

Lucid Motors CEOが語るEV車両開発とアルテアのソリューション

アルテアエンジニアリング株式会社

本日の内容

1. EV開発事例：Lucid Motor CEOインタビュー動画
2. 機械学習を活用した設計手法
3. EVの車体開発とバッテリーソリューション

EV開発事例 : Lucid Motor CEOインタビュー動画



2022年英国Altair Technology Conferenceへ
Lucid Motors最高経営責任者兼最高技術責任者Peter Rawlinson氏に
ご登壇いただきました
その後に撮影されたインタビュー動画です

本日の内容

1. EV開発事例：Lucid Motor CEOインタビュー動画

2. 機械学習を活用した設計手法

1. 車両開発とAI
2. 機械学習関連の製品ラインナップ
3. RapidMiner
4. PhysicsAI

3. EVの車体開発とバッテリーソリューション

1. いまのEV車両開発を取り巻く環境
2. 車両構造のコンセプト設計プロセス
3. バッテリー開発を支援する解析技術
4. バッテリー性能の最適化を支えるデジタルツイン

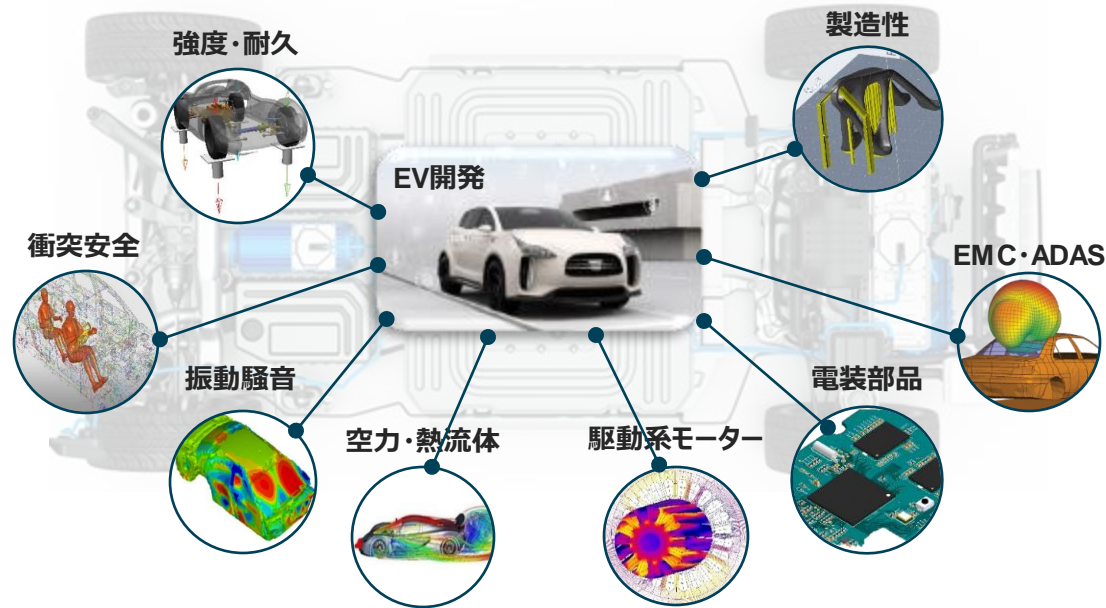
機械学習を活用した設計手法

1. 車両開発とAI
2. 機械学習関連の製品ラインナップ
3. RapidMiner
4. PhysicsAI

車両開発とAI

いまの車両開発を取り巻く環境

従来から必要とされるの要素技術



車両開発の短期間化 → 従来技術に関連した領域の開発の効率化

新たな技術要素の利用 / 検討

新しい骨格コンセプト / 軽量車体



BMW i3
ライブモジュール
ドライブモジュール

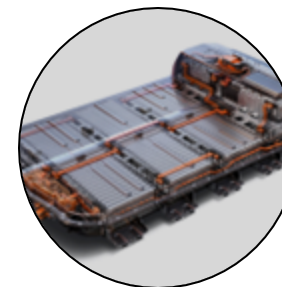


Tesla Model Y
ギガキャスト

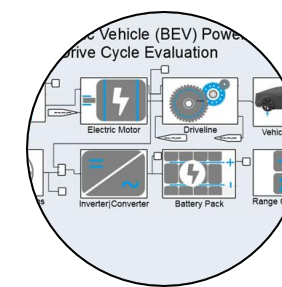
※マークラインズWebサイトより
https://www.marklines.com/ja/report_all/Munro001_201704

※Tesla Oracle webサイトより
<https://www.teslaoracle.com/2020/09/23/model-y-giga-casting-structural-battery-innovations-battery-day-part-1/>

次世代バッテリー開発



高効率 エネルギーマネジメント



データサイエンス 機械学習の活用



- 効率が良く、かつ手戻りのない開発
- 開発初期に素性のよい設計案を検討できることがキーとなる

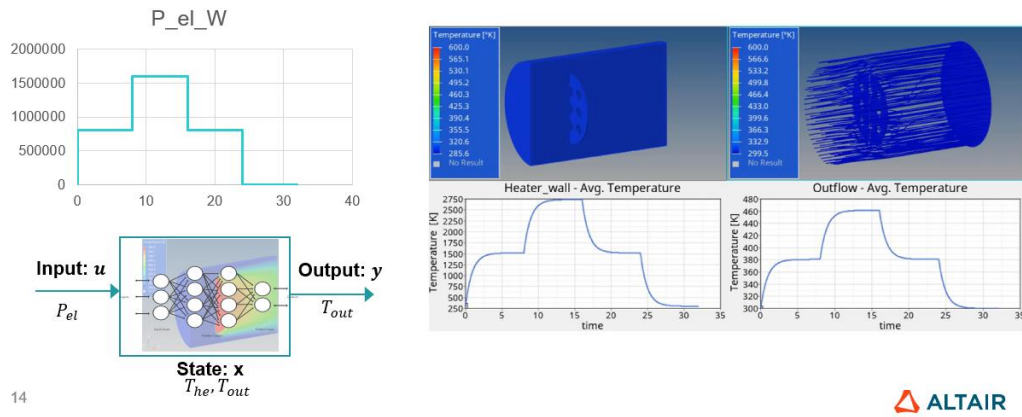
機械学習の特徴 ～超高速な計算が可能なサロゲートモデル～

機械学習を通して作られた学習モデル



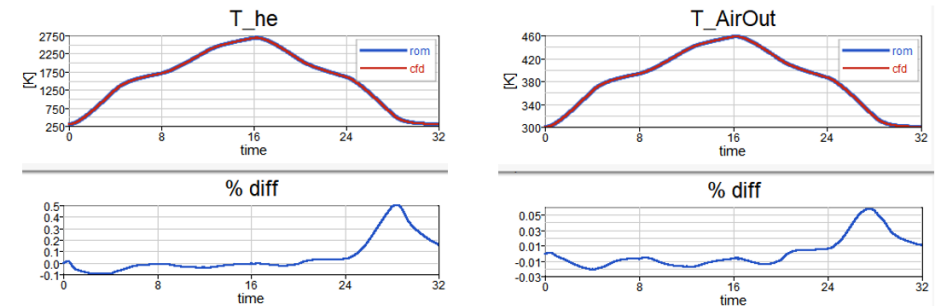
ヒートパイプのサロゲートモデル化

ヒーターへの電力を入力、ヒータ温度、流体出口温度を出力としてサロゲートモデルを作成



ヒートパイプのサロゲートモデルの精度

学習には使用していないヒータの電力条件でもヒータ温度、流体の出口温度を精度良く予測



CFDの計算に比べ 3000倍の計算速度



- サロゲートモデルが既にあれば超高速な性能予測が可能
- 車両開発の中でどのように組み込むべきか

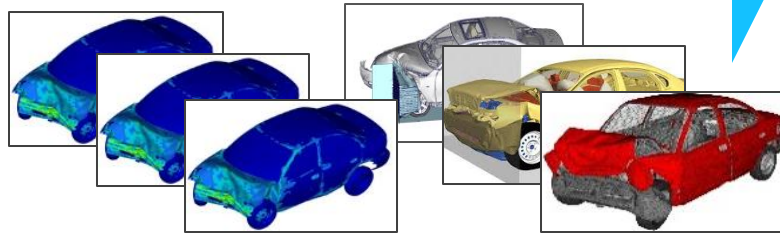
機械学習/サロゲートモデルの活用に向けて

学習データの収集



質の良い学習データ作成
過去の開発履歴、パラメータスタディなど

- テストデータ
- シミュレーションデータ
- エンジニアリングデータ
- 品質データ
- フィールドデータ



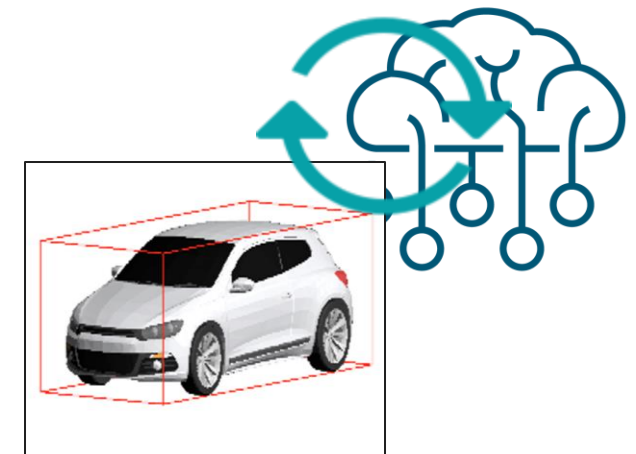
機械学習の活用

サロゲートモデル作成
ディープラーニングなど



製品開発への展開

性能予測 / 最適化



機械学習の活用には、学習データ収集 / サロゲートモデル作成 など複数のプロセスが必要

機械学習/サロゲートモデルの活用に向けて

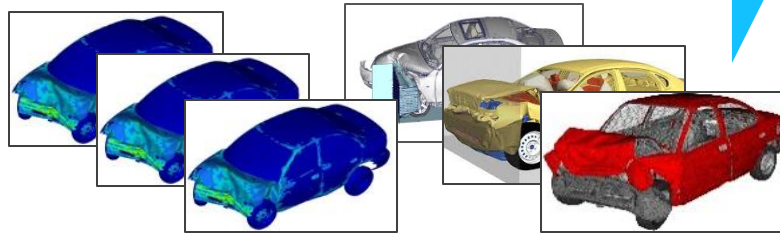
CAE専任者 / テスト専任者



質の良い学習データ作成
過去の開発履歴、パラメータスタディなど



- テストデータ
- シミュレーションデータ
- エンジニアリングデータ
- 品質データ
- フィールドデータ



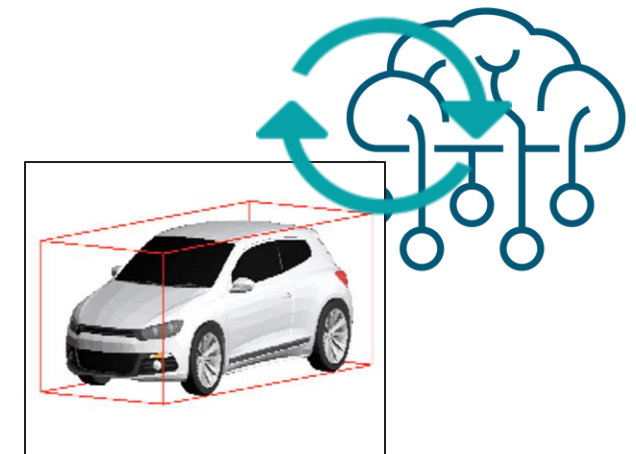
データサイエンティスト

サロゲートモデル作成
ディープラーニングなど



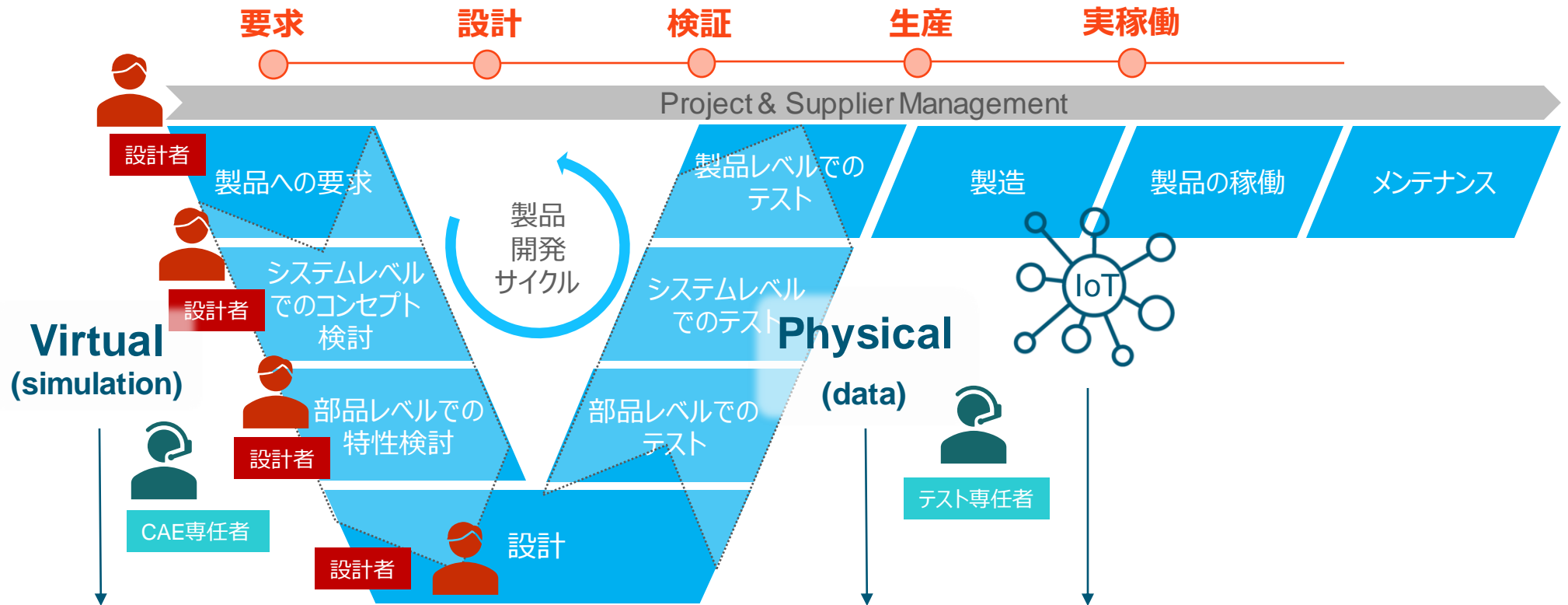
製品開発者 / 設計者

性能予測 / 最適化



学習データ収集 / サロゲートモデル作成 / 開発者 それぞれ分業した開発スタイル

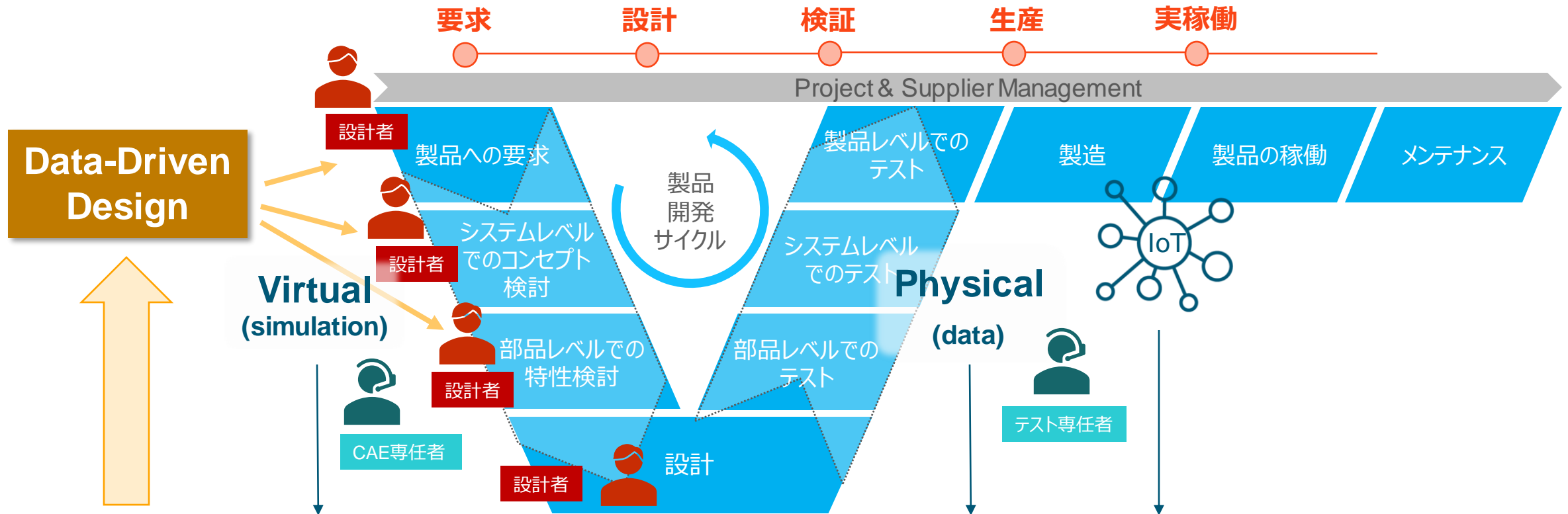
AIを利用した車両開発と製品ライフサイクル



過去の開発中のデータや実稼働データを利用してサロゲートモデルを作成

データサイエンティスト

AIを利用した車両開発と製品ライフサイクル



  過去の開発中のデータや実稼働データを利用してサロゲートモデルを作成
データサイエンティスト

車両開発の効率化を進めるためのアイデア

- 機械学習の使い方次第で車両開発の効率を上げられる可能性があると考えます

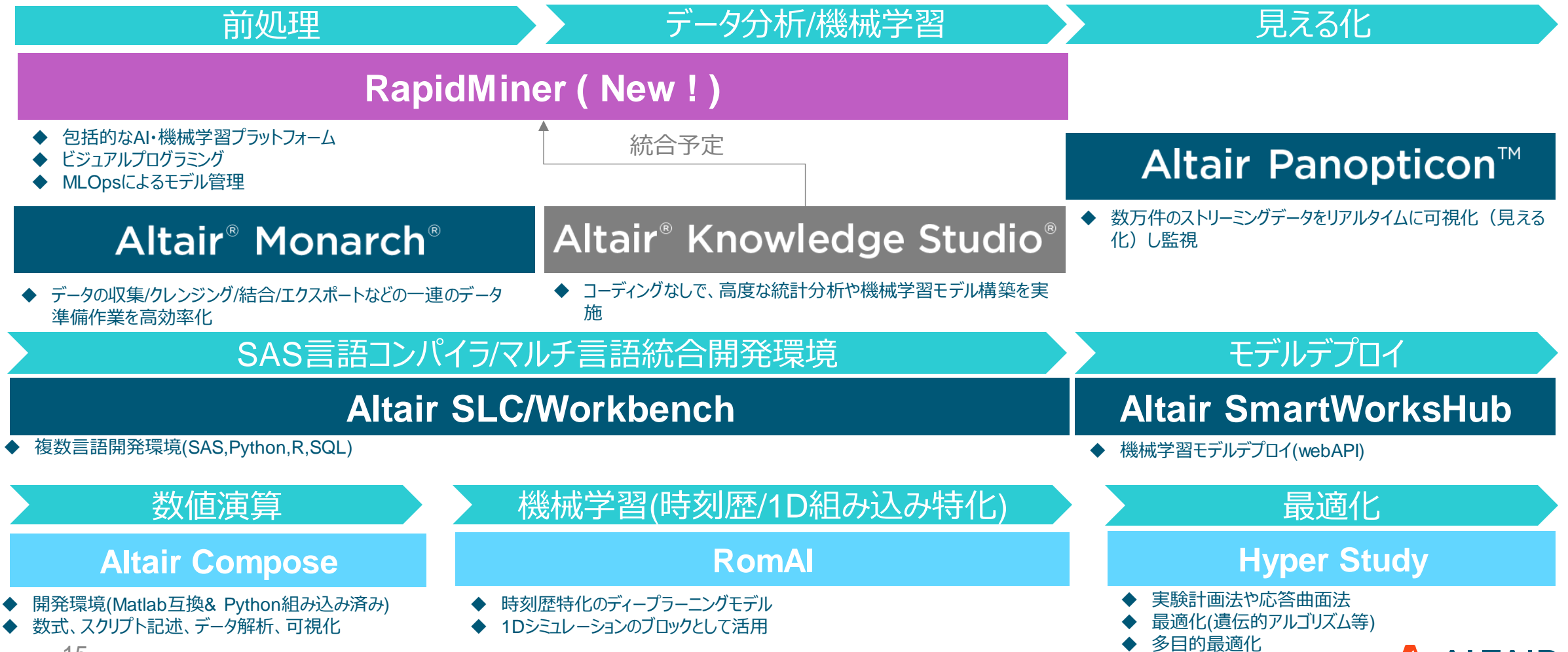
- ただし、機械学習は万能ではありません
 - 学習データ以外の条件に対応できない（外挿できない）
 - サロゲートモデルの予測精度をどこまで上げられるか
 - サロゲートモデル作成にどこまで工数を投資できるか

