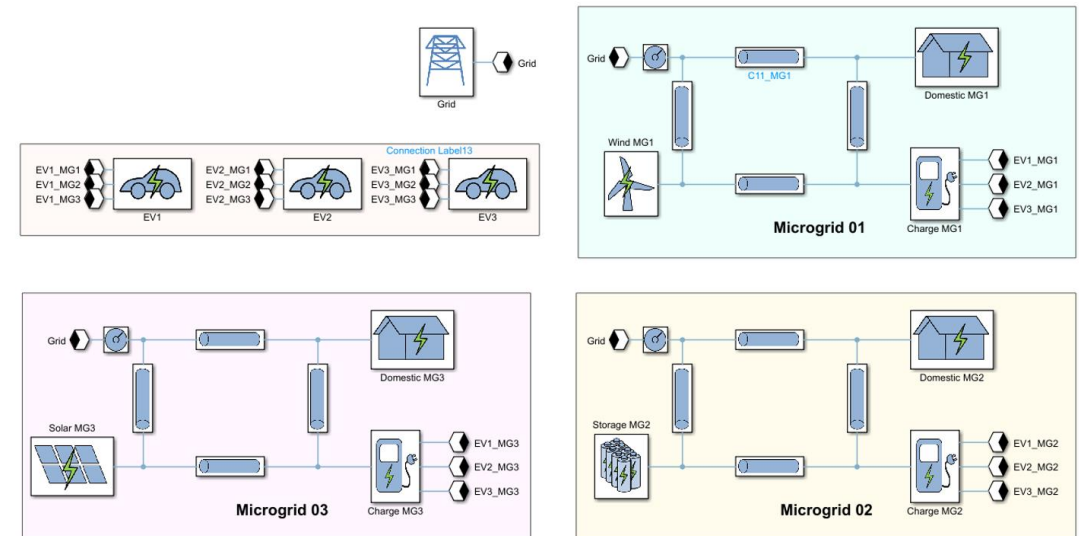


“Vehicle to Grid/Home”のシステム・コンポーネントの解析例

MathWorks Japan
アプリケーションエンジニアリング部
福井 慶一



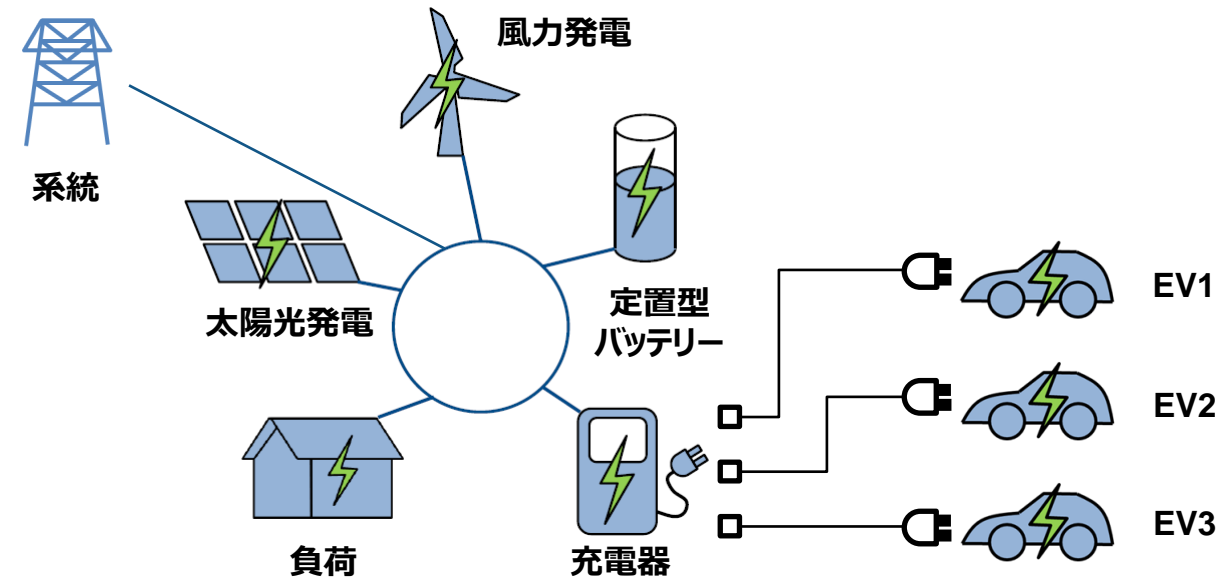
はじめに

本セッションの対象者

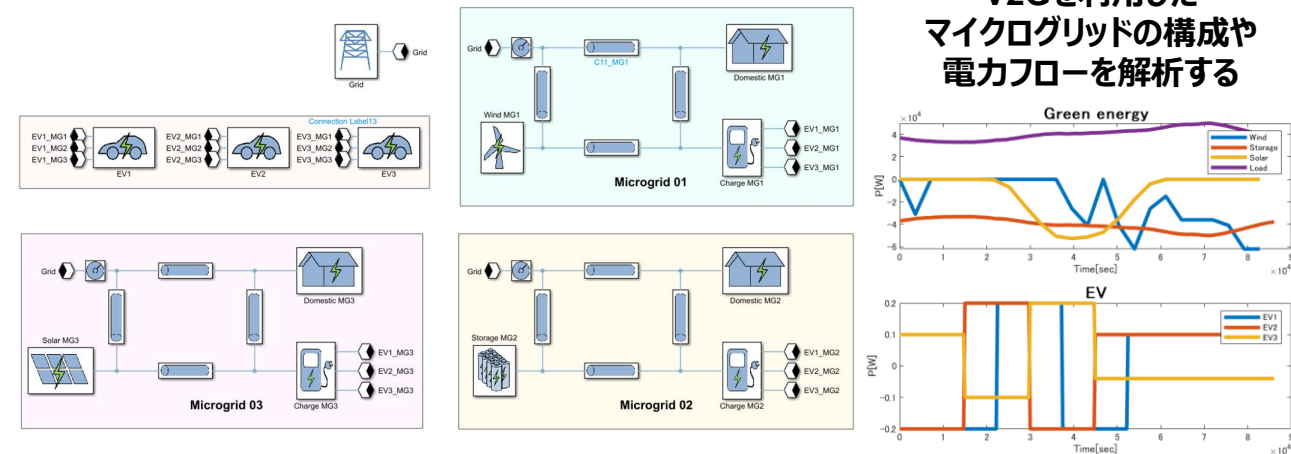
- **V2Gのシステム設計 (系統設計)**
(例: V2Gの設備検討、系統の周波数変動の解析)
- **V2Gのコンポーネント設計 (機器設計)**
(例: V2Gで利用するEV急速充電システムの設計)

本セッションでお伝えしたいこと

- **MATLAB®/Simulink®製品を活用したV2Gのシミュレーション適用例**
 - 幅広い詳細度のモデル構築をカバーできることから、コンポーネントレベルからシステムレベルの解析が可能



概略図



アジェンダ

- **概要**

- V2Gのシステム・コンポーネント開発の課題、MATLAB/Simulinkソリューション

- **例題**

1. V2Gの電力フローの解析 (長時間解析)
2. V2Gのグリッド周波数変動の解析 (短時間解析)
3. EV急速充電システムの解析 (短時間解析)

- **まとめ**

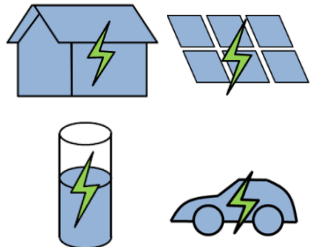
V2Gのシステム・コンポーネント開発の課題

様々な規模・詳細度のモデルを使って解析したいが、そこに至るまでに労力がかかる

1 V2Gの物理的な挙動を理解したい

解析用途 (長/短時間解析) に応じた
電力関連の多種多様な物理モデルを
一から作るのは大変

↓
解析に必要な物理モデルを
手軽に用意したい



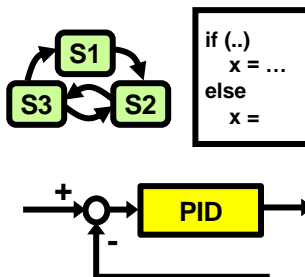
物理モデル



2 制御を含むシステムの性能を検討したい

複雑な制御モデルを
関係者もわかりやすいように
手早く作成するのが難しい

↓
複雑な制御モデルを
簡単に構築したい



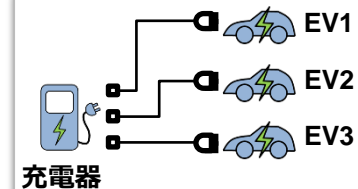
制御設計



3 様々なテスト条件でシミュレーションしたい

パラメーター・テスト信号を変えて
多くの条件で解析するのに
時間がかかる

↓
主要な特長を抽出したモデルで
繰り返し手早く解析したい



- 電池容量、EVの台数、など
- 制御ロジック
- 制御パラメーター

シミュレーション

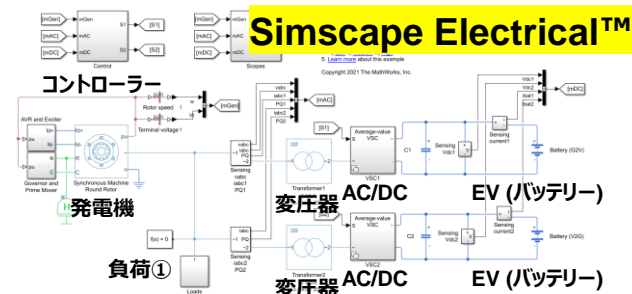


V2Gのシステム・コンポーネント開発のMATLAB/Simulinkソリューション

V2Gの解析に必要な道具を使って、シミュレーションを手早く・効率的に実施できる

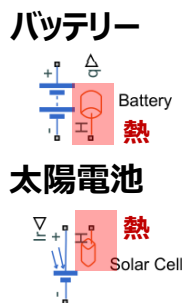
1 V2Gの物理的な挙動を理解できる

再エネ関連のサンプルモデルを提供
(例: V2G、太陽光発電、燃料電池、水素貯蔵)

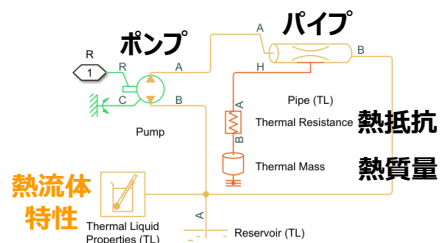


複合物理領域の物理モデルを提供
(電気、機械、熱、熱流体など)

Simscape™プロダクト

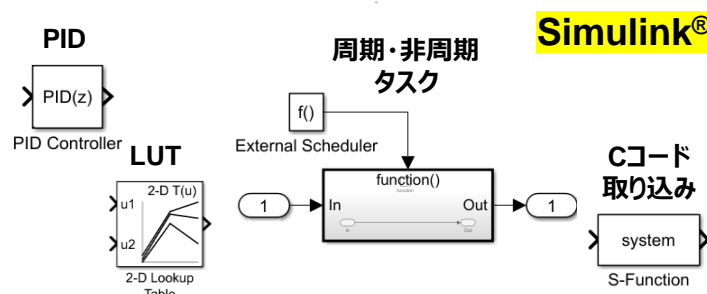


加熱・冷却システム (熱流体)

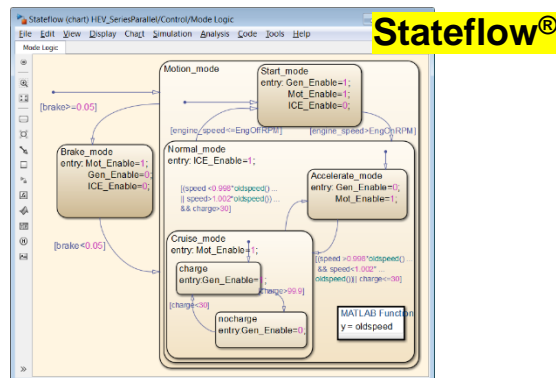


2 エネマネ制御の効果を検討できる

ブロック線図で制御ロジックを記述
(PID、LUT、周期/非周期タスク、Cコード取り込み)

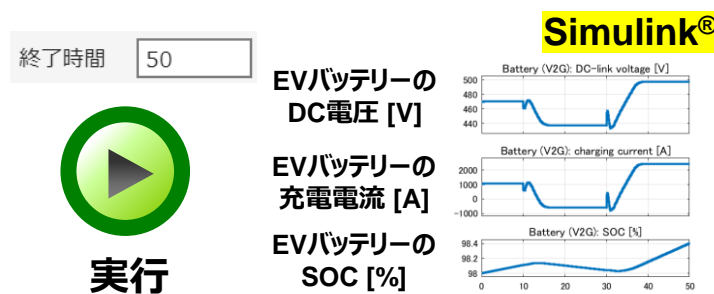


状態遷移図で制御ロジックを記述
(複数の制御モードの遷移、フェールセーフ制御)



3 様々なテスト条件でシミュレーションできる

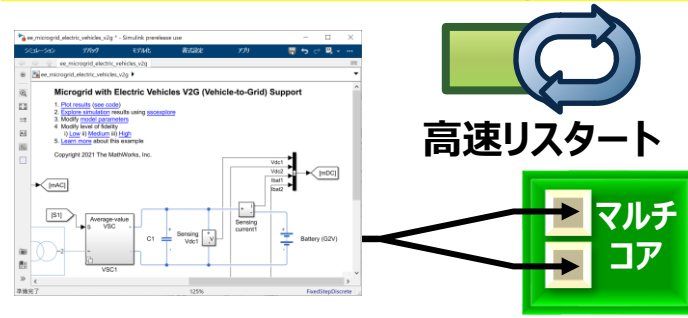
様々な信号の時間応答を確認
(実機では計測しにくい信号もモデルで計測可能)



実行

複数条件の解析の高速化
(高速リスタート、繰り返し計算をマルチコアで並列処理)

MATLAB®, Parallel Computing Toolbox™



アジェンダ

- **概要**

- V2Gのシステム・コンポーネント開発の課題、MATLAB/Simulinkソリューション

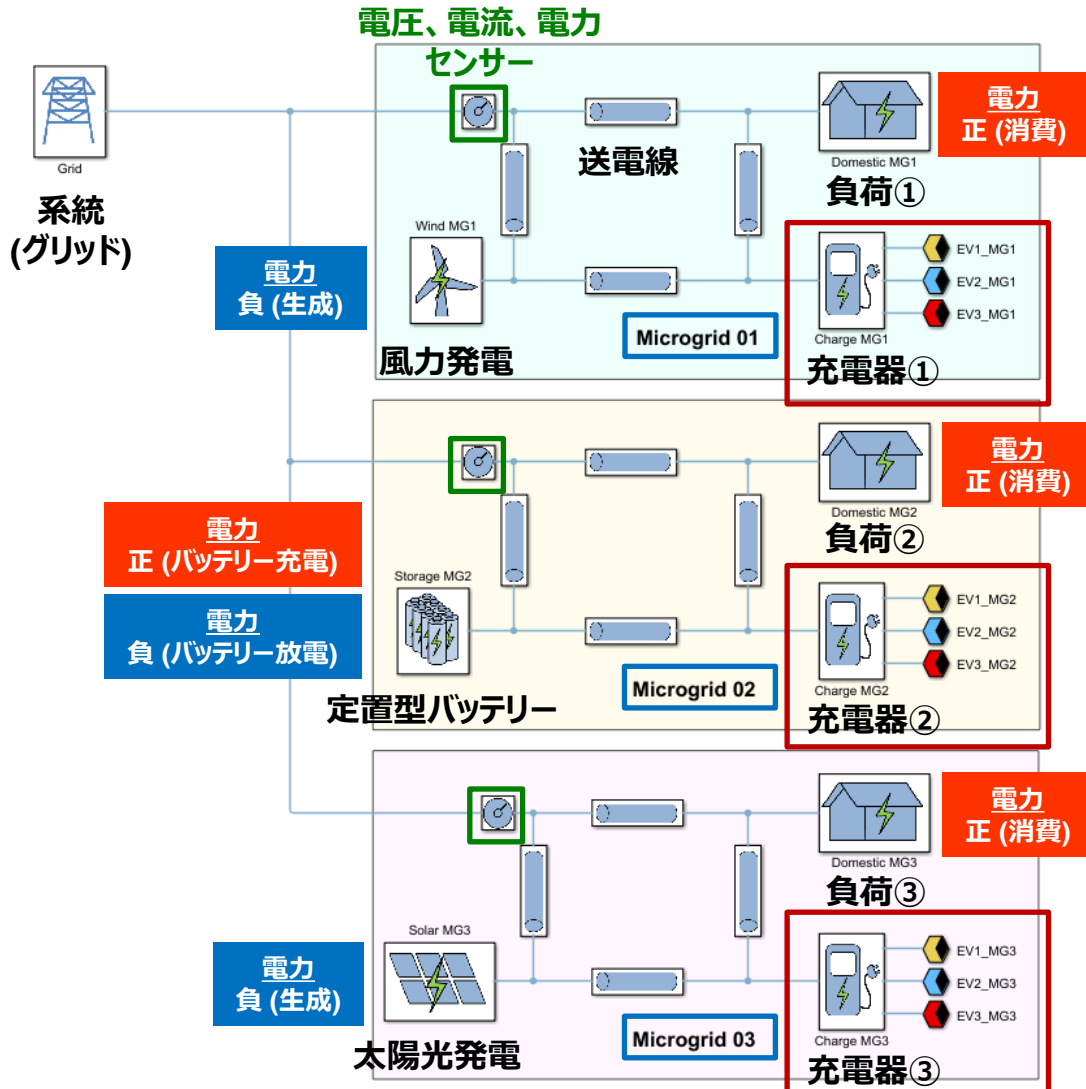
- **例題**

1. V2Gの電力フローの解析 (長時間解析)
2. V2Gのグリッド周波数変動の解析 (短時間解析)
3. EV急速充電システムの解析 (短時間解析)

- **まとめ**

(例題.1) V2Gの電力フローの解析 (長時間解析: 24時間)

