

AI・最適化・シミュレーションのエネマネ開発への活用法

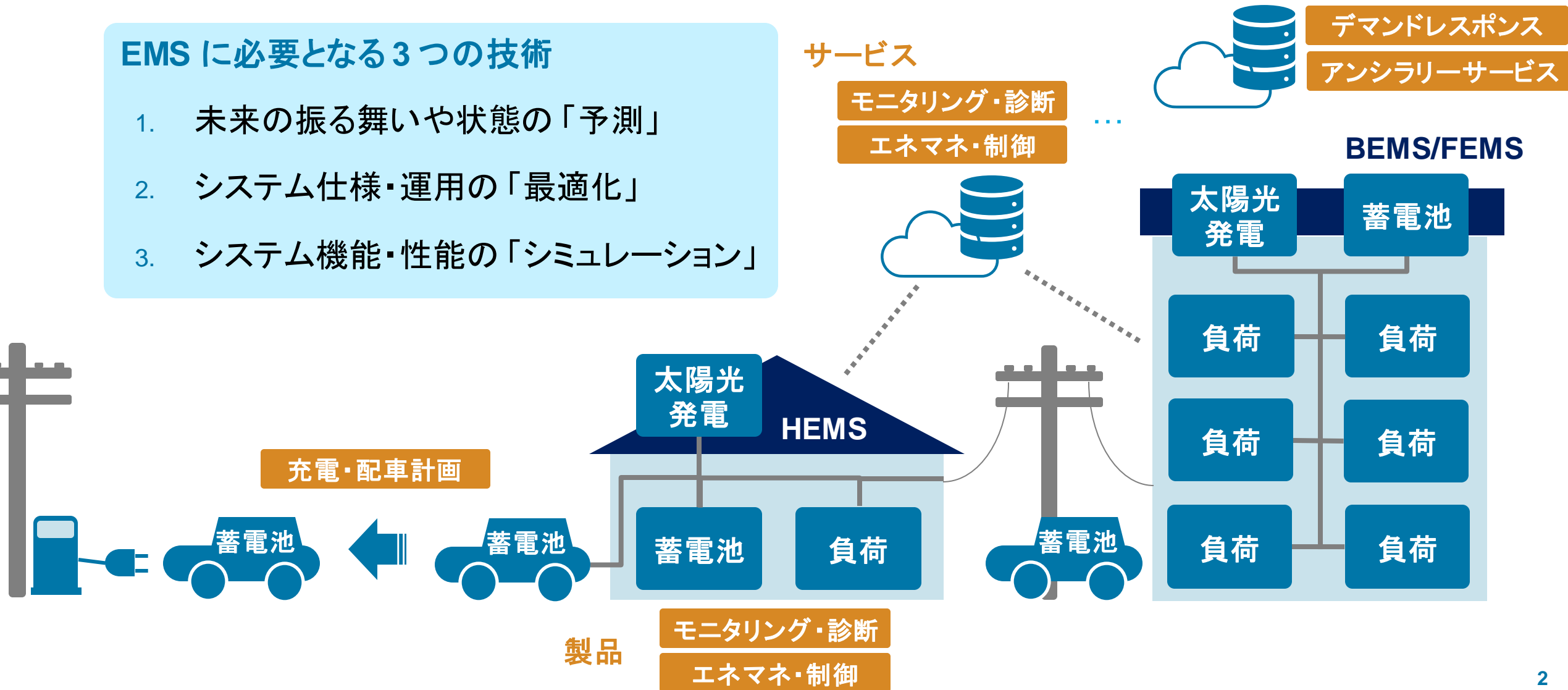
再エネやバッテリーを活かしたシステムづくりへ

MathWorks Japan

エネルギーマネジメントシステム(EMS)は家庭、ビル、工場などで使用される多様な形態のエネルギーを運用・管理するシステム

EMS に必要な3つの技術

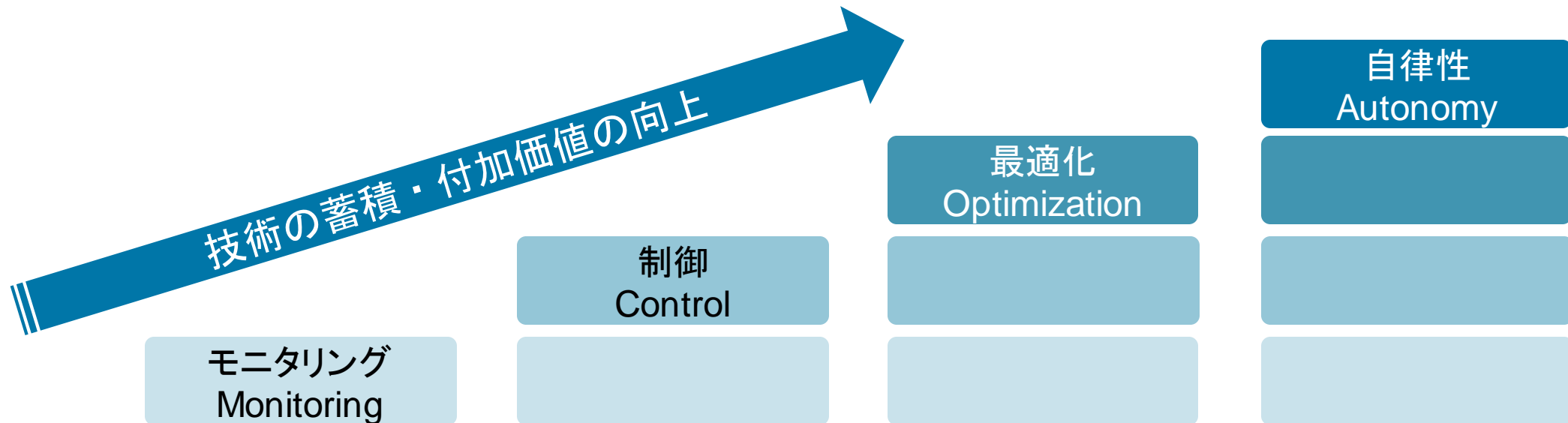
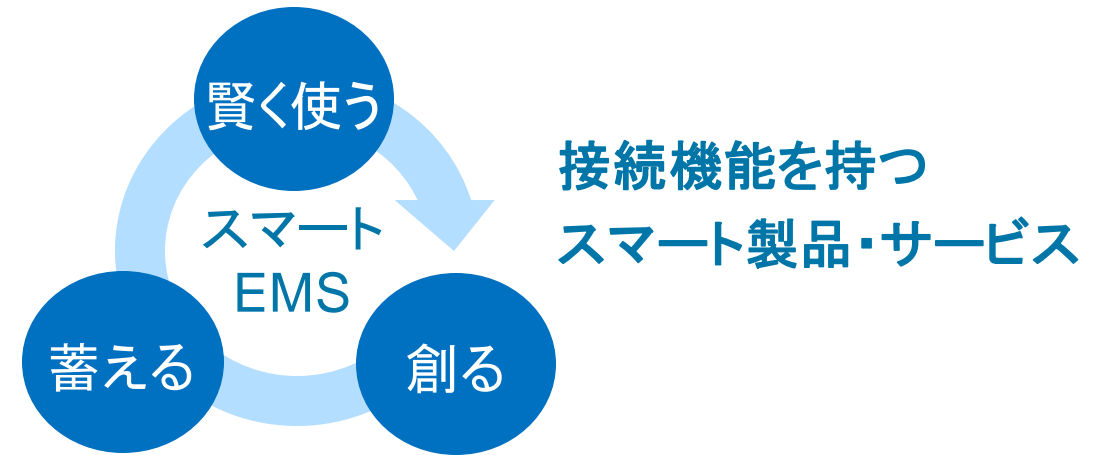
1. 未来の振る舞いや状態の「予測」
2. システム仕様・運用の「最適化」
3. システム機能・性能の「シミュレーション」



