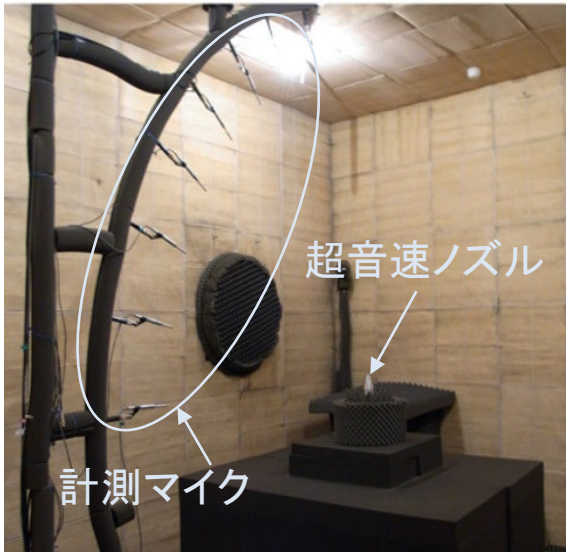
VR化するデータ

超音速ジェット騒音解析

超音速ジェット騒音解析
(総ファイル容量：141.7[GB])



実験



流束再構築法を用いた超音速ジェットスクリーチの数値解析
[芳賀 臣紀,伊藤 浩之,堤 誠司,清水 太郎,第 32 回数値流体力学シンポジウム F04-1]

