

じっくりくる！「物理モデリングツール」の使い分け方

MathWorks Japan

アドバンストサポートグループ

三觜 康弘 (Mitsuhashi Yasuhiro)

本日の内容

- [1] 本講演の背景と目的 (全員)
- [2] 運動解析を行う上で重要な三つの物理モデリングツール (初級)
(初級, 中級)
- [3] 四輪車を対象とした三つのツールの適用例と使い分け方の提案
- [4] モデルドリブンとデータドリブンの組み合わせの提案 (全員)

本日の内容

- [1] 本講演の背景と目的 (全員)
- [2] 運動解析を行う上で重要な三つの物理モデリングツール
- [3] 四輪車を対象とした三つのツールの適用例と使い分け方の提案
- [4] モデルドリブンとデータドリブンの組み合わせの提案

物理モデリング

物理モデリングとは

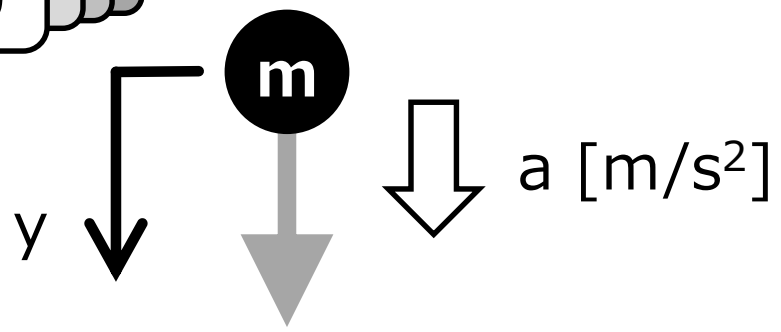
物理現象をコンピュータ上で
再現する仕組みを作る事



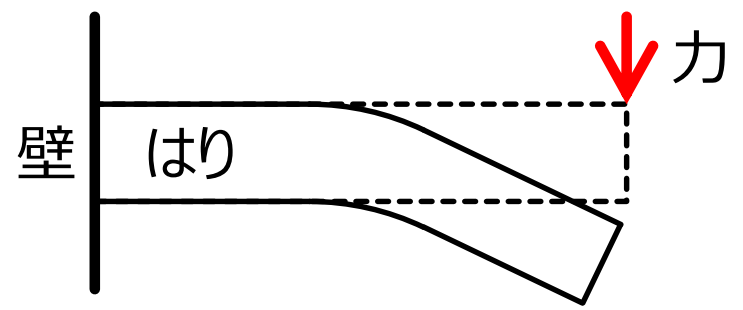
背景と目的

物理
現象コンピュータ上で
再現したい物理現象

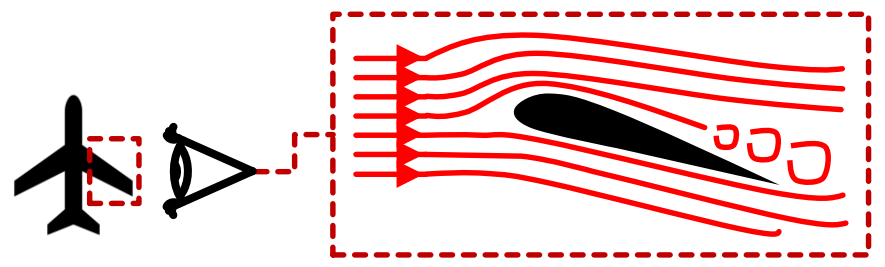
背景と目的



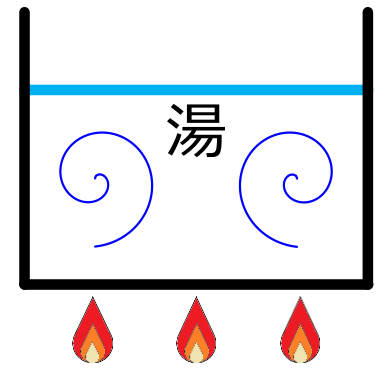
物体の運動?



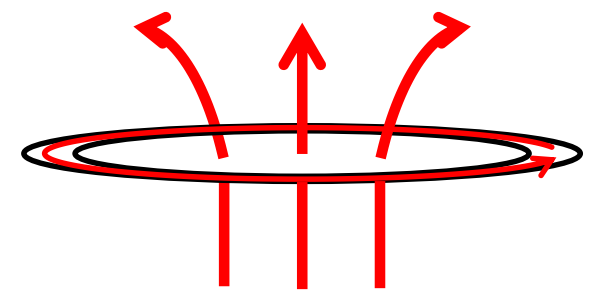
物体の変形?



流体の動き?



熱の移動?



電磁気の変化?

コンピュータ上で再現したい物理現象は場合によって異なる

背景と目的

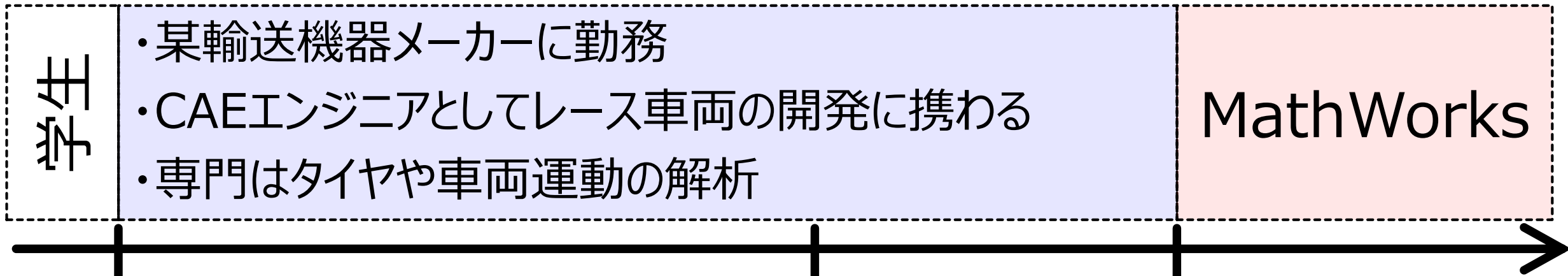
MathWorks®は種々の物理現象をコンピュータ上で簡単に再現する事を可能とする多くのツールを提供

