

東京理科大学におけるデジタルツイン関連 の研究紹介

松尾裕一

東京理科大学工学部情報工学科
HEXAGON/TUSデジタルツインラボトリ

2022年3月10日

デジタルツイン

● デジタルツインとは

- 物理資産、プロセス、システム、デバイス等に対して**コンピュータ上に構築されたデジタル表現**であり、リアルタイム予測、最適化、監視、制御、意思決定改善等に利用

● 応用・利用(産業課題, 社会課題)

Rasheed, IEEE Access, 2020

ヘルスケア	気象・防災	製造・ものづくり	教育・スポーツ	都市・輸送・エネルギー
<ul style="list-style-type: none">・アクチグラフ¹を使って躁鬱病のきっかけを予測・計算と生体組織工学を組合せ臨床成績向上・遠隔医療へのDTの適用・分子的生理的生活状況を動的に反映させる人間の計算機表現・生体機能チップ²(OOC,BOC)²・「計算人間」プロジェクト³	<ul style="list-style-type: none">・スマートフォンのビッグデータ利用による予測精度向上・観測システムシミュレーション実験(OSSE)⁴・ネイチャーラン⁵精度向上・DTモデルを用いた短時間データ同化によるリアルタイム気象予測・地球のデジタルツイン(EU)	<ul style="list-style-type: none">・ビッグデータ分析, IoT, シミュレーション, AR/VR/XR, 付加製造, ロボット, クラウド, システム統合・故障予知診断(PHM⁶)・MBE改善のためのFMI⁷・スマートファクトリ・スマートマニュファクチャリング	<ul style="list-style-type: none">・DT使ったMOOCにより個人適応教育(スマート教育)・E-learningからm-(mobile), u-(ubiquitous), s-(smart)・産業界とアカデミア間のギャップを埋める・ワールドカップサッカー	<ul style="list-style-type: none">・スマートシティ(シンガポール, ウーブンシティ)・スマートグリッド・運輸における燃費最適化・航空交通管理・BIM⁸システムの改善・コネクテッドカー

1 アクチグラフは、米国A.M.I社が米国国立衛生研究所(N.I.H)の技術サポートを受けて開発した腕時計型小型高感度加速度センサー&ロガー

2 生体機能チップ(Organ-on-a-chip;OOC,Body-on-a-chip;BOC)とは、細胞をマイクロ流体デバイス上に導入することで、従来の細胞培養・実験法では困難であった組織・生理機能の再現を目指したチップ

3 人間の生理モデルを構築し、診療・処置・モニタリング等に役立てるプロジェクト

4 観測システムシミュレーション実験とは、実在しない観測システム(仮想観測システム)を計算機上に構築し、その振る舞いを評価する手法

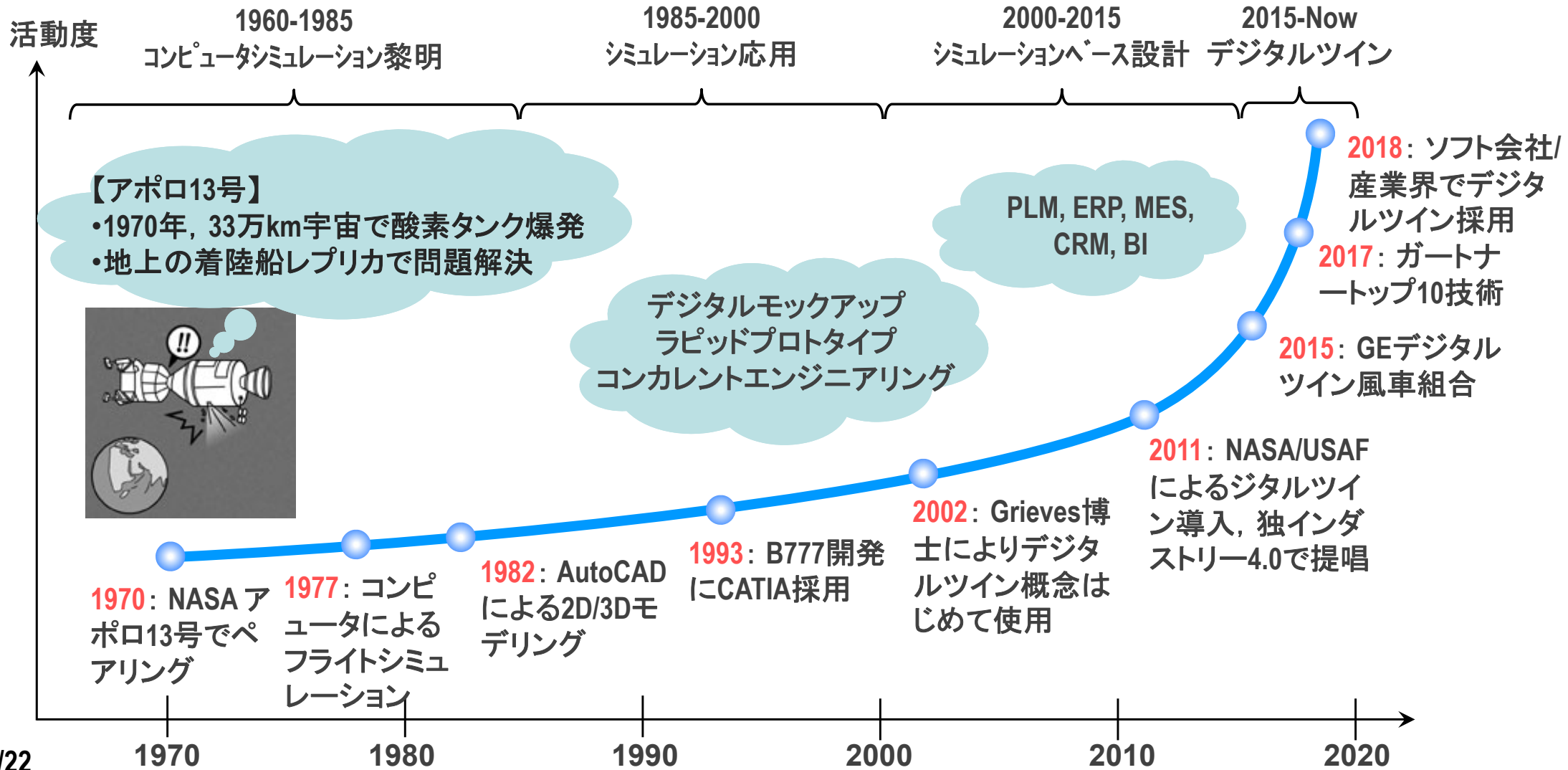
5 OSSEで作成された仮想的な真値

6 Prognostics and Health Management

7 FMI(Functional Mockup Interface)は、様々なツール間を接続するために策定された標準インターフェース仕様

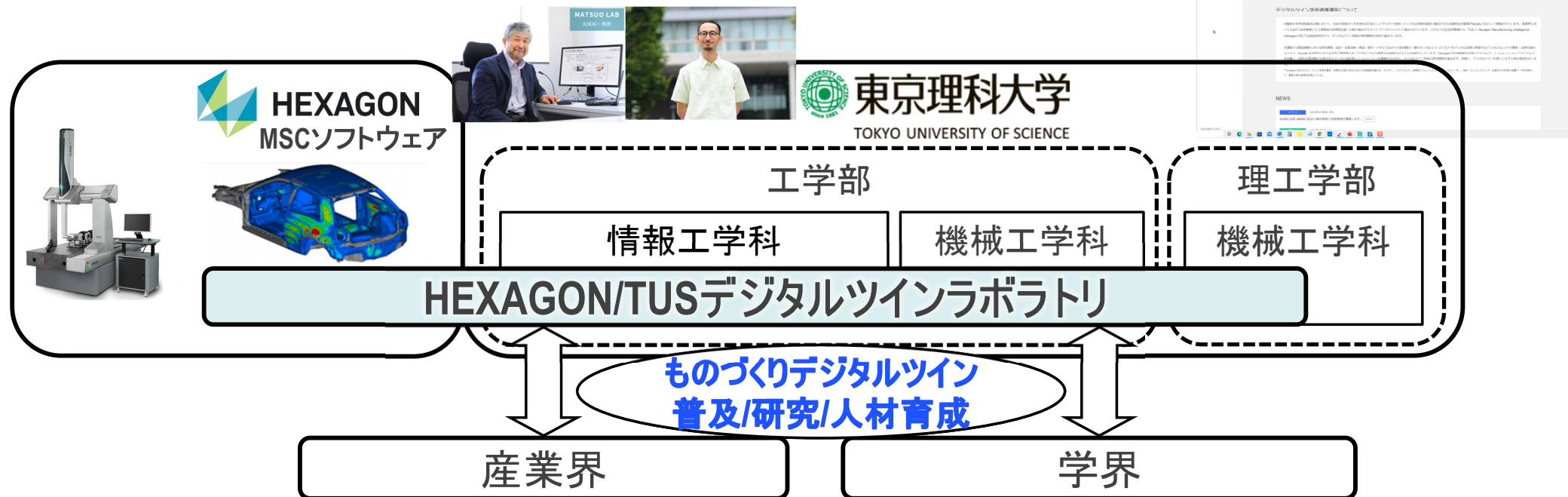
8 BIM(Building Information Modeling)は、コンピューター上に作成した3次元の建物のデジタルモデルに、コストや仕上げ、管理情報などの属性データを追加した建築物のデータベース