- マッハ2.0の超音速ジェットの騒音計測実験を数値シミュレーションで再現
- 超音速ジェットの渦構造,計測マイク近傍の圧力場（音）が可視化されている

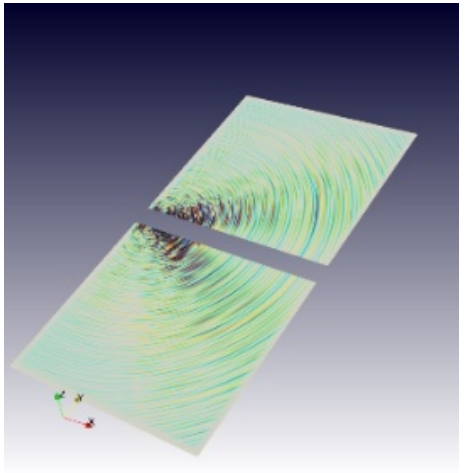
VR化に伴う困難

大規模な数値シミュレーション結果をVR化する上での難点

データサイズ

- ✓ 全時系列データ(100GB～10TB以上)
- ✓ 1断面のポリゴン数～2 MTriangles

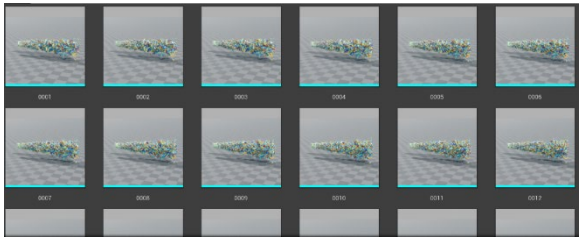
（参）PlayStation4世代：1キャラクタ～0.1 MTriangles



データ量の削減が必須

時系列データ

- ✓ 等値面は1ステップごとに頂点数が変化
- ✓ 時間方向に接続性がない
- ✓ 全時間ステップの面頂点位置を保持

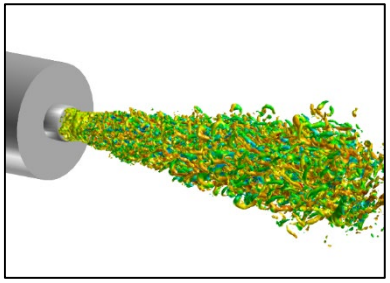


I/O処理がボトルネックとなる
メモリ上に全時間ステップのデータを乗せる

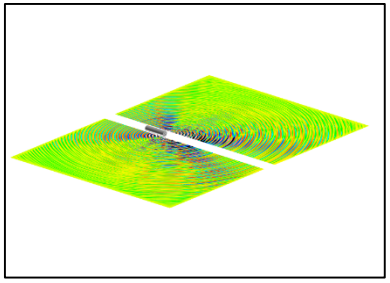
VR化対象

今回，可視・可聴化の対象としたのは以下の3つのオブジェクトである

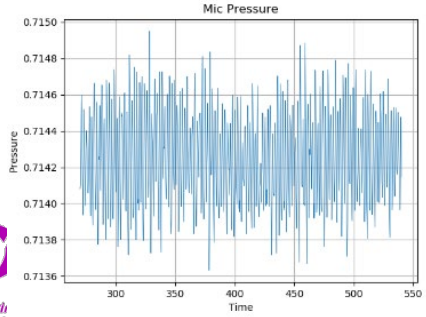
1）ジェットの渦等値面



2）圧力場の断面

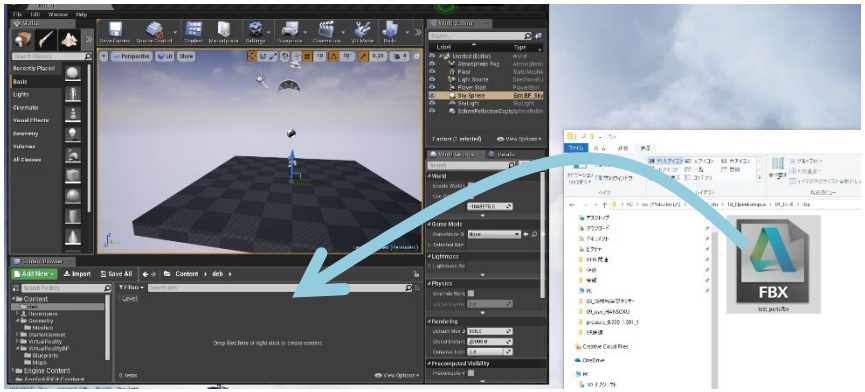


＋α）マイク位置の圧力変化(＝音)

