

MATLAB EXPO  
10月31日

## MATLAB®を用いた リチウム・イオン電池の実践研究

立命館大学 福井正博

## リチウム・イオン電池の用途、 基本特性、性能要求

MATLAB EXPO 2017 リチウム・イオン電池の実践研究 2

### 今起きていること

## EV、続いて定置用蓄電池ブームが来る

**EVブームの背景: 急激な環境対応車シフト**

- 中国: 環境問題によりEVにシフト (ZEV規制: 2020年に100万台)
- 米国: カリフォルニアZEV規制: 2025年に150万台
- ドイツ: 燃費規制 (ZEV規制: 2020年に100万台)

→トヨタ、ホンダもEV開発をせざるを得なくなっている  
→充電器普及が加速される→EVがより普及推進される  
→共同住宅へも充電器設置が進む  
→自動車各社が蓄電池保障に向かう  
(5年保証、あるいは10万キロ補償)

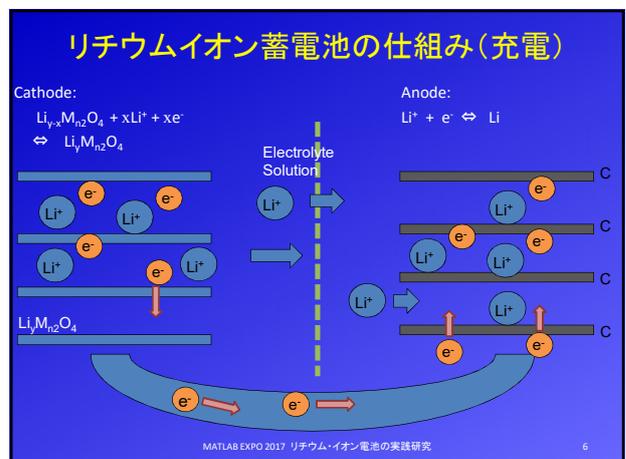
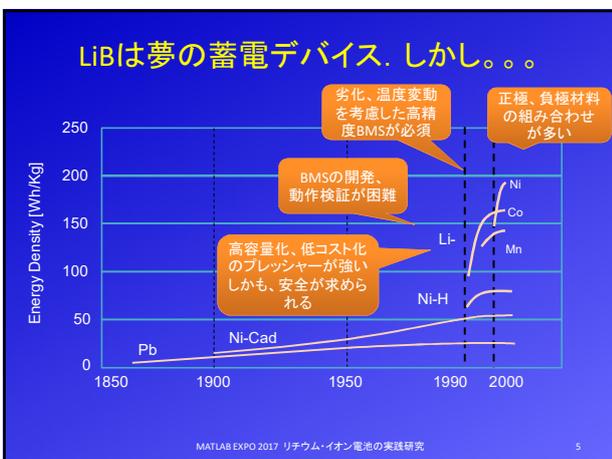
MATLAB EXPO 2017 リチウム・イオン電池の実践研究 3

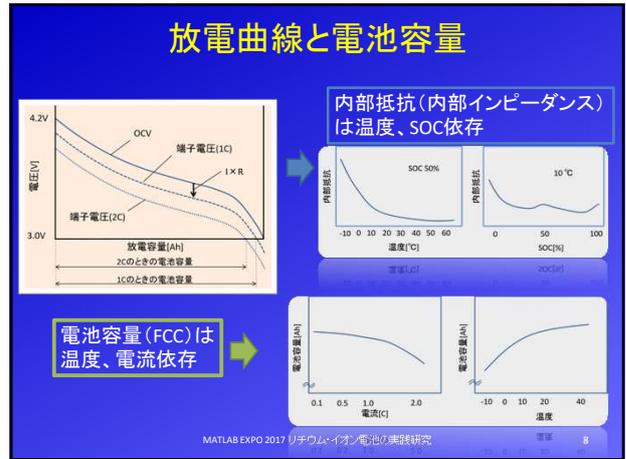
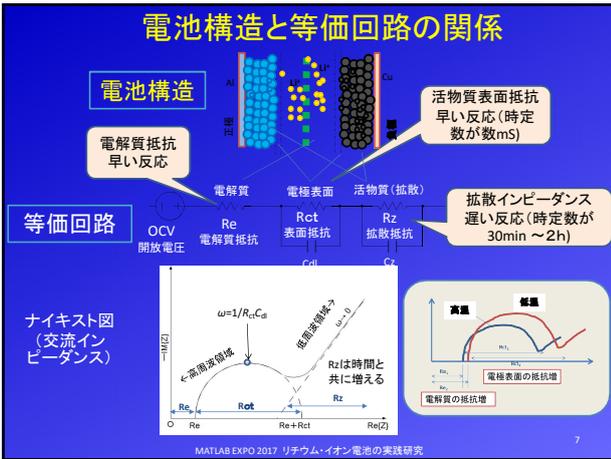
## エネルギーの多極化と電力融通

