

オープンソースシミュレーション はどのようにビジネスで活用されるか？

2025.12.12

株式会社ヘリシティ

八登浩紀

hiroki.yato@helicity.co.jp

1. 経歴紹介・会社紹介
2. OpenFOAM解析事例
 - 建築の事例
 - 農業の事例
 - 大学からの依頼
3. OpenFOAMを中小企業が活用する際の課題
4. 発展的な取り組み：CFD×AI
 - PINNsによるソルバー計算
 - コーディングエージェントの活用

八登 浩紀（やとうひろき）（(株)ヘリシティ 代表取締役）

- 京都大学大学院理学研究科 卒（[流体物理学研究室](#)）。博士（理学）。
 - 大学院では、シミュレーションを用いた流体現象の基礎的な解析を行う。
 - **乱流(DNS)や、宇宙流体、粘弾性流体など幅広い対象**を扱う。
- 新卒で株式会社ソフトウェアクレイドルに入社
 - 主に、ソルバーのアルゴリズム開発に従事。
- 東大発AIベンチャーであるアリスマー社に入社
 - **3Dデータやロボットを対象としたAI活用**に関する研究開発を実施。
- データ分析コンサルティング企業である株式会社ブレインパッドに入社
 - **マーケティング領域での機械学習モデルの構築・活用支援**を実施。
- 株式会社ヘリシティを設立

ヘリシティ 事業概要

CFD×AI×ソフトウェア開発の領域で、幅広く業務を実施しています。

流体シミュレーション

- **OpenFOAM解析効率化ツール開発**
- **OpenFOAMを使用した受託解析**
- **OpenFOAM導入・教育支援・コンサルティング**

科学技術計算

- 会社・研究室が保有する科学技術計算ソフトウェアのコード解析・改善・運用サポート
- 科学技術関連のソフトウェア・システム開発（アルゴリズム・アプリ開発・ウェブ開発）

AI/生成AI

- AI/生成AIに関するユースケース開発（画像認識・LLM等）
- AI/生成AIに関するコンサルティング
- **PINNs（Physics Informed Neural Networks）の研究開発**

3Dデータ処理

- 点群・メッシュ・CADデータ処理のアルゴリズム開発
- XR（主にMR）可視化アルゴリズム開発
- **ゲームエンジンを用いた高精細3D可視化のための開発**

※ 赤字が本講演と特に関連のある領域です。

OUR VISION

科学技術で困難に直面した時の最後の砦となる

OUR MISSION

科学技術の恩恵が広く行き渡る社会の実現

OUR VALUE

お客様の課題に寄り添ったサービスをテラーメイドで提供

特に、リソース（人、予算）の関係で業務効率化の進捗に課題がある中小事業者様向けに、リーズナブルな価格で、お客様に寄り添った支援（コンサルティング・ソフトウェア開発など）を提供いたします。

東京の大手ベンダーでは対応できない中小事業者様への丁寧な支援に力を入れていきます。

本講演の各テーマのメッセージ

- OpenFOAM解析事例紹介

⇒ **OpenFOAMが実際にビジネスの現場で関心を持たれている**ことを知ってもらう。
また、**解析とビジネスの間にあるギャップの埋め方の一例**を体感してもらう。

- OpenFOAMを中小企業が活用する際の課題

⇒ **OpenFOAMがより広く使われるために必要なこと**をイメージしてもらう。

- 発展的な取り組み：CFD×AI

⇒ **CFD×AIの領域に興味を持ってもらう**と同時に、**OpenFOAMの現在地を客観的に評価**してもらう。

OpenFOAM ビジネス活用事例紹介

建築業界の事例

風環境ツール

風環境ツール：背景と機能

背景

- 高層建築物はビル風発生の原因になるため、**設計時に周辺環境への配慮が必要**
- ビル風被害を最小限にするため、**CFD（数値流体シミュレーション）を実施することが一般的**
- この際、建設予定の建物だけでなく、**周辺建物や地盤も考慮した大規模空間でのビル風計算**を行う必要がある

課題

1. **複数風向の影響を考慮する必要**があり、計算ケース数が多く煩雑になる
2. **計算規模が大きくケース数が多い**ため、商用ツールの使用ではライセンス消費数が多くなる

導入事例

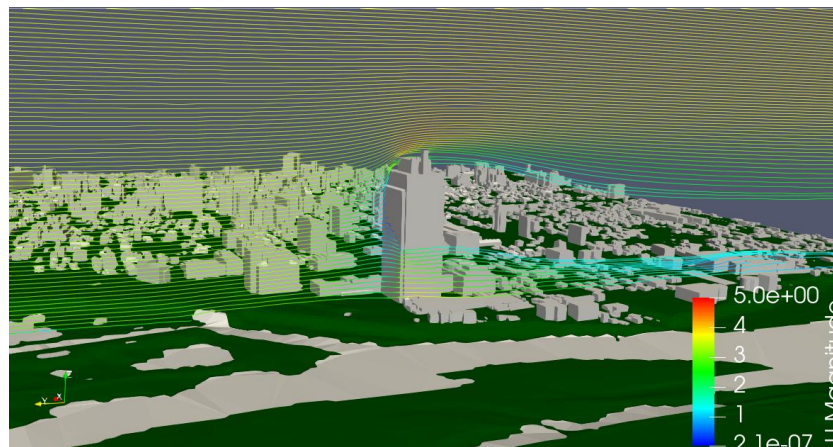
- 大手建築設計事務所のご依頼により開発・導入

機能

- **WindowsのGUI**から、シミュレーションに必要な項目を設定して実行すると、**全自動で16風向のビル風計算結果が出力**
- 風環境評価指標（後述）のようなビル風解析に特有の変数も出力可能

特長

- **Grasshopper(Butterfly)**を活用して、GUIでの入力項目からOpenFOAMでの計算に必要な設定ファイルを自動生成
- 形状として**PLATEAUデータ**を利用可能



ビル風解析
イメージ

※ PLATEAUコンソーシアム ビジネスWGでの発表から一部改変して引用

風環境ツール：解析条件

前橋市の風環境解析 解析条件

場所、計画建物概要

- 場所：群馬県前橋市大手町(群馬県庁周辺)
- 計画建物：群馬県庁、高さ：153.8m（32階建て）

解析概要

- 解析領域：群馬県庁を中心とした800m×800m×500m(高さ)
- 解析格子数：645万メッシュ
- 解析方位：16方位

地域の現況

- 大きな起伏はなく、南に向かって緩やかに低くなる平坦な地形。群馬県庁が突出した超高層建築物であり、周囲は行政機関（中層建築物）が集合している。利根川を挟んで西は低層の住宅や商業施設、東部はビジネスエリア、北東、南東部は主に低層の住宅エリアとなっている。

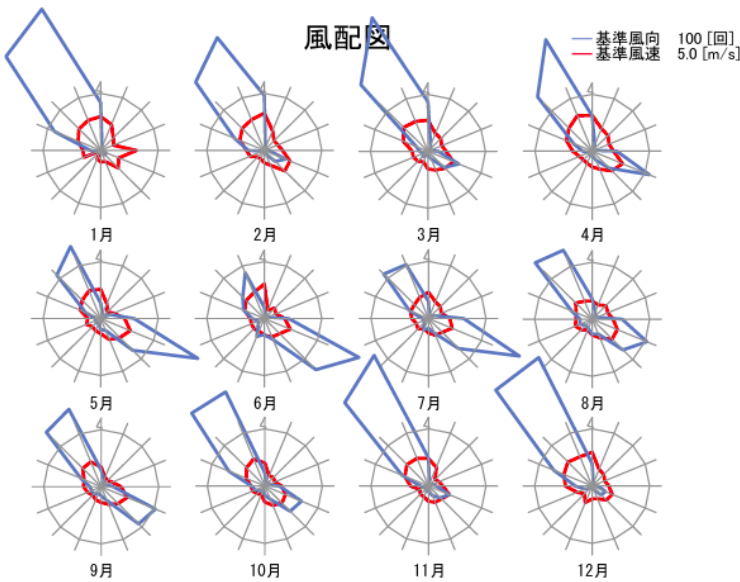
流入条件

- べき乗則（地面からの高さ：12.6m, 基準高さの風速：2.8m/s）
- 環境：Ⅲ.低層建築物の市街地

各種解析条件

- ソルバー：porousSimpleFoam（定常解析）
- 移流項：linearUpwind
- 乱流モデル：標準k-ε

前橋地方気象台（気象庁「前橋（群馬県）」観測所）
計画建物までの距離：約2.5km
風速計の地上からの高さ：12.6m



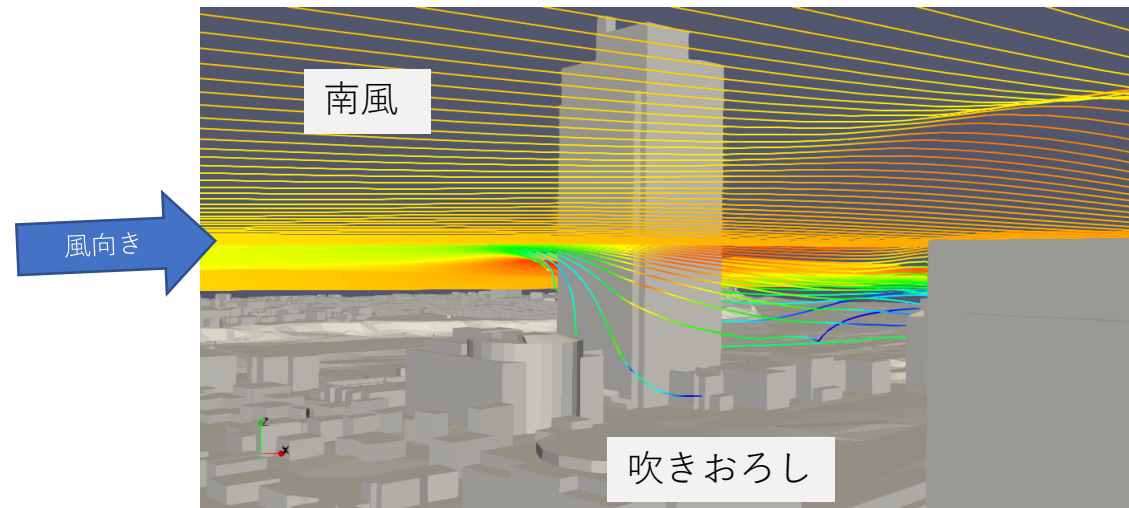
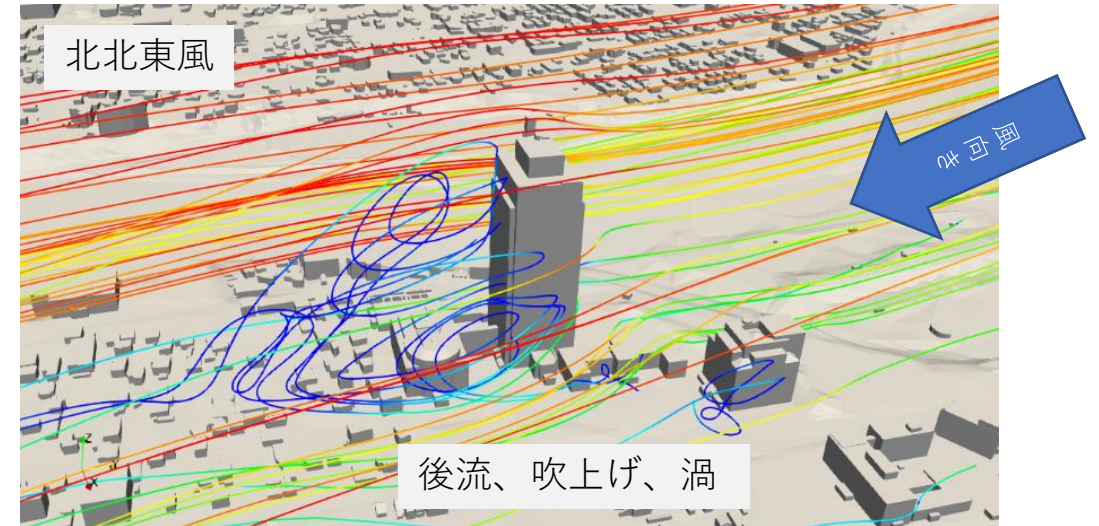
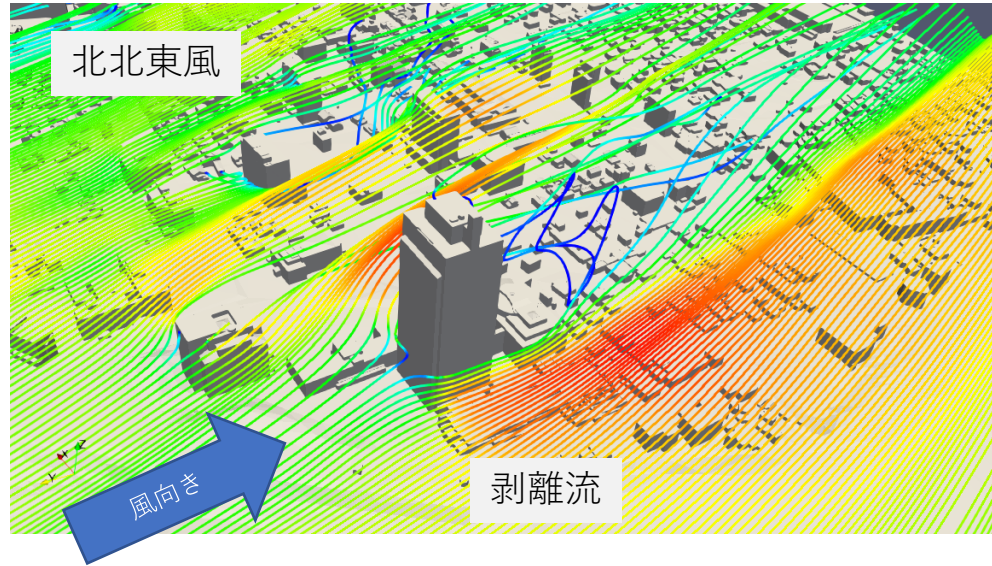
ワイブル係数C、Kと風向出現頻度D（％）

POINT	前橋															
DIRECTION	NNE	NE	ENE	E	ESE	SE	SSE	S	SSW	SW	WSW	W	WNW	NW	NNW	N
FREQ	0.9	0.6	1.1	4	12.7	7.9	3.1	2.2	2	1.7	2.2	3	6.4	22.3	24.3	5.3
CPARAM	1.86	1.4	1.53	2.42	3.39	2.9	2.31	1.84	1.47	1.48	1.98	2.42	2.87	3.6	3.81	3.75
KPARAM	1.84	2.12	2.49	2.59	2.68	2.48	2.3	2.42	2.52	2.26	1.84	1.78	2.07	2.35	2.29	1.88

