

# これから始める！モデルベース開発（初心者向け）

MathWorks Japan  
Application Engineering Group

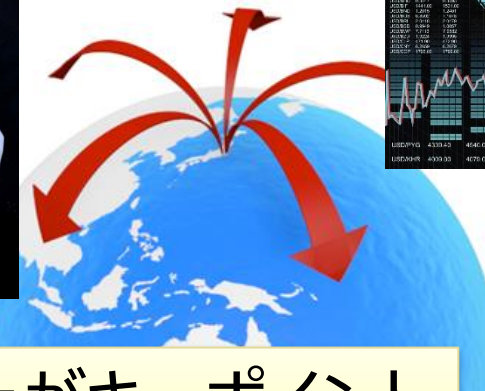
# アジェンダ

- モデルベース開発（MBD）の概要とそのねらい
- 代表的なモデルベース開発手法および各社の取り組み事例
- モデルベース開発成功のカギ

# 変化し続けるマーケットとそのニーズに応える製品の研究・開発

## 目まぐるしく変化する製品市場

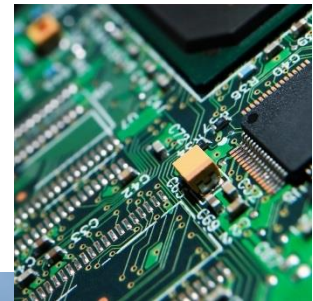
- 消費者の趣向の変化
- マーケット規模の変遷に合わせた製品開発  
(新興国の隆盛・人口動態によるマジョリティの変化)
- 競合他社の新機能への対応
- 法規制の変化による新しい市場の出現



製品開発全工程を見据えた業務効率向上がキーポイント

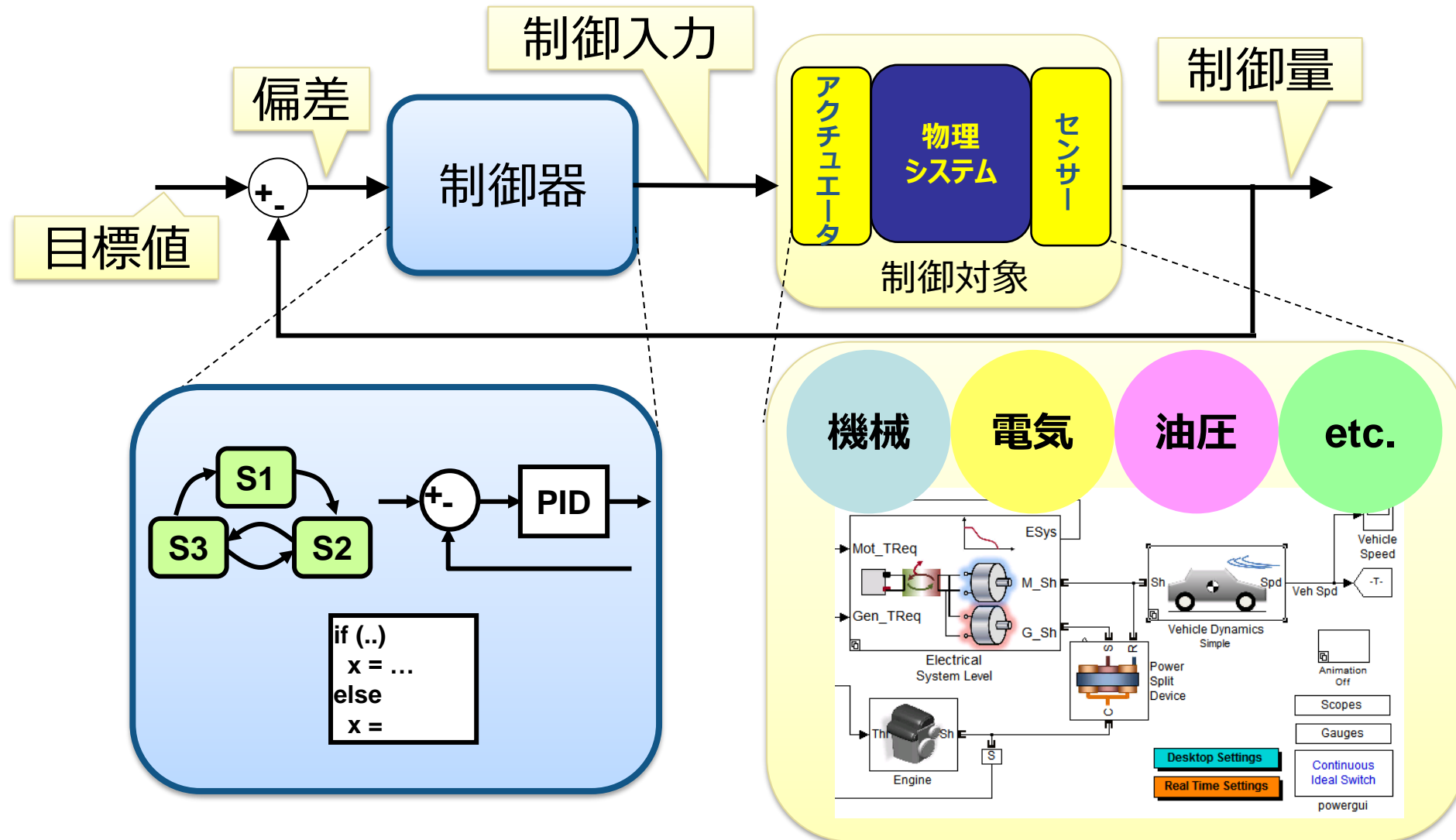
## 高・多機能化そして高信頼性が求められる製品の研究・開発

- 電化製品: インテリジェント化・IoT
- 自動車: HEV/EV・先進走行支援システム・自動走行
- 製造・サービス: ロボットの高性能化による人的作業の自動化  
(生産ライン / 過酷・危険な業務)
- 電気・電力: 分散電源のマネジメント



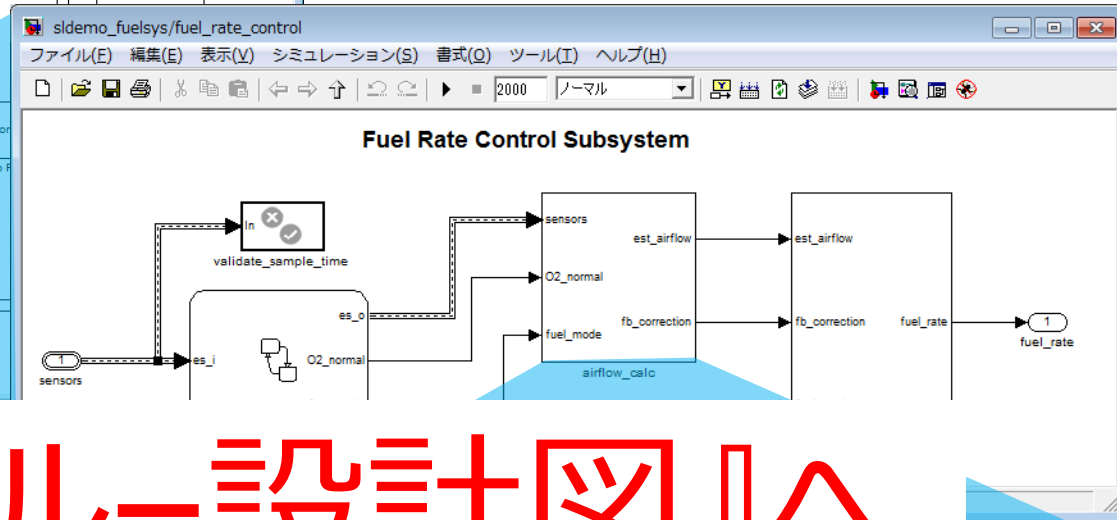
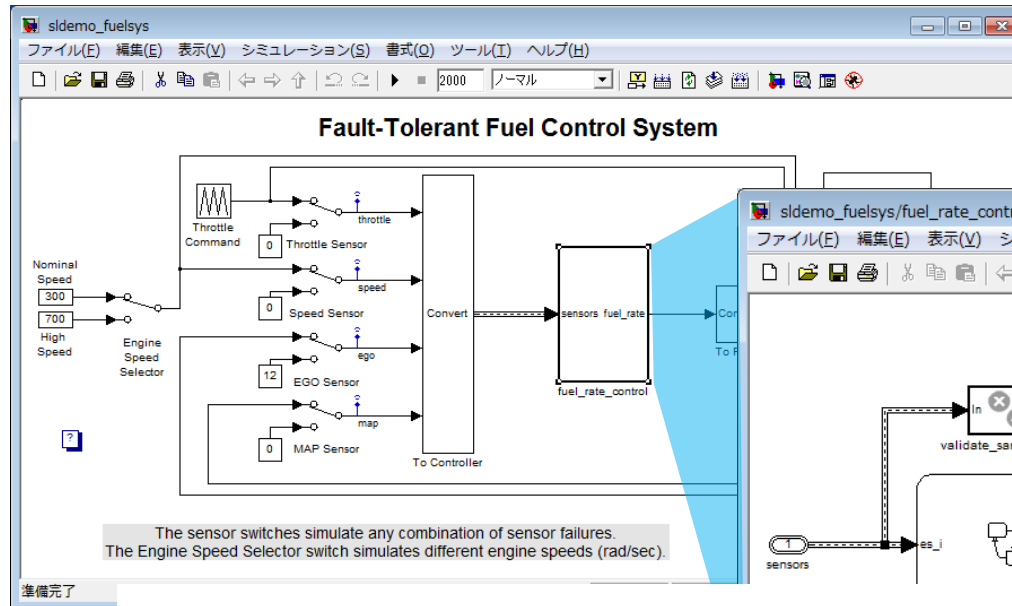
# モデルベース開発(MBD)のコンセプト

- 開発対象を数式モデルとして表現し、シミュレーションを活用して研究・開発を行う手法

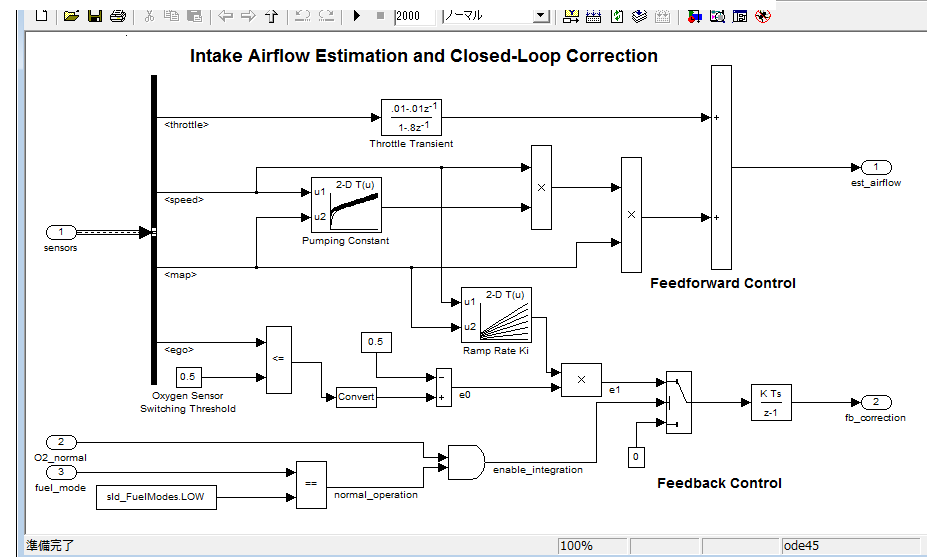
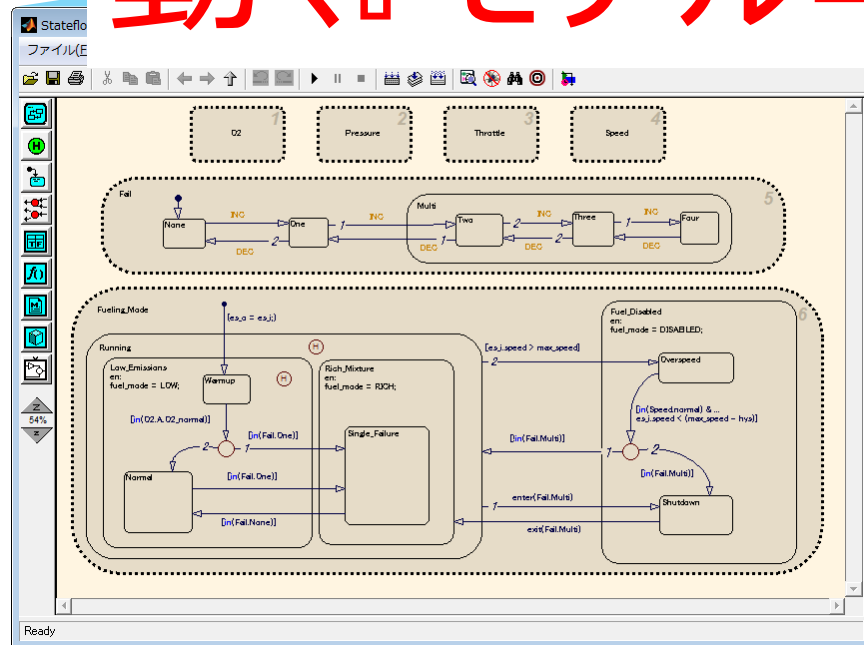