エネルギーマネジメントシステム(EMS)の開発に 高度な技術を効率良く取り入れてゆきたい

EMS に必要となる3つの技術

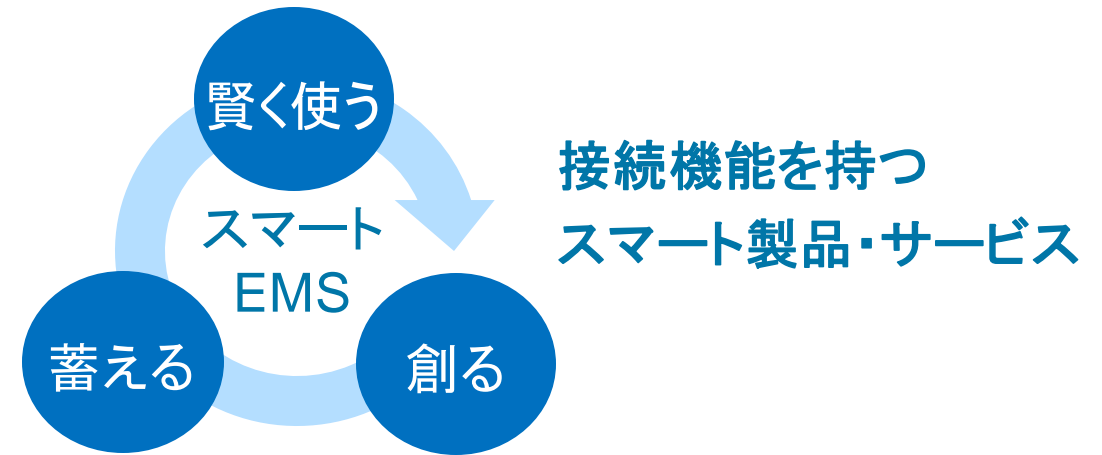
1. 未来の振る舞いや状態の「予測」
2. システム仕様・運用の「最適化」
3. システム機能・性能の「シミュレーション」



エネルギーマネジメントシステム(EMS)の開発に 高度な技術を効率良く取り入れてゆきたい

課題：生産性と創造性の向上

- 高度な数理技術をより身近に使いこなす
- システム視点の分析、問題解決ができる
- 開発サイクルを早く、賢く繰り返す



モニタリング
Monitoring

制御
Control

最適化
Optimization

自律性
Autonomy

AI・最適化・シミュレーションのエネマネ開発への活用を加速

1

EMS の価値やニーズは 今後より一層高まってゆく

- エネルギーマネジメントは重要な経営課題となる
- EMS 市場の規模は堅調に拡大している

2

MATLAB で EMS アプリ開発の 生産性と創造性を高める

- 高度な数理技術を手軽に応用・融合し付加価値の高い作業に注力する
- 開発したアプリを製品/サービスへ容易に展開する

内容

1. EMS の価値やニーズは今後より一層高まってゆく
2. MATLAB で EMS アプリ開発の生産性と創造性を高める
3. AI・最適化・シミュレーションのエネマネ開発への活用法
 - 電力需要の予測
 - 蓄電池の充放電計画
 - HEMS のシミュレーション
4. まとめ

エネルギーマネジメントは重要な経営課題となる

1. 経済的利点

- 電気料金の変動
- 太陽光発電設備の値下がり
- 卒 FIT(売電価格の下落、地産地消の利点)

2. 環境イニシアチブ

- SDGs (Goal 7. Affordable and Clean Energy)
- RE100 (サプライチェーンへの拡大へ)
- 2050 年カーボンニュートラル宣言
- 再エネ 100 宣言 RE Action