- 物体の運動 : [Simscape™ Multibody™](#), [Symbolic Math Toolbox™](#), [System Identification Toolbox™](#)
- 物体の変形 : [Partial Differential Equation Toolbox™](#)
- 流体の動き, 熱の移動, 電磁気の変化 : [Simscape™](#)

ここで少し私の話

背景と目的

[経歴]



2011年

2017年



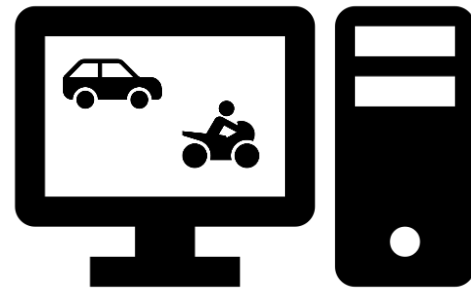
- ・私の開発したシステムがうまく機能
- ・全てのレースの年間タイトルを獲得



MathWorks製品無しでは得る事が出来なかった勝利



主な業務は レース車両の運動解析



[レースの仕事]

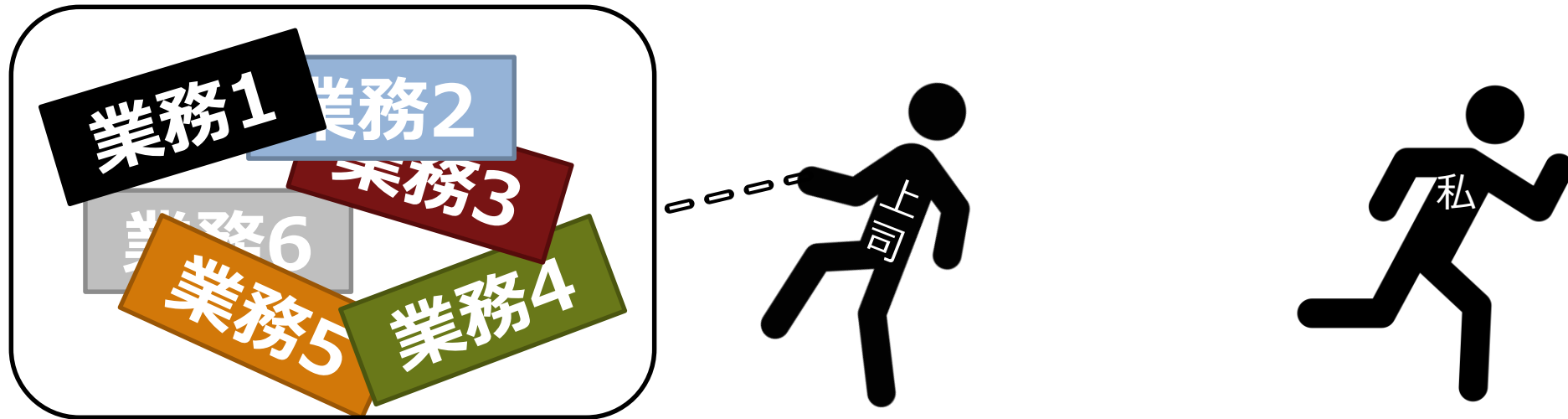
加えて

- ◆ 走行データの分析
- ◆ ラップタイムを評価関数とした車両諸元最適化
- ◆ 走行シミュレーションの高速化

等

行ったことのない解析を短時間で実施する必要があった

日々様々な業務に追われていた



理論は大事だが

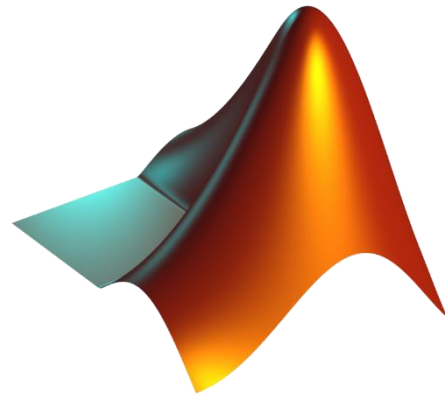
完全に理論を理解しながら

業務を進める事が時間的にできない

[レースの仕事]

そんなとき

様々なツールが用意されている
MathWorks製品に沢山助けられた



背景と目的

MathWorks®は種々の物理現象をコンピュータ上で簡単に再現する事を可能とする多くのツールを提供

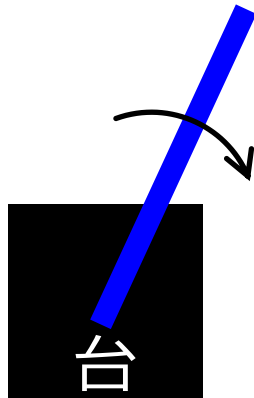
- 物体の運動 : [Simscape™ Multibody™](#), [Symbolic Math Toolbox™](#), [System Identification Toolbox™](#),
今日の話
- 物体の変形 : [Partial Differential Equation Toolbox™](#)
- 流体の動き, 熱の移動, 電磁気の変化 : [Simscape™](#)