- サロゲートモデルを作るエンジニアと、使うエンジニアを分けることが車両開発の効率化に向けた一つのアイデア

機械学習関連の製品ラインナップ

データ分析に関するソフトウェアラインナップ ①

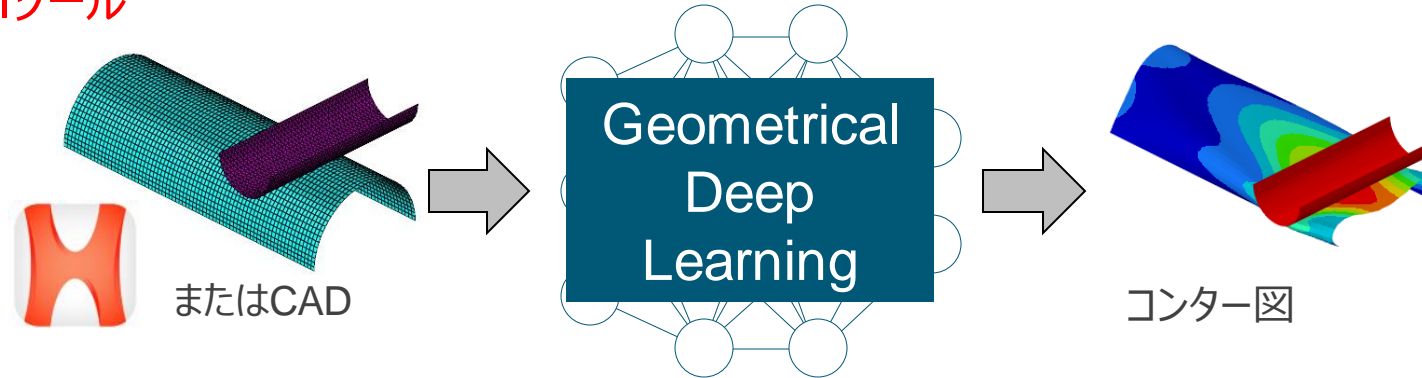
機械学習モデル作成汎用ツール/プラットフォームと周辺ソフトウェア



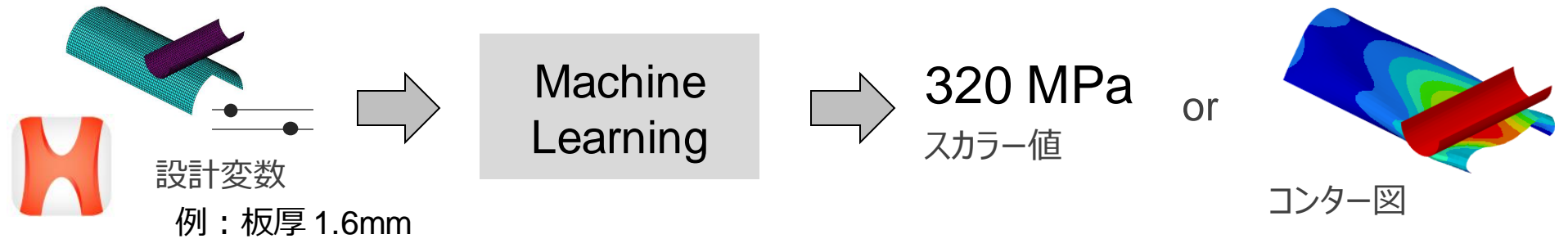
データ分析に関するソフトウェアラインナップ ②

HyperWorks関連AIツール

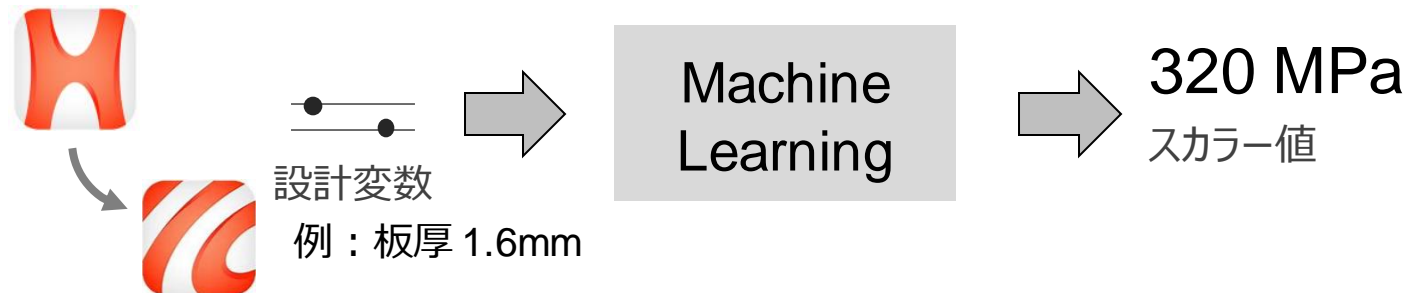
PhysicsAI



Design Explorer



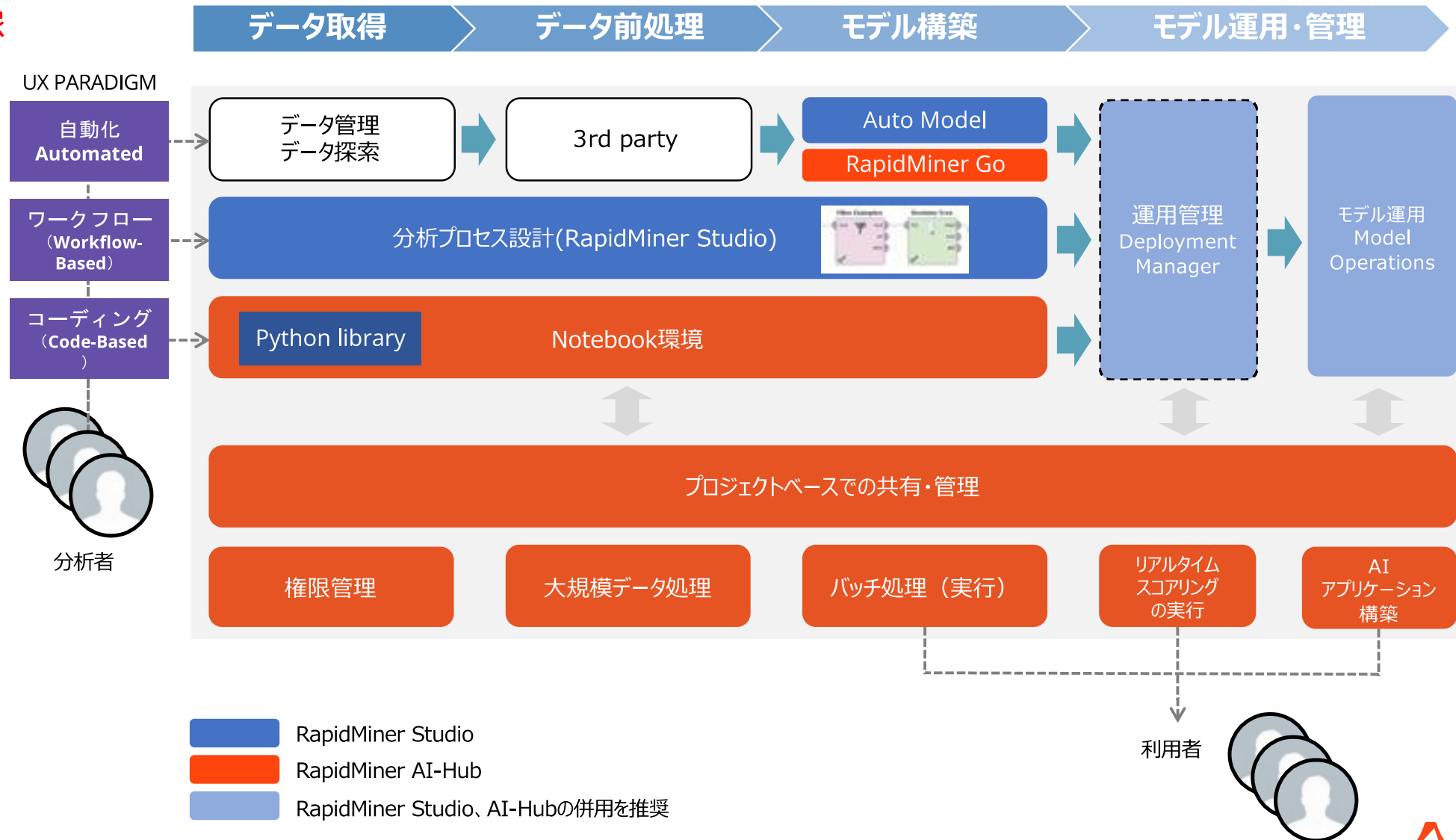
HyperStudy



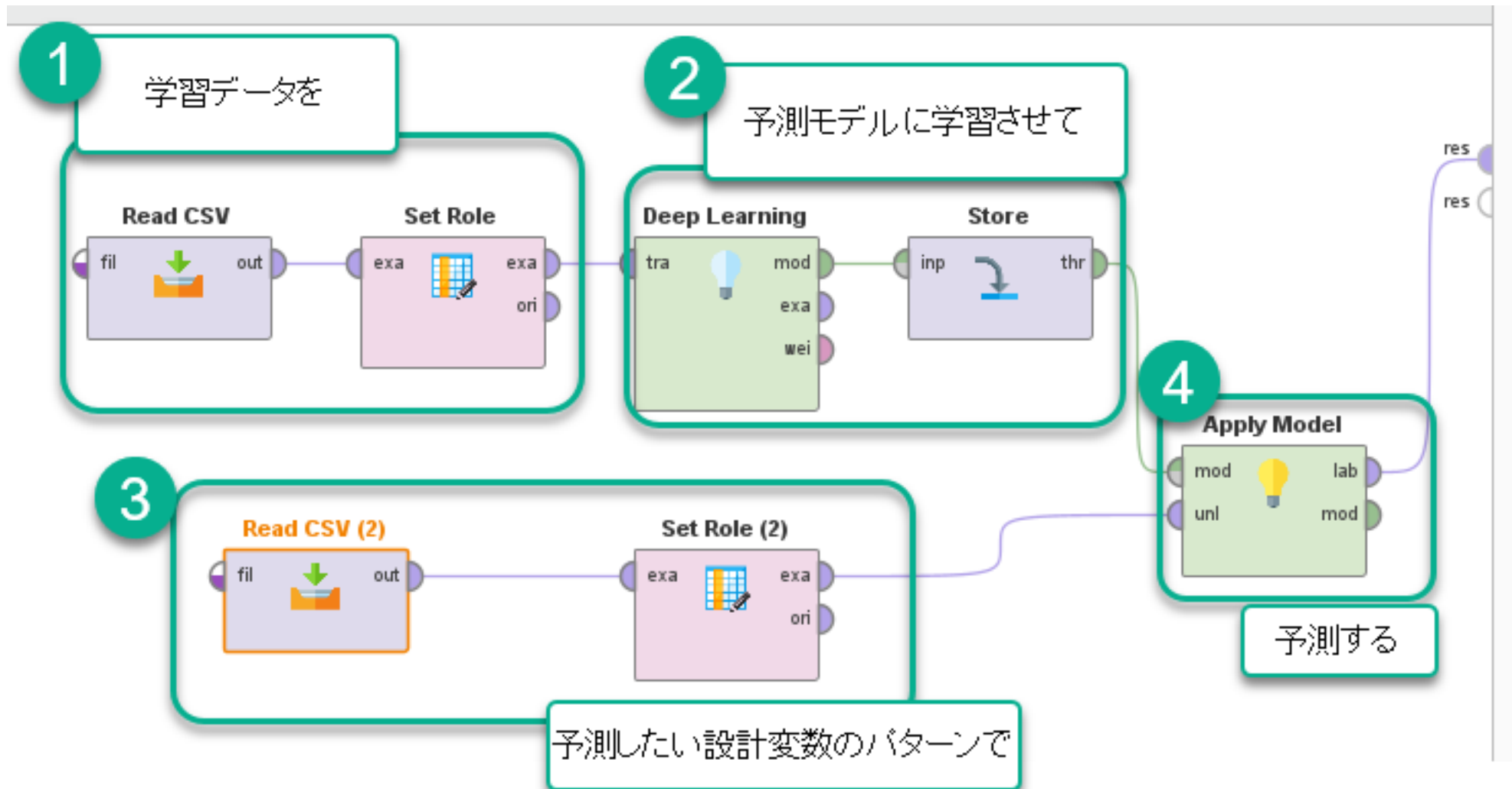
RapidMiner

RapidMiner Studio / AI-Hub の全体像

全体像



RapidMiner Studio で機械学習モデルを作るイメージ



適切なサロゲートモデルを見つける機能

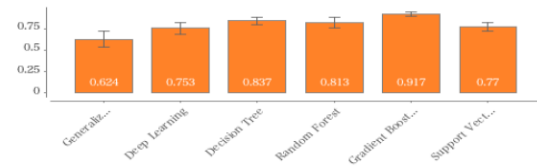
機能概要(AutoModel)

モデル作成

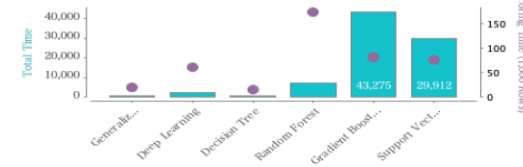
Overview

Number of Models: 8

Correlation



Runtimes (ms)



Model	Correlation ↓	Standard Deviation	Gains	Total Time
Gradient Boosted Trees	0.917	± 0.025	?	43 s
Decision Tree	0.837	± 0.045	?	555 ms
Random Forest	0.813	± 0.061	?	7 s
Support Vector Machine	0.77	± 0.048	?	30 s
Deep Learning	0.753	± 0.067	?	2 s

遺伝的アルゴリズムによる
最適化計算

シミュレータと最適化実行

Gradient Boosted Trees - Simulator

AI: 0.066

B: 0

C: 0.070

Co: 0.007

Cr: 19.303

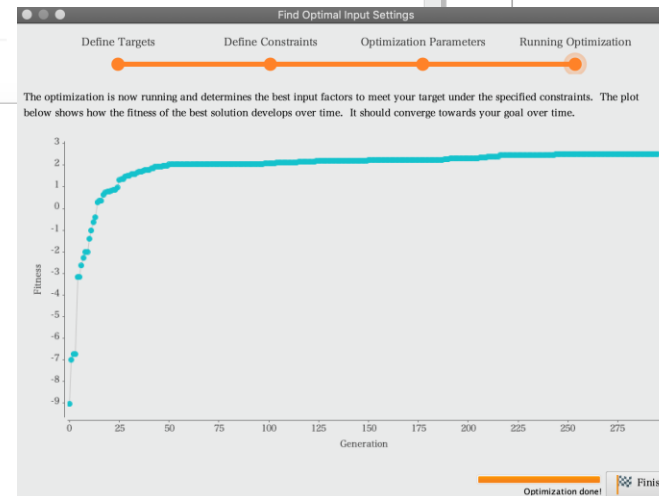
Cu: 0.215

I: 153.305

Mn:

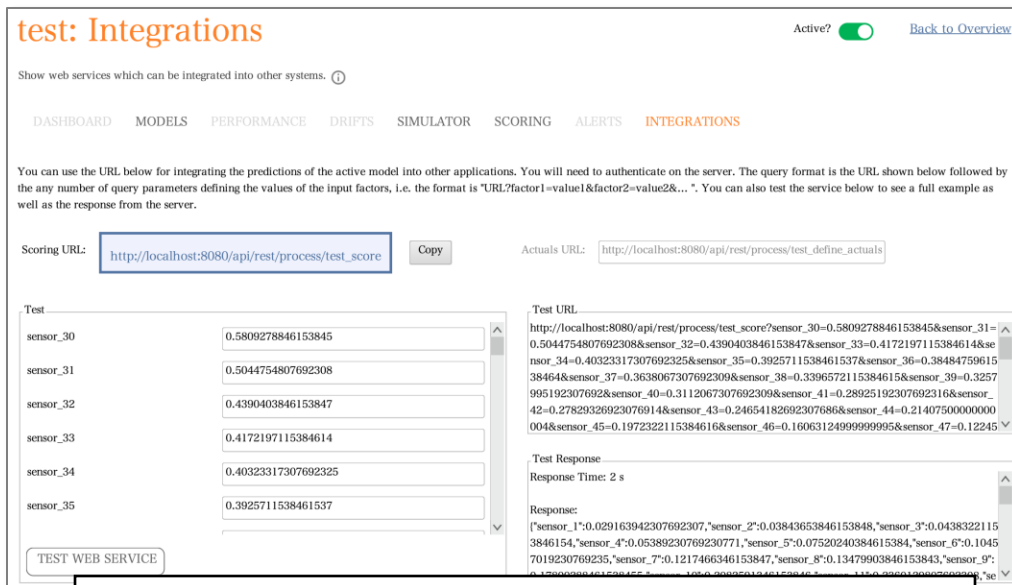
6.936

Important Factors for Prediction



作った予測モデルを多くの人に展開し活用

RapidMiner AI-Hub (クラウドサービス)