マイクログリッドの妥当性の検討のために、グリッド、再エネ、負荷の電力フローを解析する

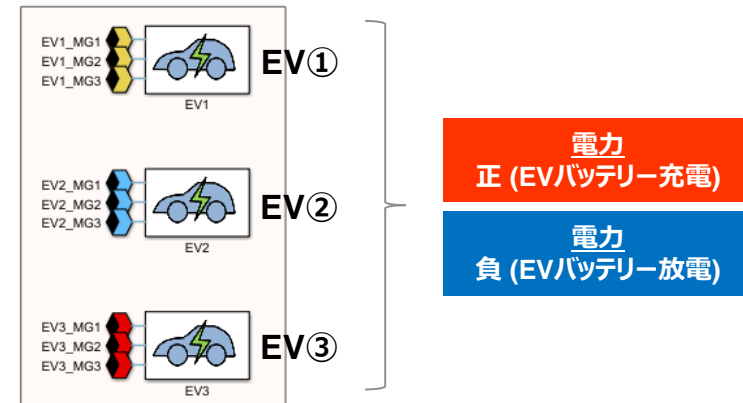


□ 前提条件

- 3つのマイクログリッドで構成される。(MG1、MG2、MG3)
- 風力発電、定置型バッテリー、太陽光発電、負荷①～③、EV①～③は、24時間分の時系列データがあるものとする。

□ 解析例

- 各EVのSOCを計算する。
- 系統からMG1～3に供給される24時間分の瞬時電力を計算する。

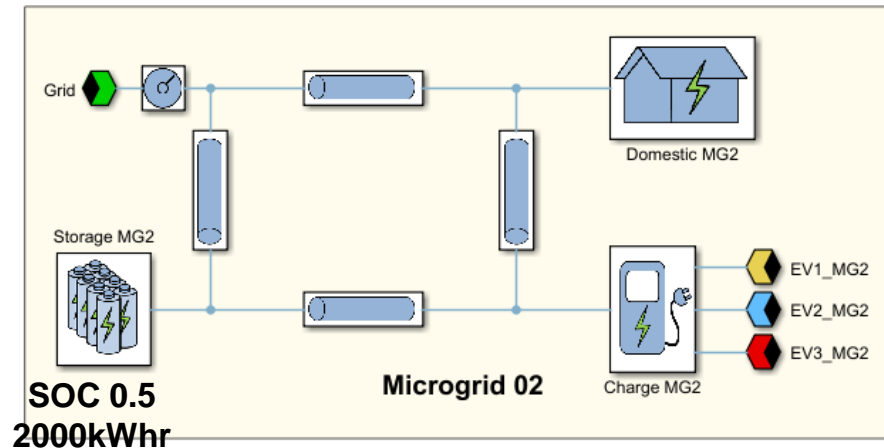
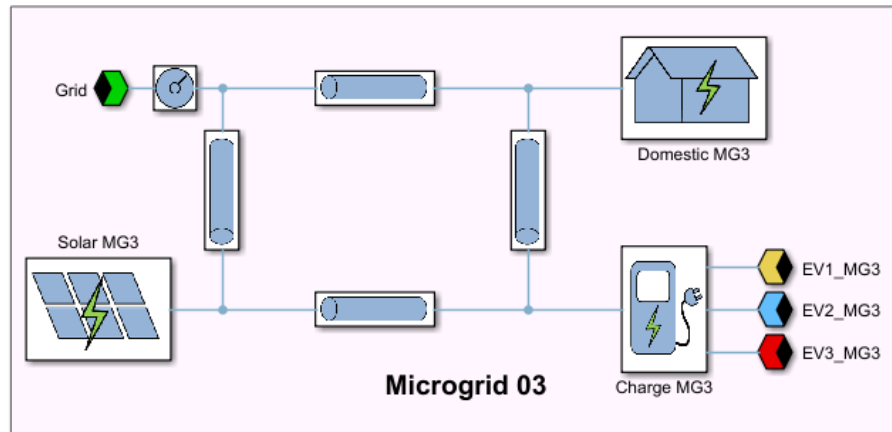
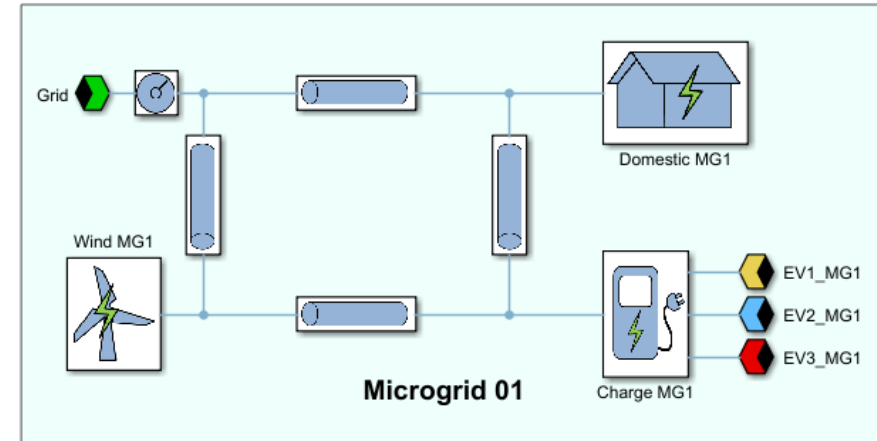
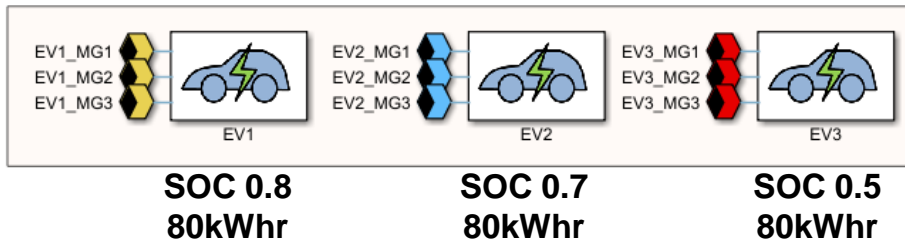
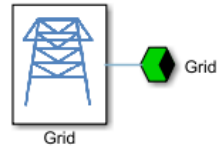


電力
正 (EVバッテリー充電)

電力
負 (EVバッテリー放電)

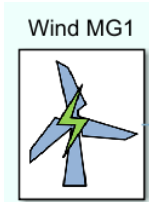
モデル - V2Gの電力フロー解析 (長時間解析: 24時間)

This model shows the impact of moving EVs between microgrids. There are three microgrids, with different configurations. Each microgrid is grid connected. The model uses Frequency and Time simulation with a step time of 300s over a period of 24 hours. All loads and sources are configured to be driven by time-series data.

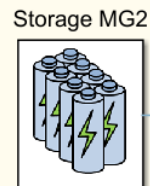
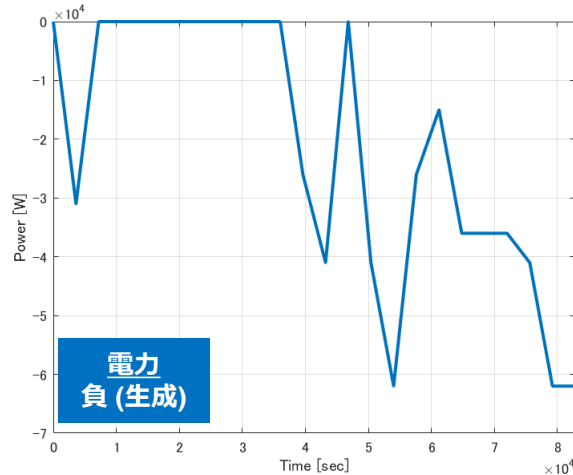


24時間分の電力の時系列データ

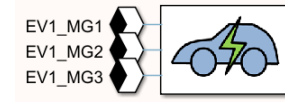
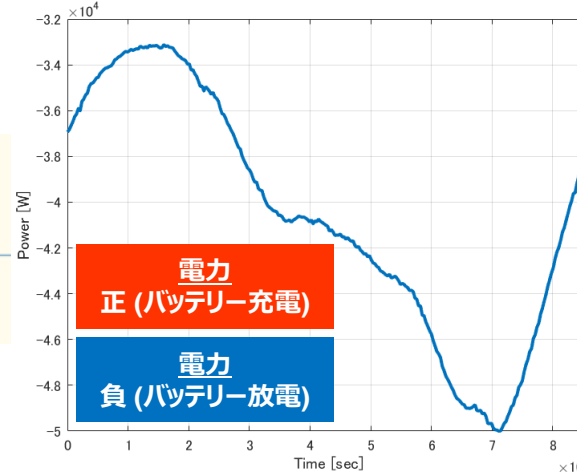
風力発電、定置型バッテリー、太陽光発電、負荷、EVは、以下の電力の時系列データを利用



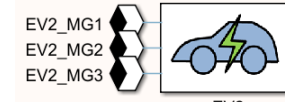
Wind MG1



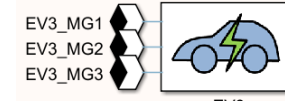
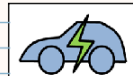
Storage MG2



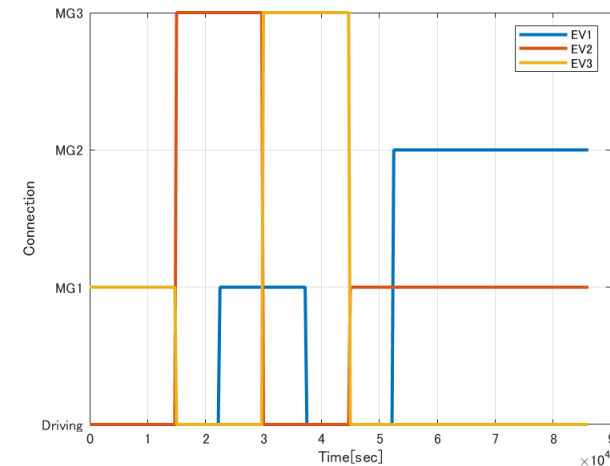
EV1_MG1
EV1_MG2
EV1_MG3



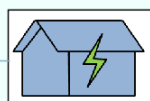
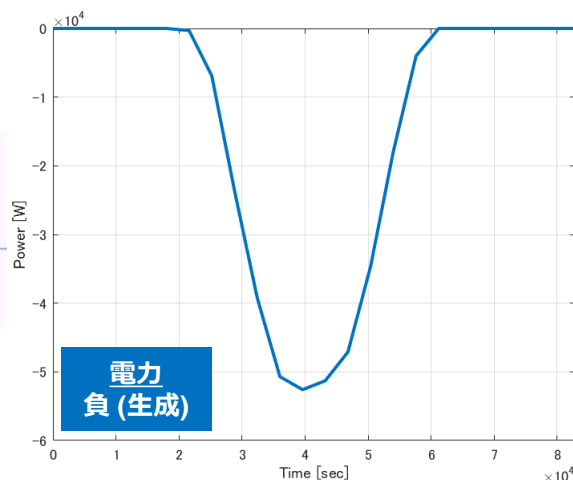
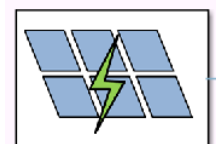
EV2_MG1
EV2_MG2
EV2_MG3



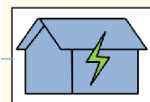
EV3_MG1
EV3_MG2
EV3_MG3



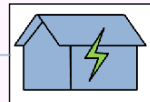
Solar MG3



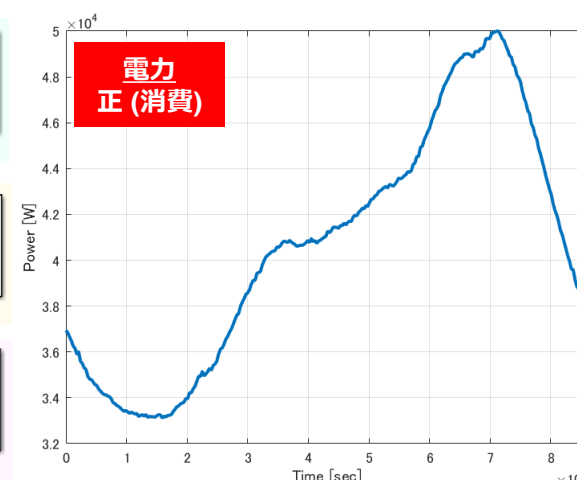
Domestic MG1



Domestic MG2



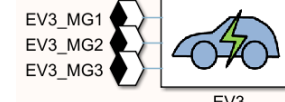
Domestic MG3



EV1_MG1
EV1_MG2
EV1_MG3

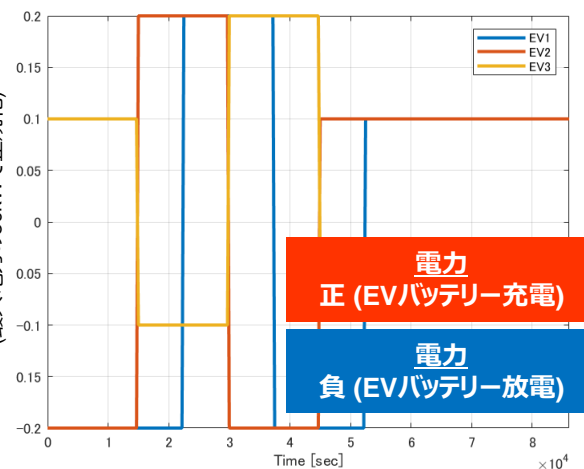


EV2_MG1
EV2_MG2
EV2_MG3



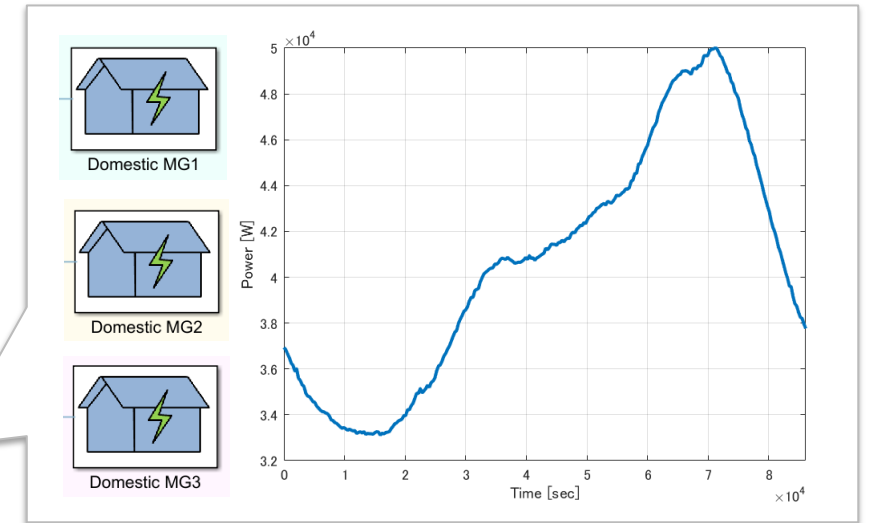
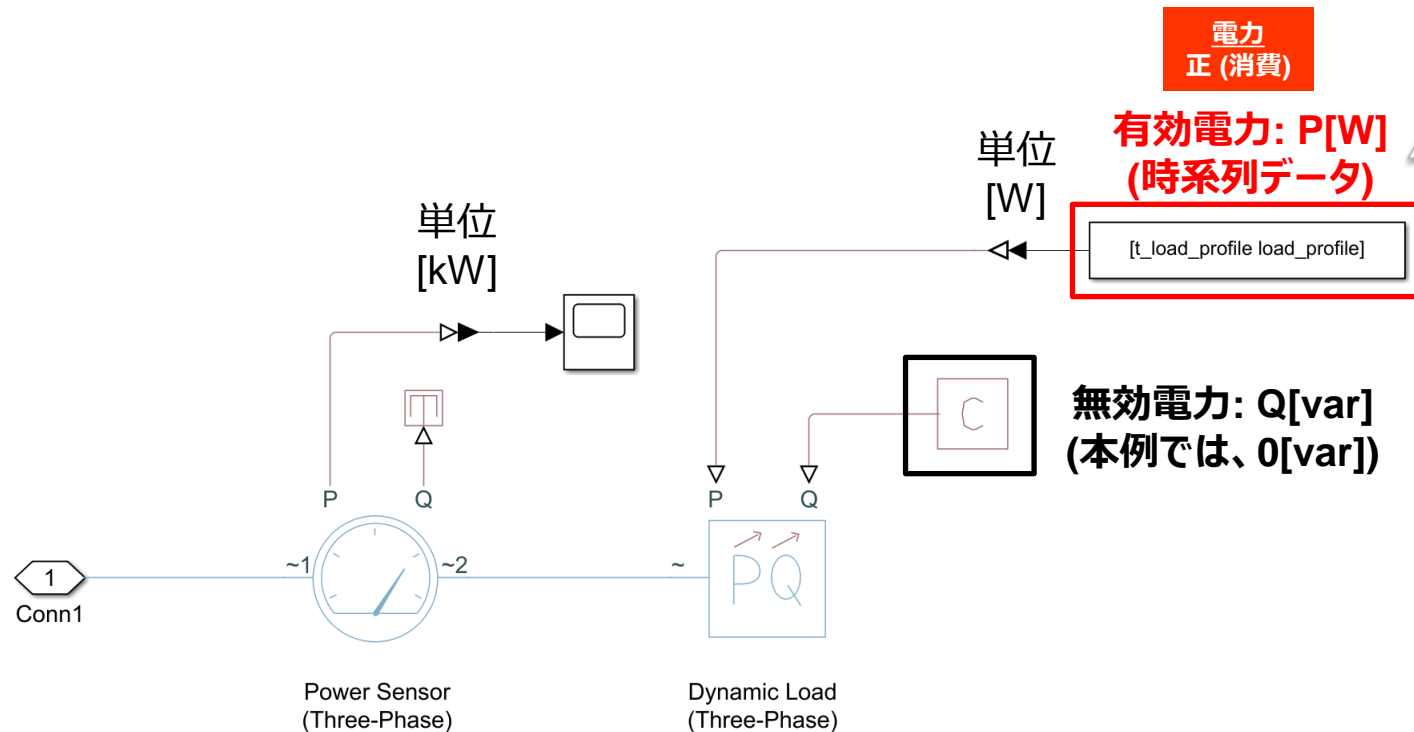
EV3_MG1
EV3_MG2
EV3_MG3