デジタルツイン



HEXAGON/TUSデジタルツインラボラトリ

- FY2020より社会連携講座として東京理科大情報工学科葛飾キャンパスに設置
 - 理大：藤井孝藏教授（ラボ長，工情報），山本誠教授（工機械），岡田裕教授（理工機械）
 - HEXAGON（MSCソフトウェア）：加藤社長，立石SD，渡邊SAE
 - 松尾裕一（教授），浅田健吾（助教） <https://dtlab.it.tus.ac.jp>

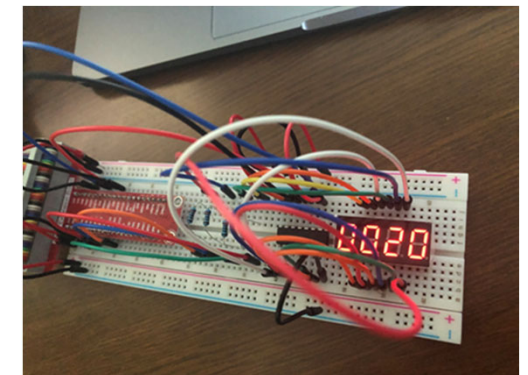


[1] 藤井，計算工学の視点でみる「ものづくり」デジタルツイン構築への道，日本計算工学会誌 26, 2021

[2] 松尾・浅田，アカデミアにおけるデジタルツインによる産学連携の試み，日本シミュレーション学会誌 20, 2021

HEXAGON/TUSデジタルツインラボトリ

- 機械学習, IoT, データ科学, シミュレーション, 最適化等を用いた
「ものづくり デジタルツイン」に関する基盤技術・要素技術の研究開発
 - 製造時変形解析, 3D計測・オンサイトCFD, IoT応用・機械学習, AR可視化
 - B4学生4名(工情報3, 理工機械1)
 - 3Dプリンタ, 計算サーバ(WS×5), ソフトウェア, [レーザスキャナ, VR機器]

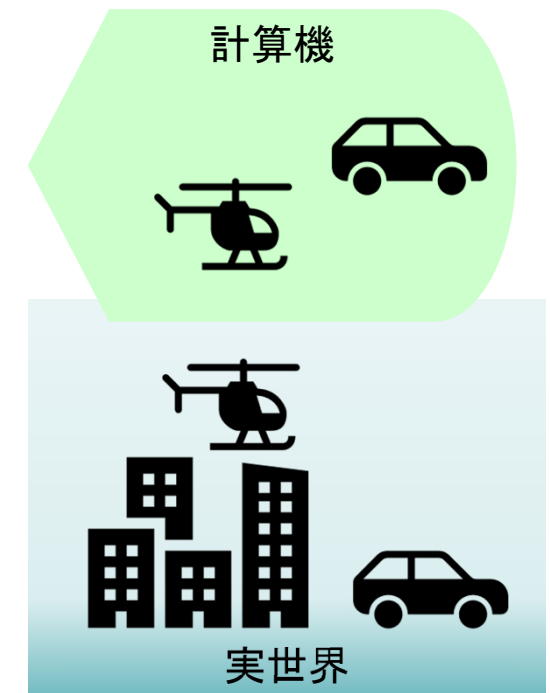
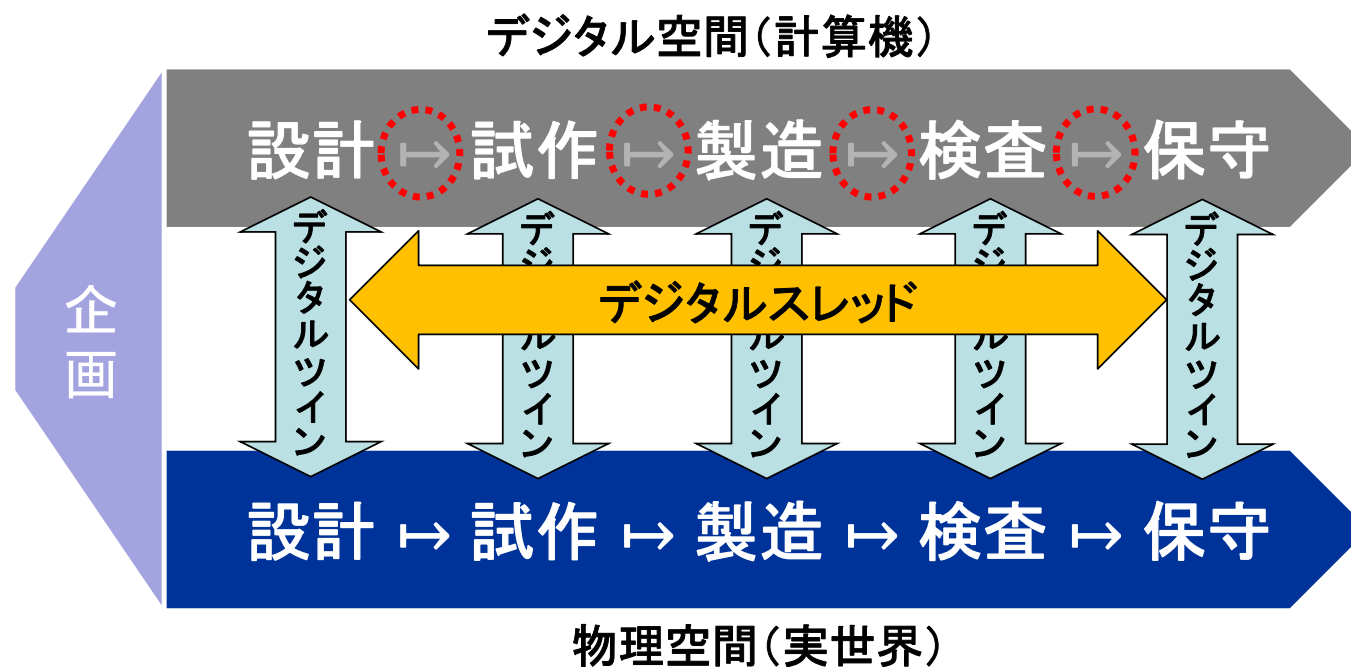