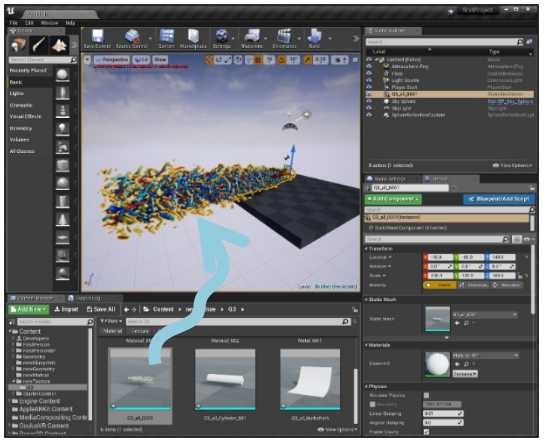


製作過程

基本的な流れ

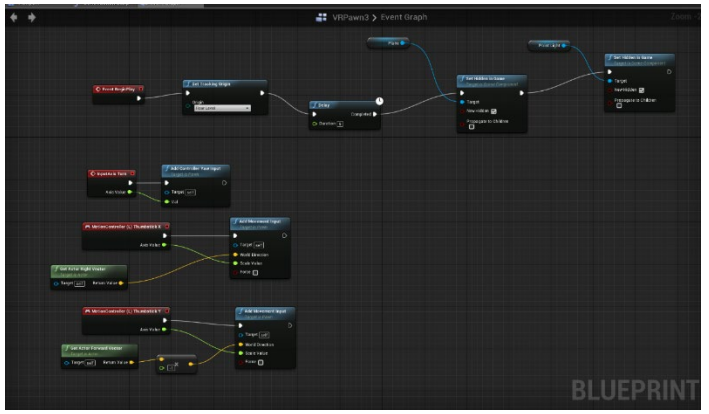


UE4に取り込みたいファイルをContent Browserへドラッグ &ドロップ ⇒ Asset



Assetを3Dビュー内にドラッグ &ドロップ ⇒Actor

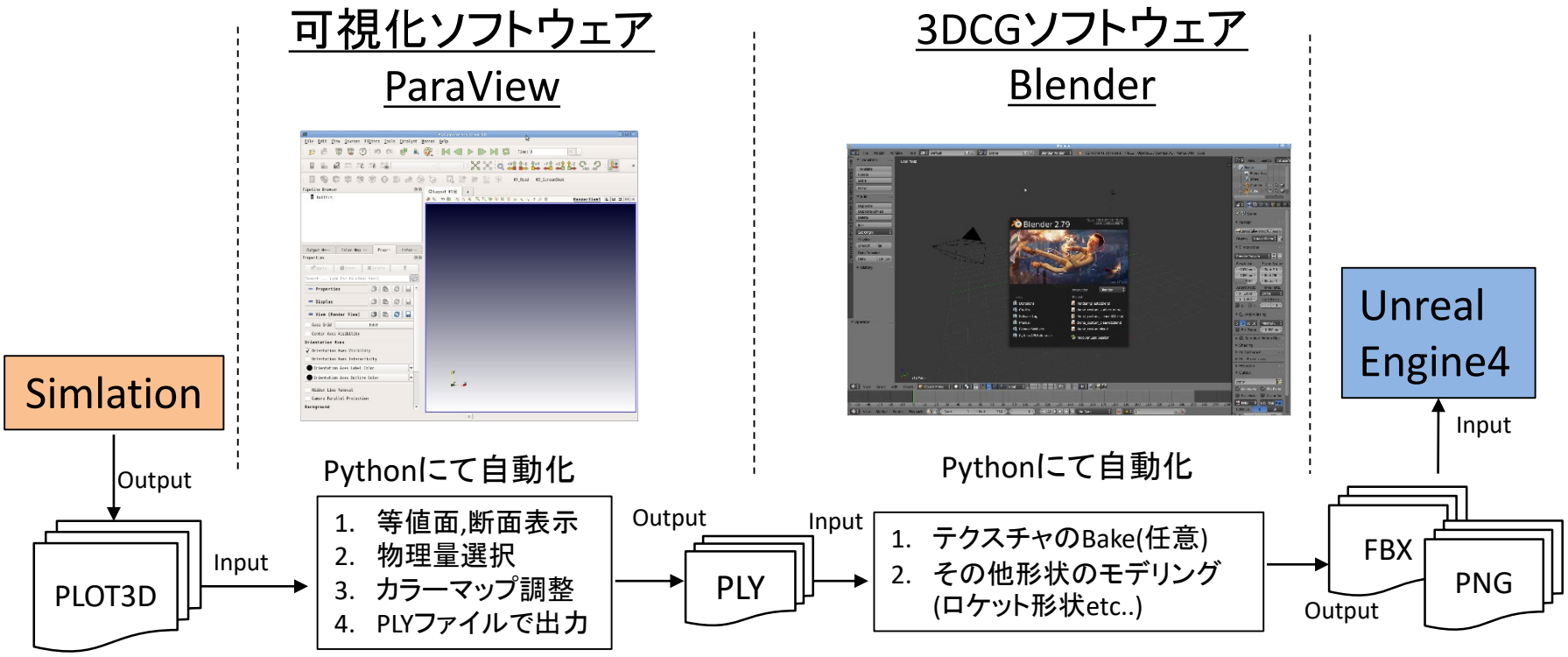
- UE4上で使用するデータ：Asset
- 3Dビュー内のオブジェクト：Actor
- Actorの挙動は，UE4のビジュアルスクリプト言語“BluePrint”によってプログラミング



