

植物空力予測のためのデジタルプラットフォームの構築 jh250024

Digital platform for plant aerodynamic simulations

高橋裕介、武田量、中島大賢（北海道大学）、友部遼（埼玉大学）、前田将輝（拓殖大学）

オープンソースソフトウェアベースの流体構造連成解析に基づく植物空気力学・空力弾性学アプローチを構築し、自然風環境下における植物体地上部の空力特性・空力弾性挙動を明らかにする

植物の空気力学・空力弾性学

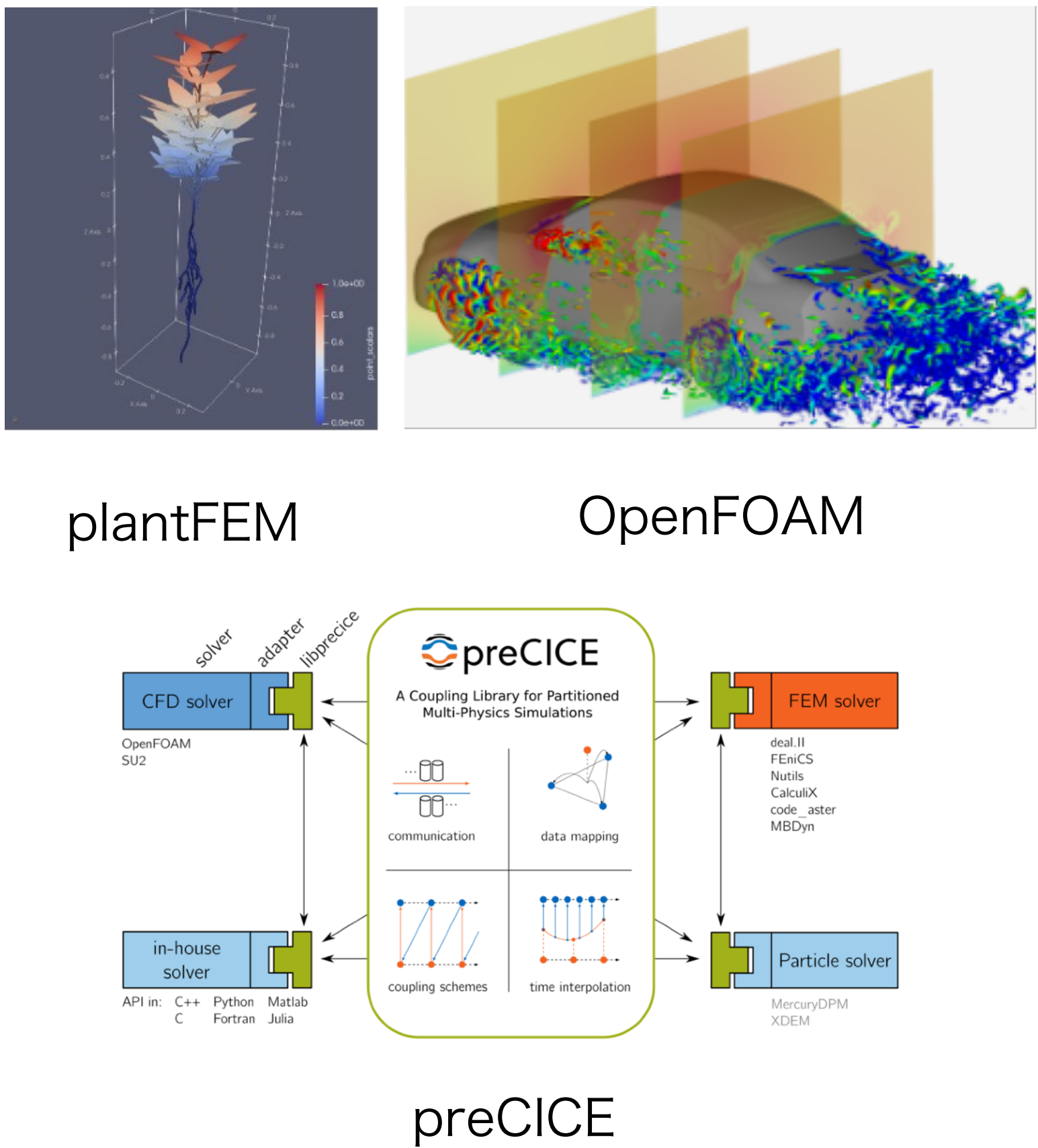


トウモロコシ・北大圃場にて風をうけてしなっている様子

- ✓ 自然風環境にあるトウモロコシなどの農作物は、空気力を受けて大きくしなり、倒伏が生じることがある。倒伏は多くの作物種で主要な減収要因となっており、その軽減のために風防の利用や倒伏耐性品種の育種が行われてきた。
- ✓ 一般に作物は個体群として栽培され、群落を形成する。群落の構造は、栽植様式や密度、個体の形態特性に依存するため多様かつ複雑であり、これにより群落内の各個体が受ける空気力も変化する
- ✓ 倒伏に対する措置を効率化するうえで、**自然風環境下で植物体地上部にどのような空気力がかかるのか理解**することが重要となっている