ものづくりデジタルツイン

- ものづくりデジタルツインとは

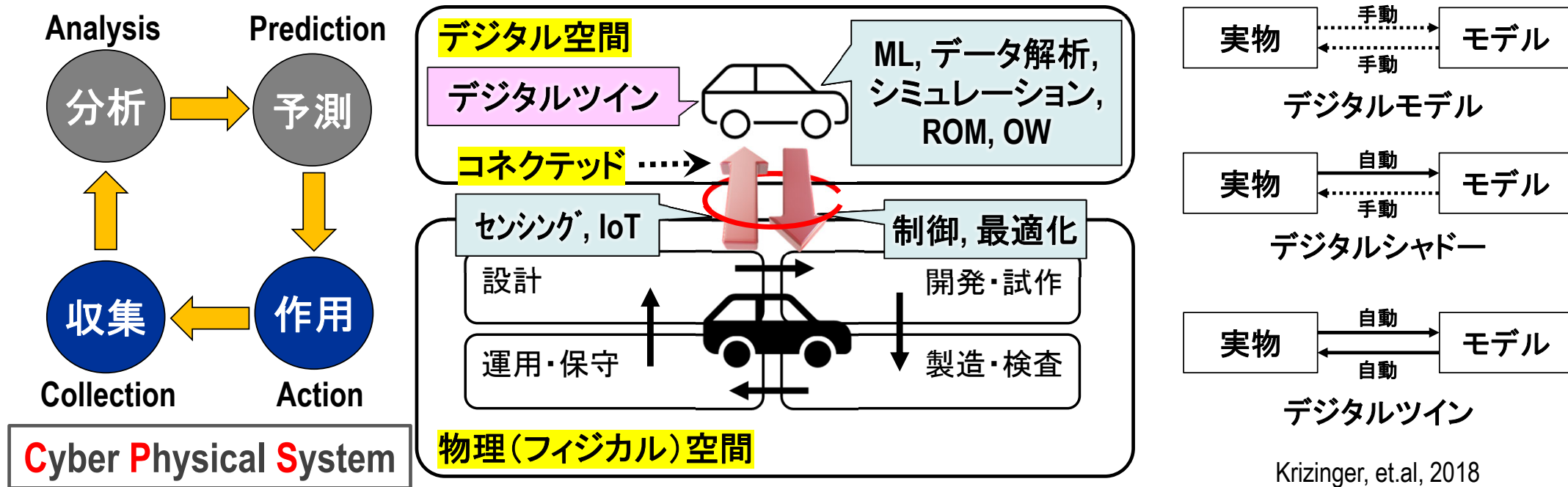
- 物理資産、プロセス、システム等に対してコンピュータ上に構築されたデジタル表現であり、リアルタイム予測、最適化、監視、制御等利用され、スマート工場、スマート製造を目指す

- ものづくりデジタルツインの分解



ものづくりデジタルツイン

- CAPAサイクル: フィジカル, デジタル, コネクション(コネクテッド)
- 現実世界との連動, リアルタイム性, モノとの1対1対応, ライフサイクル



ML: Machine Learning; 機械学習, ROM: Reduced Order Model; 低次元モデル, OW: Onsite Wisdom; 現場知

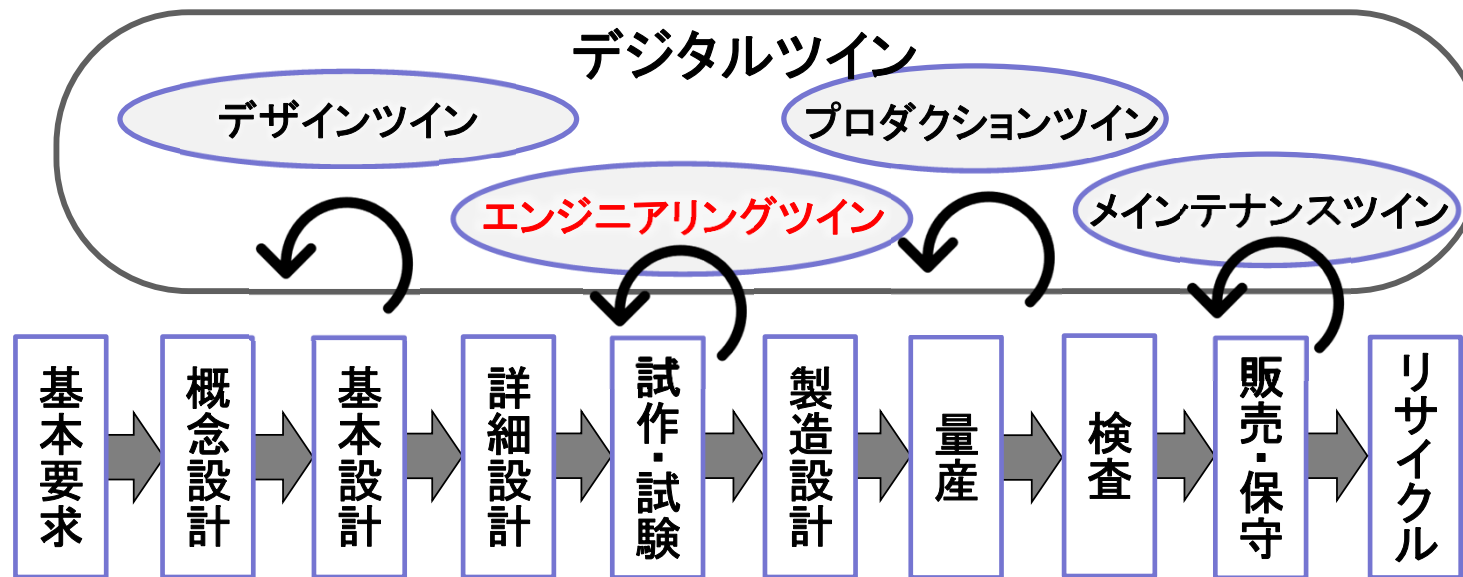
ものづくりデジタルツイン

● 国内動向

- 生産・製造のプロダクションツイン, 保守・保全のメンテナンスツインが先行

● 我々の着眼点(スタートPOC)

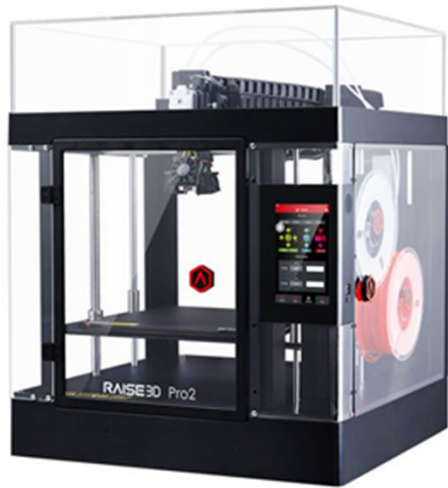
- 試作・試験・製造設計におけるデジタルツイン(**エンジニアリングツイン**)
- **低次元モデル**(機械学習, 数理モデリング), **データ連携**(データ科学, デジタルスレッド)



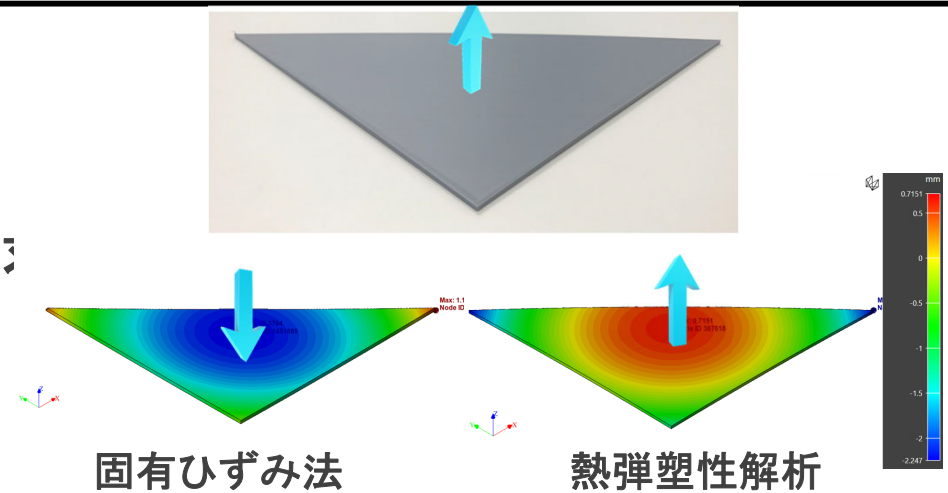
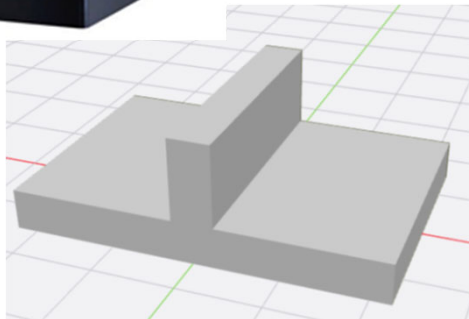
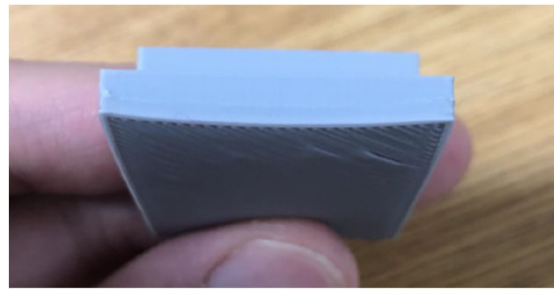
製造時変形のシミュレーション