BluePrintスクリプトの記述

データの変換

◘ シミュレーション結果のデータ変換



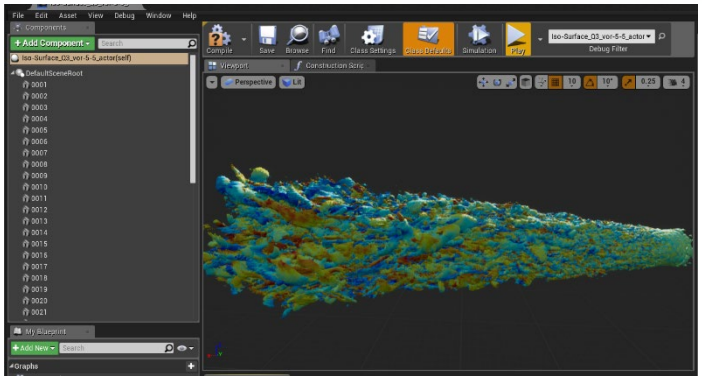
◘一連の処理をPythonスクリプトで自動化

◘必要に応じ，ParaViewの段階でポリゴン数を減らしておく

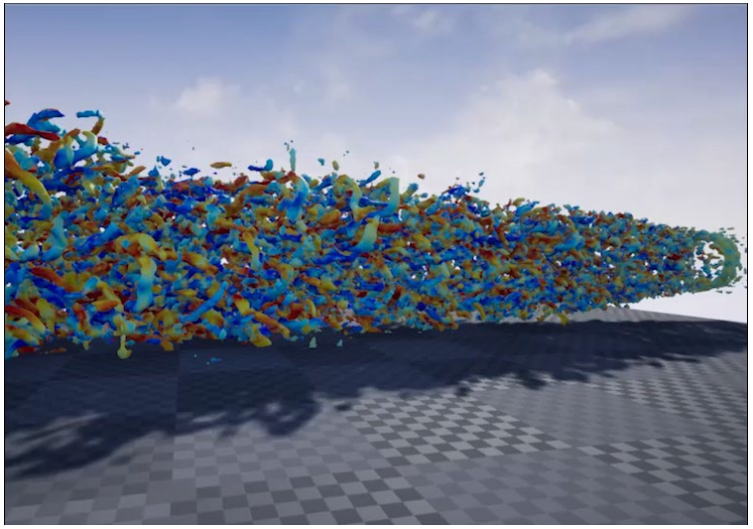
等値面の時系列アニメーション

- 起動時に全時系列のポリゴンデータをメモリに乗せる
- 等値面のスムーズなアニメーション

- ✓ 予めBluePrintのActorクラスを定義
- ✓ このクラスのComponentとして全時間ステップの等値面を登録
- ✓ このActorが呼び出されると，すべての構成要素がメモリに乗せられる
- ✓ BluePrintを用いてアニメーションさせる