3. 事業継続計画(BCP)対策

- BCP(Business Continuity Plan): 緊急時における事業の継続・復旧マネジメント
- 自然災害など非常時に備えた電源確保

EMS 市場の規模は堅調に拡大している

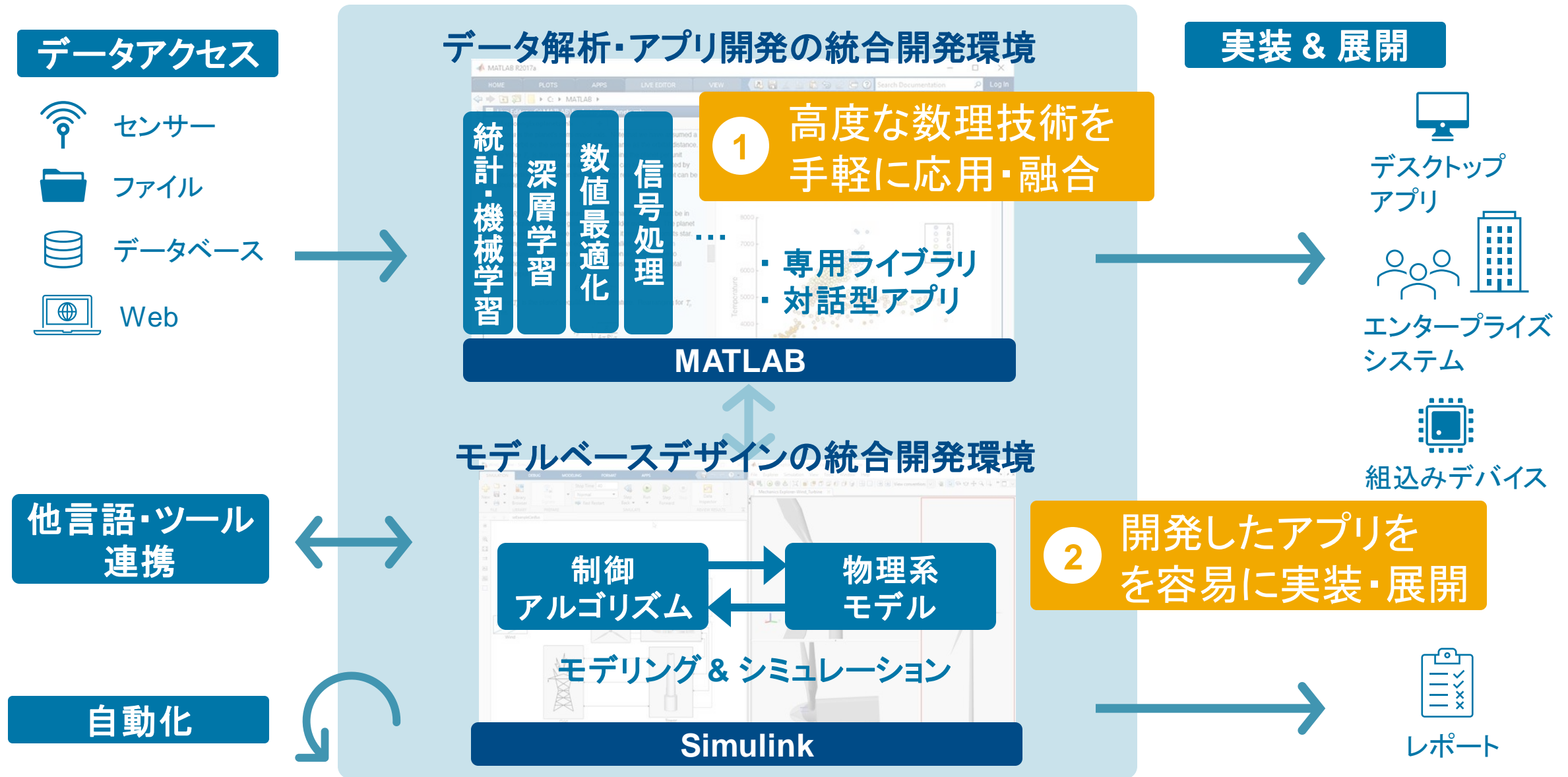
EMS 関連の国内市場は 2030年に向けて **50%** 程度(2019年比)の成長が予想



引用元: 日本経済新聞「富士経済、エネルギー管理システム(EMS)関連の国内市場調査結果を発表」(2020年12月21日)