● 3Dプリンタの熱変形(反り)のシミュレーション

- 材料によって(例:PLA)は反りやすい
- 目的:反りの予測 ⇒ 反らない条件・積層法の探求



Raise3D Pro2



固有ひずみ法

熱弾塑性解析

MSC Digimat-AM



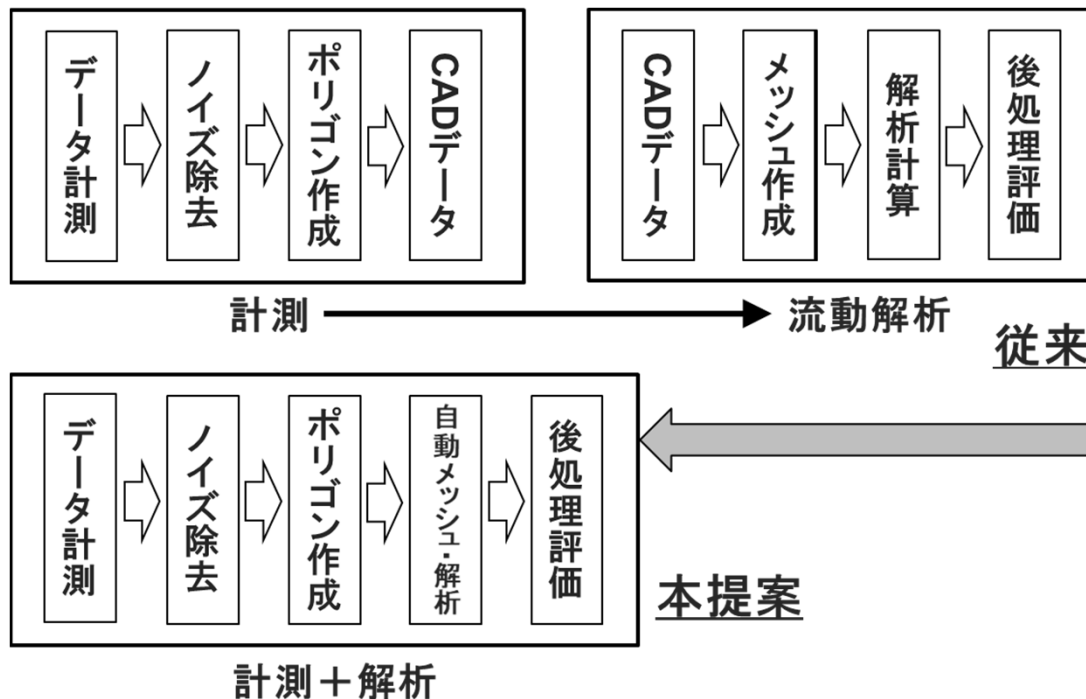
<https://www.hexagonmi.com/>

点群計測とオンサイト気流解析

● 背景

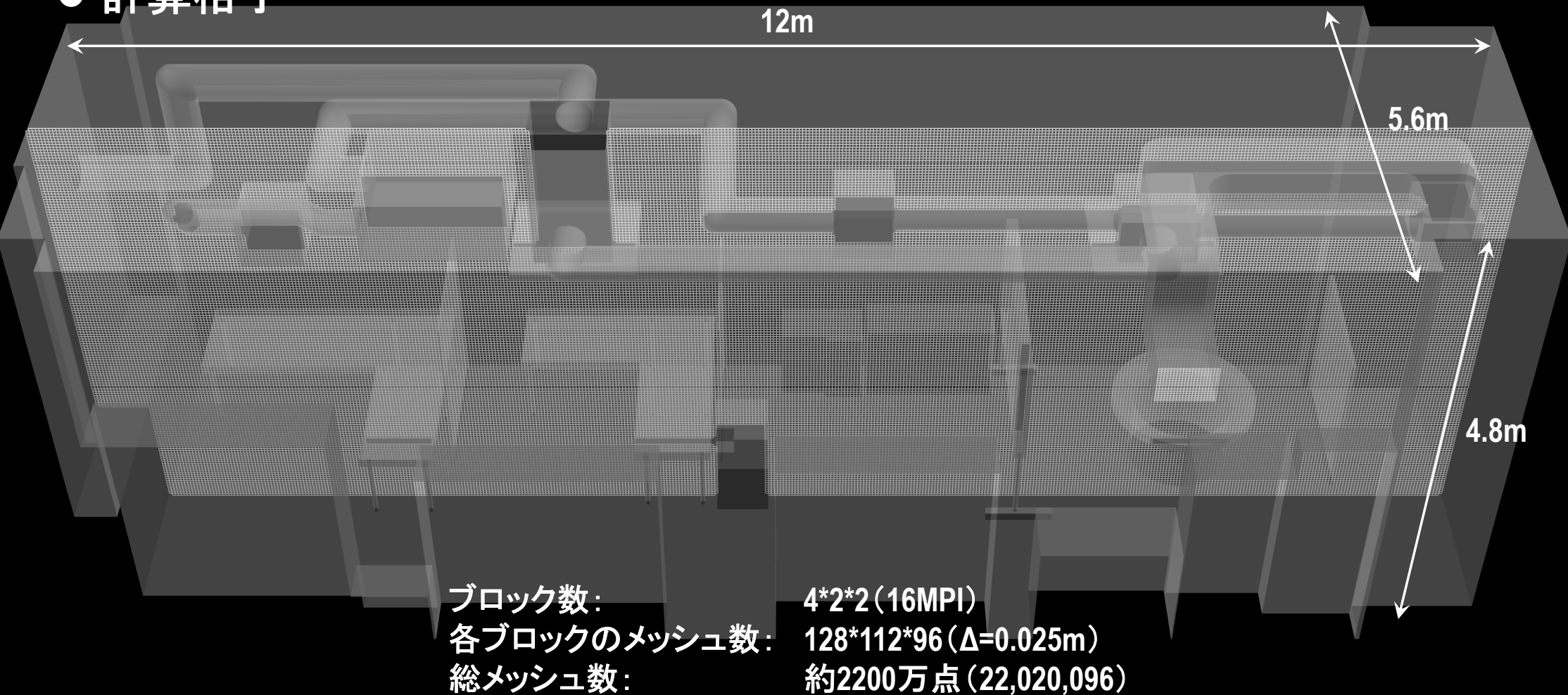
- CADデータがない，図面と現物が異なる，すぐ結果ほしい
- 3D計測（レーザスキャナ等）やHPC-CFDの進歩