新たに入力された実稼働データから
最新の予測結果をユーザーへ知らせる



予測値の動向の確認

予測モデルで様々な設計を簡易検証

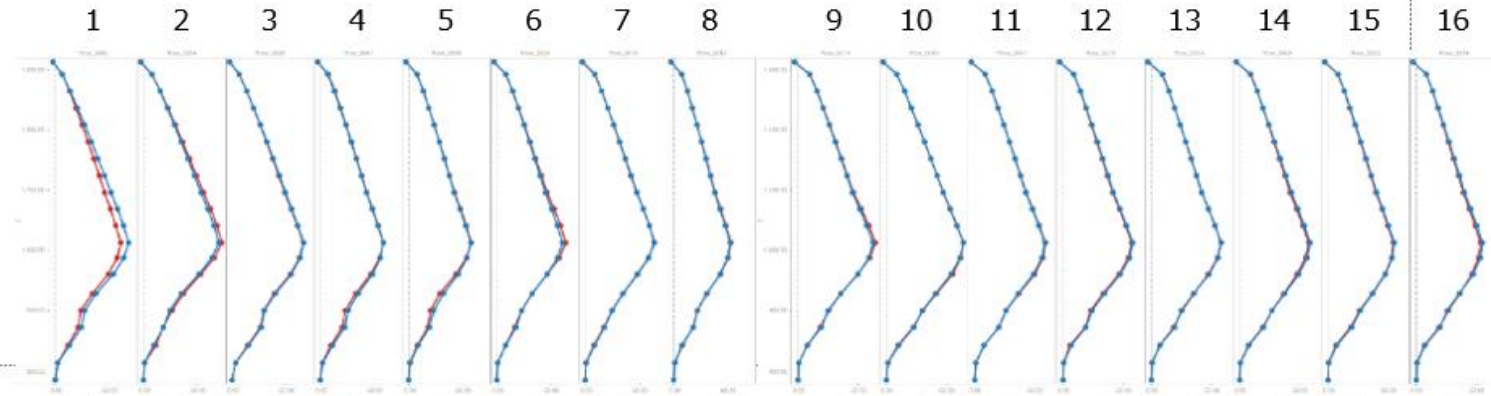
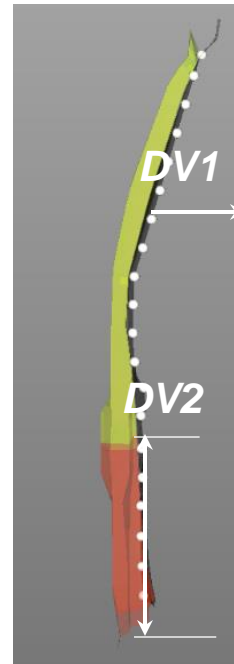
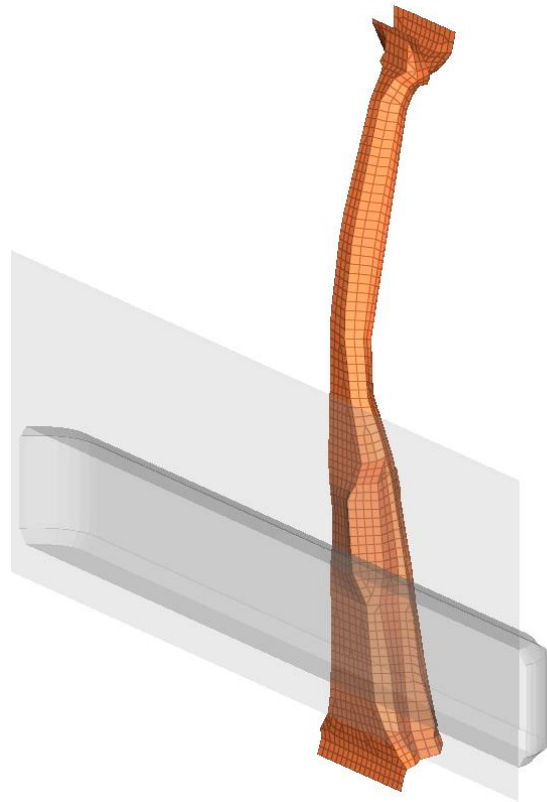
ニューラルネットワークによるサロゲートモデルの構築

Bピラー変形分布の予測

説明変数

DV1 板厚 (5水準)

DV2 差厚部位置 (5水準)



説明変数の組合せパターンを機械学習モデルで予測



CAE専任者



データ
サイエンティスト

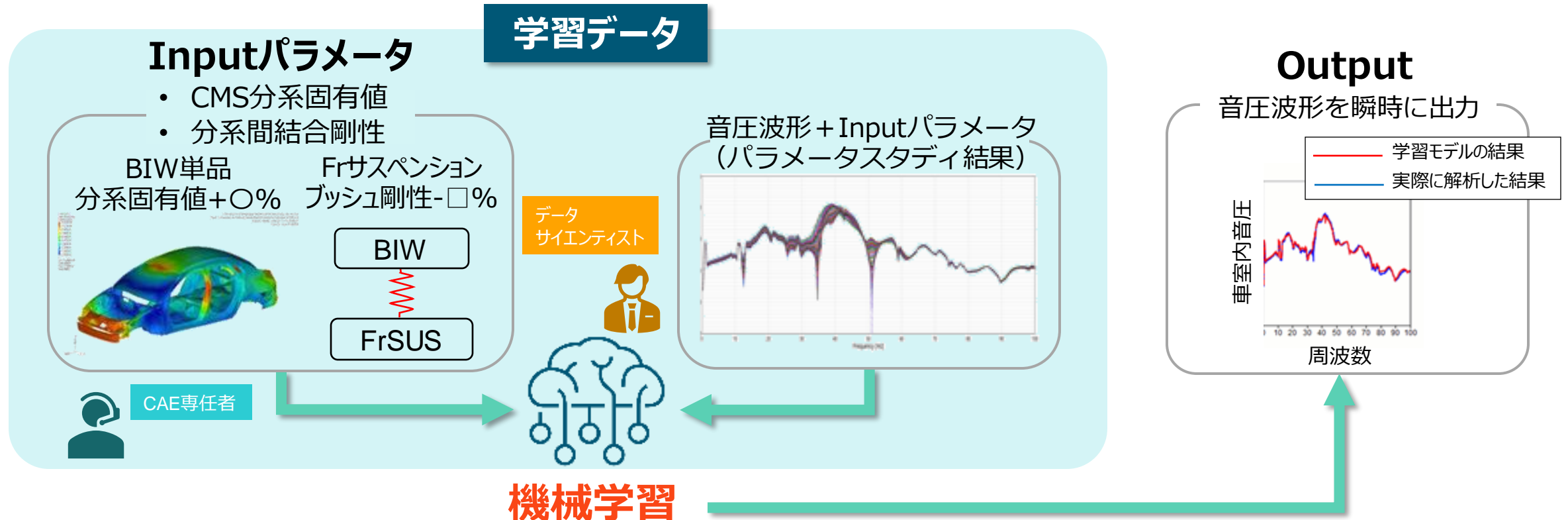


設計者

サロゲートモデル化による高速な結果予測

NV性能予測(サロゲートモデルのアプリケーション開発)

- 部品の固有振動数を扱うために有限要素モデルを部分構造モデル（モード合成、CMSモデル）に変更
- CMSモデルの各分系固有値、各分系間の結合剛性をパラメータとして乱数を利用した実験計画を実施



サロゲートモデル化による高速な結果予測

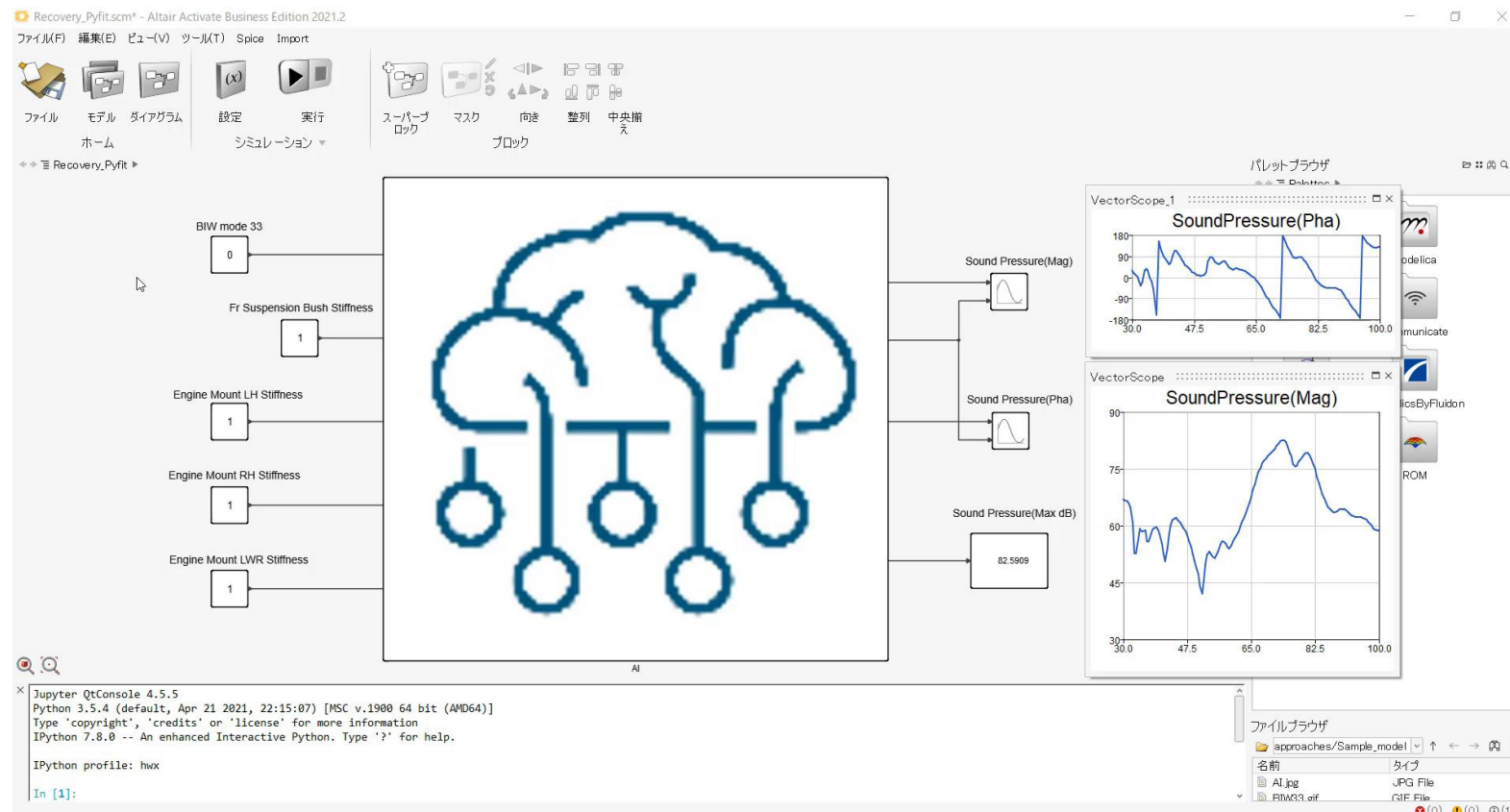
NV性能予測(サロゲートモデルのアプリケーション開発)

サロゲートモデルによって部品特性の変化に対してNVH性能をリアルタイムに予測が可能

全体性能と部品特性の関連付けを実現



設計者

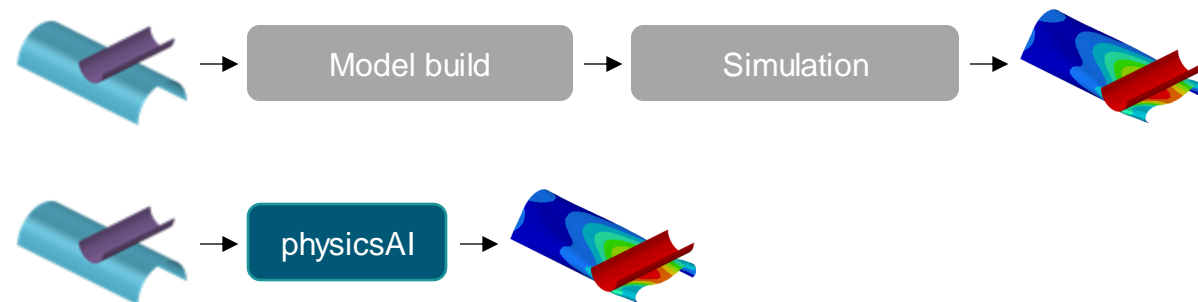
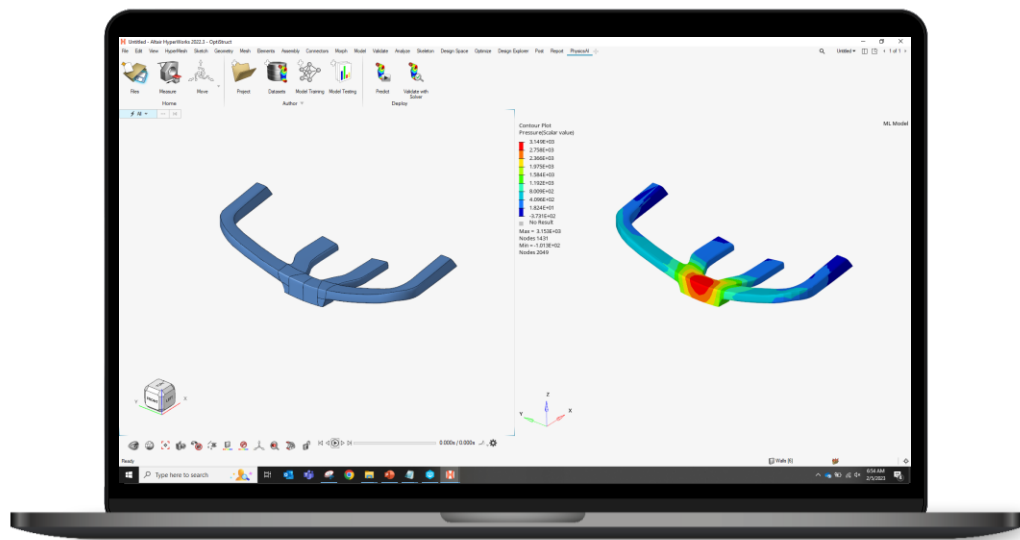


Physics AI

Altair PhysicsAI

過去の機種開発などで使われたシミュレーションデータの履歴を利用して高速な性能予測の実現を目指しています

First release 2022.3 (April)



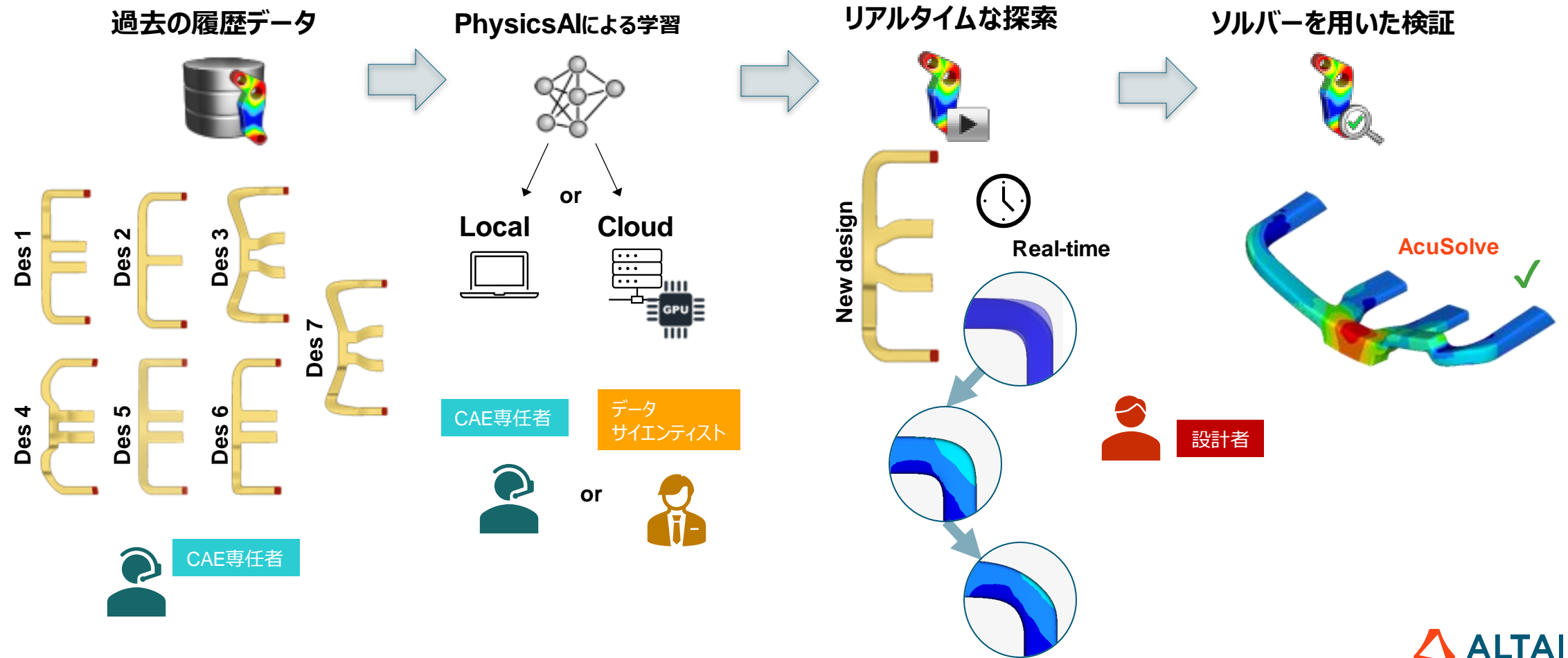
PhysicsAIは他のAIとは違いメッシュモデル、およびCADモデルから実行します

設計者へ提供される価値:

1. 従来のソルバーに対して10倍~100倍高速な予測を実現します
2. 解析モデルの作成時間を必要としません
3. 設計作業を加速し、より良い設計案の意思決定を可能とします

PhysicsAI : HVAC開発への適用事例

高速化が実現された設計プロセス



Home

Files Measure Move Project Datasets Model Training Model Testing Author Predict Validate with Solver Deploy

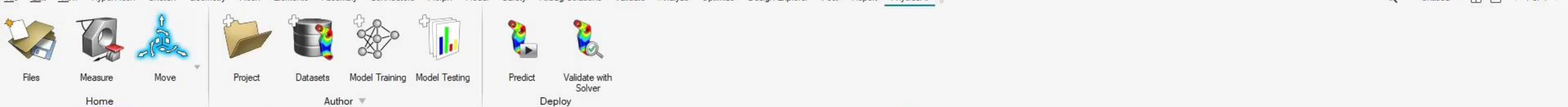
CADデータを利用した予測

newDesigns

File Home Share View

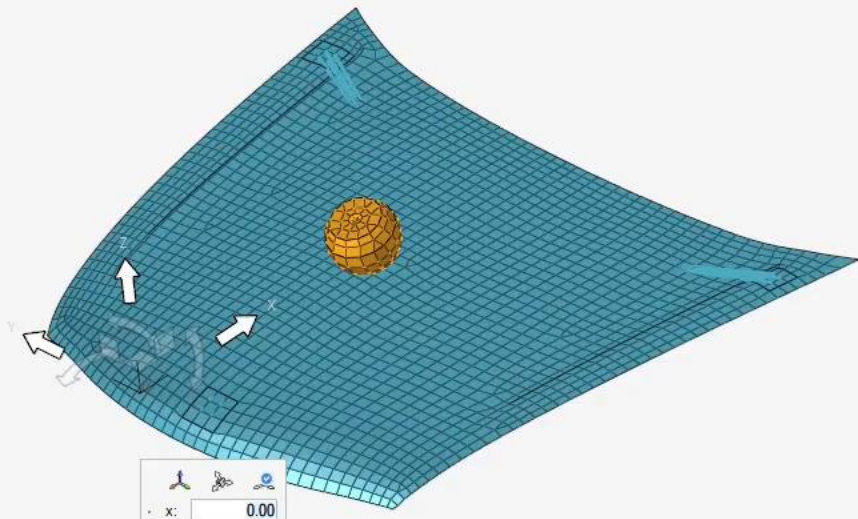
Search newDesigns

Name	Date modified	Type	Size
HVAC_concept2_rnd.fem	1/31/2023 3:39 PM	FEM File	2,821 KB
HVAC_Duct_v3.x_b	1/31/2023 2:08 PM	X_B File	2,849 KB



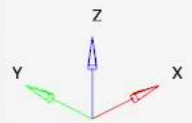
Select entities to move.