年間の平均風速の風向出現頻度は、北北東と北東で46.6%を占め、
次いで東南東と南西で 20.6%を占めます。

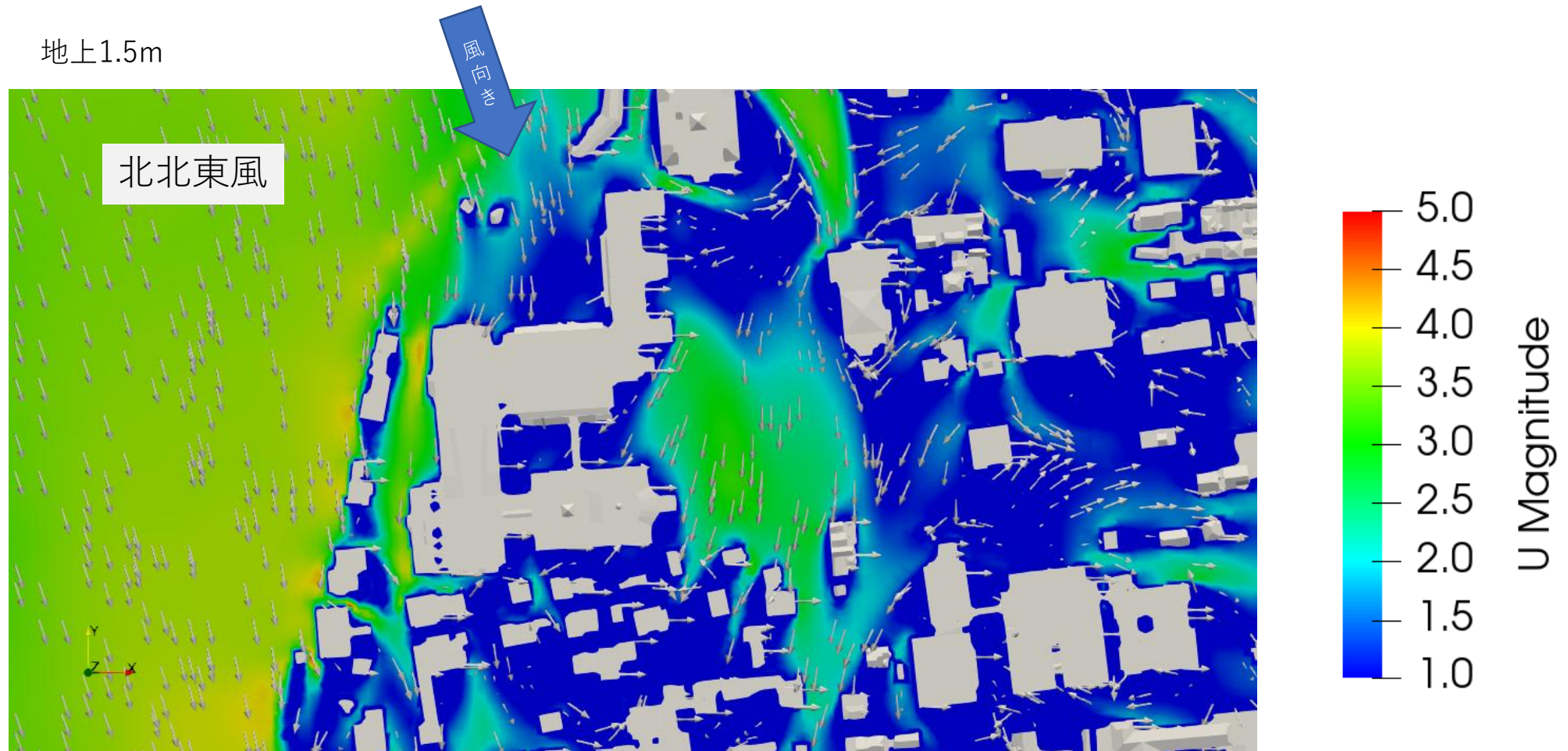
風環境ツール：解析結果

解析結果



風環境ツール：解析結果

解析結果



風環境ツール：風環境評価指標

風環境評価指標とは？

本解析では、風環境評価のために、**村上らによる風環境指標**を用います。

この指標では、以下の物理量やパラメータを用いて、風速が一定の強風ラインを超える頻度を**超過頻度**として算出し、その超過頻度の値を**ランク化**して評価します。

使用される物理量・パラメータ

- 風速比（基準風速との比）
- 日最大瞬間風速（10m/s, 15m/s, 20m/sから選択）
- 風配（各風向の出現確率）
- ガストファクター（突風率）
- ワイブル係数（ワイブル分布で強風割合を評価する際の係数）

風速比のみシミュレーション結果から算出し、それ以外の値は、地域ごとに観測等により与えられた値を用います。

強風による 影響の程度		対応する 空間用途の例	評価する強風のレベルと 許容される超過頻度		
			日最大瞬間風速 (m/s)		
			10	15	20
			日最大平均風速 (m/s)		
			10/ G.F	15/ G.F	20/ G.F
ランク	最も影響を 受けやすい 用途の場所	(住宅地の (野外レス 商店街) トラン)	10 % (37日)	0.9 % (3日)	0.08 % (0.3日)
2	影響を 受けやすい 用途の場所	(住宅街) (公園)	22 (80)	3.6 (13)	0.6 (2)
3	比較的影響を 受けにくい 用途の場所	(事務所街)	35 (128)	7 (26)	1.5 (5)

- (注1) 日最大瞬間風速：評価時間2～3秒 } ここで示す風速値は
日最大平均風速：10分平均風速 } 地上1.5mで定義
- (注2) 日最大瞬間風速
10m/s……こみが舞い上る。干し物が飛ぶ。
15m/s……立看板、自転車等が倒れる。歩行困難。
20m/s……風に吹き飛ばされそうになる。
等の現象が確実に発生する。(図12参照)
- (注3) G.F：ガストファクタ (地上1.5m, 評価時間2～3秒)
密集した市街地 (乱れは強いが、平均風速はそれほど高くない) 2.5～3.0
通常の市街地 2.0～2.5
特に風速の大きい場所 (高層ビル近傍の増速域など) 1.5～2.0
程度の値をとると考えられる。
- (注4) 本表の読み方 例：ランク1の用途では、日最大瞬間風速が
10m/sを超過する頻度が10% (年間約37日)
以下であれば許容される。

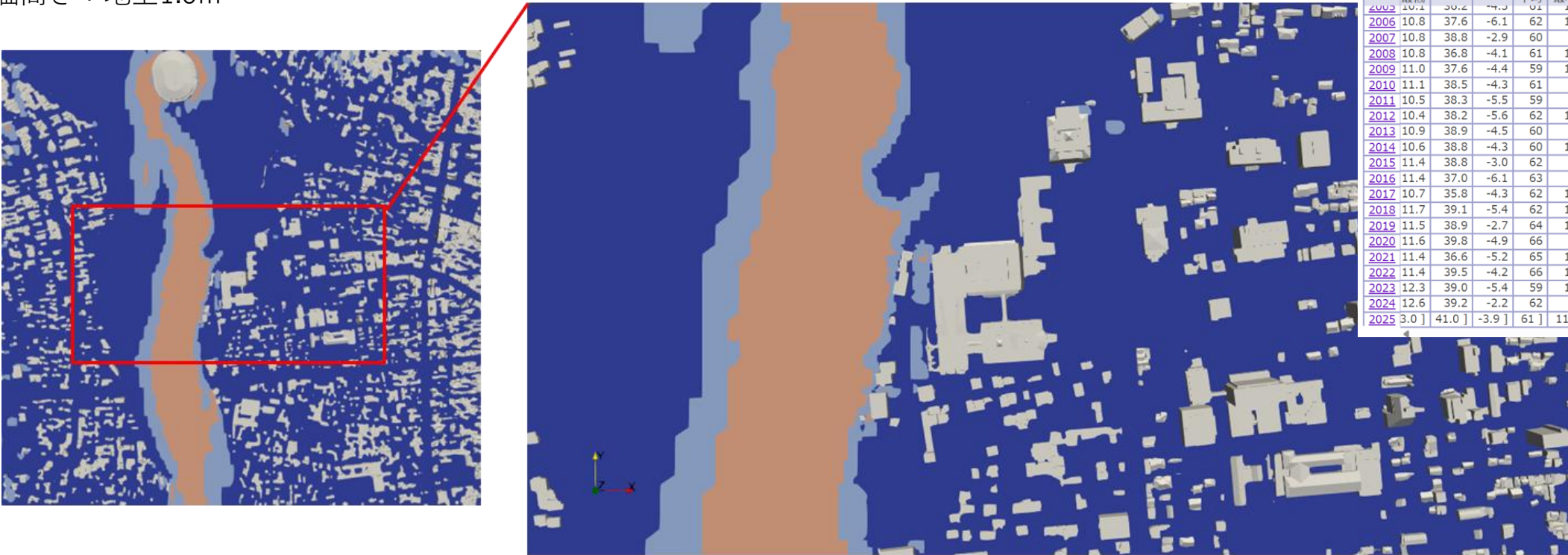
※「論文：村上、岩佐、森川著 居住者の日誌による風環境調査と評価尺度に関する研究」の一部引用

風環境ツール：風環境評価指標

風環境評価指標 結果

日最大瞬間風速20m/sでのランク図

評価高さ：地上1.5m



※ 前橋市の日最大瞬間風速はおおむね20～21m/s

前橋（群馬県） 年ごとの値 主要要素										
年	t(℃)			湿度(%)		風向・風速(m/s)				
	最低	最高	最低	平均	最小	平均	最大風速	最大瞬間風速		
						風速	風速	風向	風速	風向
2002	10.1	30.2	-4.3	61	12	2.8	12.2	北	23.0	北西
2006	10.8	37.6	-6.1	62	10	2.7	13.8	北西	27.8	北西
2007	10.8	38.8	-2.9	60	9	2.7	12.6	東	27.1	東南東
2008	10.8	36.8	-4.1	61	11	2.6	12.7	北西	24.7	北西
2009	11.0	37.6	-4.4	59	10	2.7	12.6	北西	22.4	北北西
2010	11.1	38.5	-4.3	61	9	2.6	12.7	北西	21.0	西北西
2011	10.5	38.3	-5.5	59	9	2.7	11.2	西北西	25.9	北
2012	10.4	38.2	-5.6	62	12	2.9	14.4	東	25.4	東
2013	10.9	38.9	-4.5	60	8	3.1	13.9	北西	24.8	北
2014	10.6	38.8	-4.3	60	10	3.0	12.6	北西	20.7	北西
2015	11.4	38.8	-3.0	62	8	2.7	11.7	西北西	23.2	北
2016	11.4	37.0	-6.1	63	9	2.5	11.1	北西	29.1	北西
2017	10.7	35.8	-4.3	62	11	2.6	11.4	北西	20.3	北西
2018	11.7	39.1	-5.4	62	12	2.5	11.8	北	21.6	北北西
2019	11.5	38.9	-2.7	64	11	2.5	11.6	北	23.2	北
2020	11.6	39.8	-4.9	66	8	2.3	10.8	北西	20.9	北
2021	11.4	36.6	-5.2	65	11	2.4	11.6	北	22.0	北
2022	11.4	39.5	-4.2	66	13	2.3	10.5	北	19.7	北
2023	12.3	39.0	-5.4	59	11	2.4	11.8	北北西	22.3	北北西
2024	12.6	39.2	-2.2	62	9	2.3	10.7	北西	21.2	西北西
2025	3.0	41.0	-3.9	61	11	2.3	9.9	西	21.0	北

風環境ツール：適風評価

適風評価とは？

風環境評価指標では、強風割合がどの程度あるかによって、快適性を評価しました。

しかし、人が不快に感じるのは、必ずしも強風時だけではありません。

昨今の温暖化により、風が弱い場合にも快適でないと感じるケースも明らかに増えてきました。

このような背景から、強風対策だけでなく、**弱風対策**も、建設・都市計画の分野でホットな話題となっています。

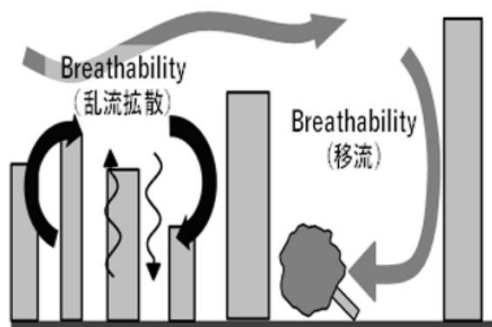
その中で近年注目されているのが**適風評価**です。

適風評価では、下図のように、平均気温や風速に応じて、特に**弱風による非適風域**を導入していることが特徴です。



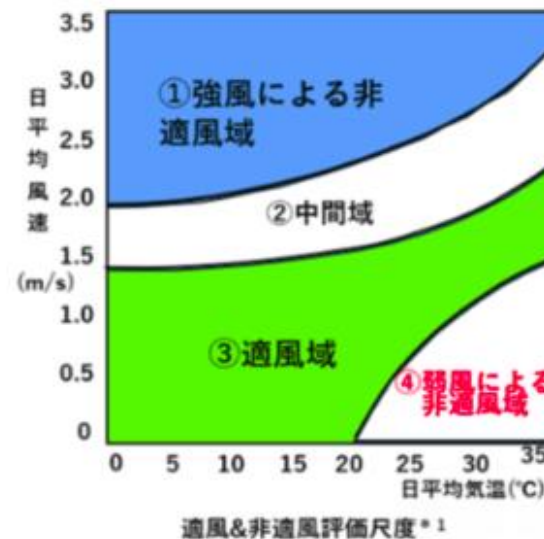
密集市街地の例

[東大加藤名誉教授講演資料より]



Breathability効果

[東北大持田名誉教授講演資料より]



※「論文：村上、森川著 気温の影響を考慮した風環境評価尺度に関する研究」より引用

(株)フォレスト環境リサーチのHPより引用
<https://www.forest-env.com/plan/>

風環境ツール：適風評価

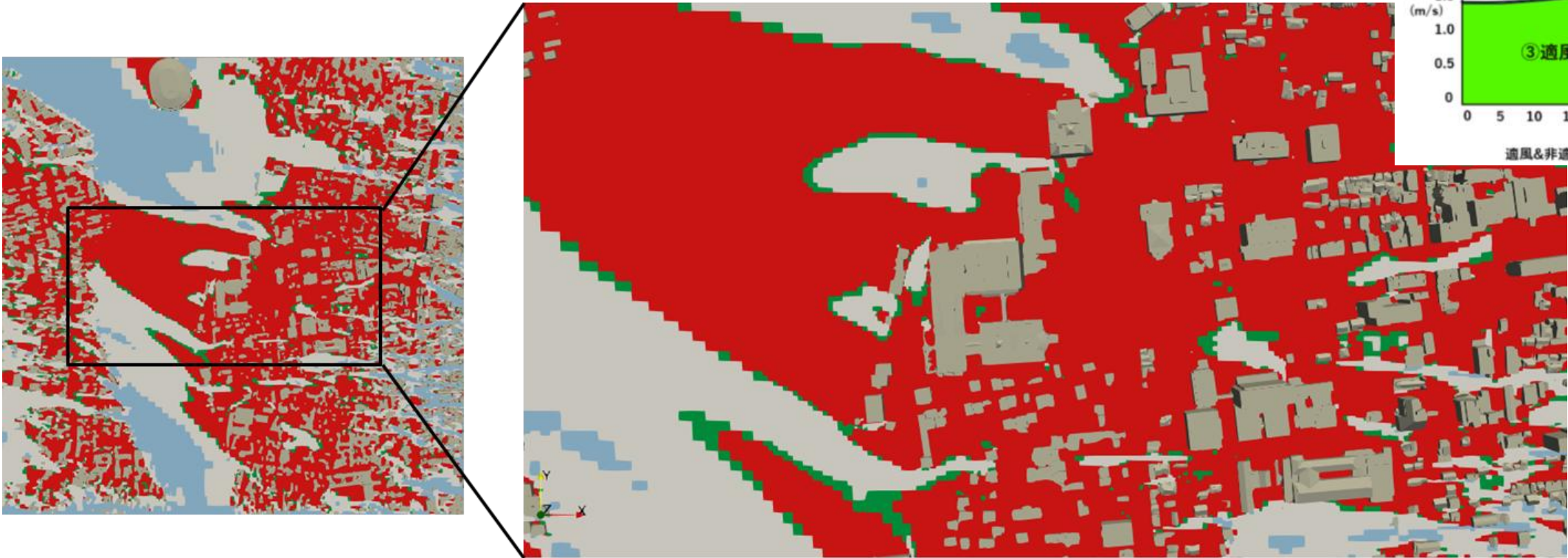
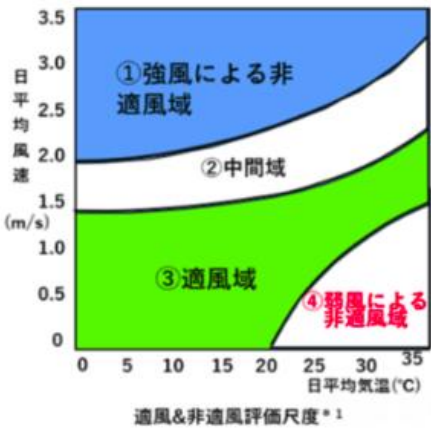
適風評価 結果