● 一気通貫オンサイトCFDの試み

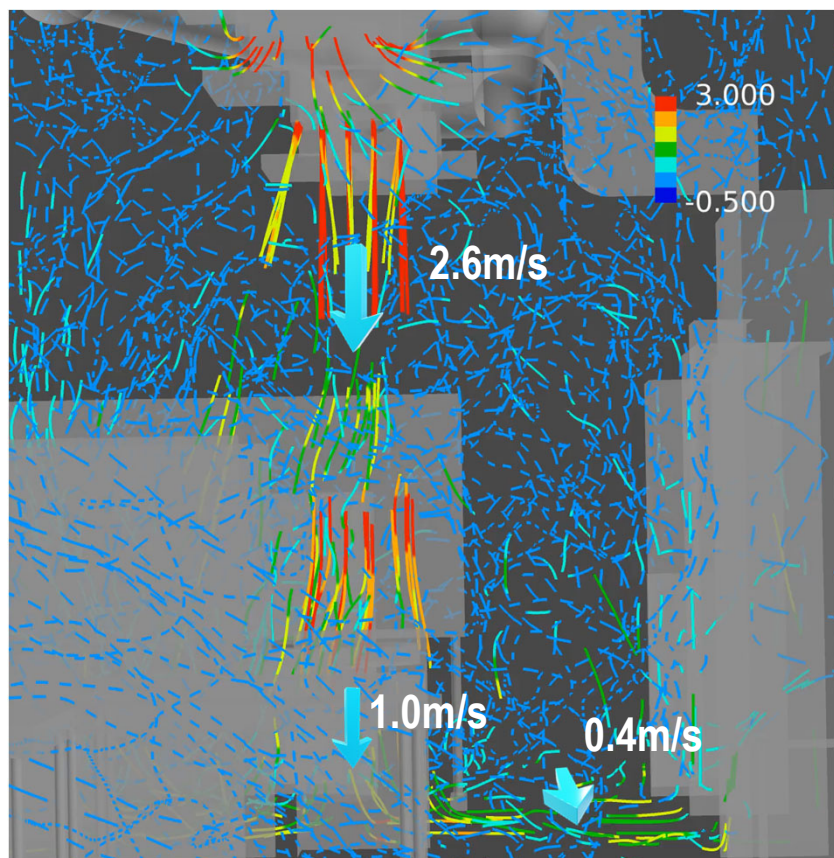


点群計測とオンサイト気流解析

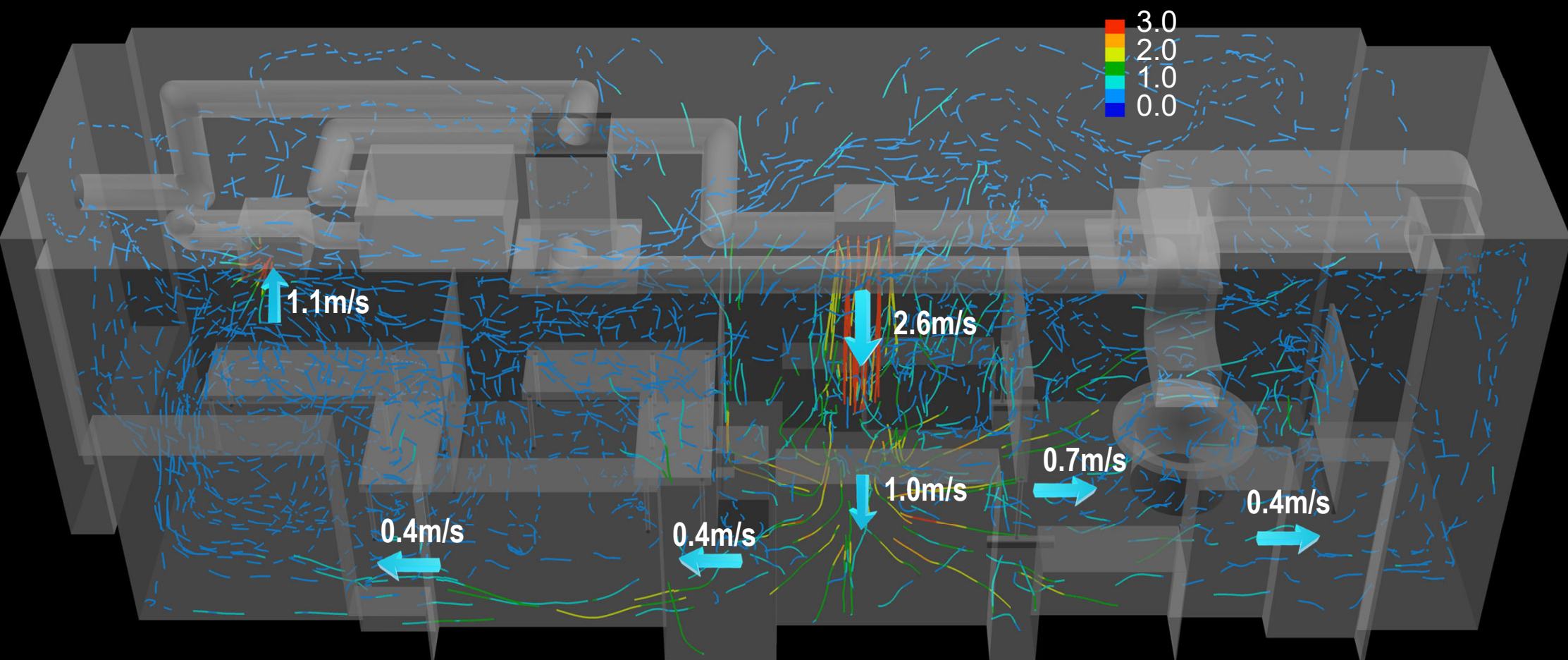
● 計算格子



点群計測とオンサイト気流解析

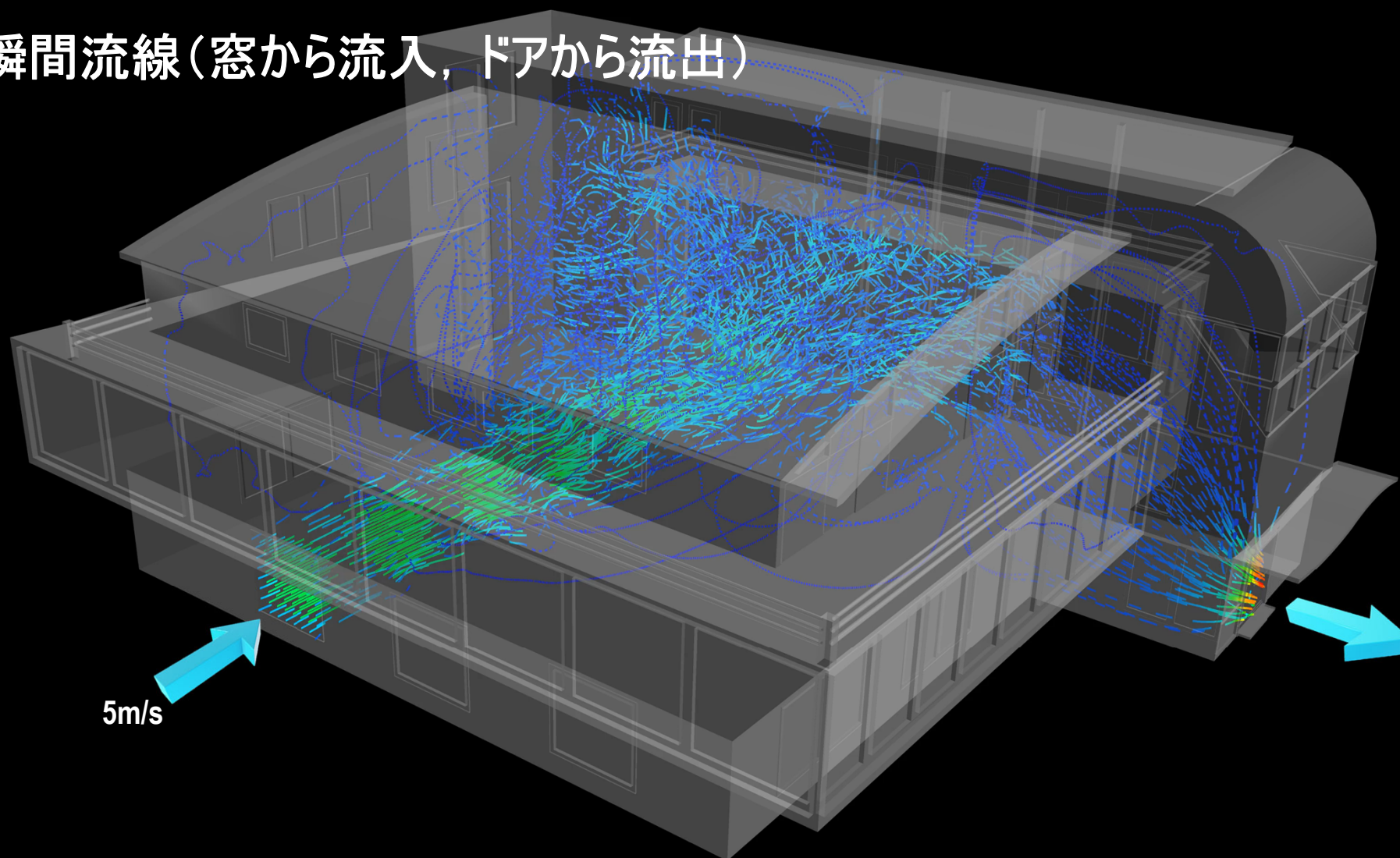