https://www.nikkei.com/article/DGXLRSP602184_R21C20A2000000/

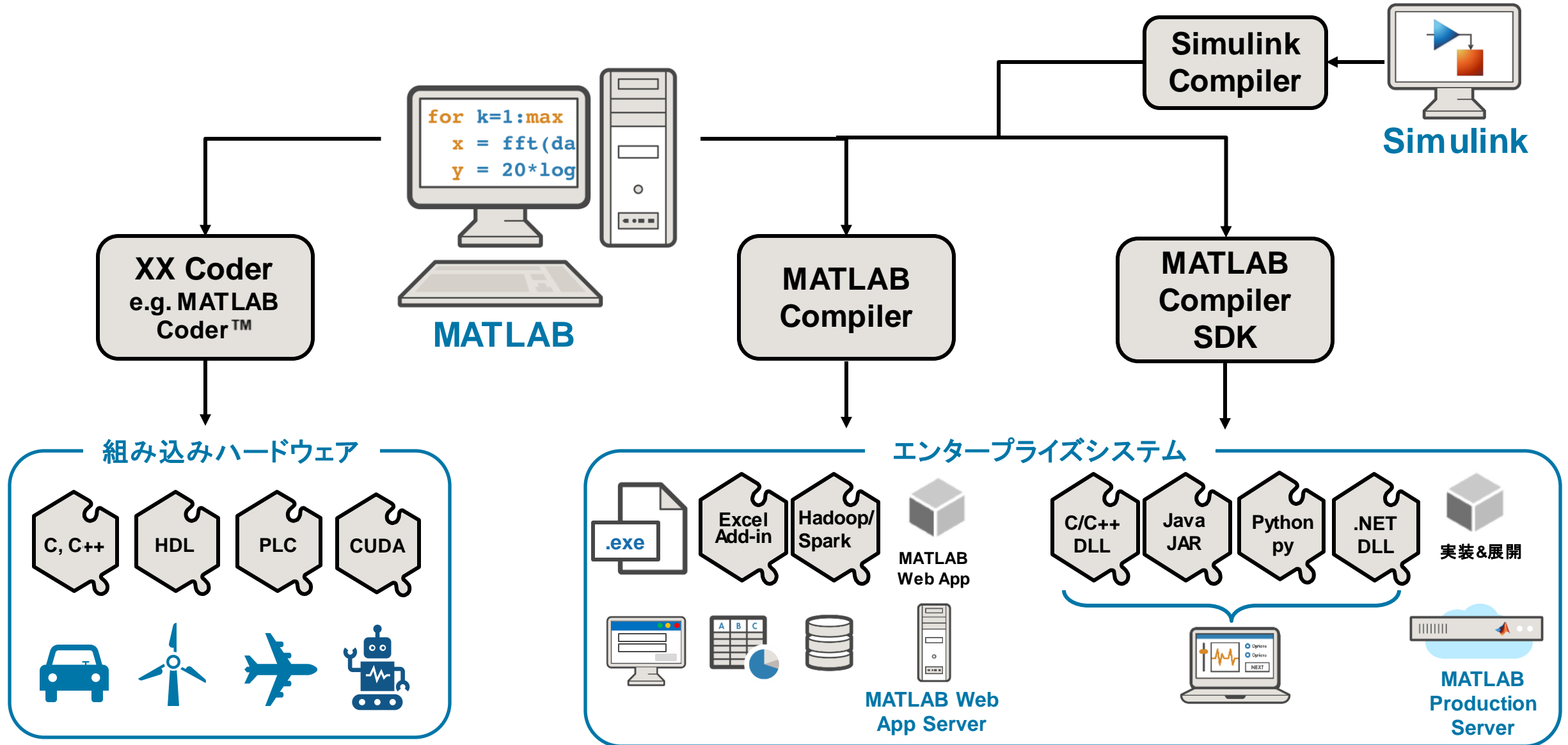
MATLAB で EMS アプリ開発の生産性と創造性を高める






EMS アプリ開発に有効なツール

分類	製品	機能例
予測モデリング	Deep Learning Toolbox 注目	ディープラーニング ネットワークの設計、学習、解析
	Statistics and Machine Learning Toolbox	統計と機械学習を使用してデータを解析およびモデル化
	Econometrics Toolbox	統計的手法による金融および経済システムのモデル化と解析
	System Identification Toolbox	システム同定(線形・非線形)
状態推定	Control System Toolbox	線形/非線形カルマンフィルタ(EKF・UKF)、粒子フィルタ(PF)
予知保全	Predictive Maintenance Toolbox	状態監視および予知保全アルゴリズムの設計およびテスト
数値最適化 汎用ソルバー	Optimization Toolbox 注目	線形計画法(LP)、混合整数線形計画法(MILP)、二次計画法(QP)、非線形計画法(NLP)
	Global Optimization Toolbox	サロゲート法、パターン探索法、遺伝的アルゴリズム法、粒子群法、シミュレーテッド アニーリング法、マルチスタート法、大域的探索法
	Model Predictive Control Toolbox	モデル予測制御(MPC)設計専用ツール
システム シミュレーション	Simulink	モデルベースデザイン、シミュレーションためのブロック線図環境
	Stateflow	状態遷移図やフローチャートによるモデリング
	Simscape 注目	複合物理モデリングとシミュレーション、1D-CAE の基本環境
	Simscape Electrical	電子・メカトロ・電力系のモデリング
並列処理	Parallel Computing Toolbox	マルチコアコンピューター・GPU・クラスターで並列処理

開発したアプリの展開・実装



ツール導入効果

Building IQ	<p>予測最適化によって大規模ビルのHVAC エネルギーコストを最小限に抑えるリアルタイムシステムを開発</p> <ul style="list-style-type: none">• ギガバイト単位のデータを解析して可視化• アルゴリズムの開発速度が <u>10 倍</u> 高速化• 最良のアルゴリズム手法を迅速に特定	
村田製作所	<p>モデルベースデザイン(MBD)によりエネマネシステム制御ソフトの開発期間を <u>50% 以上</u> 短縮</p> <ul style="list-style-type: none">• 制御ソフトウェア開発期間を <u>50% 以上</u> 短縮• 欠陥のないコード生成• プロジェクトの始動を迅速化	
Carnegie Wave Energy	<p>世界初の波力発電ファームを開発・運用</p> <ul style="list-style-type: none">• スケールテストを最小限に抑制• 設計に対する重要な洞察を獲得• 感度解析を促進	

