

機械・航空宇宙工学序論

6/24 流体力学

担当 渡邊 智昭

航空宇宙工学専攻 流体力学研究室

講義内容

- 流体力学について
（流れについての学問）
- 流れ/流体を使う
- 流れを作る/調べる
- 流れを予測する

流体力学について

流体力学

流体：液体や気体 例えば…水， 空気， 油

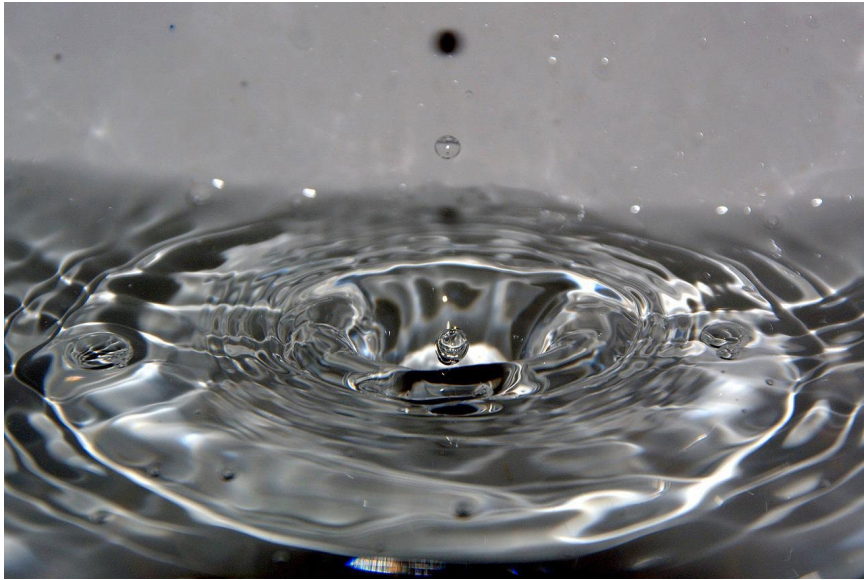


流体ではない：固体



流体力学

流体の性質：自然に変形する・流れる
(流動性)



Peter Schmidt via Pixabay



Janusz Walczak via Pixabay

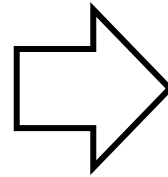
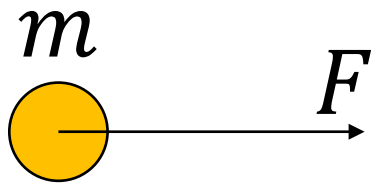
流体力学

流体力学

流体：液体や気体

力学：物体の運動法則に関する学問

質点の力学



流体力学



Arek Socha via Pixabay

力，加速度，運動量，エネルギー…

機械工学で学ぶ4大力学

機械工学の基礎

- 機械力学
(剛体の力学, 仕事の原理, 運動方程式)
- 材料力学
(固体の変形や破壊など)
- 熱力学
(熱, 温度, エネルギー)
- 流体力学
(流体にかかる力のつり合い, 運動)

機械工学で学ぶ4大力学

機械力学

車の運動や振動を調べる
→安全に走行できる車を作る

熱力学

エンジン内の熱の発生や伝わり方を調べる
→効率の良いエンジンを開発する



材料力学

部品に働く力と変形を調べる
→十分な剛性と強度を持つ
車体を設計する

流体力学

車体周りの空気の流れと抵抗を調べる
→空気抵抗を減らして燃費を向上させる

日刊工業新聞, 流体力学とはどんなものか

流れ/流体を使う

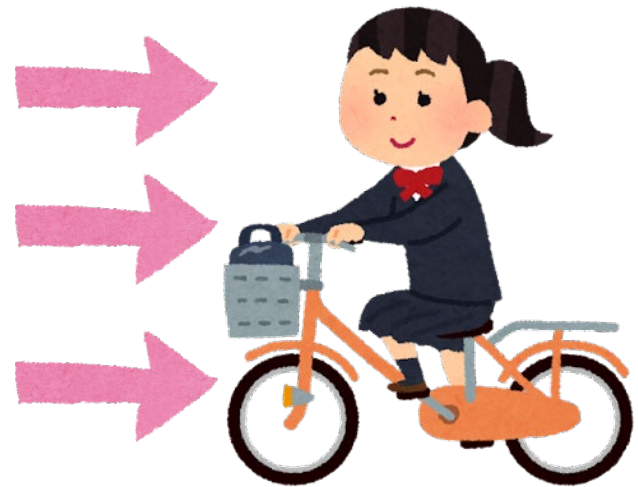
工学，身の回りの流れ

流れ/流体を使う

- 自動車，飛行機，バイク，自転車
→ 空気抵抗，揚力（流れによる力）
- 扇風機，換気扇，水道，パイプライン
→ 空気を送る，液体を流す
- 冷蔵庫，オーブン，エアコン
→ 冷たい・熱い空気を混ぜる
- 風力発電，水力発電
→ 流れのエネルギーを取り出す

流れ/流体を使う

走ると空気の抵抗を感じる



自動車なども同じ

抵抗が小さい→燃費良, 低騒音 (風切音)

流れ/流体を使う

空気抵抗を減らす

1930年代



<https://ja.wikipedia.org/wiki/トヨタ・AA型乗用車>

2020年代



<https://toyota.jp/prius/>

流れの抵抗を受けにくいデザインへ

- 空気の流れを考慮した設計
- 曲面の加工技術

流れ/流体を使う

1940年代



<https://ja.wikipedia.org/wiki/国鉄C62形蒸気機関車>

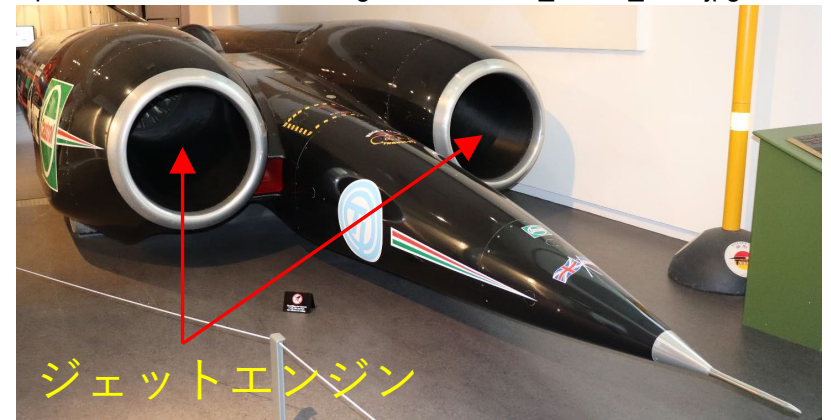
2020年代



<https://ja.wikipedia.org/wiki/新幹線N700S系電車>

https://commons.wikimedia.org/wiki/File:1997_Thrust_SSC.jpg 2023.3.31

空気抵抗を減らす
→ 高速化



音速：時速約1,225km

スラストSSC
(超音速走行を達成した車)

流れ/流体を使う

流れから受ける力を利用

航空機



<https://www.turkishairlines.com/ja-jp/flights/fly-different/fleet/boeing-737-800/>