Name	ID	Include
hood	2000751	0
HeadForm_foam	2000785	0
HeadForm_steel	2000786	0
BCS_Hood	2000789	0
Rigid elements	2000790	0



Coordinate input dialog box:

x: 0.00
y: 0.00
z: 0.00



衝突現象の予測事例

Name	Value
------	-------

車両デザインと空力性能 圧力分布の予測

学習モデル



CAE専任者

Car 1

Car 2

Car 3

Car 4

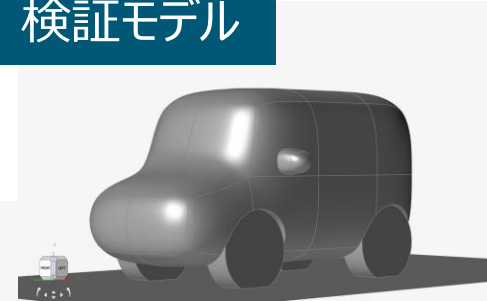
Car 5

Car 6

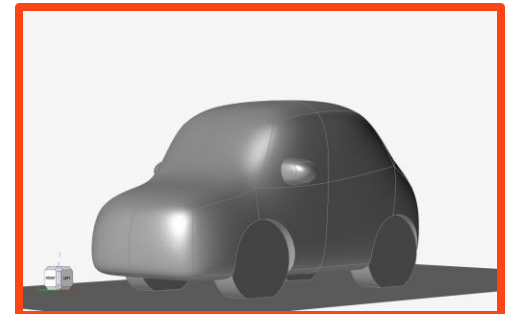
Car 7

Car 8

検証モデル



Newデザイン



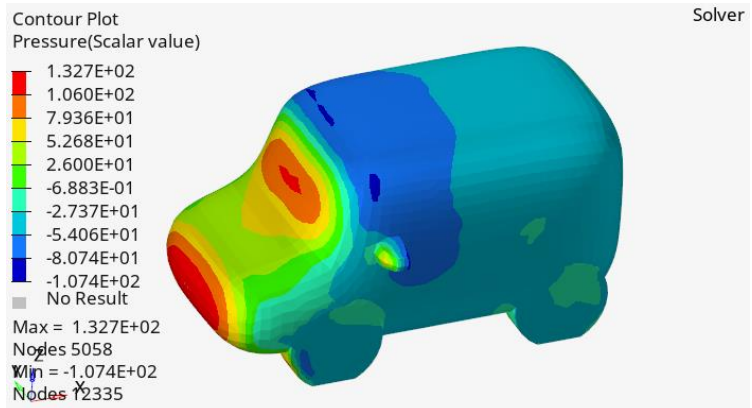
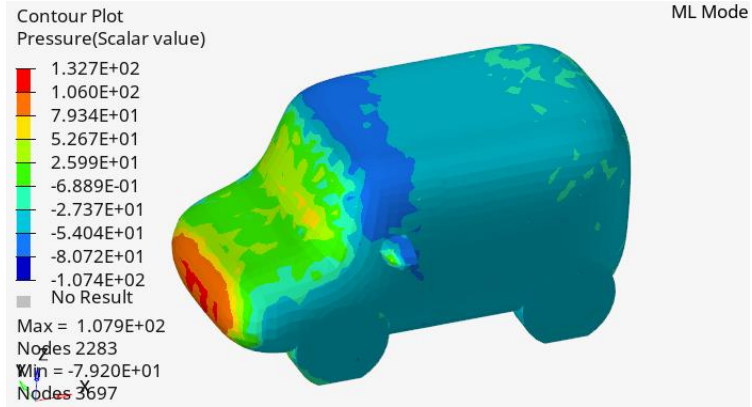
設計者 (デザイナー)



データ
サイエンティスト

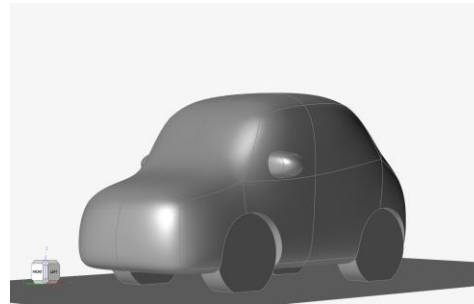
検証結果と予測結果

検証結果



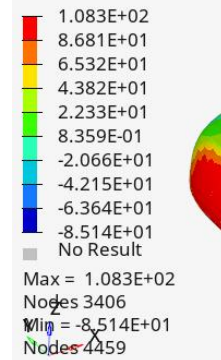
データ
サイエンティスト

Newデザイン



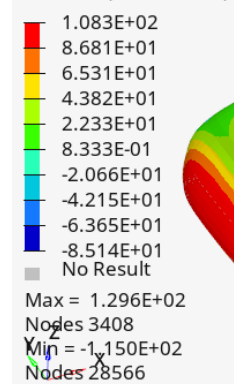
設計者 (デザイナー)

Contour Plot Pressure(Scalar value)



予測結果

Contour Plot Pressure(Scalar value)



CFD結果

まとめ

- 組織の在り方まで考慮した上で機械学習を適切に使うことによって車両開発の効率を上げられる可能性があります
- RapidMinerによって機械学習モデルを簡単なオペレーションで作ることができ、そのモデルを管理/共有することができます
- PhysicsAIはメッシュを作成することなく設計案の性能を予測することができます

使い方次第で飛躍的に効率を上げられる機械学習ソリューションをご活用ください

休憩

EVの車体開発とバッテリーソリューション

1. **いまのEV車両開発を取り巻く環境**
2. **車両構造のコンセプト設計プロセス**
3. **バッテリー開発を支援する解析技術**
4. **バッテリー性能の最適化を支えるデジタルツイン**

EVを取り巻く世界動向

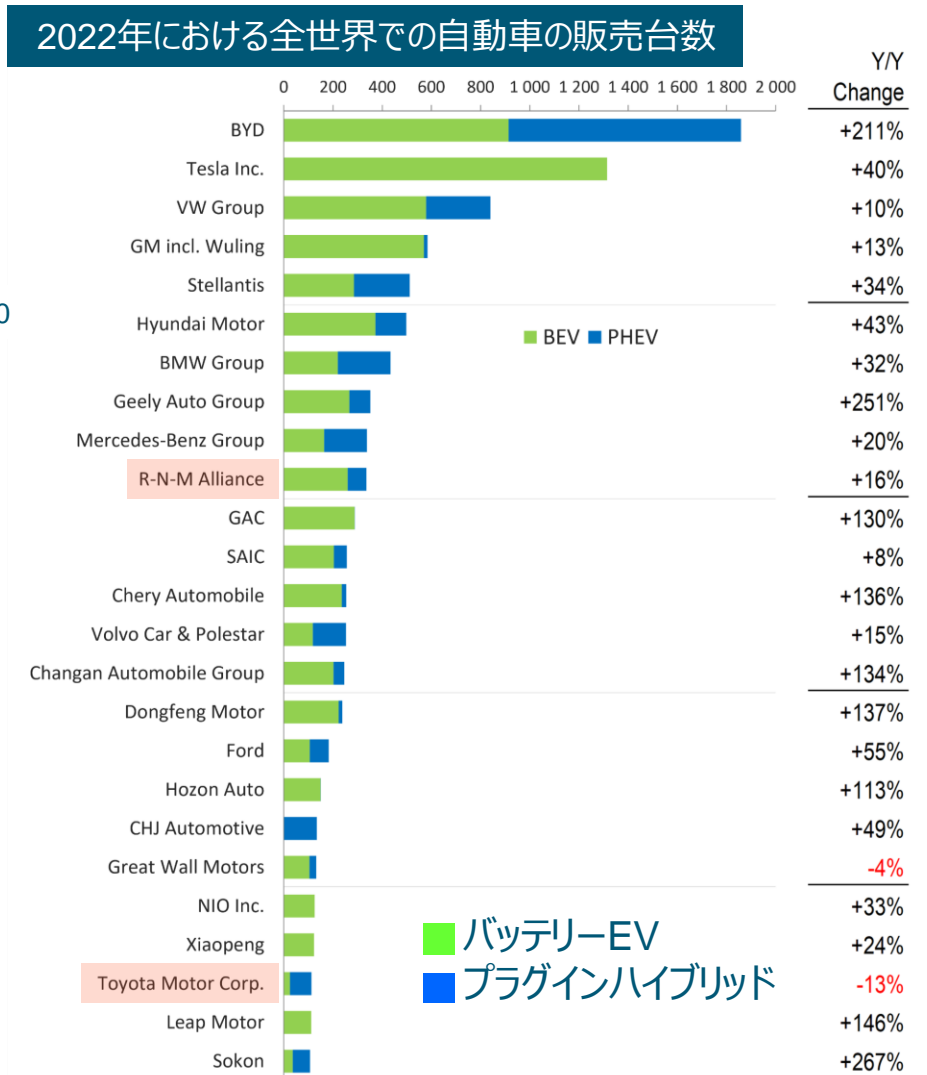
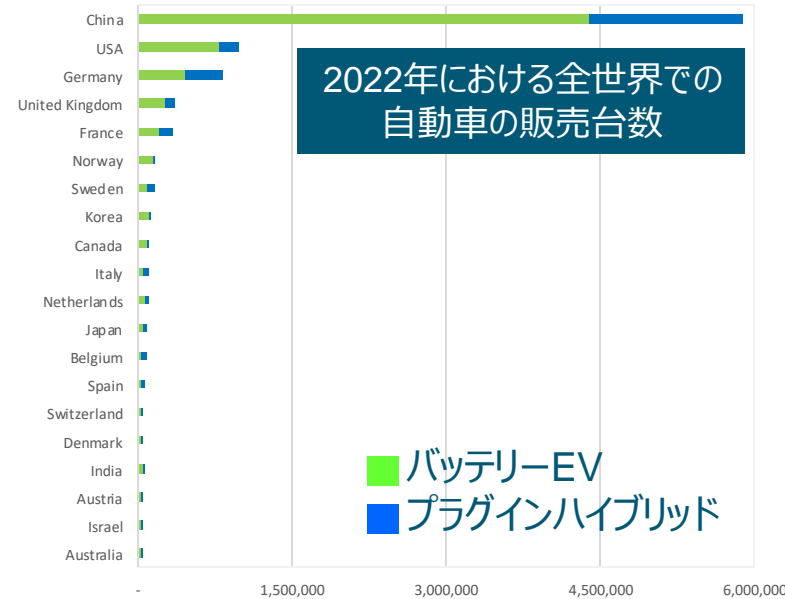
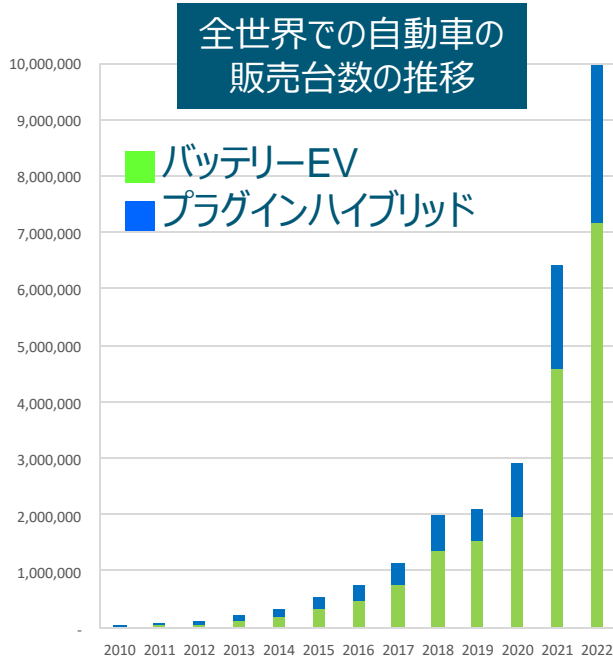
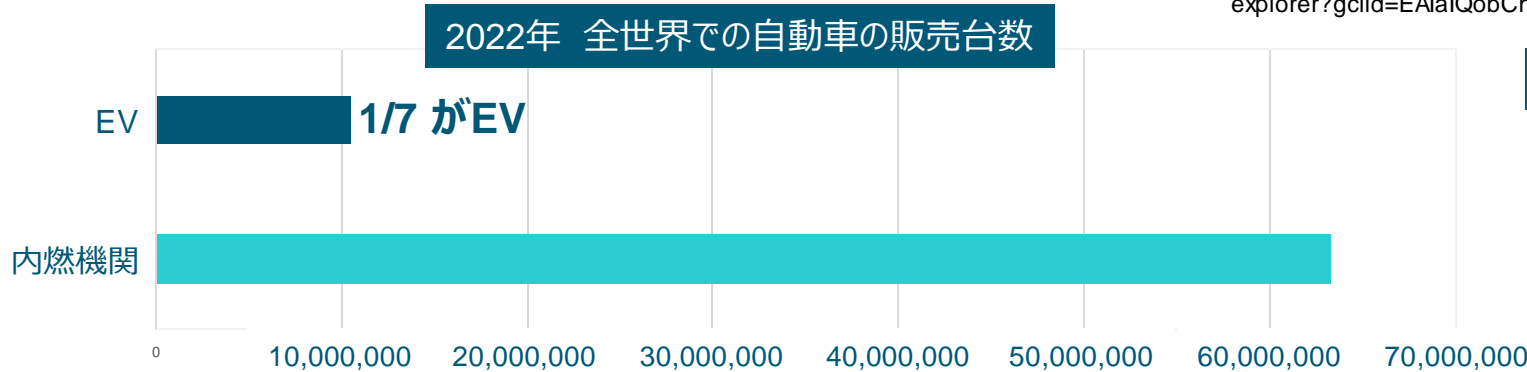
近年のEV市場

*出典1: Global EV Data Explorer – Data Tools – IEA

https://www.iea.org/data-and-statistics/data-tools/global-ev-data-explorer?gclid=EAlaIqobChMI2Mu5qv2e_wlIVYMsWBR22egd_EAA YASAAEgI-TPD_BwE

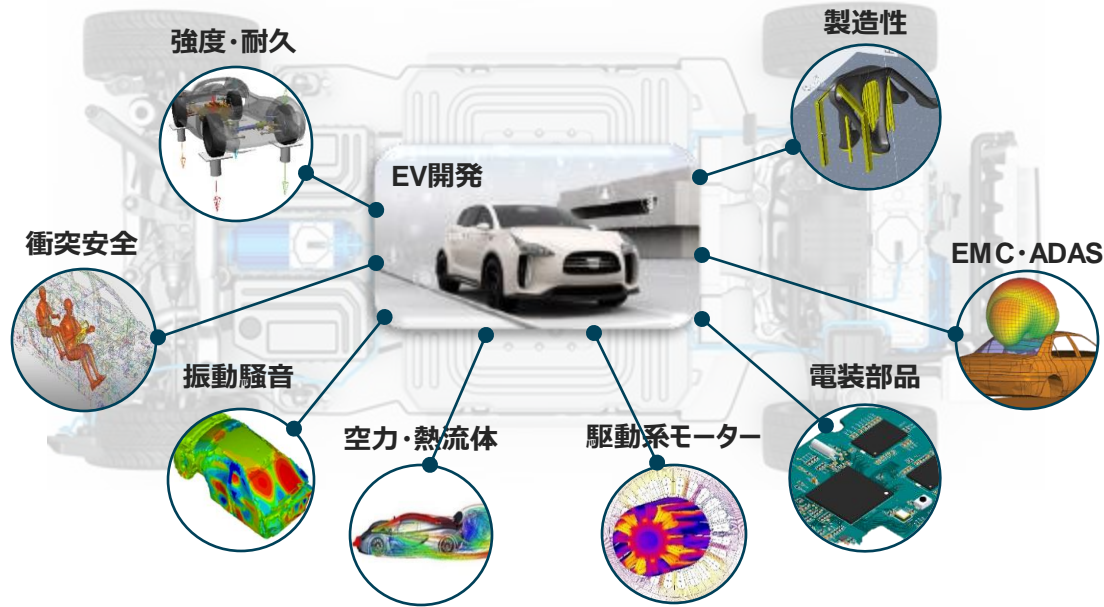
*出典2: Electric Vehicles Sales Q1 2023 - Exploring Electric Cars Statistics (tridenttechnology.com)

https://www.iea.org/data-and-statistics/data-tools/global-ev-data-explorer?gclid=EAlaIqobChMI2Mu5qv2e_wlIVYMsWBR22egd_EAA YASAAEgI-TPD_BwE



いまの車両開発を取り巻く環境

従来から必要とされるの要素技術



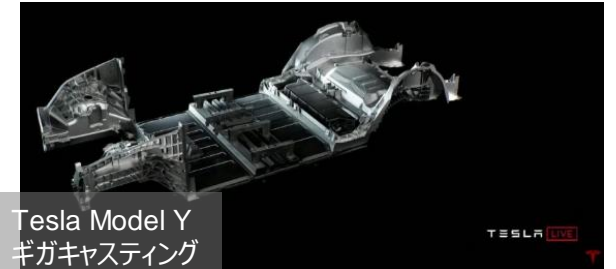
車両開発の短期間化 → 従来技術に関連した領域の開発の効率化

新たな技術要素の利用 / 検討

新しい骨格コンセプト / 軽量車体

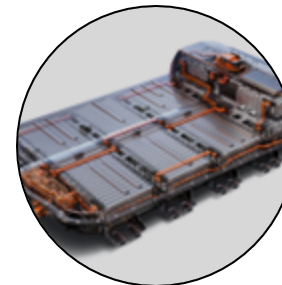


※マークラインズWebサイトより
https://www.marklines.com/ja/report_all/Munro001_201704

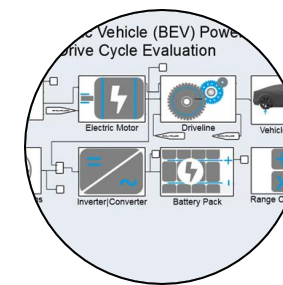


※Tesla Oracle webサイトより
<https://www.teslaoracle.com/2020/09/23/model-y-giga-casting-structural-battery-innovations-battery-day-part-1/>