※ ツール導入事例のリストは本資料の付録をご参照ください

AI・最適化・シミュレーションのエネマネ開発への応用

1. 現在/未来の振る舞いや状態の「予測」

電力需要/供給、価格、故障、品質、EV/PHEV 利用

例題 電力需要の予測

2. システム運用・仕様の「最適化」

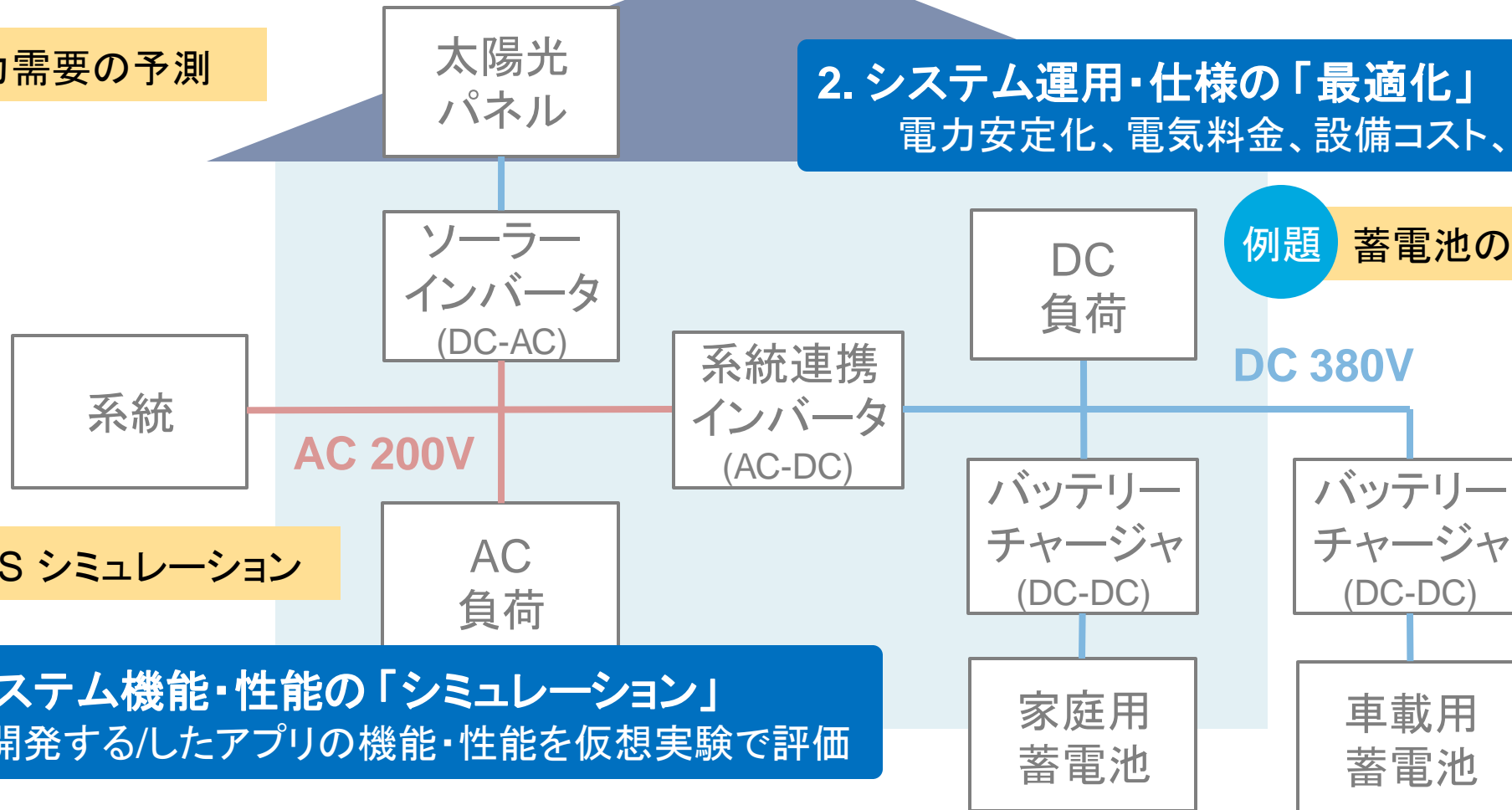
電力安定化、電気料金、設備コスト、インセンティブ

例題 蓄電池の最適充放電計画

例題 HEMS シミュレーション

3. システム機能・性能の「シミュレーション」

開発する/したアプリの機能・性能を仮想実験で評価



1. 電力需要の予測

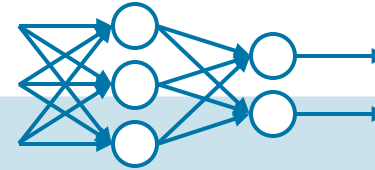
電力負荷や気象データから「電力需要を予測」する「AI モデル」を作成する



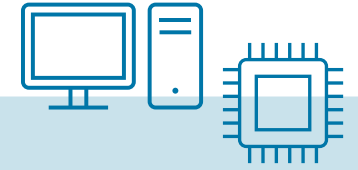
複数 Excel ファイル
の読み込み



データ前処理・
特徴量計算



ニューラルネットワーク
の作成・学習・テスト



予測モデル/アプリ
の配布

データアクセス



センサー



ファイル



データベース

データ解析



データ探索



前処理



専門的な
アルゴリズム

開発



AI モデル



アルゴリズム
開発

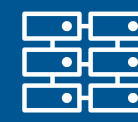


モデリング &
シミュレーション

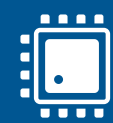
実装 & 展開



デスクトップ
アプリ



エンタープライズ
システム



組み込み
デバイス

入出力の時系列データを用いてニューラルネットワークを学習する

気象

1. 乾球温度 [F]
2. 露点温度 [F]

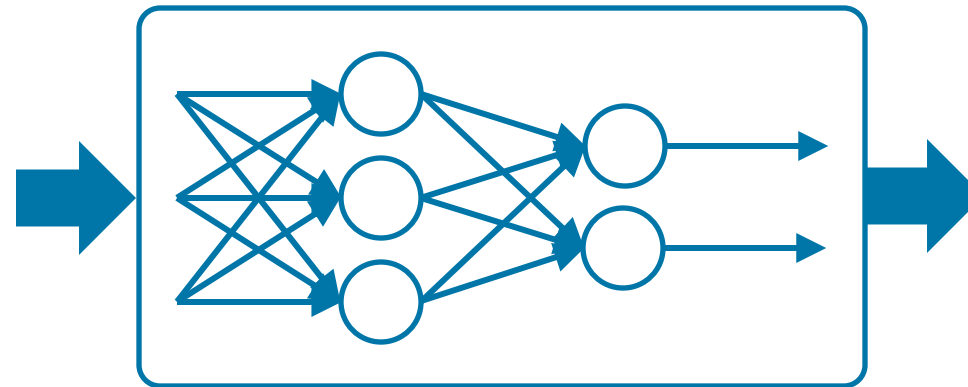
季節

3. 時間 [hour]
4. 曜日 [day]
5. 休日/祝日フラグ [0-1]

負荷履歴

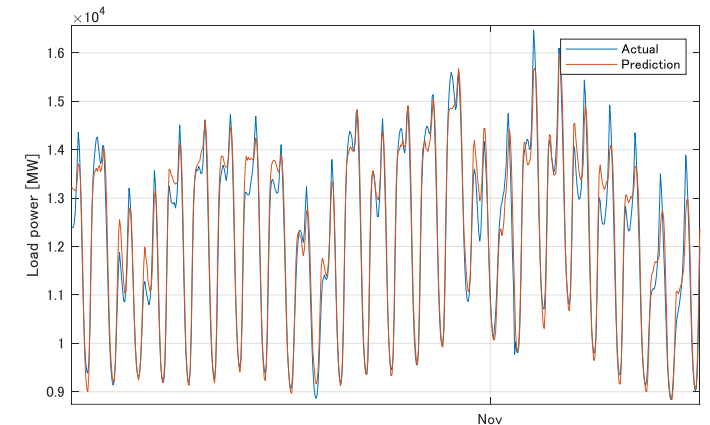
6. 前週同時刻の負荷 [MW]
7. 前日同時刻の負荷 [MW]
8. 1日移動平均負荷 [MW]

ニューラルネットワーク



Deep Learning Toolbox

電力負荷



2. 蓄電池の最適充放電計画

24 時間先までの「電気料金が最小」となるように「蓄電池の充放電を計画」する

蓄電池の充放電スケジューラ

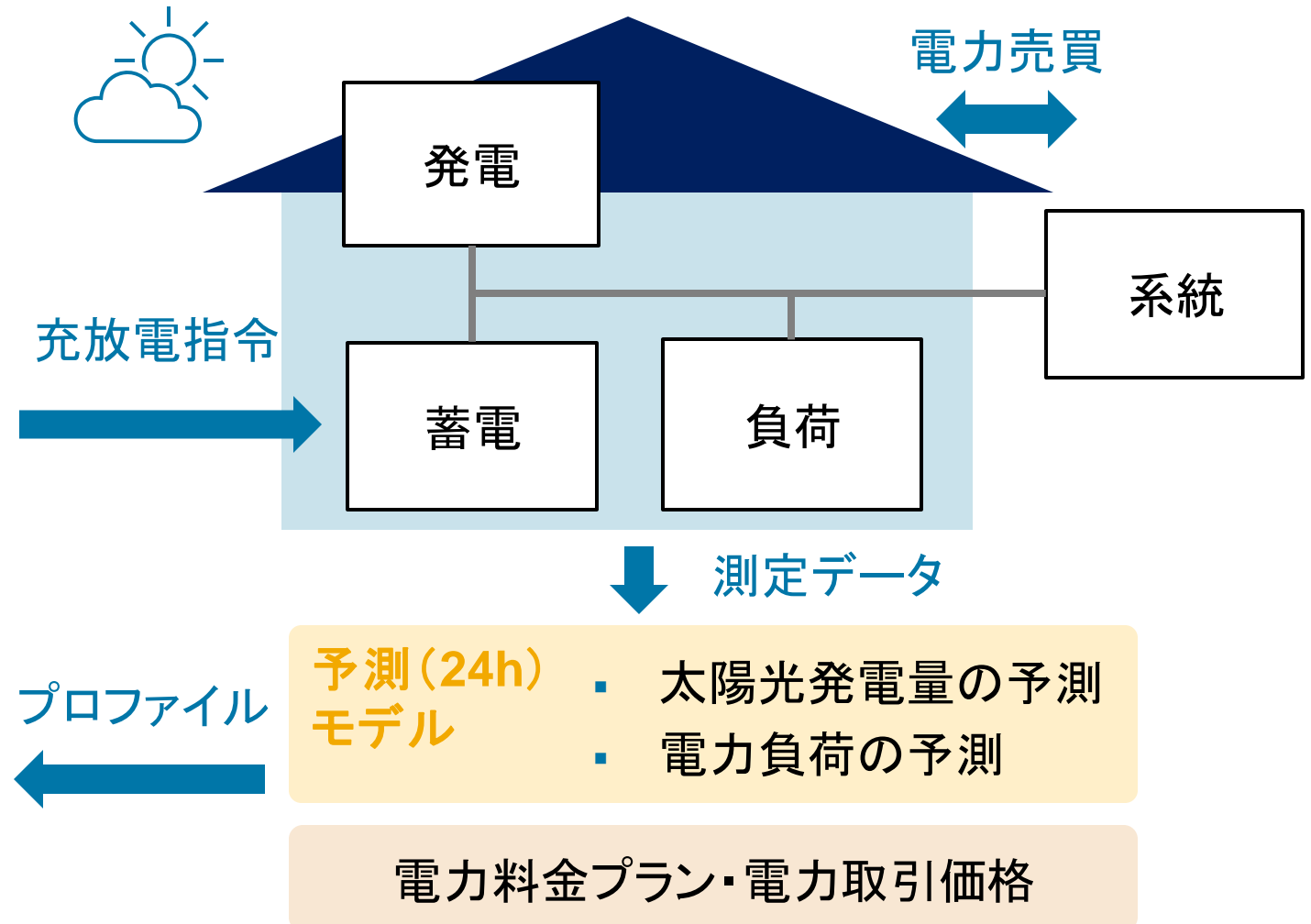
Find: 蓄電池の充放電プラン(24h)