# 動かない『紙』から

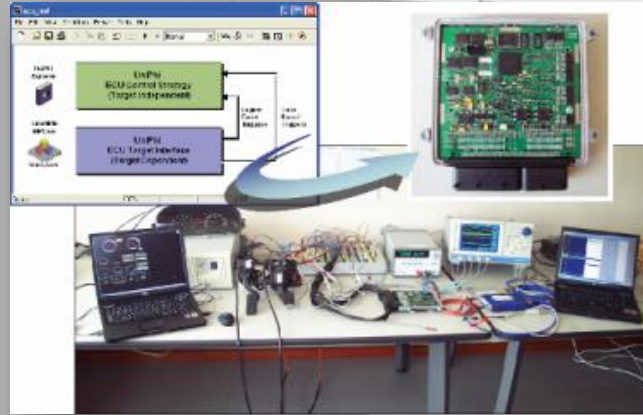




# 動く『モデル=設計図』へ



# どんな分野で使われている？

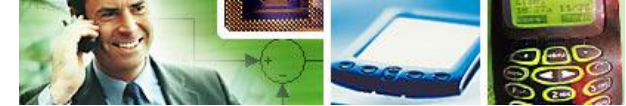


自動車、航空、家電、産業機器の開発など様々

# どんな用途で使われている？



科学技術計算



通信/エレクトロニクス/半導体

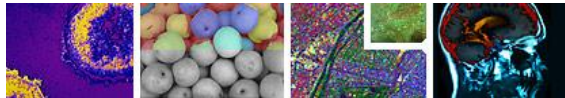


制御関連

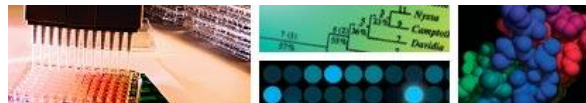
MATLAB®  
& SIMULINK®



実験・計測



画像処理



生命工学



金融解析



# 人材募集サイトを見ると・・・

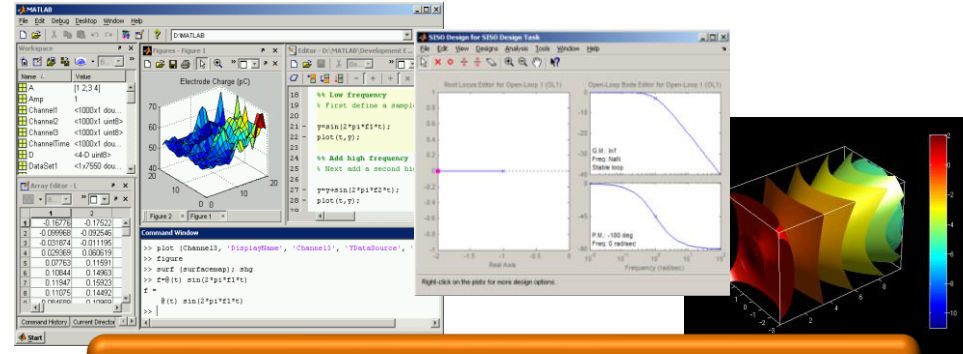
## 各社の開発現場でMATLAB/Simulinkが使用されています

|  |  |
|--|--|
| ■現在、   | 自動車用パワートレインシステム(エンジン/モータ/インバータ)の制御設計、検証、評価を行います。<br>適性に合わせ、制御設計チームもしくは検証評価チームに配属いただきます。  |
| ●DC/AC変換<br>●ボルト<br>●車載用<br>●パワー<br>●工場<br>●電子 | <p>■対象となる方</p> <p>高専・大卒以上、業界不問。電気系の基礎的な技術知識や経験をベースに以下のスキルいずれか一つお持ちの方</p> <p>【具体的には】<br/>【以下のいずれかの経験・知識がある方】</p> <p>◎シミュレーション制御技術(MATLABでの業務経験)</p> <p>◎構造・機械設計(3D CAD)</p> <p>◎電気・機械系評価</p> <p>◎シミュレーション制御技術(MATLABでの業務経験)</p>   |
| 他にも、主要取組<br>※これまで<br>※また、学んだ                   | <p>【以下のいずれかの経験・知識がある方】</p> <p>◎電磁気学などモーター、機構・構造設計、熱・流体、振動工学の知識</p> <p>◎自動車に興味がある方</p> <p>◎ビジネスレベルの英語力がある方</p> <p>※自動車関連の経験は問いません。</p>  |
| ■対象となる方  | <p>自動車</p> <p>【具体的には】</p> <p>○電気</p> <p>○未経験</p> <p>○デジタル</p> <p>○自動車関連各種コンポーネントの開発経験</p> <p>○産業用制御機器の開発経験</p> <p>○MATLAB/simulinkの知識</p> <p>○3次元CAD等を使用した設計の経験</p> <p>○CATIA V5、SolidWorks、Pro/ENGINEER、I-DEASの実務経験</p> <p>○CAEソフトを用いた解析業務経験</p> <p>○マイコン周辺に関する電気回路設計経験</p> |
|  | <p>◎MATLAB/simulinkの知識</p> <p>※自動車開発に携わりたいという方歓迎！</p>  |

# MATLAB/Simulink 基本製品

## MATLAB

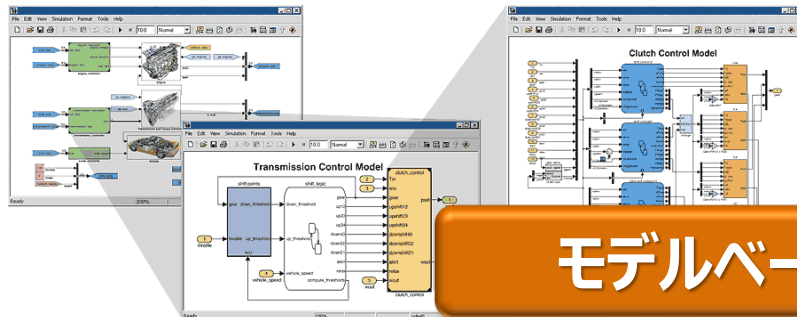
- 容易なデータ操作
- 簡潔なプログラミング言語
- 豊富な数学関数・ファイルI/O
- 2次元/3次元可視化機能



## 技術計算環境

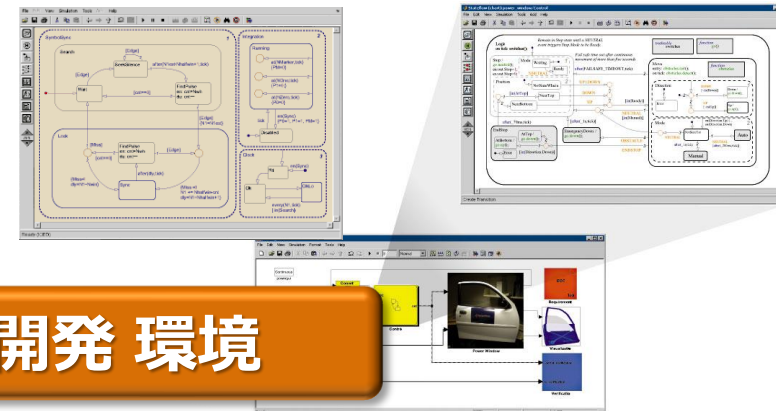
## Simulink

- ブロック線図モデリング
- 豊富なブロックライブラリ
- 高精度な時間応答シミュレーション



## Stateflow

- Simulink用フローチャート・状態遷移図・状態遷移表

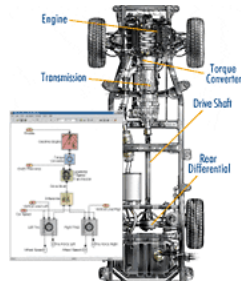


## モデルベース開発 環境

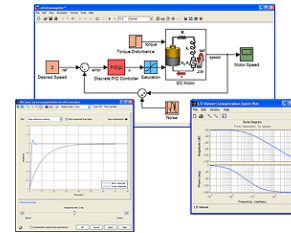
# MATLAB/Simulink オプション製品

用途に合わせて様々なオプション製品を柔軟に組み合わせ可能

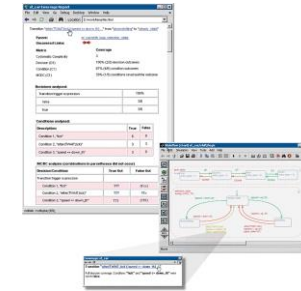
物理  
モデリング



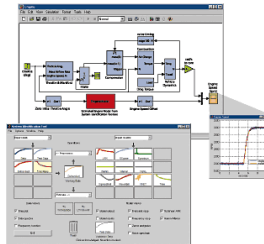
補償器設計



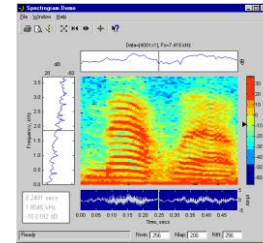
モデル検証



システム  
同定



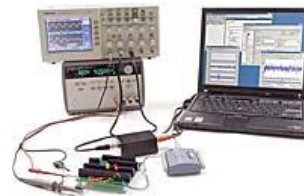
信号処理



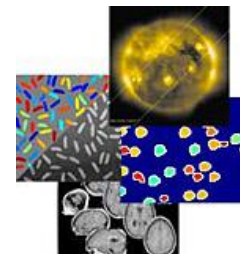
コード  
自動生成



データ計測

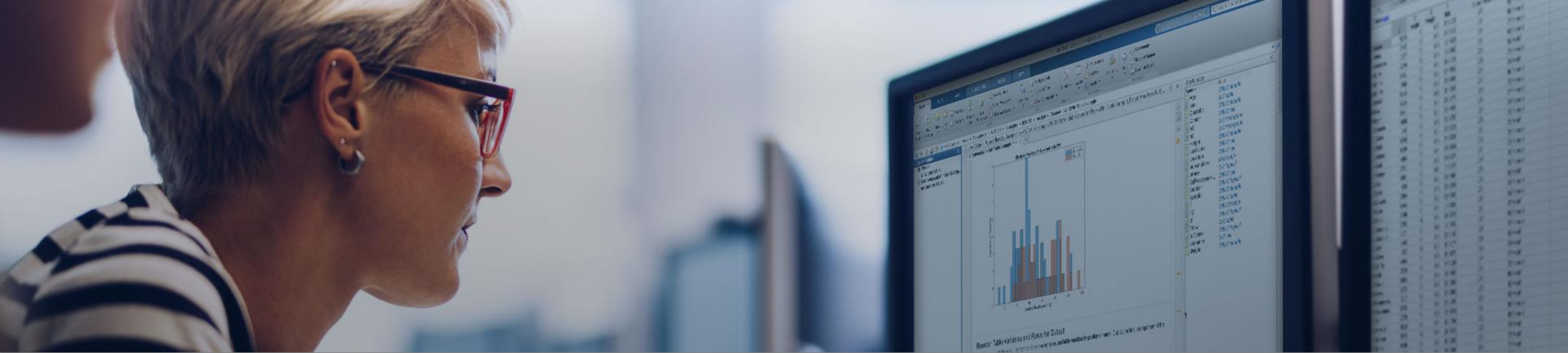


画像処理



実時間  
テスト





## 当社の顧客

世界中の数百万人ものエンジニアや科学者がMATLABとSimulinkを使用しています



**500万人以上**  
190を超える国での  
ユーザー数



**100,000+**  
企業、政府機関、大学数

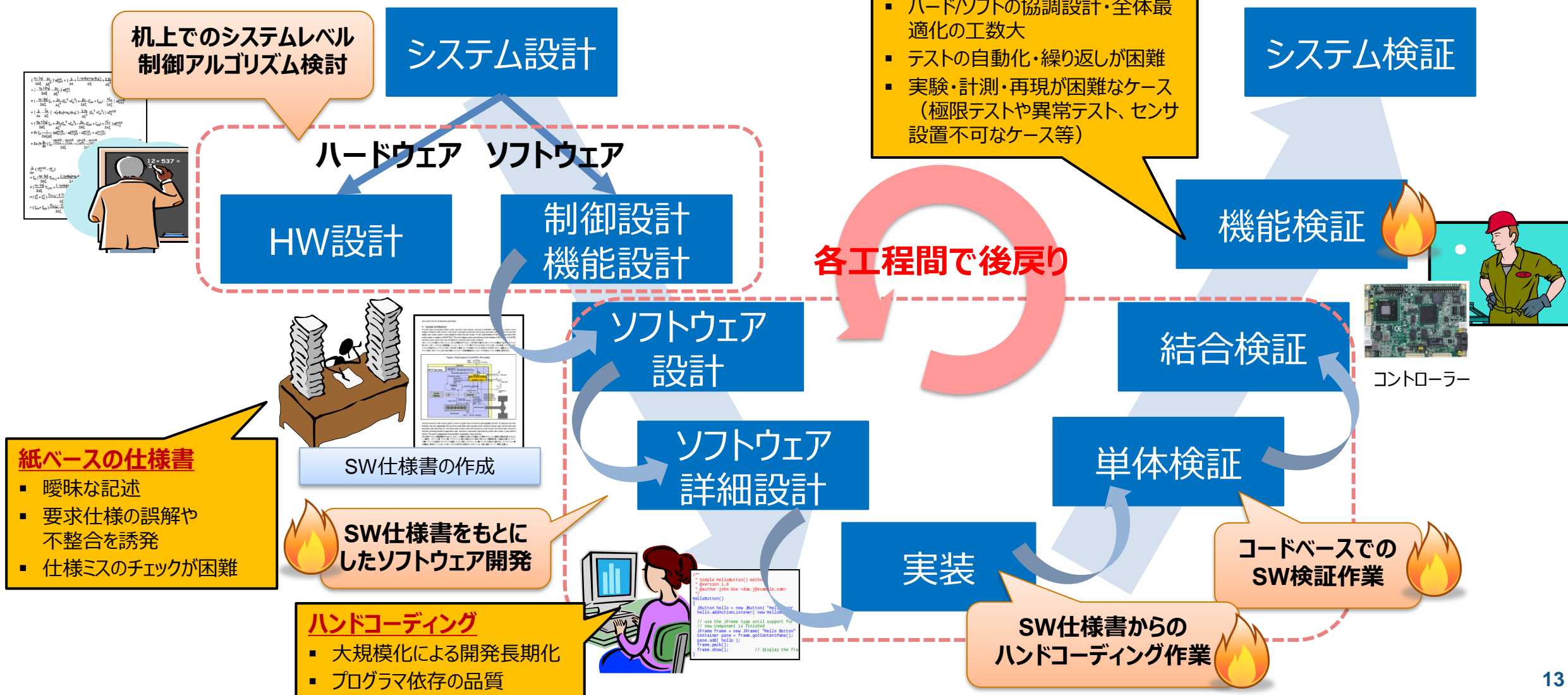


自動車および航空宇宙企業の  
トップ10全ての企業

Fortune: 2021 Global 500 auto companies  
FlightGlobal: 2020 Top 100 aero companies\*  
\*Excluding companies that are subject to embargos, sanctions, or other controls