次世代バッテリー開発



高効率 エネルギー管理



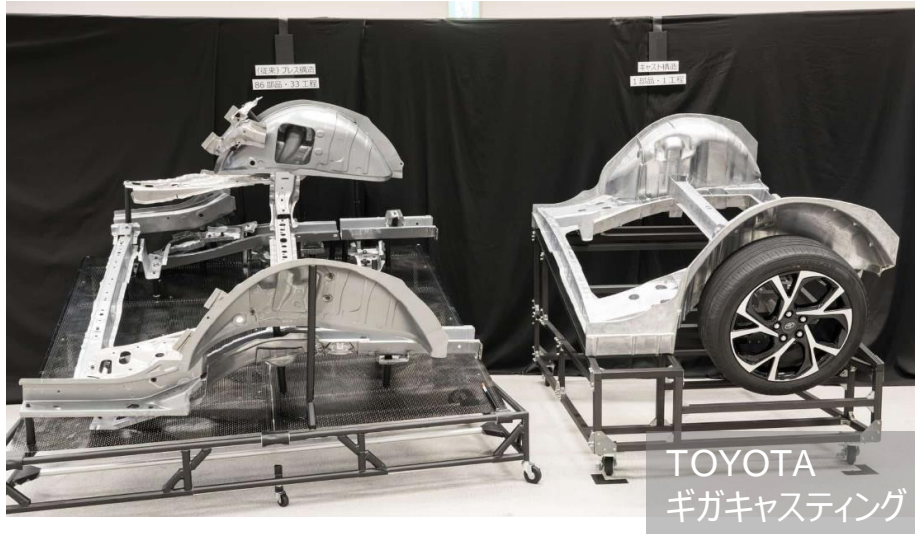
データサイエンス 機械学習の活用



競争力の高いEV開発には新たな技術要素の構築が急務

EV開発に関連して重要性を増す技術

新しい骨格コンセプト / 軽量車体

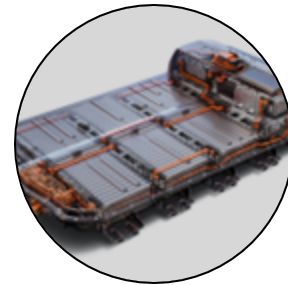


TOYOTA
ギガキャスティング

※MSNニュース webサイトより
<https://www.msn.com/en-ca/autos/other/toyota-showcases-its-own-giga-casting-in-a-bid-to-lower-ev-costs/ar-AA1cwnFJ#image=1>

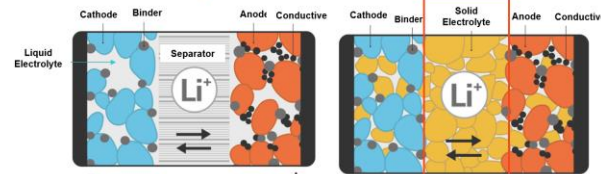
従来の製造法にとらわれることなく、
あるべき車体骨格の構造の実現へ

次世代バッテリー開発



全固体電池の開発を支援

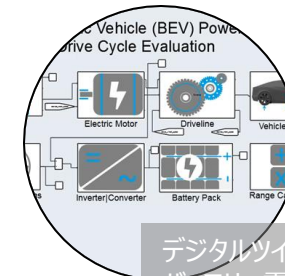
Solid state Battery



※バッテリーインサイド webサイトより
<https://inside.lgensol.com/>

バッテリー開発時の粉体挙動を
シミュレーションできるツールの活用

高効率 エネルギーマネジメント



デジタルツイン+機械学習で
バッテリー電力消費の最小化



航続距離の最大化を目指した
エネルギーマネジメントシステムの実現へ

車両構造のコンセプト設計プロセス

車両構造のコンセプト設計プロセス C123 プロセス全容

C0 BIW目標特性の設定、想定
入力荷重の検討、設計空間、
パッケージング検討

C1 最適な構造レイアウトを検討

C2 理想的な断面寸法とジョイント部の
特性を高速に検討

C3 詳細モデルの最適化により製造可能な
断面とジョイント部の形状を決定



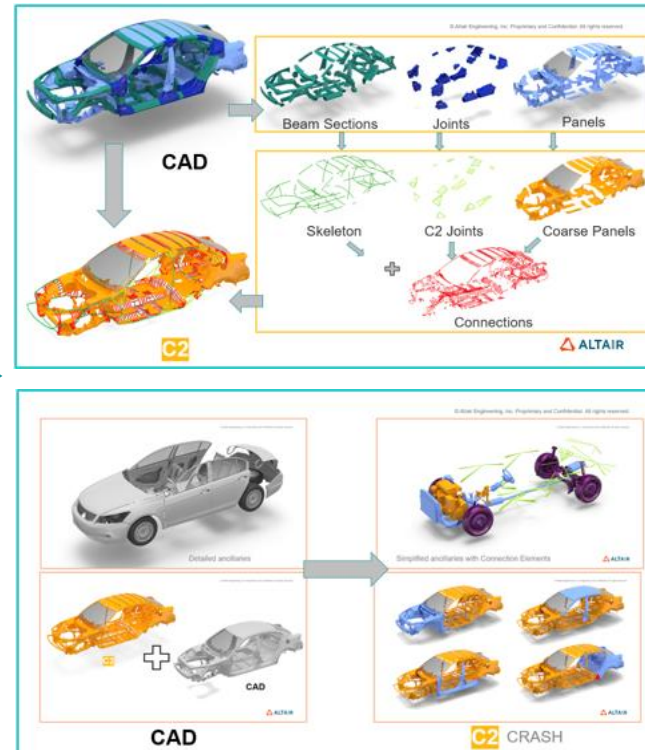
CADからC2モデルをダイレクトに生成 “Hyper Automation” *Coming Soon!*

シンプルかつ忠実な解析モデル（Right Fidelityモデル）の自動作成

‘Right Fidelity’ モデル作成ツールボックスを開発（C123プロセスをベースとして開発）



ジオメトリ



数クリックによるモデル作成



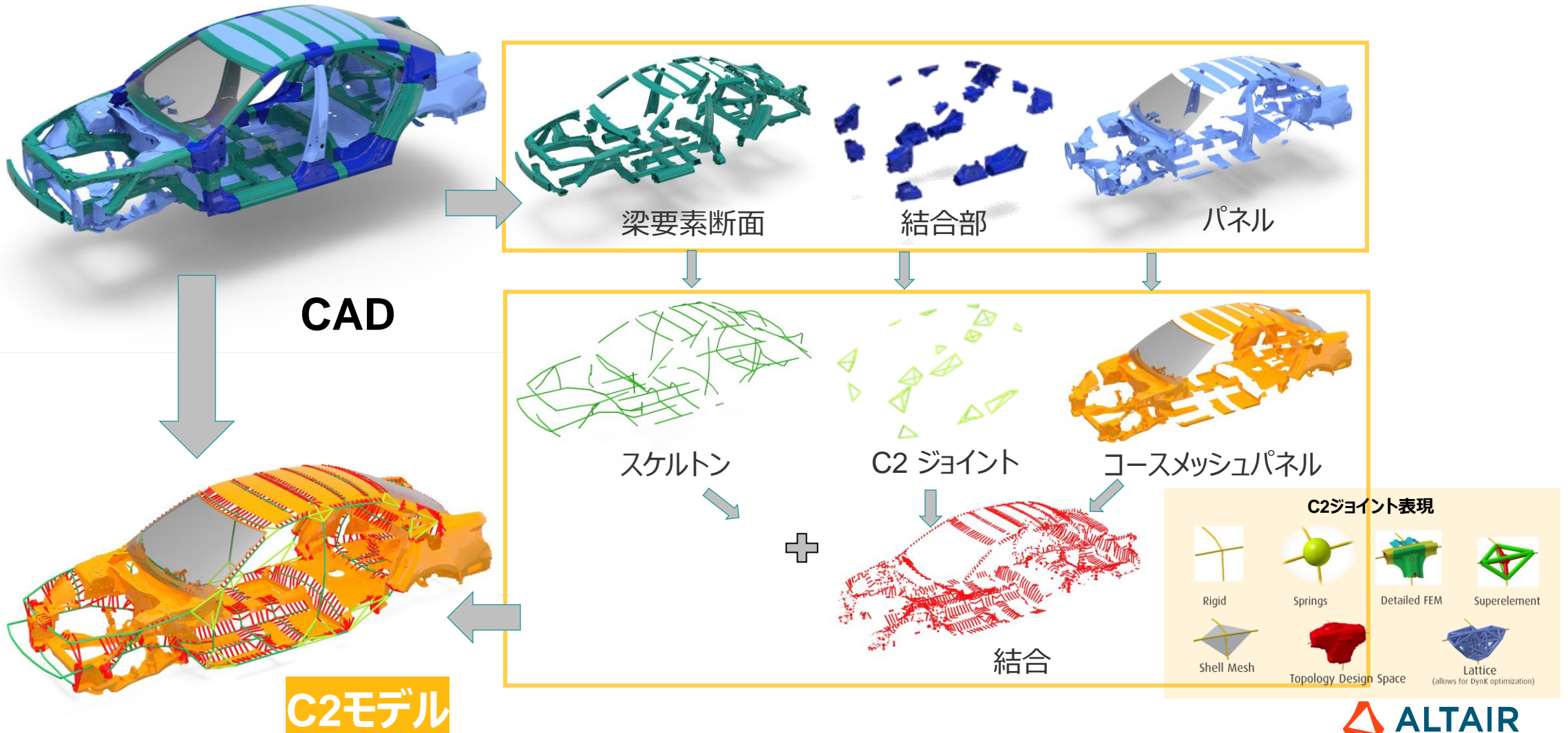
Crash & NVH モデル

‘Right Fidelity’ モデル

Hyper Automation ~Right Fidelity モデル~

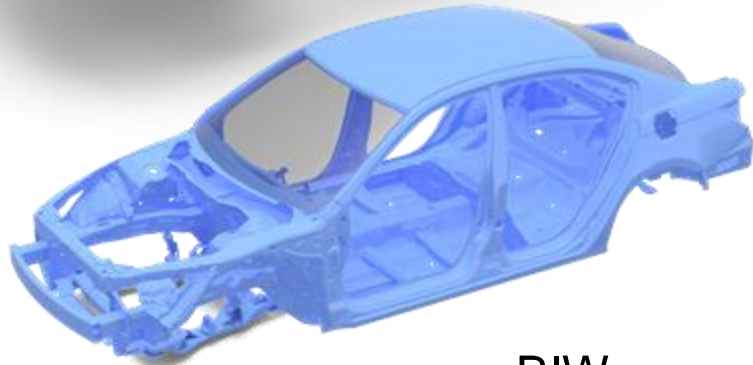
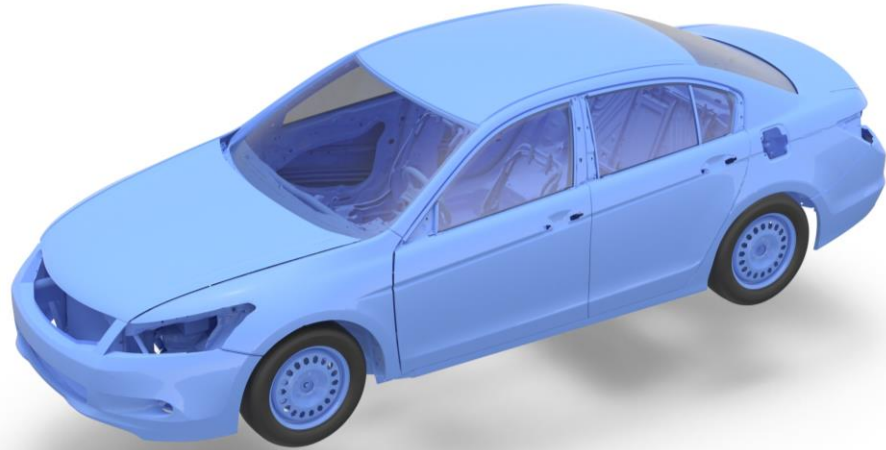
C123プロセスの C2 モデル に相当

Coming Soon !



Right Fidelity モデル規模

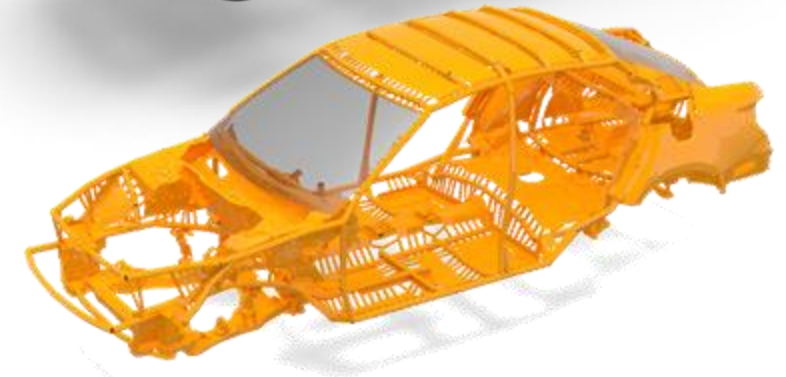
Coming Soon!



BIW

Detailed Model (DFEM)

	Detailed Model (DFEM)	Simplified Model (C2)
BIW要素数	380万	105千
モード解析	1時間	2分
静解析	30分	3分
周波数応答	16分	1分
56kph 前面フルラップ	28時間 (96CPUs)	90分 (96CPUs)



BIW

Simplified Model (C2)

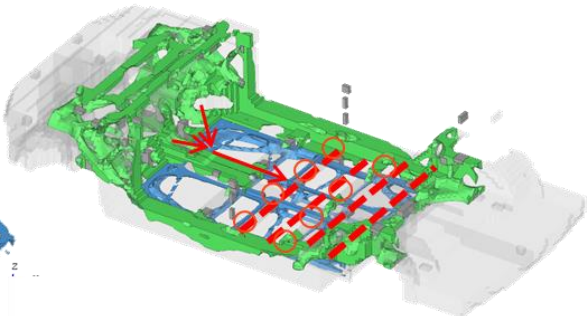
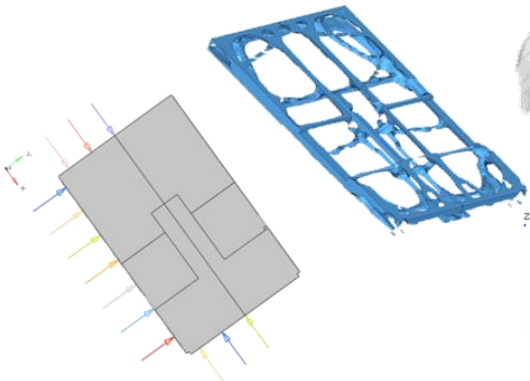
バッテリーフレームを利用した構造検討

C123 を利用したバッテリーフレーム構造検討

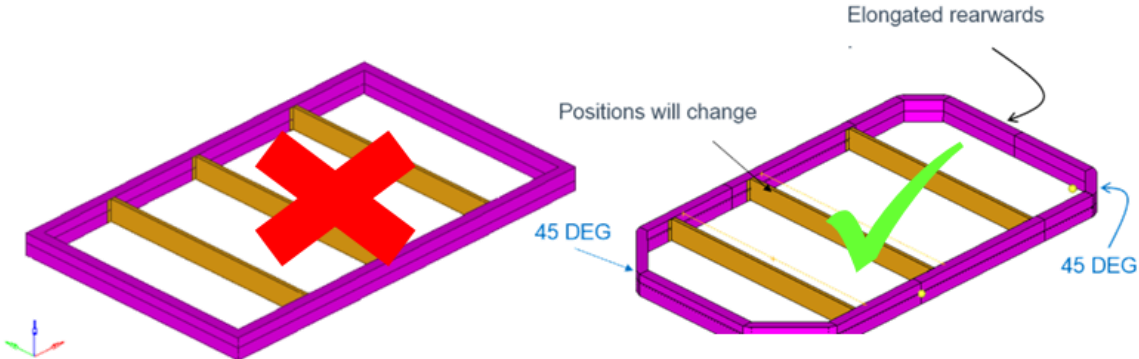
Material released by NEVS for the „Virtual Car Body“ Conference in Bad Nauheim Germany

Conceptual studies

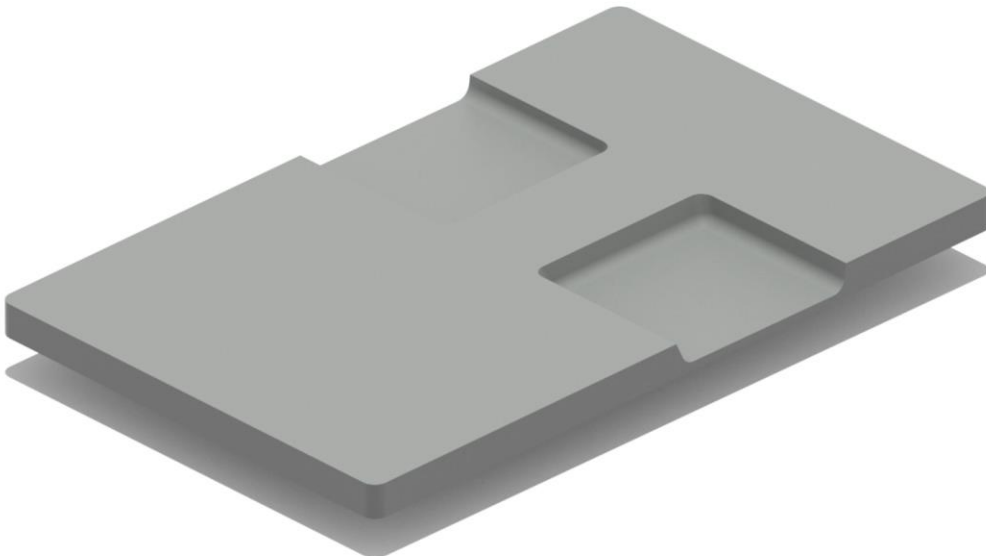
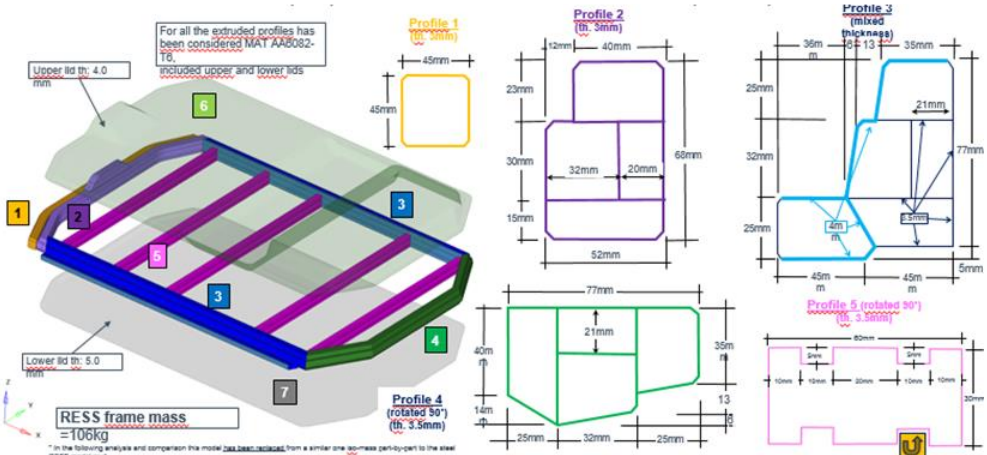
Battery Box alone