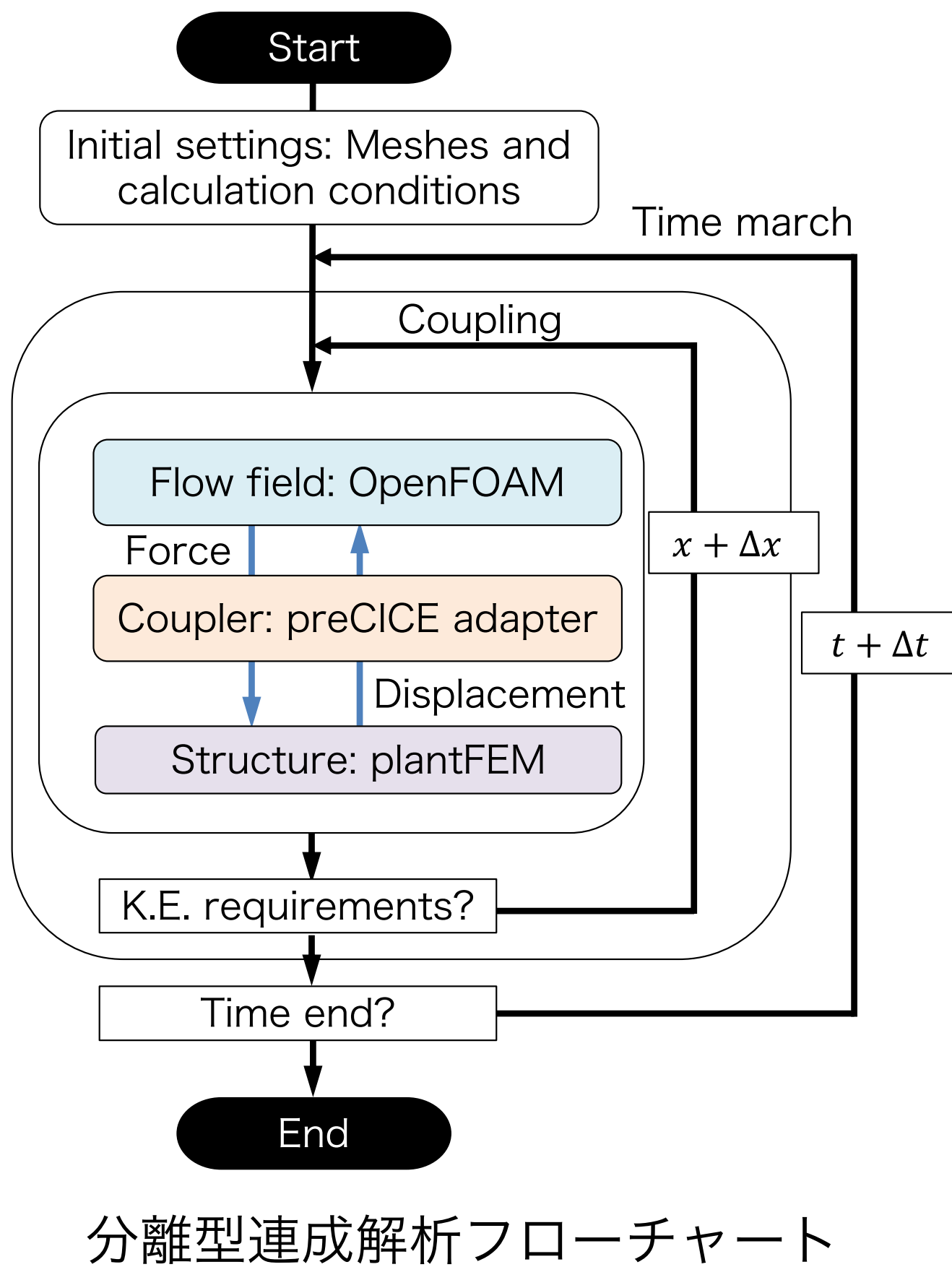
オープンソースソフトウェア(OSS)