✓ コンポーネントに全時系列の等値面データを登録

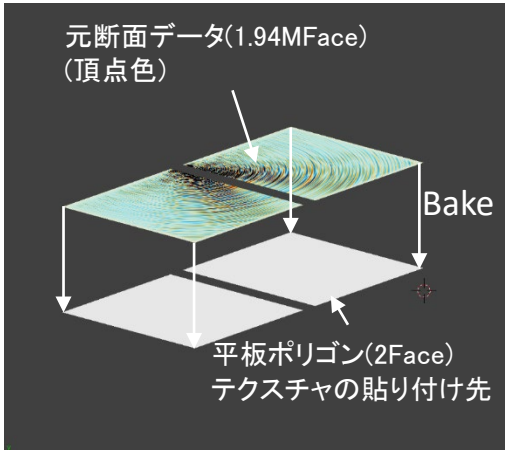


✓ Sequentialに表示と非表示を繰り返し

断面の時系列アニメーション

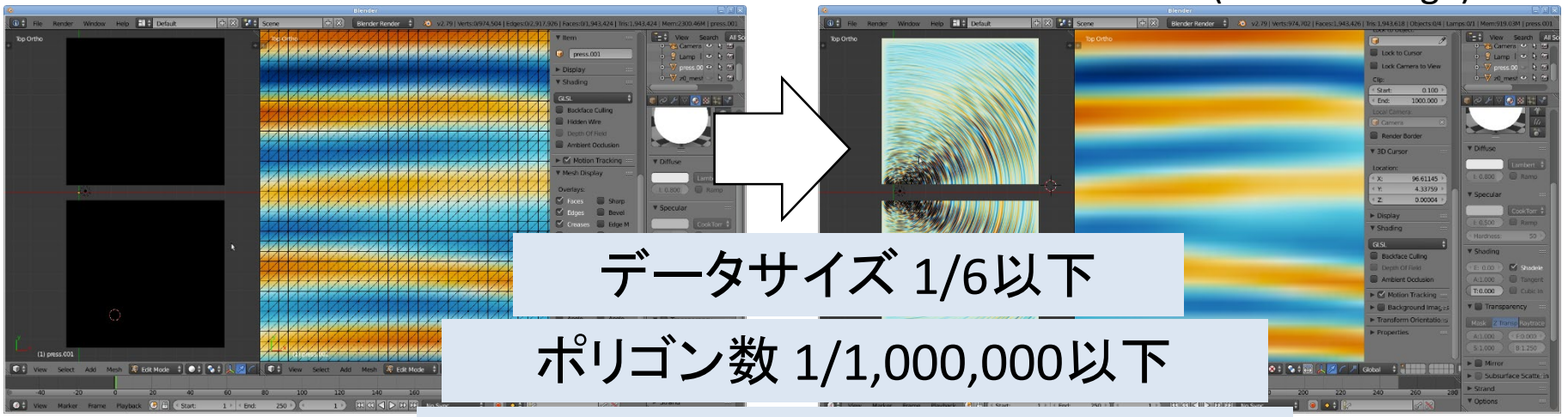
時系列で頂点位置が変化しない

- 頂点色を平板ポリゴンのUVに焼き付け（Bake)
- 時系列データをテクスチャ画像として保持
- テクスチャアニメーションで時系列データを表示



元断面データ
ポリゴン数:1943424 ,FileSize = 39[MB]

平板ポリゴンマッピング後
ポリゴン数：2,
FileSize = 12KB+6.2MB(Texture Image)