- V2G: どこで給電するか?
- G2V: どこで充電するか?
- F2V: どこで水素補給するか?
- G2F: どこで水素に変換するか?

- スマートセンサー: 蓄電池の常時管理
- 最適充放電
- 最適エネ変換(電・蓄・水)

MATLAB EXPO 2017 リチウム・イオン電池の実践研究 4

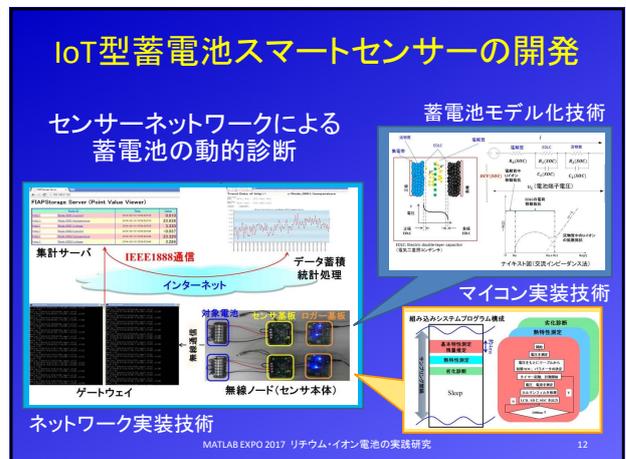
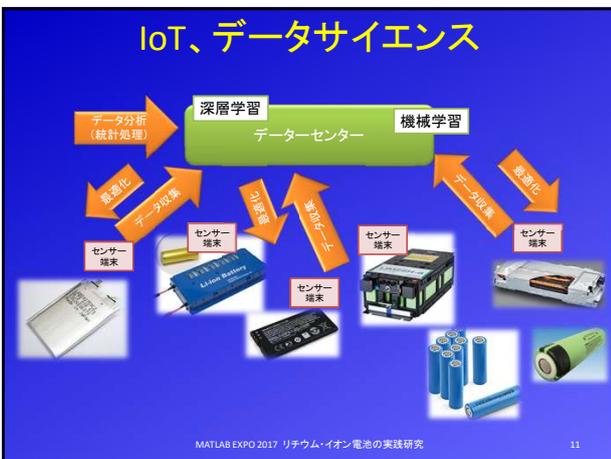




## MATLAB製品を活用した 研究開発事例

MATLAB EXPO 2017 リチウム・イオン電池の実験研究 9

### (適用例①) カルマンフィルタを用いた 残量計アルゴリズム



## カルマンフィルタ概説



MATLAB EXPO 2017 リチウム・イオン電池の実践研究 13

### (1)カルマンフィルタによる状態予測



棒の位置は見える (観測値 $y_k$ )  
 $k$ は離散時間

ねずみの位置は見えない (状態 $x_k$ )

(問題)時間 $k$ のねずみの位置がわかっているときに、時間 $k+1$ の位置を推定しなさい

外からは、中が見えない箱

MATLAB EXPO 2017 リチウム・イオン電池の実践研究 14

### 対象システムの記述

時間 $k+1$ でのねずみの位置

時間 $k$ でのねずみの位置

外的要因 (餌のにおいなど)

不確定要因 (ノイズ)