東南東風、夏

前橋（群馬県） 日平均気温の月平均値（℃）

年	1月	2月	3月	4月	5月	6月	7月	8月	9月	10月	11月	12月	年の値
2021	4.0	6.3	10.8	14.0	19.1	22.9	26.1	27.2	22.0	17.4	12.2	6.6	15.7
2022	3.3	3.9	9.6	15.0	18.5	23.2	27.5	27.4	24.0	16.6	13.2	6.1	15.7
2023	4.3	5.7	12.2	15.2	19.1	23.3	28.7	29.4	26.6	17.7	12.5	7.8	16.9
2024	5.6	6.5	7.9	16.6	19.5	23.5	28.4	29.1	26.3	19.8	12.7	6.4	16.9

8月の日平均気温(2021年～2024年): 28.275℃



風環境ツール：結果の考察と今後の展望

今後の展望

- **都市における快適性の問題は今後も無くならない**ため、風環境シミュレーションは今後の都市計画においても重要な課題であり続けると考えています。
- 特に、温暖化の進行により、**適風評価のような指標の重要性は今後増していく**と考えられます。そのため、**流れだけでなく、温度も同時に扱う**、といったことも今後必要になるかもしれません。
- 本ツールが対象の業務について、現在はまだ商用のソルバーを中心に解析が行われています。**OpenFOAMのソリューションがどの程度の精度を得られるのか、商用のソルバーを置き換えることは可能なのか**については、これからの検証課題です。

農業の事例

ビニールハウス温熱環境解析

ビニールハウス温熱環境解析：背景

農業DXとシミュレーションの重要性

近年、農業分野の生産性向上のために、**農業DX**が盛んに研究・実践されています。

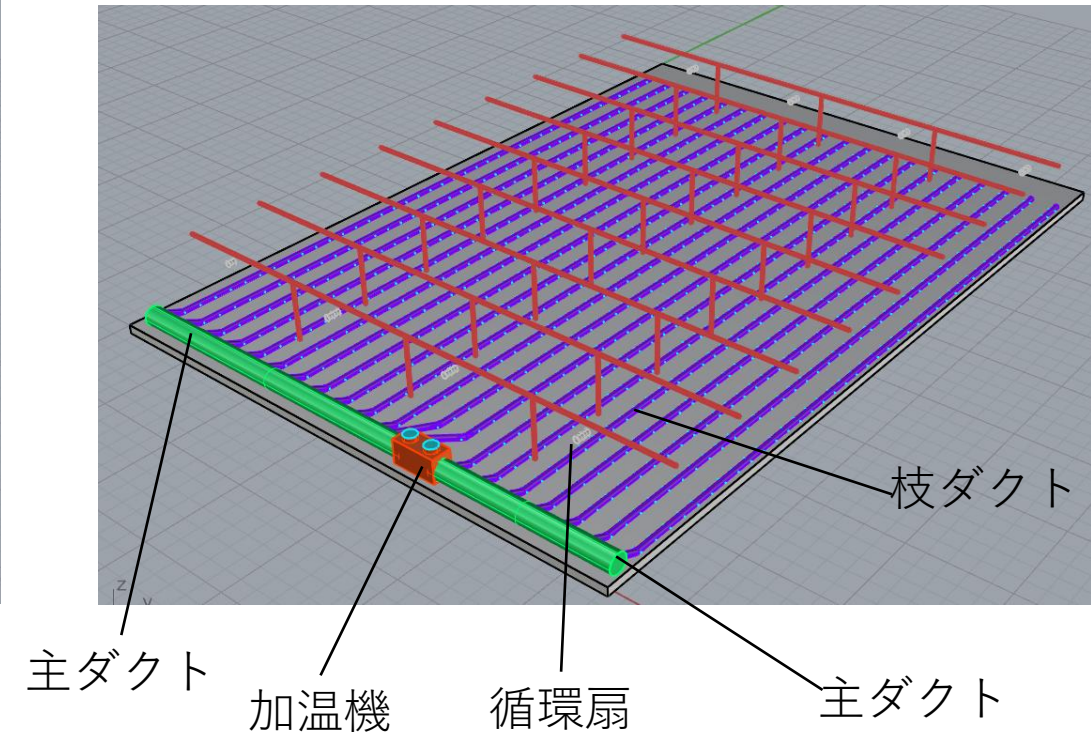
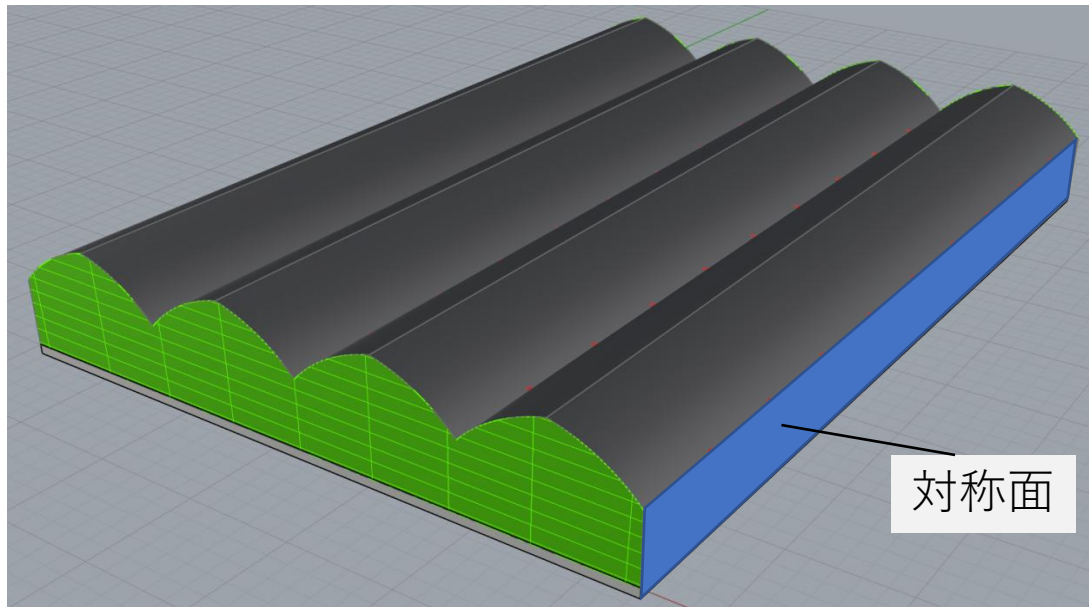
AGRIST株式会社も農業DXを実践する事業者のひとつで、**茨城県常総市**などに独自の農場を持ち、**ロボットやAI導入などの先進的な取り組み**を行っています。

その一環として、弊社と共同で、**シミュレーションで農業の生産性向上に寄与できないかの検証**を行っています。

解析目的

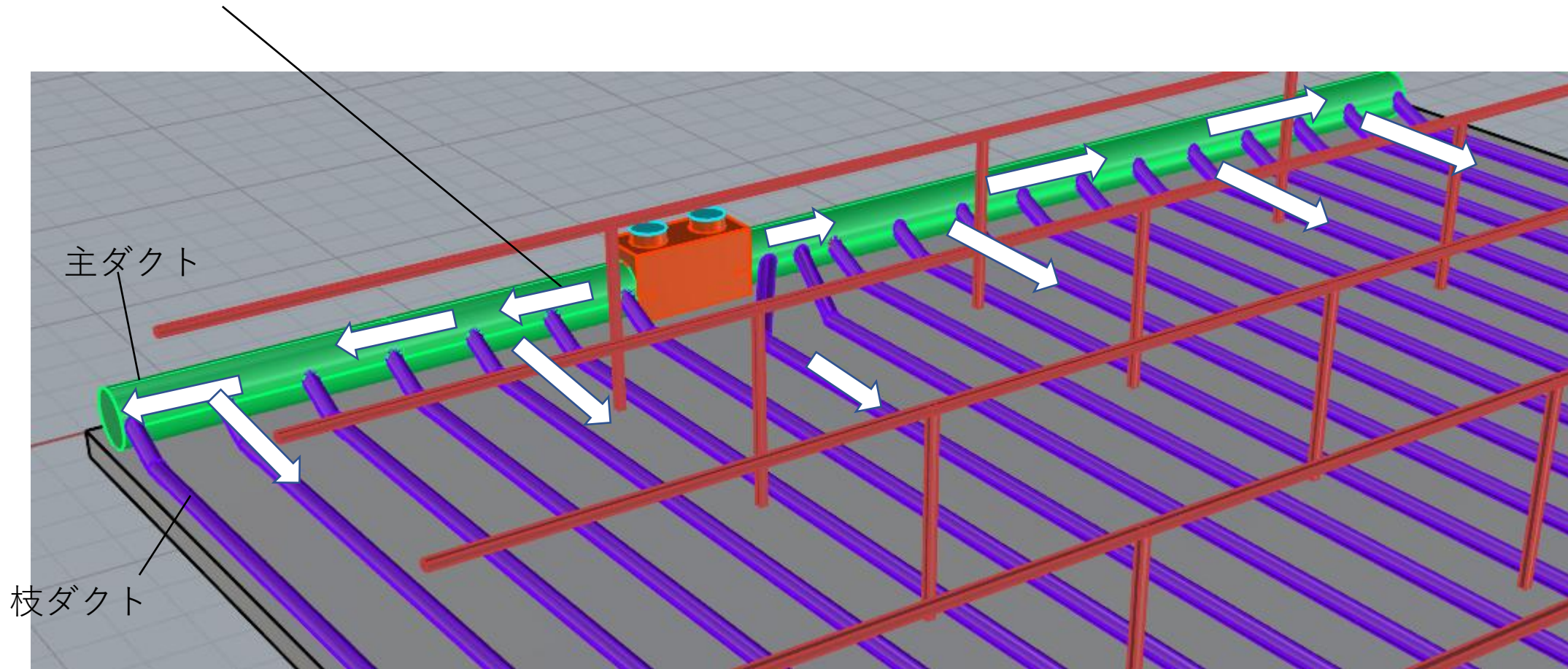
- ピーマンやきゅうりなどの**野菜が最もよく育つ温度域**（26℃程度）は野菜ごとに決まっており、**ビニールハウス内は時間的・空間的にもその温度に保つことが重要**ですが、実際には、日射や加温装置の環境次第で、**時間的にも空間的にもムラが生じているのが現状**です。
- この改善は、現状専門家の勘と経験により行われていますが、シミュレーションを活用することで、**どのような設計にすべきかの科学的な示唆が得られる**と期待しています。
- 特に直近では、**最適な温風ダクトの配置・本数やダクトの穴の間隔などの検証**のために解析を実施します。