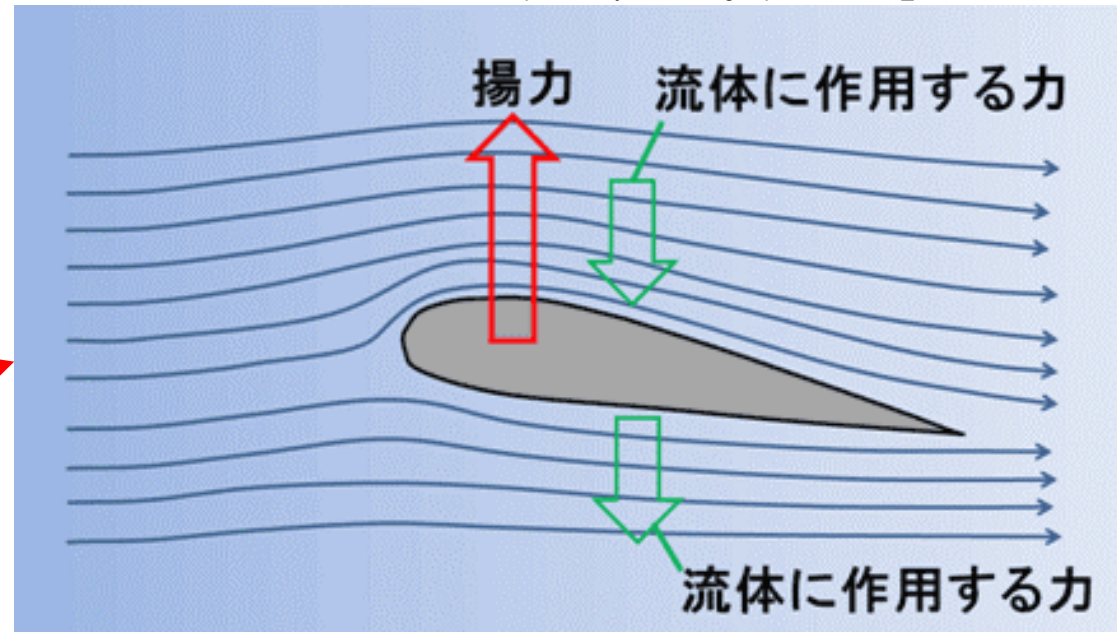
流れ/流体を使う

流れから受ける力を利用

https://www.jsme-fed.org/experiment/2010_2/002.html 2023.3.31



<https://www.turkishairlines.com/ja-jp/flights/fly-different/fleet/boeing-737-800/>
2021.3.31



流れの読み物 > 楽しい流れの実験教室 > 翼の原理

- 翼の上面に当たった風は翼に沿って曲げられ下向きに流出し、この間、翼から下向きの力を受けます。翼は反作用として空気から上向きの力を受けます。
- 翼の下面に当たった風は下向きに曲げられ、このとき翼から下向きの力を受けています。翼は反作用として空気から上向きの力を受けます。

流れ/流体を使う

流れから受ける力を利用

ウィングスーツ

<https://youtu.be/FGhtJnK9ZWA> 2023.3.31



流れ/流体を使う

扇風機

風を送る



<https://kadenfan.hitachi.co.jp/air/hef-dl300d/>

(人が風を浴びる)

サーキュレーター



<https://www.balmuda.com/jp/greenfan-c2/>

(空気を混ぜる)



目的に合った流れを作る

流れ/流体を使う

空気を混ぜる

コンベクションオーブン (対流熱伝達)



※画像はイメージです。

<https://www.toshiba-lifestyle.com/jp/microwaves/er-xd7000/>



- 庫内の空気を混ぜて
- ・ 熱風を送る
 - ・ 温度を均一にする

<https://kakakumag.com/seikatsu-kaden/?id=3244>

流れ/流体を使う

空気を混ぜる

石窯

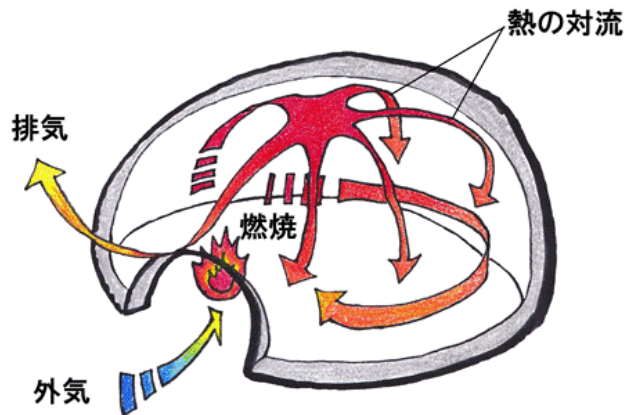


<https://www.pellet-bbq.com/blog/1567/>



<https://www.facebook.com/photo/?fbid=697645408783095&set=ecnf.100056129274345>

ナポリピザだと400度以上



ドーム型石窯内の熱の対流の様子

<http://www.sasakiwoodwork.jp/toku.dome.html>

暖かい空気は軽い

→ 上昇気流を利用して
混ぜるためのデザイン

流れ/流体を使う

風力発電

洋上風力発電

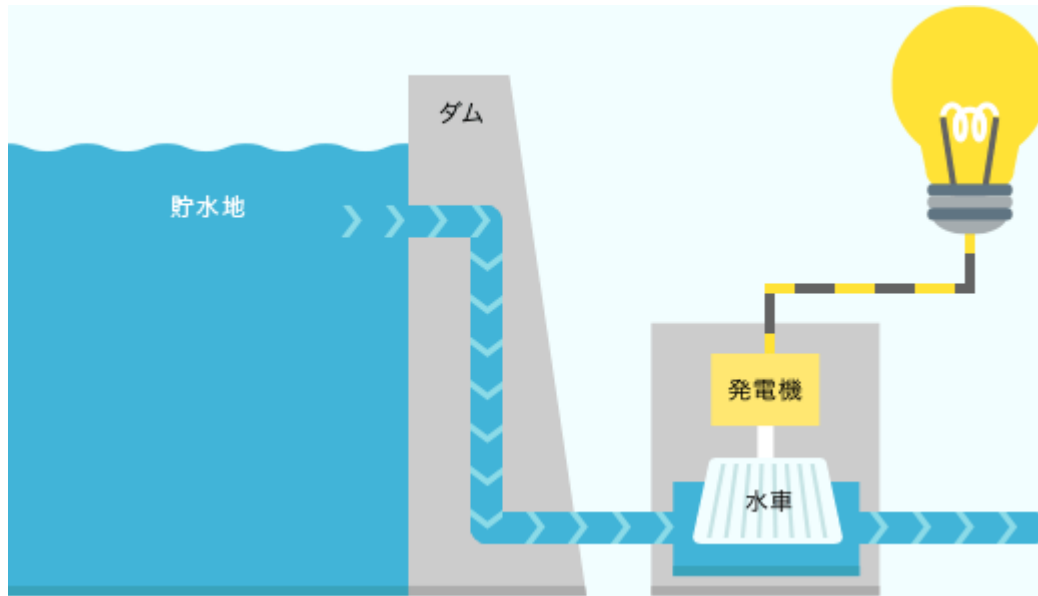


<https://www.redherring.com/startups/offshore-wind-energy-turning-point-next-comes-innovation/>