点群計測とオンサイト気流解析

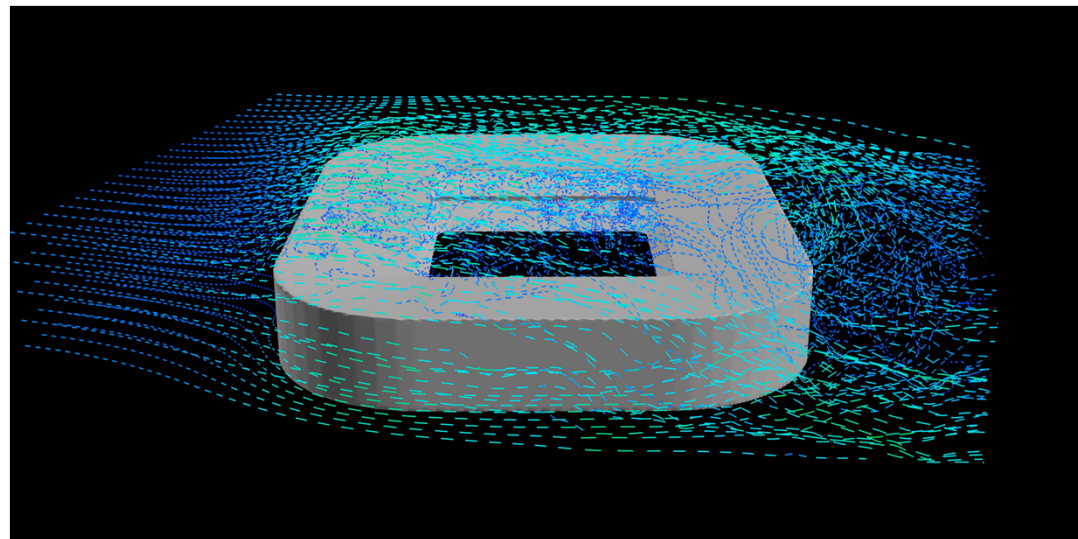
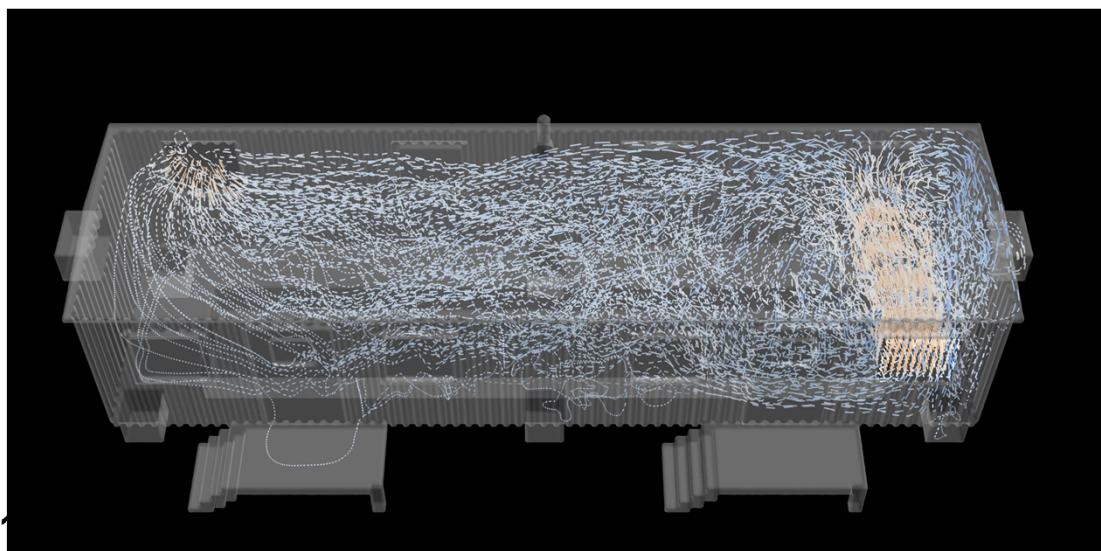
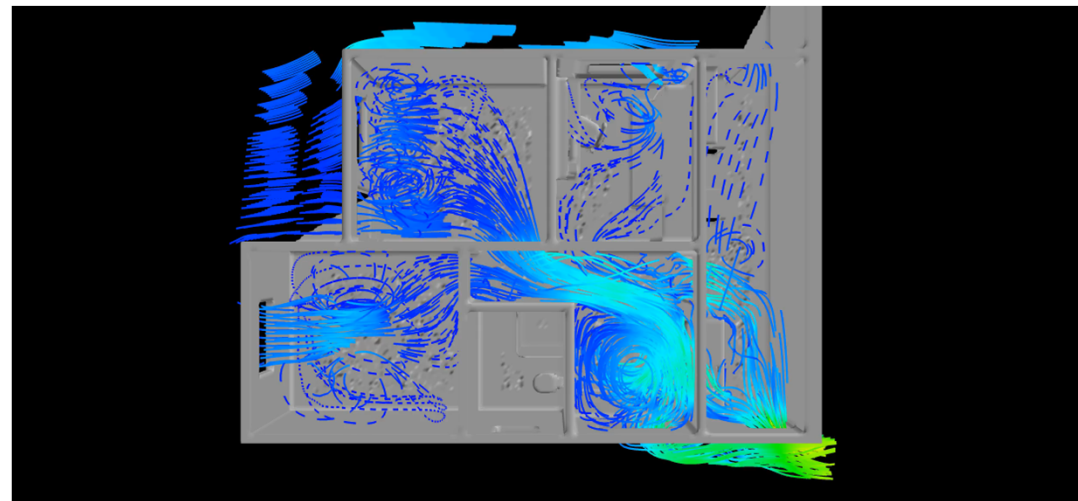
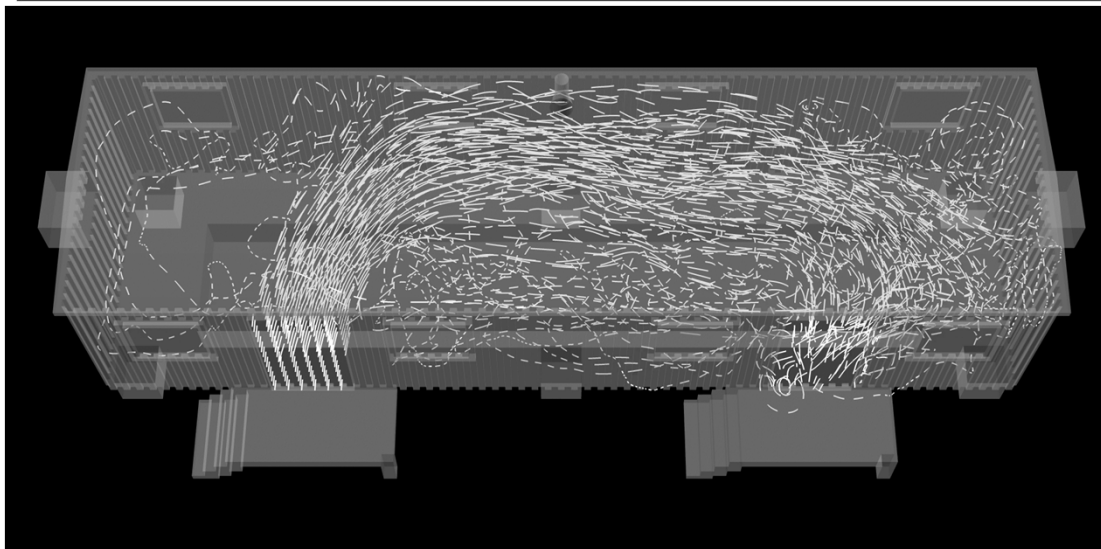