ビニールハウスのCADモデル：全体形状

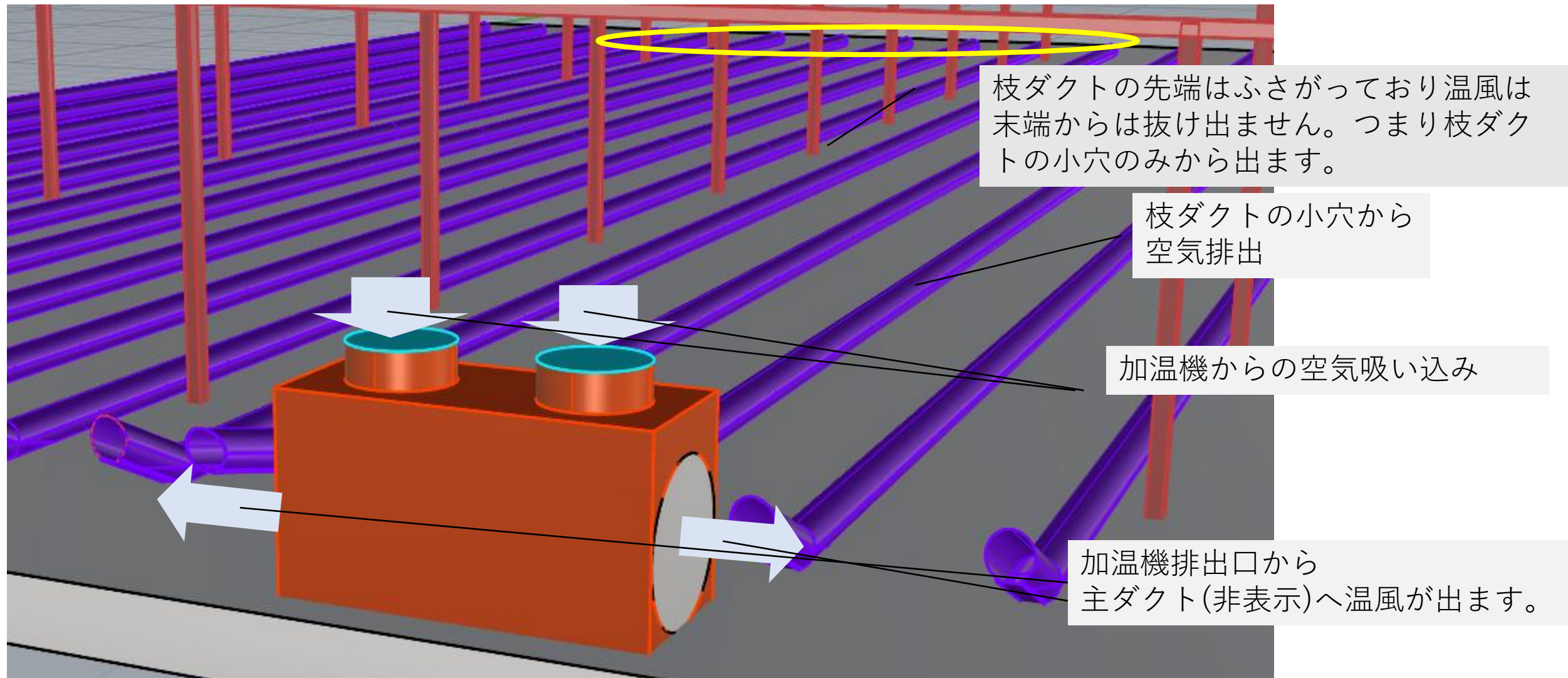


ビニールハウスのCADモデル：ハウス内設備

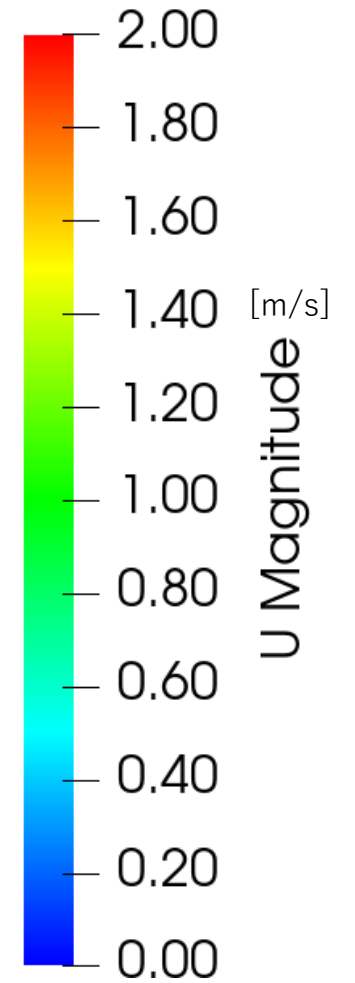
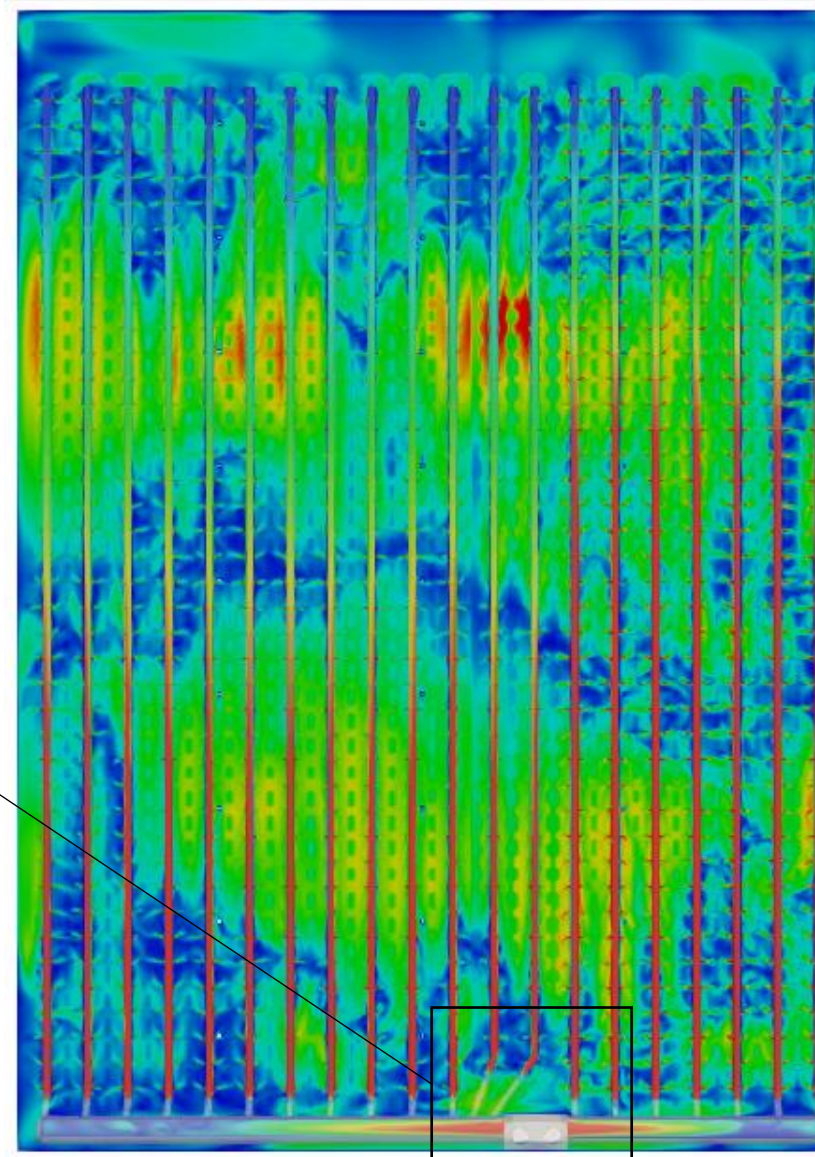
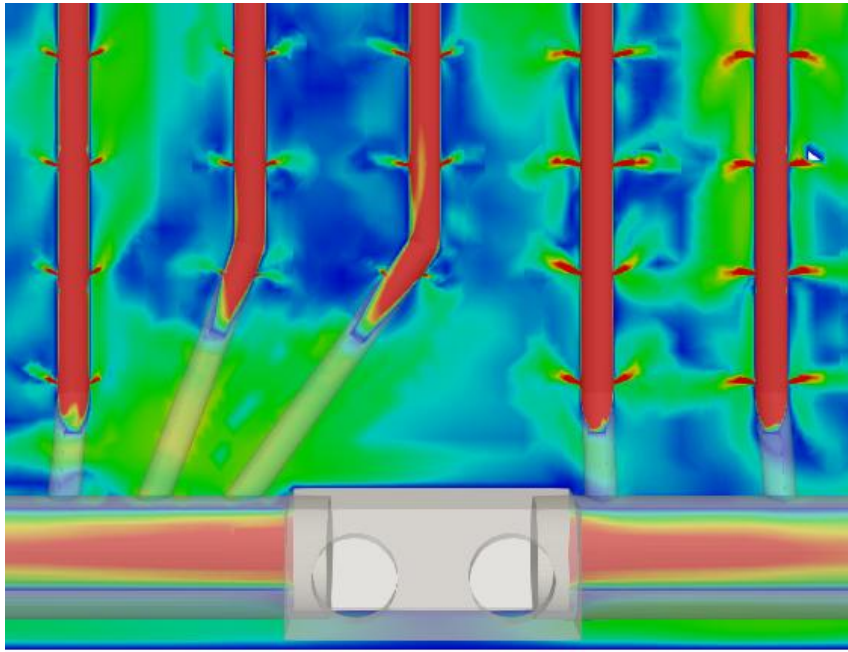
枝ダクトは主ダクトから枝分かれしており、白矢印のように温風が通ります。



ビニールハウスのCADモデル：ハウス内設備（拡大）



解析結果：枝ダクトの小穴吹き出し口高さでの断面図(流速の大きさ)



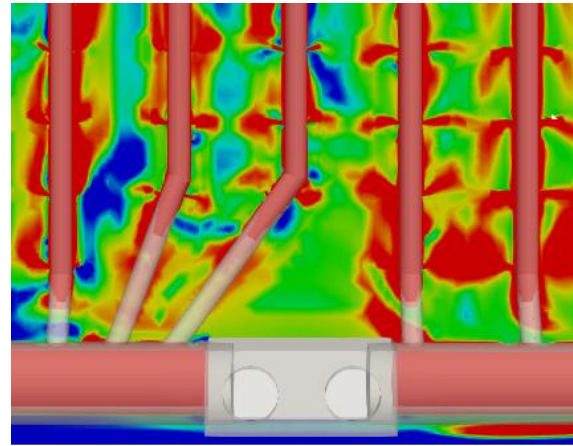
解析条件

- ソルバー：buoyantSimpleFoam（定常解析）
- 総メッシュ数：10,369,791

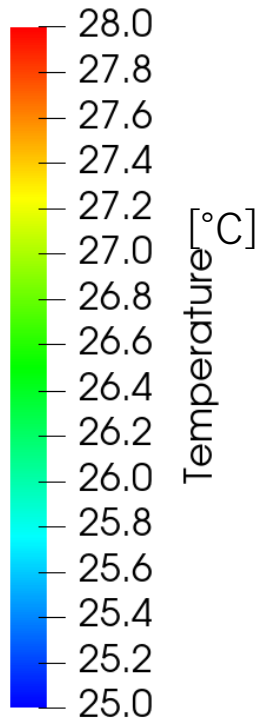
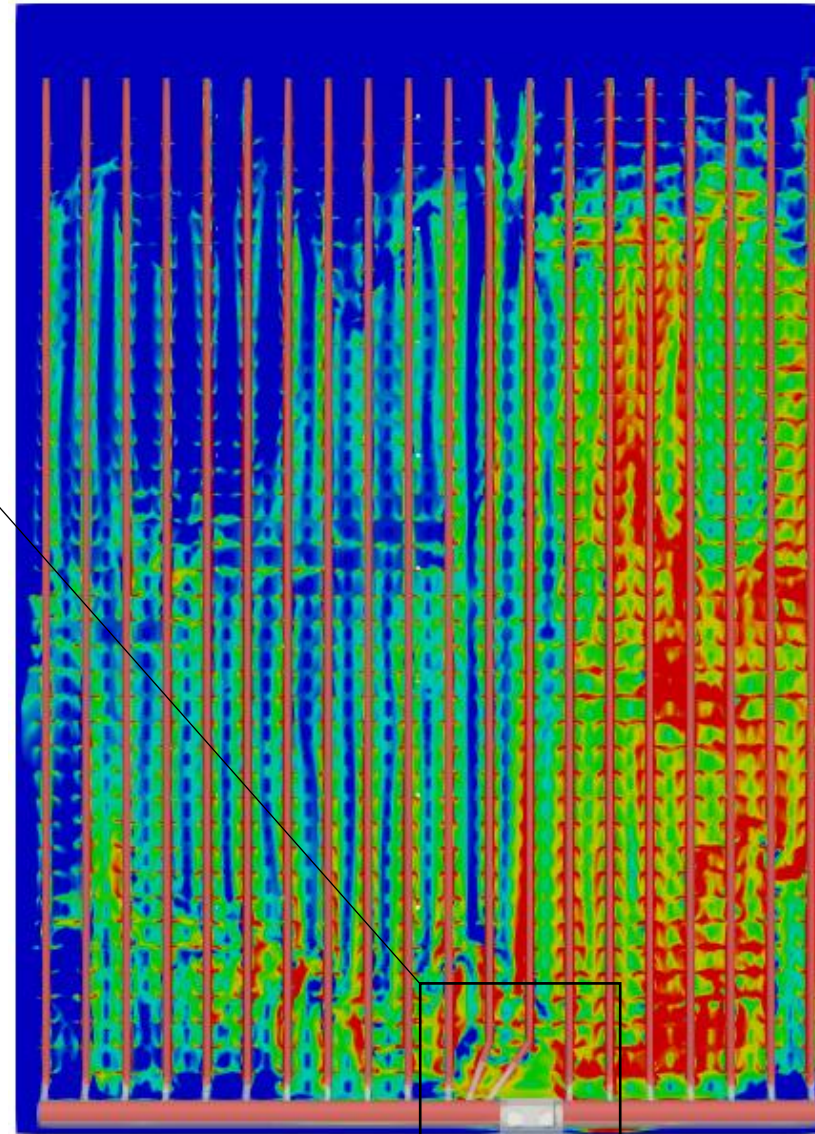


拡大

解析結果：枝ダクトの小穴吹き出し口高さでの断面図(温度)



拡大



結果の考察

- ・モデルの右側(X軸MAX側)が熱い

→カオンキの左右吹き出し口の温風出力が同じ（同じ風量・同じ温度）のため、モデルの右側が熱くなる。X軸min方向に送風する循環扇を設置するか、カオンキの位置をもう少し左側に寄せて枝ダクト1本あたりに送られる風量が同じになるようにすることで解決するかもしれない。

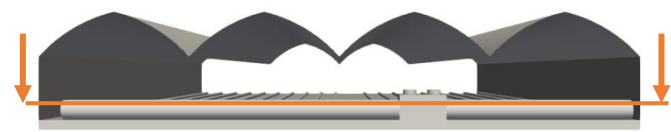
- ・モデル奥側(Y軸MAX側)が冷たい

→モデル手前側(Y軸min側)が比較的暖かいので、Ymin側だけ循環扇を作動させることで解決するかもしれない。

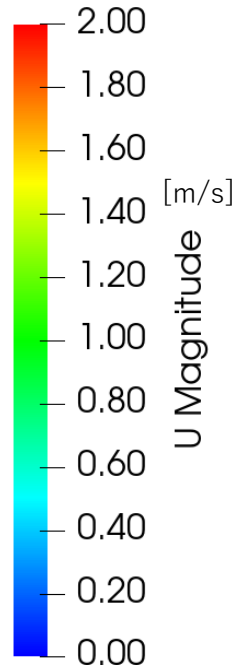
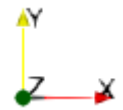
- ・モデル左端が冷たい

→外気に近い端の方は外気の影響を受けやすい。

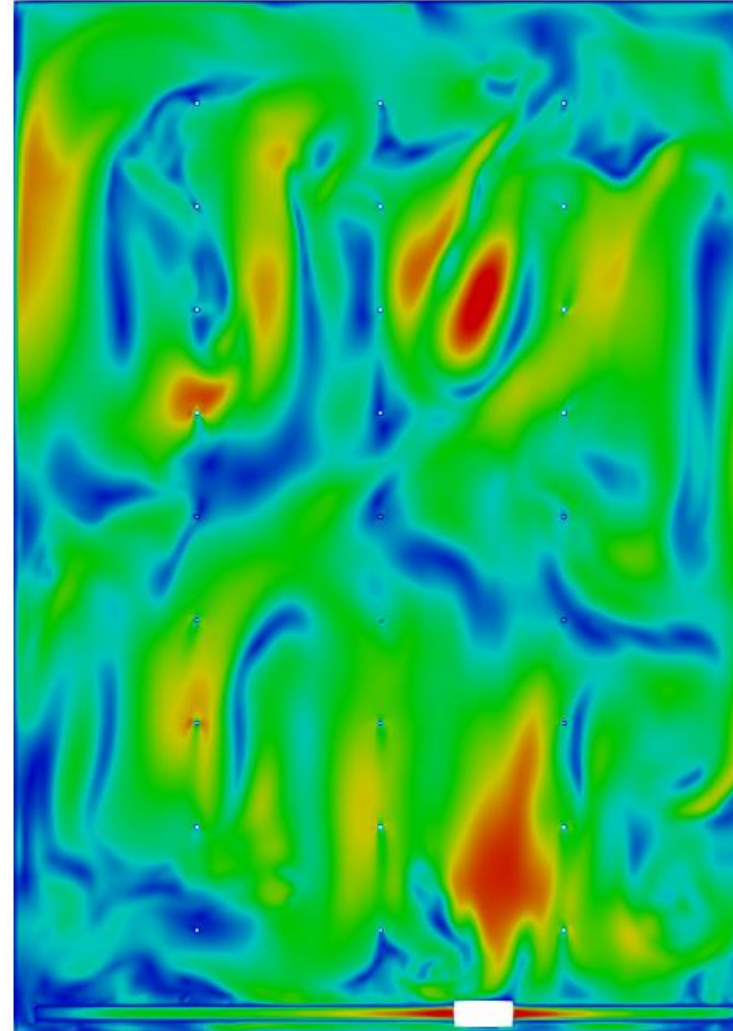
解析結果：地上1m高さでの断面図(流速・温度)