背景と目的

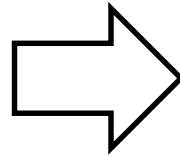
運動計算モデル作成の上で重要なツール

Symbolic Math Toolbox

Simscape Multibody

System Identification
Toolbox1ststep2ndstepツールの
基本説明

動く台上の振り子

ツールの
応用例

四輪車

様々な物理現象

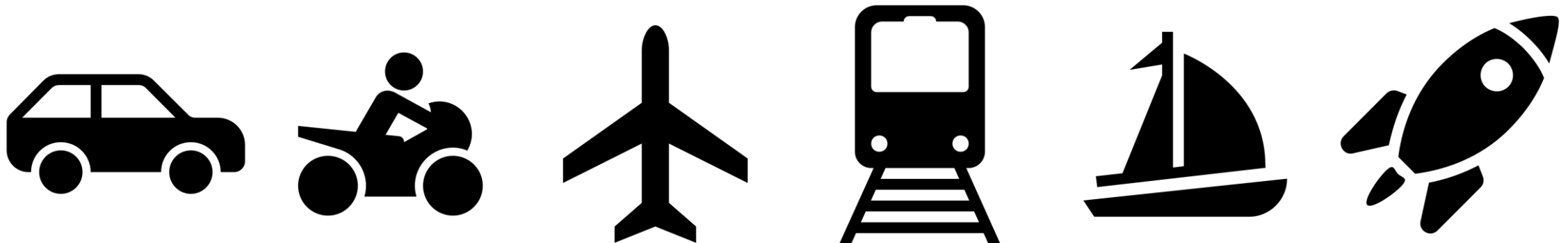
種々のMWツール

私とMWツール

物体の運動

背景と目的

四輪車特有の話ではありませんので
ご自身が着目しているシステムに置き換えて
お聞きください



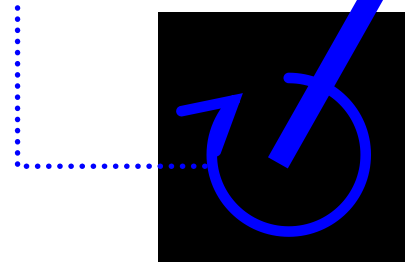
本日の内容

- [1] 本講演の背景と目的
- [2] 運動解析を行う上で重要な三つの物理モデリングツール(初級)
- [3] 四輪車を対象とした三つのツールの適用例と使い分け方の提案
- [4] モデルドリブンとデータドリブンの組み合わせの提案

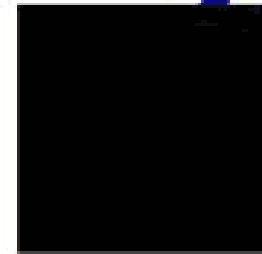
三つのツール

【動く台上の振り子】

回転自由度



並進自由度



三つの物理モデリングツールを使ってモデルを作る

Symbolic Math

Simscape Multibody

System Identification

三つのツール

Symbolic Math Toolbox

Symbolic Math

Simscape Multibody

System Identification

三つのツール

数式を処理するツール

Symbolic Math

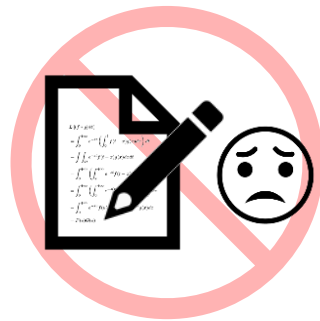
Simscape Multibody

System Identification

三つのツール

微積分/式の単純化 方程式の求解

比較的少ない労力で数式の処理が可能



使い方の例

三つのツール

不定積分

$$\int x dx = \frac{x^2}{2}$$

MATLAB R2017a - prerelease use

ドキュメンテーションの検索 Vasu

ファイル ナビゲート 編集 ブレークポイント 実行 実行して次に進む セクションの実行 次に進む 実行および時間の計測

C:\tmp

エディター - Untitled*

```

1 syms x y % 変数定義
2
3 y = int(x); % 不定積分
4
5 pretty(y) % 表示

