

オープンCAEシンポジウム2017

EFD/CFD融合による 空気力学に関する学生実験の紹介

中谷 淳、柴田 良一、野村 悦治
岐阜工業高等専門学校

高専専攻科 1 年次の実験

- ▶ 大学 3 年生で実施している学生実験に類似
- ▶ 翼型まわりの流れを題材とした空気力学に関する実験
- ▶ 航空宇宙工学における主要な分野 空力、制御、構造、推進

空力（空気力学）

第一に基礎を知って貰いたい

→ 航空宇宙分野に興味を持って貰えたら良いな

EFD/CFD

- ▶ 実験流体力学 (Experimental Fluid Dynamics, EFD)
- ▶ 現実になんそこできている流れの現象
- ▶ 数値流体力学 (Computational Fluid Dynamics, CFD)
- ▶ 数学、物理学を元に導出された数式で表現される流れの再現

EFD/CFD融合

- ▶ 研究開発において両者の有機的な融合が必要、且つ重要
- ▶ 両者の長所を生かして、短所を補完

両者の適切な利用と両者の差を適切に比較できる目を養う

実験対象

- ▶ 翼型モデル
- ▶ NACA0012
- ▶ 上下対象（反り無し）
- ▶ 最大翼厚比12%
- ▶ 実験や解析で用いられる一般的な翼型



風洞装置

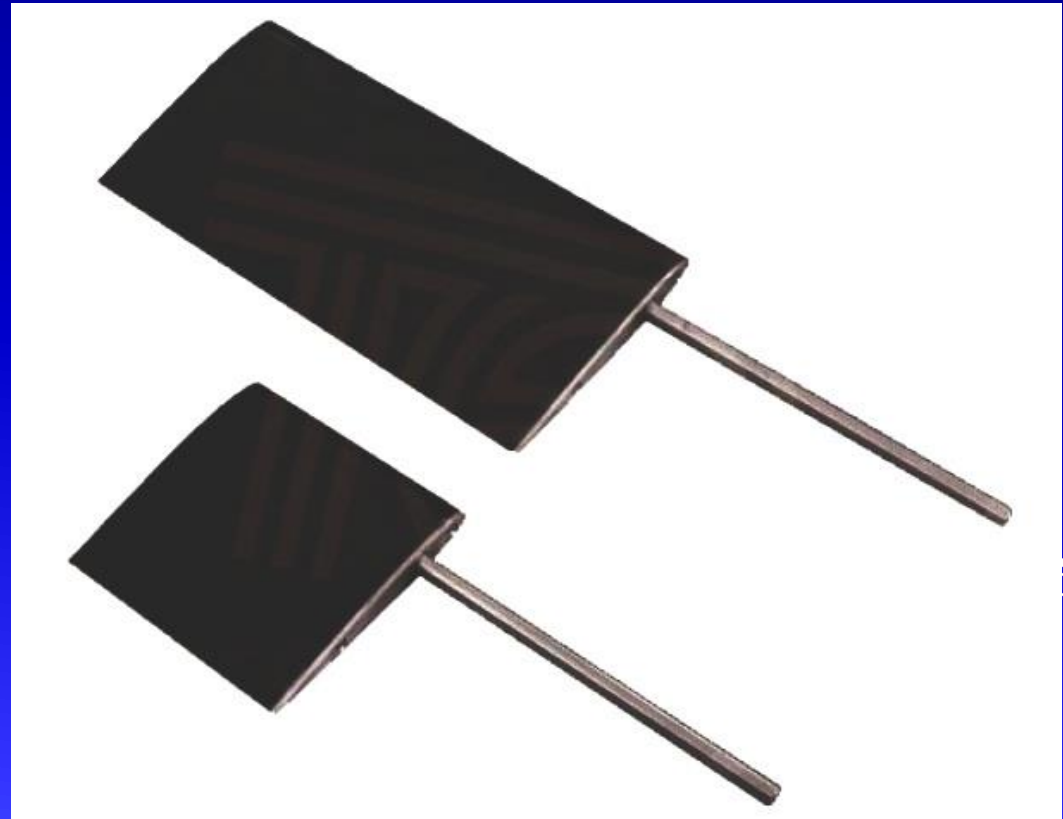
- ▶ 小型風洞実験装置AF1300
- ▶ 開放型、吸い込み式、固定壁
- ▶ 最大流速 36 m/s
- ▶ 測定部寸法 305×305×600 mm
- ▶ 単分力天秤（揚力 or 抗力）