Battery Box in Vehicle



Details, Validation and increased Maturity




C123プロセスとC123ツール群

C0: Loads, Design Space




Rapid loadcase generation and package changes

C1: Layout



Identification of Optimum Structural Layout

C1: Collaboration



Organic, clean topology interpretations

C1/C2: Battery Integration




Determine optimal attachment point locations

C1/C2/C3: Mass



Track your mass using mass cubes


C2: Massive Exploration




C2: Targets



C2: Joints



C2/C3: Diagnostics



• まもなくリリース予定のHyperAutomationにご期待ください
• C123プロセスをぜひご活用ください


Automated FEM creation using auto-skeleton



Parameterized optimization of real world sections



Real world section optimization, export to CAD



Multi-disciplinary model linking for optimization



Optimum sizing of sections, joints and connections



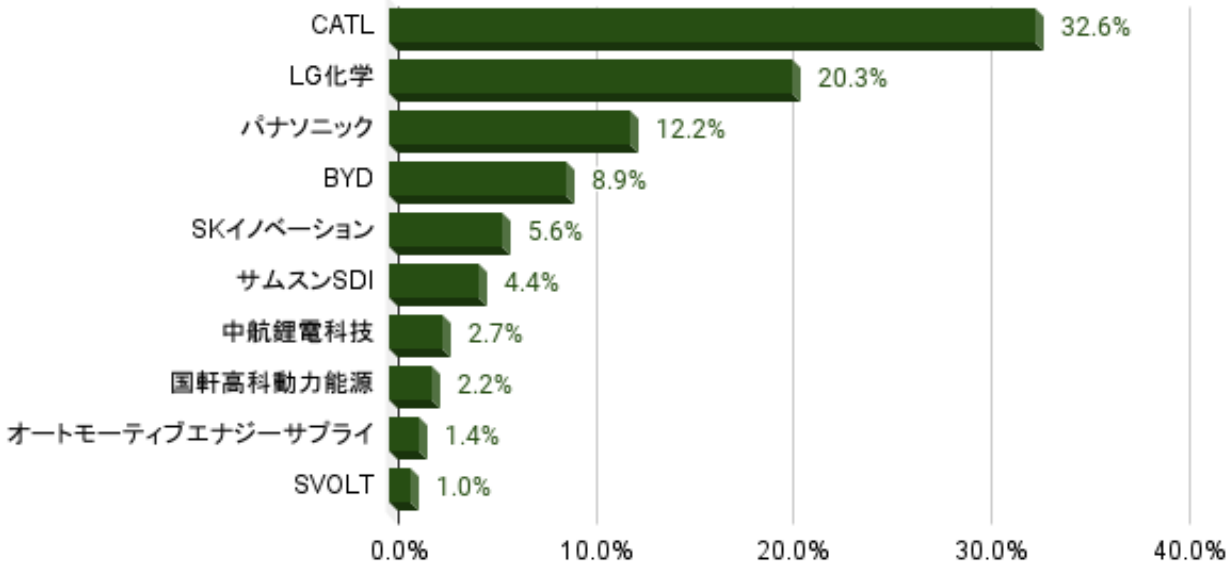
バッテリー開発支援ツール

バッテリー開発の現状

*出典1: Global EV Data Explorer – Data Tools – IEA
https://www.iea.org/data-and-statistics/data-tools/global-ev-data-explorer?gclid=EAlaIqobChMI2Mu5qv2e_wIVYMsWBR22egd_EAAYASAAEgL-TPD_BwE

*出典2: Electric Vehicles Sales Q1 2023 - Exploring Electric Cars Statistics (tridenstechnology.com)
https://www.iea.org/data-and-statistics/data-tools/global-ev-data-explorer?gclid=EAlaIqobChMI2Mu5qv2e_wIVYMsWBR22egd_EAAYASAAEgL-TPD_BwE

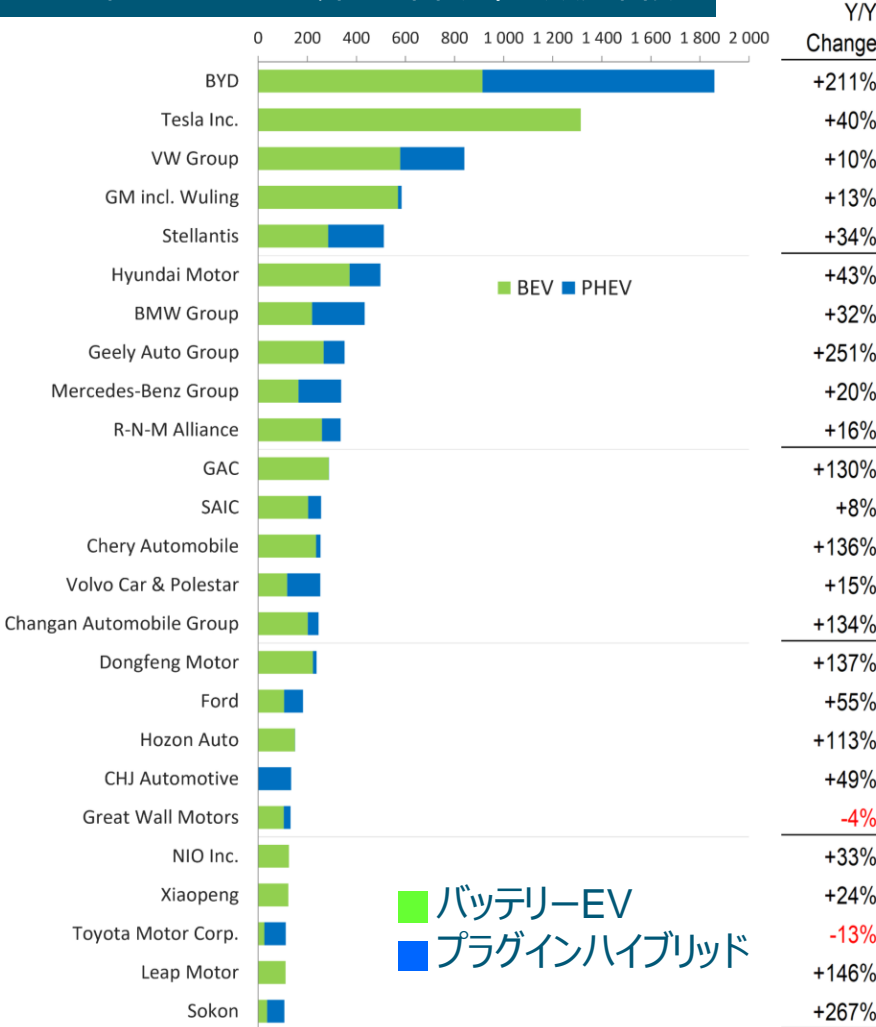
2021年における車載電池の市場シェア（搭載量ベース）



※出典3: ディールラボ
<https://deallab.info/evbattery/>

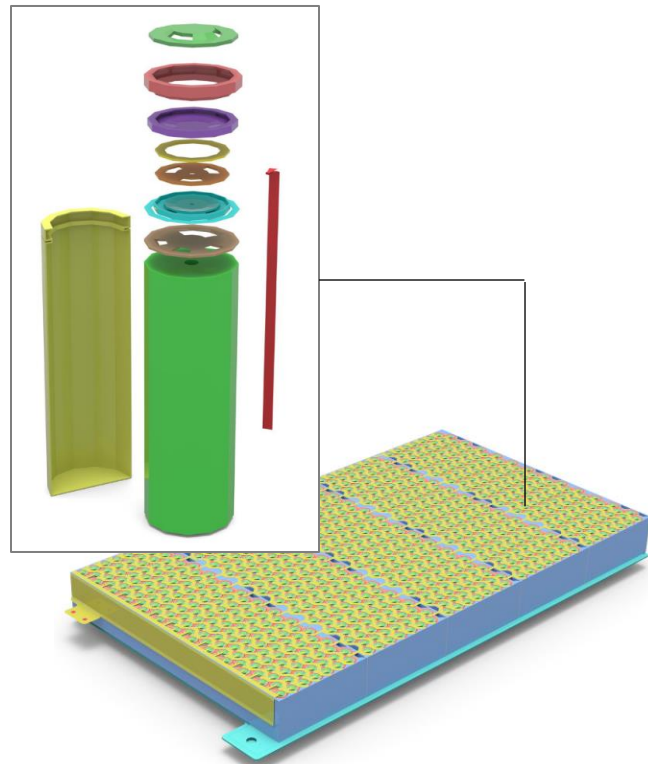
さらなる高い競争力の次世代バッテリー開発急務

2022年における全世界での自動車の販売台数

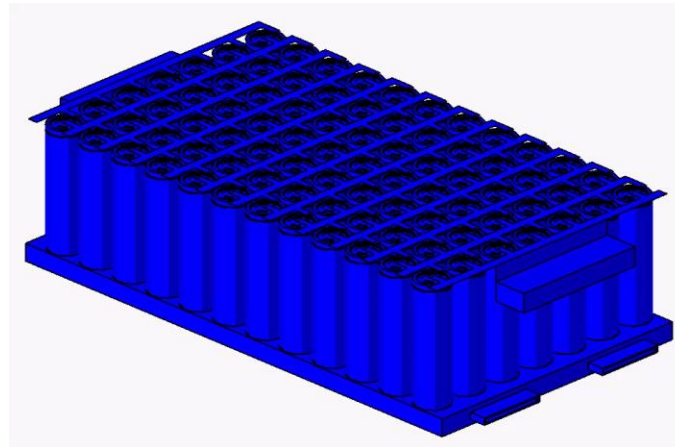


バッテリーモジュールの解析

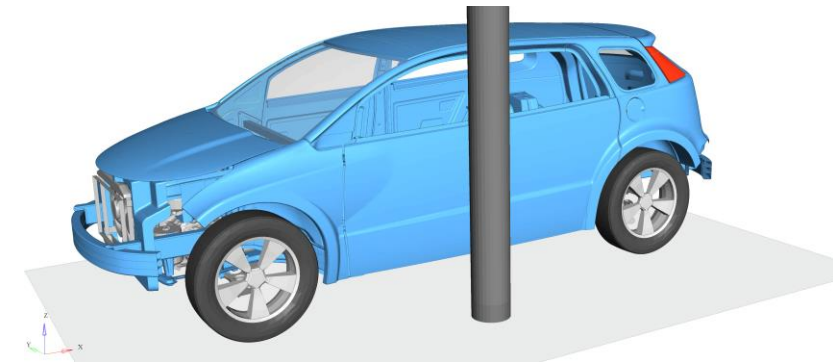
アルテア製品によるバッテリー解析（構造・熱・流体）



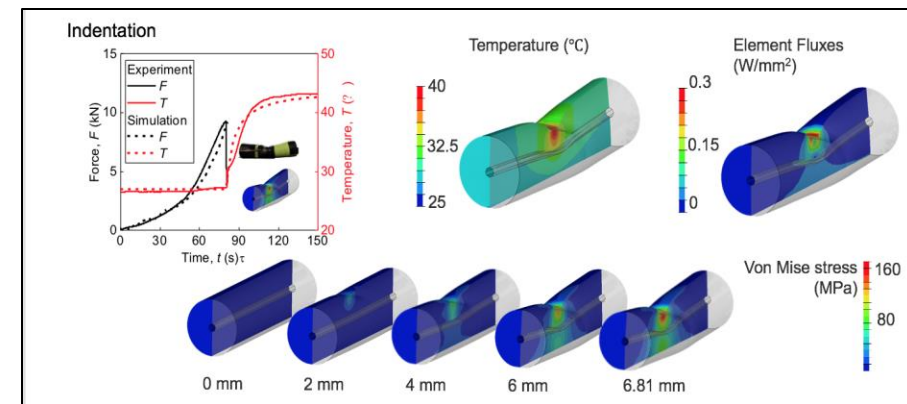
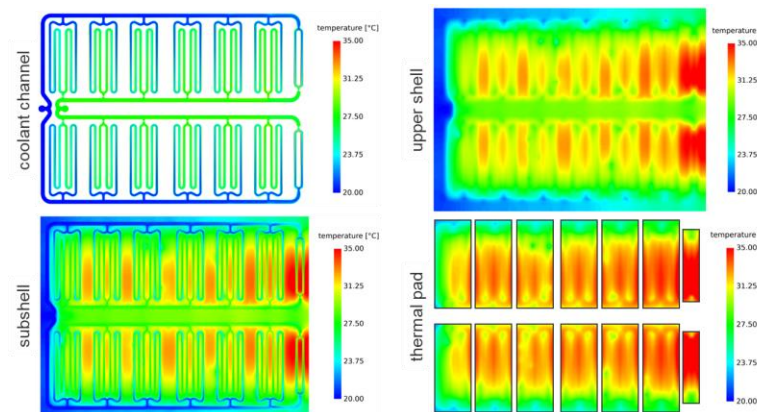
OptiStructによる熱電効果シミュレーション



Radiossを利用した衝突と熱暴走シミュレーション



OptiStruct + AcuSolveによる冷却シミュレーション

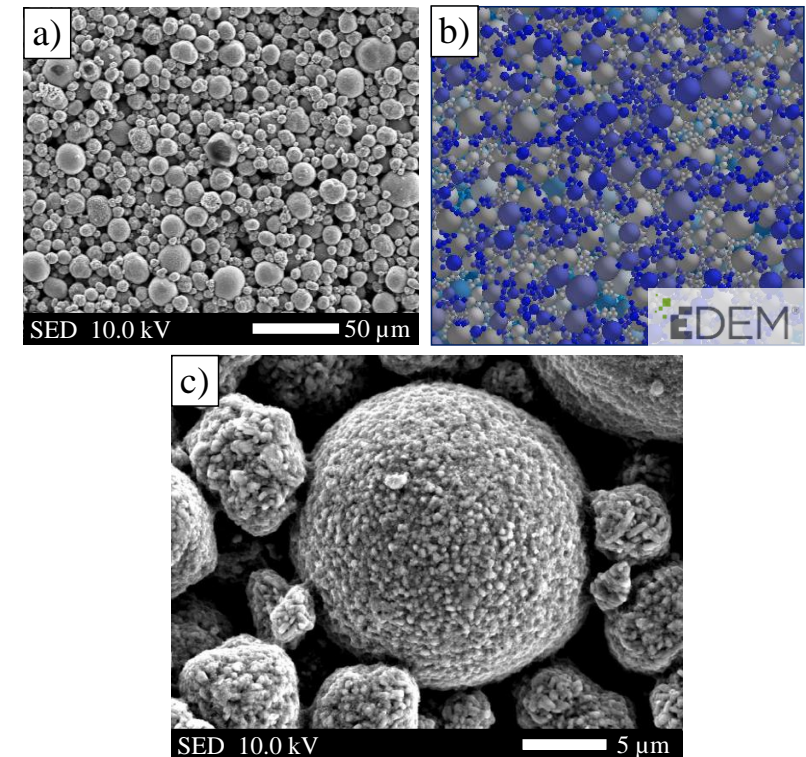


粒子法 EDEM を利用したバッテリー製造シミュレーション

- 電極の微細構造の挙動の把握、その挙動の最適化
- 電極の材料/組成/厚さ/機械的特性に影響を与える製造プロセスの条件の把握

粒子法ソルバー EDEM の利用によって:

- 表面だけでなく電極内部の微細構造についてあらゆる挙動を把握できます
- 電極の微細構造が製造中にどのような影響を受けるかを理解できます
- さまざまな製造プロセス条件をシミュレーションできます
- 微細構造のコントロールにより電極の性能を最適化できます

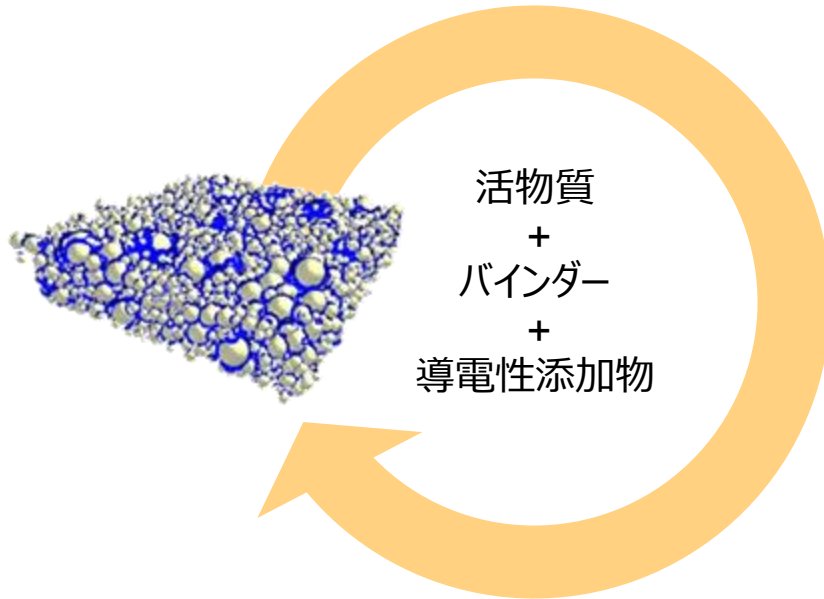
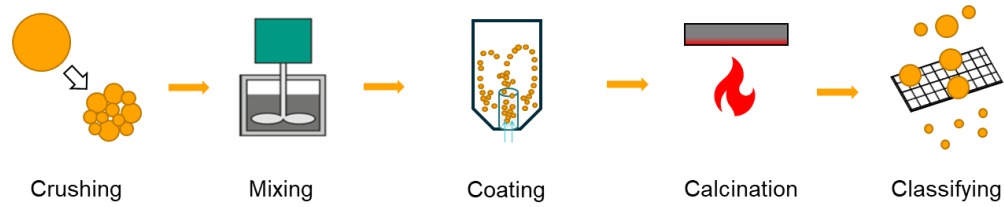


a) SEM-image NMC; b) Screenshot of DEM modelled NMC electrode, c) SEM-image 4000x zoom NMC

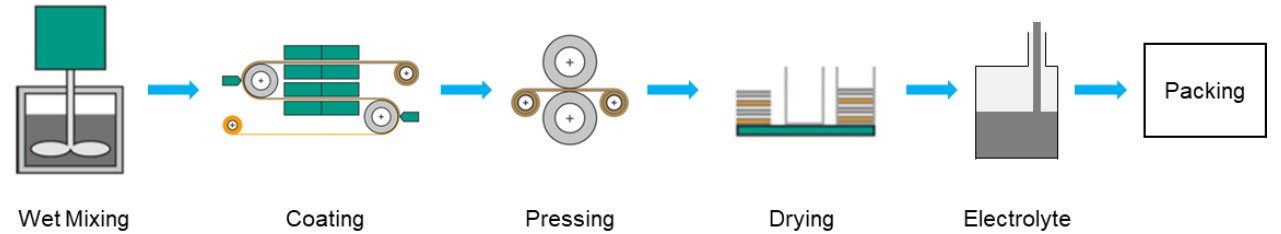
Image Source: TU Munich, iw, David Schreiner