```

ワークスペース 現在のフォルダー

名前	更新日	タイプ

詳細

コマンドウィンドウ

```

2
x
--
2

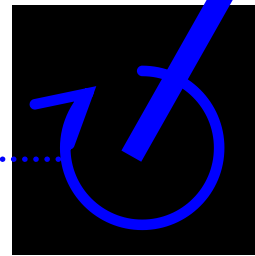
```

fx Trial>>

スクリプト 行 1 列 1 評価版の残日数: 26

モデル化の方法

回転自由度



並進自由度

三つのツール

ラグランジュの運動方程式

Symbolic Math

Simscape Multibody

System Identification

三つのツール

まずはラグランジアンを立式

Symbolic Math

Simscape Multibody

System Identification

三つのツール

ラグランジアン

Symbolic Math

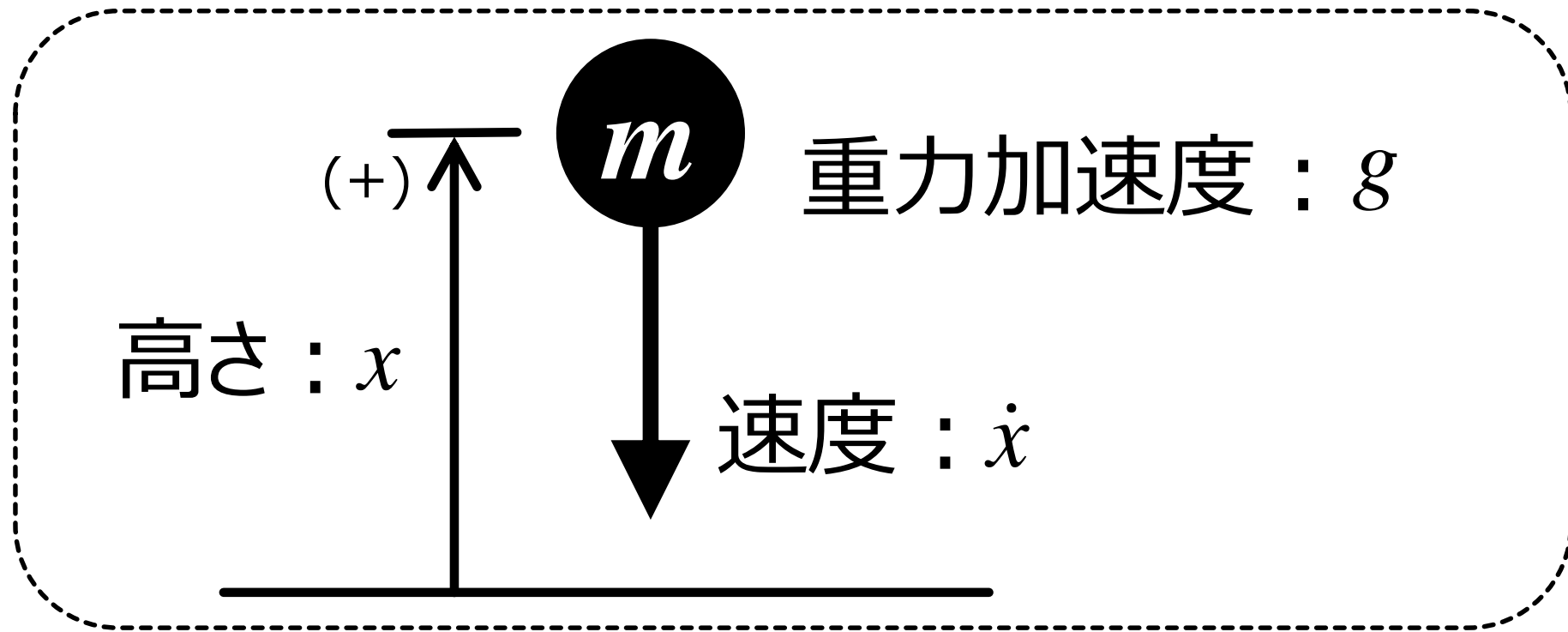
Simscape Multibody

System Identification

三つのツール

運動エネルギーと 位置エネルギーの 差分がラグランジアン

例えば



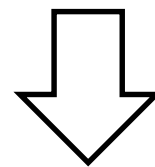
ラグランジアン L :
$$L = \frac{1}{2} m \dot{x}^2 - mgx$$

ラグランジュの運動方程式

$$L = \frac{1}{2} m \dot{x}^2 - mgx$$

$$\frac{d}{dt} \left(\frac{\partial L}{\partial \dot{x}} \right) - \frac{\partial L}{\partial x} = 0$$

便宜上散逸エネルギーの項は省く

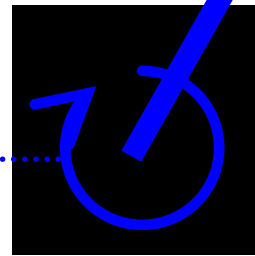


$$m\ddot{x} = -mg$$

良く知る運動方程式が導出される

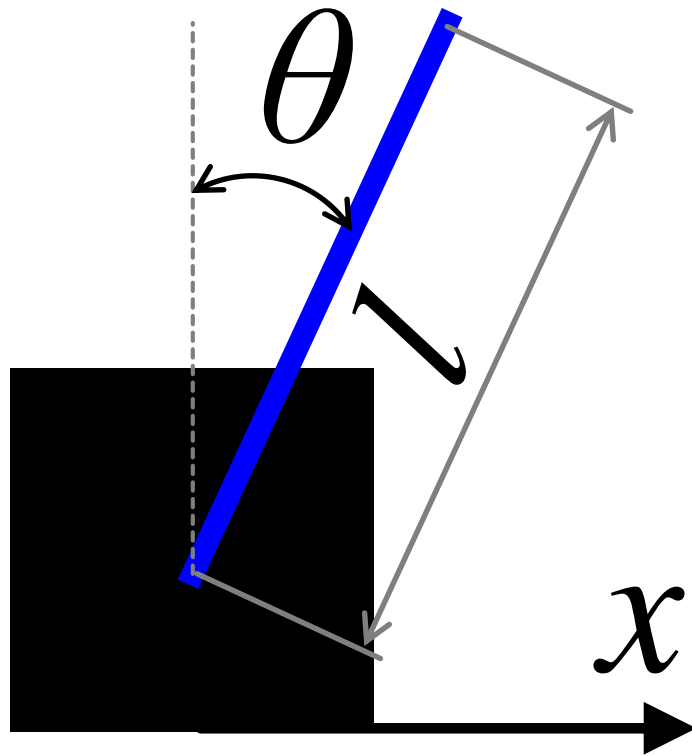
動く台上の振り子に置き換え

回転自由度



並進自由度

三つのツール



台の質量 : M
振り子の質量 : m

ここは頑張って書く

ラグランジアン :
$$L = \frac{M \left(\frac{dx}{dt} \right)^2}{2} + \frac{m \left(\frac{dx}{dt} \right)^2}{2} + \frac{2l^2 m \left(\frac{d\theta}{dt} \right)^2}{3} + \frac{d\theta}{dt} \frac{dx}{dt} lm \cos \theta - glm \cos \theta$$

三つのツール

ラグランジアン :

$$L = \frac{M \left(\frac{dx}{dt} \right)^2}{2} + \frac{m \left(\frac{dx}{dt} \right)^2}{2} + \frac{2l^2 m \left(\frac{d\theta}{dt} \right)^2}{3} + \frac{d\theta}{dt} \frac{dx}{dt} l m \cos \theta - g l m \cos \theta$$

運動方程式 :

$$\frac{d}{dt} \left(\frac{\partial L}{\partial \dot{x}} \right) - \frac{\partial L}{\partial x} = 0 \quad \frac{d}{dt} \left(\frac{\partial L}{\partial \dot{\theta}} \right) - \frac{\partial L}{\partial \theta} = 0$$

微分が少し面倒

三つのツール

Symbolic Math Toolboxを利用して解く

Symbolic Math

Simscape Multibody

System Identification

三つのツール

```

1 clear;clc;close all;
2
3 syms M m x(t) theta(t) t l g;
4
5 L(t) = (m*((diff(x(t), t))^2*cos(theta(t))*diff(theta(t), t))^2 + ...
6         l^2*sin(theta(t))^2*diff(theta(t), t)^2)/2 + ...
7         (M*diff(x(t), t)^2)/2 + (l^2*m*diff(theta(t), t)^2)/6 - ...
8         g*M*cos(theta(t));
9
10 EQ_x = functionalDerivative(L,x)==0;
11 pretty(EQ_x);
12
13 EQ_theta = functionalDerivative(L,theta)==0;
14 pretty(simplify(EQ_theta));
15
16