サンプル形状の富岳による解析

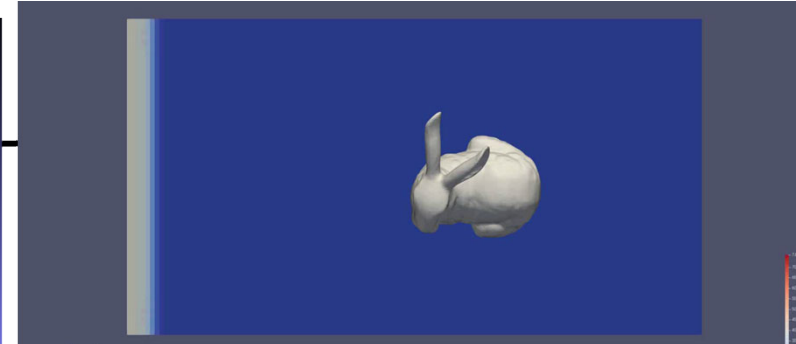
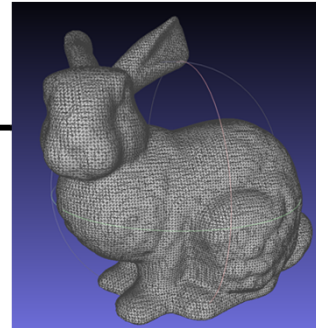
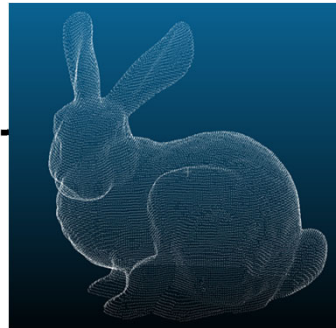
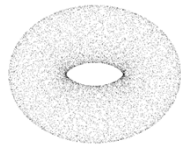
- 瞬間流線（窓から流入，ドアから流出）



サンプル形状の富岳による解析



3D計測



- レーザスキャン

- 3D点群データを取得
- 点群処理が必要(位置合わせ, ノイズ除去, 平滑化, ポリゴン化)

- フォトグラメトリ(Photogrammetry)

- 写真・動画から3Dモデルを作成
- SfM, MVS, SLAM
- Pix4D, PhotoScan/Metashape

SfM: Structure from Motion

MVS: Multi-View Stereo

SLAM: Simultaneous Localization and Mapping

PHOTOGRAMMETRY

<https://www.youtube.com/watch?v=ye-C-OOFsX8>

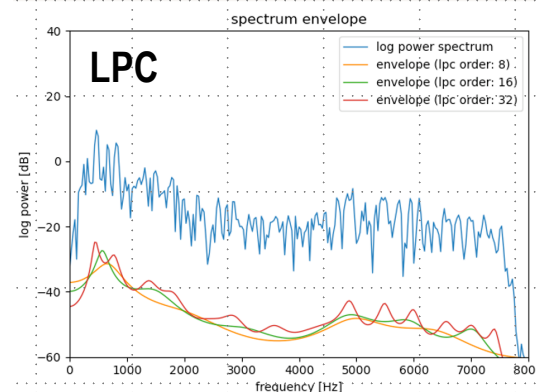
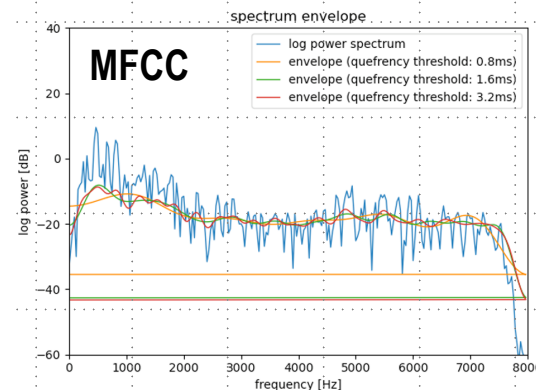
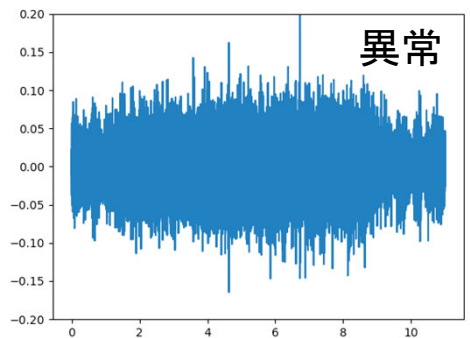
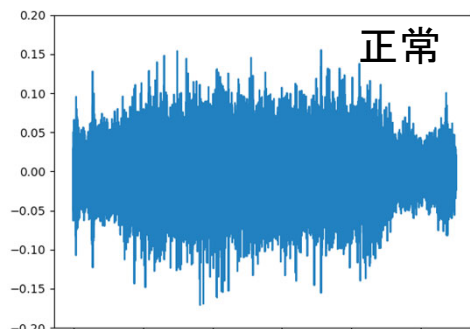
● 機械学習を用いた異常音検知/故障予知

- モータ等の故障予知, 保守修理の効率化
- 波形: 異常音検知困難 ⇒ 特徴量抽出 (MFCC, LPC) + 機械学習 (教師なし, OCSVM)

MFCC: Mel-Frequency Cepstrum Coefficient

LPC: Linear Predictive Coding

One-Class SVM



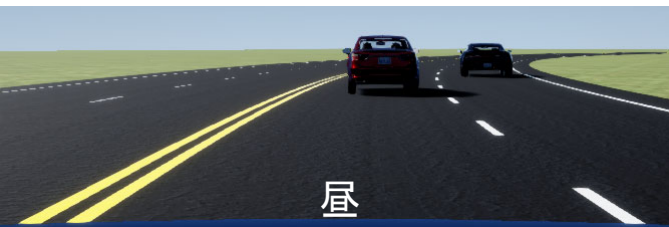
データセット	LPC OCSVM	MFCC OCSVM	mel CAE
ToyCar_exp1	0.9463	0.8371	0.8285
ToyConveyor_exp1	0.8863	0.6925	0.7935
ToyTrain_exp1	0.7380	0.5914	0.7092
fan_id00	0.6075	0.7775	0.8063
pump_id00	0.7272	0.6075	0.8956
slider_id00	0.8350	0.6325	0.9931
valve_id00	0.9450	0.5884	0.6683

機械学習, AR可視化

● 運転アシスト技術向上のためのデジタル空間を用いた検証環境構築

- 視界不良時(夜間, 雨天)の運転アシスト(e.g. 道路標示認識率の向上)
- 画像作成+画像認識+機械学習(MATLAB, Unity, MSC VTD)