バッテリー製造プロセス

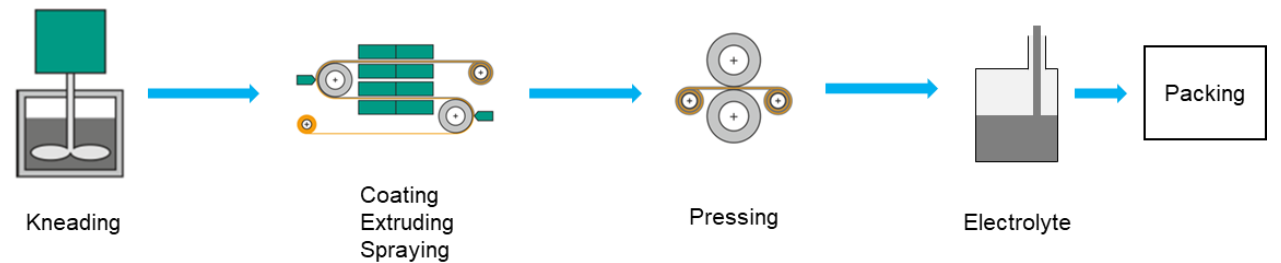
原材料製造工程



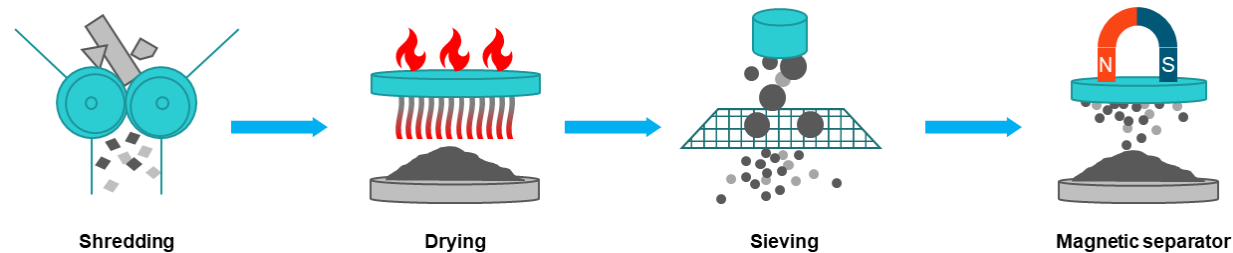
電極の製造工程 (湿式)



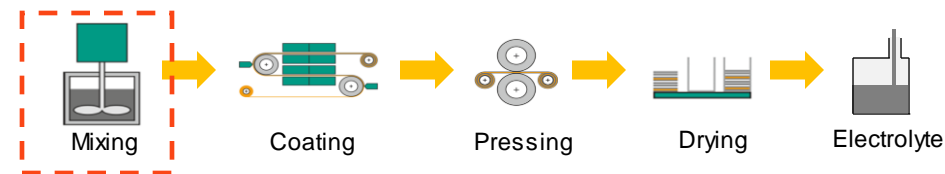
電極の製造工程 (乾式)



リサイクルプロセス

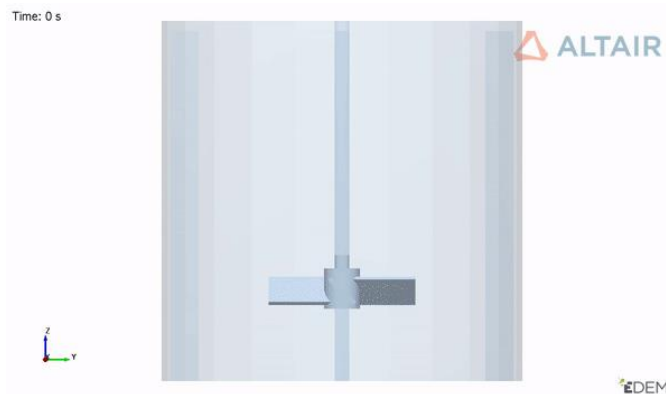


ミキシングプロセス



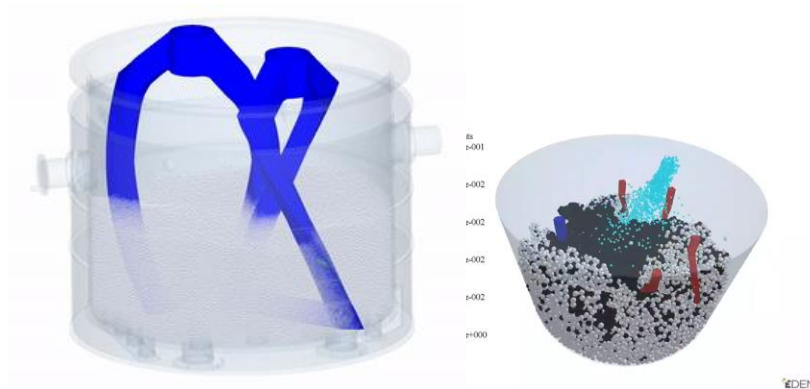
- 粉体材料の混合均一性を予測
- 流体CFDソルバーとの連成により湿式混合も可能

CFD-DEM coupling



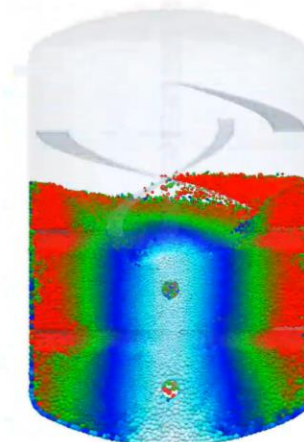
Liquid : Particle = 9:1

DEM customizing



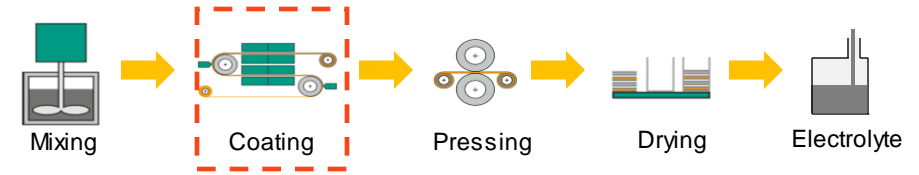
Liquid : Particle = 6:4

DEM

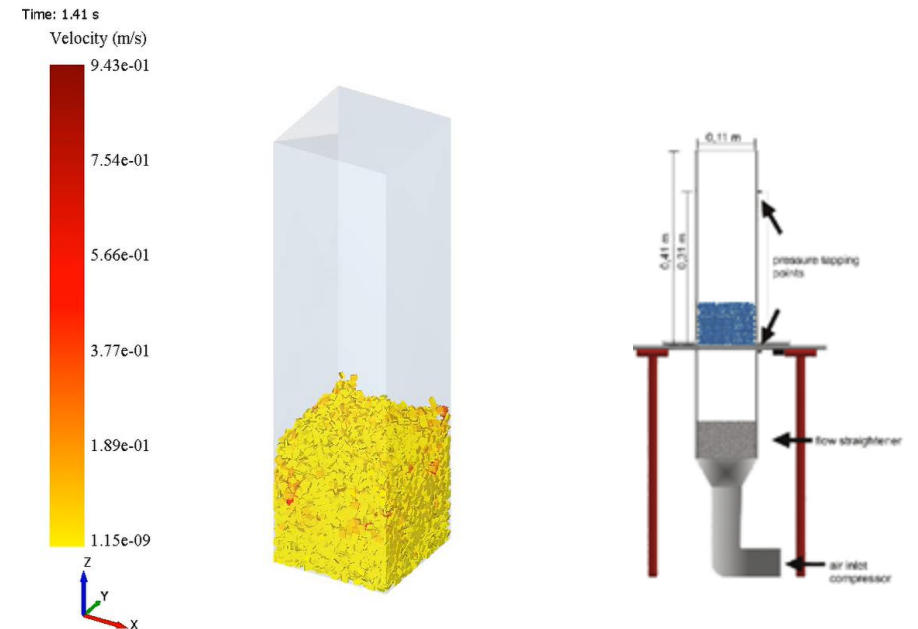
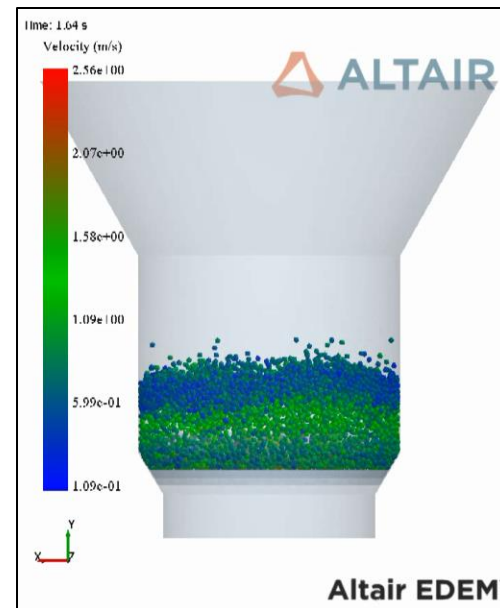
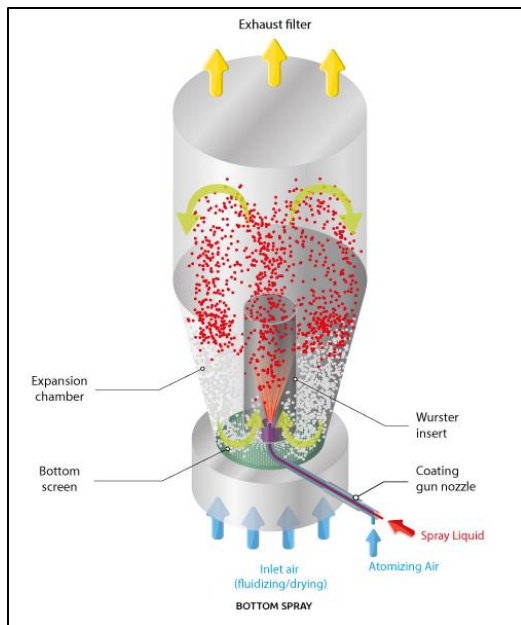


Liquid : Particle = 1:9

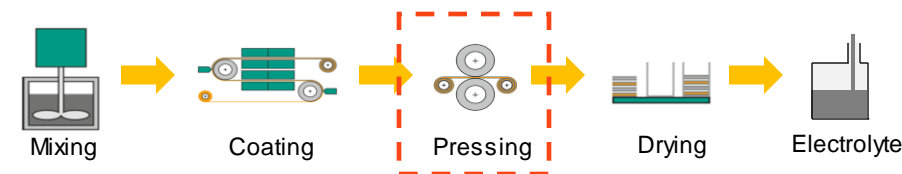
コーティングプロセス



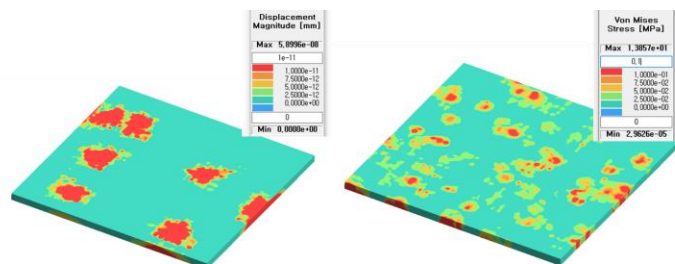
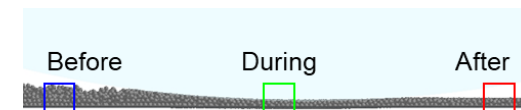
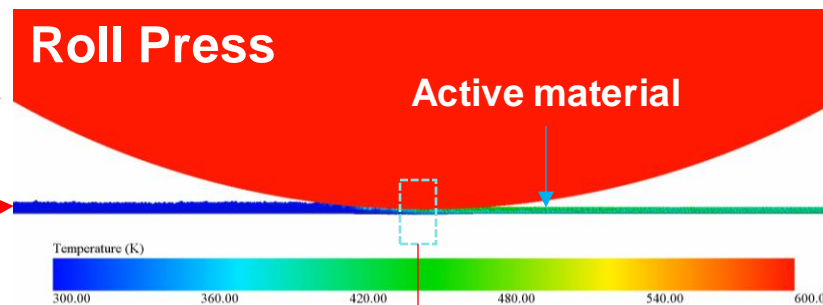
- 微粉末や湿った粒子にとって重要な凝集力や液体架橋力などの粒子表面力を考慮することができます
- 流動床のシミュレーションには、AcuSolveとEDEMの連成解析を利用できます



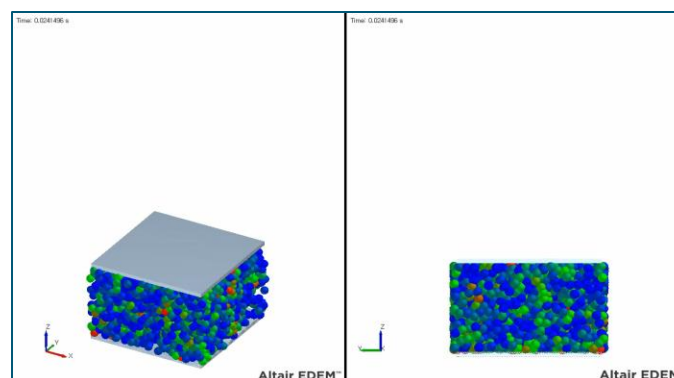
プレスプロセス



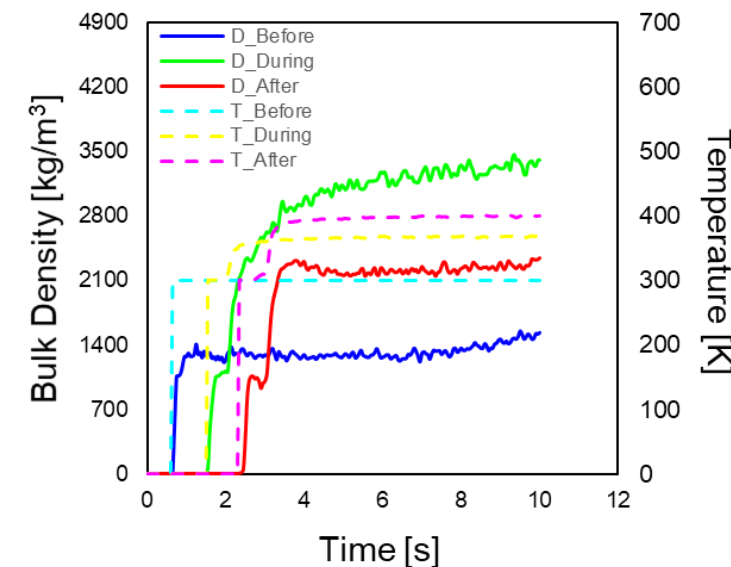
- 高いエネルギー密度のセルの製造には高い圧縮密度の電極が必要です
- 高い圧縮密度を得るには、高圧カレンダー加工が必要です
- 高圧を加えると粒子密度は上がる一方で、粒子の破損や空隙の減少により効率が低下します
- 粒子の挙動をシミュレーションすることによって両立解を求めます



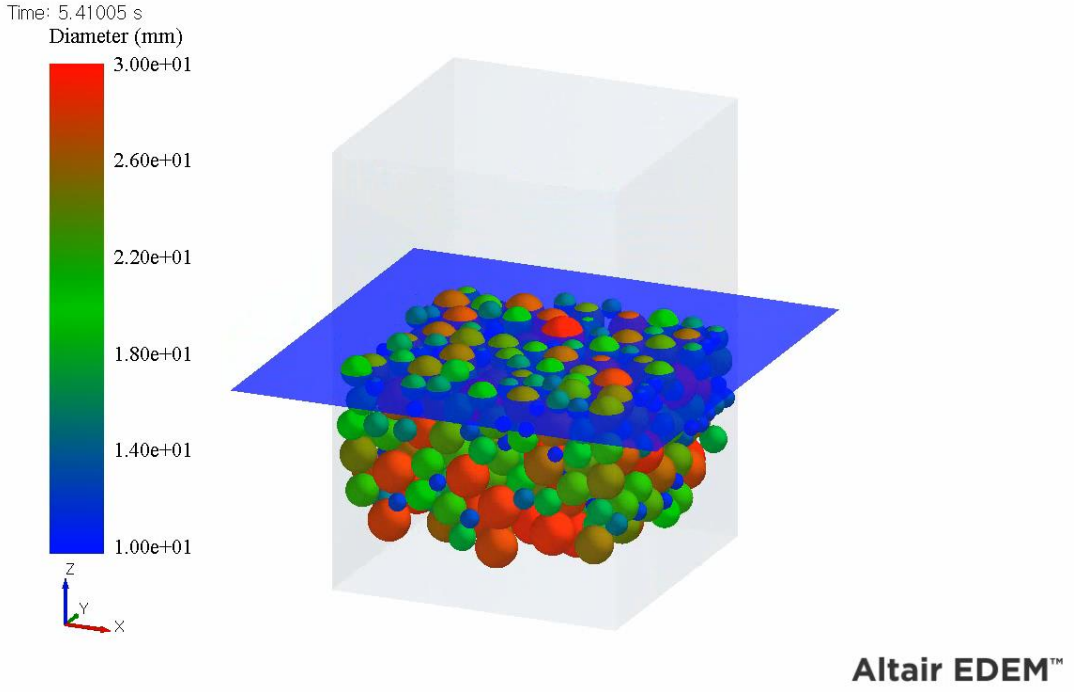
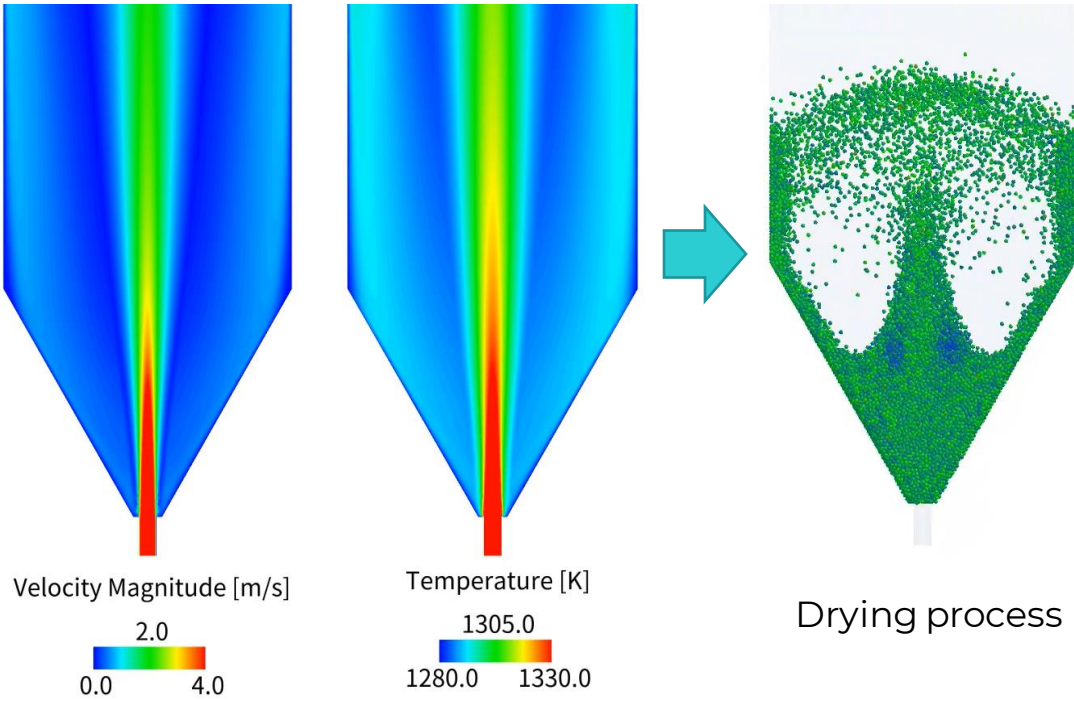
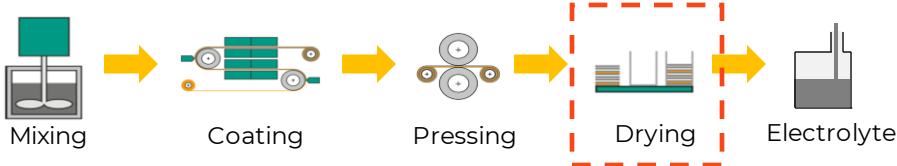
deformation of Cu foil