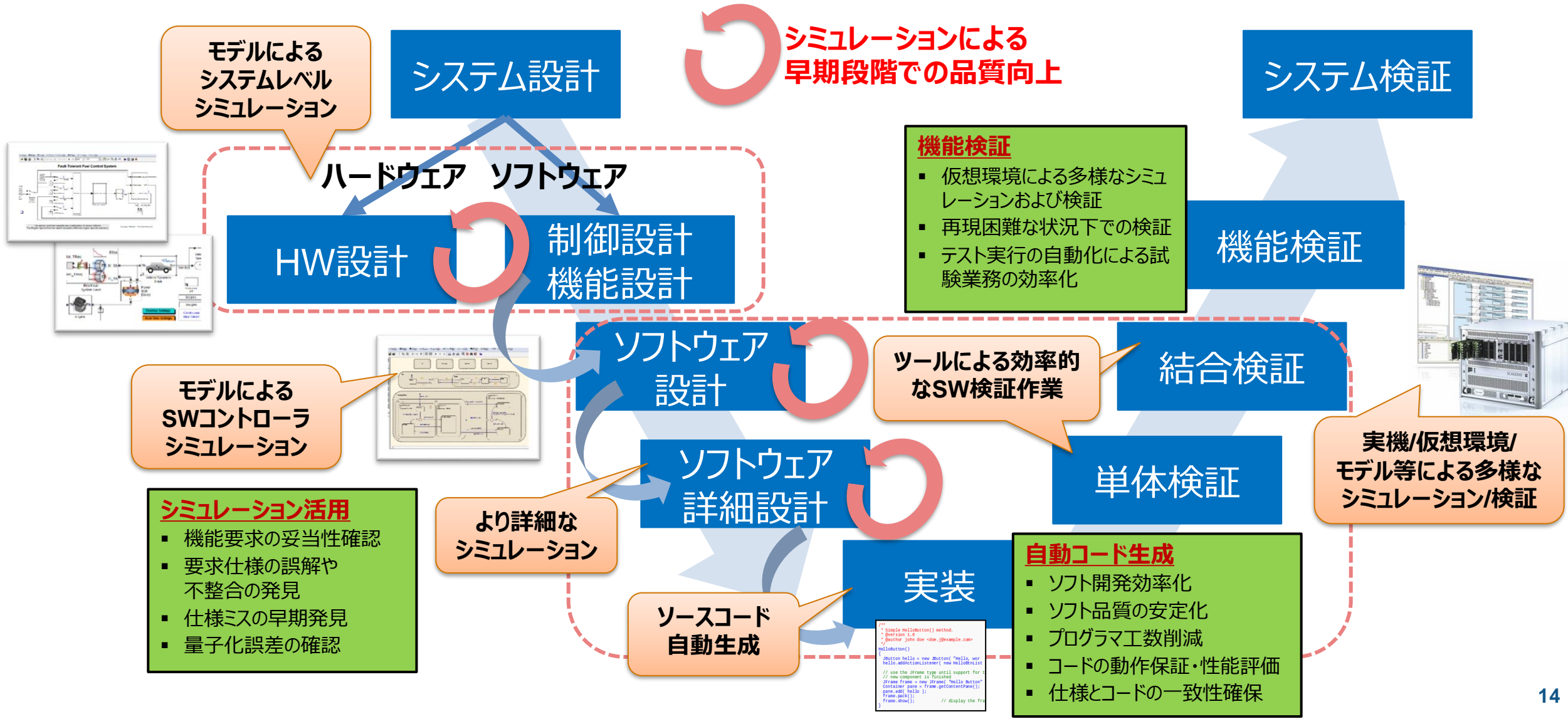


# 従来型開発プロセスにおける課題 ～後工程からの大きな手戻りの発生～



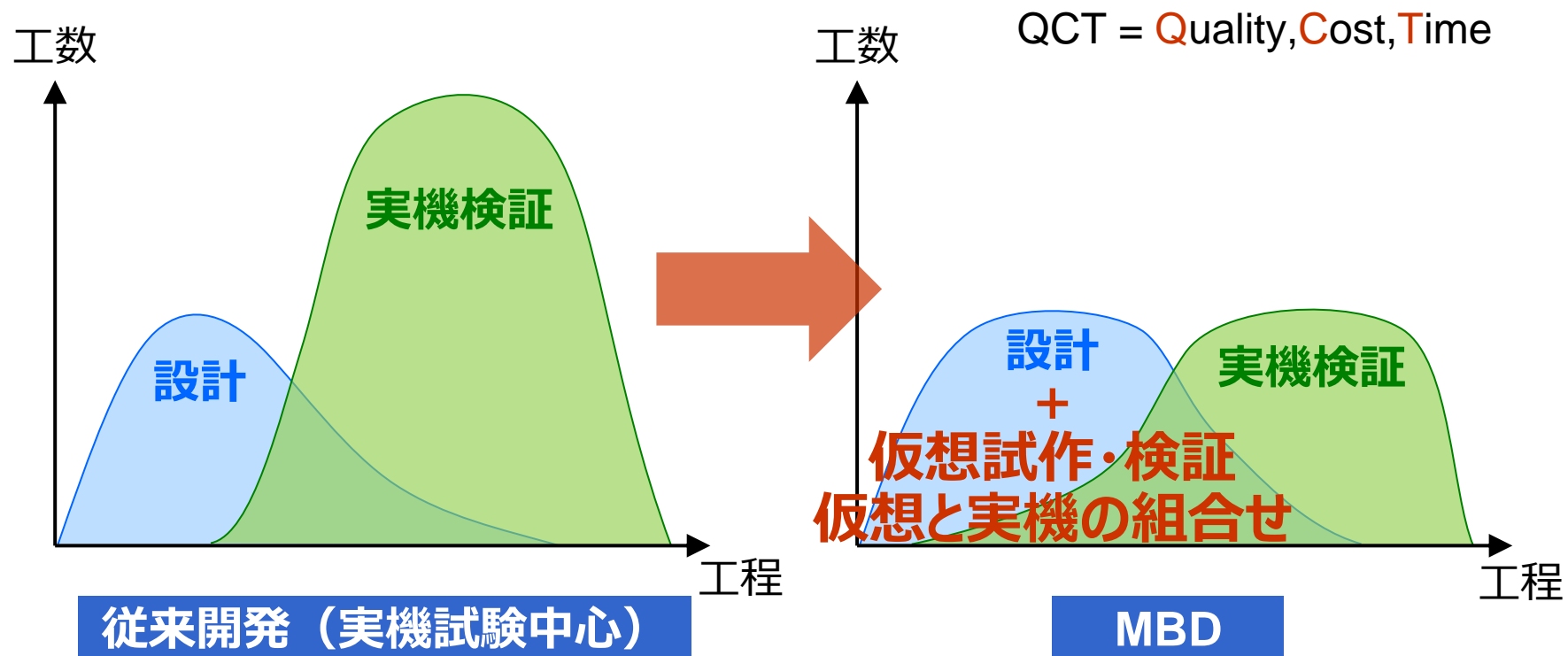
# MBDにおける開発プロセス

～シミュレーション技術による早期段階での品質向上～



# MBD適用のねらい

モデルを使った早期検証でQCTの向上・両立を図る



- 不具合修正コストが高い  
後工程にテストが集中
- 設計抜け漏れが起こり易い

- 不具合修正コストが低い  
開発上流にテストを前倒し
- 設計抜け漏れを早期に発見・修正

# 住友重機械工業、油圧ショベル用の組み込み型モデル予測制御ソフトウェアの開発を加速

## 課題

油圧ショベル用の組み込みエンジン制御ソフトウェアの設計および実装を迅速化

## ソリューション

Simulink および Embedded Coder によるモデルベースデザイン (MBD、モデルベース開発) を使用した、ショベルの作業性能を最大限に高めるモデル予測コントローラーのモデル化、シミュレーション、コード生成

## 結果

- 燃料効率が 15% 向上
- エンジニアの作業量を 50% 削減
- 厳しい納期に対応 (Tier4 Final)



住友重機械工業の油圧ショベル

「モデルベースデザインを使用することで、当社の油圧エンジニアは、組み込みエンジニアを介さずにコントローラーの設計および実装を完了できるようになりました。開発時間が短縮され、結果的にコントローラー品質の向上につながるため、これは大きなメリットです。」

- 松寄 英祐氏、住友重機械工業株式会社



# オムロンが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アルゴリズムを開発

## 課題

停電時に太陽光発電システムが安全に動作できるようにする制御システムを開発

## ソリューション

MATLAB と Simulink によるモデルベース デザインを使用して、電力システムと制御システムのモデル化、シミュレーションの実行、システムの停電への対応の解析を実現

## 結果

- 統合テスト時間を半減
- データ解析が 4 分の 1 の時間で完了
- 主要なテスト条件のシミュレーションを実行



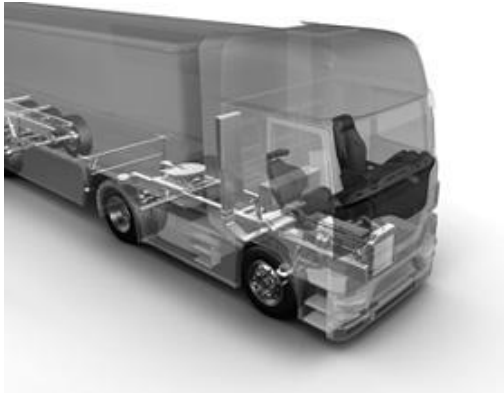
太陽光発電システムが搭載された家並み

「オムロンでモデルベースデザインを使用する重要な利点は、ハードウェア、ソフトウェア、制御設計の技術者の多人数チームが単一の環境でプラントモデルと制御システムモデルを使用することで、協力して高度な製品を開発できるという点です。」

-馬淵 雅夫氏, オムロン株式会社

## その他のユーザ事例

[https://www.mathworks.com/company/user\\_stories.html](https://www.mathworks.com/company/user_stories.html)