← 空気の流れ



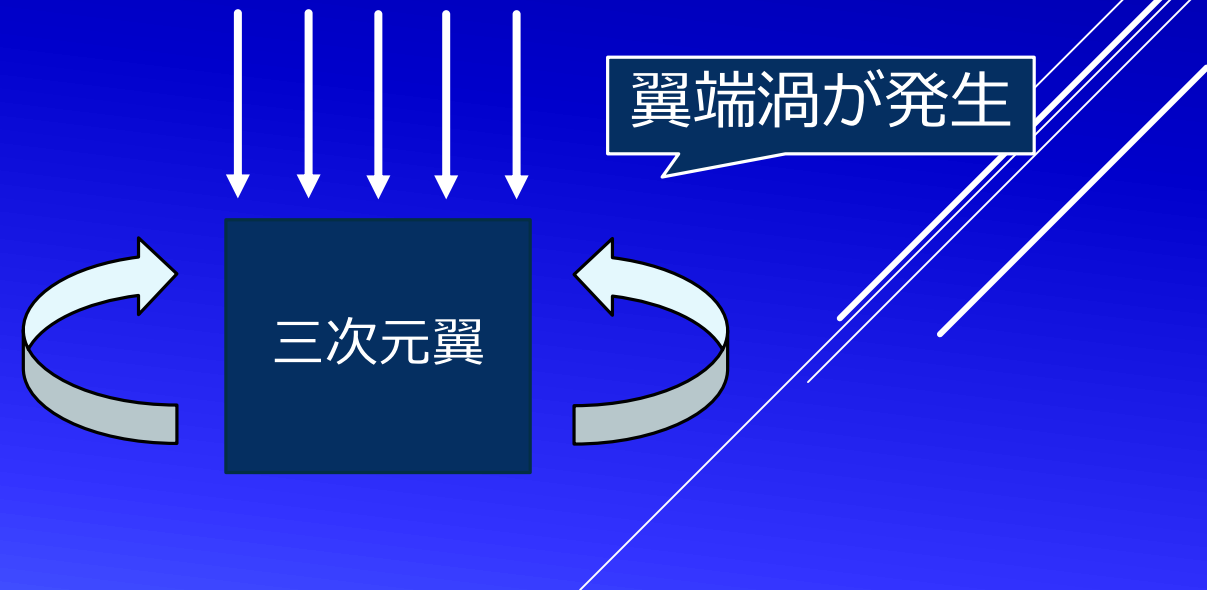
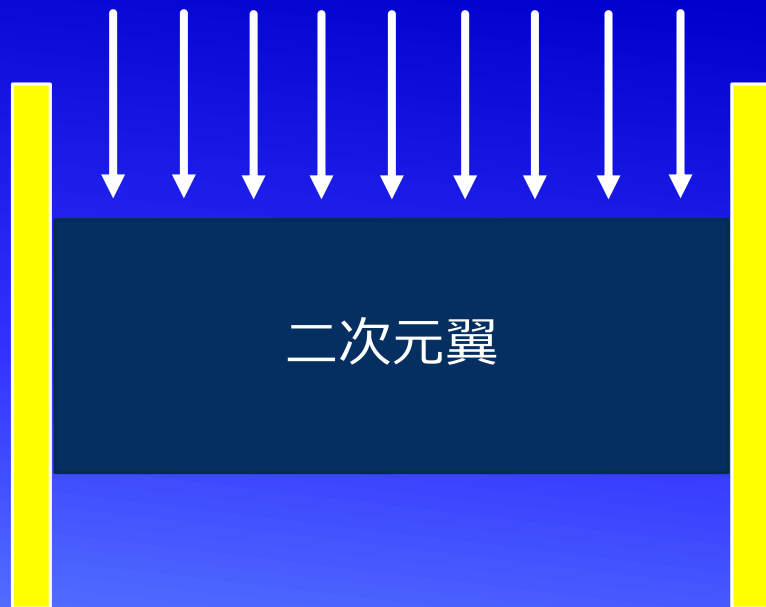
風洞模型