データサイズ 1/6以下

ポリゴン数 1/1,000,000以下

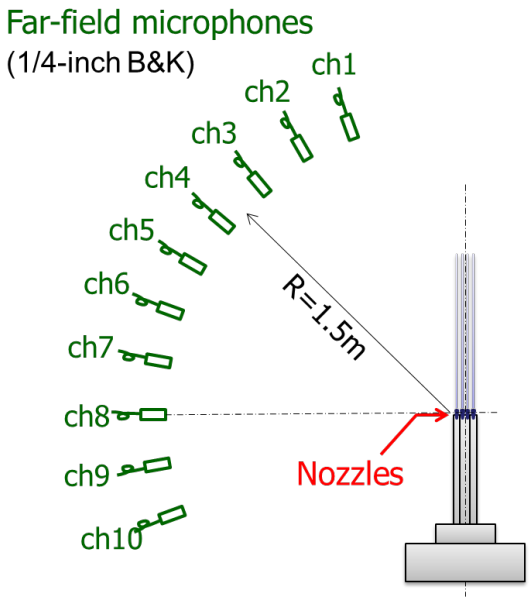
大幅にサイズを削減

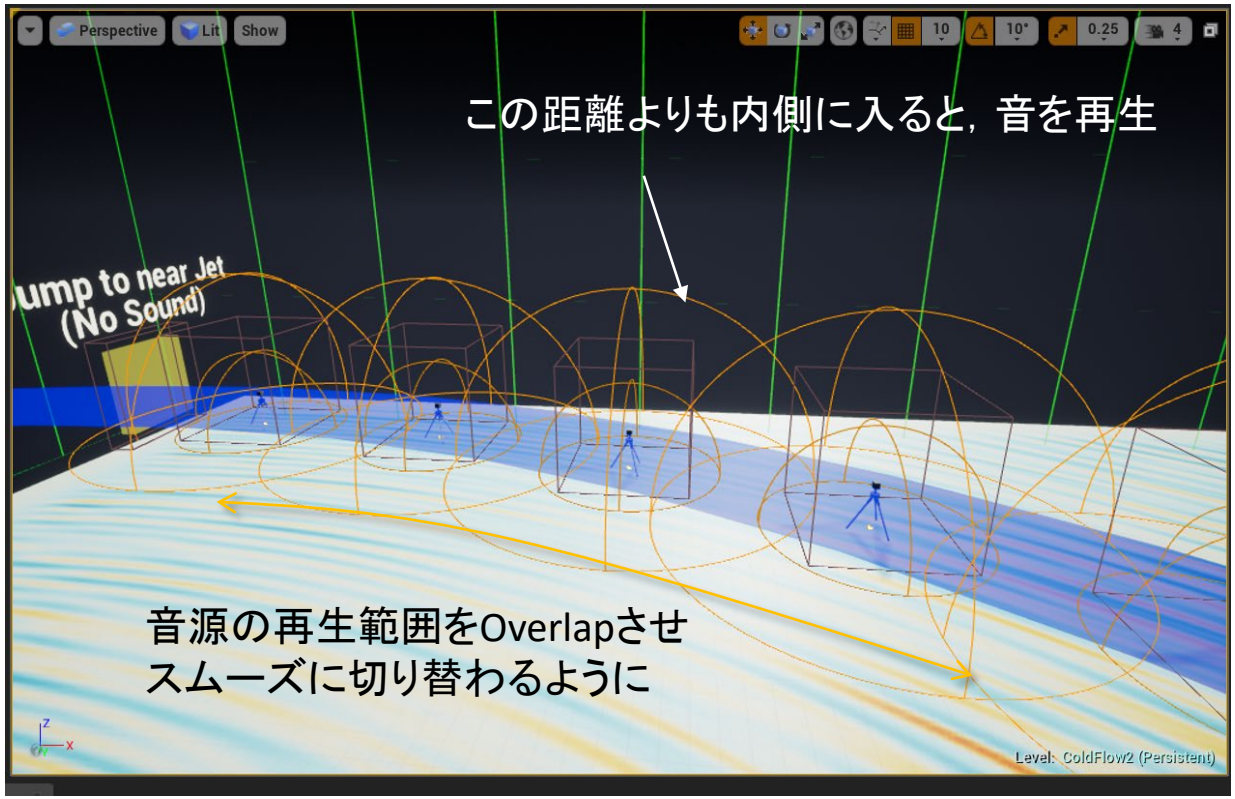
JAXA's Engineering Digital Innovation Center

音源データの配置

- ✓ シミュレーション結果の圧力データをWavファイルに変換し，実験と同じマイク位置に音源として配置
- ✓ 体験者がマイクに接近すると，その位置でのジェット騒音を聞くことができる
- ✓ キーボード操作で実験計測した音に切り替えも可能