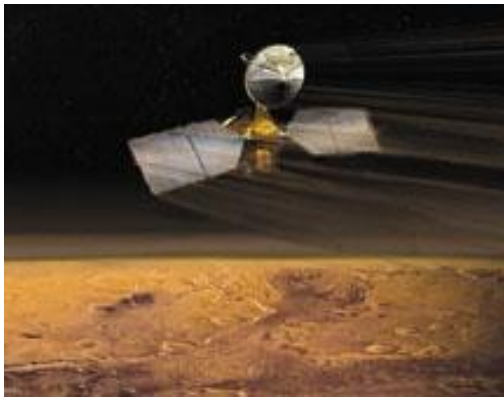
**Continental**  
エアサス制御



**ミツバ**  
リバーシングワイパー制御



**Segway**  
倒立制御



**Lockheed Martin**  
火星探査機ナビゲーション



**Xerox**  
プリンタ紙軌道制御



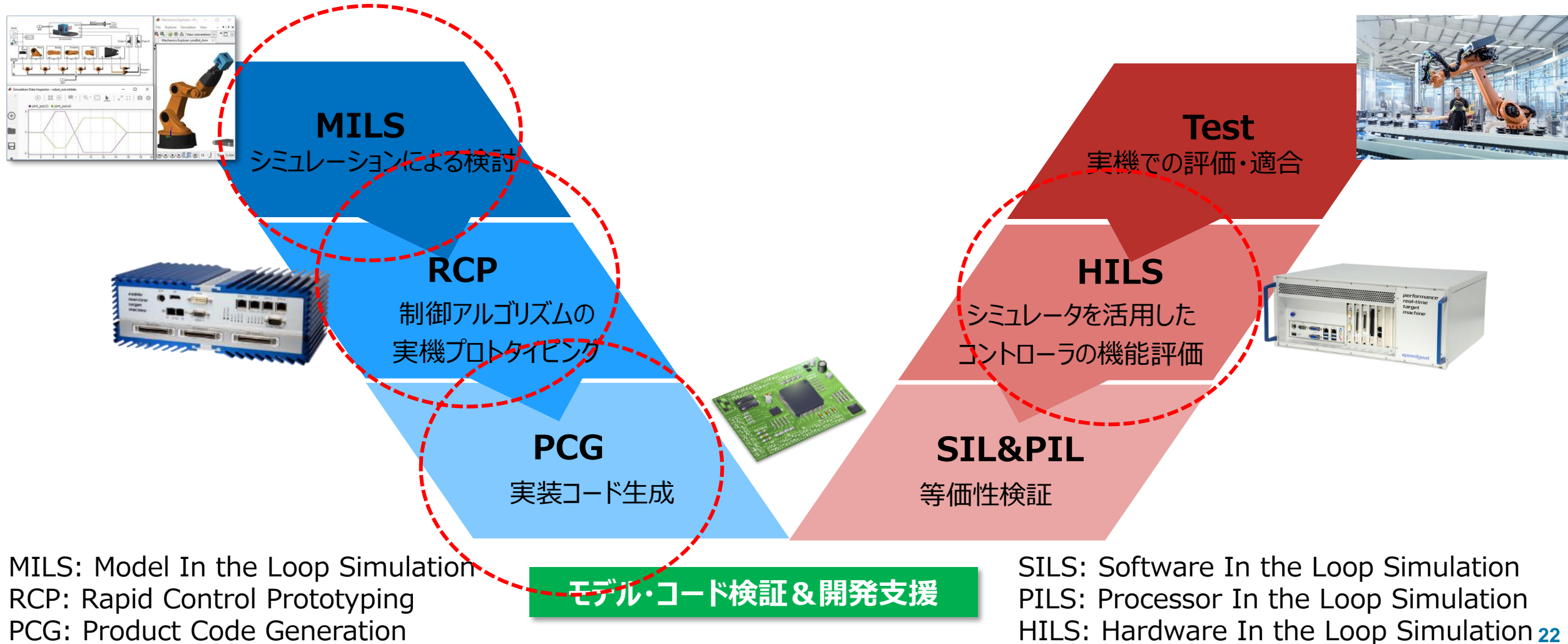
**Alstom**  
鉄道用電力変換システム

# アジェンダ

- MBDの概要とそのメリット
- 代表的なMBD手法および各社の取り組み事例
- MBD成功のカギ

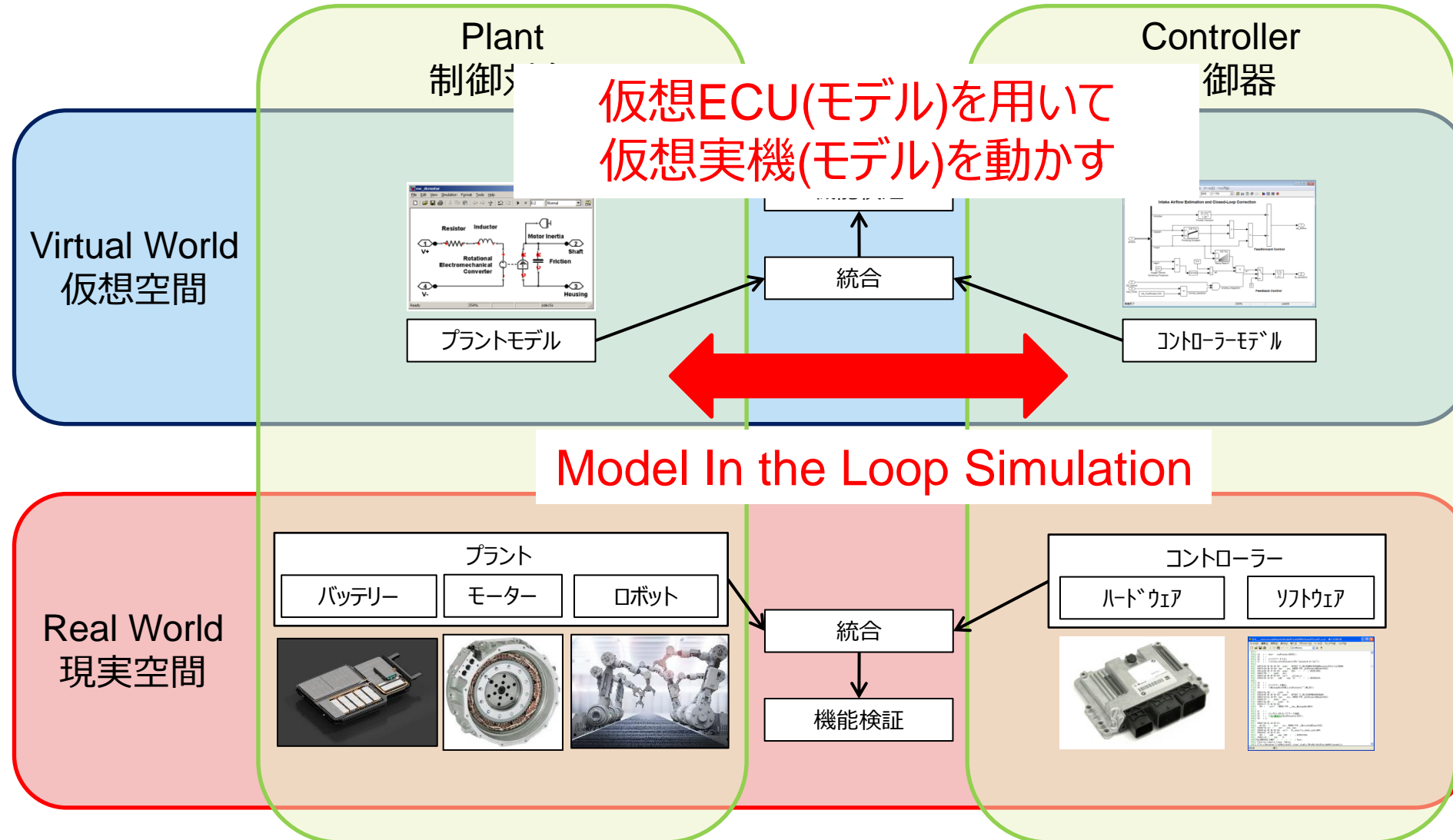
# MBDにより具現化される手法

- 自動コード生成機能を活用してコンセプト設計から機能実装・実機評価までカバー





# MILS: Model In the Loop Simulation



# MILS: Model In the Loop Simulation

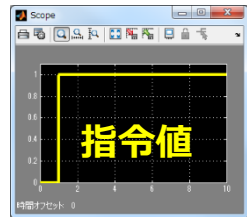
要求仕様



MATLAB製品による  
システムレベルシミュレーション

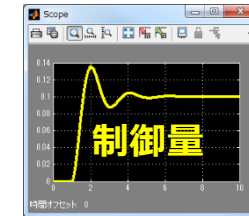
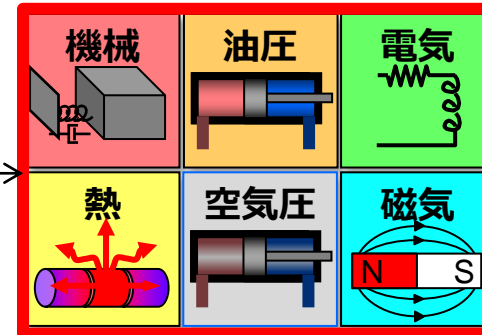
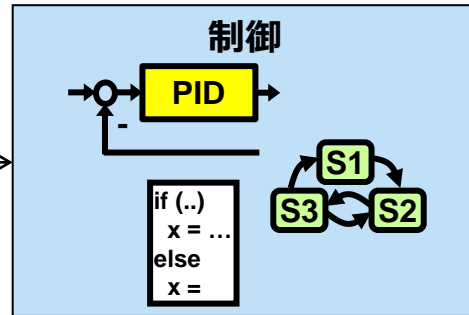
コントローラー (制御・監視・診断)

プラント (機械・電気・熱など)

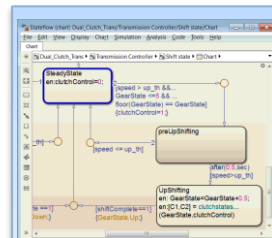


+

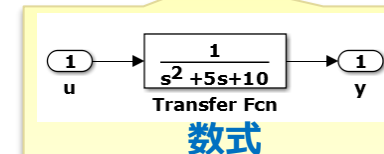
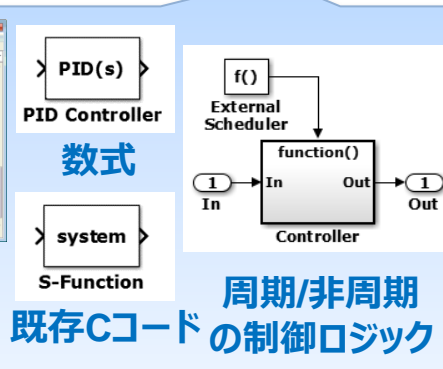
-



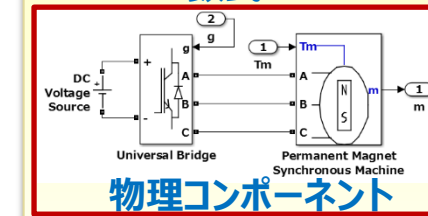
高機能、  
高性能、  
省エネ、  
高効率、  
安全性、  
コスト、  
など



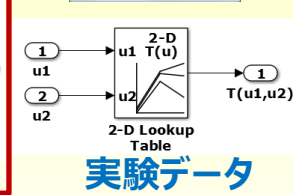
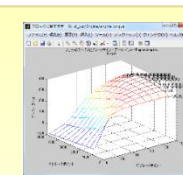
フローチャート  
状態遷移図  
状態遷移表



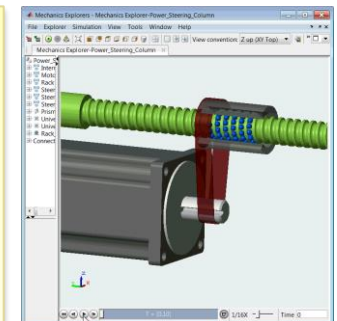
数式



物理コンポーネント



実験データ

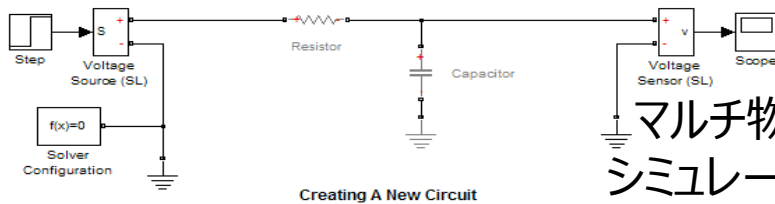


# プラント（制御対象）モデリングのアプローチ

第一原理モデリング

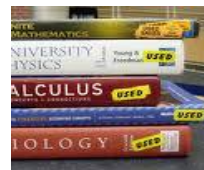
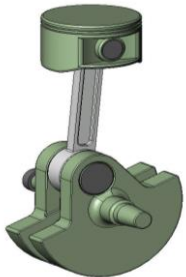
データ駆動モデリング

物理特性ベース  
(1D, 3D)



マルチ物理ドメイン  
シミュレーション モデル

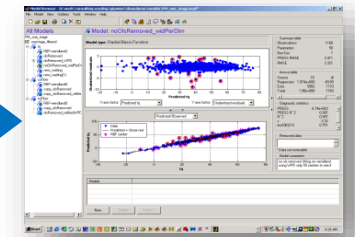
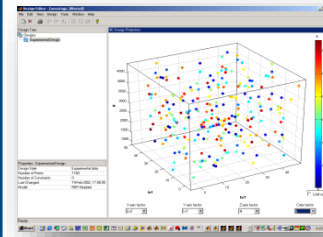
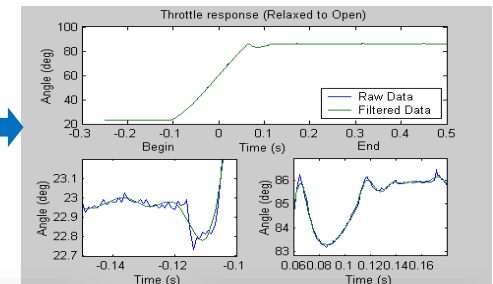
CAD/CAE



$$H(s) = \frac{s+1}{s^3 + 3s^2 + 2s^2 + 3} \cdot \frac{s^2 + 3}{s^2 + s + 1}$$

教科書

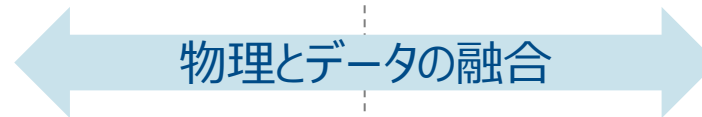
実験・シミュレーション  
データベース



# MathWorks のプラント（制御対象）モデリングアプローチ

## 第一原理モデリング支援

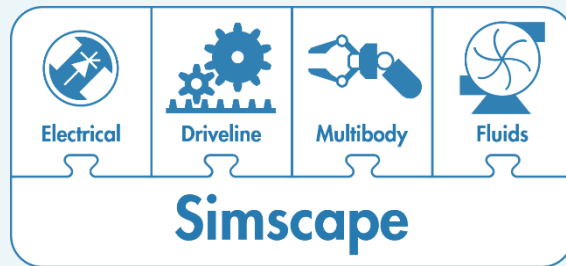
Simulink ブロックライブラリ



## データ駆動モデリング支援

MATLAB 関数ライブラリ

### 1D-CAE



### 複合領域物理モデリング （電気・機械・熱・流体）

Simulink  
Simscape  
Simscape Electrical  
Simscape Driveline  
Simscape Multibody  
Simscape Fluids

### アプリケーション

**自動車パワートレイン**  
Powertrain Blockset  
**車両ダイナミクス**  
Vehicle Dynamics Blockset  
**航空宇宙機**  
Aerospace Blockset

### イベントベースモデリング

**状態遷移図/フローチャート**  
Stateflow  
**待ち行列ネットワーク**  
SimEvents

### システム同定

**動的システムモデリング**  
System Identification Toolbox

### パラメータ同定

**数値最適化**  
Optimization Toolbox  
Global Optimization Toolbox

### 曲線あてはめ

**曲線あてはめ（2変数）**  
Curve Fitting Toolbox

### モデルベース適合（MBC）

Model Based Calibration Toolbox

### 金融・経済

**金融・経済モデリング**  
Financial Toolbox  
Econometrics Toolbox

### 統計・機械学習

**統計・機械学習全般**  
Statistics and Machine Learning  
Toolbox  
**深層学習ネットワーク**  
Deep Learning Toolbox

## 数理モデリング（基本記述）

### ブロック線図

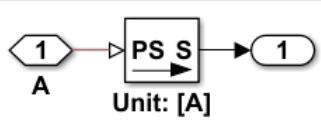
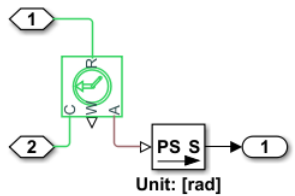
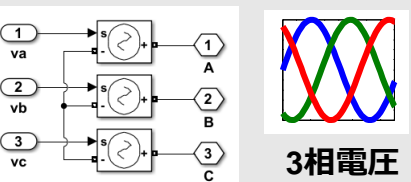
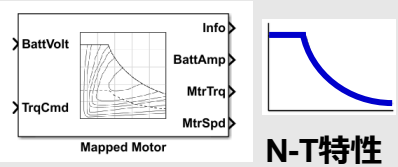
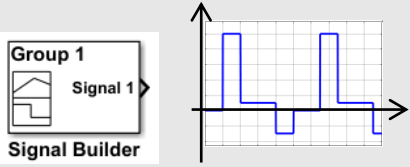
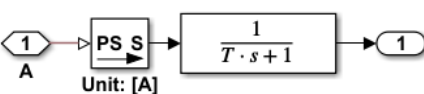

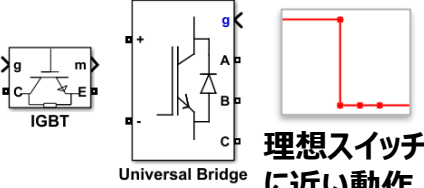
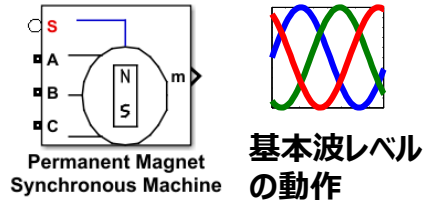
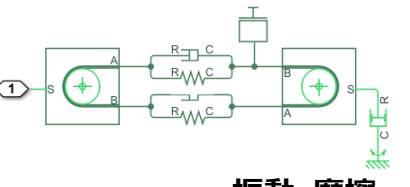
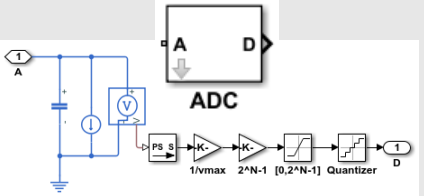
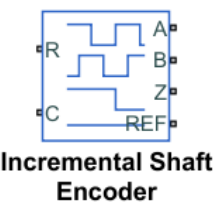