Min: 電気料金(24h)

Sub. to

- 需給バランス
- 蓄電池の動特性
- 最大売電量
- 逆潮流防止
- 蓄電容量
- 充放電量の上下限
etc

Optimization Toolbox



最適化問題の定式化例： 混合整数線形計画問題(MILP)

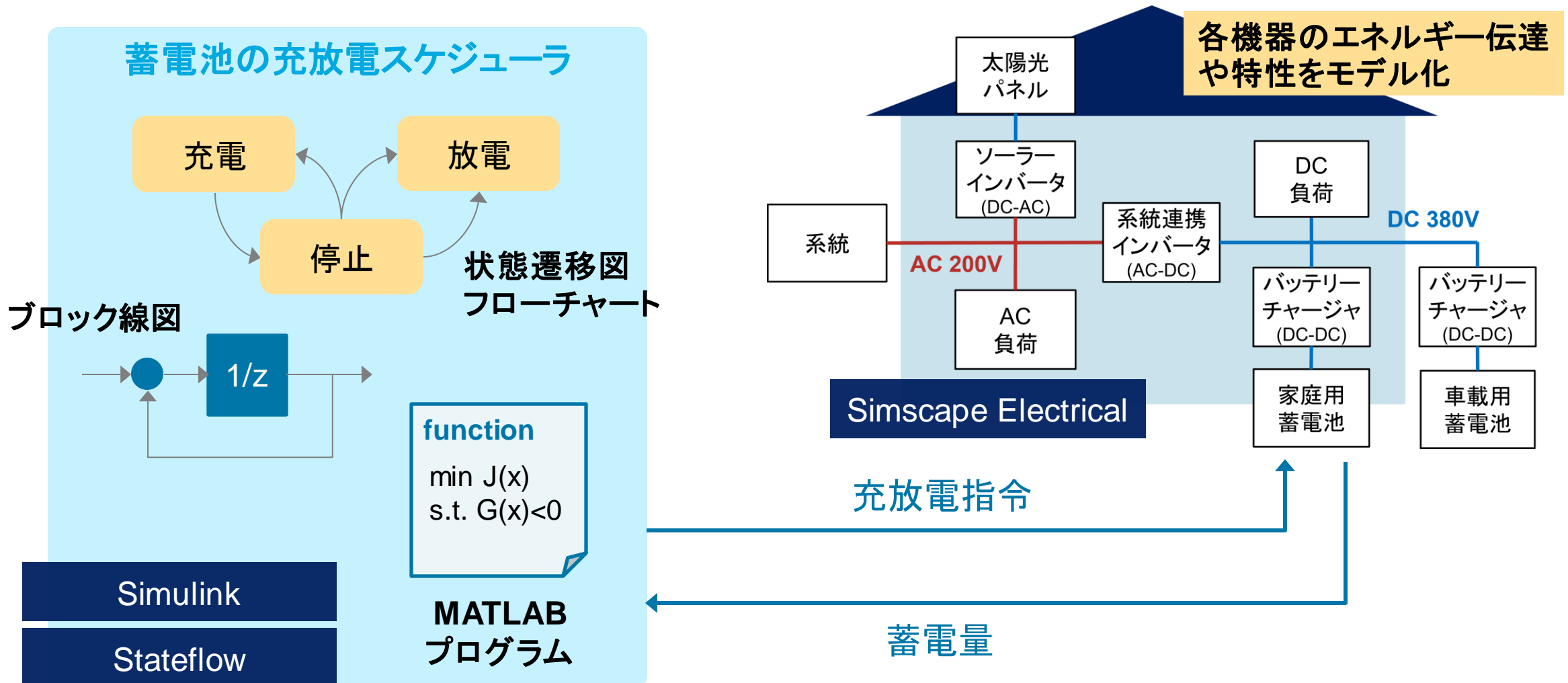
目的関数	
電気料金の積算	$J = \sum_{i=1}^N \text{支出 } C_{buy}(i)P_{buy}(i) - \text{収入 } C_{sell}(i)P_{sell}(i)$ $N = 24 \text{ hour}$ $dt = 0.5 \text{ hour}$
等式制約	
電力需給バランス	$P_{load} = P_{buy} - P_{sell} + P_{battD} - P_{battC} + P_{pv}$
蓄電量ダイナミクス	$E_{batt}(i+1) = E_{batt}(i) + dt \cdot \eta_{batt} P_{battC} - \frac{dT}{\gamma_{batt}} P_{battD}$
蓄電量初期条件	$E_{batt}(1) = E_{batt}(N)$
蓄電量終端条件	$E_{batt}(N) = E_{batt}^{max}$
不等式制約	
蓄電池放電量上限	$\frac{dT}{\gamma_{batt}} P_{battD} \leq E_{batt}$
蓄電池充電量上限	$E_{batt} + dt \eta_{batt} P_{battC} \leq E_{batt}^{cap}$
最大売電電力	$P_{sell} \leq P_{pv}$
買電/売電の論理制約	$0 \leq P_{buy} \leq M \delta_{trade} \text{ and } 0 \leq P_{sell} \leq M (1 - \delta_{trade})$
放電/充電の論理制約	$0 \leq P_{battC} \leq P_{battC}^{max} \delta_{batt} \text{ and } 0 \leq P_{battD} \leq P_{battD}^{max} (1 - \delta_{batt})$