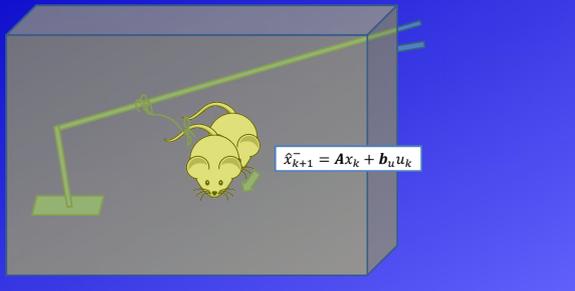
ねずみは、この方程式に従って動く

$$\begin{cases} x_{k+1} = Ax_k + b_u u_k + b_w \omega_k & \text{状態方程式} \\ y_k = Cx_k + v_k & \text{観測方程式} \end{cases}$$

時間 $k$ での棒の位置  $\omega_k$  および  $v_k$  は、それぞれ平均が0の正規ノイズ従って、 $E[\omega_k]=0$ ,  $E[v_k]=0$

MATLAB EXPO 2017 リチウム・イオン電池の実践研究 15

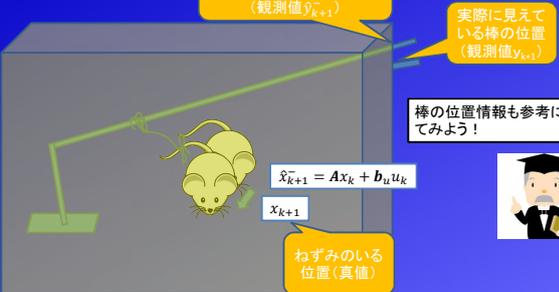
### 予測ステップ: ねずみは状態方程式に従って移動する



$$\hat{x}_{k+1}^- = Ax_k + b_u u_k$$

MATLAB EXPO 2017 リチウム・イオン電池の実践研究 16

### 補正ステップ: 観測値の変化を使って推定精度を上げる



ねずみが $\hat{x}_{k+1}$ いると仮定したときの棒の位置 (観測値 $\hat{y}_{k+1}$ )

実際に見えている棒の位置 (観測値 $y_{k+1}$ )

棒の位置情報も参考にしてみよう!

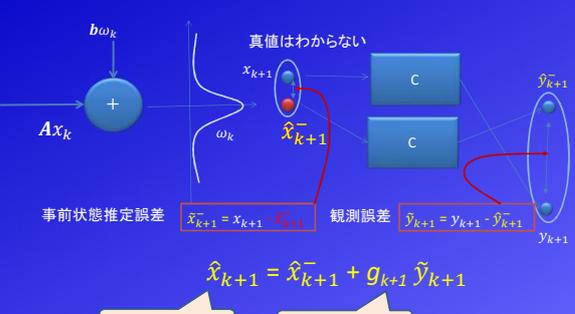
$\hat{x}_{k+1} = Ax_k + b_u u_k$

$x_{k+1}$

ねずみのいる位置 (真値)