- ✓ **plantFEM**: 植物の成長に関する現象モデルが実装されており、非構造メッシュ生成や、有限要素法に基づいた力学的挙動の再現が可能
- ✓ **OpenFOAM**: 形状デジタルデータ(STL等)に基づく計算格子生成と流体シミュレーションが可能
- ✓ **preCICE**: 独立したソルバー同士を接続できるカップリングライブラリ



デジタルプラットフォームの構築

- ✓ 群落内の個々の植物にはどのような空気力が働くのか、どのような空力弾性挙動をするのか、倒伏を防ぐためにはどのような措置が必要であるのか？
- ✓ 植物空力予測のためのデジタルプラットフォーム提案を図り、**植物の空気力学・空力弾性学のアプローチ手法**を構築する
- ✓ 構造場・流体場を独立に解き、連成界面でデータ通信を行う分離型連成解法を採用
- ✓ OSSの積極的活用を図る



分離型連成解析フローチャート

空力予測モデルの構築

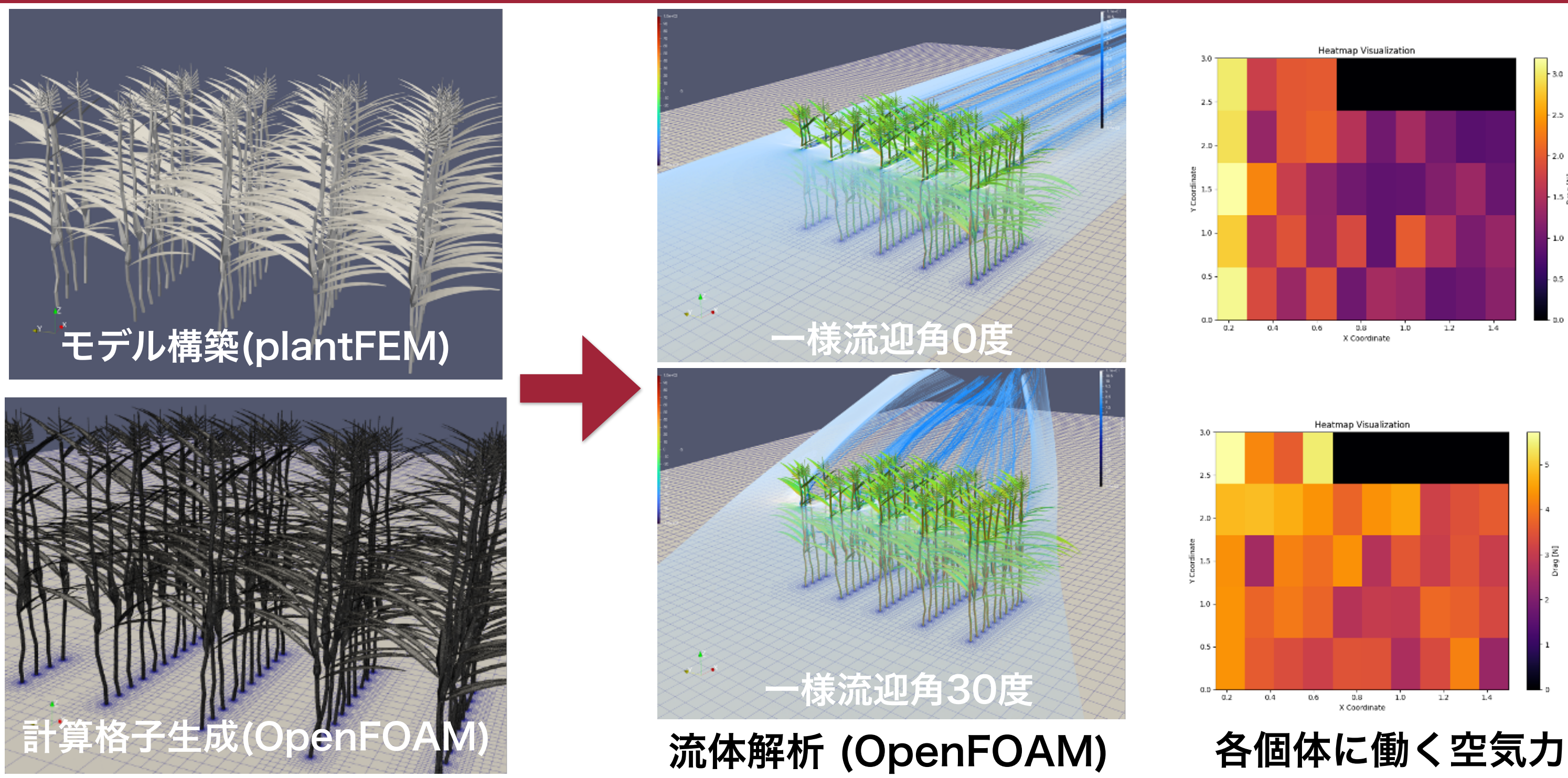
- ✓ **plantFEMとOpenFOAMによる空力予測モデル構築**
- ✓ plantFEMによりトウモロコシのデジタルモデル(STLデータ)を出力
- ✓ OpenFOAM/snappyHexMeshでSTLデータから計算格子生成
- ✓ 計算格子と適切な境界条件に基づき、**OpenFOAM/pimpleFoamによる流体シミュレーション**（モデルは剛体）を実施
- ✓ 流れ場の詳細を可視化し、各個体に働く空気力も抽出した
- ✓ さらにモデル表面の圧力分布をマッピングし、plantFEMを用いて植物の弾性解析を実施する。このワンウェイ連成解析によって、**植物モデルに空気力が働いたときの振動応答**も調べる（今後の予定）