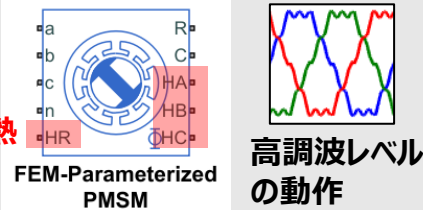

Simulink  
**1D-CAE モデリング言語**  
Simscape Language

### プログラミング言語

MATLAB  
**数式処理**  
Symbolic Math Toolbox



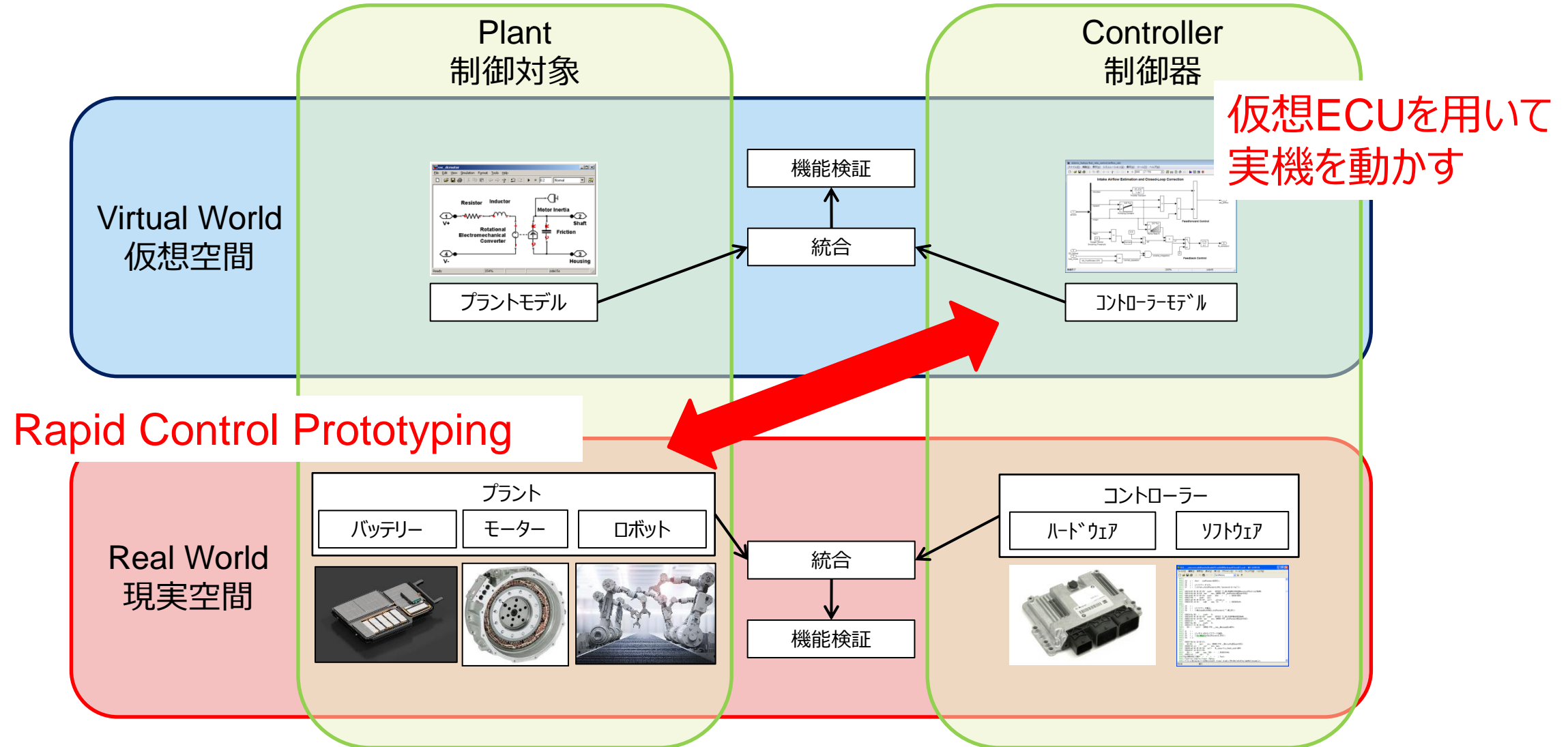
# 解析目的に応じた適切な詳細度のプラント（制御対象）モデリング

| 制御装置<br>(IO)  | センサ<br>(電流、角度、速度)  | 駆動回路<br>(インバーター)  | モータ<br>(ブラシレスDCモータ)   | 負荷<br>(メカ)   |
|---|--|---|---|--|
| 物理値 (電流) の真値<br>   | 物理値 (角度) の真値<br>    | 理想電圧源<br>          | 簡易モータ<br>          | 負荷トルク (時系列データ)<br>    |
| 簡易AD変換 (遅延)<br>   | 簡易角度センサ (遅延)<br>  | 簡易半導体素子 (理想)<br>  | 簡易3相モータ (理想)<br>  | 1Dメカ (マス・バネ・ダンパ)<br> |
| 詳細AD変換 (分解能)<br> | 詳細角度センサ (分解能)<br> | 詳細半導体素子 (詳細)<br> | 詳細3相モータ (詳細)<br> | 3Dメカ (剛体・ジョイント)<br> |

計算  
速

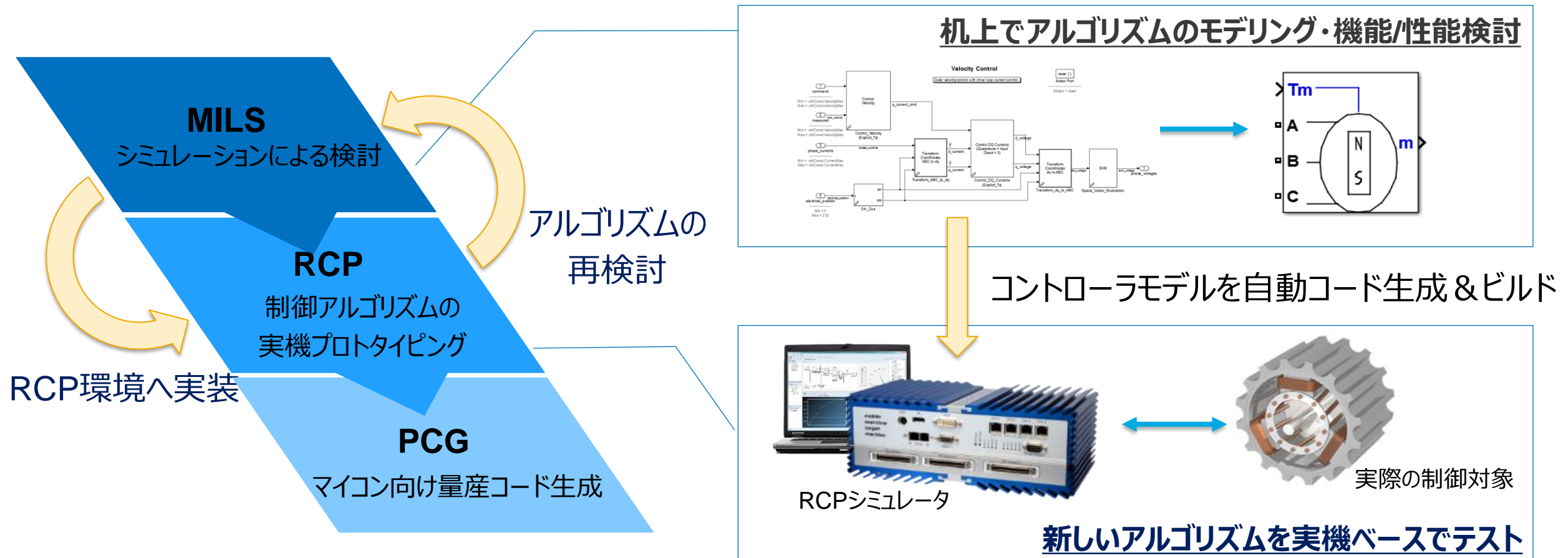
遅

# RCP: Rapid Control Prototyping



# RCP: Rapid Control Prototyping

- 検討したアルゴリズムを汎用性の高いRCPハードウェアへ素早く実装&テスト



# RCP : Rapid Control Prototyping 導入のメリット



シミュレーション/実機テスト  
双方へシームレスに移行



ハンドコーディングなしで  
モデルを素早く実装

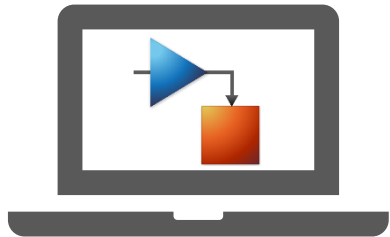


テスト・計測環境の素早い構築



現場で判明したロジックの問題に  
モデル・パラメータ変更で即時対応

MATLAB & Simulink



モデルのビルド & ダウンロード  
パラメータの調整

信号のモニタ・ロギング

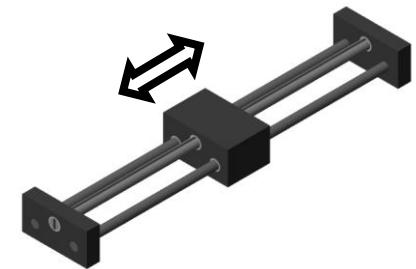


RCPシミュレーター



通信/IO

実際の制御対象





# ゼロックス社：MathWorksツールを使用して開発工数削減

## 課題

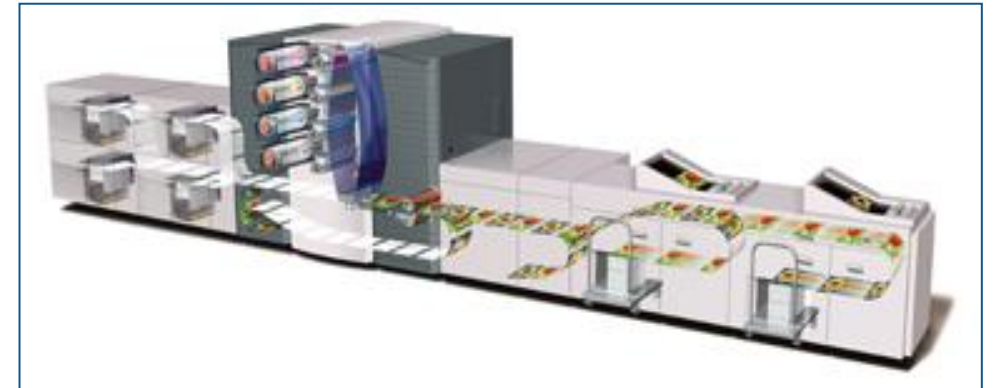
開発プロセスを合理化し、更にプリンタ用紙の軌道制御の設計アイデアを検証

## ソリューション

プラントおよびコントローラのモデリング、自動コード生成、ターゲットハードウェア上でのコードのリアルタイム実行にMathWorks製品を利用

## 結果

- 最大80%の制御開発工数の削減
- 統合されたツールで合理化されたワークフロー
- ハードウェア開発スケジュールに依存せずにテスト実行



複雑なプリンタ用紙軌道制御技術

「モデルベースデザインのMathWorksツールを使用する主な利点は、アプローチを理解するのが容易で、モデルは自己文書化でき、ツールは完全に統合されており、そしてそれが開発速度を向上させることです。」

-Dr.Martin Krucinski, Xerox

# manroland社：商用印刷機用高精度コントローラーを開発

## 課題

新しい設計プロセスを導入し、最先端の商業用印刷機のための高精度コントローラーの開発をサポートすること

## ソリューション

コントローラーの設計とモデリング、リアルタイムシミュレーションの実行、量産システムへの実装にMathWorksのモデルベースデザインツールを採用

## 結果

- 開発工数を50%以上短縮
- 以前は数週間要した設計の繰り返し作業を、数分で完了
- エラー解析の合理化により、顧客への回答時間を短縮



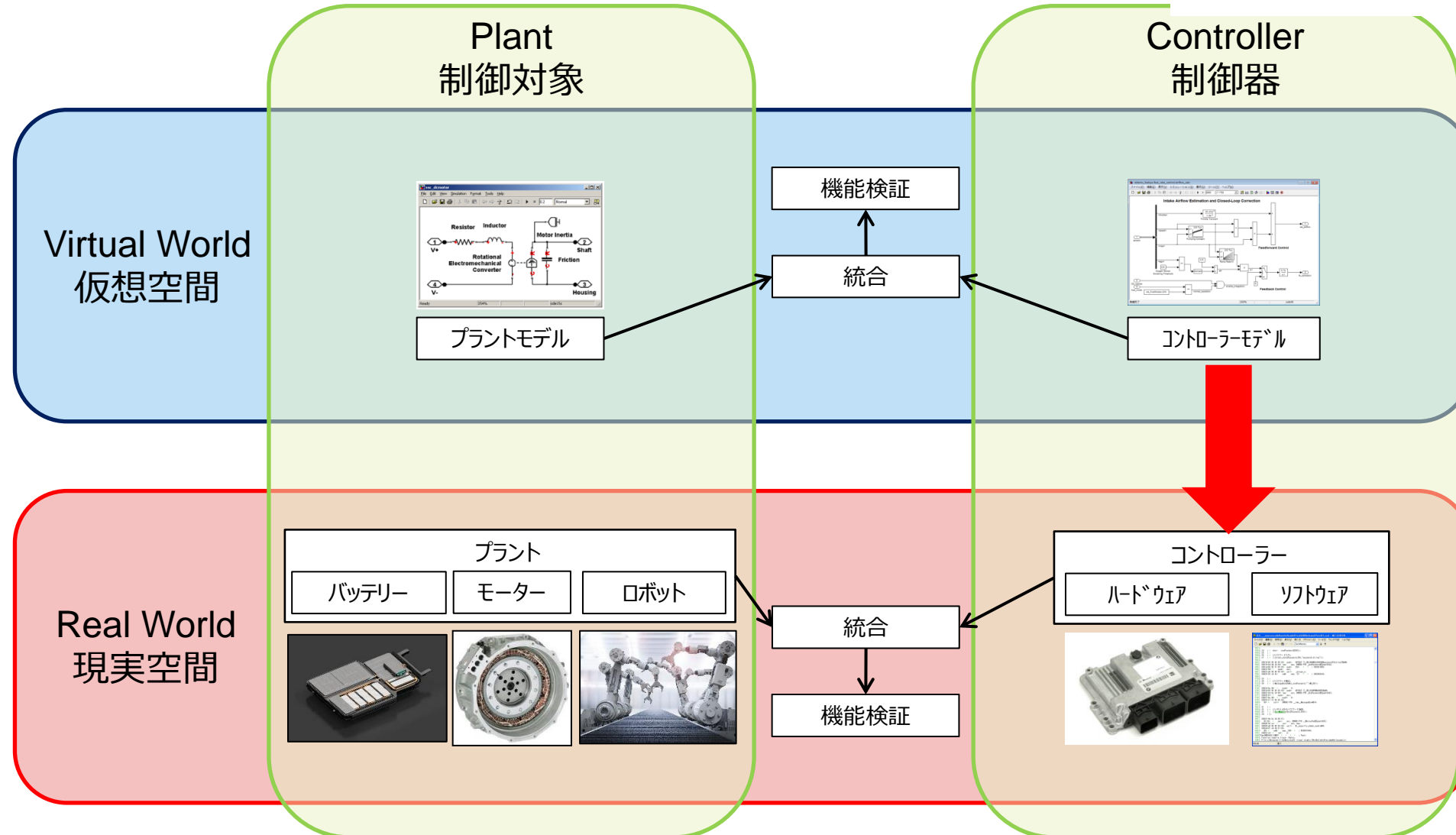
manroland's state-of-the-art printing press.