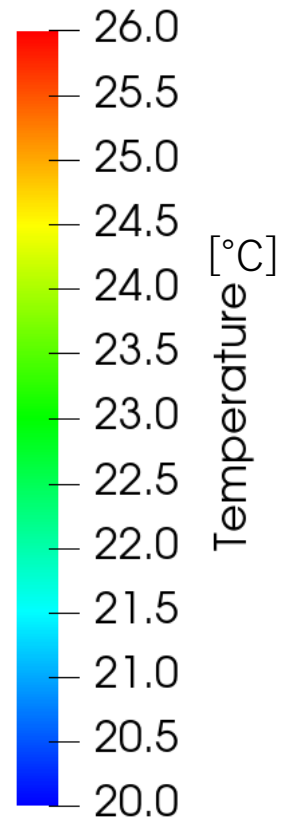
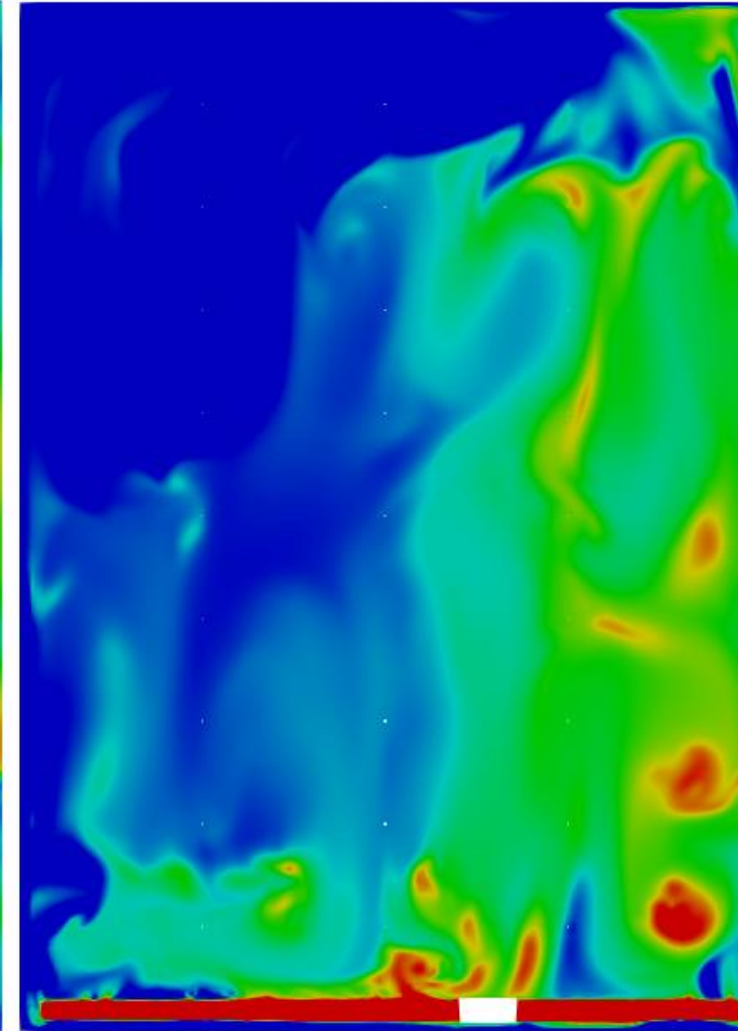
断面位置



流速



温度

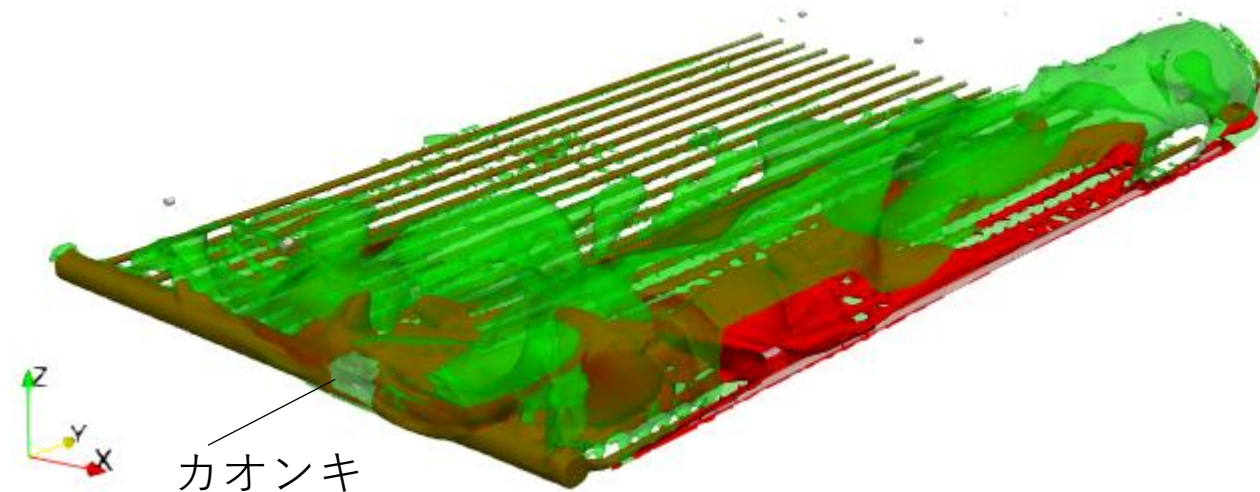
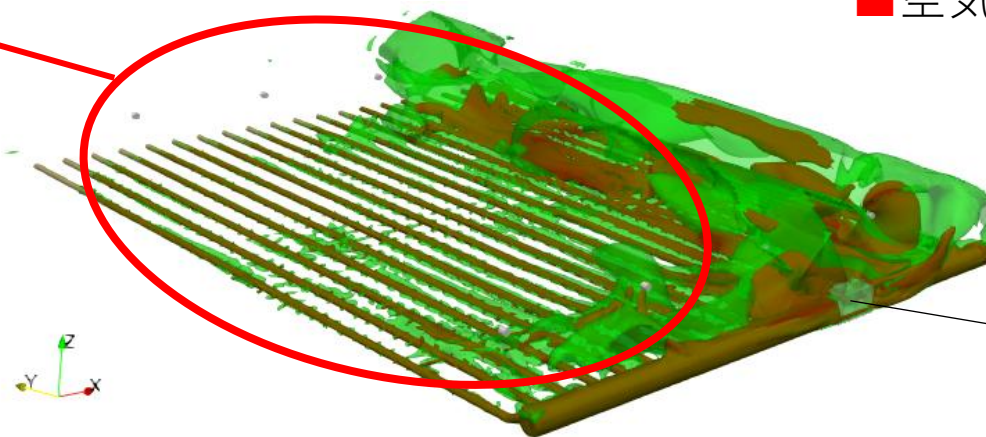
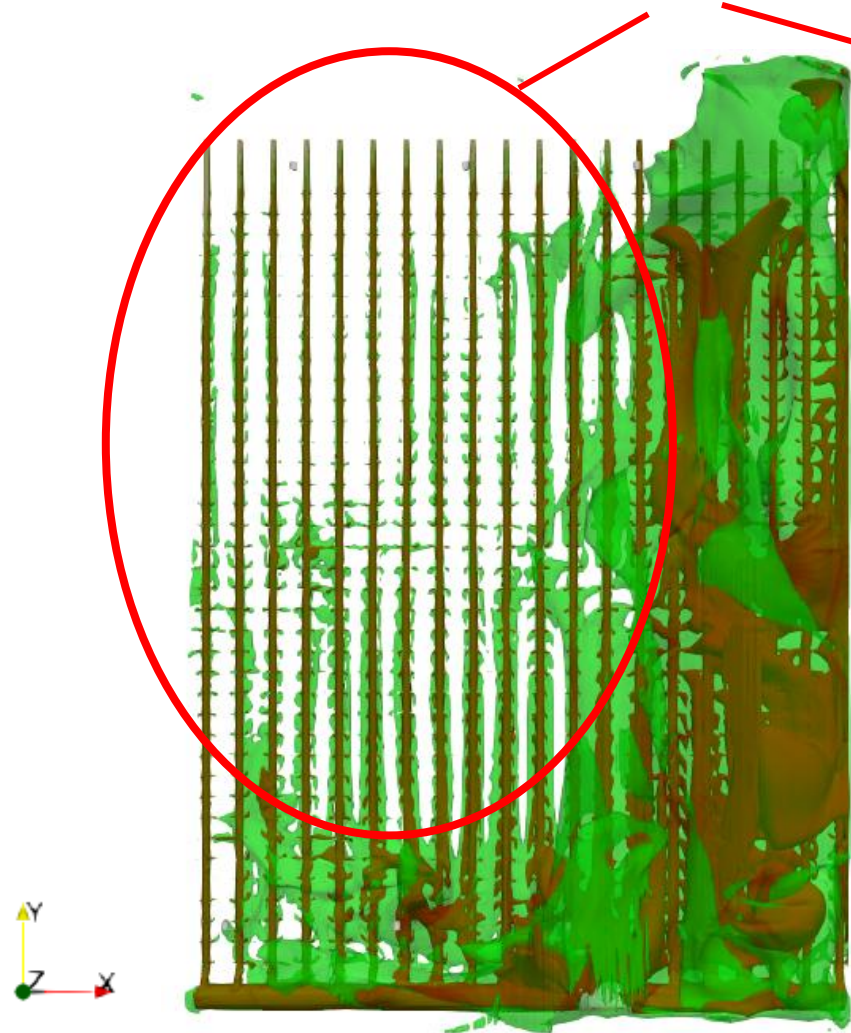


解析結果：温度等値面(緑色：26°C、赤色：27°C)

温度26°Cと温度27°Cの分布を等値面で立体的に可視化したもの
→この結果からハウス内の約2/3のエリアで26°C以下の温度であることがわかる。

■ 空気温度26°Cの等値面

■ 空気温度27°Cの等値面



ビニールハウス温熱環境解析：今後の展望

今後の展望

- 日本において、**農業の生産性向上は待ったなしの課題**です。流体シミュレーションに関しては、今まで活用されていなかったという点も考慮して、**今後重要性は徐々に増していく**と考えています。
- 上の点は、**農業分野におけるシミュレーションの価値はまだ世間に認められていない**ということと同義でもあります。まずは本取り組みを進め、**実際の農場での温度や流速などの計測値とも比較検証し、より実態を反映したシミュレーションにブラッシュアップ**していき、価値を世に訴えていくことが必要です。

大学からのご依頼

液滴蒸発解析

液滴蒸発解析（群馬大学 天谷先生）

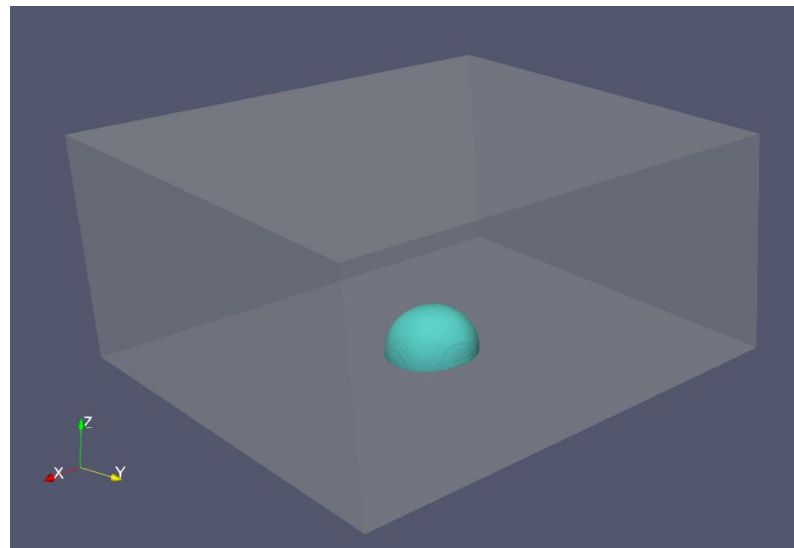
※ 本解析は現在進行中の案件であり、現状検証が不十分な点が多くあります。

- 解析の背景と課題
 - 群馬大学の天谷先生は、流体理工学研究室所属で、**半導体ウェーハ上の洗浄および乾燥工程における熱流体工学的解析（実験・シミュレーション）**などがご専門です。
 - 半導体製造装置の洗浄において、半導体に液滴（純水）が残ると、**半導体の成分の一部が水に溶解し、それが不均質に析出**することで、半導体に不具合を起こす可能性があります。
 - この現象を理解するために、**液滴の蒸発過程についてのシミュレーション**をOpenFOAM以外のソフトウェアを用いてすでに実施済みですが、**指定できる接触角に制限がある**など、制約がありました。
 - そこで、OpenFOAMを用いて、**任意の接触角で蒸発過程のシミュレーション**が行えないかのご依頼をいただきました。
- 解析の評価点
 - **液滴の各部分ごとの蒸発量の定量評価**（液滴と半導体の接触線がもっとも活発に蒸発する場所となる。）
 - **液滴内の自然対流による流動の定性的評価**：蒸発量に分布があることから、潜熱によって液滴表面に温度勾配が生じ、それによって液滴内部に流動が生じると考えられます。この流動が、溶けだした成分の分布に影響を与えることから、この流動がどのように生じているかを同時に評価します。

計算条件設定

解析条件

- ソルバー：icoReactingMultiphaseInterFoam（非定常解析）
- 解析領域：10mm×10mm×5mm
- 初期条件：温度全域25°C、流速ゼロ、水蒸気濃度はゼロ
- 境界条件：上面は開放（温度25°Cで流入）、側面・床面は壁面(すべりなし)+断熱
- 乱流：標準k- ϵ モデル
- 液滴サイズ：半径1mm
- 接触角：本例では、接触角90度のみ計算
- 蒸発量計算のための飽和蒸気圧算出方法：Antoineの式（定数は一般的な値を使用）

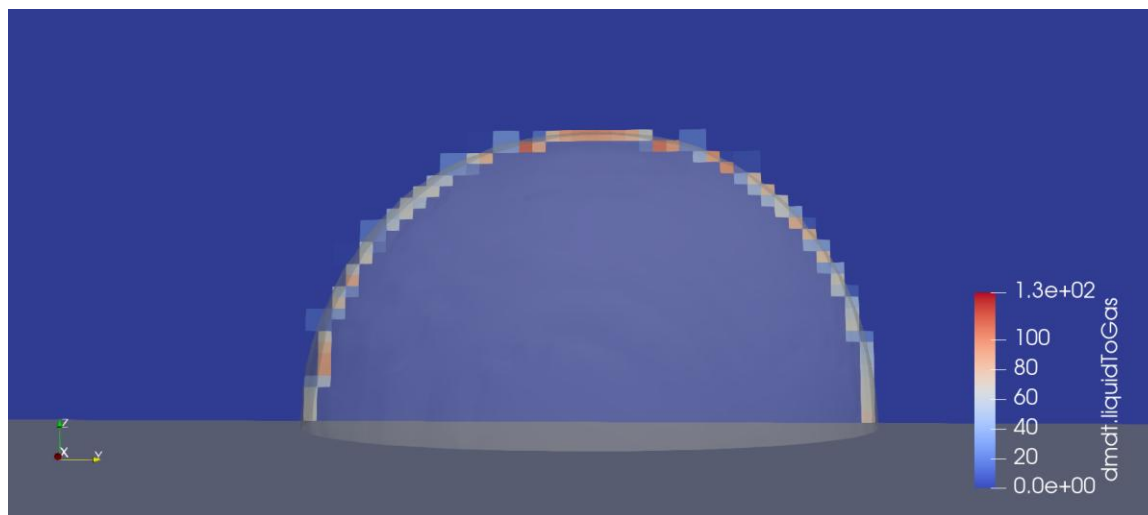


初期の液滴配置

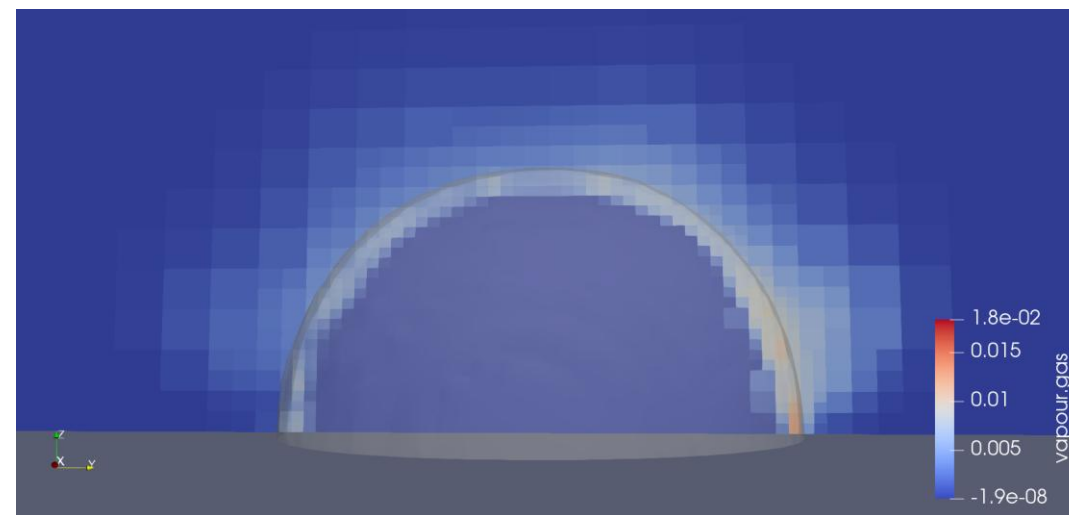
液滴表面での蒸発量と水蒸気分布

解析結果：蒸発量

- 蒸発開始直後（0.01秒）の液滴表面での蒸発量と蒸発による水蒸気体積分率の結果です。
- 蒸発量は、面ではなく、メッシュの体積要素ごとに考慮・出力されています。