設計変数	
P_{buy}	買電電力 [W]
P_{sell}	売電電力 [W]
C_{buy}	買電単価 [JPY/Wh]
C_{sell}	売電単価 [JPY/Wh]
E_{batt}	蓄電池の残容量 [Wh]
P_{battD}	蓄電池の放電出力 [W]
P_{battC}	蓄電池の充電出力 [W]
δ_{trade}	売電/買電 (0-1値)
δ_{batt}	放電/充電 (0-1値)

電力プロファイル(予測)	
P_{load}	消費電力 [W]
P_{pv}	発電電力 [W]

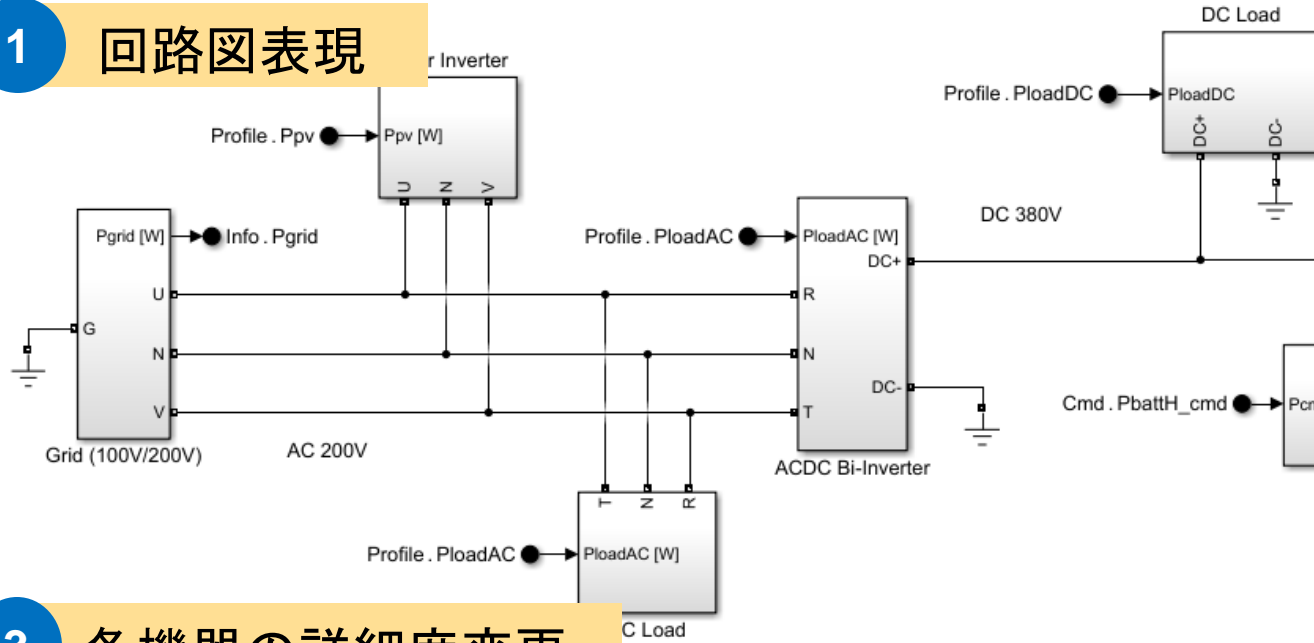
3. HEMS のシミュレーション

蓄電池の充放電スケジュールを「システムシミュレーション」で性能評価する

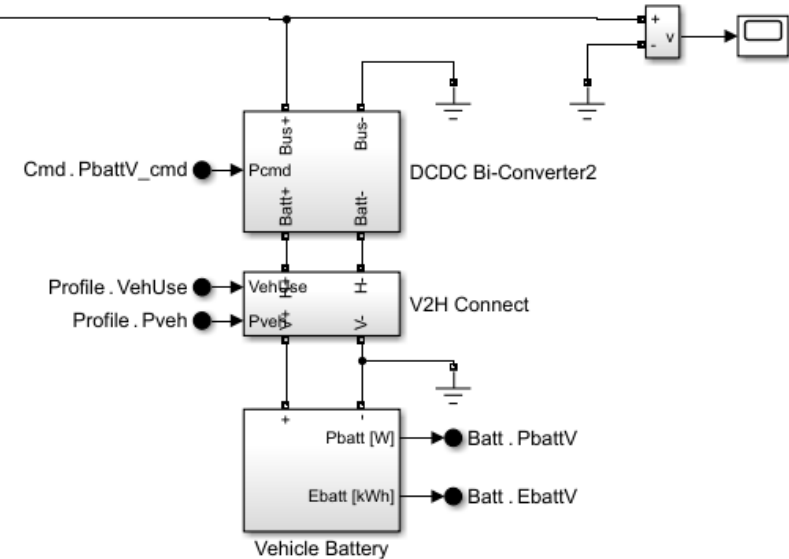


1D-CAE でエネルギーの流れを見通しよくシンプルに表現する

1 回路図表現

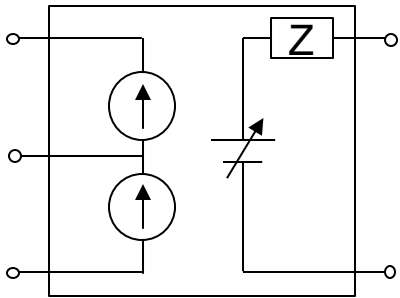


2 高い拡張性・再利用性

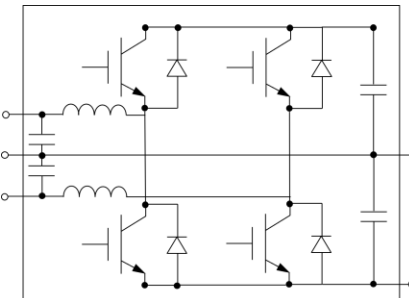


3 各機器の詳細度変更

等価回路で機器特性
をモデル化



回路構成・素子特性
をモデル化



物理・機能を
抽象化

4 データとの融合

【応用例】蓄電池を活用したモデル予測型 HEMS

蓄電池の充放電スケジュール (オンライン最適化)

Find: 蓄電池の充放電プラン(24h)

Min: 電気料金(24h)