MATLAB EXPO 2017 リチウム・イオン電池の実践研究 17

### 観測値から推定精度を上げる(事後推定)



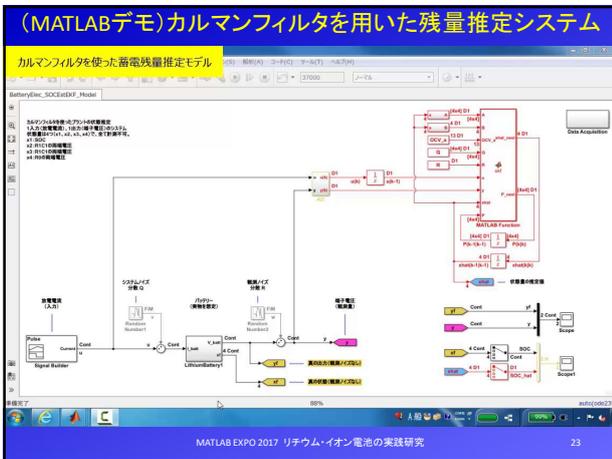
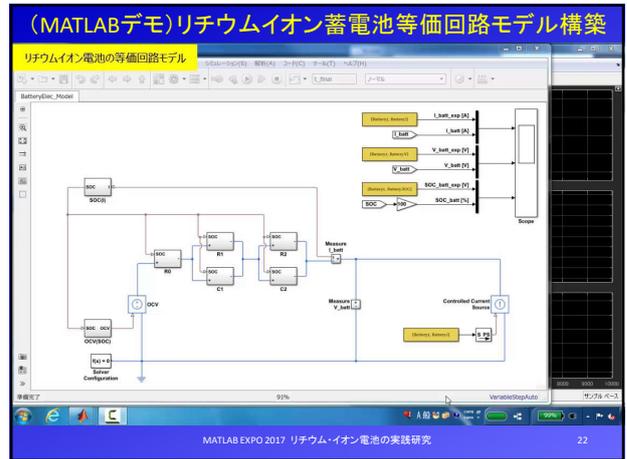
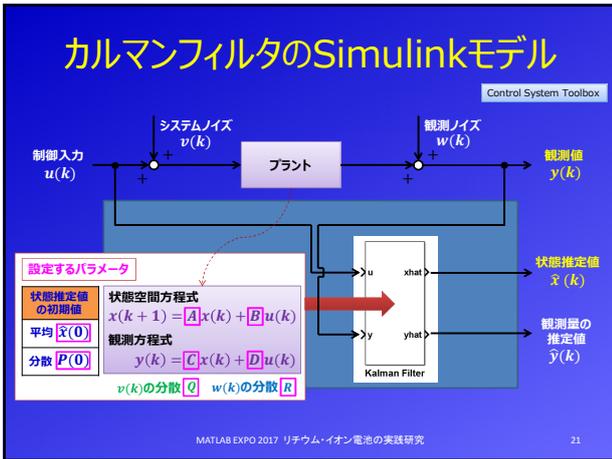
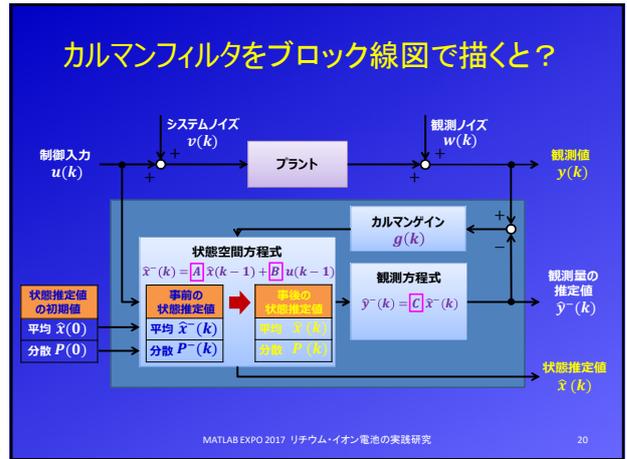
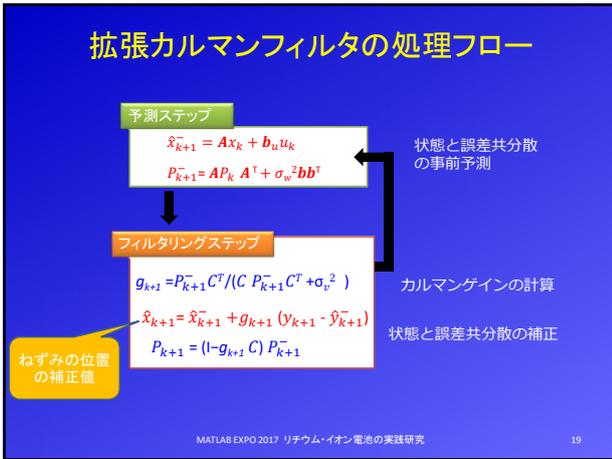
事前状態推定誤差  $\hat{x}_{k+1}^- = x_{k+1} - \hat{x}_{k+1}^-$