流れのエネルギー → 電気エネルギー

流れ/流体を使う

水力発電



<https://www.sbenergy.jp/study/illust/water/>



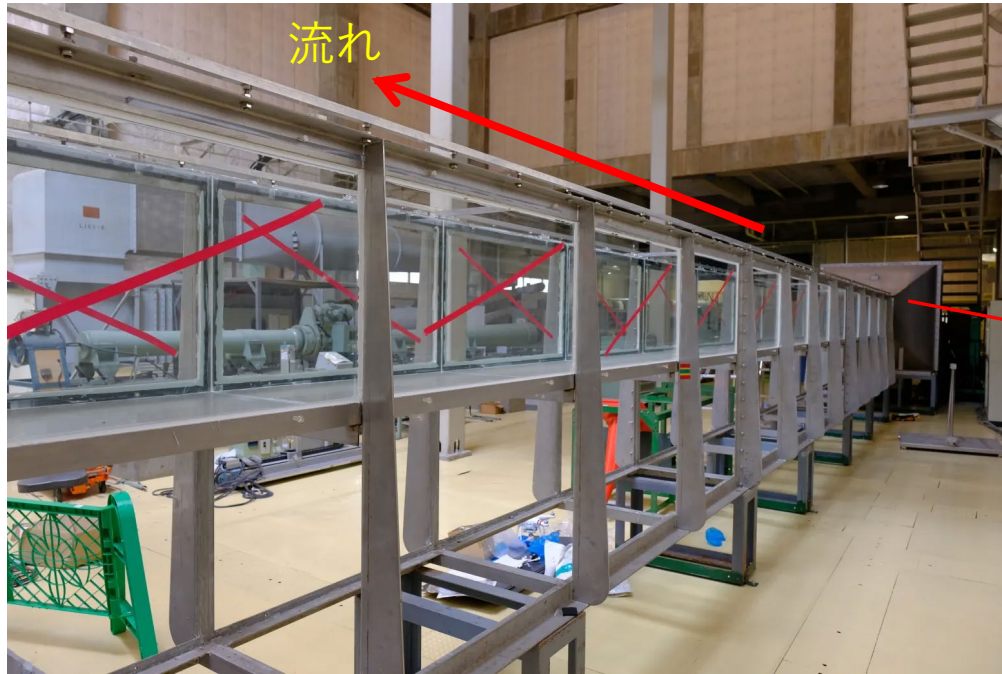
<https://eneclip.yamato-energy.com/345>

流れのエネルギー → 電気エネルギー

流れを作る/調べる

流れを作る/調べる

風洞：空気の流れを作る装置



送風機

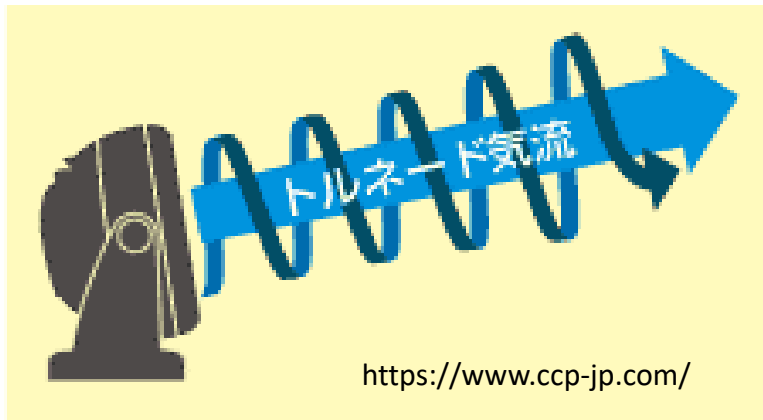


<https://www.windec.co.jp/wind/>

流れを作る/調べる

“きれいな”流れを作る

ファンの流れ（旋回）



実験で理想的な流れ



- まっすぐ流れる
- 速度が場所と時間によらない



流れを整える

流れを作る/調べる

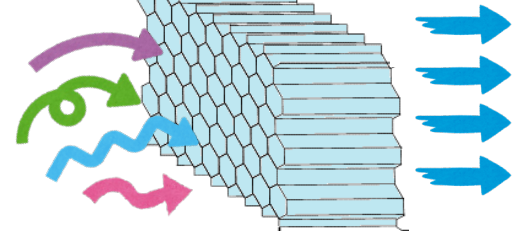
“きれいな”流れを作る



ハニカム

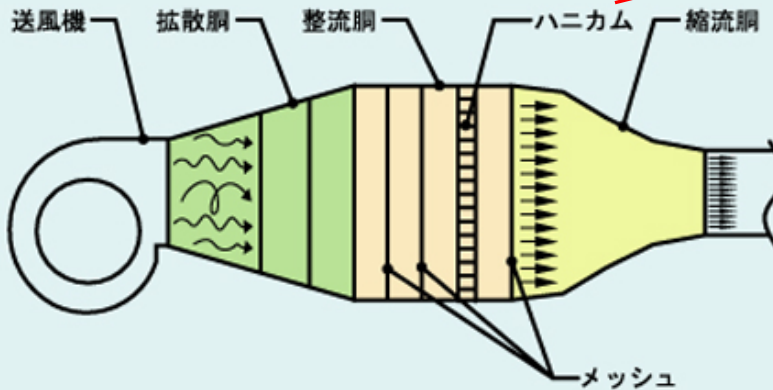
断熱・省エネの豆知識 1話 ハニカムってなに？
<https://www.seiki.gr.jp/enjoy/column/screen/column01.html>

乱れた流れ 真っ直ぐな流れ



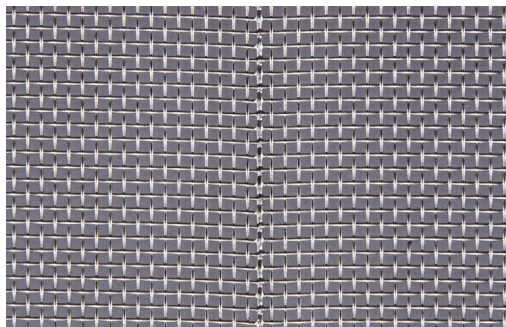
ニッカル商工株式会社
<https://ja.nc-net.or.jp/company/46730/product/detail/57723/>

風洞の仕組み



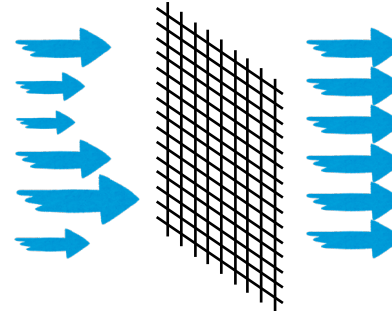
<https://www.windec.co.jp/wind/>

メッシュ



<https://www.kwn.co.jp/products/detail/137> 2023.4.5

流れの分布を整える



速い→抵抗大→減速

流れを作る/調べる

自動車の風洞実験

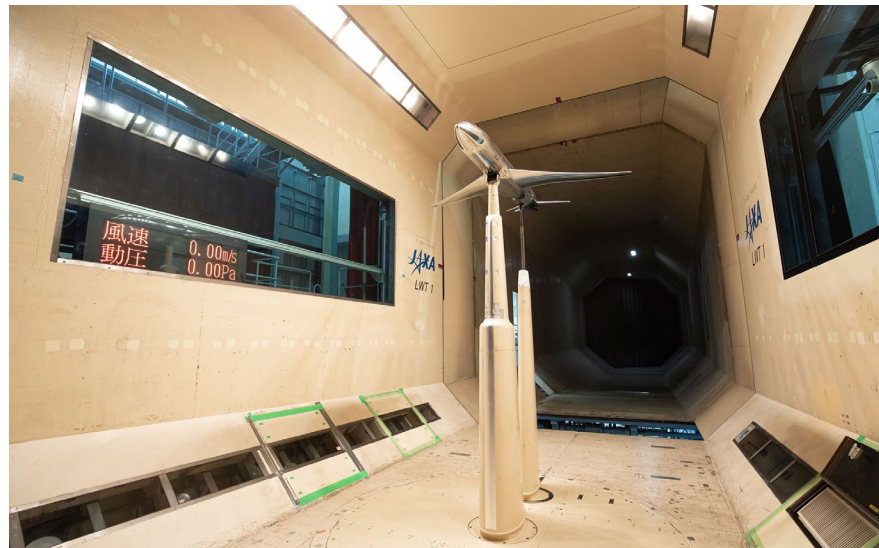
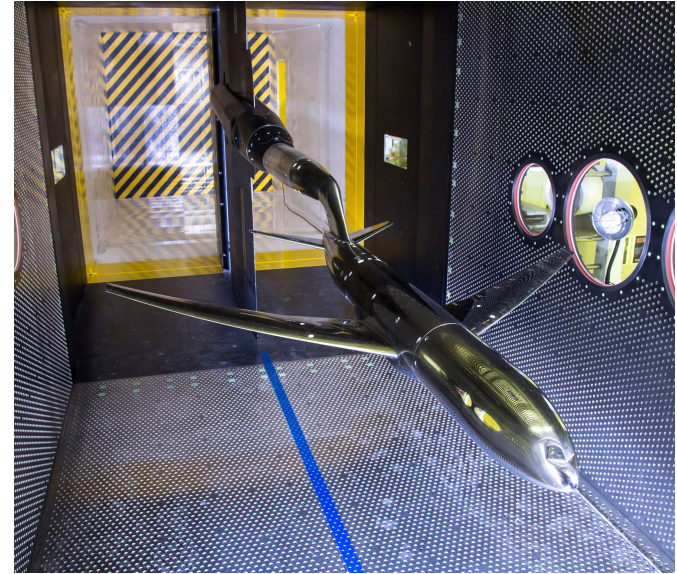


- 空気による抵抗を調べる
→力を計測
- 車体まわりの流れを調べる
→煙で流れを可視化，流れの速度を計測

流れを作る/調べる

航空機模型の風洞実験 (JAXA HPより)