- ▶ NACA0012翼モデル
- ▶ 翼弦長150mm
- ▶ 翼幅300mmタイプ
 - 二次元翼（仮想）
- ▶ 翼幅150mmタイプ
 - 三次元翼



二次元翼と三次元翼

- ▶ 二次元翼 → 翼幅が無限大（理論上の翼） → 翼端が無い
- ▶ 三次元翼 → 翼幅が有限（現実の翼） → 翼端が有る

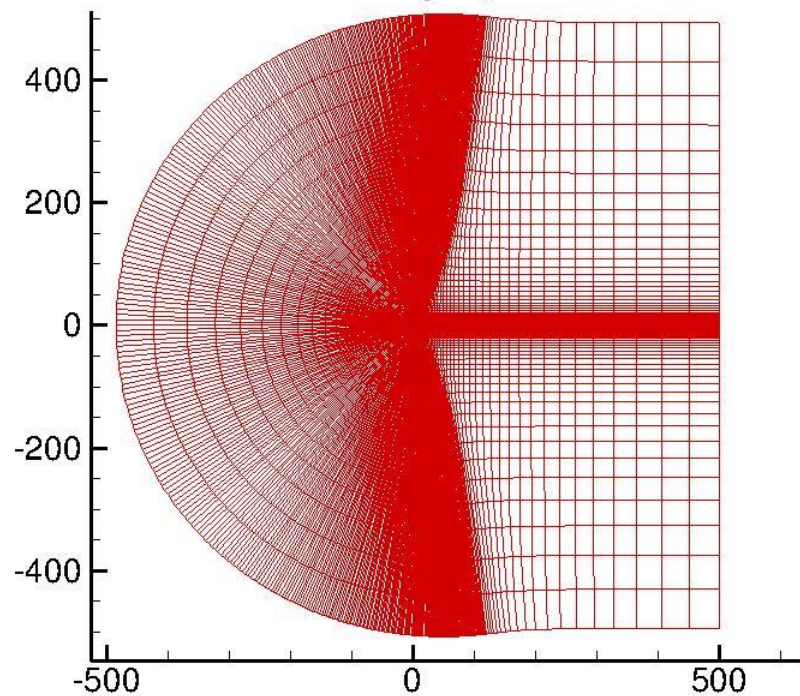


解析環境

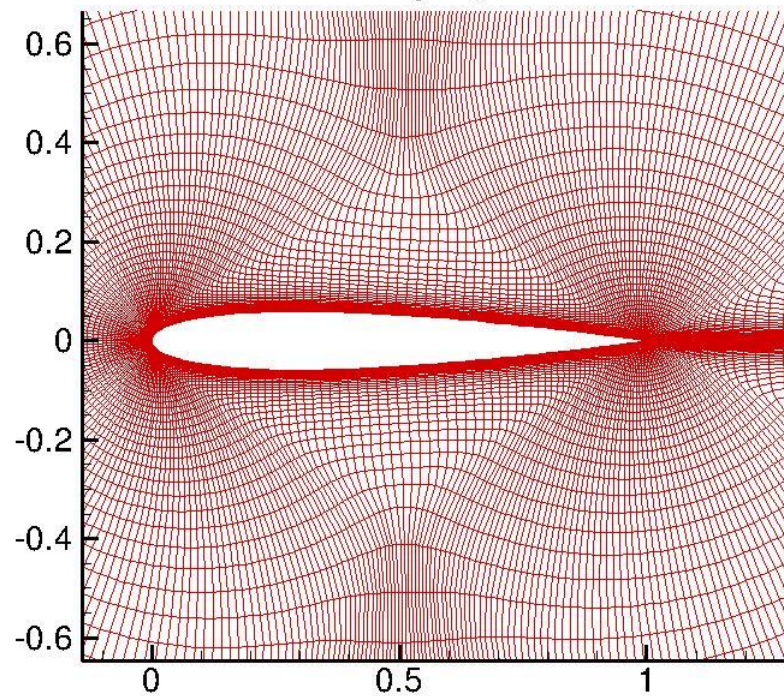
- ▶ DEXCS2016 for OpenFOAM(v4.1)
- ▶ 岐阜高専設置の計算機を利用