観測誤差  $\tilde{y}_{k+1} = y_{k+1} - \hat{y}_{k+1}$

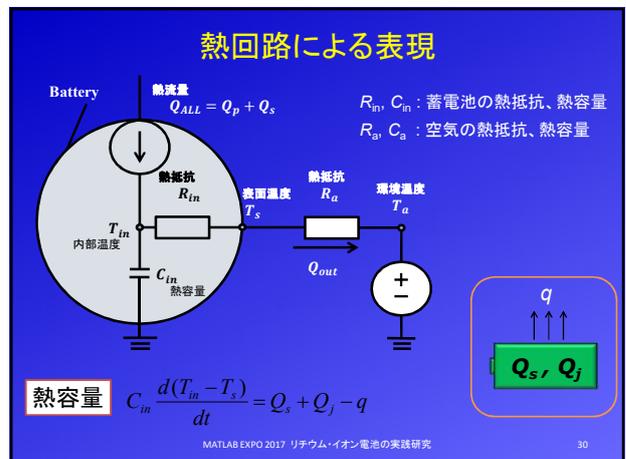
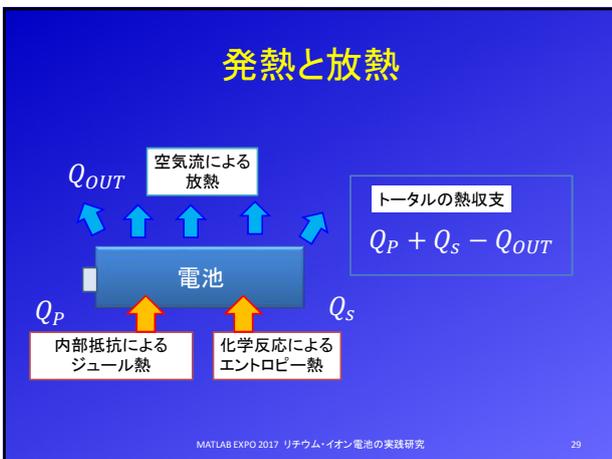
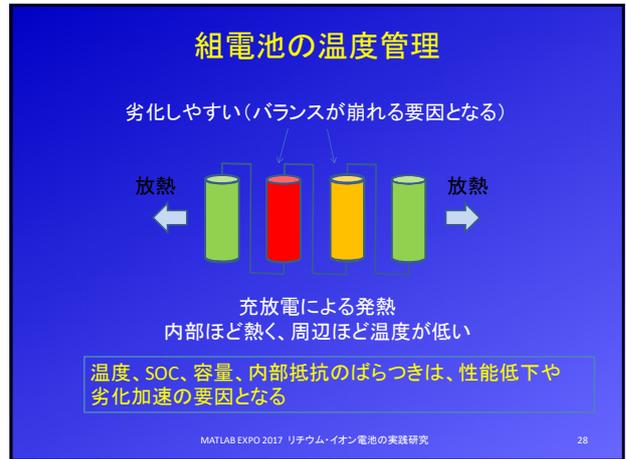
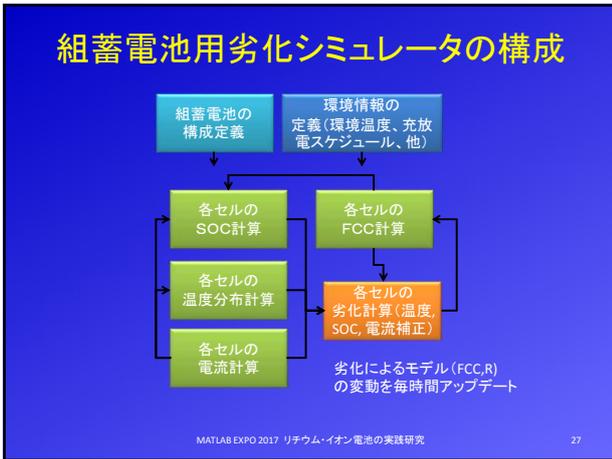
$$\hat{x}_{k+1} = \hat{x}_{k+1}^- + g_{k+1} \tilde{y}_{k+1}$$