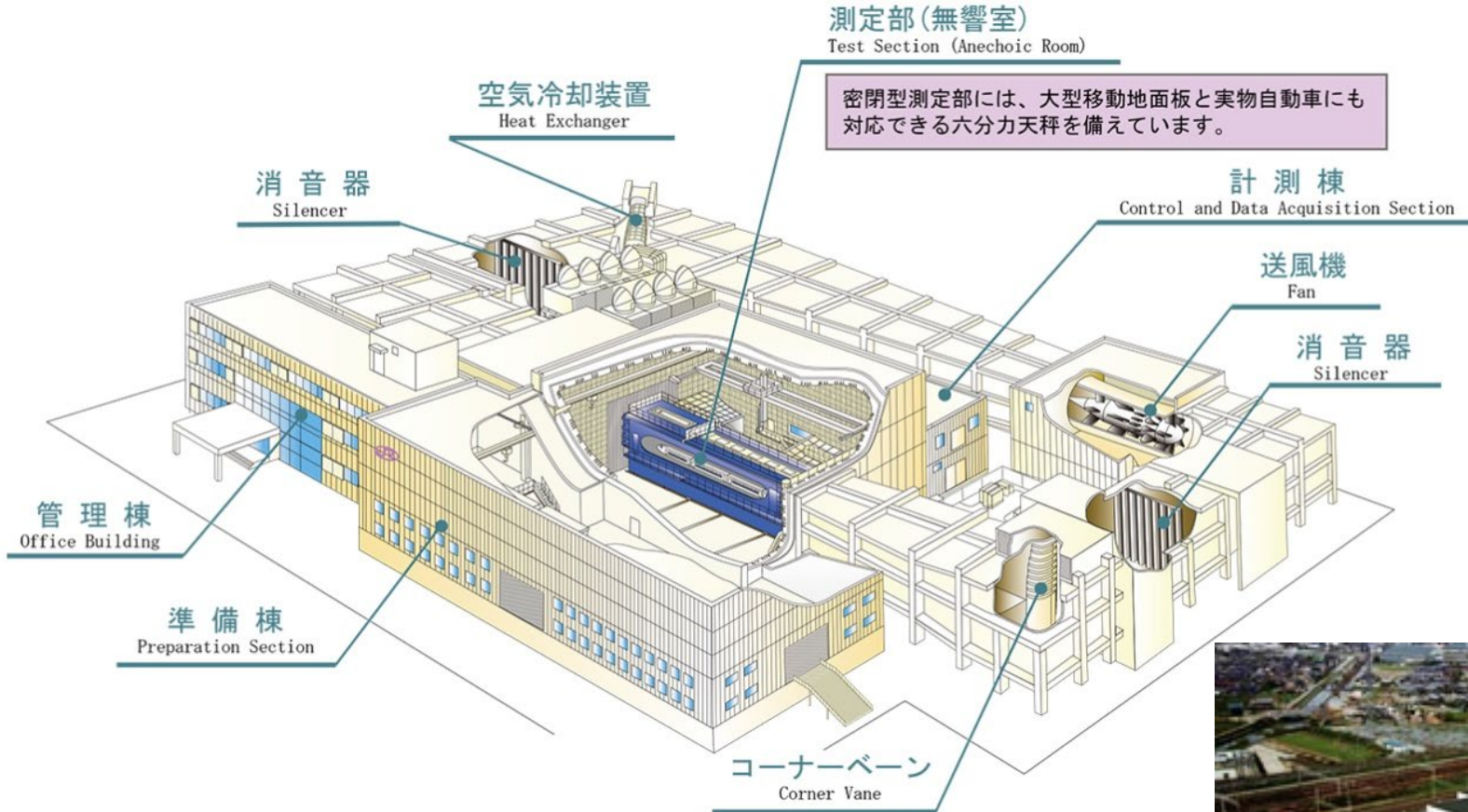
<https://www.aero.jaxa.jp/facilities/windtunnel/>