「MathWorksツールのおかげで、実装の詳細を気にすることなく、アイデアのテスト、新しいアルゴリズムの導入、および複数のコントローラーの比較を簡単に行えるようになりました。このため、コントローラーの構造をすばやく変更し、その結果をすぐに確認できました。短期間で作業を繰り返し実行できるので、開発サイクル時間を大幅に短縮しながら、品質と機能を最適化できました。」

-Thomas Debes, manroland

# 自動コード生成

コントローラモデルから  
Cコードを生成する



# ターゲットに合わせたコード生成製品を提供しています

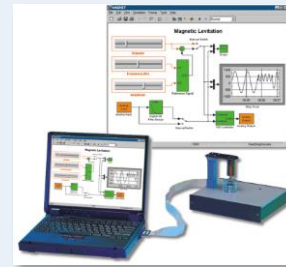
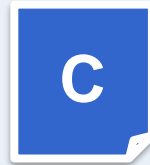
**MATLAB Coder™**



MATLAB®



**Simulink Coder™**



RCP/HILS

**HDL Coder™**



FPGA/ASIC

**Embedded Coder®**



MCU/DSP

**Simulink  
PLC Coder™**



PLC



MATLABファイル



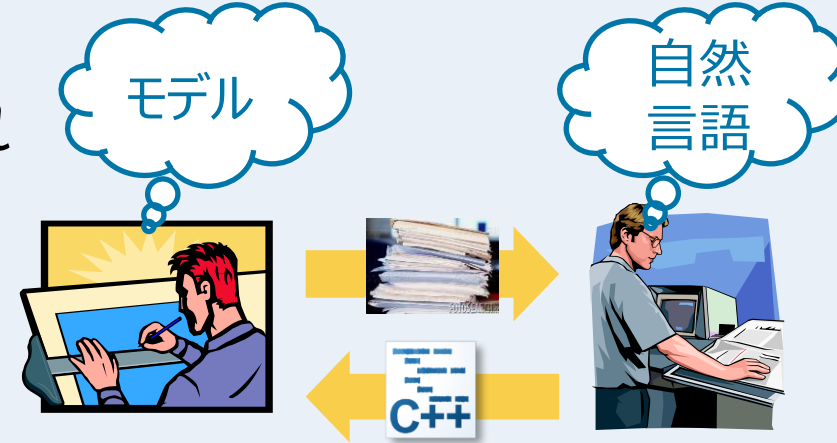
Simulink/Stateflowモデル



# コード自動生成ソリューションのメリット

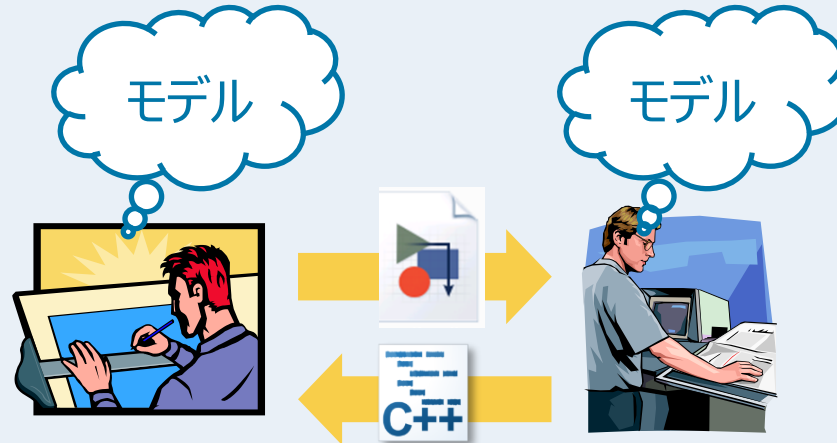
## ハンドコード

- 仕様書・コード作成の工数大→実験・検証遅れ
- 誤解釈の混入
- モデル・コードの乖離



## 自動コード

- **すぐにコード化**  
→ **修正ループの高速化**
- **誤解釈を解消**
- **モデル・コードの乖離を防止**



# 自動コード生成事例

## トヨタ自動車、MBDの更なる生産性向上を目指して、MATLABをR2021aへ移行

最新技術を活用し、短期間でのバージョンアップと運用コストの削減を実現

Tokyo, Japan - (2021年10月6日)

MathWorksは、トヨタ自動車株式会社（以下トヨタ）が、量産開発に運用しているMATLABのバージョンをR2015a からR2021aへ移行することを発表しました。

従来から、トヨタは、ECU量産ソフトウェアの開発において、MathWorksのモデリング・シミュレーションおよびCコード自動生成製品を利用していますが、モデルベース開発（MBD、モデルベースデザイン）の普及に伴い、MATLABのR2015aのバージョンで量産開発をしている中で、次のような課題が浮上してきました。

- 各工程にMBDを取り入れているが、検証工程や工程間の繋ぎで手作業が発生しており、一貫通費で自動化を実現することが急務
- 運用しているモデル資産の増大により、バージョンアップにかかるモデルやツールの検証工数が増大
- 自動車開発におけるソフトウェア開発の比重は急激に大きくなってきており、古いバージョンを使用し続けることで最新の技術を迅速に取り入れることが難しく、開発競争力に影響

トヨタではMathWorksとの以下の取り組みによりMATLABバージョンアップを計画的に実施するスキームを確立します。R2021aをスタートとして、今後は従来よりも短期間、かつ検証工数を減らしてバージョンアップを継続する体制を整えます。

- Simulinkモデルのガイドラインを大幅に見直すことにより、将来のMATLABバージョンアップ時の機能拡張に対応
- 従来使用してきた、トヨタが独自にカスタマイズした機能を大幅に削減し、製品の標準機能を最大限に活用
- R2021aで大きく進化したSimulink Design Verifier等の設計検証製品を活用し、SimulinkモデルとEmbedded Coder生成コードの検証の自動化を推進

今回の移行にあたり、トヨタ自動車 パワトレ電子システム開発部部長である森 英男氏は次のように述べています。

『市場ニーズの多様化、環境・安全にかかわる規制強化、先進技術の高度化、モビリティビジネスの多様化等が複雑に絡み合い、自動車産業そのものが大きな変革の時期を迎えています。従来以上に速いスピードで開発を進め、高品質を維持することが求められており、これを実現するためには、より開発周期を短く、頻繁に機能を高められる制御開発をする必要があり、MATLAB、Simulinkはこの中核を担っています。R2021a採用を機に、既存のモデル資産を有効活用しながらも、将来のMATLABバージョンアップコストを限りなく抑えつつ、MBDの各工程を一貫通費で自動化するフェーズに移行していきます。MathWorks様の協力により、商品力のある自動車を短期間で開発でき、市場に投入していけることを期待しています。』

MathWorksの開発部門バイスプレジデントであるAndy Graceは次のように述べています。

『トヨタのモデルベースデザイン運用は、世界中の自動車産業によりMathWorksのソフトウェアが製品設計・開発に継続的に使用されるということを示しています。我々は、自動車産業で必要なエンジニアリングツールの開発を行うため、25年以上に

## 株式会社ミツバ、リバーシング ワイパー システムの開発を加速

“モデルベース開発を採用したことにより、当社の開発プロセスに即時に改善が見られました。デザインレビューのスピードが上がり、欠陥や要求仕様における問題点の発見がより効率的になったのです。エラーを早期に発見し、やりなおし作業を減らすことで、高品質のコントローラーを以前の2割の時間で完成することができました。”

株式会社ミツバ 電子技術部 研究員  
新井 貴男



リバーシングワイパーシステムの  
コントローラー

ミツバの革新的なリバーシング ワイパーシステムは、ドライバーと自動車メーカーの両者に利益をもたらします。このシステムは、使用時以外はワイパーがボンネットの下に隠れるため、車の外観やドライバーの視界を損ねず、また同時に空力抵抗も低減します。システムの組み込みコントローラーは、モーターの稼働角度を動的に変更して、風圧やワイパーの速度変化に対応することができます。このシステムでは機械部品の稼働範囲が最小限に抑えられるため、ワイパーはよりコンパクトになり、車両設計への統合が簡単になります。

ミツバでは MathWorks のモデルベース開発ツールを使用して、ひとつの機能開発プロジェクトにおいて、わずか3週間でこのワイパーシステムのコントローラーを開発し、量産コードを含む完全なシステムを完成させました。

ミツバの研究員、新井 貴男氏は次のように述べています。『モデルベース開発というアプローチとMathWorksのツールは当社にとって新しいものでしたが、開発のスピードと製品の品質に明らかな向上が見られました。MathWorks のツールでモデルベース開発を進めることにより、開発後期の最終的なハードウェアを使ったテストで問題点を発見するのではなく、要求仕様や初期の設計において問題点を特定し、早い段階で解決することができました。』

出典) [https://jp.mathworks.com/company/user\\_stories/mitsuba-accelerates-development-of-reversing-wiper-system.html](https://jp.mathworks.com/company/user_stories/mitsuba-accelerates-development-of-reversing-wiper-system.html)

# 村田製作所がモデルベース デザインによりエネルギー管理システム制御ソフトの開発期間を 50%以上 短縮

## 課題

同社初のエネルギー管理システム製品の市場投入までの期間を短縮

## ソリューション

コントローラーとパワーエレクトロニクスモデル化とシミュレーションを行い、量産コードを生成するために、Simulink でモデルベースデザインを使用

## 結果

- 制御ソフトウェア開発期間を 50% 以上短縮
- 欠陥のないコードの生成
- プロジェクトの始動を迅速化



村田製作所製リチウムイオン蓄電池付きフレキシブル3相エネルギー管理システム

「認証に必要なすべての要件を、実際の回路で検証する前に Simulink のシミュレーションで確認します。また、Embedded Coder を使用してモデルから直接コードを生成したために、シミュレーションと実際の組み込みソフトウェアとの間にギャップはありません。」

- Dr. Yue Ma、株式会社村田製作所

## その他自動コード生成適用分野例：様々な分野で利用されています



**DaimlerChrysler**  
クルーズコントロール制御



**Airbus Helicopters**  
ヘリコプター制御



**小野測器**  
高精度車速計



**General Motors**  
ハイブリッド制御



**Johnson Controls**  
産業用チラー

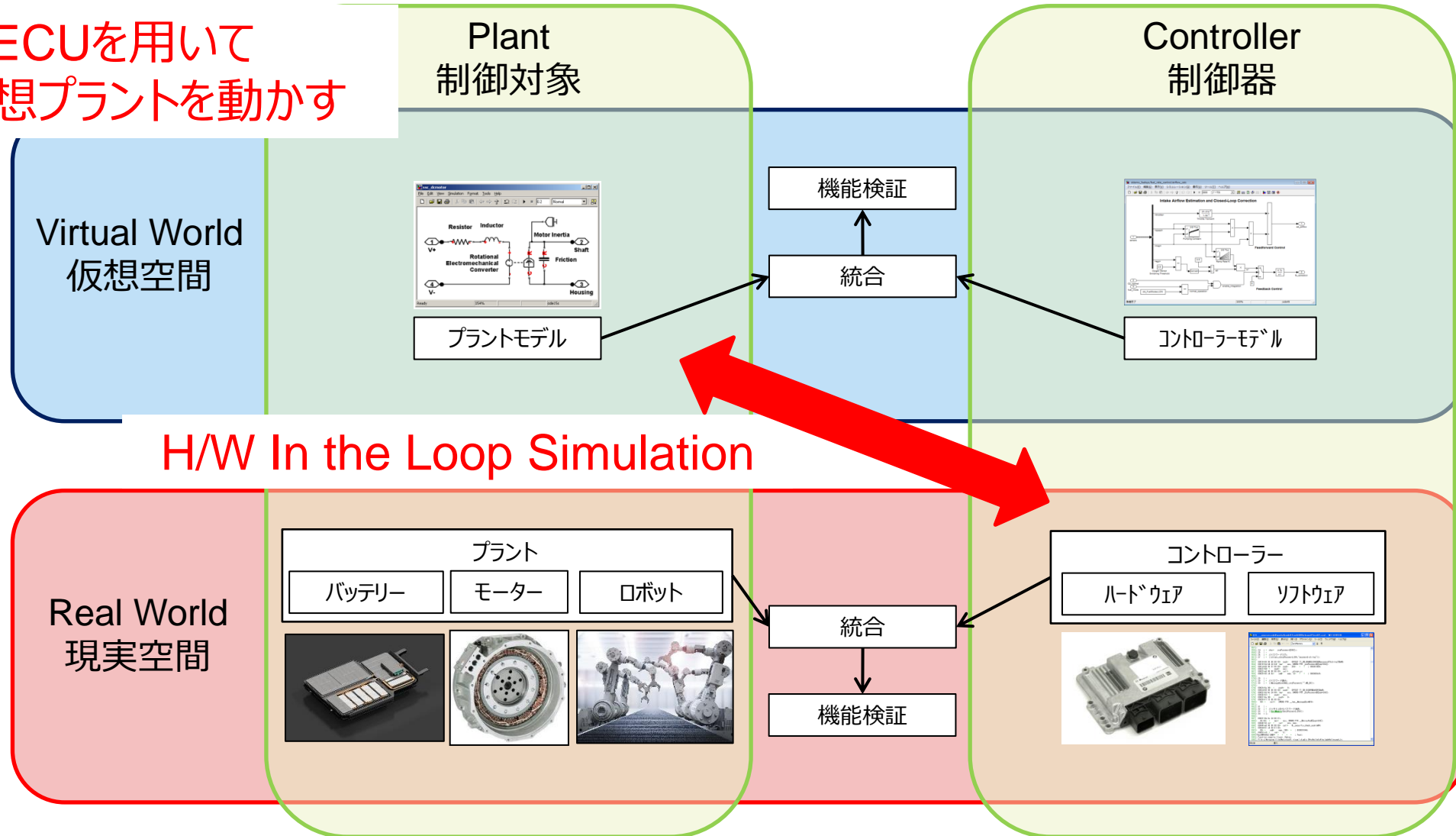


**Alstom**  
鉄道用電力変換システム



# HILS(H/W in the loop Simulation)

実ECUを用いて  
仮想プラントを動かす



# HILS(H/W in the loop Simulation)

- シミュレータを用いて量産/試作コントローラの機能チェックを実施

## 最終的な実機による機能・性能評価



量産/試作HW



実際の制御対象



実機の再現モデルを自動コード生成&ビルド

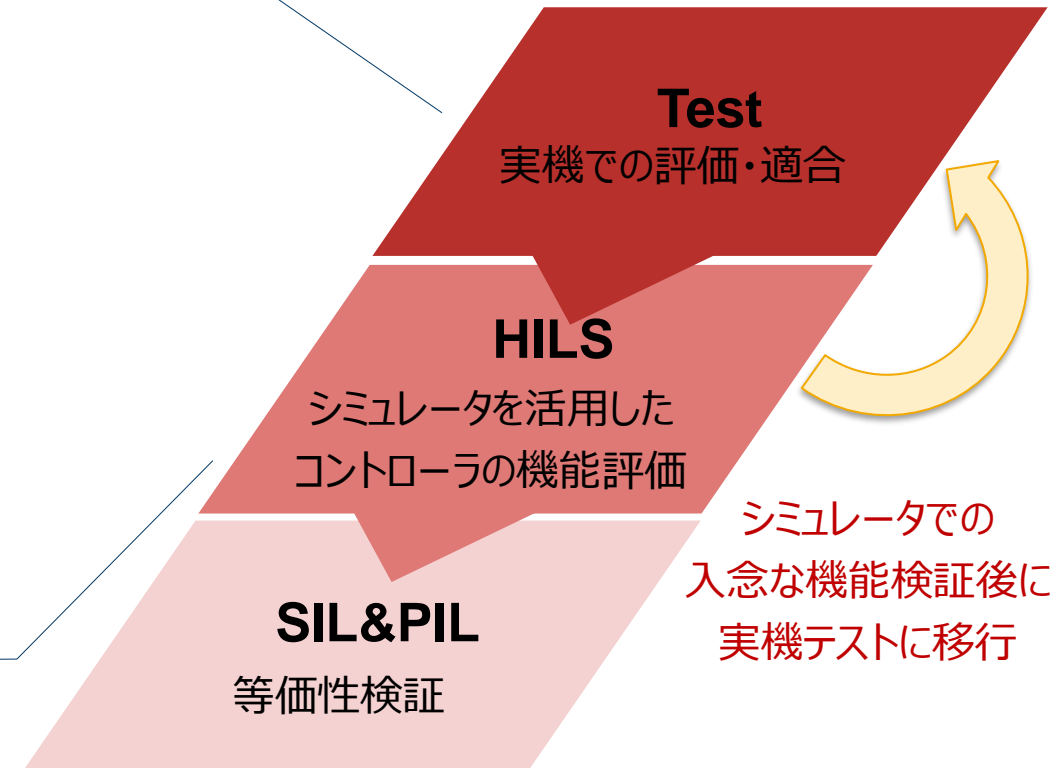


量産/試作HW



HILシミュレータ

## 量産/試作コントローラの機能評価



# HILS (H/W in the loop Simulation) 導入のメリット



任意の試験条件の素早い再現



再現性の高い繰り返し試験



繰り返し試験の自動化



実際の設備の占有時間を削減  
(現場に行かずに最大限のデバッグ)