事後推定      カルマンゲイン

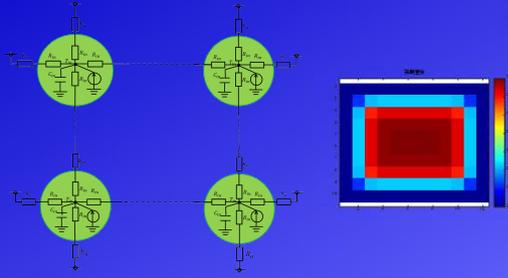
MATLAB EXPO 2017 リチウム・イオン電池の実践研究 18



(適用例②)  
リチウムイオン組蓄電池用  
性能・劣化シミュレータの構築



## 熱回路による表現(組電池)

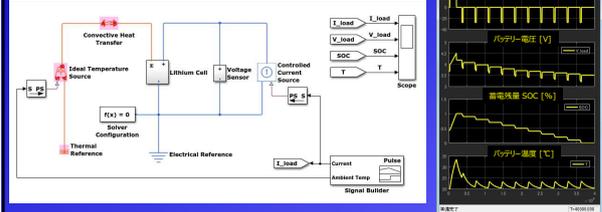


MATLAB EXPO 2017 リチウム・イオン電池の実験研究

31

## バッテリーの等価回路モデル(電気、熱)

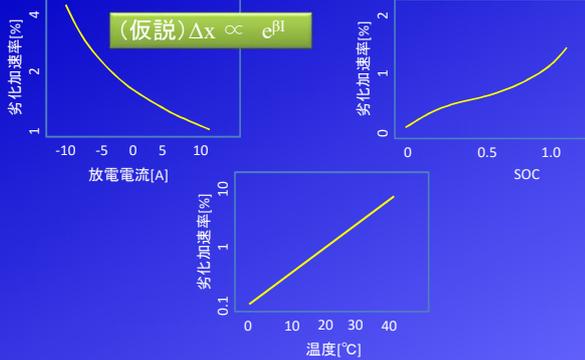
電気系と熱系の連成解析が可能。  
外部環境の温度、バッテリー内部の電力損失に伴う発熱の解析が可能。



MATLAB EXPO 2017 リチウム・イオン電池の実験研究

32

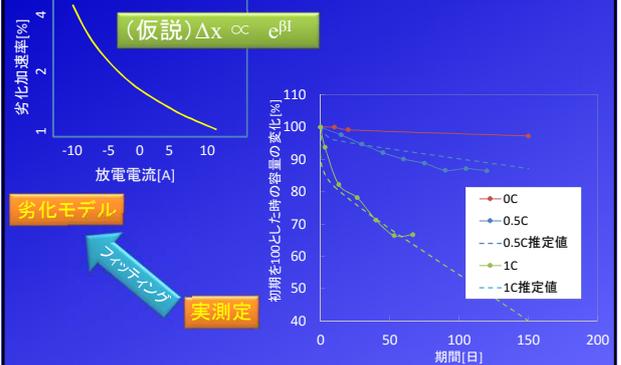
## 保存劣化の補正係数



MATLAB EXPO 2017 リチウム・イオン電池の実験研究

33

## キャリブレーションによるフィッティング



MATLAB EXPO 2017 リチウム・イオン電池の実験研究

34

## MATLAB/ Simulinkの歩き方

- 試作: とりあえず試してみるのが簡単  
とてあえずSimulinkで組み立て、工夫したい  
ところはMATLABでコード作成
- 教育: 初学者にイメージを伝えるのが容易  
数式だけだと敷居が高くて、簡単な動作を  
つけると理解しやすい
- コミュニケーション: 共同研究者との共通理解、  
技術トランスファーが容易
- 自動化: 組み込みシステムへの自動アップロードと  
実動作の確認ができる(設計TATの短縮)

MATLAB EXPO 2017 リチウム・イオン電池の実験研究

35

## まとめ

- 蓄電池を中心としたEVやスマートグリッドシステムへ  
のMATLAB活用事例を紹介した
- MATLABは電卓やEXCEL並みの使いやすさでシステ  
ムレベルのモデル化、シミュレーション、フィッ  
ティング、最適化を有機的にこなす
- 化学系(電池)、熱系(温度解析)、電気系(回路)の  
混在するシステムのモデル化、解析に有効である
- 今後は、MATLABからスマートセンサープログラム  
(パラメータ)の自動アップデートに取り組む