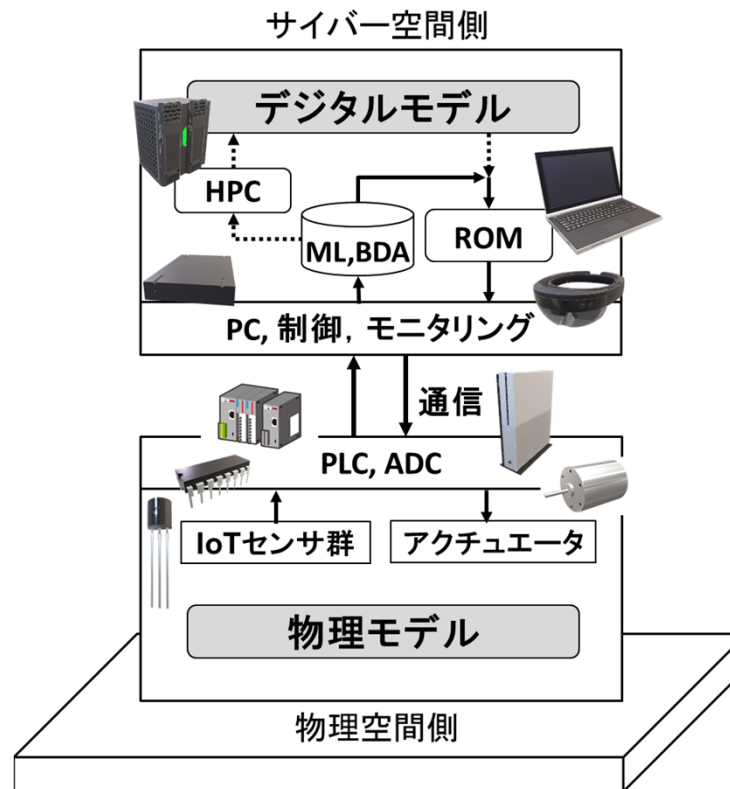
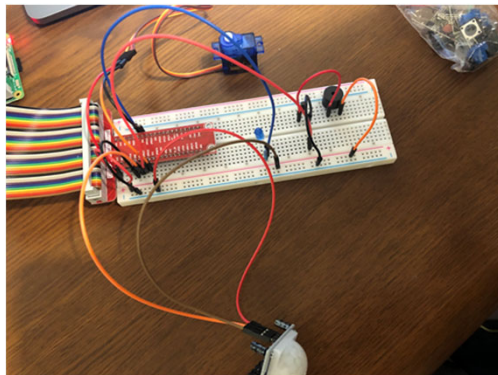
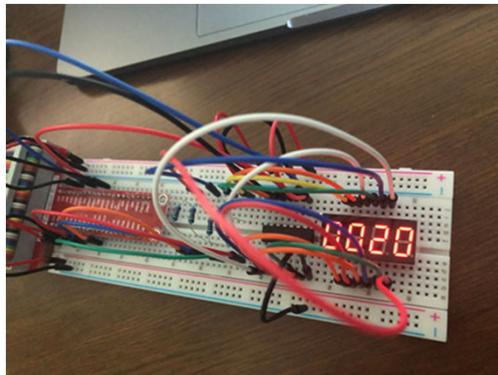
	昼	夕雨	夕霧雨	夜雨灯	夜霧雨灯
CNN	95.91	73.10	79.95	67.65	83.21
LMD	86.09	47.45	19.09	44.91	54.96



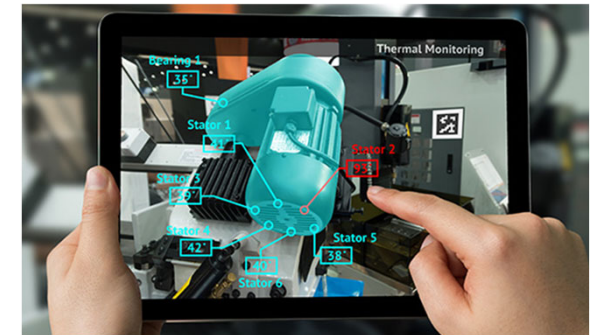
プラットフォーム技術・IoTの利活用

● デジタルツインを体験するための実現システム

- SBC (Single Board Computer) のRaspberry Piを用いたIoTセンシング実験
- プロトタイプ実現システム構築, ARインターフェース



iPAD, Hololens, Oculus Q2



ものづくりデジタルツインの技術

Tao, I. J. of Production Research, 2018

● 実現技術 (Enabling Technologies)

- IoT (センサ, 3D計測, エッジ処理, IoTプラットフォーム)
- 通信・コネクション (LPWA, 5G, クラウド)
- データ解析 (4D-Var/EnKF, CS/SR/PCA, ROM, Opt)
- 機械学習 (DNN, LSTM, GAN, RBM, tensorflow, PyTorch)
- シミュレーション (HPC, HFS, 3Dモデリング)
- 制御・フィードバック (ロボット, アクチュエータ, 3Dプリンタ)
- 画像処理・可視化・UI (XR, ダッシュボード)

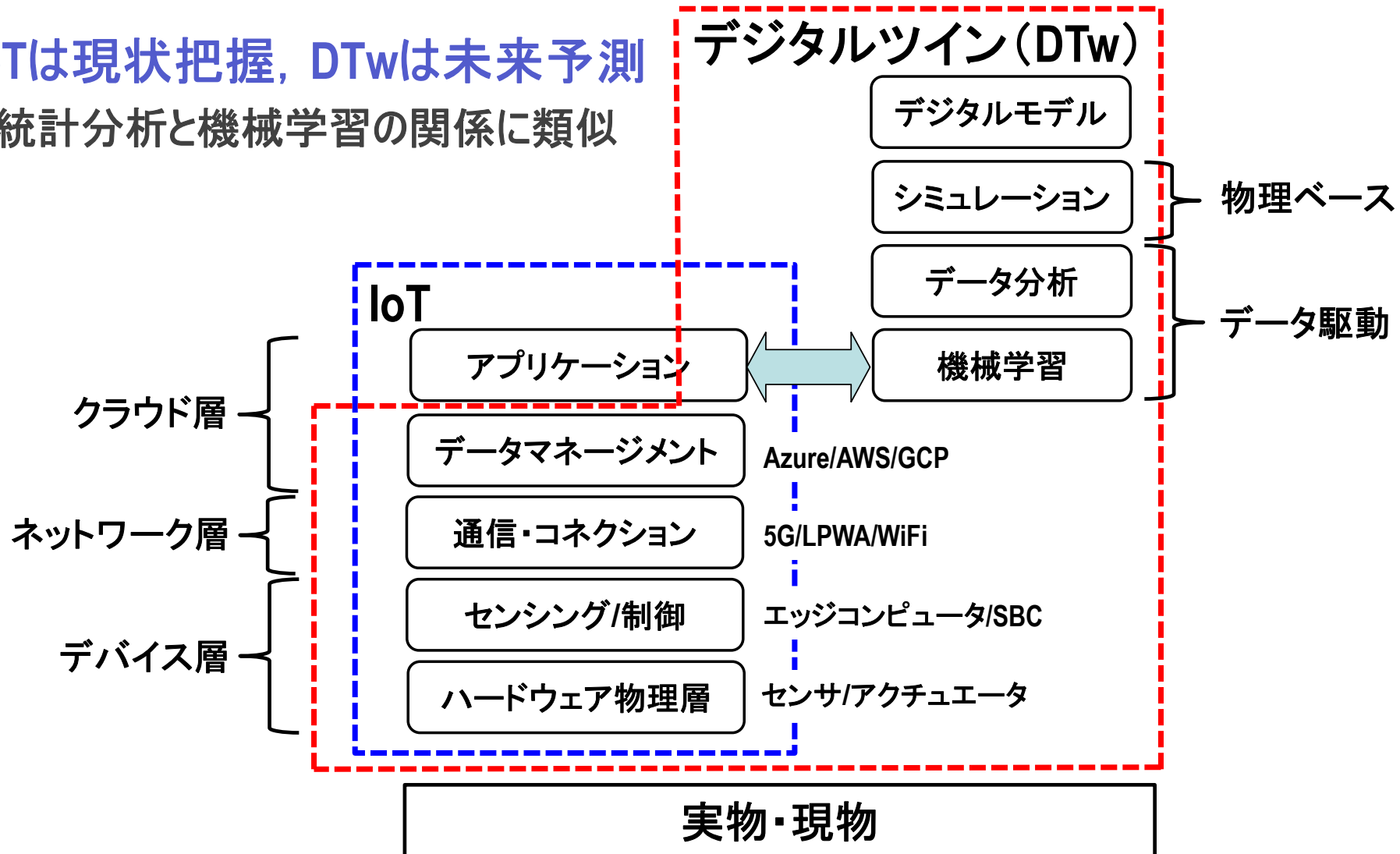
● 主な提供ベンダ

- DAPSA (ダッソー, ANSYS, PTC, シーメンス, Autodesk)
- IBM, MS, AWS, 富士通, 日立, NEC, NTT Data

IoTとの違い

- IoTは現状把握, DTwは未来予測

- 統計分析と機械学習の関係に類似



● 注目ソフト

- CloudCompare, MeshLab, Blender, Zephyr, Metashape
- Unity, UnrealEngine, Vuforia

● 課題と話題

- エッジ処理, PLC, LPWA, IoTクラウド, IoT PF: 馴染みが薄い
- プラットフォーム(DAPSAに押さえられている ⇒ AWS, MS Azure, GCP)
- 参入障壁(どこから手を付けて良いかわからない)
- 人材交流・人材不足(コロナの影響)
- 宣伝(計算工学会誌Vol.26 No.2, 2021年6月, シミュレーション学会誌Vol.40 No.2, 2021年6月)