EV①～③電力 [W]
(最大電力の50kWで正規化)



負荷①～③のモデリング

負荷①～③は同じ電力データを利用



電力センサー

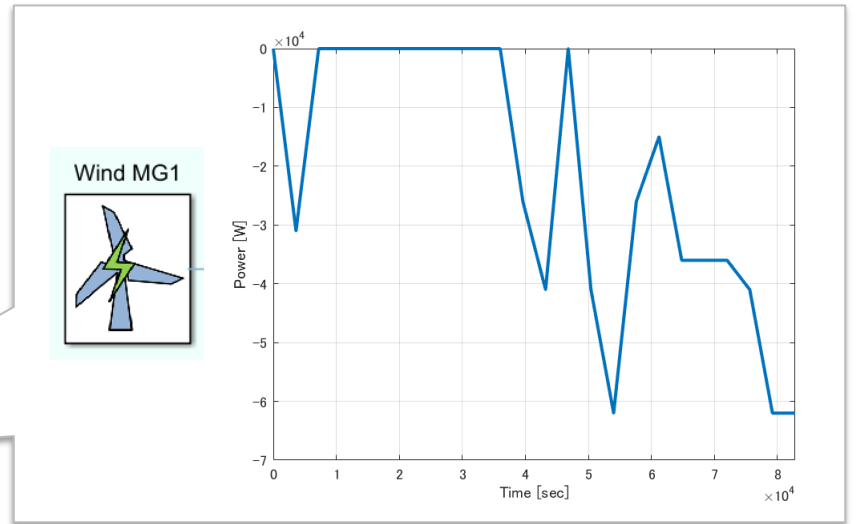
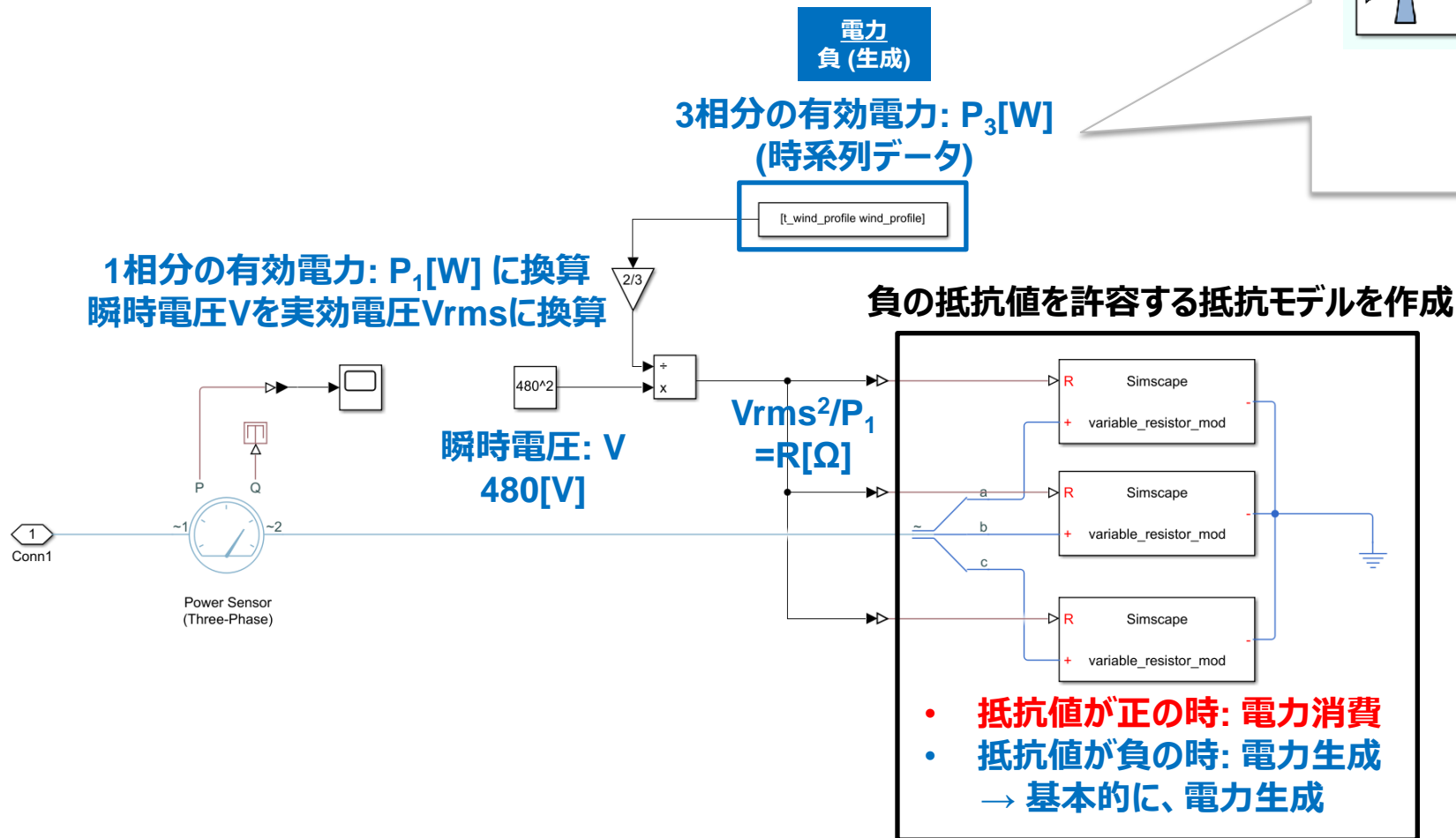
- 有効電力: P[W]
- 無効電力: Q[var]

可変負荷

- 有効電力: P[W]
- 無効電力: Q[var]

風力発電のモデリング

定置型バッテリー、太陽光発電のモデリングも同様



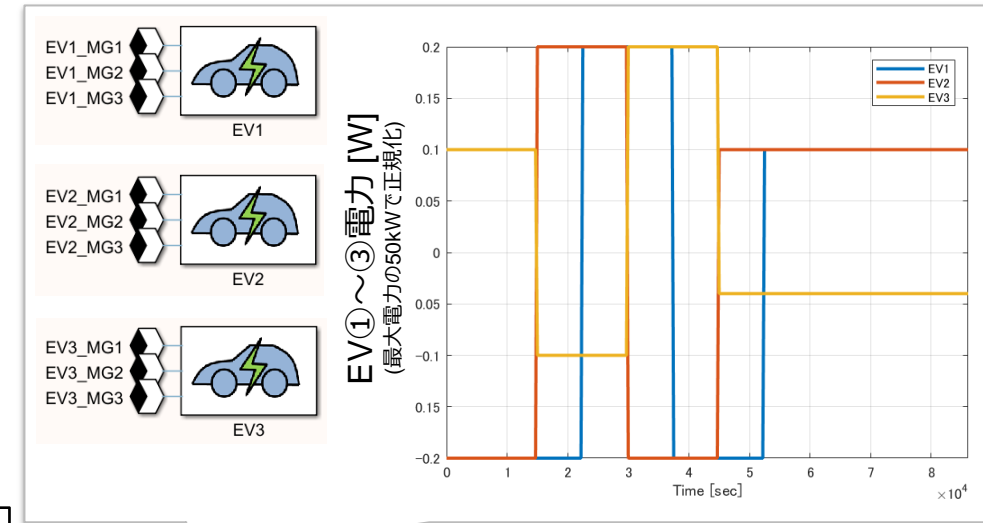
EV (移動型バッテリー) のモデリング

ドライビングモード (放電)、MG接続モード (充電) の2通りのパターンを想定する

電力
正 (EVバッテリー充電)

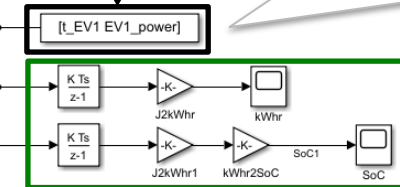
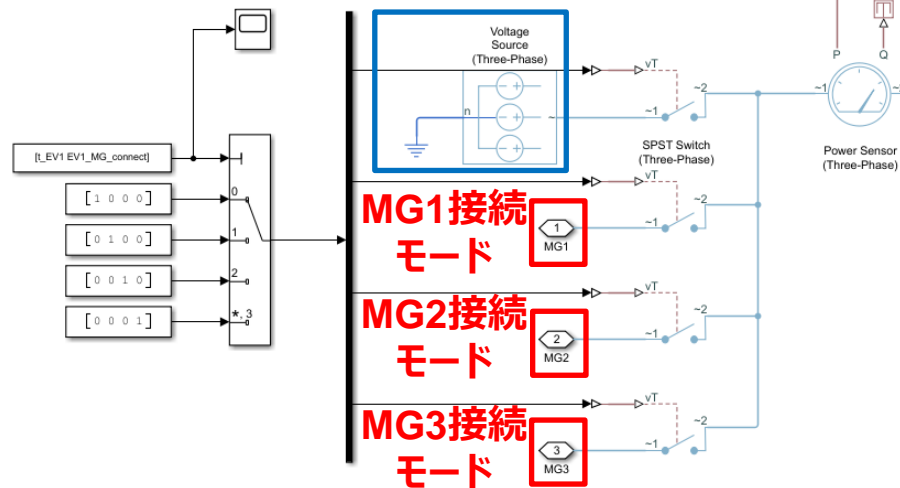
電力
負 (EVバッテリー放電)

3相分の有効電力: $P_3[W]$
(時系列データ)

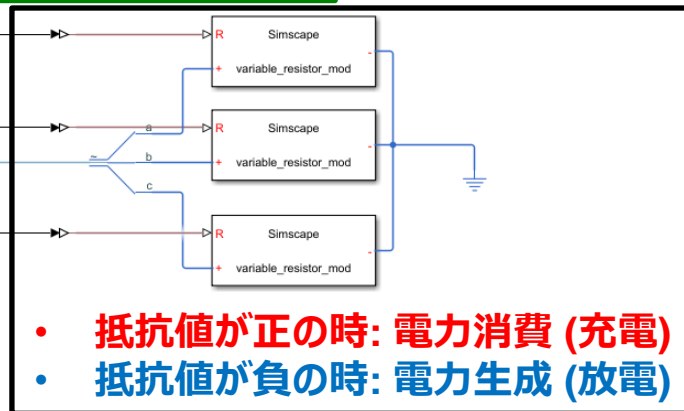


When an EV is driving, it is disconnected from the microgrids and the energy is fed into an ideal source.