流れを作る/調べる

列車の風洞実験

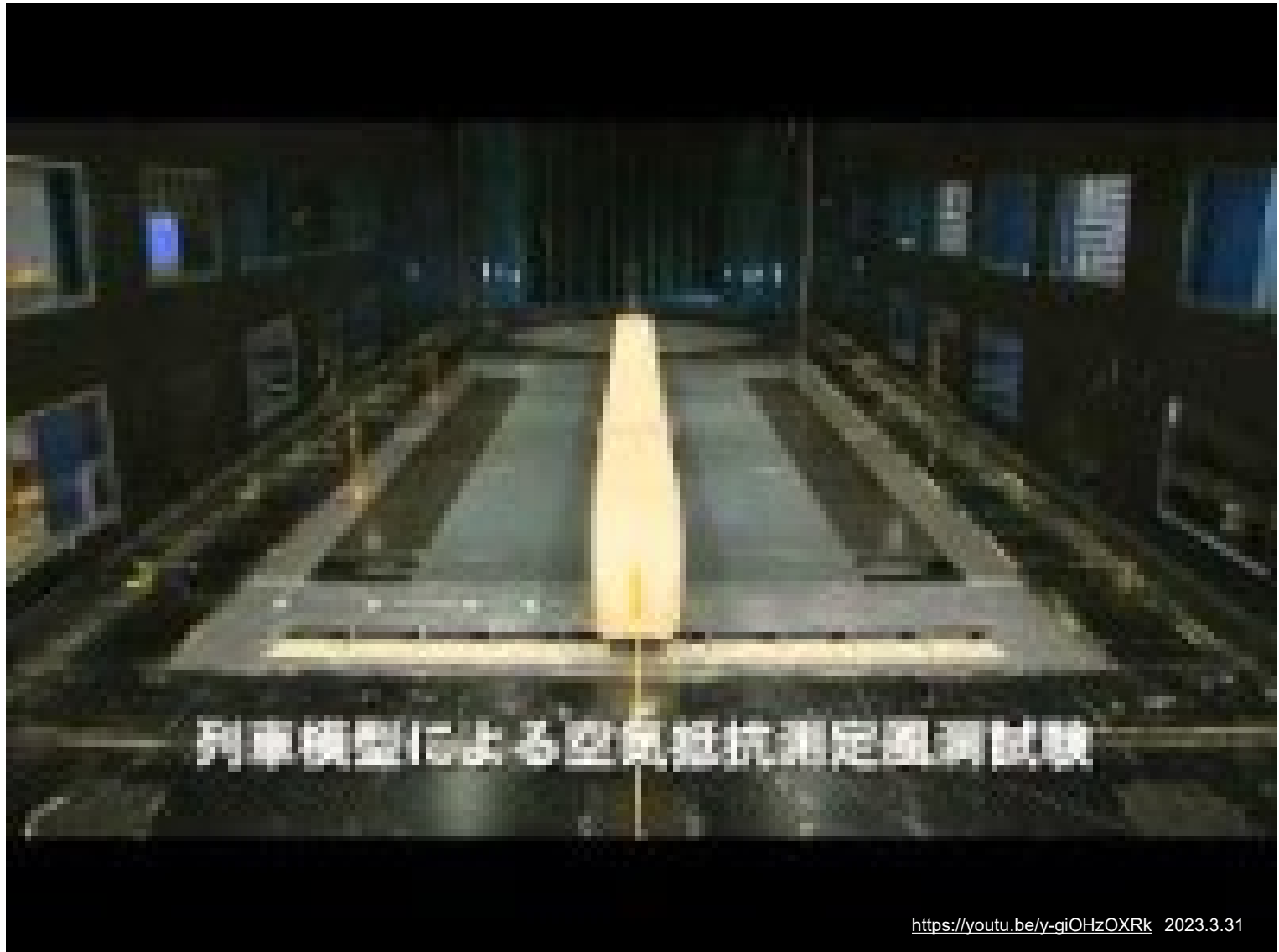
鉄道総合技術研究所 風洞技術センター



流れを作る/調べる

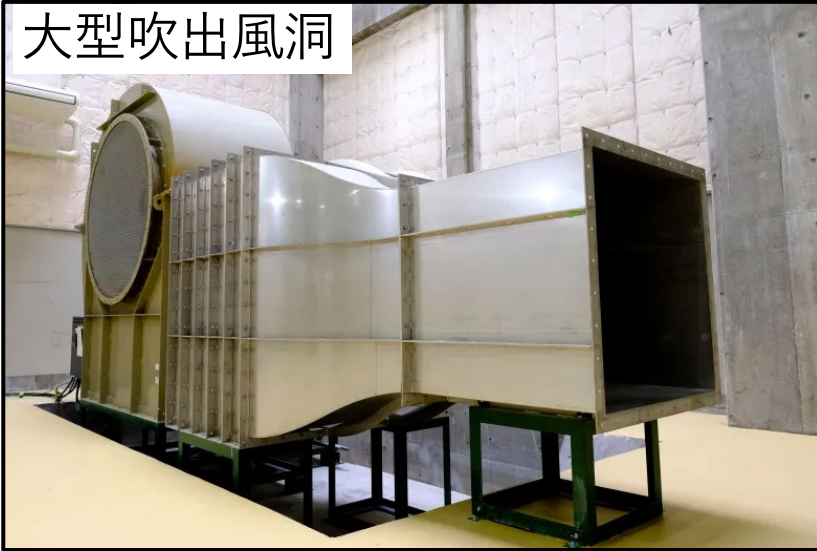
列車の風洞実験

鉄道総合技術研究所 風洞技術センター

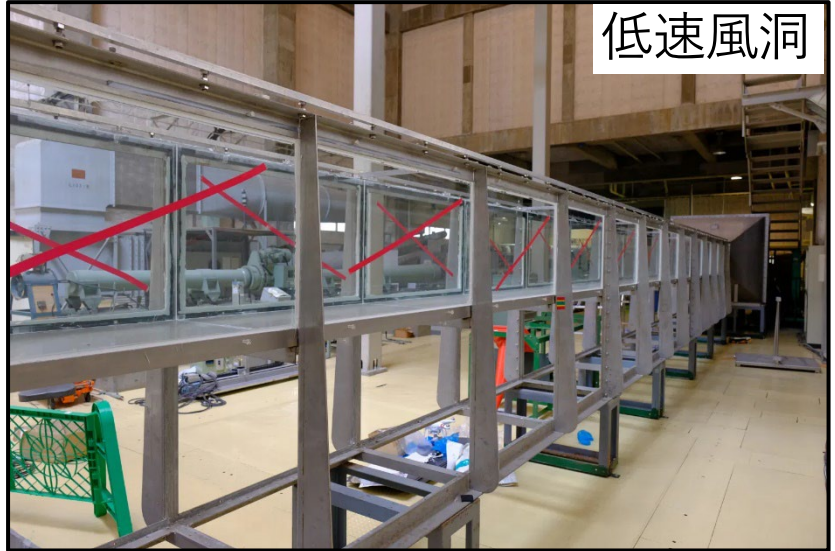


流体力学研究室で利用する風洞設備

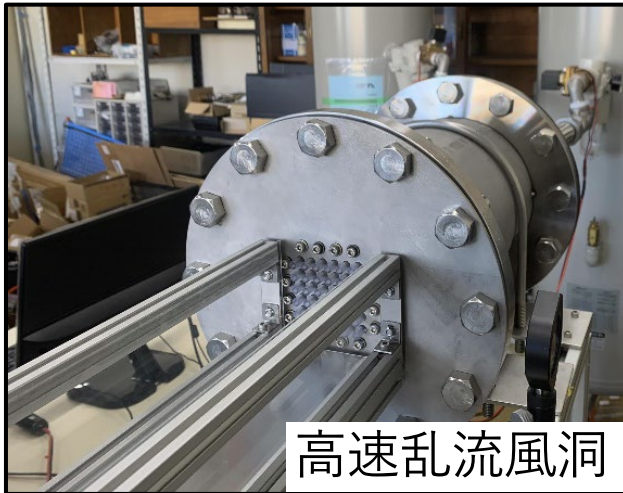
大型吹出風洞



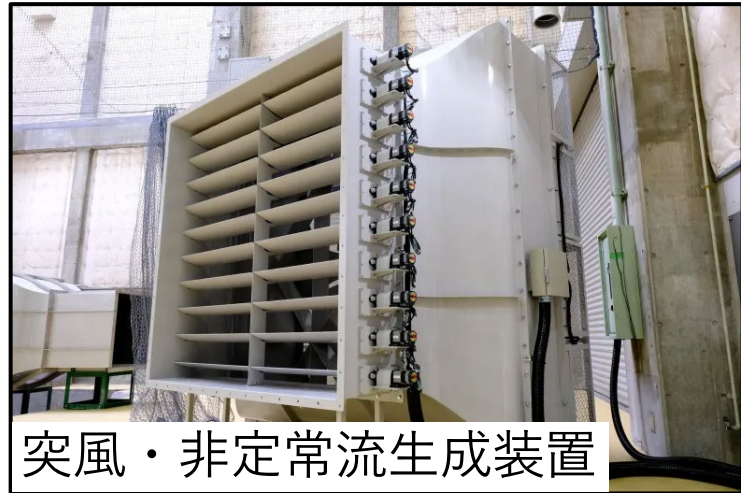
低速風洞



高速乱流風洞



突風・非定常流生成装置



流体力学研究室で利用する風洞設備

大型吹出風洞



流体力学研究室で利用する風洞設備

突風・非定常流生成装置



流体力学研究室で利用する風洞設備

ゲッチンゲン風洞



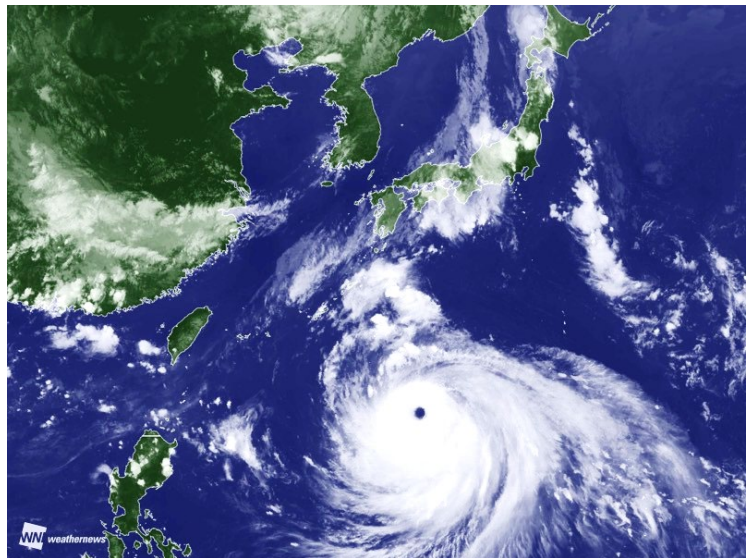
流れを予測する

流れを予測する

水が入った水槽の仕切りを取り除くとどうなるか？



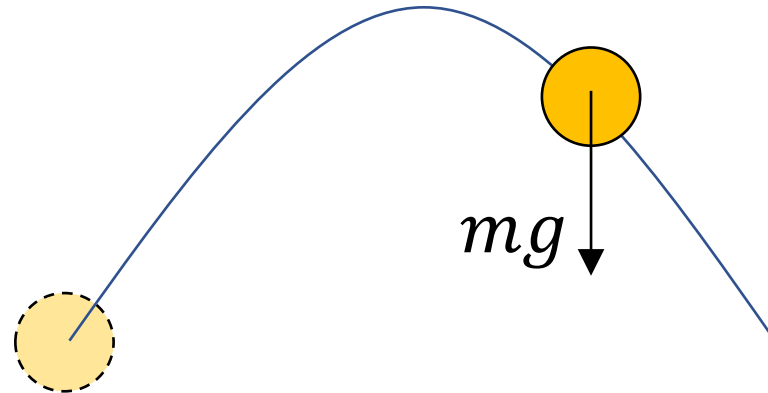
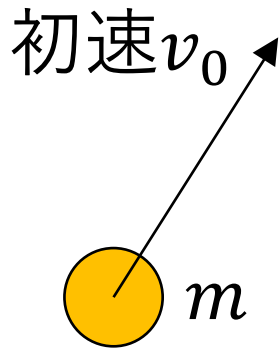
台風はどのような進路をとるか？



流れ = 流体の運動
を予測する

流れを予測する

運動を予測する (力学の場合)