```

functionalDerivative

変数定義

ラグランジアン

xについてラグランジュの運動方程式を解く

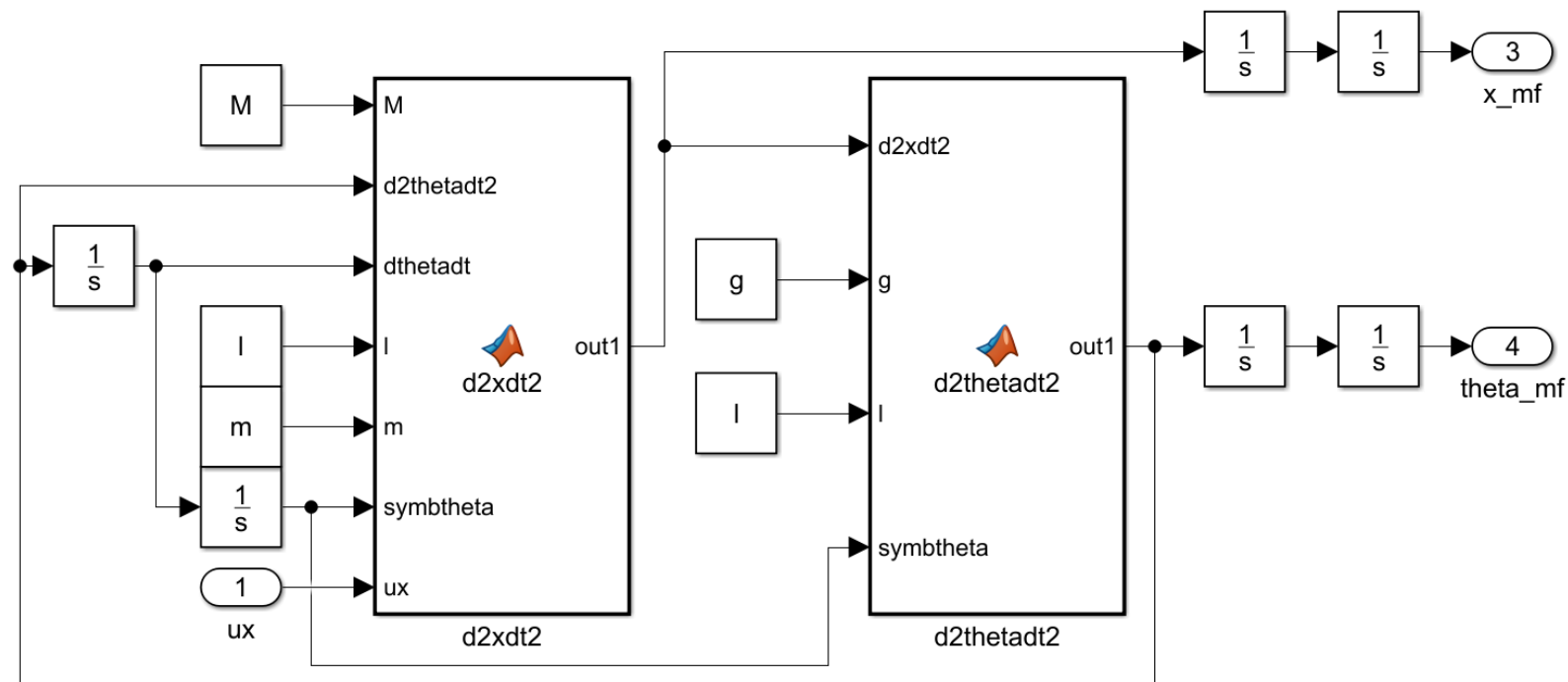
並進方向 : $(m + M) \frac{d^2 x}{dt^2} = - \frac{d^2 \theta}{dt^2} l m \cos \theta + \left(\frac{d \theta}{dt} \right)^2 l m \sin \theta$ 回転方向 : $l \frac{d^2 \theta}{dt^2} + g \sin \theta = 0$ の運動方程式を解く $\frac{d^2 x}{dt^2} \cos \theta$

functionalDerivative: 汎関数微分を行う関数

Symbolic Math Toolboxの 便利な機能

三つのツール

導いた数式を計算するMATLAB Functionを生成可能



長い時間を費やさずにSimulinkモデルを作成可能

三つのツール

Simscape Multibody

Symbolic Math

Simscape Multibody

System Identification

三つのツール

物体の運動を計算する方法として 思い浮かぶ方法

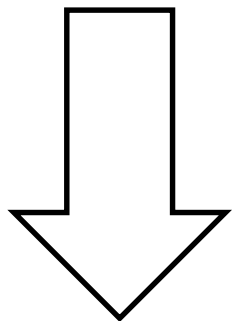
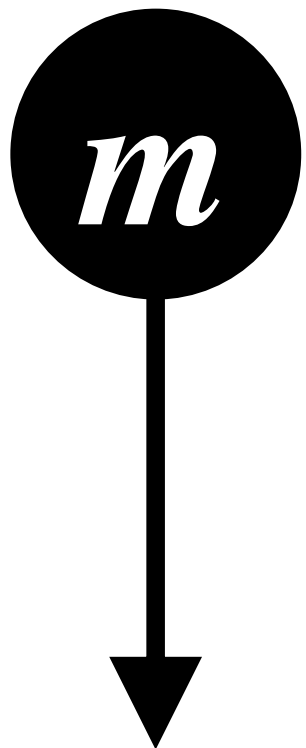
Symbolic Math