実物を壊さずに故障モードを再現

実際のコントローラ



通信/IO



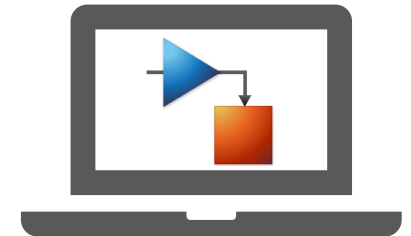
HILシミュレーター

MATLAB & Simulink

モデルのビルド&ダウンロード  
パラメータの調整



信号のモニタ・ロギング



# HDLコード生成事例

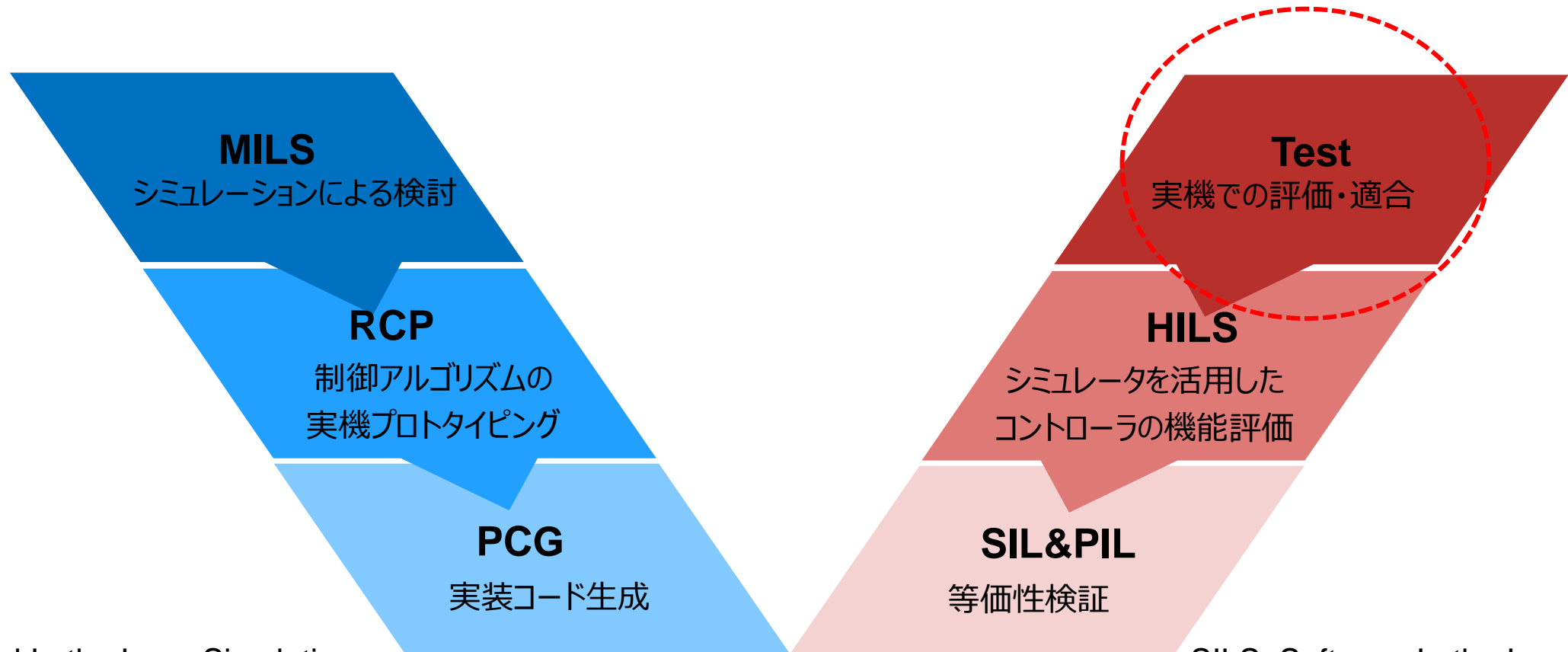
## -MATLAB EXPO 2023 ご講演 東芝インフラシステムズ様-

### SoC/FPGA評価基板を活用したパワエレ制御開発向けHILS環境の構築

インフラ向けパワーエレクトロニクス（パワエレ）製品における制御ソフトウェアが担う機能は年々拡大し、それに伴うソフトウェア検証作業が指数関数的に増大している。ソフトウェア検証作業を効率的に進める手段の一つとして、検証のフロントローディングを目的としたHILS (hardware-in-the-loop simulation) 導入に取り組んでおり、市販のSoC/FPGA評価基板とHDL Coder<sup>®</sup>を活用したパワエレ制御開発向けHILS環境を構築した。その開発コンセプトやHILS導入の取り組みについて紹介する。

# MBDにより具現化される手法

- 自動コード生成機能を活用してコンセプト設計から機能実装・実機評価までカバー



MILS: Model In the Loop Simulation  
RCP: Rapid Control Prototyping  
PCG: Product Code Generation

SILS: Software In the Loop Simulation  
PILS: Processor In the Loop Simulation  
HILS: Hardware In the Loop Simulation



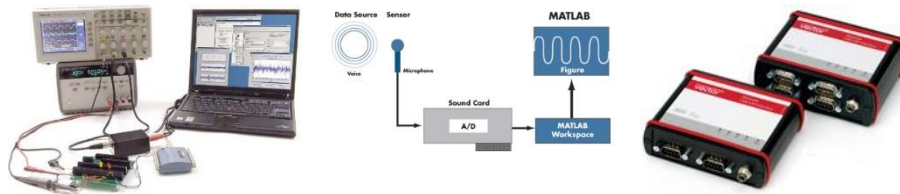
# MATLABで試験データの解析

基本的な時系列解析・可視から統計/AIを活用した先進的なデータ解析までサポート

## 各種データソース



## DAQハードウェア

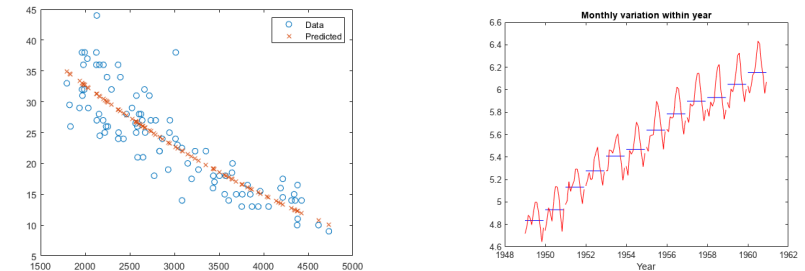


## RCP/HIL環境

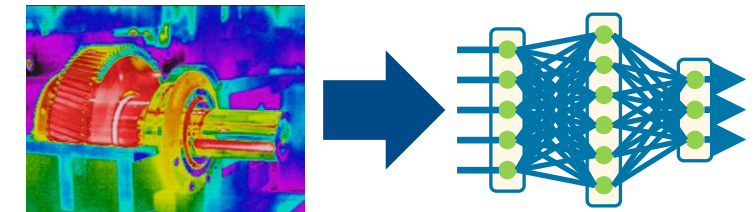


MATLABによる  
測定データへのアクセス

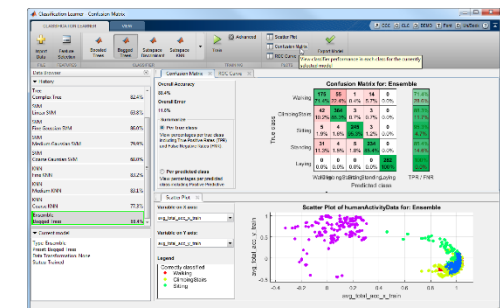
## 時系列データの解析



## データドリブンプラントモデリング

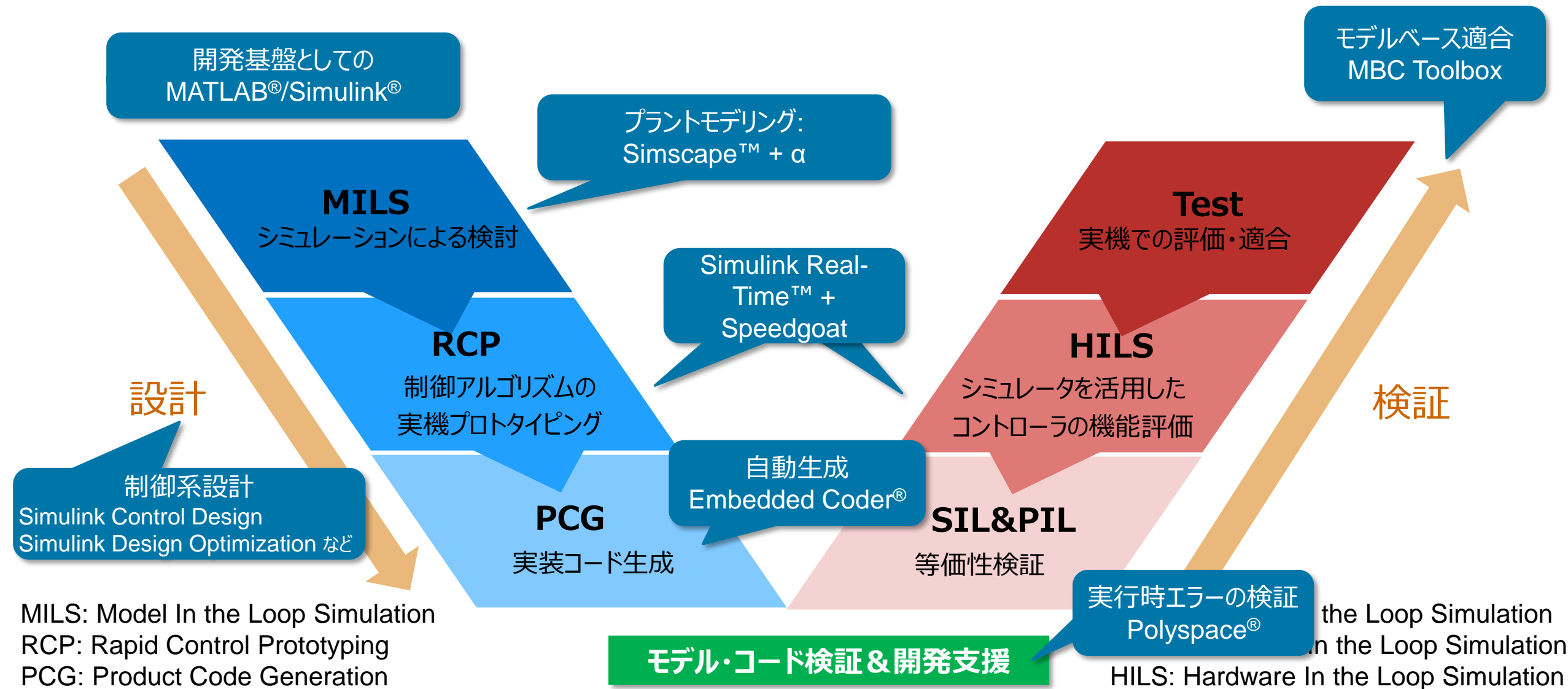


## 統計/AIによる分類/故障予測



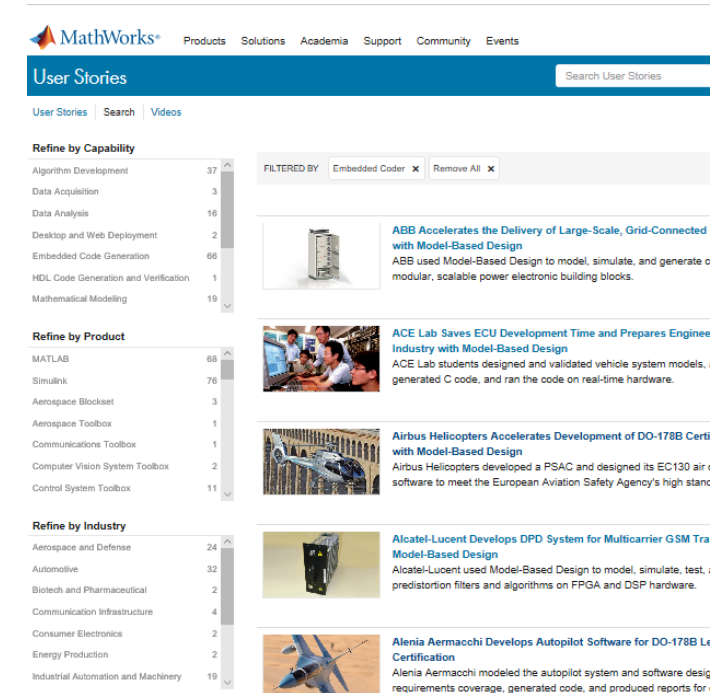
# MBDにより具現化される手法と弊社製品

※MBC Toolbox: Model-Based Calibration Toolbox™



# 多くのお客様がモデルベースデザインで高い ROI を達成

|                 |                         |
|-----------------|-------------------------|
| ABB             | 生産性が10倍向上               |
| Airbus          | ソフトウェアのテスト時間を2/3に短縮     |
| ATB             | 2倍のスピードでプロジェクトを完了       |
| B&R             | KPI が30%以上改善            |
| BAE             | ハンドコーディングの1.5～2倍の効率化    |
| Baker Hughes    | 新規プロジェクトのリソースを50%削減     |
| Chery           | 年間200万ドル近くを削減           |
| CNH             | 開発期間50%削減、生成コードは即座に運用可能 |
| Continental     | 6ヶ月の労力を削減、検証時間を50%削減    |
| Danfoss         | 開発期間を最大15%短縮            |
| Embraer         | 開発期間を6ヶ月以上短縮            |
| Honeywell       | 生産性が5倍向上                |
| IVECO           | 開発期間40%短縮               |
| KARI            | 開発期間半減、設計の繰り返し最小化       |
| KOSTAL          | 認証にかかる時間を30%短縮          |
| Lear            | 開発期間40%短縮、保証問題報告0件      |
| Lockheed Martin | 開発効率2倍、設計更新は1日で         |