運動方程式 $m \frac{dv_x}{dt} = 0$ $m \frac{dv_y}{dt} = -mg$

解を求める $\rightarrow v_x = 0, v_y = \Delta$

流体力学の場合 \rightarrow 流れの運動方程式

流れを予測する

流れの運動方程式

→ ナビエ・ストークス方程式

$$\begin{aligned}\frac{\partial u}{\partial t} + u \frac{\partial u}{\partial x} + v \frac{\partial u}{\partial y} + w \frac{\partial u}{\partial z} &= -\frac{1}{\rho} \frac{\partial p}{\partial x} + \nu \left(\frac{\partial^2 u}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 v}{\partial y^2} + \frac{\partial^2 u}{\partial z^2} \right) \\ \frac{\partial v}{\partial t} + u \frac{\partial v}{\partial x} + v \frac{\partial v}{\partial y} + w \frac{\partial v}{\partial z} &= -\frac{1}{\rho} \frac{\partial p}{\partial y} + \nu \left(\frac{\partial^2 v}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 v}{\partial y^2} + \frac{\partial^2 v}{\partial z^2} \right) \\ \frac{\partial w}{\partial t} + u \frac{\partial w}{\partial x} + v \frac{\partial w}{\partial y} + w \frac{\partial w}{\partial z} &= -\frac{1}{\rho} \frac{\partial p}{\partial z} + \nu \left(\frac{\partial^2 w}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 w}{\partial y^2} + \frac{\partial^2 w}{\partial z^2} \right)\end{aligned}$$

- 手計算で解を求めることができない
- そもそも一般解が存在するかわからない

流れを予測する

ミレニアム懸賞問題の1つ

100万ドルの懸賞金がかけられている数学の未解決問題

• ナビエ-ストークス方程式の解の存在と滑らかさ

3次元空間と（1次元の）時間の中で、初期速度を与えると、ナビエ-ストークス方程式の解となる速度ベクトル場と圧力のスカラー場が存在して、双方とも滑らかで大域的に定義されるか。

<https://ja.wikipedia.org/wiki/ミレニアム懸賞問題>

$$\begin{aligned}\frac{\partial u}{\partial t} + u \frac{\partial u}{\partial x} + v \frac{\partial u}{\partial y} + w \frac{\partial u}{\partial z} &= -\frac{1}{\rho} \frac{\partial p}{\partial x} + \nu \left(\frac{\partial^2 u}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 u}{\partial y^2} + \frac{\partial^2 u}{\partial z^2} \right) \\ \frac{\partial v}{\partial t} + u \frac{\partial v}{\partial x} + v \frac{\partial v}{\partial y} + w \frac{\partial v}{\partial z} &= -\frac{1}{\rho} \frac{\partial p}{\partial y} + \nu \left(\frac{\partial^2 v}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 v}{\partial y^2} + \frac{\partial^2 v}{\partial z^2} \right) \\ \frac{\partial w}{\partial t} + u \frac{\partial w}{\partial x} + v \frac{\partial w}{\partial y} + w \frac{\partial w}{\partial z} &= -\frac{1}{\rho} \frac{\partial p}{\partial z} + \nu \left(\frac{\partial^2 w}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 w}{\partial y^2} + \frac{\partial^2 w}{\partial z^2} \right)\end{aligned}$$