Simscape Multibody

System Identification

三つのツール

【質点の運動】

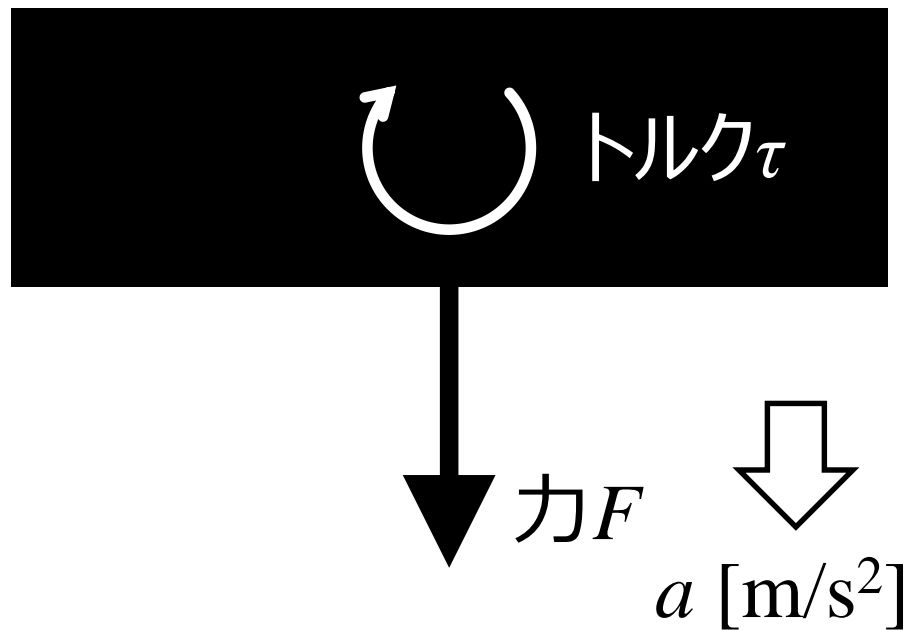
 a [m/s²]

[ニュートンの運動方程式]

$$F = ma$$

【剛体の運動】

(質量 m , 慣性モーメント I)



[ニュートンの運動方程式]

並進方向 : $F = ma$

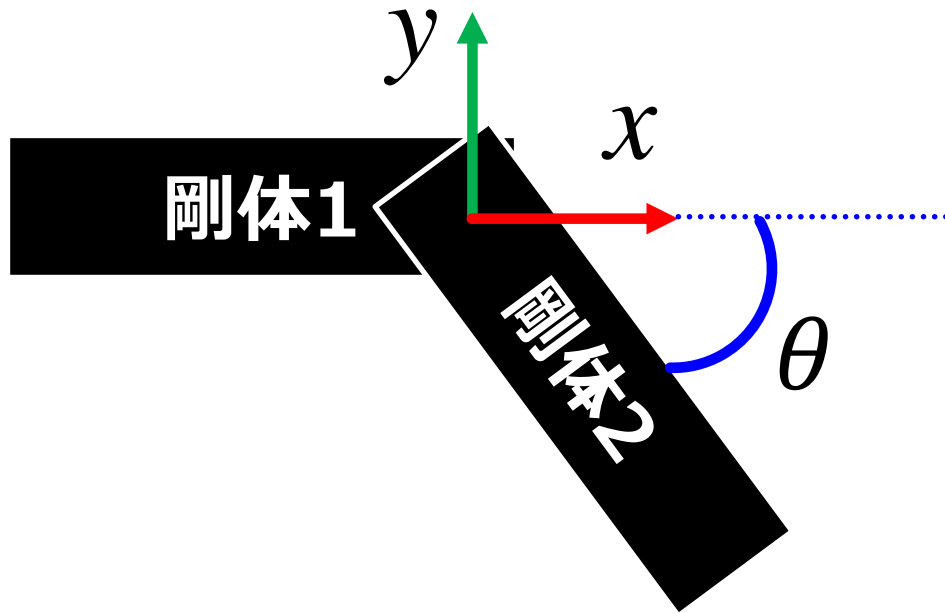
回転方向 : $\tau = I\dot{\omega}$

a : 加速度

$\dot{\omega}$: 角加速度

三つのツール

【連結された数個の剛体の運動】



x, y, θ : 一般化座標
 L : ラグランジアン

[ラグランジュの運動方程式]

$$\frac{d}{dt} \left(\frac{\partial L}{\partial \dot{x}} \right) - \frac{\partial L}{\partial x} = 0$$

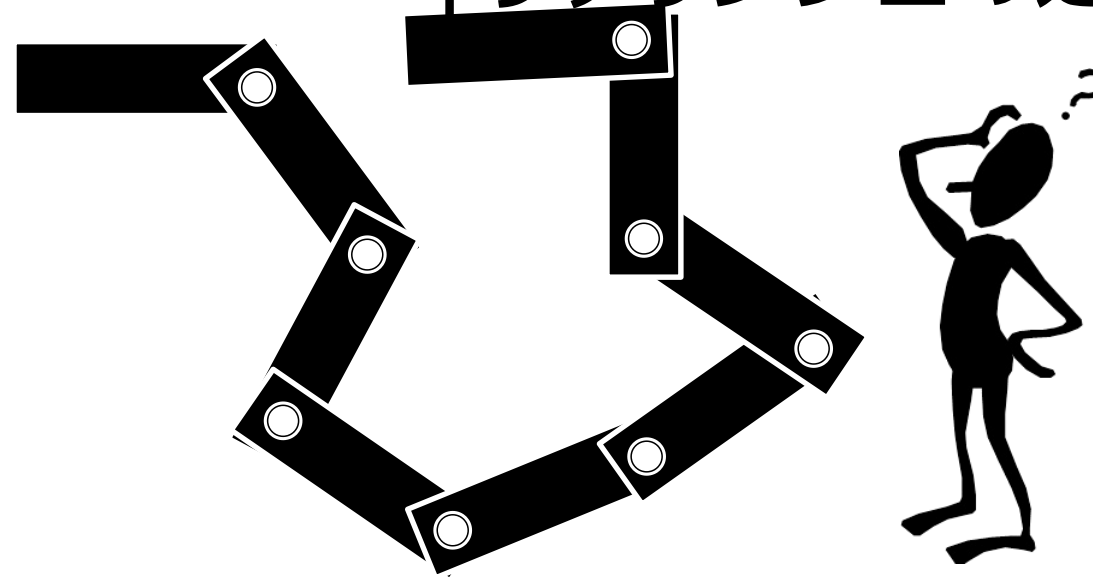
$$\frac{d}{dt} \left(\frac{\partial L}{\partial \dot{y}} \right) - \frac{\partial L}{\partial y} = 0$$

$$\frac{d}{dt} \left(\frac{\partial L}{\partial \dot{\theta}} \right) - \frac{\partial L}{\partial \theta} = 0$$