Sub. to

- 需給バランス
- 蓄電池の動特性
- 最大売電量
- 逆潮流防止
- 蓄電容量
- 充放電量の上下限
etc

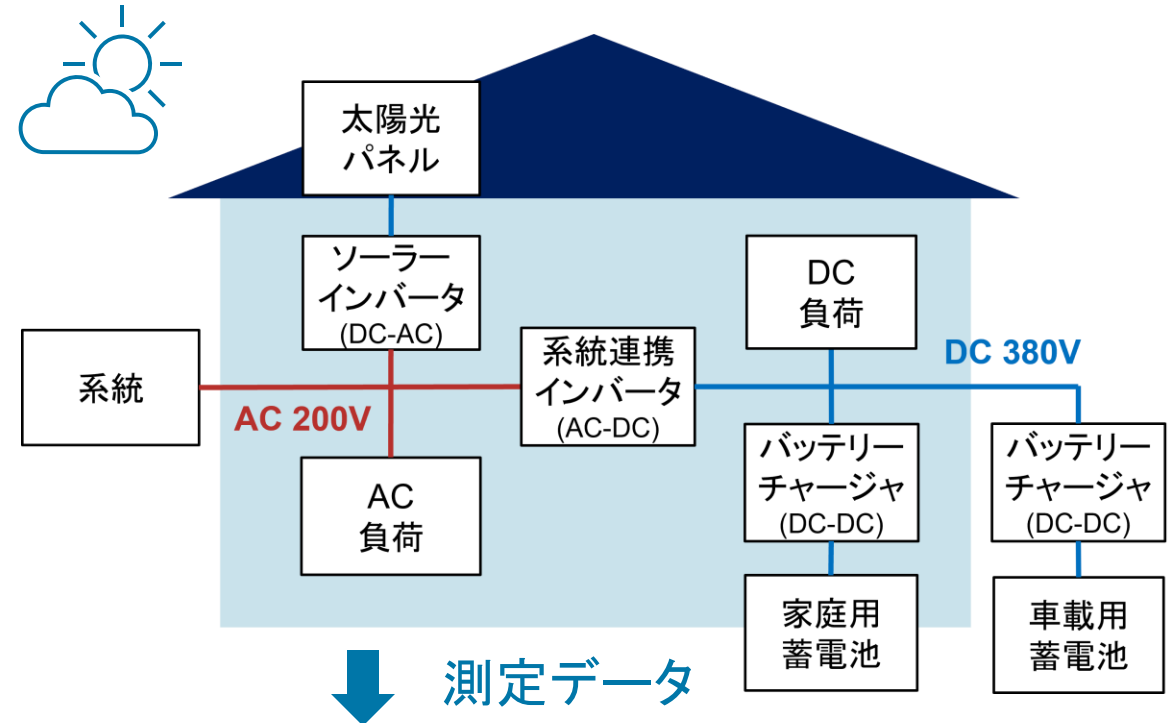
充放電指令



蓄電量



予測
プロファイル



予測(24h)モデル

- 太陽光発電量の予測
- 電力負荷の予測
- 車使用の予測

電力料金プラン・電力取引価格

AI・最適化・シミュレーションのエネマネ開発への活用を加速

1

EMS の価値やニーズは 今後より一層高まってゆく

- エネルギーマネジメントは重要な経営課題となる
- EMS 市場の規模は堅調に拡大している

2

MATLAB で EMS アプリ開発の 生産性と創造性を高める

- 高度な数理技術を手軽に応用・融合し付加価値の高い作業に注力する
- 開発したアプリを製品/サービスへ容易に展開する

付録

導入事例

社名・組織名	テーマ	公開方法
株式会社ダイヘン	VPPを実現するエネルギーマネジメントシステムのモデルベース開発 [video] presentation video [pdf] presentation slide	MATLAB EXPO 2021, Japan
国立研究開発法人 産業技術総合研究所	Simscape Electrical を用いた直流マイクログリッドの解析 [video] presentation video [pdf] presentation slide	MATLAB EXPO 2021, Japan
富士電機株式会社	分散型電源モデルを含めた電力系統用 HIL シミュレータと Simulink 適用事例 [pdf] presentation slide	MATLAB EXPO 2019, Japan
芝浦工業大学	スマートグリッドなどの電力システム解析および制御への適用事例 [pdf] presentation slide	MATLAB EXPO 2018, Japan
パナソニック株式会社	モデル予測制御を用いた蓄電池エネルギーマネジメント制御開発 [pdf] presentation slide	MATLAB EXPO 2017, Japan

導入事例

社名・組織名	テーマ	公開方法
株式会社村田製作所	ムラタ流 MBD: エネルギーマネジメントシステム向け組み込み開発の事例 [user story] mathworks.com [pdf] presentation slide	MathWorks User Story MATLAB EXPO 2017, Japan
国立研究開発法人 産業技術総合研究所	産総研 FREA によるスマートグリッド開発プラットフォーム開発事例 [pdf] presentation slide	MATLAB EXPO 2016, Japan
電気学会「電力需給解析モデル標準化調査専門委員会」	系統解析シミュレーションベンチマークモデル開発事例 [user story] mathworks.com [pdf] presentation slide	MathWorks User Story MATLAB EXPO 2016, Japan
株式会社デンソー	MATLAB によるエネルギーマネジメント統合開発	MATLAB EXPO 2015, Japan
オムロン株式会社	単独運転防止技術を搭載したパワーコンディショナ制御の開発 [user story] mathworks.com [pdf] presentation slide	MathWorks User Story MATLAB EXPO 2013, Japan

導入事例

社名・組織名	テーマ	公開方法
BuildingIQ	大規模ビルの HVAC エネルギーを予測して最適化するアルゴリズムを開発 [user story] mathworks.com	MathWorks User Story (日本語訳あり)
Plug Power	<i>Plug Power Accelerates Fuel Cell Control Development</i> [user story] mathworks.com	MathWorks User Story
Carnegie Wave Energy	<i>Carnegie Wave Energy Designs and Builds the World's First Operating Wave Farm</i> [user story] mathworks.com	MathWorks User Story
Stem	<i>Stem Accelerates Development of Power Electronics Control Systems with Model-Based Design</i> [user story] mathworks.com [Q&A] mathworks.com	MathWorks User Story

導入事例

社名・組織名	テーマ	公開方法
ABB, Deltamarin, and VTT	<i>ABB, Deltamarin, and VTT Simulate and Optimize Ship Energy Flows</i> [user story] mathworks.com	MathWorks User Story
Sandia National Laboratories	Sandia National Laboratories Simulates Hawaii Microgrid and Photovoltaic Systems [user story] mathworks.com	MathWorks User Story
Alstom Grid	<i>Alstom Grid Develops High-Voltage Direct Current Transmission Control System Using Model-Based Design</i> [user story] mathworks.com	MathWorks User Story