MATLAB EXPO 2017 リチウム・イオン電池の実験研究

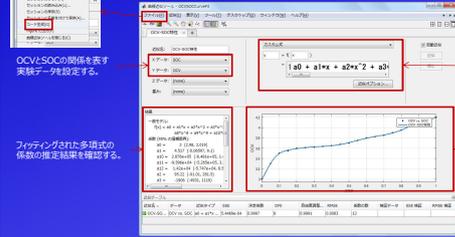
36

# 付録

## OCV-SOC特性(実験データ)を多項式で近似

Curve Fitting Toolbox

GUI上で多項式近似の推定作業を一度行くと、その作業を一つの関数の形でMATLABコードに自動変換することが可能。異なるSOC、OCVの実験データを使って同じ多項式近似の作業をしたときはそれを自動化することが可能。



OCVとSOCの関係を表す実験データを設定する。

実験データにフィッティングする多項式の式式を定義する。

フィッティングされた多項式の係数の推定結果を確認する。

実験データ (○) とフィッティングされた多項式 (—) を重ね合わせたグラフで確認する。

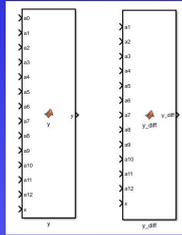
## OCV-SOCの多項式の数式処理(微分など)

Symbolic Math Toolbox

MATLAB (数値解析) で、Symbolic Math Toolboxを使うことで数式処理をすることも可能。また、数式処理により得られた数式を、Simulink (ブロック図) で使うためにMATLAB Functionブロックに自動変換することも可能。

```

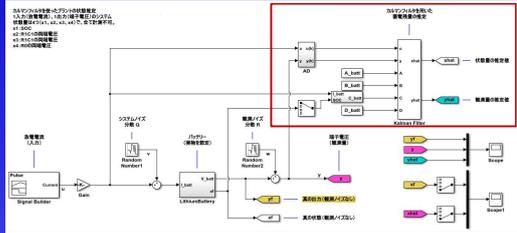
1 % OCV-SOC特性 (実験データ) の多項式を微分した数式を算出
2 % 出力: y = D(y), 変数: x = SOC
3 % y = a0 + a1*x + a2*x^2 + a3*x^3 + a4*x^4 + a5*x^5 ...
4 %       + a6*x^6 + a7*x^7 + a8*x^8 + a9*x^9 + a10*x^10 ...
5 %       + a11*x^11 + a12*x^12;
6
7 % 係数、変数
8 sym a0 a1 a2 a3 a4 a5 a6 a7 a8 a9 a10 a11 a12
9 sym x
10
11 % 多項式
12 y = a0 + a1*x + a2*x^2 + a3*x^3 + a4*x^4 + a5*x^5 ...
13     + a6*x^6 + a7*x^7 + a8*x^8 + a9*x^9 + a10*x^10 ...
14     + a11*x^11 + a12*x^12;
15
16 % 多項式の微分
17 y_diff = diff(y)
18
19 % MATLAB Functionブロックにインポート
20 new_system('my_system');
21 open_system('my_system');
22 matlabFunctionBlock('my_system','y');
23 matlabFunctionBlock('my_system','diff', y_diff);
    
```



## カルマンフィルタを用いた蓄電残量の推定

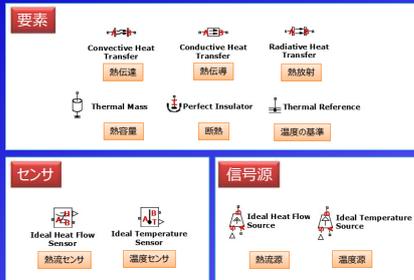
Control System Toolbox

この部分は、ExcelやMATLABで作られたロジックがあれば、そのロジックをSimulink環境にMATLAB Functionブロック等を使い、組み込むことも可能。



## 熱ライブラリ(Thermal)

Simscape



## 推奨ツール構成

- 基本環境
  - MATLAB, Simulink, Stateflow
- 曲線・曲面近似
  - Curve Fitting Toolbox
- 数式処理
  - Symbolic Math Toolbox
- 物理モデリング (電気、熱)
  - Simscape
- パラメータ最適化
  - Simulink Design Optimization, Optimization Toolbox
- カルマンフィルタ、逐次最小二乗法
  - Control System Toolbox, Simulink Control Design
  - System Identification Toolbox



© 2017 The MathWorks, Inc. MATLAB and Simulink are registered trademarks of The MathWorks, Inc. See [www.mathworks.com/trademarks](http://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.