詳細はユーザー事例 Web をご覧ください

[https://www.mathworks.com/company/user\\_stories.html](https://www.mathworks.com/company/user_stories.html)

40～50% の  
コスト削減を実現

# アジェンダ

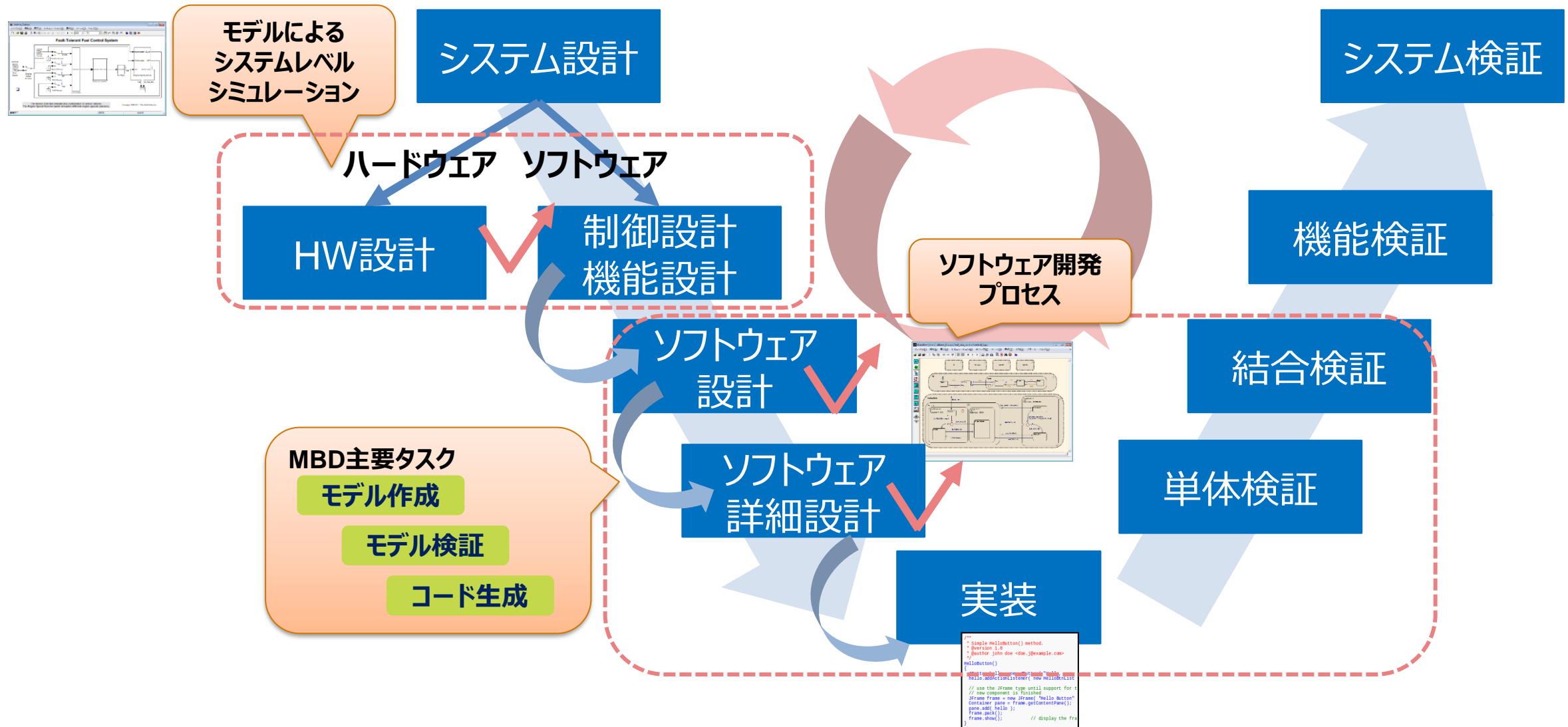
- MBDの概要とそのメリット
- 代表的なMBD手法および各社の取り組み事例
- MBD成功のカギ





# MBDにおける開発プロセス定義

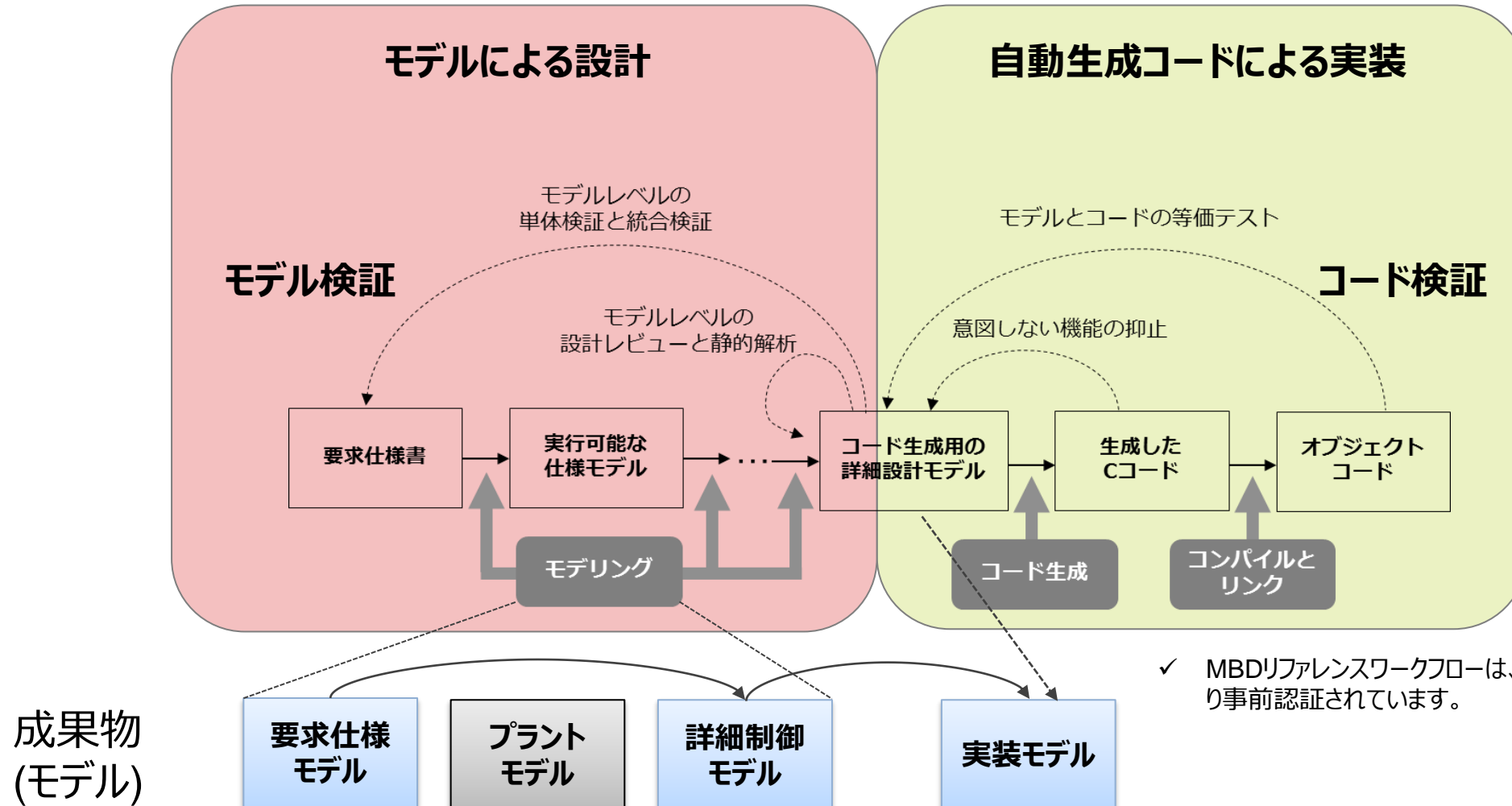
## ～MBD主要タスクの範囲～





# MBDリファレンスワークフローと成果物（モデル）

MBDリファレンスワークフローは、“モデルによる設計 + 自動生成コードによる実装” からなります。また、**モデルの検証結果はコードの検証に再利用**できます。



# MBD主要タスクの実施項目とメリット

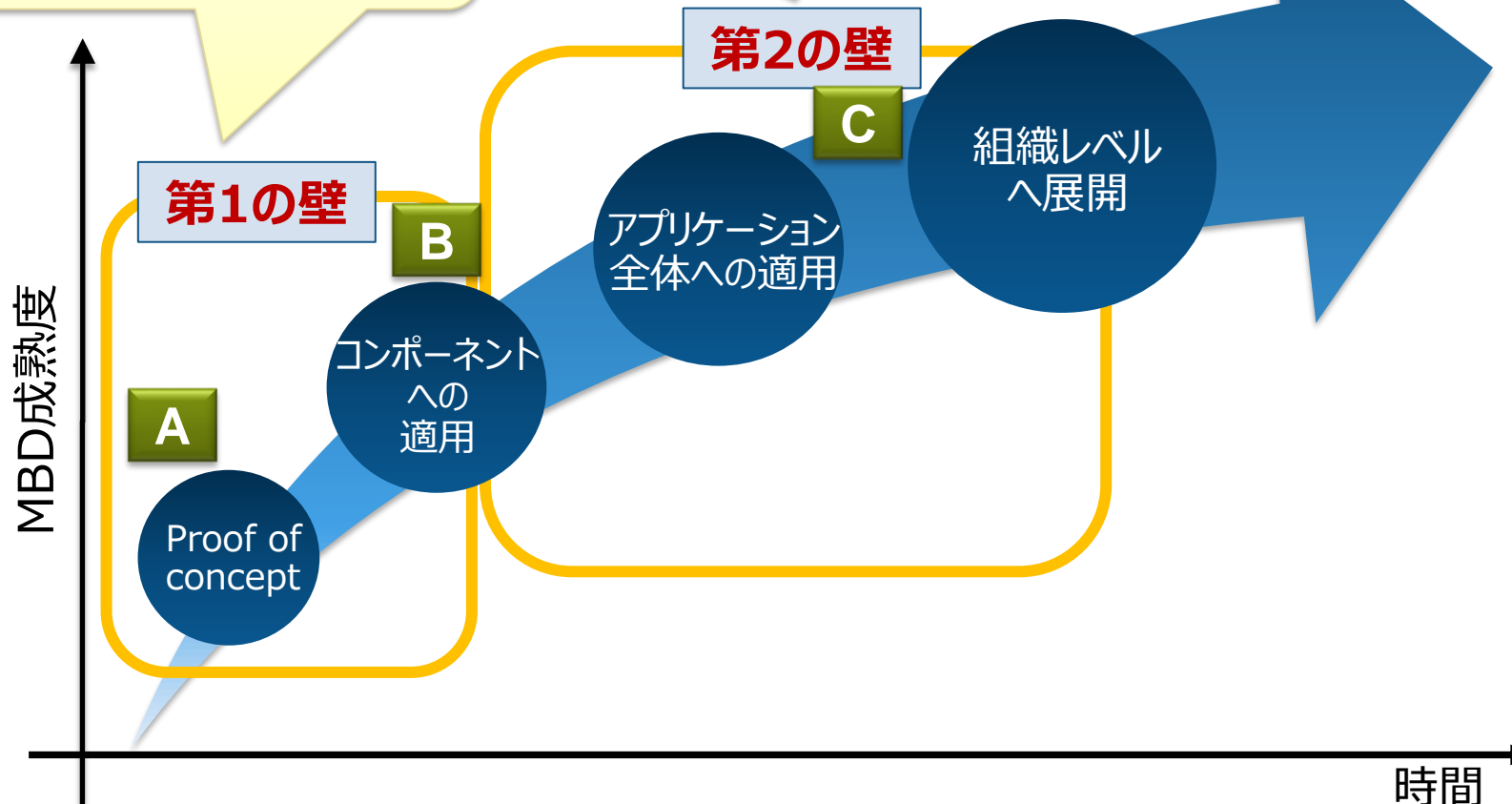
| 大項目          | 中項目                    | 実施項目                                       | メリット   |
|--------------|------------------------|--|--|
| モデル作成<br>(3) | 仕様整理                   | M1. ソフトウェア要求仕様の整理                          | <b>シミュレーション活用</b> <ul style="list-style-type: none"> <li>機能要求の妥当性確認</li> <li>要求仕様の誤解や不整合の発見</li> <li>仕様ミスの早期発見</li> <li>量子化誤差の確認</li> </ul>  |
|              |                        | M2. ソフトウェア要求仕様の可視化と詳細化                     |  |
|              | モデル作成<br>・<br>シミュレーション | M3. アーキテクチャモデルの作成                          |  |
|              |                        | M4. コンポーネントおよび詳細設計モデルの作成とシミュレーション          |  |
|              |                        | M5. コード生成モデルの作成とシミュレーション                   |  |
| モデル検証<br>(2) | モデル検証                  | V1. 単体レベルモデルの検証 (Verification)             | <b>機能検証</b> <ul style="list-style-type: none"> <li>要求シナリオ下での機能検証作業</li> <li>ツールによる効率的なモデル検証作業</li> <li>ツールによるモデルカバレッジ測定および補完</li> <li>仮想環境による多様なシミュレーションおよび検証</li> <li>再現困難な状況下での検証</li> <li>テスト実行の自動化による試験業務の効率化</li> </ul> |
|              |                        | V2. 統合レベルモデルの検証 (Validation)               |  |
| コード生成<br>(2) | コード作成                  | C1. 自動コード生成 (設定含む)                         | <b>自動コード生成</b> <ul style="list-style-type: none"> <li>ソフト開発効率化</li> <li>ソフト品質の安定化</li> <li>プログラマ工数削減</li> <li>コードの動作保証・性能評価</li> <li>仕様とコードの一致性確保</li> </ul>   |
|              | コード検証                  | C2. Back to Back (B2B) 検証など ※モデルとコードの一致性確認 |  |

# MBD適用におけるお客様の課題

- MBD適用には、大きく2つの壁があります。
- お客様のMBD成熟度（進化状況）は、3段階に分けることができます。

- ツール導入後に課題を抱える
  - ✓ 上手くモデリングできない
  - ✓ ツールを使いこなせない
  - ✓ どこから手を付けて良いかわからない

- MBDを組織に定着することができない
- 投資対効果が思うほど上がらない



## まとめ

- モデルベース開発の概要とそのねらい
  - 「動かない紙」から「動く仕様書」へ
  - 既に立証されているMBDの効果
- 代表的なモデルベース開発手法および各社の取り組み事例
  - MILS: シミュレーションを活用した製品仕様やアルゴリズムの検討
  - RCP/HILS・量産コード生成: コード生成のテクノロジーで実機検証・量産フェーズへのモデルの活用
- モデルベース開発成功のカギ
  - 中長期的視点でのMBD推進計画と活動の継続
  - POCからのMBD適用（まずは小さなところから）
  - カギとなる人材育成