液滴表面の蒸発量分布



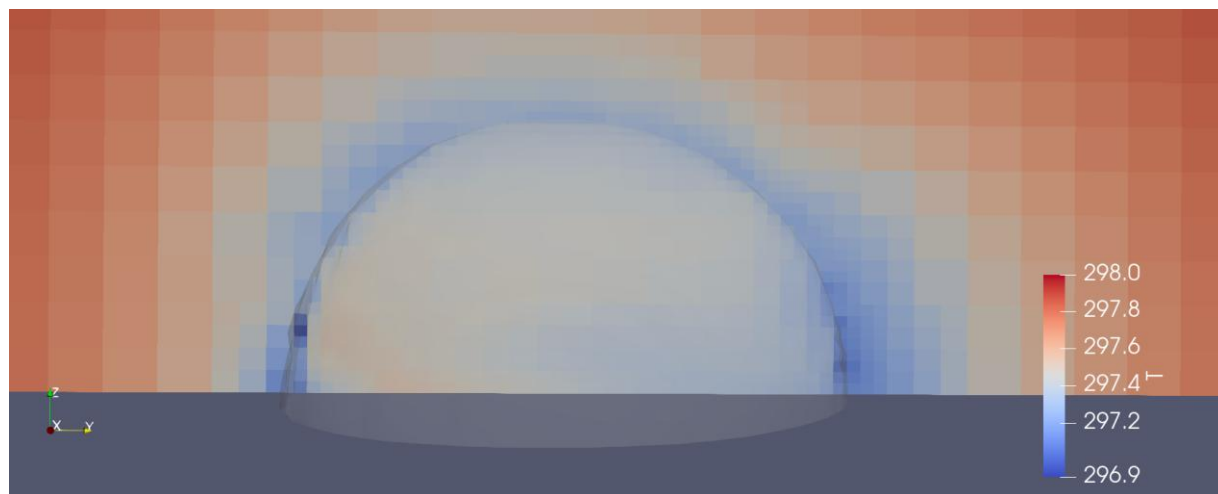
液滴周辺の水蒸気体積分率の分布

※ 今後、他ソフトウェアや経験論的な蒸発量との定量的比較を実施

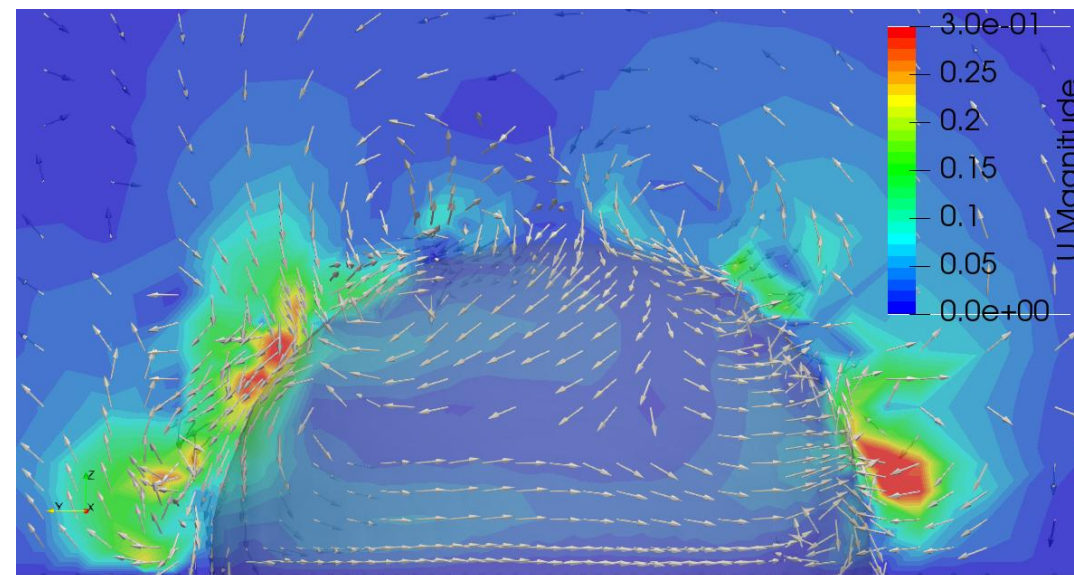
液滴付近の温度・流速分布と液滴内の流れ

解析結果：液滴内の流動

- 蒸発開始0.2秒後の液滴付近の温度分布と、液滴周辺の流速分布や液滴内部の流れの結果です。
- 温度分布において、蒸発により壁面付近の温度がより下がる傾向が出ている一方、液滴内部への温度の伝わりと、それによる流れの発達はまだ十分起こっていません。



液滴周辺の温度分布



液滴周辺の流速分布と液滴内の流れ

※ 今後、流れが成長するまでのより長い時間の解析を実施する予定

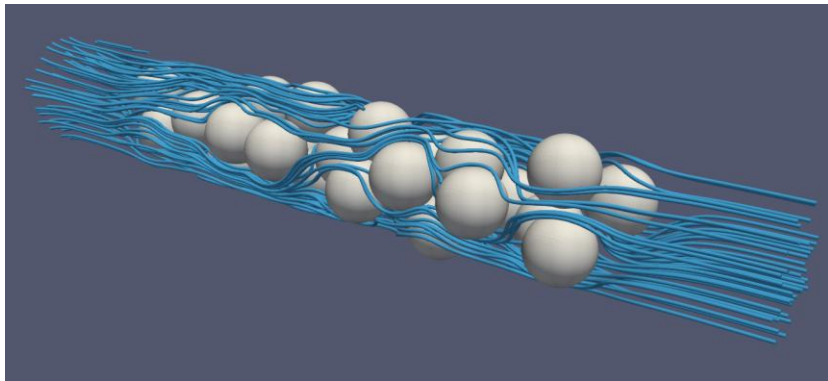
大学からの依頼 2 : OpenFOAM可視化結果の高精度化

OpenFOAM計算結果の高精細可視化（東京科学大学 石川先生）

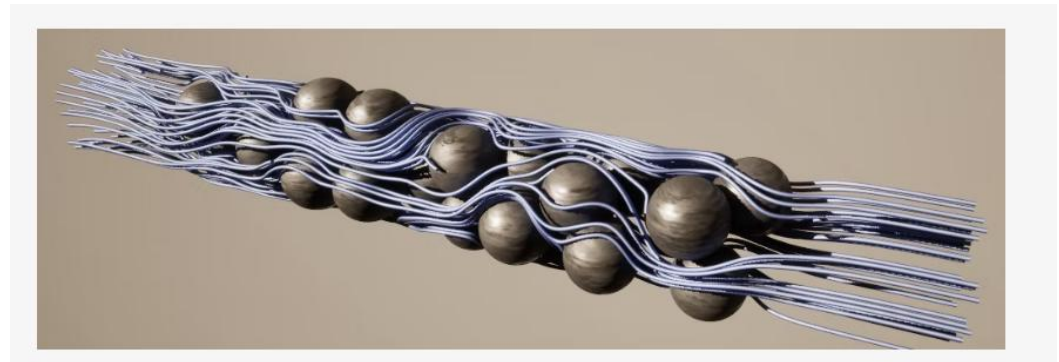
- 代表的な3D可視化エンジンであり、表現の美しさに定評のある[Unreal Engine](#)を用いて、OpenFOAMの可視化結果を可視化するための以下のような一連のフローを確立し、フローに必要なスクリプトを整備しました。

変換フロー

1. 通常どおり、OpenFOAMの計算結果を**ParaView**で可視化します。
2. **ParaView**上で**Pythonスクリプト**を実行することで、**x3d形式**のファイルを出力します。
3. **Blender**上で**Pythonスクリプト**を実行し、x3dファイルを**fbxファイル**に変換します。
4. **Unreal Engine**上で**Pythonスクリプト**を実行し、fbxファイルをロードして可視化を行います。



ParaViewでの可視化例（固体・流線）



Unreal Engineでの可視化例（固体・流線）

大学からのご依頼

今後の展望

- 大学からのご依頼全般については、個別性も高く、ビジネスと必ずしも直接つながっていない場合もありますが、**産官学連携は今後ますます活発になる方向性**と考えており、今後も丁寧に対応していきたいと考えています。**大学の研究室を含めた他企業との連携**も、機会があれば増やしていきたいと考えています。

OpenFOAMを中小企業が 活用する際の課題

OpenFOAMを中小企業が活用する際の課題

OpenFOAMに関する需要

今までの事例では、中堅企業やスタートアップ、大学といった幅広い顧客に対して提供したOpenFOAM関連のサービスについて紹介しました。

これ以外にも、以下のように、**OpenFOAM(CFD)関連の引き合い自体は一定数継続して存在**しています。

実施済み・実施中

- 建設設備会社：解析専任者でない一般ユーザーでも流体解析を実施可能なGUIソリューション（Butterflyを応用）を開発中
- メーカー：社内でOpenFOAMを活用するためのコンサルティングを実施

提案

- メーカー：工場内の換気状況の解析
- 建築設計事務所：小規模建屋内の温熱環境解析
- インフラ会社：固気体の混合度評価解析
- 計測会社：都市広域でのCO2拡散解析

OpenFOAMを中小企業が活用する際の課題

OpenFOAM活用が進みづらい課題

しかし、案件を実施・提案する中で、**OpenFOAM活用が進みづらいという課題**にも直面しています。

一般論として経営資源には、①ヒト、②モノ、③カネ、④情報、⑤時間、⑥知的財産の6つが重要とされますが、今回は特に関連の深い、**ヒト、カネ、時間**を中心に、現状把握している課題を整理します。

1. カネ

- **顧客がシミュレーションに割ける予算はそもそも多くない**（AIなどの流行りものに予算が行きがち。）
- 顧客が前向きでも、**顧客の顧客から予算を獲得できず**進められない。（中小事業者では顕著。）

2. ヒト

- OpenFOAM以前に、**中小事業者ではCFDの経験がないまたは不足している顧客も多く**、CFDの優先度が上がらない。
- CFD経験がある顧客でも、**OpenFOAM習熟のハードルが高い**。

3. 時間

- 仮にOpenFOAMを習熟した担当者がいても、効率よく計算するためのチューニングが十分でなく、試行錯誤に時間を要する。**設計フェーズに乗るには短時間で結果が得られることが必須**。

4. その他

- オープンソースソフトウェアの**セキュリティに対する信頼性が低い**。サポート元が存在しない。

OpenFOAMを中小企業が活用する際の課題

課題解決の道筋

各課題に対して、ベンダーでできる範囲として、以下のような対応が考えられます。

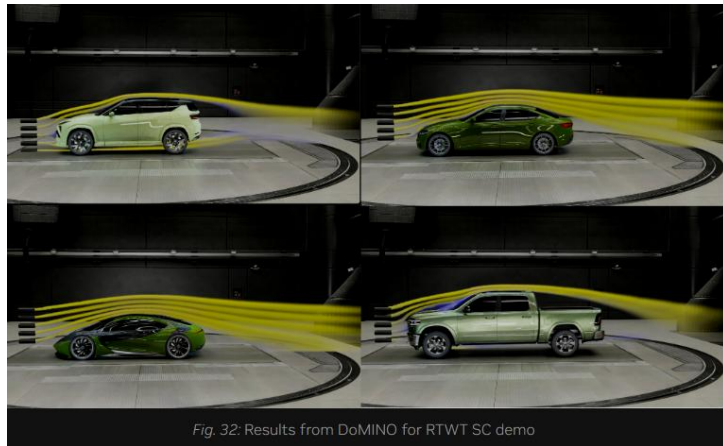
1. カネ
 - 安価で提供するための**ソフトウェアのパッケージ化・SaaS化**
 - 受託解析限定：解析を効率よく実施するための**ベンダー側での知見の蓄積・AI活用**
2. ヒト
 - **OpenFOAMのGUIを整備**して提供。習熟を容易にする。
3. 時間
 - GUI整備に加え、**設定効率化機能**（例：ベストな設定をデフォルト化する、最適な設定リストをプリセット化する）
 - **解析目的に特化した専用ツール**を作成（風環境ツールはその一例）
4. その他
 - セキュリティを担保する形で、**SaaSとして提供**

発展的な取り組み：CFD × AI

CFD×AI：PINNsによるソルバー計算

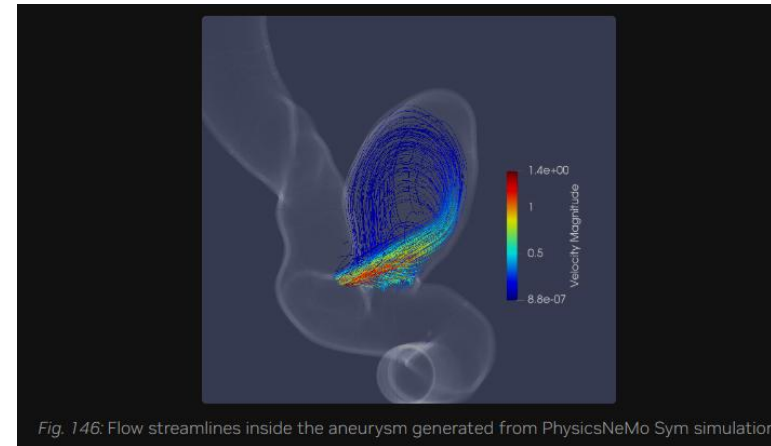
流体解析へのAI活用の現状

- 主要ベンダーが**サロゲートモデル**を中心に、CFD業務の一部をAIで代替するようなソリューションを提案しています。
(例：[Ansys AI](#)、[Hexagon ODYSSEE](#)など)
- この領域で事業を行うスタートアップも多く登場しています。
(例：[SimScale×AI](#)、[RICOS](#)、[Orbital Stack](#)など)
- 一方、**NVIDIA**からも、**PhysicsNEMO**というオープンソースのAIによる物理計算のためのライブラリが公開されています。
- また、**PhysicsNeMO Symbolic**という派生ソフトウェアも公開されています。この手法は、**PINNs**と呼ばれる、**物理方程式を学習したニューラルネットワーク**を利用する手法となっています。



PhysicsNEMOの計算例

https://docs.nvidia.com/physicsnemo/latest/physicsnemo/examples/cfd/external_aerodynamics/domino/README.html