particle compaction

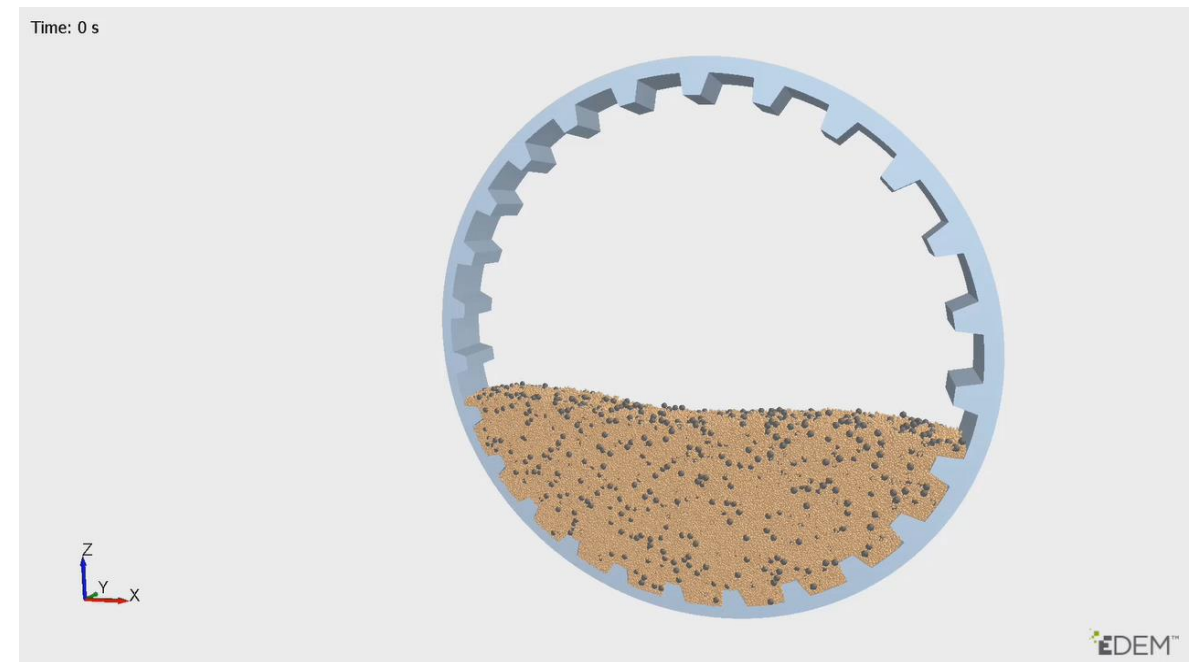
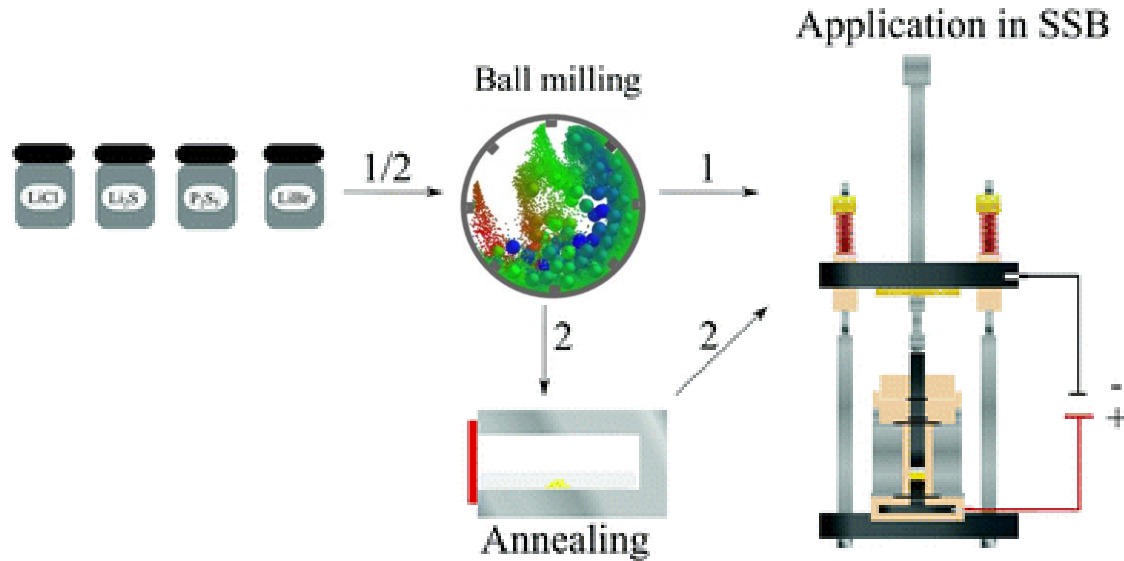
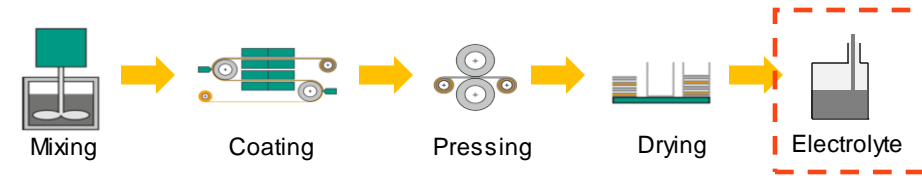


乾燥プロセス



固体電解質プロセス

固体電解質製造プロセス中のSAG Millのシミュレーション

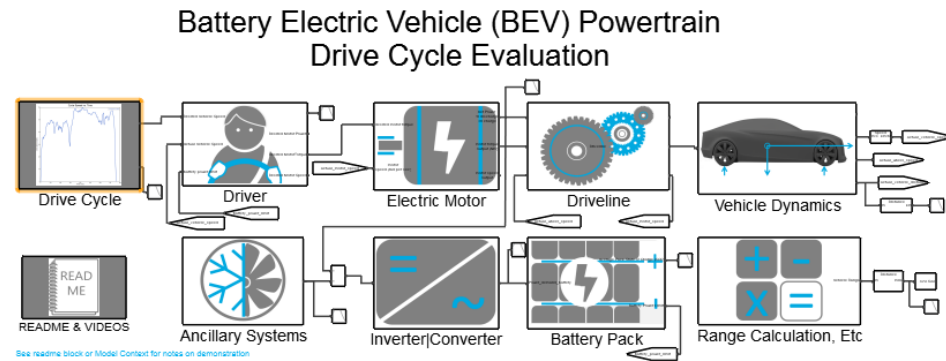


バッテリー製造にEDEMをぜひご活用ください

バッテリー性能の最適化を支えるデジタルツイン

バッテリーシステムシミュレーション

適用シーン / 活用事例

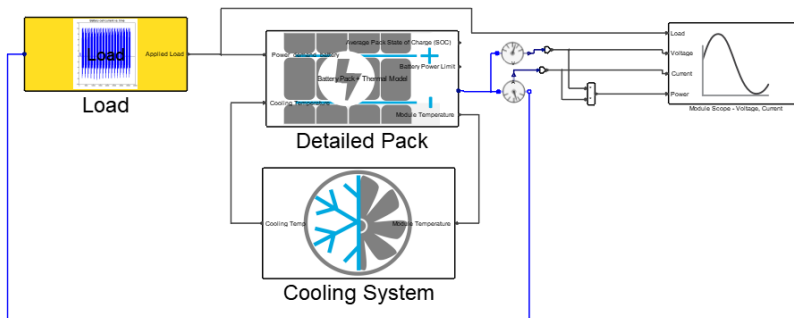


バッテリーEVパワートレイン解析

- バッテリーセル/モジュールの選定
- 各コンポーネントの設計
- システムインテグレーション
- エネルギーマネジメント

Battery Pack - Multiphysics + Controls

Temperature-Dependent Cell Behavior
Cell-Balancing Circuitry
Battery Management System
Cooling System



バッテリーパック詳細解析

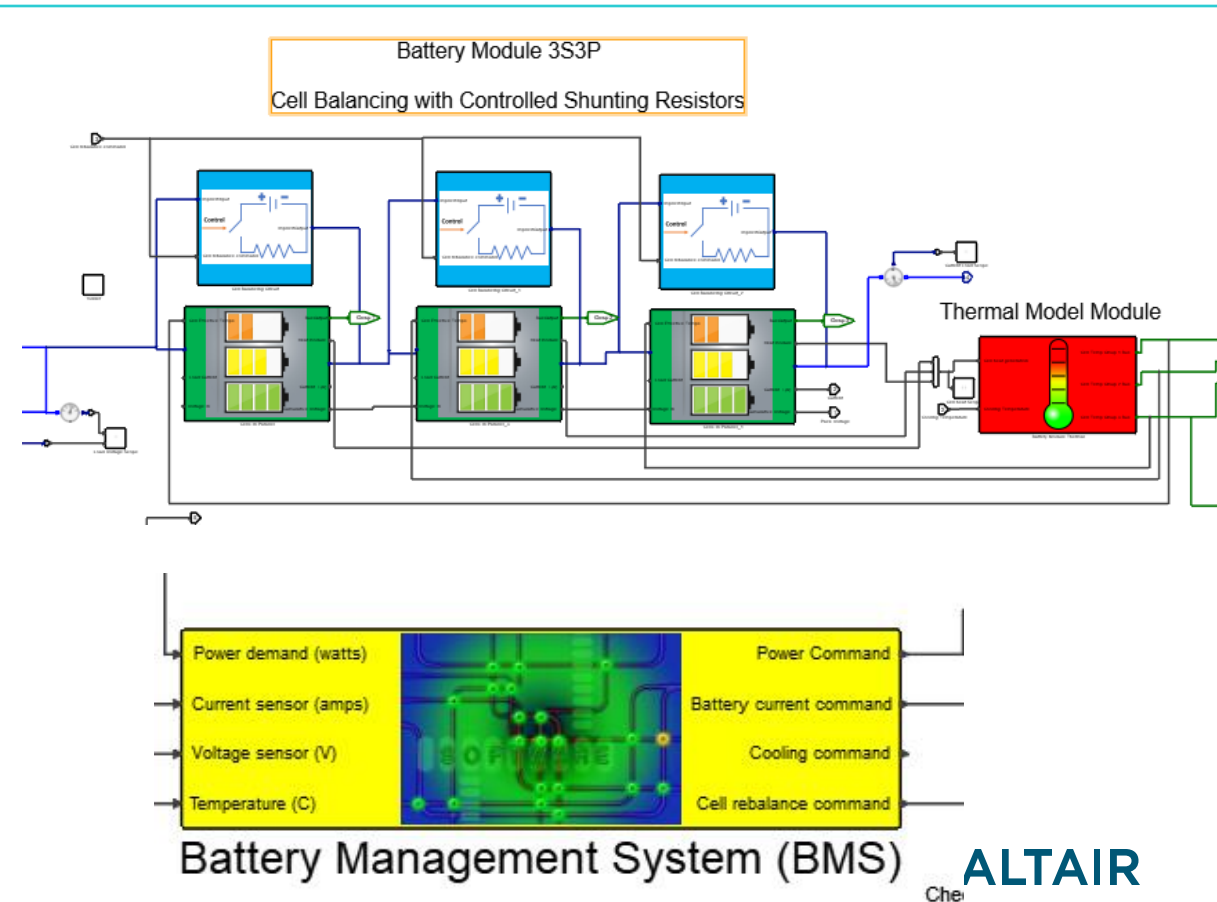
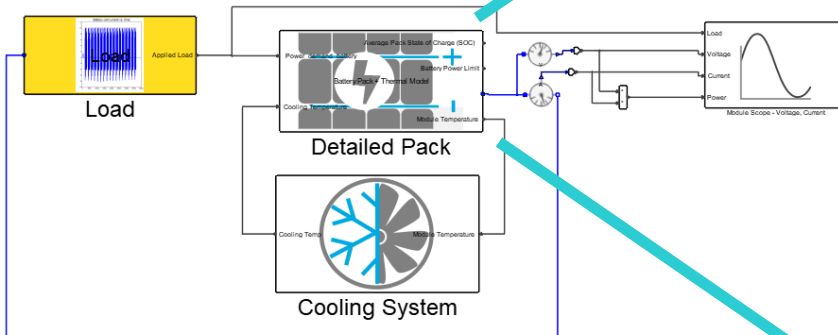
- バッテリーパック性能の評価と検証
- バッテリーマネジメントシステム設計
- 熱マネジメント設計

バッテリーパックのモデリングとシミュレーション

熱依存特性を考慮したセルの解析、セルバランシング回路設計、BMSロジック設計、冷却システム設計

Battery Pack - Multiphysics + Controls

Temperature-Dependent Cell Behavior
Cell-Balancing Circuitry
Battery Management System
Cooling System



Activateによるバッテリーパック充電シミュレーション

The screenshot displays the Altair Activate Business Edition 2020.1 interface. The main workspace shows a simulation model titled "Battery Pack - Multiphysics + Controls". The model includes a "Load" block, a "Detailed Pack" block, and a "Cooling System" block. The "Detailed Pack" block is highlighted with a blue border. The interface also features a Project Browser on the left, a Property Editor, and a Variable Browser. The Palette Browser on the right shows various simulation and control blocks available for use.

Project Browser

- battery_pack_v1_v2020p1
- Detailed Pack
- Battery Management System (B...
- SOC estimate
- Coulomb_couting
- Kalman filter (Future, not...
- Safety limits
- Limited SOC
- Limited SoC

Property Editor

Name	Value
General	
Name	Detailed Pack
Name Font	Arial,36,Normal
Text	Battery Pack + Thermal Mo...
Text Font	Arial,12,Normal

Variable Browser

Name	Value	Type
------	-------	------

Palette Browser

- Activate
- Communicate
- Arduino
- Modelica
- HydraulicsByFluidon
- HyperSpice
- ROM

電動パワートレインのシステムシミュレーション



Project Browser

- BEV_v2
 - Drive Cycle
 - README
 - System topology
 - SuperBlock
 - Electric Motor
 - Motor Sizing - Unlimited Speed and Torq.
 - Motor - Testing: Limited Torque and Spe.
 - Efficiency Metrics
 - Efficiency Map
 - Motor - Design - Rated Speed and Efficie...

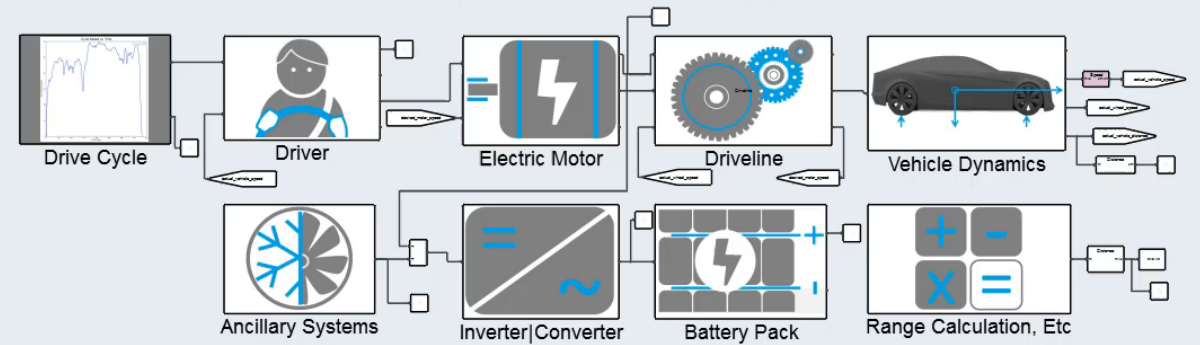
Property Editor

Name	Value
General	
Name	BEV_v2

Demo Browser

- Activate
- Modelica
- HydraulicsByFluidon
- HyperSpice
- tutorial_models

Battery Electric Vehicle (BEV) Powertrain Drive Cycle Evaluation



EVパワートレインとデジタルツインプラットフォームの統合



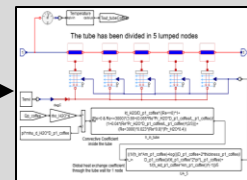
- フィールド上の車両群のセンサーデータを取得
- リアルタイムのデータを利用した機械学習(RapidMiner)
- リアルタイムデータの可視化から重要な指標を予測・評価 (Panopticon)
- より深い考察のためのデジタルツインモデルのアップデート (HyperWorks)
- 車両へのOTAを利用したフィードバックと次機種開発へのフィードバック

バッテリーに関するテレメトリーデータ

環境に応じた最適なエネルギーマネジメントの実現に
Altairのデジタルツインと機械学習をご利用ください

データ (センサー・制御)

リアルタイムデータ
制御パラメータ
アップデート

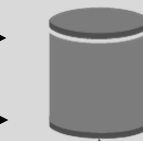


RapidMiner
時々刻々と変化する
バッテリー残容量予測



デジタルツインモデル

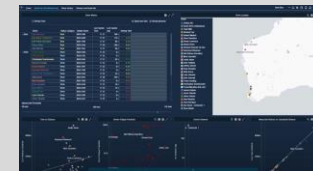
サイクル数/
温度/電流/
電圧/日時
SOC/SOH



DataBase

SOC/SOH
予測結果

各種データ



Panopticon + RMサロゲート
(データの可視化/予測)

SOC/SOHのリアルタイム予測結果および制御パラメータのアップデート情報

まとめ

まとめ

- 車両の中で最もコスト/重量を占める部品の車体について、高性能かつ最軽量な車体を効率よく開発を進めることを支援するツール：C123 / HyperAutomation
- 高エネルギー密度、高速な充電、これらをブレークスルーできる可能性のある全固体電池に代表される次世代バッテリー開発を支えるシミュレーション技術：EDEM
- ユーザーの使用環境に適したエネルギーマネジメントの実現によりEVの航続距離最大化を支援するツール、アルテアのデジタルツイン技術と機械学習：Activate / RapidMiner

ぜひアルテアのソリューションをご活用ください



THANK YOU

altair.com



#ONLYFORWARD