計算格子

449 x 129 grid, far view



449 x 129 grid, near view



ソルバ

- ▶ simpleFoam
- ▶ Semi-Implicit Method for Pressure Linked Equation(SIMPLE)
- ▶ 非圧縮・定常・乱流
- ▶ 離散化手法
- ▶ v4.1では、airFoil2Dの設定をほぼそのまま利用
- ▶ relaxationFactors(U, nuTilda)のみ値を変更

乱流モデル

- ▶ Spalart-Allmarasモデル (SA-noft2- ?)
- ▶ v3.x以降の非圧縮性ソルバ用派生型？
 - 生成項が通常タイプと異なる
- ▶ airFoil2Dの境界条件が論文の設定と異なる

<論文> $\tilde{\nu}_{wall} = 0$ $\tilde{\nu}_{farfield} = 3\nu_{\infty}$
 $\nu_t = \tilde{\nu} f_{v1}$

$$f_{v1} = \frac{\chi^3}{\chi^3 + c_{v1}^3}, \chi = \frac{\tilde{\nu}}{\nu}, c_{v1} = 7.1$$

<通常>

$$\tilde{S} = \Omega + \frac{\tilde{\nu}}{\kappa^2 d^2} f_{v2}$$

<v3.x以降>

$$\tilde{S} = \max\left(\Omega + \frac{\tilde{\nu}}{\kappa^2 d^2} f_{v2}, C_s \Omega\right)$$
$$C_s = 0.3$$

<airFoil2D>

$$\tilde{\nu}_{wall} = 0$$

$$\tilde{\nu}_{farfield} = \nu_t = \nu_{\infty} \times 10^4$$

流れの条件

▶ 風洞と解析で共通

流速 [m/s]	10, 20, 30
気温 [°C]	実験時の気温
気圧 [Pa]	実験時の気圧
迎角 [deg]	-4, -2, 0, 2, 4, 6, 8, 10, 12, 14, 16