実験のマイク位置

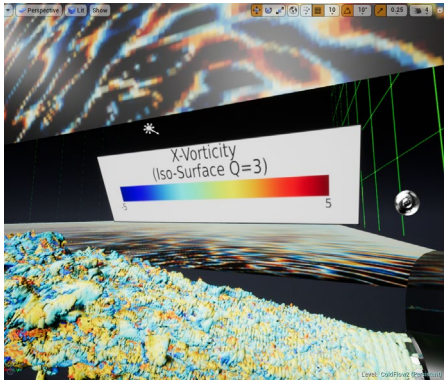




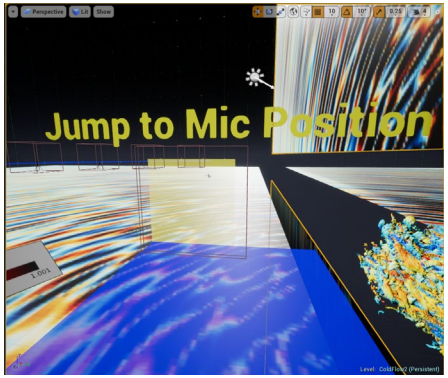
その他のオブジェクト配置

- より効果的で分かりやすい可視化のために以下のようなActorを追加した

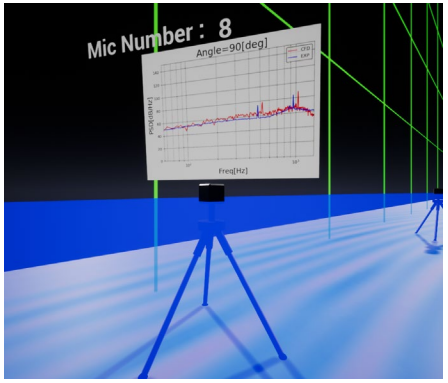
凡例の追加



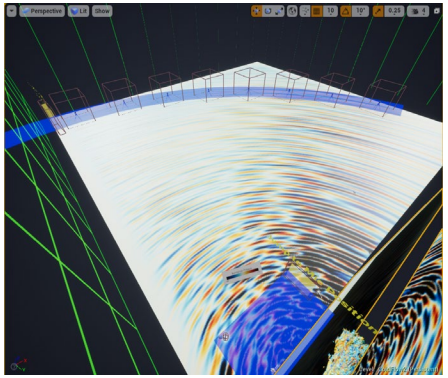
マイク位置への瞬間移動



グラフの表示

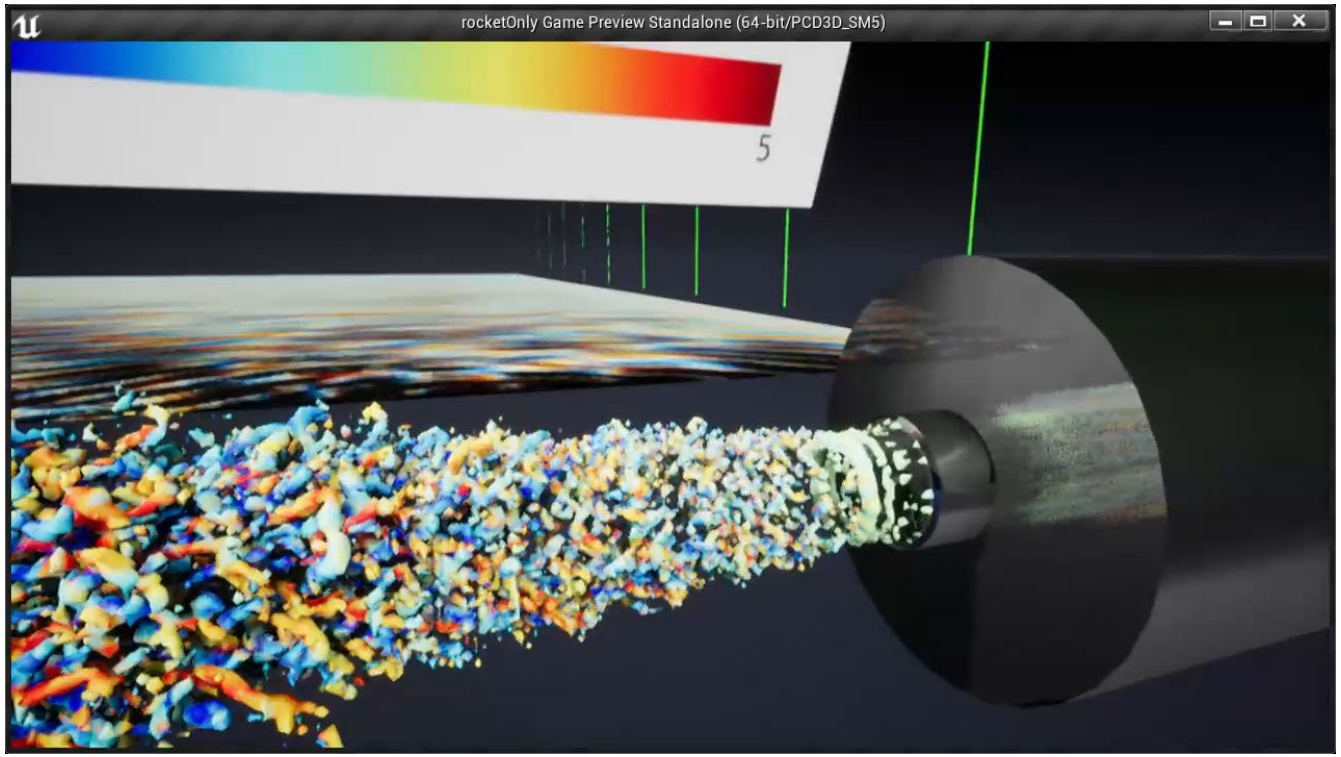


歩行範囲の設定



- 一般公開，プレゼンテーション用途にVRコンテンツを作成する場合効果的

完成したVRコンテンツ



- データを削減したことで，視点移動のフレームレートを保ちつつスムーズなアニメーションを実現できた
- VRによる立体視と，UE4のシェーディング効果により，奥行きが把握しやすい