三つのツール

【連結された数個の剛体の運動】

[ラグランジュの運動方程式]



剛体の数が多くなるとラグランジアンが複雑になり
モデル化が難しくなる

Symbolic Math

Simscape Multibody

System Identification

1960年代に生まれた 画期的な理論

三つのツール

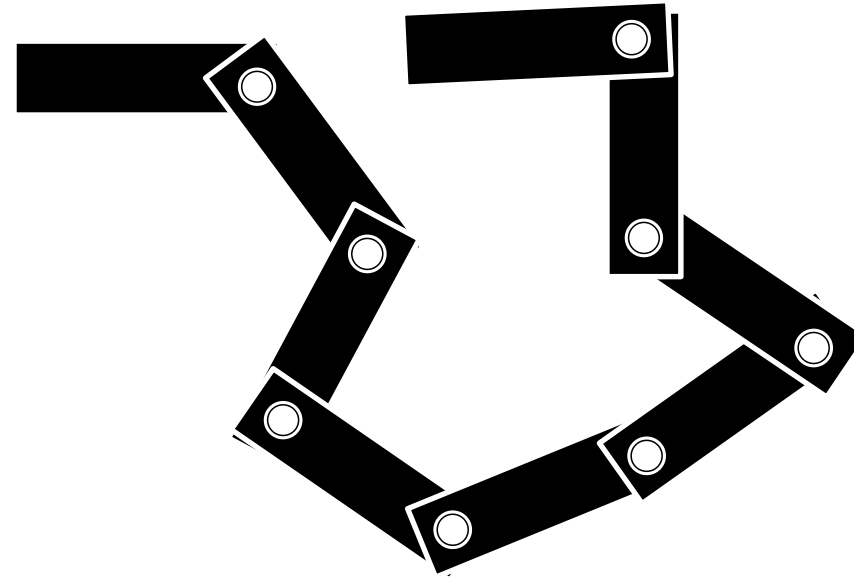
マルチボディダイナミクス

Symbolic Math

Simscape Multibody

System Identification

【マルチボディダイナミクス】



剛体間の自由度の付け方や力の与え方を考える事で
モデルを構築する事を可能とする理論

三つのツール

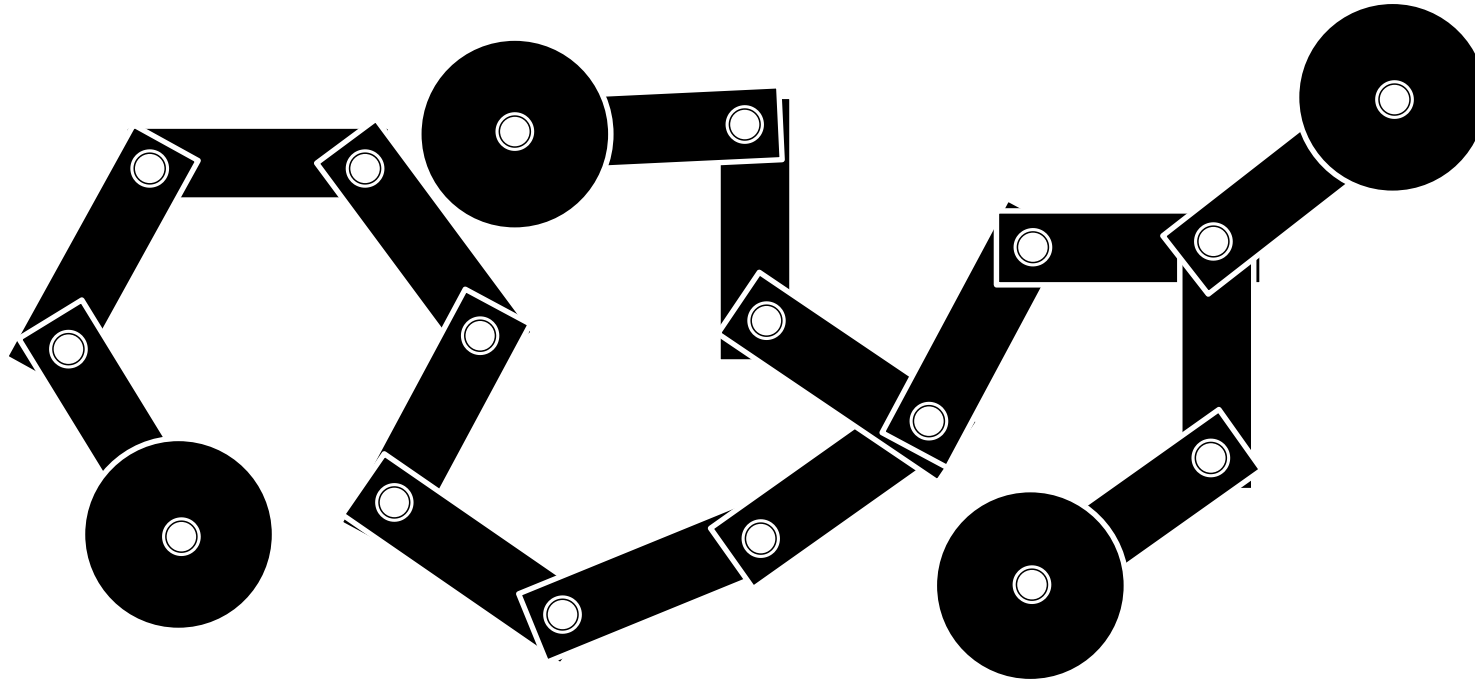
特徴

Symbolic Math

Simscape Multibody

System Identification

三つのツール



モデルの詳細度を上げやすい

Symbolic Math

Simscape Multibody

System Identification

理論は簡単でなく
習得には少し時間が必要

三つのツール

しかかしなかがら

Symbolic Math

Simscape Multibody

System Identification

MathWorks製品により
比較的低い労力で
利用可能

三つのツール

Simscape Multibody

Symbolic Math

Simscape Multibody

System Identification

例えば

三つのツール

【質点の自由落下】



質点