解析では国際標準大気
に基づくパラメータ

実験環境について（まとめ）

▶ 風洞装置

- ▶ 揚力、抗力測定

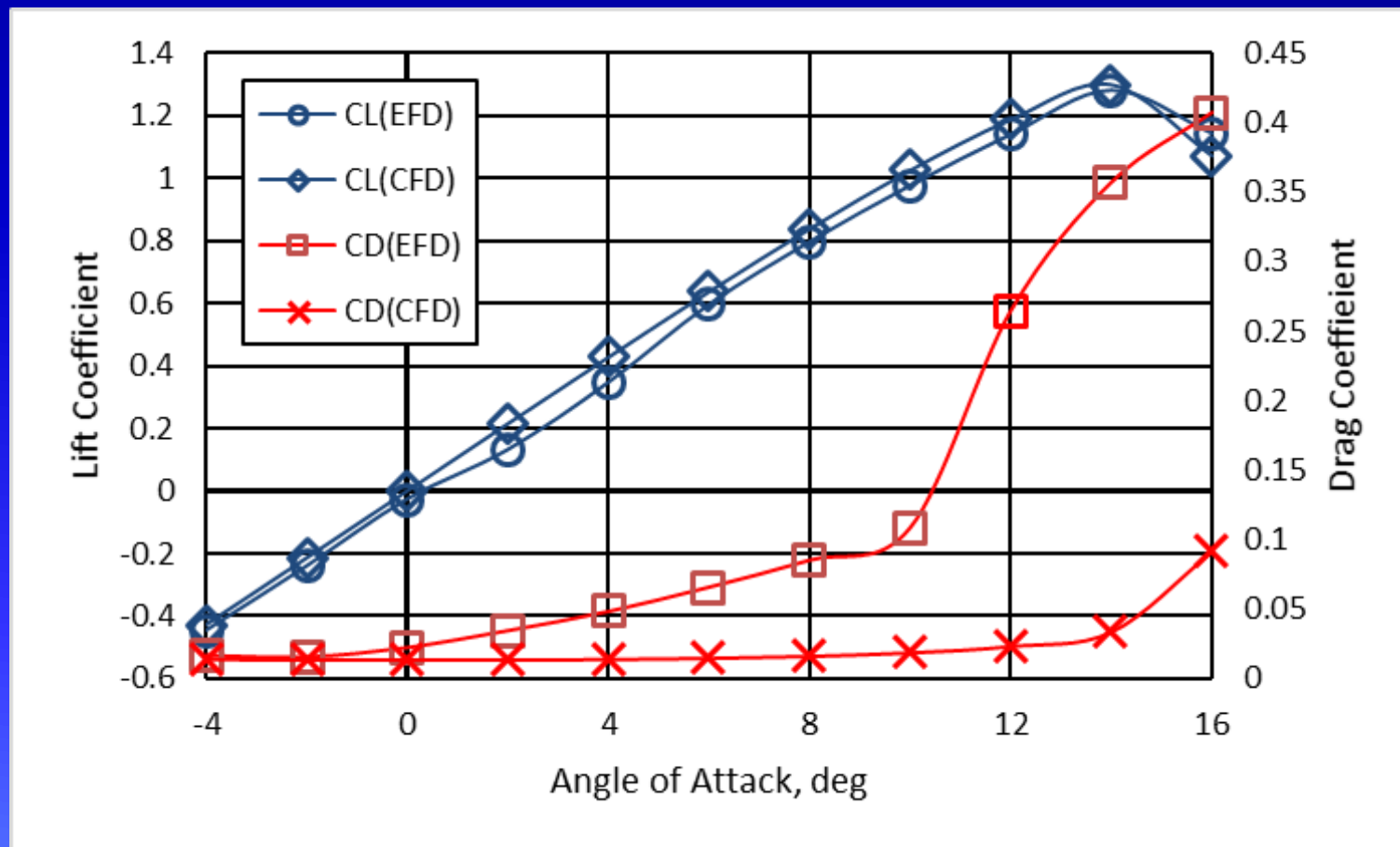
両者を比較できるのは、揚力、抗力のみ

▶ CFDソフトウェア

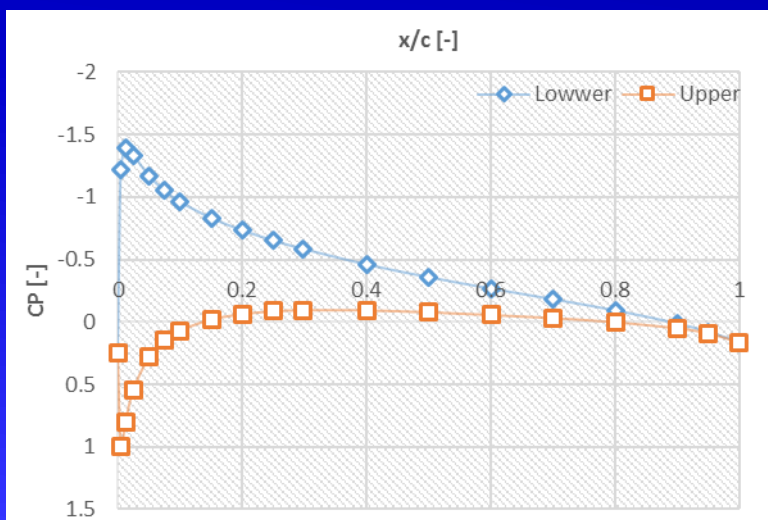
- ▶ 揚力係数、抗力係数
- ▶ 圧力係数
- ▶ 可視化

可視化はCFDのみだが、
風洞による流れの様子を予測できる

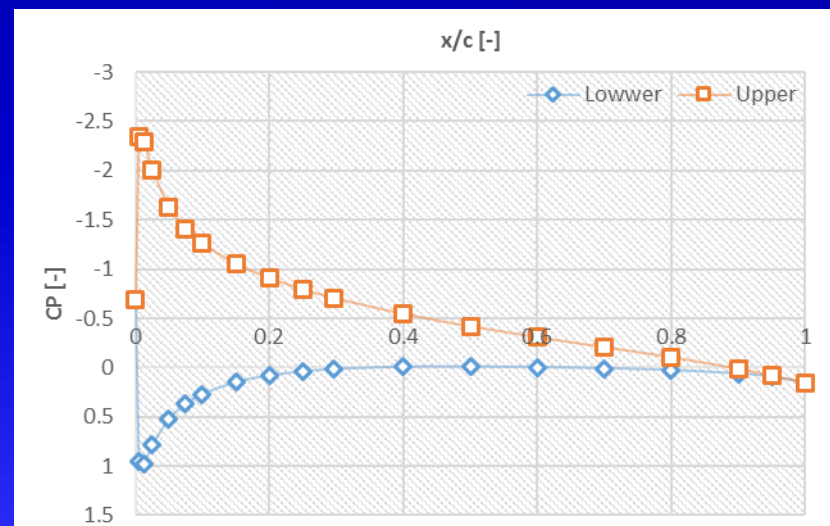
実験結果と解析結果（あるグループの例）



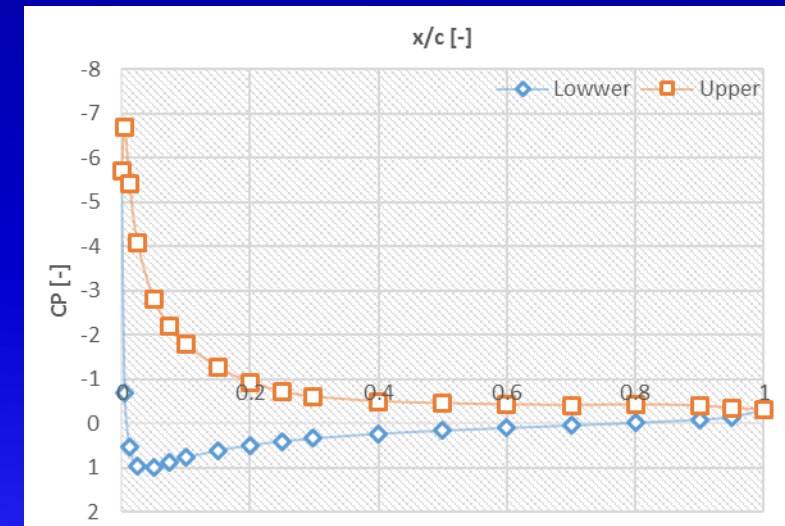
压力系数



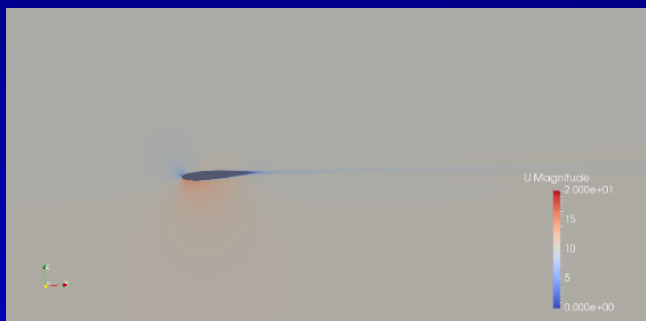
$$\alpha = -4^\circ$$