解析モデル検証

- ✓ 実トウモロコシを光学的にスキャンして詳細デジタルモデルを構築
- ✓ サブスケールモデルを3Dプリンターで出力し、風洞実験を通して空力特性を取得する
- ✓ 上記の空力予測モデルを用いて風洞環境を数値的に再現し、計測データと比較することで、モデル妥当性の検証を図る

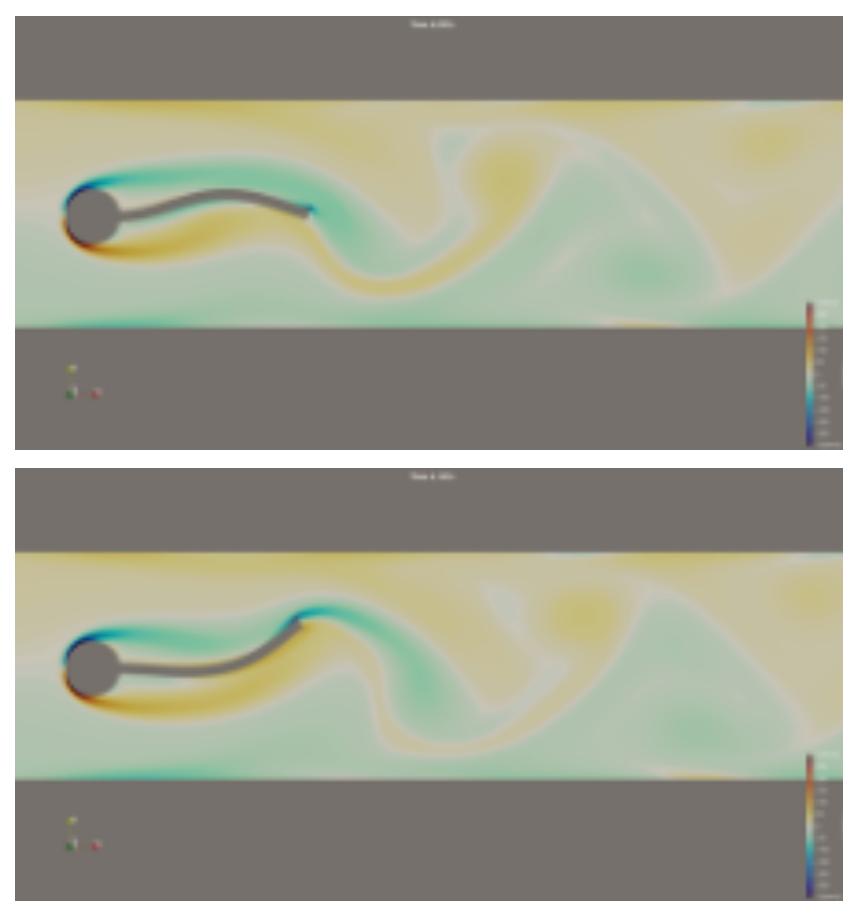


形状スキャン作業の様子・トウモロコシのデジタルデータ



流体構造連成(FSI)への展開

- ✓ plantFEMのpreCICE adapter開発を実施中、OF adapterはpreCICEコミュニティ開発済み
- ✓ **FSIデジタルツインモデル構築**: OpenFOAM—plantFEMをカップリングライブラリpreCICEで接続し、連成界面上の空気力・変位データ通信を行うことでFSIを成立
- ✓ 本研究で構築したデジタルモデル・計算セットは、将来的にはソフトウェア開発プラットフォームなどで公開予定



preCICEを用いたFSIシミュレーションの一例 (Turek-Hron FSI case)