MGに接続せず、
ドライビングモード



EV (移動型バッテリー) の
消費電力量[kWhr]、SOCを計算



負の抵抗値を許容する抵抗モデルを作成

シミュレーション

デバッグ

モデル化

書式設定

アプリ

新規

開く

保存

印刷

ファイル

ライブラリブラウザー

ライブラリ

信号のログ

ビューアーの追加

信号テーブル

終了時間

24*3600

アクセラレータ

高速リスタート

ステップを戻す

実行

ステップを進める

停止

シミュレーション

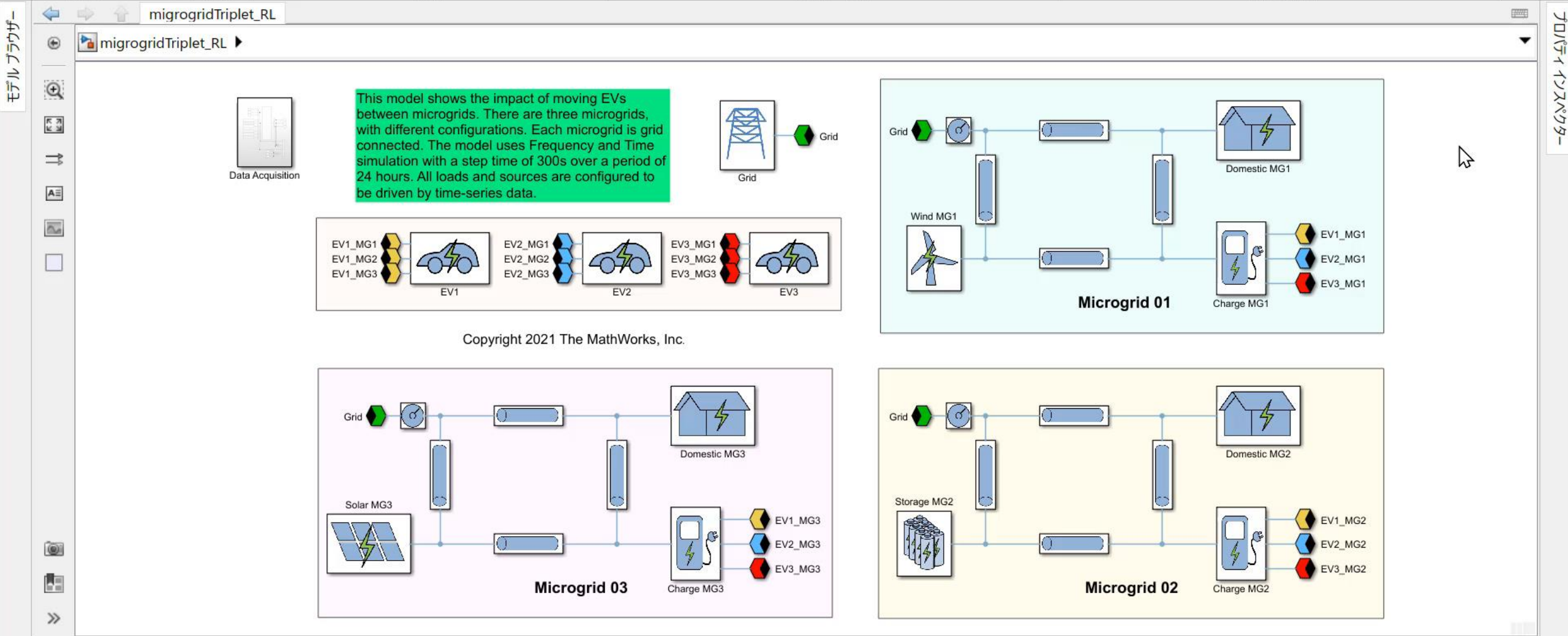
データインスペクター

ロジックアナライザー

鳥瞰図スコープ

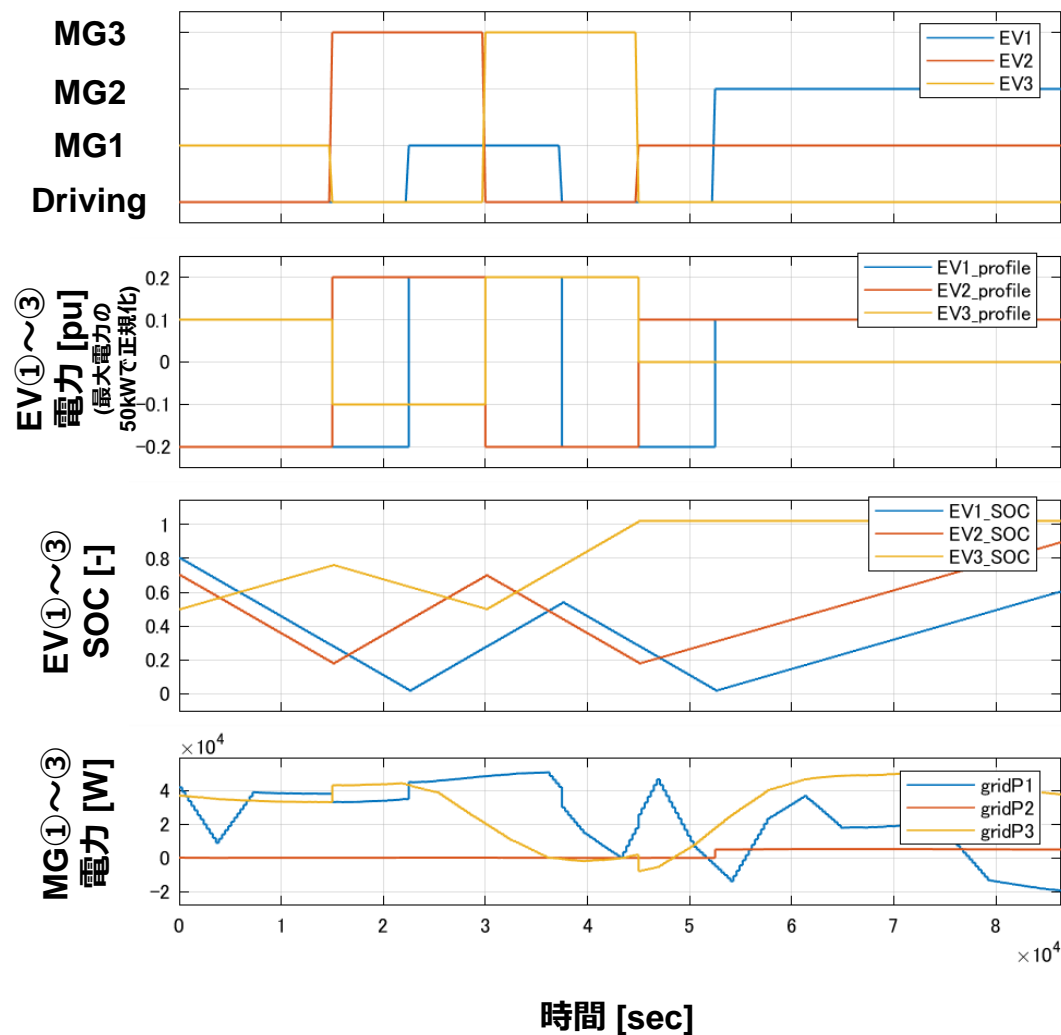
シミュレーションマネージャー

結果の確認

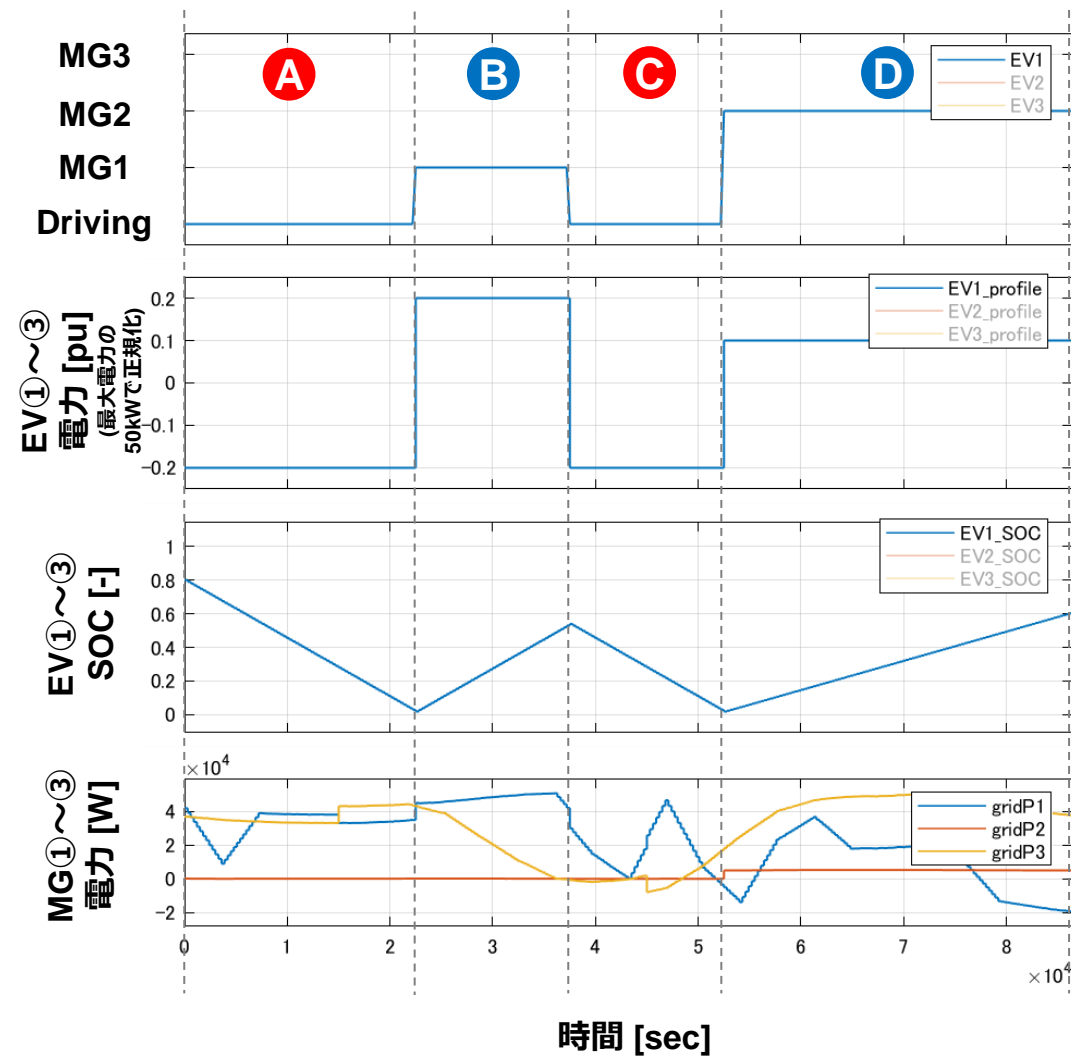


解析結果

EVとMGの接続有無に伴うSOCの挙動、
MG①～③の電力フローを確認する



- A** EV1がDrivingモードの場合、EVバッテリーを10[kW]で放電して、SOCが減少。
- B** EV1がMG1接続モードの場合、EVバッテリーを10[kW]で充電して、SOCが増加。
- C** EV1がDrivingモードの場合、EVバッテリーを10[kW]で放電して、SOCが減少。
- D** EV1がMG2接続モードの場合、EVバッテリーを5[kW]で充電して、SOCが増加。



アジェンダ

- 概要

- V2Gのシステム・コンポーネント開発の課題、MATLAB/Simulinkソリューション

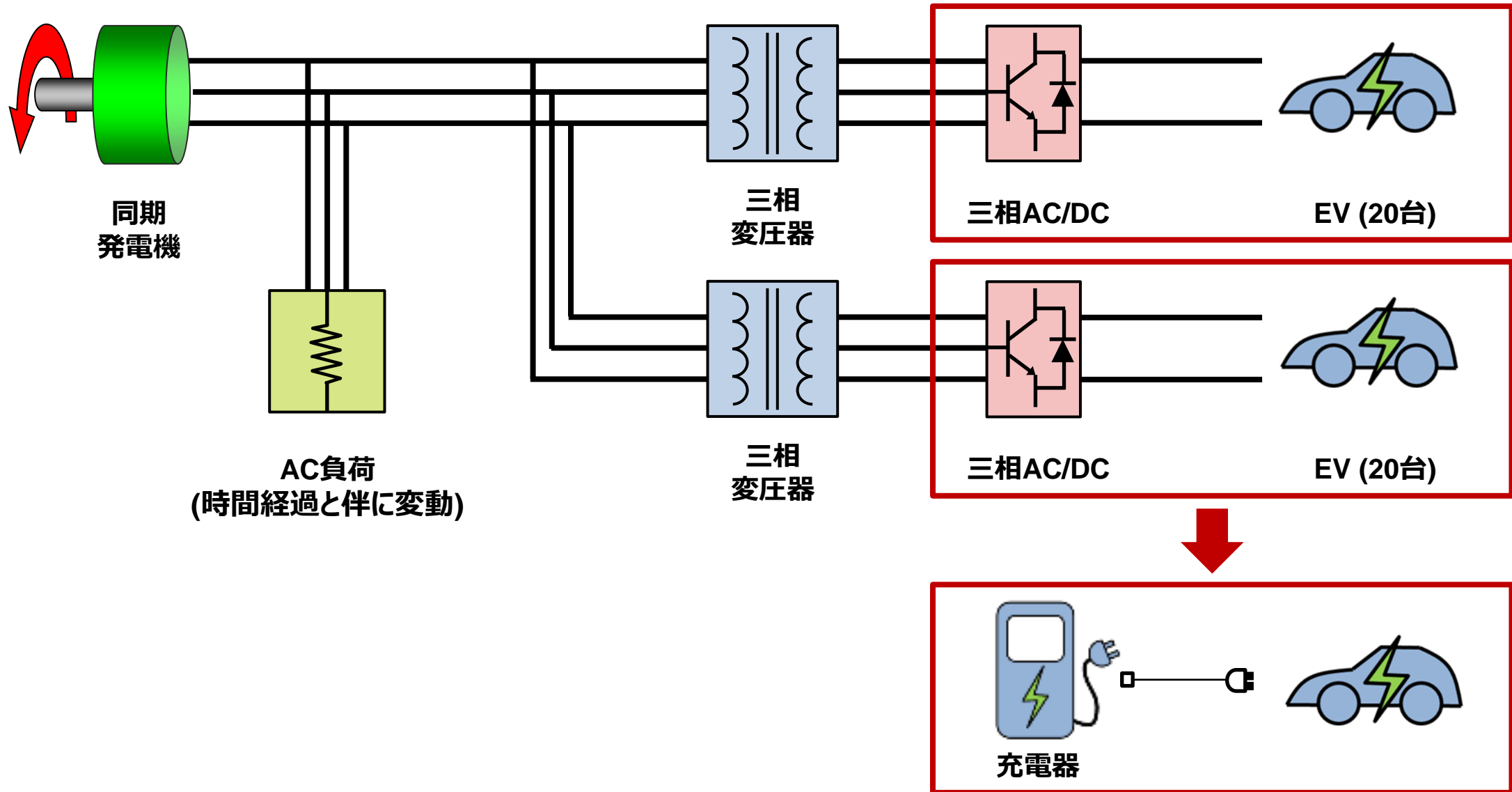
- 例題

1. V2Gの電力フローの解析 (長時間解析)
2. V2Gのグリッド周波数変動の解析 (短時間解析)
3. EV急速充電システムの解析 (短時間解析)

- まとめ

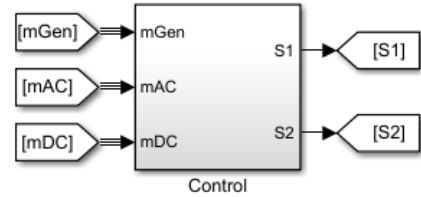
(例題.2) V2Gのグリッド周波数変動の解析 (短時間解析: 50秒)

負荷変動時に、EVの充放電も利用して発電機の周波数変動が抑制されていることを解析する

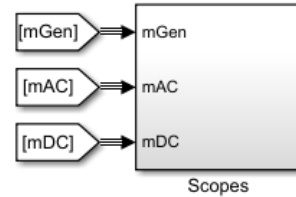


モデル - V2Gのグリッド周波数変動の解析 (短時間解析: 50秒)

コントローラ (コンバーター制御)



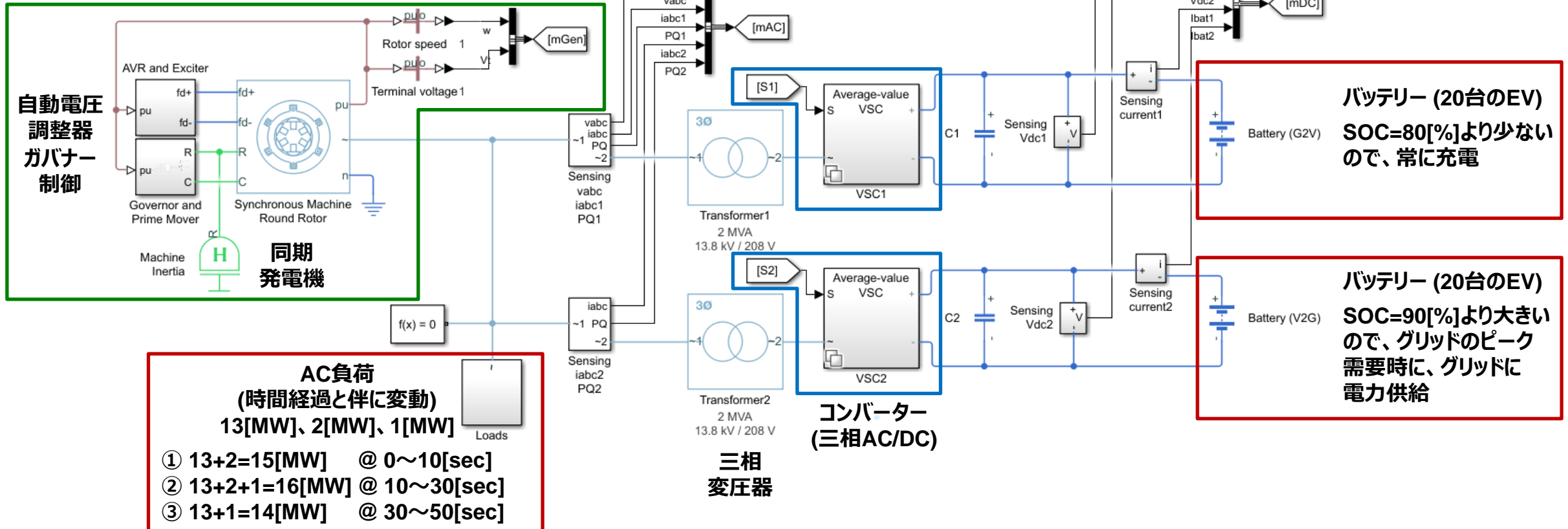
データ計測



Microgrid with Electric Vehicles V2G (Vehicle-to-Grid) Support

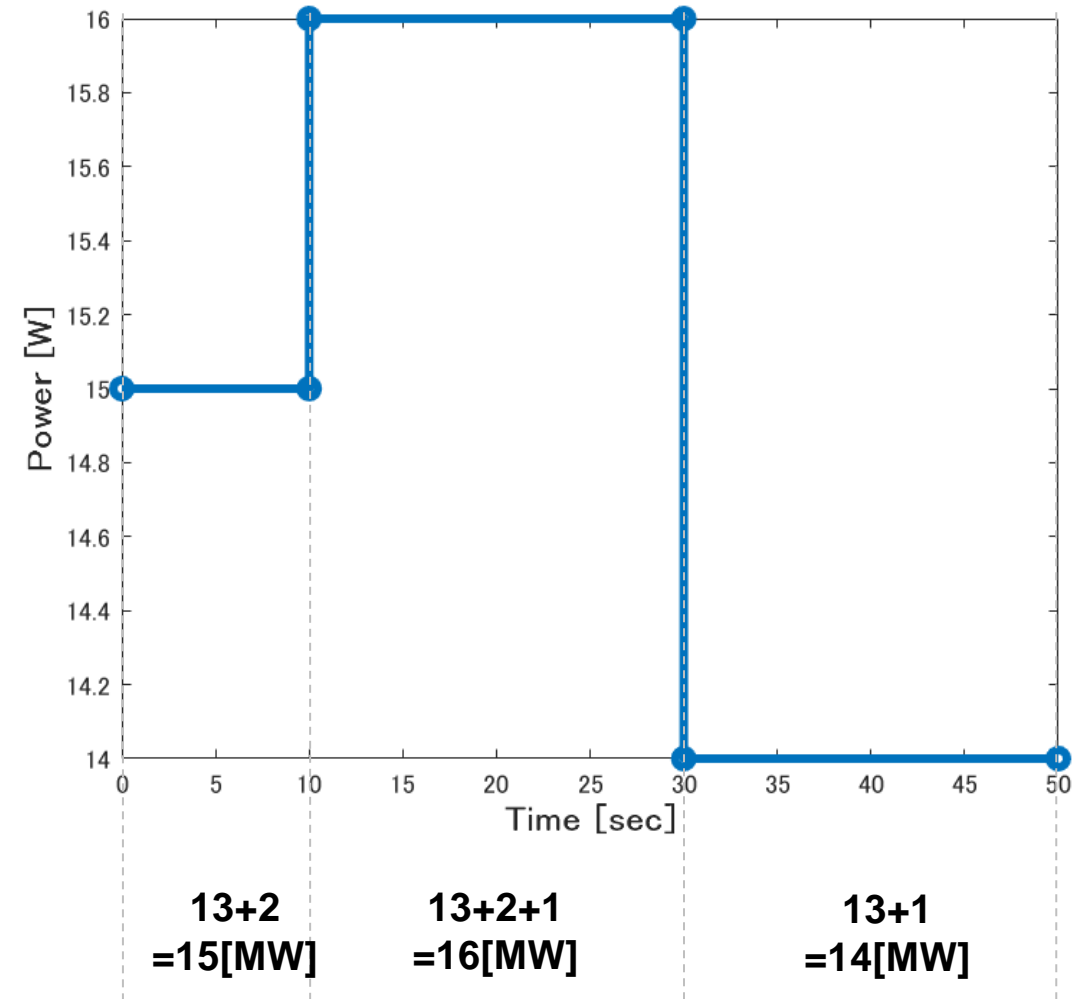
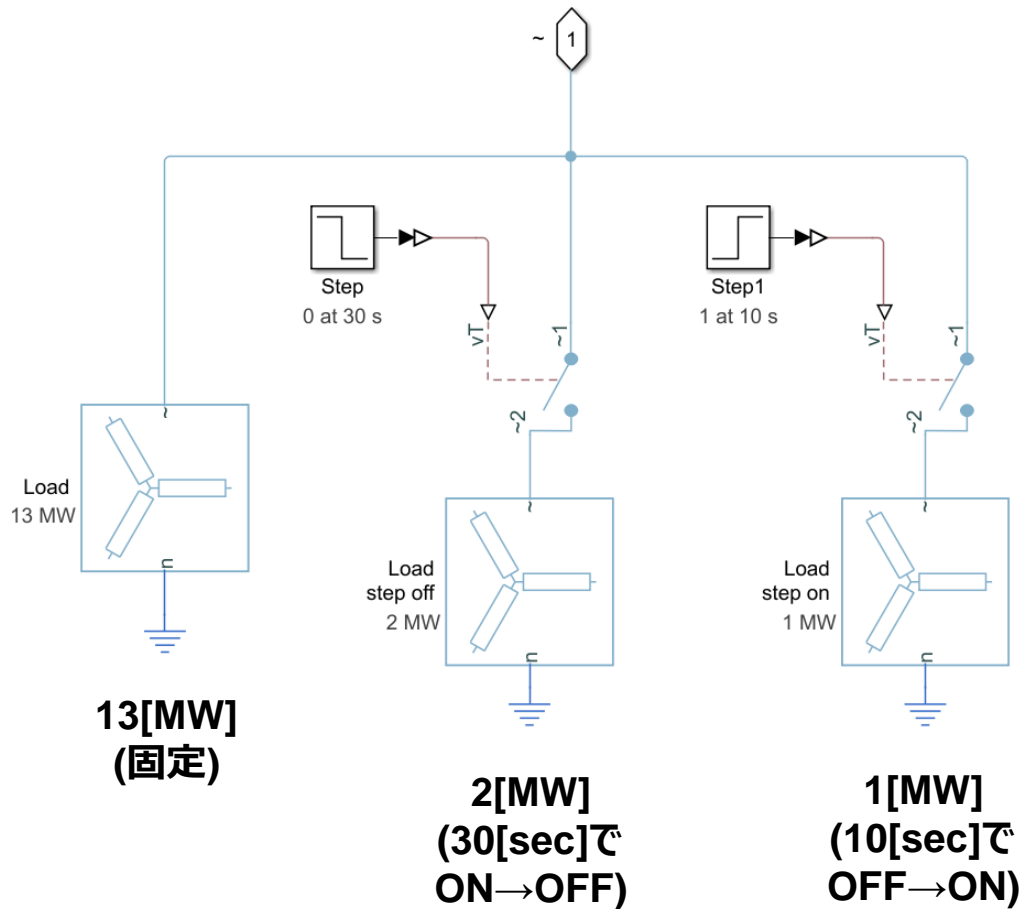
1. Plot results ([see code](#))
2. Explore simulation results using [sscexplore](#)
3. Modify [model parameters](#)
4. Modify level of fidelity
 - i) Low ii) Medium iii) High
5. [Learn more](#) about this example

Copyright 2021 The MathWorks, Inc.