- ジェットから出る音の強さが，角度によって変化する様子を，聴覚でも聞き取ることができ，理解しやすい

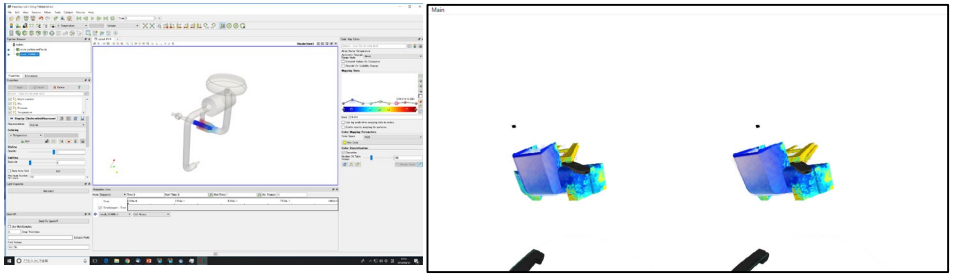
まとめ

- シミュレーション結果からVRコンテンツを作成
  - ✓ ただしデータの加工などの前処理が必要(1～3日)
  - ✓ 製作作業に1週間程度
  - ✓ 比較的簡単に美しいVRコンテンツを作成できる
  - ✓ 広報，プレゼンテーション用途に最適

一般公開での展示

- 従来の可視化ソフトウェアのみでは難しかった可視化ができた
  - ✓ ジェットの渦構造の奥行き感
  - ✓ ジェットから出る音の角度毎の差異
  - ✓ スムーズなアニメーション中の視点移動

- ゲームエンジンを用いた方法はは日常業務で使用するには作業量が多い
  - ✓ ParaView,EnSightなどのVR対応の可視化ソフトウェアの可能性
  - ✓ 機能的にはまだ課題があるが今後の発展に期待



ParaView (VR Plugin使用)

ご清聴ありがとうございました
デモ展示もよろしくお願い申し上げます