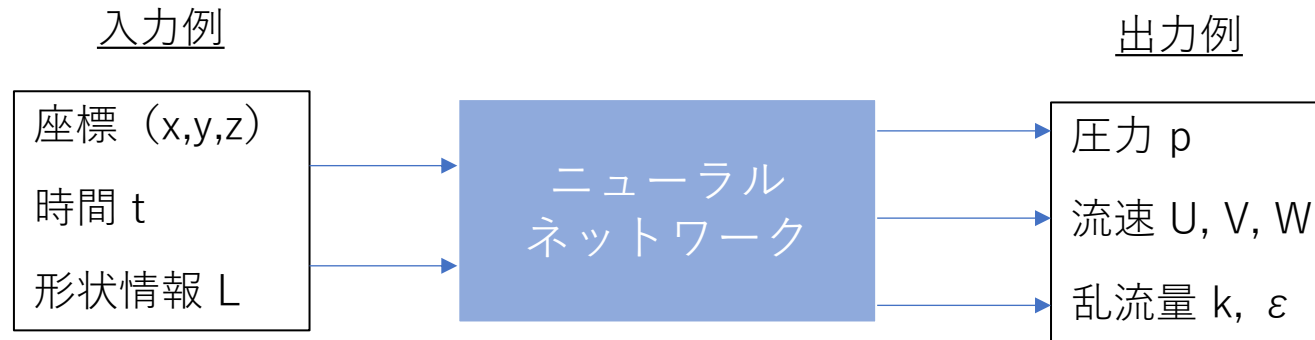
PhysicsNEMO Symbolicの計算例

https://docs.nvidia.com/physicsnemo/25.08/physicsnemo-sym/user_guide/intermediate/adding_stl_files.html

CFD×AI：PINNsによるソルバー計算

PINNsの仕組み

PINNsとは、**物理的な拘束条件の誤差を最小化**するようなニューラルネットワークのパラメータを学習することで、座標などのインプットに対する応答として、物理量の出力を得る方法です。



$$\mathbf{P} : \begin{cases} \frac{\delta^2 u}{\delta x^2}(x) = f(x), \\ u(0) = u(1) = 0, \end{cases}$$

解きたい式



$$L_{BC} = u_{net}(0)^2 + u_{net}(1)^2$$

$$L_{residual} = \frac{1}{N} \sum_{i=0}^N \left(\frac{\delta^2 u_{net}}{\delta x^2}(x_i) - f(x_i) \right)^2$$

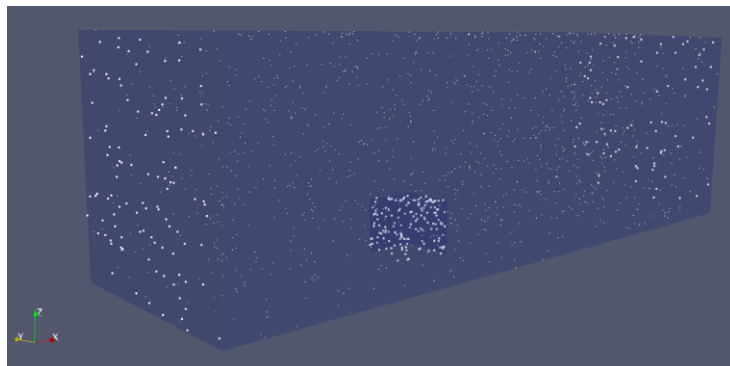
最小化したい誤差

※ここに別途用意したデータとの誤差項を加えることもあります。

CFD × AI : PhysicsNEMo Symbolic

PhysicsNEMO Symbolicの特長

- 物理的な拘束条件（物理式・境界条件など）を、直接Pythonコードの形で入力でき、複雑な実装は不要です。
- メッシュ作成は不要で、領域内・境界条件の参照点の数を与えるのみで計算可能です。
- 解きたい問題に応じて、ニューラルネットワークとして、MLPのような基本的な構造だけでなく、FNO (Fourier Network Operator) などの複雑な構造を指定することができます。
- 形状情報をパラメータの形で考慮できます。例えば複数のSTLファイルや、直方体のある一片の長さ、物体位置座標などをパラメータ化し、それをひとつのニューラルネットワークに学習できます。推論時は、パラメータの値を変えるだけで、簡単に異なる形状での結果を得ることができます。
- 標準機能として、OpenFOAMの解と比較し、OpenFOAM結果との誤差を検証しながら学習を行うことができます。



領域内の参照点を可視化した図

```
self.equations["k_equation"] = simplify(  
    u * k.diff(x)  
    + v * k.diff(y)  
    + w * k.diff(z)  
    - ((nu + nu_t / sig_k) * k.diff(x)).diff(x)  
    - ((nu + nu_t / sig_k) * k.diff(y)).diff(y)  
    - ((nu + nu_t / sig_k) * k.diff(z)).diff(z)  
    - P_k  
    + ep  
)
```

物理式の実装例

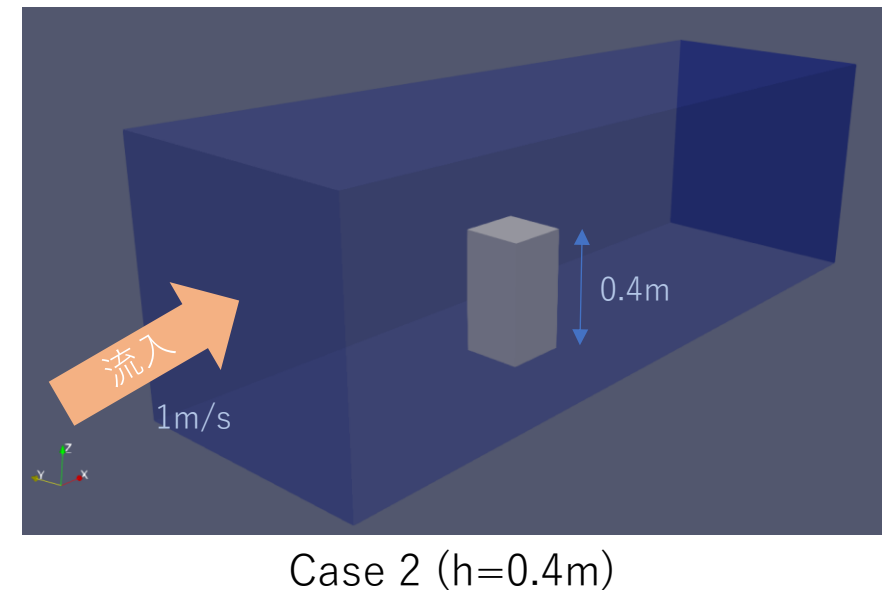
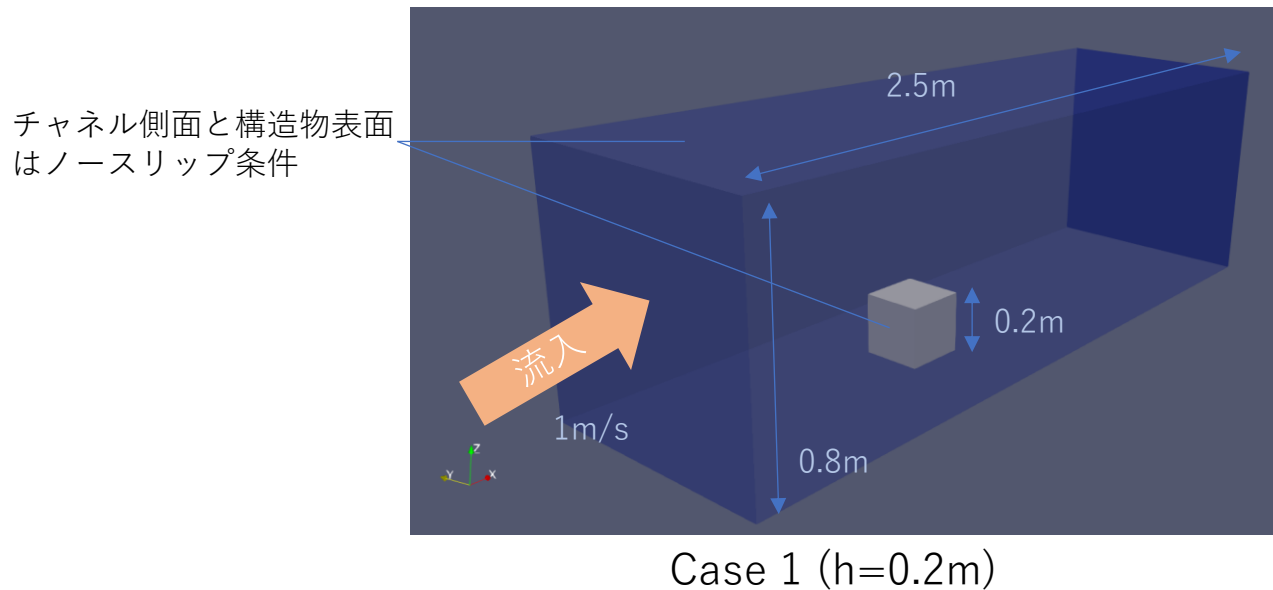
```
no_slip_channel = PointwiseBoundaryConstraint(  
    nodes=nodes,  
    geometry=channel_mesh,  
    outvar={"u": 0, "v": 0, "w": 0},  
    batch_size=cfg.batch_size.no_slip_channel,  
)  
domain.add_constraint(no_slip_channel, "no_slip_channel")
```

境界条件による拘束の実装例

CFD × AI : PhysicsNEMO Symbolicの検証解析

PhysicsNEMO Symbolicの検証解析

- チャンネル内に1個の直方体がある簡単な解析で、**OpenFOAM解析と同等の結果が得られるか検証**しました。
- 乱流を解かず**Navier-Stokes式のみを対象**とするため、**高粘性**($\nu=0.1$)・低レイノルズ数(1程度)の物性を用います。
- 直方体高さの異なる2つのSTLを用意し、それぞれ独立に学習するケースと、形状をパラメータ化して同一のネットワークに学習する場合の、両方を試行しました。



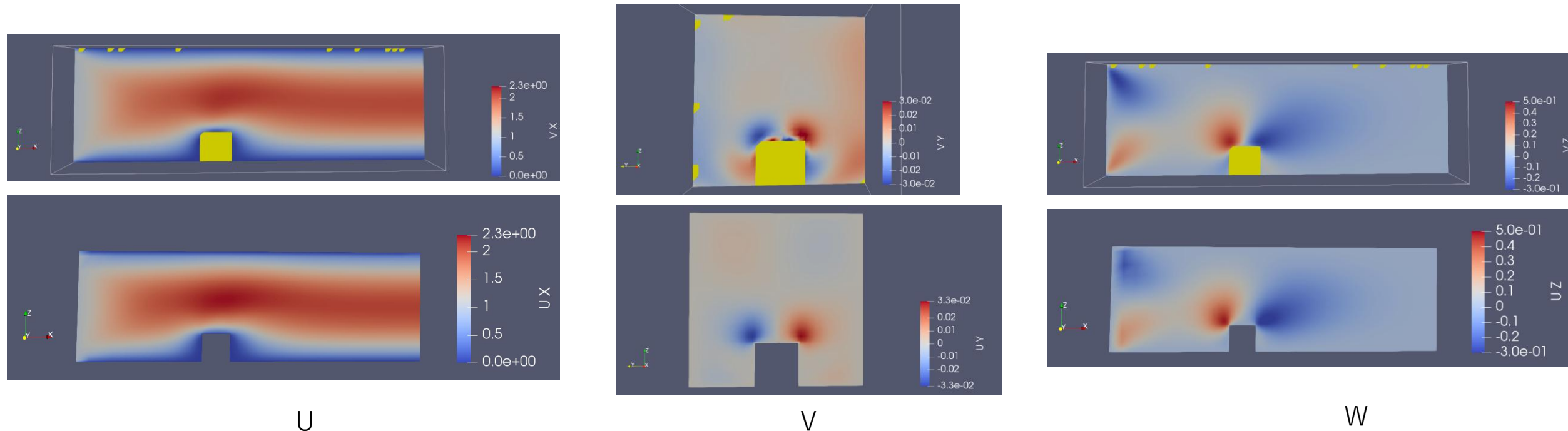
CFD × AI : PhysicsNEMO Symbolicの検証解析

検証結果

- それぞれのケースで500,000サイクルまで学習を進めた結果で推論した結果をOpenFOAMと比較したのが以下です。
- まだ収束が甘かったり、二次流れで若干の誤差はありますが、Case1, Case2ともに**おおむね近い結果**を得られています。

Case 1の結果

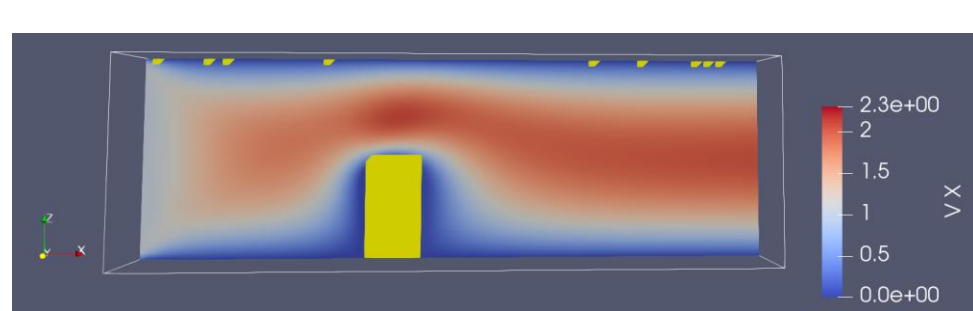
(上 : PhysicsNEMO Symbolic, 下 : OpenFOAM)



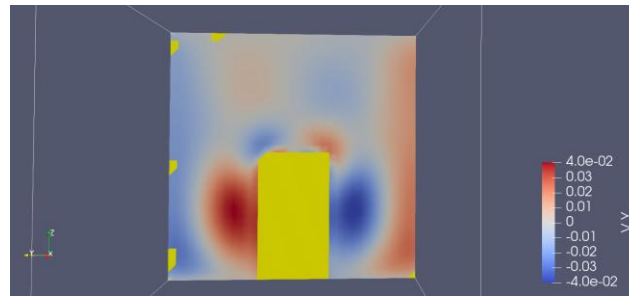
CFD × AI : PhysicsNEMO Symbolicの検証解析

Case 2の結果

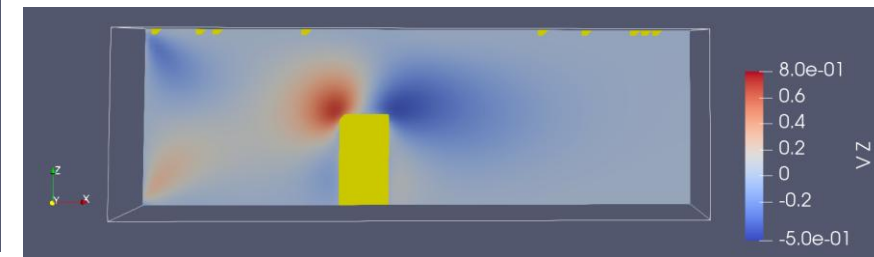
(上 : PhysicsNEMO Symbolic, 下 : OpenFOAM)



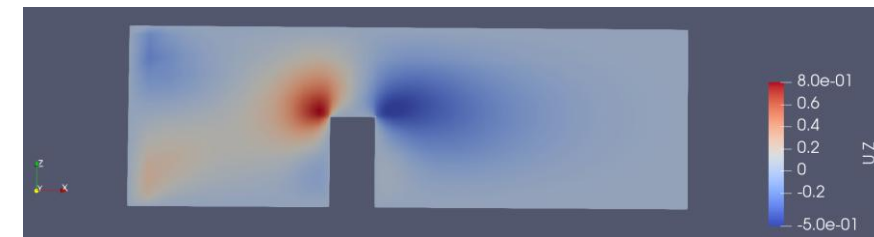
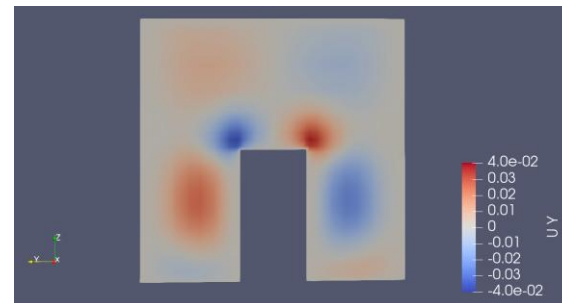
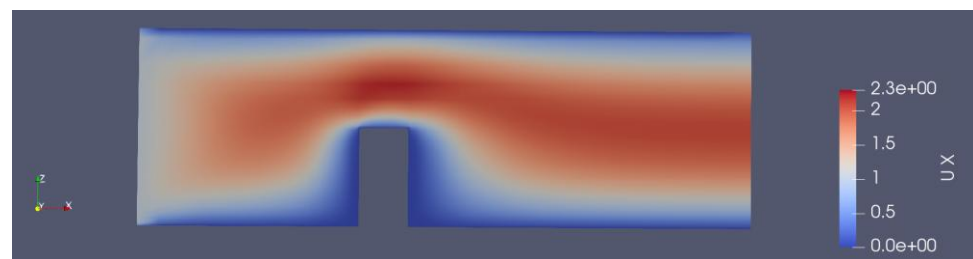
U