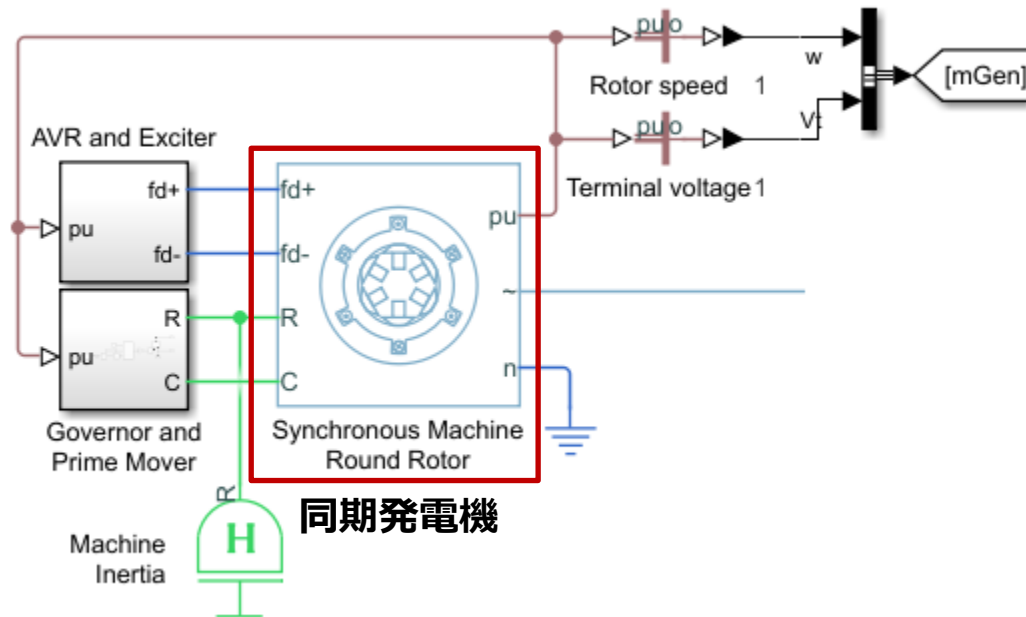
AC負荷 (時間経過と共に変動)

- ① $13+2=15[\text{MW}]$ @ $0\sim10[\text{sec}]$
- ② $13+2+1=16[\text{MW}]$ @ $10\sim30[\text{sec}]$
- ③ $13+1=14[\text{MW}]$ @ $30\sim50[\text{sec}]$

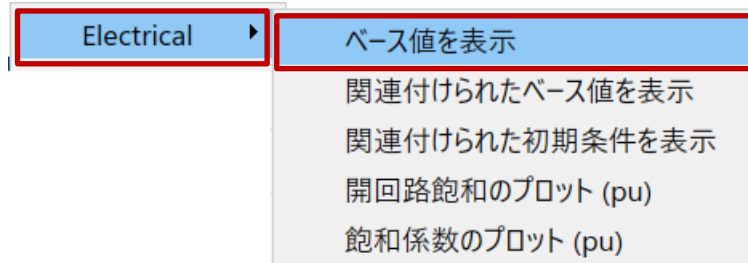


同期発電機

pu単位法 (基準となるベース値からの倍数で表す表記法) でパラメーター設定するモデルは、ベース値は以下の方法で確認可能



上記の同期発電機モデル上で、右クリックして、「ベース値を表示」を選択する。



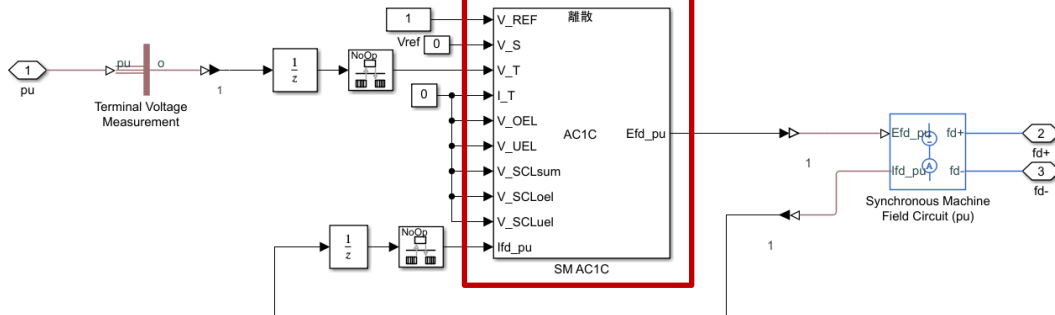
コマンドウィンドウ

ブロック名:
'ee_microgrid_electric_vehicles_v2g/Synchronous Machine Round Rotor'

マシンのベース値:

SRated =	2.5e+07	: V*A	% 定格皮相電力
VRated =	13800	: V	% 定格電圧
FRated =	60	: Hz	% 定格電気周波数
connection =	wye		% 接続構成
SPerPhase =	8.33333e+06	: V*A	% 皮相電力 (相あたり)
PPerPhase =	8.33333e+06	: V*A	% 有効電力 (相あたり)
QPerPhase =	8.33333e+06	: V*A	% 無効電力 (相あたり)
V =	7967.43	: V	% 実効値電圧
v =	11267.7	: V	% 瞬時電圧
I =	1045.92	: A	% 実効値電流
i =	1479.16	: A	% 瞬時電流
Z =	7.6176	: Ohm	% インピーダンス
R =	7.6176	: Ohm	% 抵抗
X =	7.6176	: Ohm	% リアクタンス
Y =	0.131275	: S	% アドミタンス
G =	0.131275	: S	% コンダクタンス
B =	0.131275	: S	% サセプタンス
L =	0.0202063	: H	% インダクタンス
C =	0.000348218	: F	% 静電容量
Psi =	21.1343	: Wb	% 実効値鎖交磁束
psi =	29.8884	: Wb	% 瞬時ピーク鎖交磁束
wElectrical =	376.991	: rad/s	% 電気角速度
nPolePairs =	4	: 1	% 極対数
wMechanical =	94.2478	: rad/s	% 機械角速度
torque =	265258	: N*m	% トルク

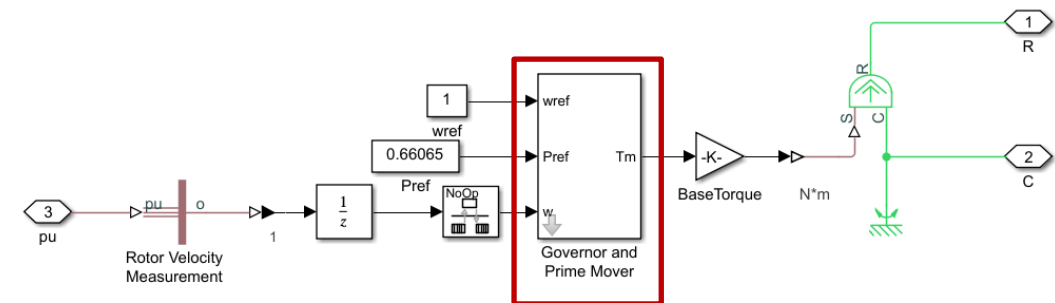
同期発電機の制御



自動電圧調整器

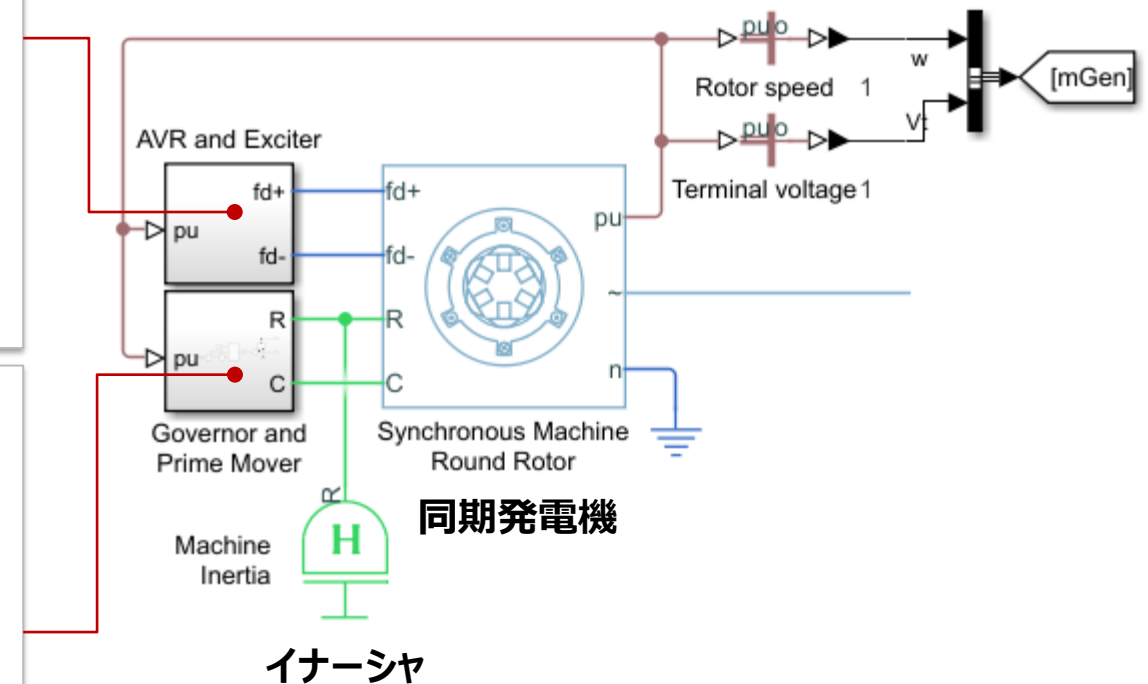
(発電機の励磁電圧を制御して発電機端子電圧を一定に維持)

IEEE421.5-2016に準拠した同期機タイプの
AC1C励磁システムモデル ([Help document](#))



ガバナー制御 (調速機制御)

(発電機の回転数を一定に維持)

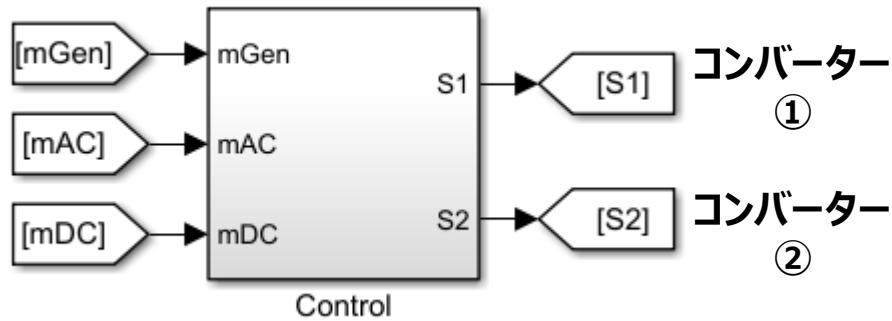


同期発電機

イナーシャ

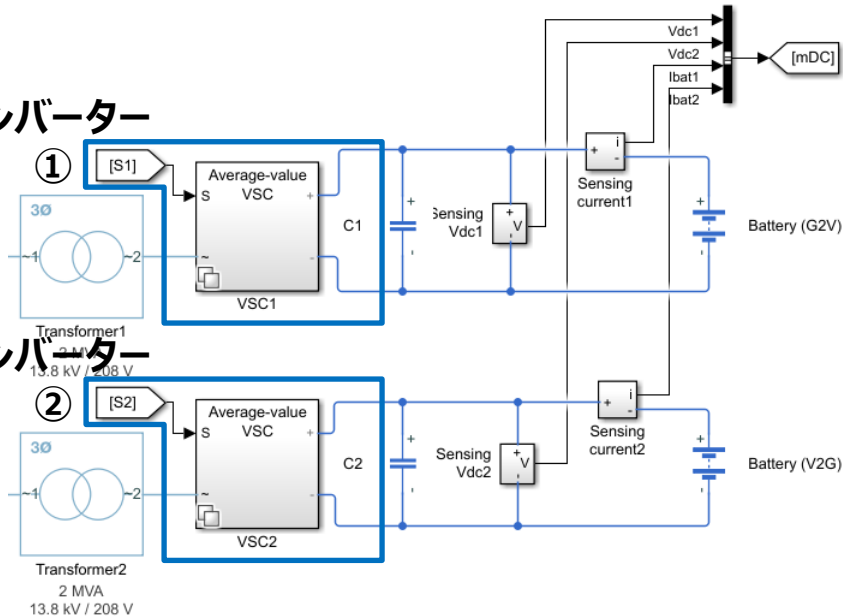
コンバーターの制御

同期発電機の
角速度、端子電圧
変圧器の
三相電圧、電流
EVバッテリーの
DC電圧、電流



コンバーター

コンバーター

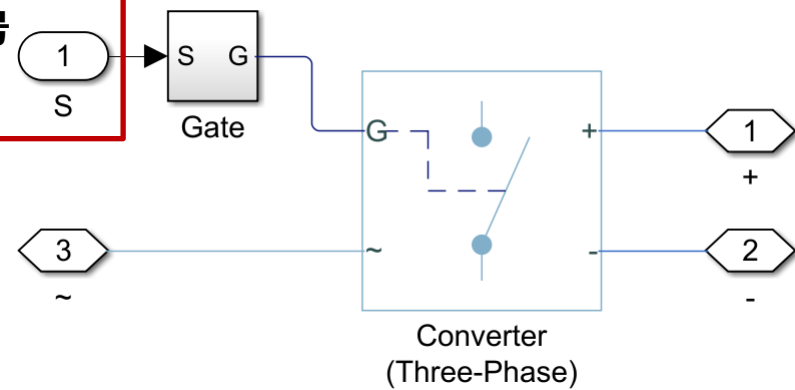


AC/DC

① 半導体デバイスのスイッチング制御を考慮する
(PWM Voltage)

ゲート信号

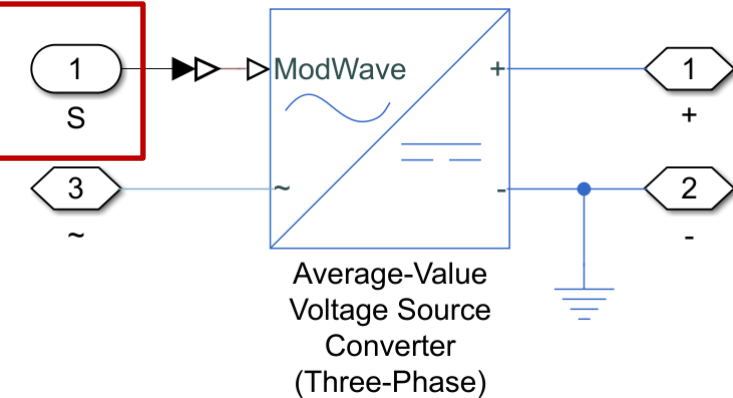
$g_1 \sim g_6$



② 半導体デバイスのスイッチング制御を考慮しない
(Average Voltage)