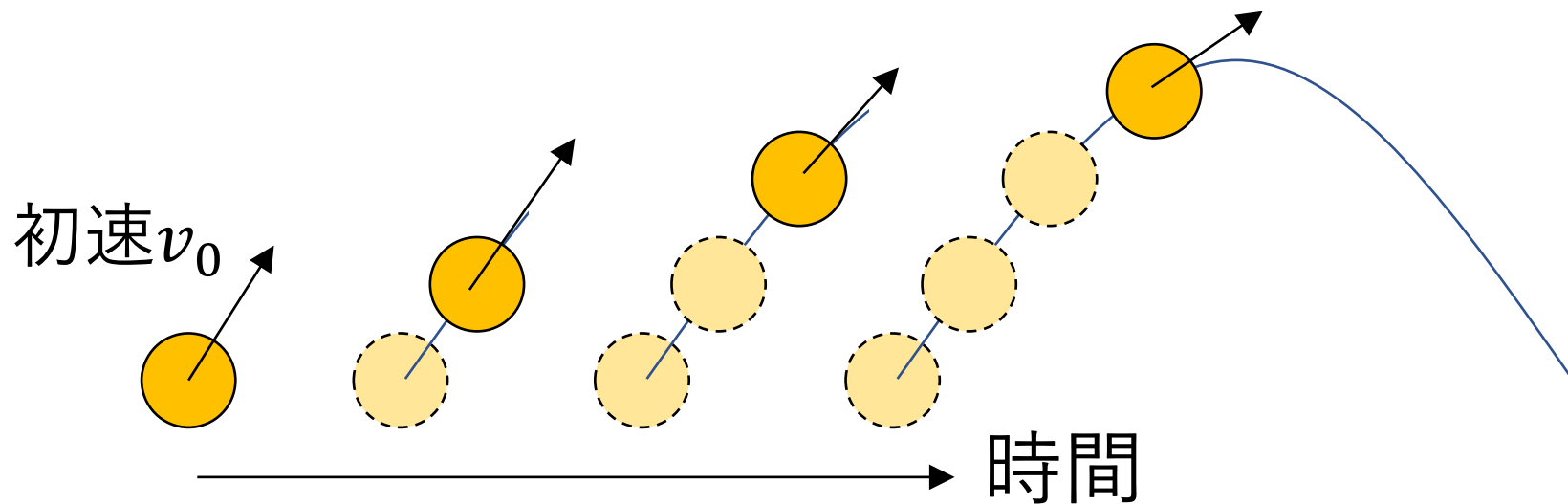
流れを予測する

流れの運動方程式

手計算では解けない

→ コンピュータを使って解く

流れのシミュレーション



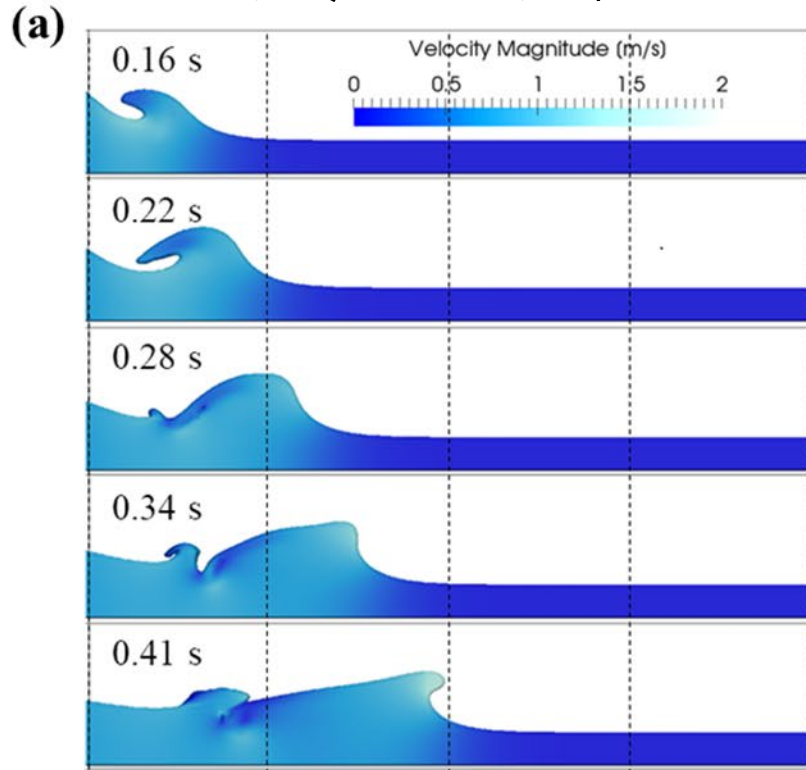
時間が少し進んだ状態を考えていく

流れを予測する

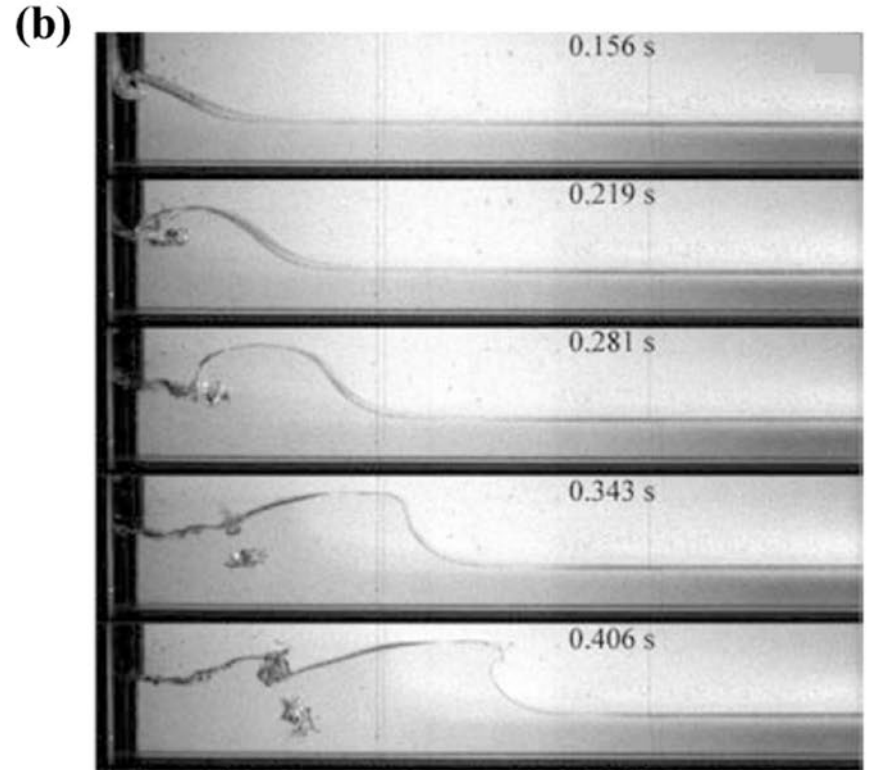
水が入った水槽の仕切りを取り除くとどうなるか？



シミュレーション

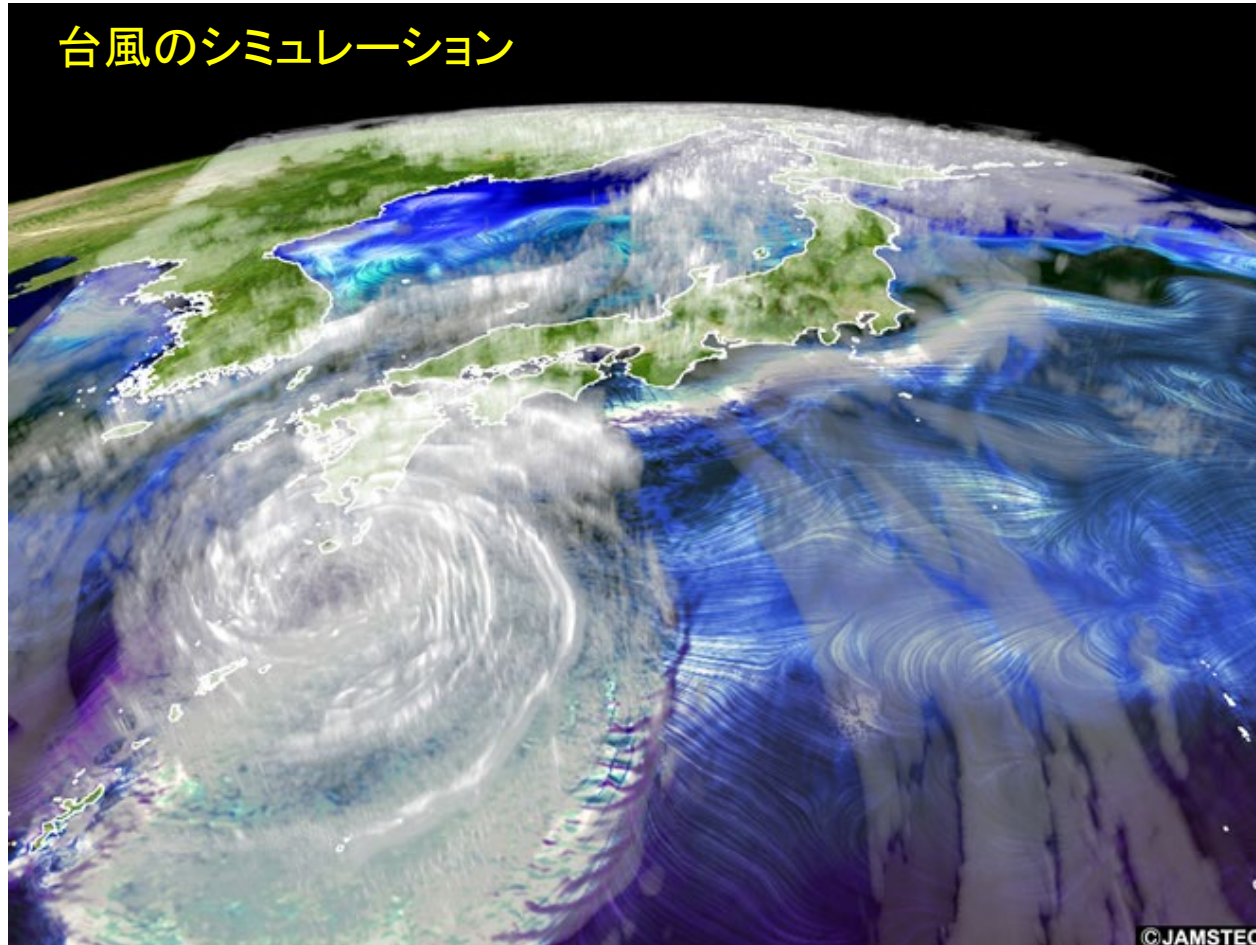


実験



流れを予測する

- ・ 台風はどのような進路をとるか？
- ・ 地球温暖化による台風の変化

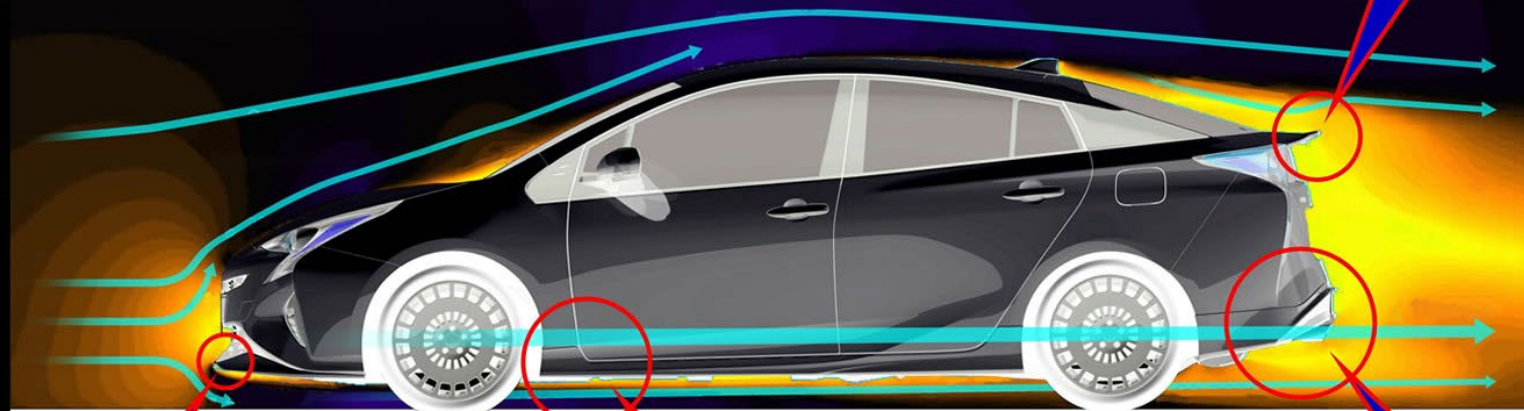


海洋研究開発機構 シミュレーション可視化結果

<https://www.jamstec.go.jp/gallery/j/simulation/weather/001.html>

流れを予測する

プリウス



フロントスポイラー
ポイント的に流れを速くし、
整流する事でダウンフォースを
発生させます。

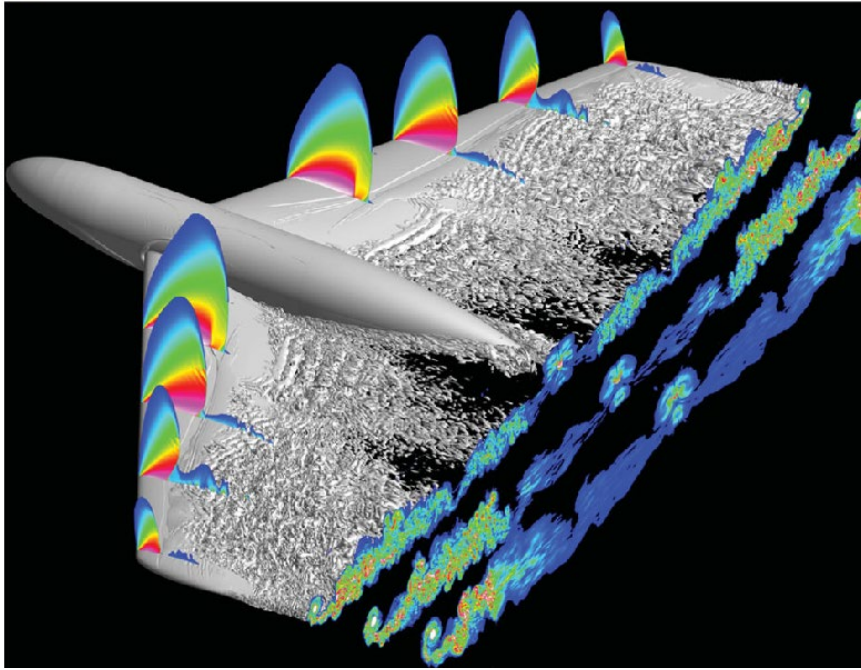
サイドスカート
車両側面の流れを整え、
綺麗に後方に流す事で、
直進安定性を向上させます。