V



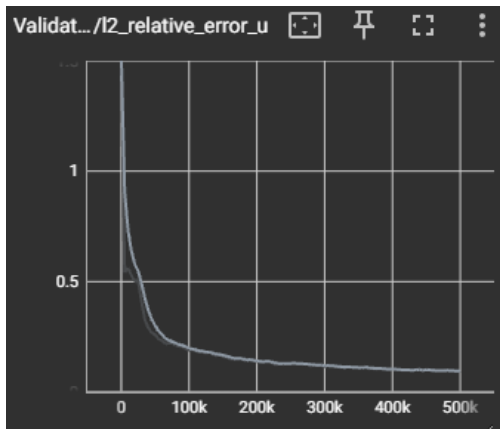
W



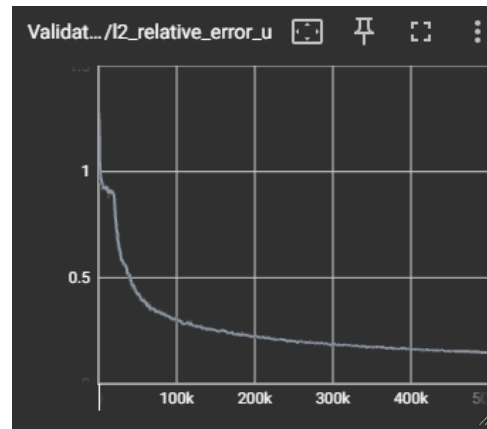
CFD×AI：PhysicsNEMO Symbolicの検証解析

課題

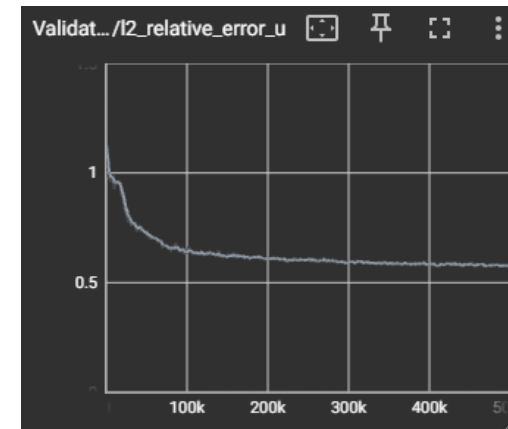
- それぞれの形状を別に学習したケースでは、500,000サイクルでかなり収束が進みましたが、形状をパラメータ化し、ひとつのニューラルネットワークを学習したケースでは、**同じサイクル数でも十分な収束は得られませんでした。**
- そもそも、今回の学習環境(GeForce RTX 4060)では**500,000サイクルでも最低数時間と相当計算時間を要しています。**
- メッシュ作成不要、推論時間は短いといった利点がありますが、実用的に用いるには、**学習時間の大幅な向上が必須**であり、そのためには、ニューラルネットワークの構造と学習の仕組みをより深く理解し、**場合によっては新しいネットワーク構造を提案するぐらいの試み**が必要そうです。
- あるいは、今回は物理式のみ学習しましたが、**データを加えた学習の方がPINNsの特性がより生かせる**かもしれません。



Case 1単独のUの収束状況



Case 2単独のUの収束状況



形状をパラメータ化した場合のUの収束状況

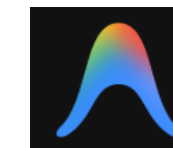
CFD×AI：コーディングエージェント活用

AIコーディングエージェントによるOpenFOAM解析設定自動化

- 近年、AIコーディングエージェントの発展が目覚ましく、**開発においては必須のツール**になっています。
- タブ補完などの開発補助機能を前提として、直近では**エージェントによるタスクの自律実行**が強化されています。
- エージェント機能としては、**IDE型、CLI型、クラウド型**などいくつかの方式があります。
- 開発だけでなく、**GitHub上でのレビューを直接エージェントに依頼**することも可能です。
- GitHub Copilot, **OpenAI Codex**, Claude Code, Devinなど多くのサービスが提供されています。
また、Cursor, **Google Antigravity**のように、**IDEを一体化したツール**も提供されています。
- **毎月のように新しいモデル、新しいツールが登場**するので、常に情報をウォッチしておく必要があります。
- これらのツールやエージェントは、**コーディングだけでなく、ドキュメンテーションや、開発に関連するあらゆるタスクを実行**することができます。



そこで、OpenFOAMの設定をコーディングエージェントで自動生成できるか検証しました。



- 液滴蒸発の例で検証を行います。
- Case1：基本的なプロンプト

プロンプト

このフォルダの下に、以下のOpenFOAMの解析サンプルを作成してください。

- 物理条件
 - 気体と純水の二相流の計算を行う。
 - 気体は純水が蒸発した水蒸気と空気が混合した状態を計算する。
 - 純水の蒸発による液体ならびに気体の温度変化も考慮する。
 - 液滴内部の温度分布による自然対流も考慮する。
- 形状条件
 - 液滴のサイズは直径2mmとする。
 - 液滴の接触角は90度で、直径2mmの半球が平らな面の中心上に置かれている状態でスタートする。
 - 解析領域は立方体または直方体で、液滴サイズに比べて十分大きいサイズとする。例えば30mmなど。
 - 下面以外の面の設定は計算が安定するように設定する。壁面でもよいし、開放でもよい。
- OpenFOAM設定条件
 - ソルバーはicoReactingMultiphaseInterFoamを用いる。
 - 液滴表面での相変化量を評価できる量を出力する。



結果

- **フォルダ構成は正しく作成**できました。
- しかし、Allrun実行時に**blockMeshでエラー**が生じるため、追加で以下のプロンプトを実行しました。

以下の問題があるので、それぞれ修正してください。
1. Allrunの形式が通常のOpenFOAMのtutorialとは異なる形式となっている。
2. Allrunを実行してもblockMeshでエラーが生じる。

- 結果、メッシュ作成は実行できましたが、**ソルバー計算で境界条件の設定エラー**が生じました。
- **Codexの知識のみで、液滴蒸発のようなややアドバンスな解析の設定ファイルを完成させるのはやや難し**そうです。

CFD×AI：コーディングエージェント活用

- Case2：参考にするチュートリアルを指定したプロンプト

プロンプト

このフォルダの下に、以下のOpenFOAMの解析サンプルを作成してください。

なお、この計算は同じフォルダ内の
poolEvaporationMultiComponentに類似しているので、
このケースの設定を参考にしてください。

- 物理条件

- ・ 気体と純水の二相流の計算を行う。
- ・ 気体は純水が蒸発した水蒸気と空気が混合した状態を計算する。
- ・ 純水の蒸発による液体ならびに気体の温度変化も考慮する。
- ・ 液滴内部の温度分布による自然対流も考慮する。

- 形状条件

- ・ 液滴のサイズは直径2mmとする。
- ・ 液滴の接触角は90度で、直径2mmの半球が平らな面の中心上に置かれている状態でスタートする。
- ・ 解析領域は立方体または直方体で、液滴サイズに比べて十分大きいサイズとする。例えば30mmなど。
- ・ 下面以外の面の設定は計算が安定するように設定する。壁面でもよいし、開放でもよい。

- OpenFOAM設定条件

- ・ ソルバーはicoReactingMultiphaseInterFoamを用いる。
- ・ 液滴表面での相変化量を評価できる量を出力する。



結果

- ・ より正しいと思われる設定にはなっていますが、**依然としてソルバーエラーが発生しました。**
- ・ そこで、以下の2つのプロンプトを追加で実行することで、エラーを解消することができました。

dropletEvaporationHemisphereのケースについて、blockMeshDictに記載した境界条件の設定と、0.origフォルダ以下の境界条件設定が適合していないものがあり、decomposeParでエラーが生じているので、これを符合させ、計算が正しく実行されるように修正してください。

dropletEvaporationHemisphereのケースについて、alpha.liquid内に指定したcontactAngleが正しい設定になっていないので、v2412で利用できる正しい接触角のコマンドを使用してください。また、接触角はラジアンではなく度でしているので、接触角の値を度に修正してください。

- ・ 自動作成のみでエラーのない設定ファイルを作成できましたが、**プロンプトを複数投げるという手間**は生じました。

CFD×AI：コーディングエージェント活用

- Case3：自律的にエラーを解消させるプロンプト

プロンプト

このフォルダの下に、以下のOpenFOAMの解析サンプルを作成してください。
なお、この計算は同じフォルダ内のpoolEvaporationMultiComponentに類似しているので、
このケースの設定を参考にしてください。
また、計算を実行すると、「log.[コマンド名]」というログファイル群が出力されます。
この中でエラーが生じているとき、エラーが解消するように、自律的に修正を行ってください。
この操作を繰り返し行い、最終的にエラーが出ない状態にしてください。

- 物理条件
以下は先ほどのプロンプトと同様。



結果

- 1回のプロンプトで、実行時にエラーが生じない設定ファイルが作成されました。
- ただ、Case2で接触角のエラーが生じていた箇所について、接触角を用いない条件に変更されており、意図した設定になっていない箇所がありました。
- このため、すべての設定を自律的に実行させることも現状では難しそうです（どのようなエラーが出るか事前に知ることは困難なため）。

発展的な取り組み：CFD×AI

今後の展望

- AIを用いたサロゲートモデルについては、すでに製品も多く市場に投入されていますが、**実用的には、まだ既存ソルバーを置き換えるようなものにはなっていない**という印象です。ただ、方向性としては、今後さらに性能向上と普及が進んでいくものと考えています。
- 特に、データ学習ベースのサロゲートモデルについては、データ量が精度に決定的に影響する事例も見られ、**今後もデータを多く集められるプレイヤーが生き残っていくもの**と想定されます。
- 一方、PINNsのようなより物理制約を重視するモデルについては、**データ学習ベースの手法より進展はゆるやか**であると想定していますが、**精度と高速化を両立したい分野も多い**と思われ、今後も研究が途切れることはないと考えています。
- PINNsに関して、弊社では、特に**リアルタイムシミュレーション**の領域での活用に着目しています（例えば、不動産内覧時に、窓の開閉や家具の移動による室内の温度や空気の流れをリアルタイムで計算して顧客に見せる、など）。この観点で、引き続き研究開発を進めていきます。
- 生成AIのCFDへの活用は、**コーディングエージェントの動作はまだ癖**がありますが、**ChatGPTのような汎用ツールでは、すでに実用レベルに達している**と考えています。この領域については、早々に普及が広がっていくと考えられます。

最後に

- OpenFOAMは、地方で事業を行うベンダーという立場から見ても、実際にビジネスの現場で関心を持たれ、一部は実務に乗り始めています。
- ただ、ポテンシャルに比して、まだ活用が十分広がっている状況にはありません。
ビジネスの現場で活用されるには、技術だけではない、使われる力学のようなものがが必要です。

ヘリシティは、皆様と一緒に、OpenFOAMやオープンソースシミュレーションが活用されるまでの、**ラストワンマイルを埋める作業**を今後も続けていきたいと考えています。

Appendix

ヘリシティ紹介

社名	株式会社ヘリシティ
設立	2024年1月
資本金	500万円
代表者	代表取締役 八登浩紀
事業内容	<ul style="list-style-type: none">➤ 流体シミュレーション(開発・受託解析)➤ 科学技術計算➤ AIシステム開発➤ XRシステム開発➤ DX・業務改善支援
所在地	〒379-2131 群馬県前橋市西善町250番地9

お問い合わせ
ご不明点、ご相談がございましたら
下記までお気軽にお問い合わせください。
担当：八登浩紀・八登千佳

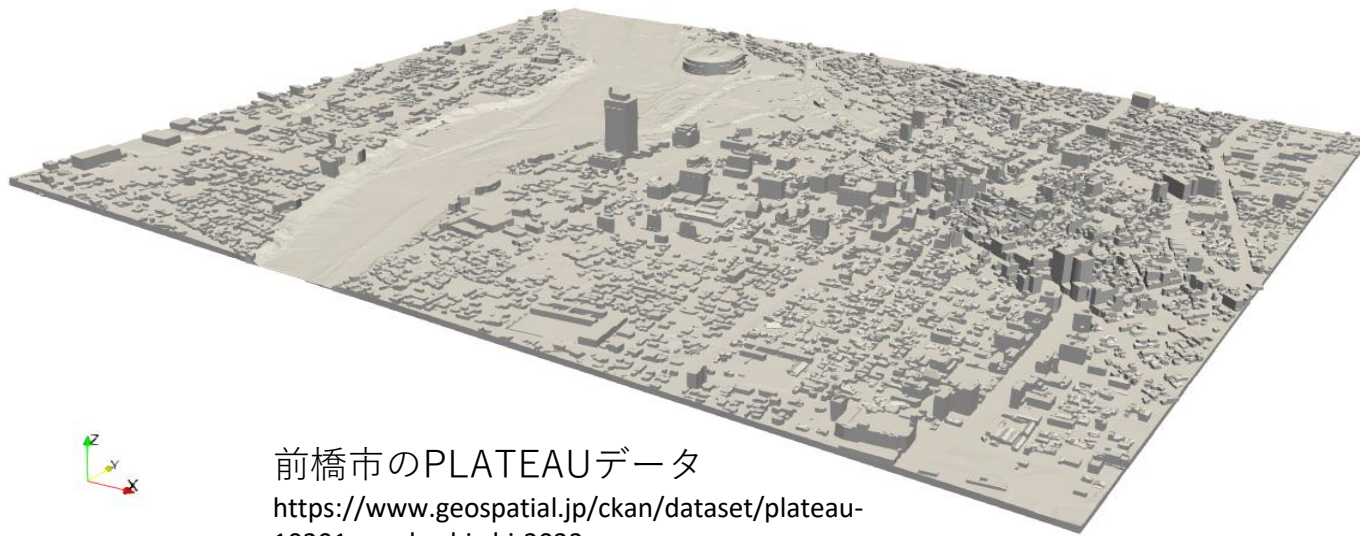
メール
hiroki.yato@helicity.co.jp

会社HP
<https://www.helicity.co.jp/>

風環境ツール：PLATEAUの利用

PLATEAUモデルとその活用方法

- 国土交通省ならびに全国の自治体が主導して、各都市の実際形状の3Dデータの整備が進められています。この3Dデータを**PLATEAUデータ**と呼びます。
- 前橋市でのデータも存在しており、現在前橋市サイドでも活用方法が検討されています。
- アプリケーションに入力するCADデータは3dm形式のため、**PLATEAUデータを適切に加工することで3dm形式に変換する手順を確立**しています。（PLATEAU SDK for Unityを用いて、PLATEAUのデータをOBJ形式で出力して、CADソフトウェアで形状修正や穴埋めを実施。）



前橋市のPLATEAUデータ

<https://www.geospatial.jp/ckan/dataset/plateau-10201-maebashi-shi-2023>