変調率

m_a, m_b, m_c



シミュレーション デバッグ モデル化 書式設定 アプリ

新規 開く 保存 印刷 ファイル

ライブラリ プラウザー ライブラリ

信号のログ ビューアーの追加 信号テーブル 準備

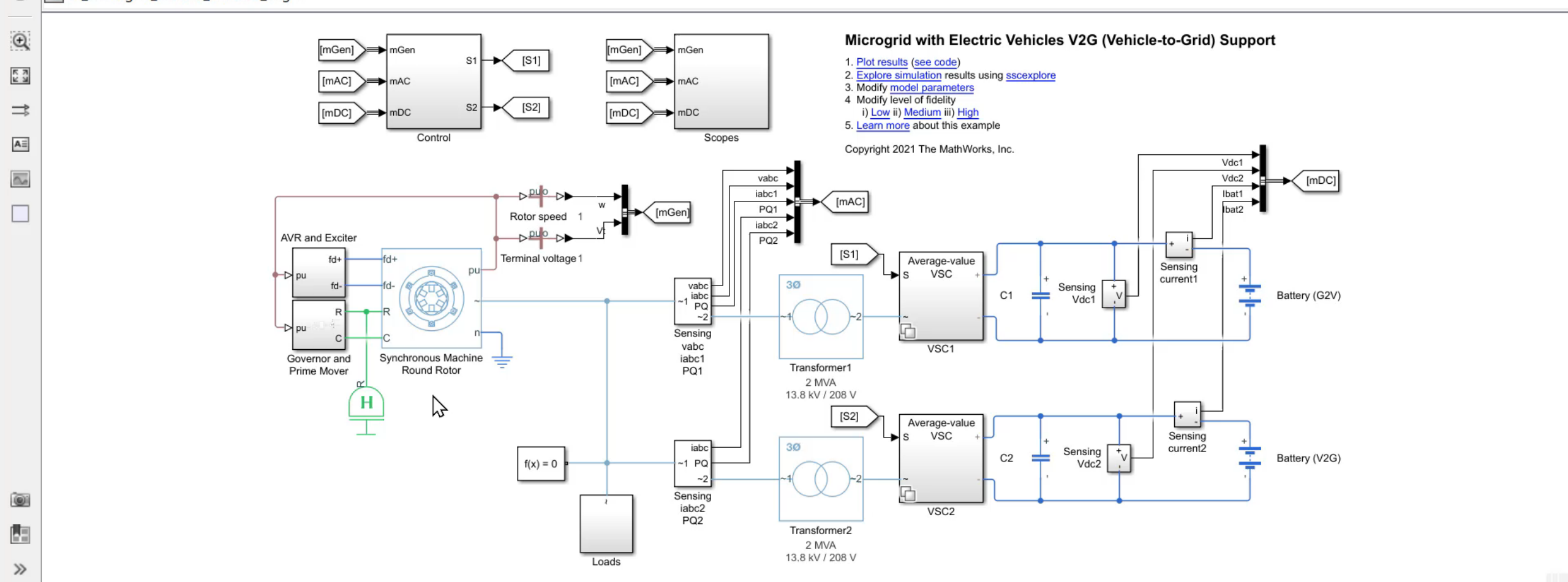
終了時間 50 ノーマル 高速リスタート

ステップを戻す 実行 ステップを進める 停止 シミュレーション

データインスペクター ロジックアナライザー 鳥瞰図スコープ シミュレーションマネージャー 結果の確認

ee_microgrid_electric_vehicles_v2g

ee_microgrid_electric_vehicles_v2g



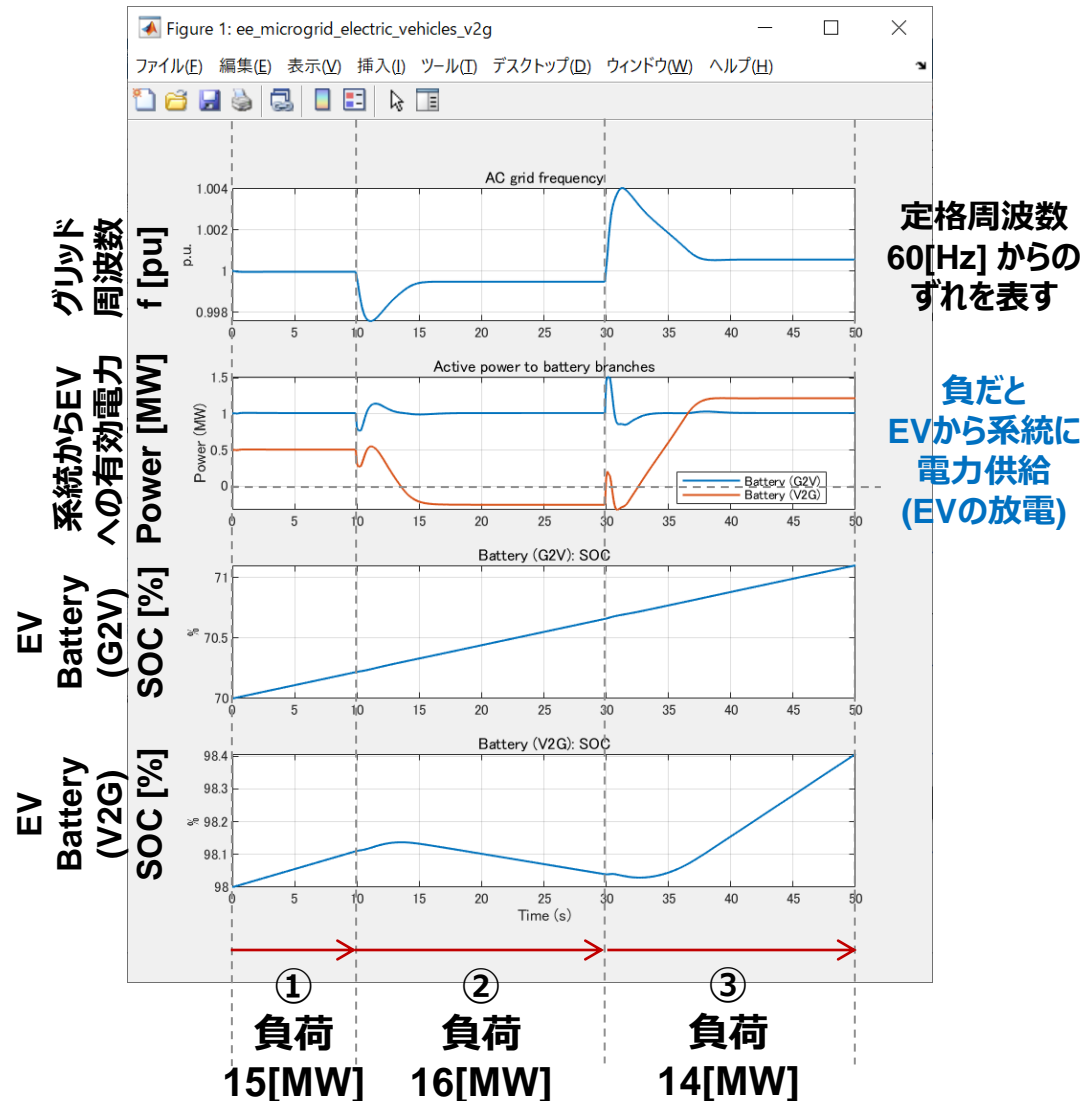
準備完了

85%

FixedStepDiscrete

解析結果

負荷変動時に、EVの充放電に伴うSOCの挙動や、発電機の周波数変動抑制の効果を確認する



- ① 負荷 15[MW] @ t=0~10[sec]
 - Battery (G2V): SOC=70[%]から増加 (充電)
 - Battery (V2G): SOC=98[%]から増加 (充電)
- ② 負荷 16[MW] @ t=10~30[sec]
 - グリッド周波数が0.998[pu]辺りに減少 (発電機の回転数減少)、その後、0.999~1[pu]辺りに維持
 - Battery (G2V): SOC=80[%]より小さいので、常に充電状態
 - Battery (V2G): グリッドに電力供給 (放電)
- ③ 負荷 14[MW] @ t=30[sec]
 - グリッド周波数が1.004[pu]辺りに増加 (発電機の回転数増加)、その後、1~1.001[pu]辺りに維持
 - Battery (G2V): SOC=80[%]より小さいので、常に充電状態
 - Battery (V2G): グリッドから電力供給 (充電)

アジェンダ

- **概要**

- V2Gのシステム・コンポーネント開発の課題、MATLAB/Simulinkソリューション

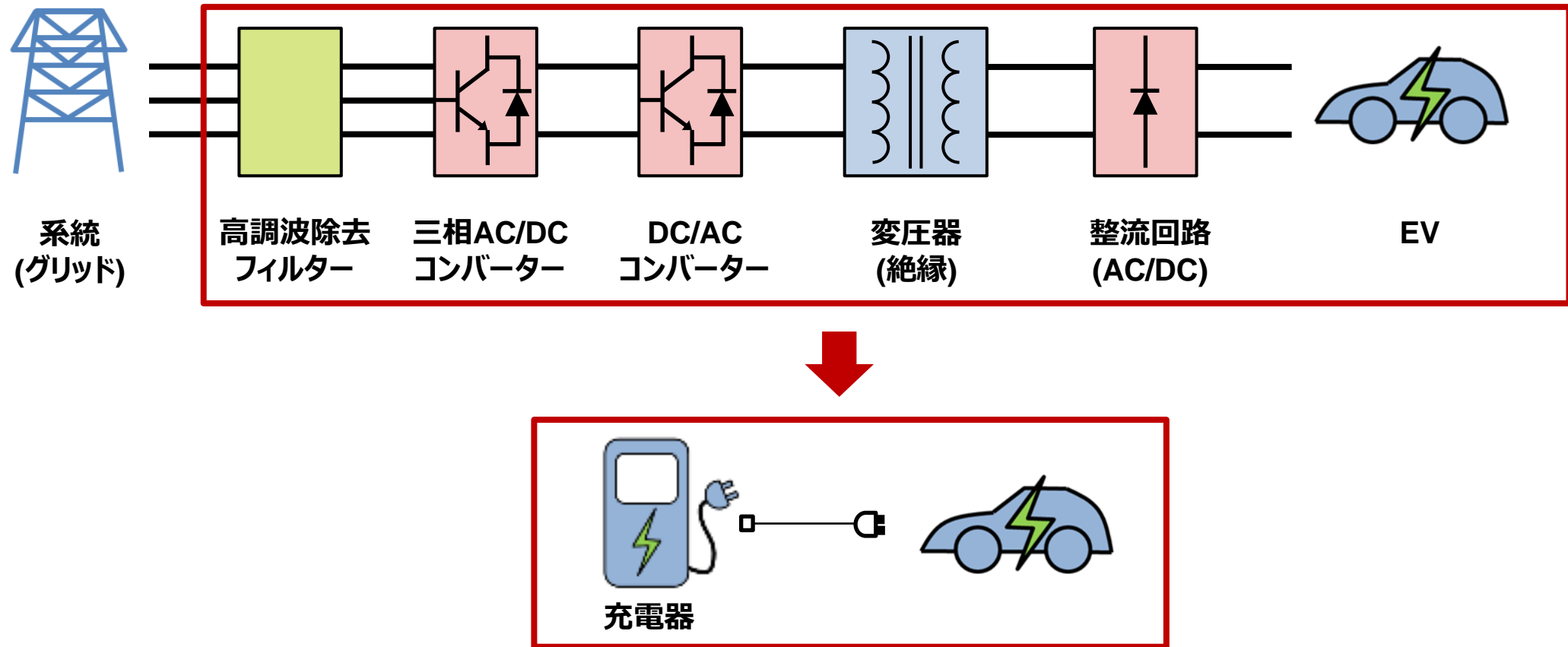
- **例題**

1. V2Gの電力フローの解析 (長時間解析)
2. V2Gのグリッド周波数変動の解析 (短時間解析)
3. EV急速充電システムの解析 (短時間解析)

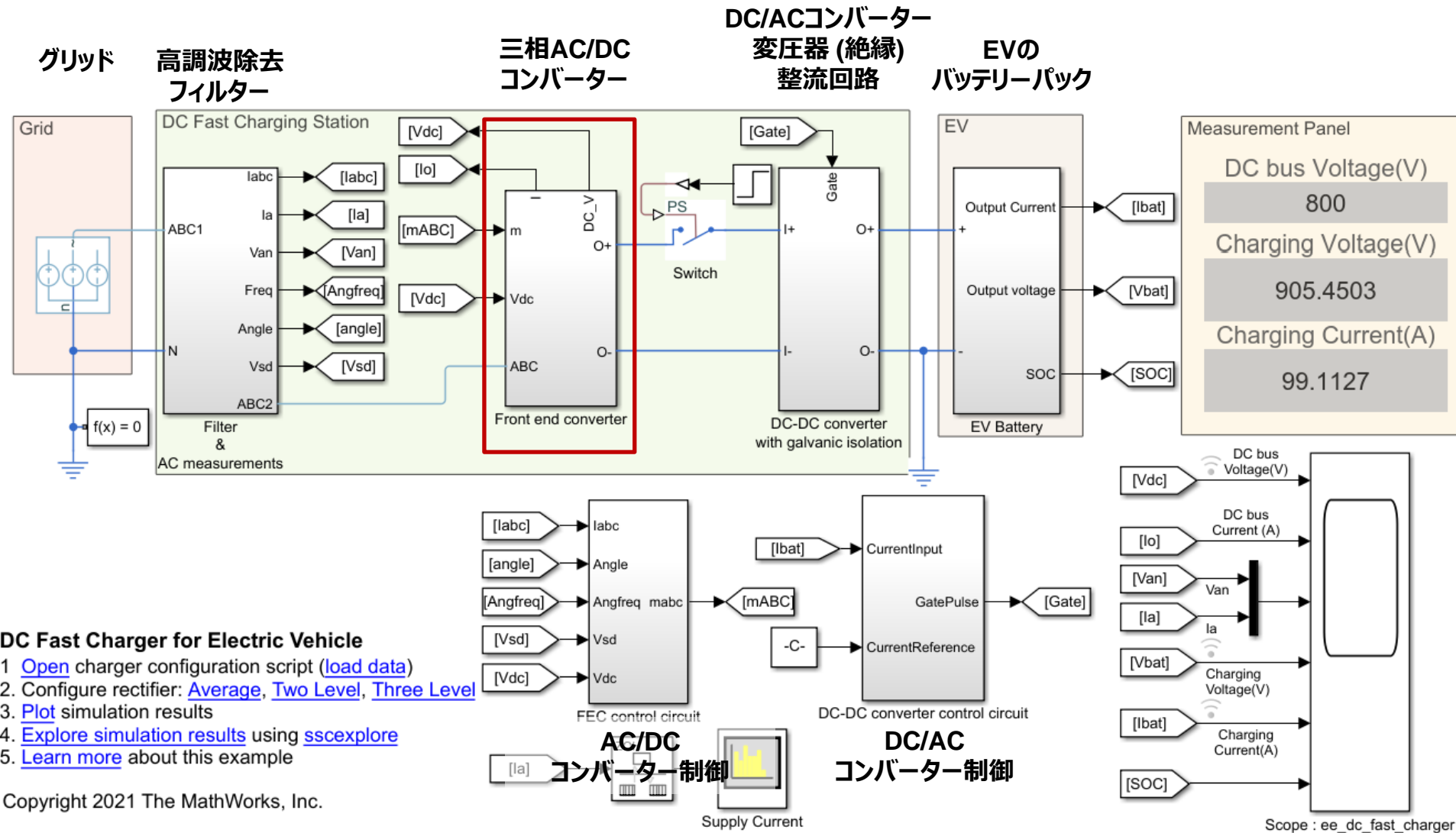
- **まとめ**

(例題.3) EVの急速充電システムの解析 (短時間解析: 0.2秒)

系統の三相電力をEVに充電するDC電力に変換する電力変換システムの性能を解析する



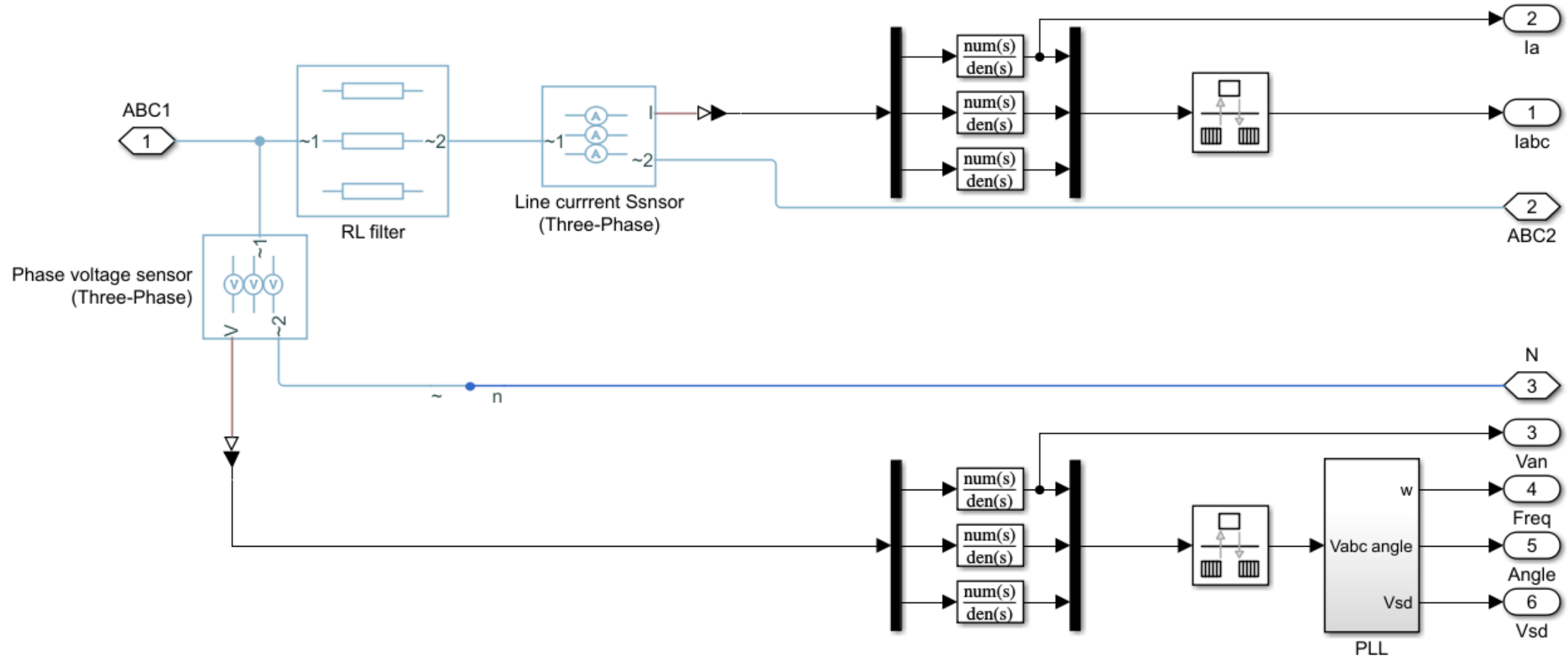
モデル - EVの急速充電システムの解析 (短時間解析: 0.2秒)