リアバンパースポイラー
リアタイヤ後方や車両下からの
流れを整流する事で、
直進安定性を向上させます。

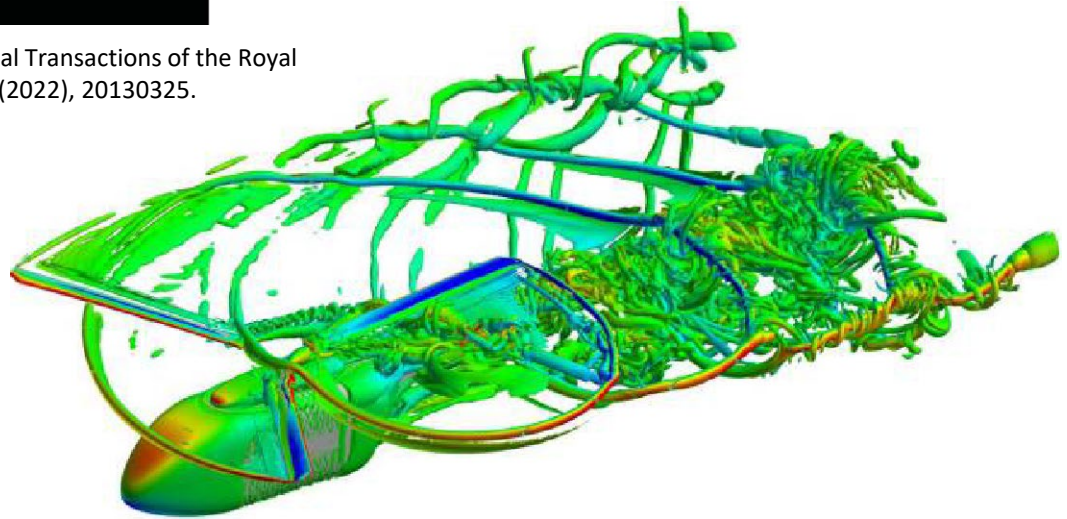
リアトランクスポイラー
車両後方に降下する流れを整える
事で、ドラッグを増加させずに
ダウンフォースを発生させます。

<https://www.trdparts.jp/product/archive/prius2015/aero.html>

流れを予測する



Deck, S., Gand, F., Brunet, V., & Ben Khelil, S. (2014). Philosophical Transactions of the Royal Society A: Mathematical, Physical and Engineering Sciences, 372(2022), 20130325.

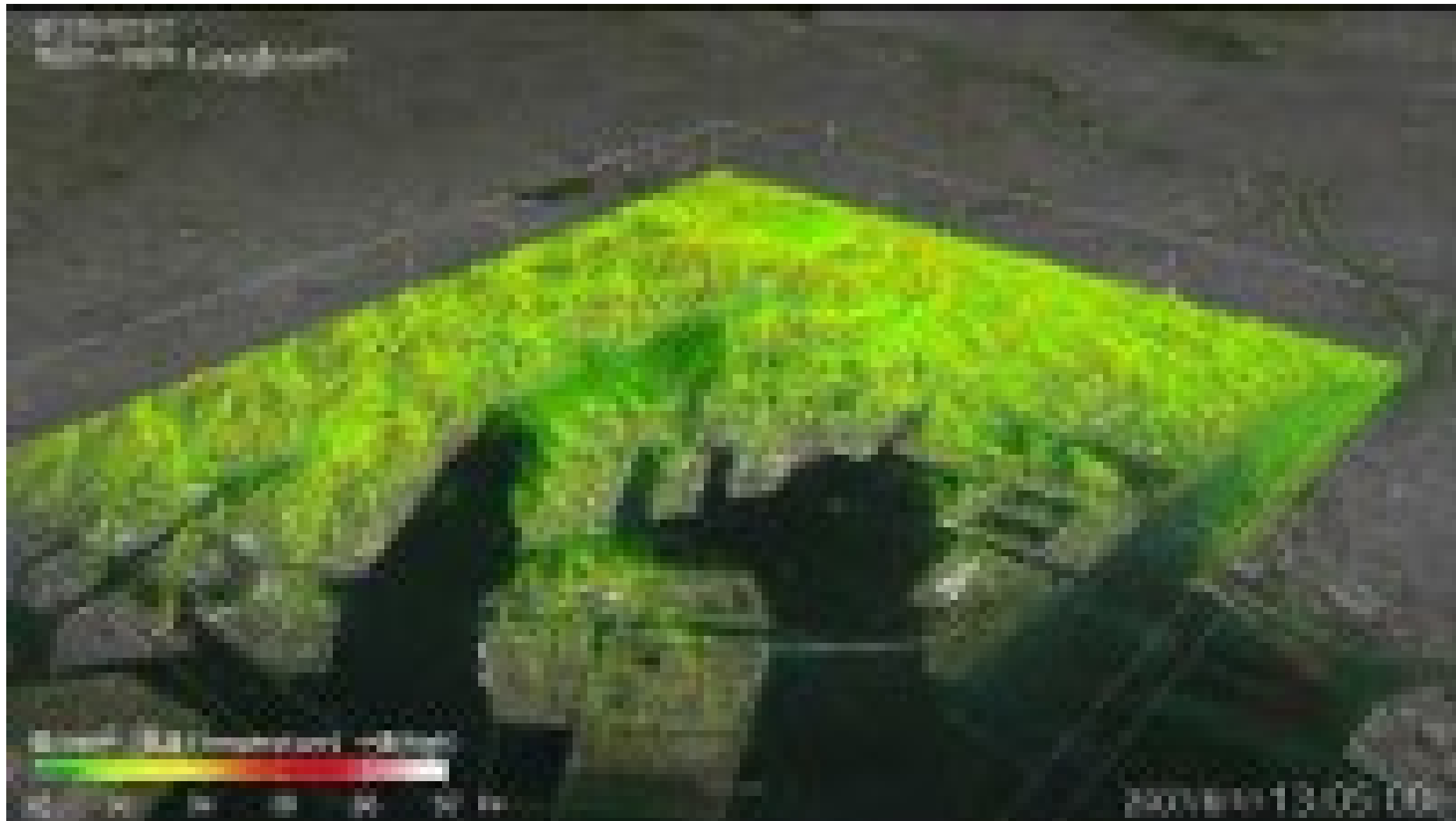


Jain, R. (2021). Computational Fluid Dynamics Transition Models Validation for Rotors in Unsteady Flow Conditions. *Journal of Aircraft*, 1-21.

流れを予測する

都市開発に向けた流れの予測

<https://youtu.be/EMm9La3riNA> 2023.3.31



まとめ

- 流体力学について
（流れについての学問）
- 流れ/流体を使う
- 流れを作る/調べる
- 流れを予測する

レポート

提出期限: **7月1日(金) 17時**

提出: NUCT (課題)

課題:

自分が興味のある(あるいは興味を持てた)流体现象について、1ページで記述せよ。 なぜ興味があるか、どのような点に興味があるか等も記述すること。 内容は流体が関与する現象であれば何でもよい。

注意: **ウェブサイトから丸写ししただけのレポートは不可とする。**

WEB等から引用する場合は出展を明記すること