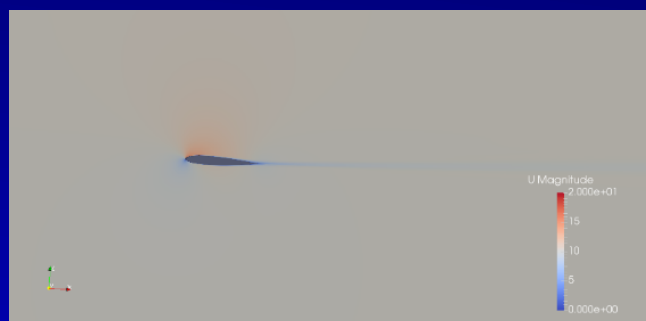
$$\alpha = 6^\circ$$



$$\alpha = 16^\circ$$



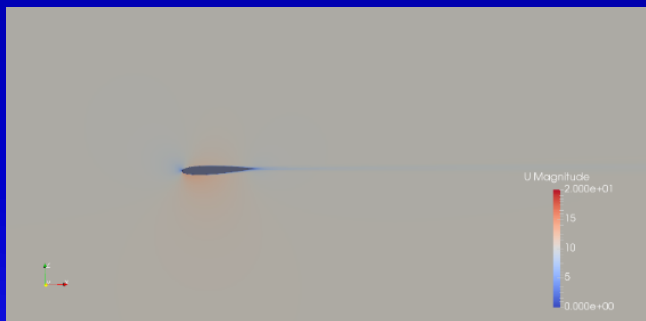
-4



4



12



-2



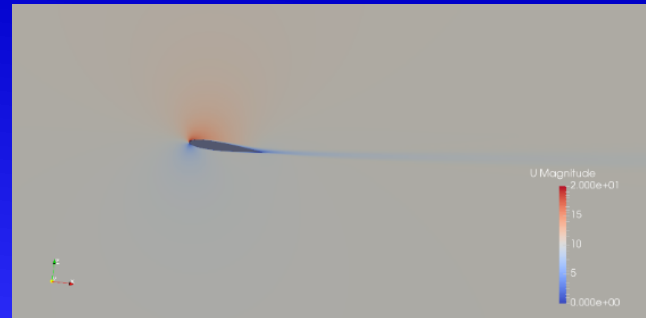
6



14



0



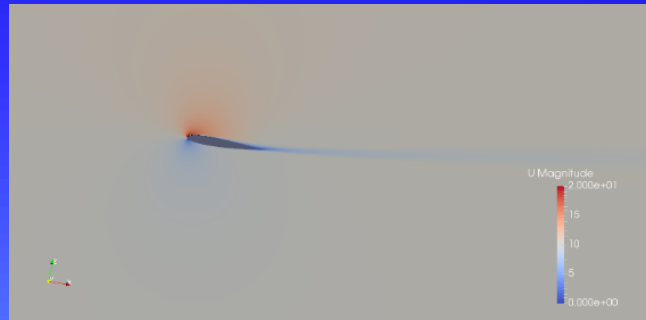
8



16



2



10

速度コンター

17

教育的意義（アンケート調査）

- ▶ 受講生24名（1名欠席）
- ▶ 流体力学の履修状況 → 8名履修済
- ▶ 航空宇宙工学の履修状況 → 14名履修中
- ▶ 風洞実験に対する理解 → **18名理解**
- ▶ 流体解析に対する理解 → **17名理解**

感想①

- ▶ 風洞試験と流体解析により翼にかかる空気力や流れの様子について理解を深めることができた
- ▶ 揚力や抗力といった基礎的な概念やその発生原理を理解し航空、その他空力を利用する分野に対する理解・関心が高まった
- ▶ 実験のみ、解析のみでは発見できない部分を実験と解析の結果を比較して、考察し理解を深めることができた。
- ▶ 専門外の分野で初めて聞く言葉が多くとても難しく思った

感想②

- ▶迎角を大きくすることで翼の振動や音が発生したが、実際の飛行機のように興味深かった。
- ▶今回の流体解析では、メッシュについてあまり触れることが無かったが、メッシュの粗さで解析の精度が変わることもあるので、重要なパラメータであると感じた。
- ▶解析に時間がかかる

まとめ

- ▶ 空気力学の基礎を理解して貰うための学生実験
- ▶ 風洞実験と流体解析を組み合わせる実験
- ▶ 実験と解析結果を比較することで両者の特徴を理解
- ▶ 流体力学、流体実験・解析に馴染みがない学生にも教育効果