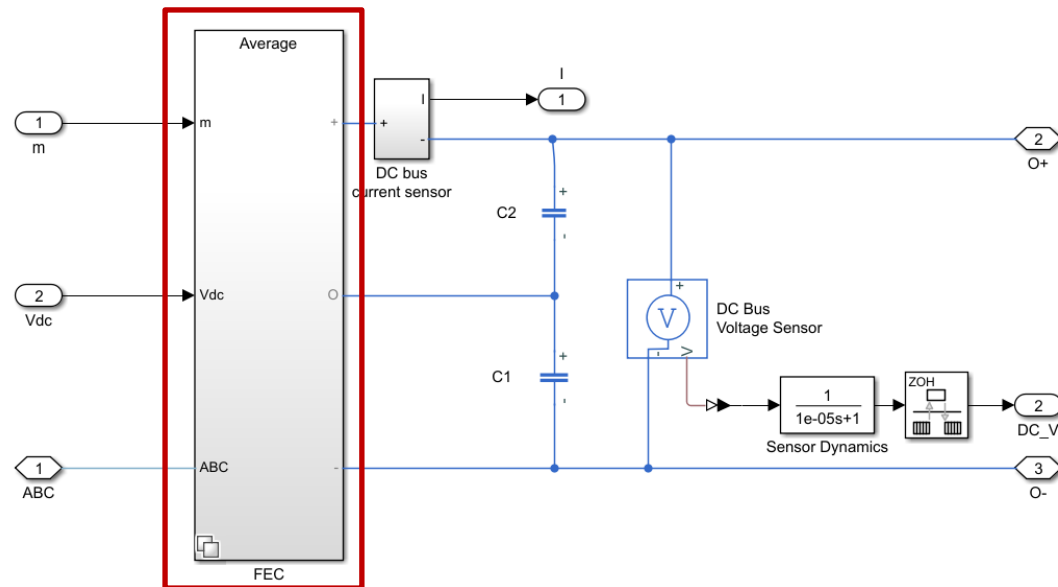
DC急速充電システム

(グリッドの三相交流電源から、各種コンバーターを使って高圧の直流電圧800[V]に変換)

高調波除去フィルター

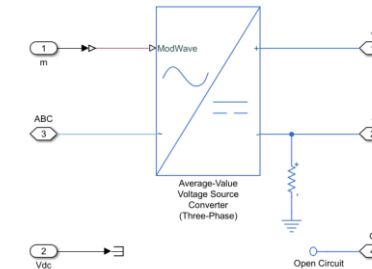


三相AC/DCコンバーター

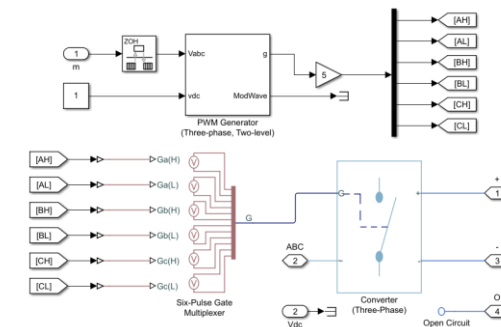


AC/DCコンバーター

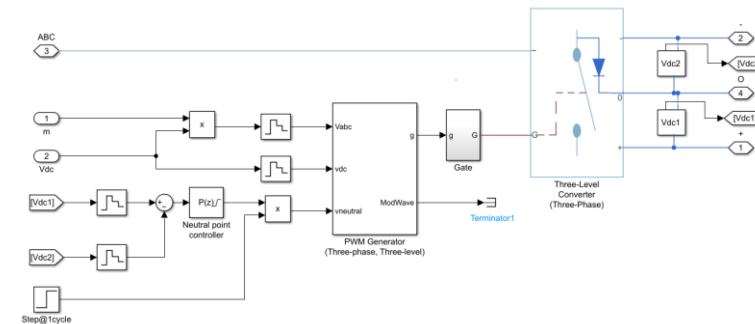
① 半導体デバイスのスイッチングを考慮しない (平均電圧)



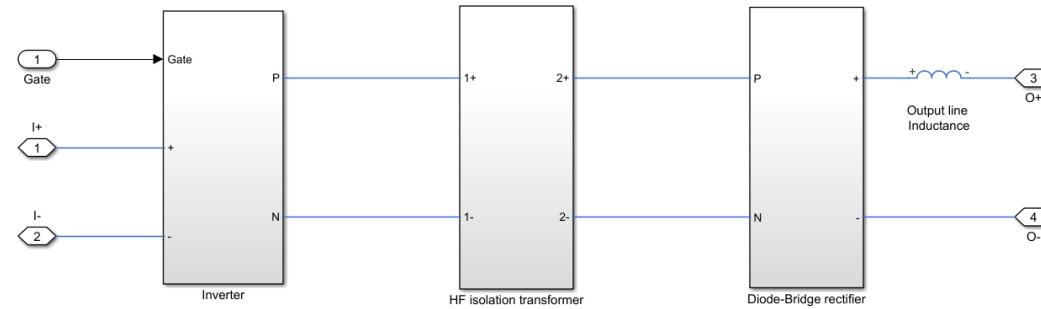
② 半導体デバイスのスイッチングを考慮する (2レベル方式)



③ 半導体デバイスのスイッチングを考慮する (3レベル方式)



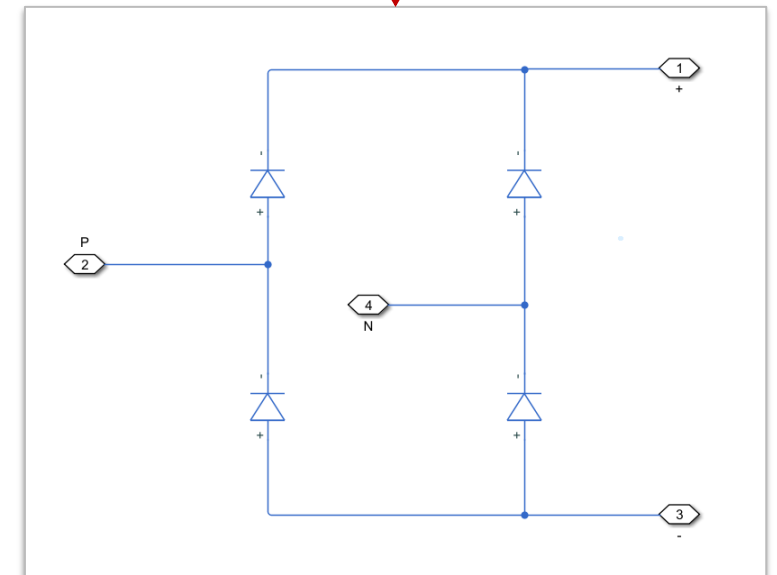
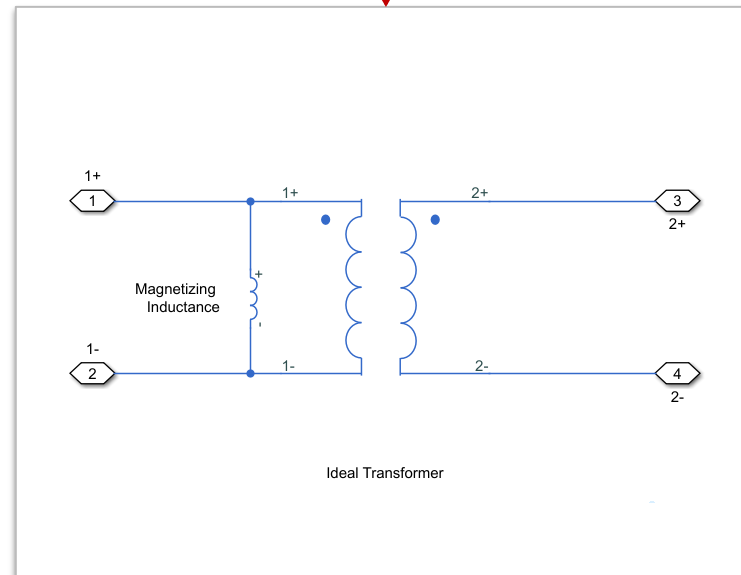
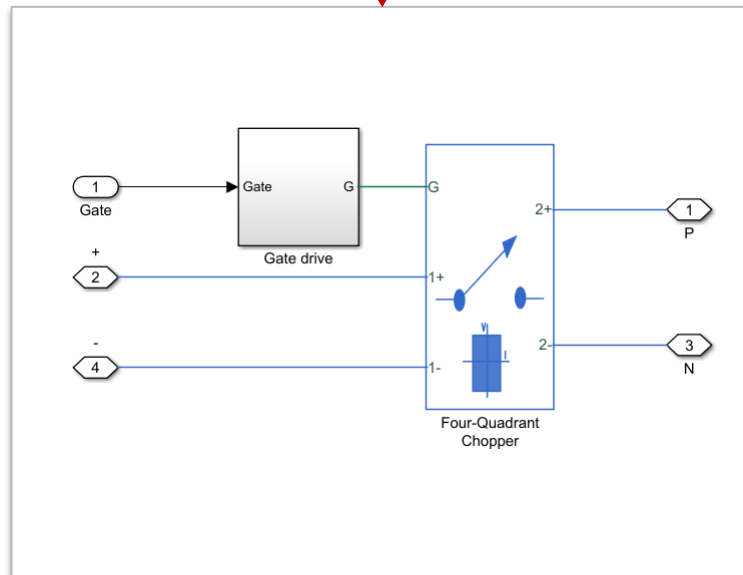
DC/ACコンバーター、変圧器 (絶縁)、整流回路

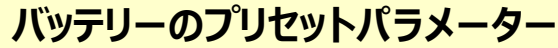


インバーター

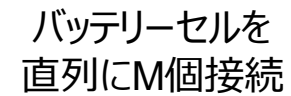
変圧器
(絶縁)

整流回路





パラメータ名	パラメータ化	オーバーライド	現在のバッチの値	単位
メイン端子抵抗, R0(SOC)	生成したデータシート	<input checked="" type="checkbox"/>	[0.1269 0.131240 0.117403 0.111212 0.05298 0.170303 V...	Ohm
メイン端子抵抗, R0(SOC)	派生したデータシート	<input checked="" type="checkbox"/>	[0.17403 0.14702 0.12022 0.10415 0.08835 0.07462...	Ohm
メイン充電時の端子抵抗, R0(SOC)	Parameter not set	<input type="checkbox"/>	[0.0117 0.0085 0.00899 0.011 0.0085 0.00899 0.011...	Ohm
メイン放電時の端子抵抗, R0(SOC)	Parameter not set	<input type="checkbox"/>	[0.0085 0.0085 0.00899 0.0082 0.0083 0.0085 0.0085]	Ohm
メイン充電時の端子抵抗, R0(SOC)	Parameter not set	<input type="checkbox"/>	[0.0117 0.0085 0.00899 0.011 0.0085 0.00899 0.011...	Ohm
メイン放電時の端子抵抗, R0(SOC)	Parameter not set	<input type="checkbox"/>	[0.0085 0.0085 0.00899 0.0082 0.0083 0.0085 0.0085]	Ohm
メインセル容量, AH	派生したデータシート	<input checked="" type="checkbox"/>	2.84	A*hr
メイン自己放電抵抗, Rleak(T)	Parameter not set	<input type="checkbox"/>	[8000 7000 6000]	[8000 7000 6000]
メイン自己放電抵抗, Rleak	Parameter not set	<input type="checkbox"/>	7000	Ohm



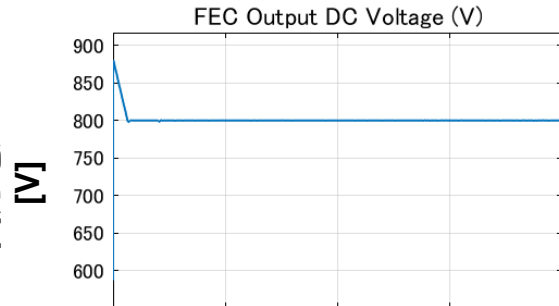
バッテリーセルを
並列にN個接続

解析結果 - 平均電圧

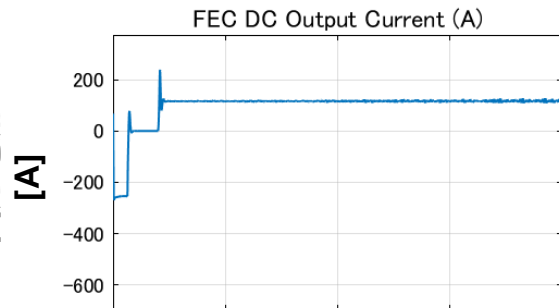
高調波成分抑制のために力率1を確保しつつ、バッテリーの急速充電に必要な800[V]一定に制御されていることを確認する

グリッド電流 (I_a [A]) の歪率

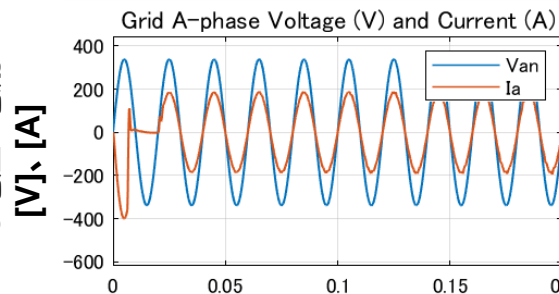
AC/DCコンバーター
出力電圧
[V]



AC/DCコンバーター
出力電流
[A]

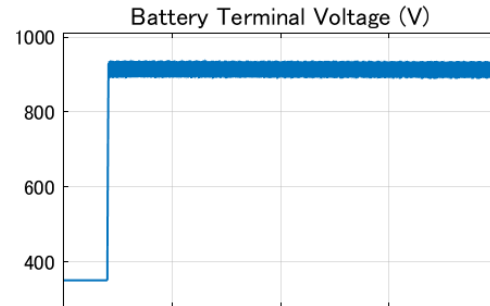


グリッドの
AC電圧・電流
[V]、[A]

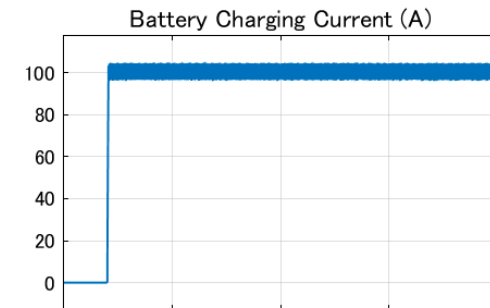


時間
t[sec]

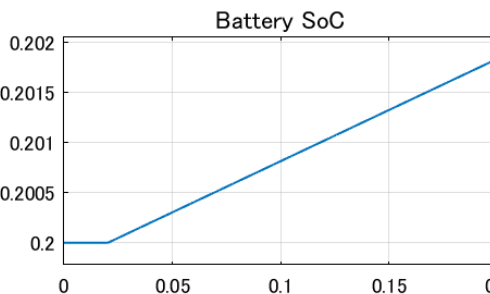
バッテリー
端子電圧
[V]



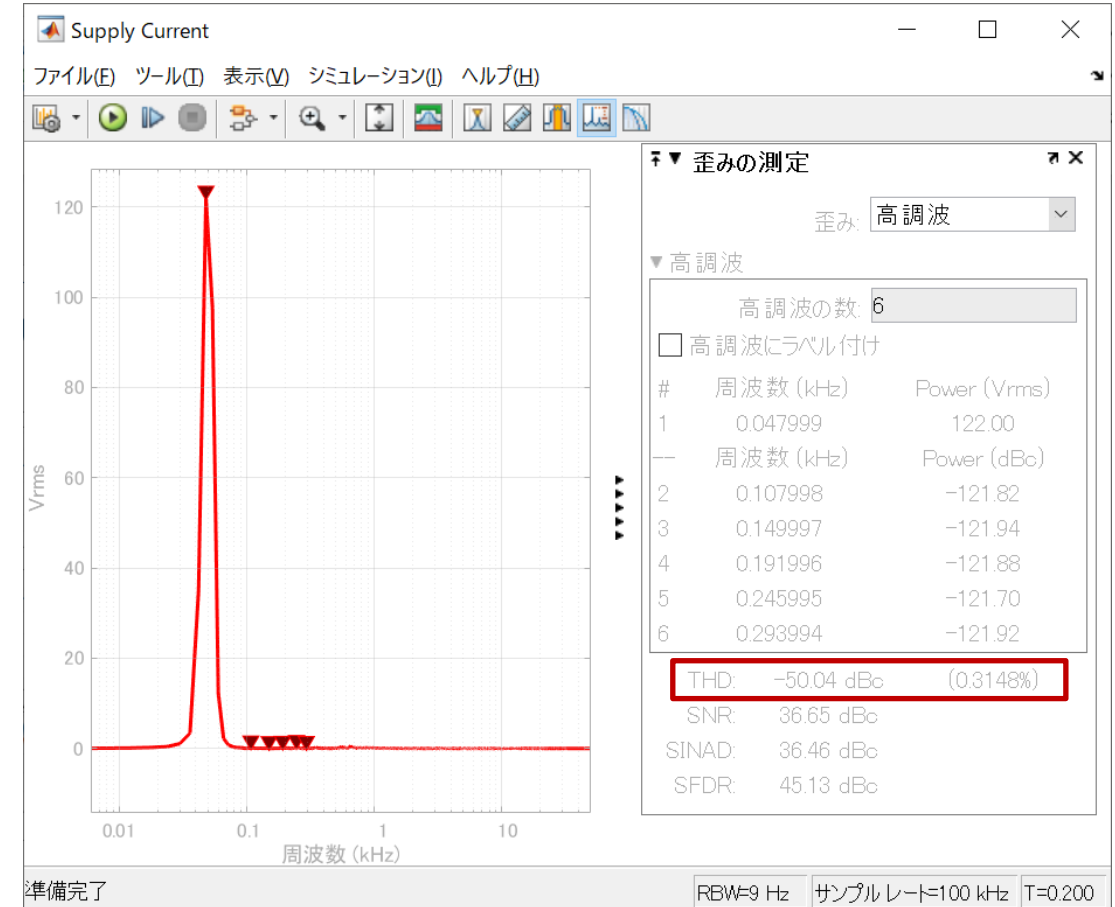
バッテリー
電流
[A]



バッテリー
SOC



時間
t[sec]

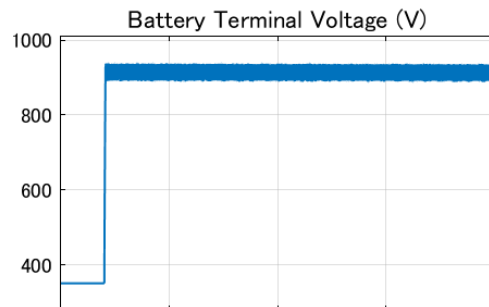
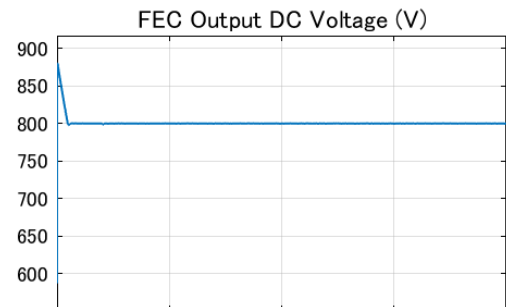


解析結果 - 2レベル方式

高調波成分抑制のために力率1を確保しつつ、バッテリーの急速充電に必要な800[V]一定に制御されていることを確認する

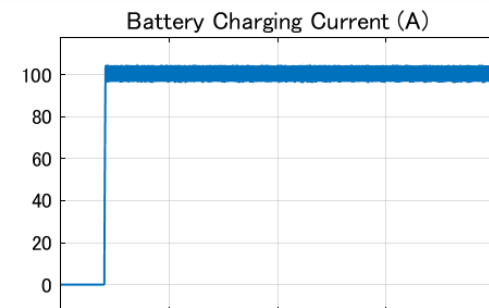
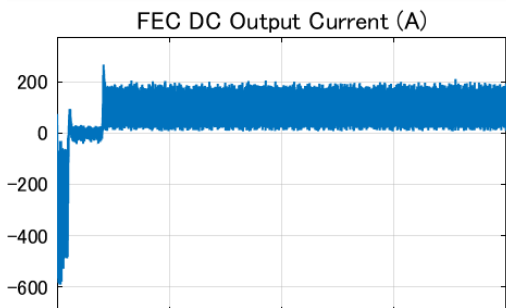
グリッド電流 (I_a [A]) の歪率

AC/DCコンバーター
出力電圧
[V]



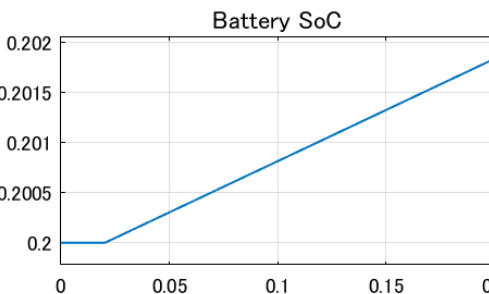
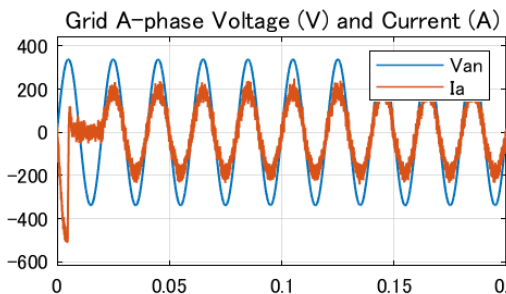
バッテリー
端子電圧
[V]

AC/DCコンバーター
出力電流
[A]



バッテリー
電流
[A]

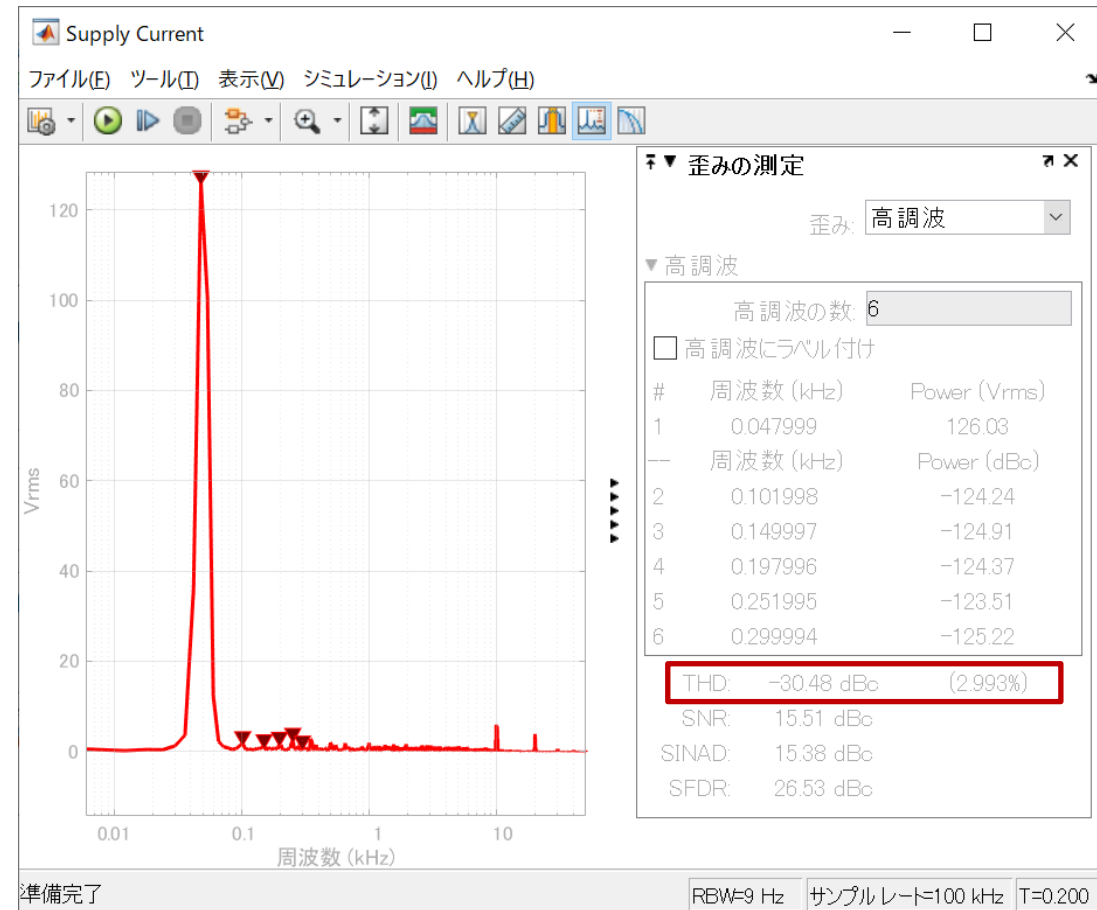
グリッドの
AC電圧・電流
[V]、[A]



バッテリー
SOC

時間
t[sec]

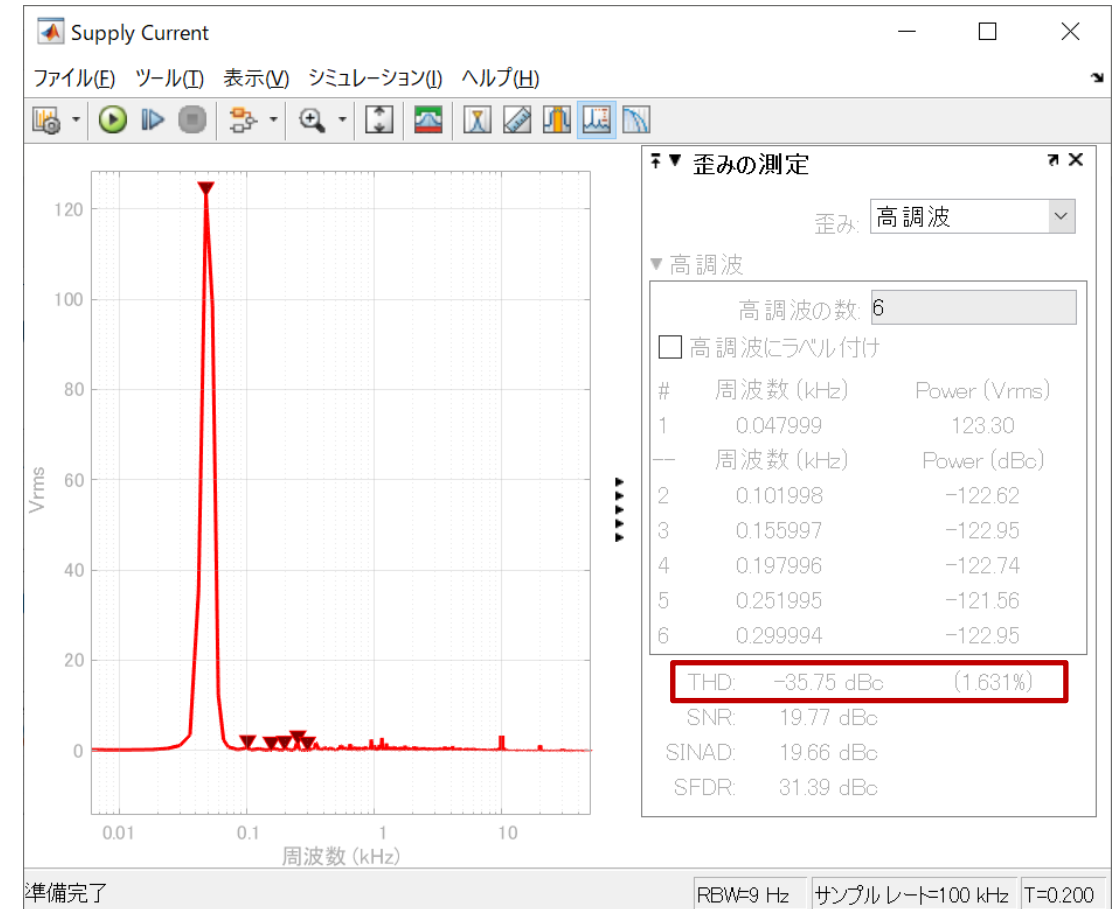
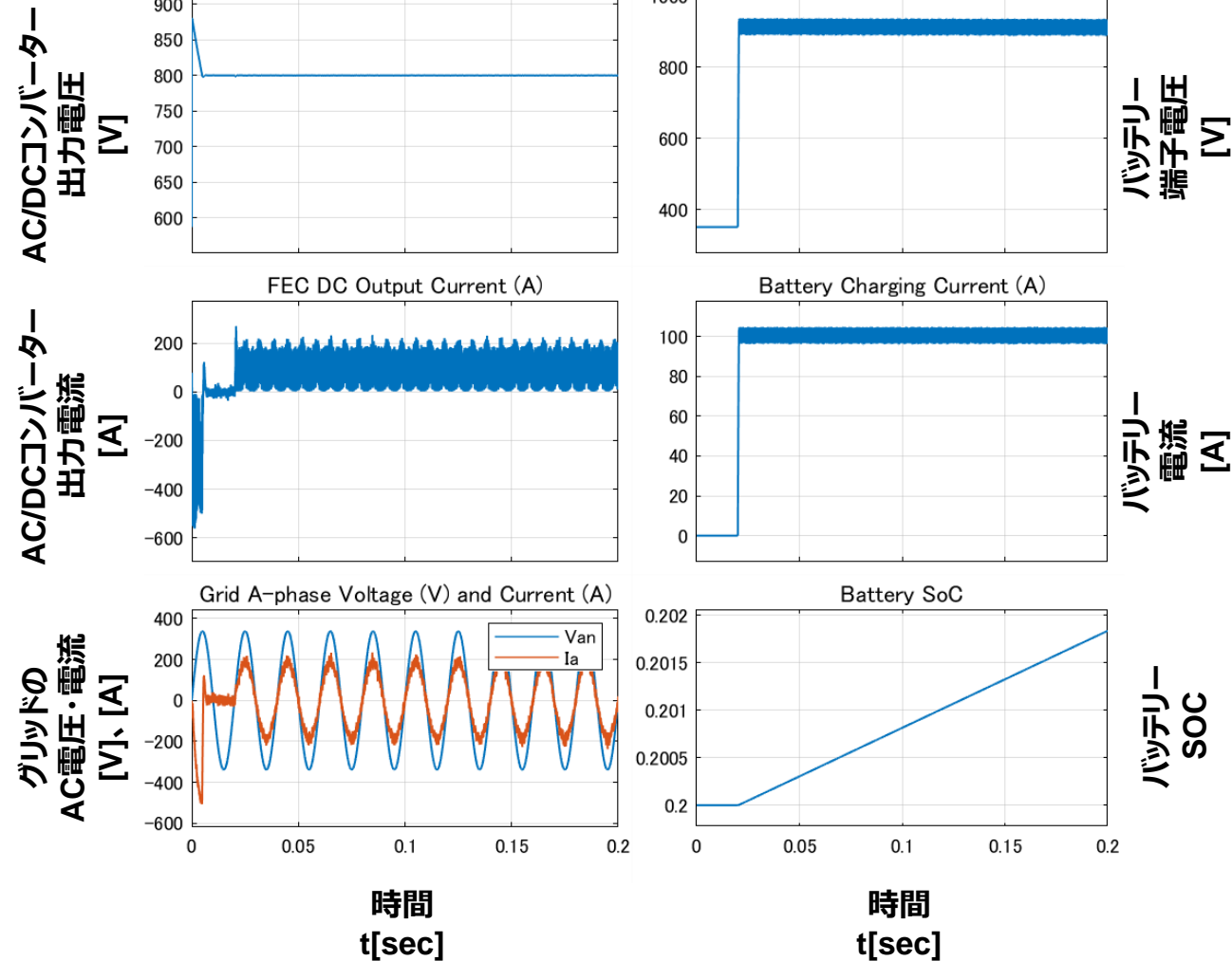
時間
t[sec]



解析結果 - 3レベル方式

高調波成分抑制のために力率1を確保しつつ、バッテリーの急速充電に必要な800[V]一定に制御されていることを確認する

グリッド電流 (I_a [A]) の歪率



アジェンダ

- **概要**

- V2Gのシステム・コンポーネント開発の課題、MATLAB/Simulinkソリューション

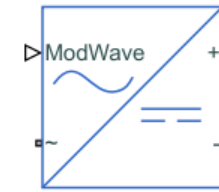
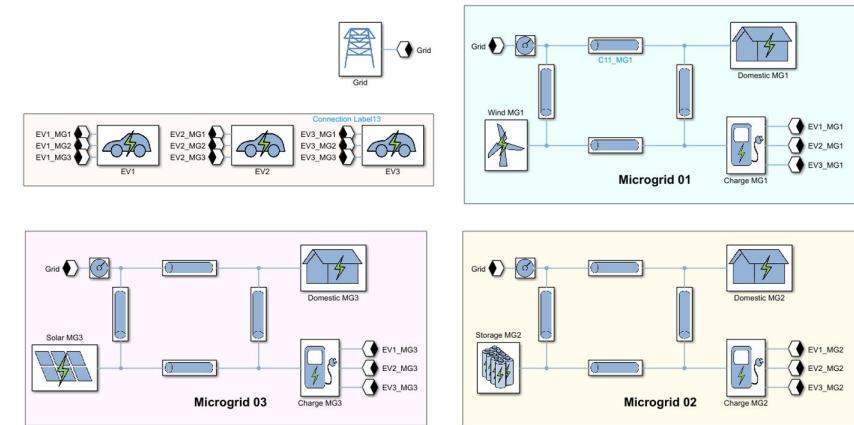
- **例題**

1. V2Gの電力フローの解析 (長時間解析)
2. V2Gのグリッド周波数変動の解析 (短時間解析)
3. EV急速充電システムの解析 (短時間解析)

- **まとめ**

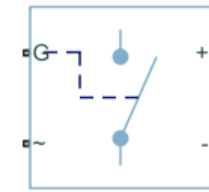
まとめ

- V2Gを例題に取り上げて、MATLAB製品を活用したシミュレーション適用例を紹介しました。
- MATLAB製品は、幅広い詳細度のモデル構築をカバーできることから、コンポーネントレベルからシステムレベルの解析が可能です。
- 本日の説明で使ったV2Gのサンプルモデルは、MATLAB製品の評価版ですぐにお試し頂けますので、是非一度お試し下さい。



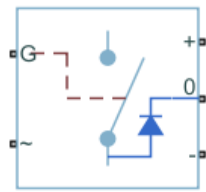
Average-Value
Voltage Source
Converter
(Three-Phase)

平均電圧



Converter
(Three-Phase)

2レベル方式



Three-Level
Converter
(Three-Phase)

3レベル方式



MATLAB製品の評価版のお申込み
([Link](#))



Accelerating the pace of engineering and science

© 2022 The MathWorks, Inc. MATLAB and Simulink are registered trademarks of The MathWorks, Inc. See www.mathworks.com/trademarks for a list of additional trademarks. Other product or brand names may be trademarks or registered trademarks of their respective holders.