A diagram illustrating a particle in free fall. It consists of a solid black circle at the top with the Japanese characters '質点' (particle) written in white inside. A thick black vertical line extends downwards from the bottom center of the circle, ending in a solid black arrowhead pointing downwards.

Symbolic Math

Simscape Multibody

System Identification

三つのツール

5個固

Symbolic Math

Simscape Multibody

System Identification

三つのツール

モデルに必要な ブロックの個数

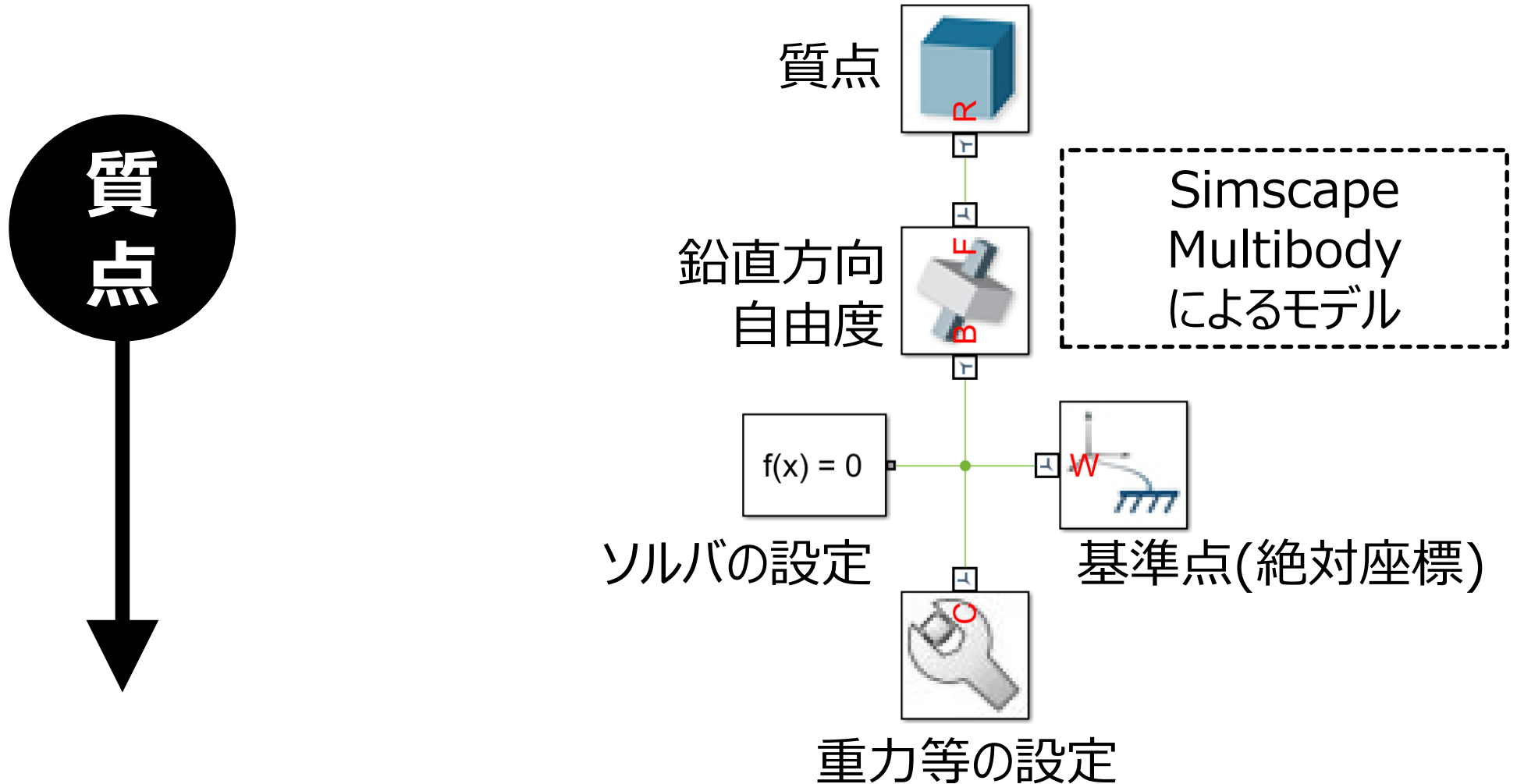
Symbolic Math

Simscape Multibody

System Identification

三つのツール

【質点の自由落下】



Symbolic Math

Simscape Multibody

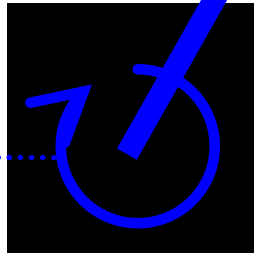
System Identification

例えは

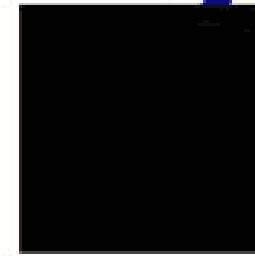
三つのツール

【動く台上の振り子】

回転自由度



並進自由度



Symbolic Math

Simscape Multibody

System Identification

三つのツール

1 1 個 固

Symbolic Math

Simscape Multibody

System Identification

三つのツール

モデルに必要な ブロックの個数

Symbolic Math

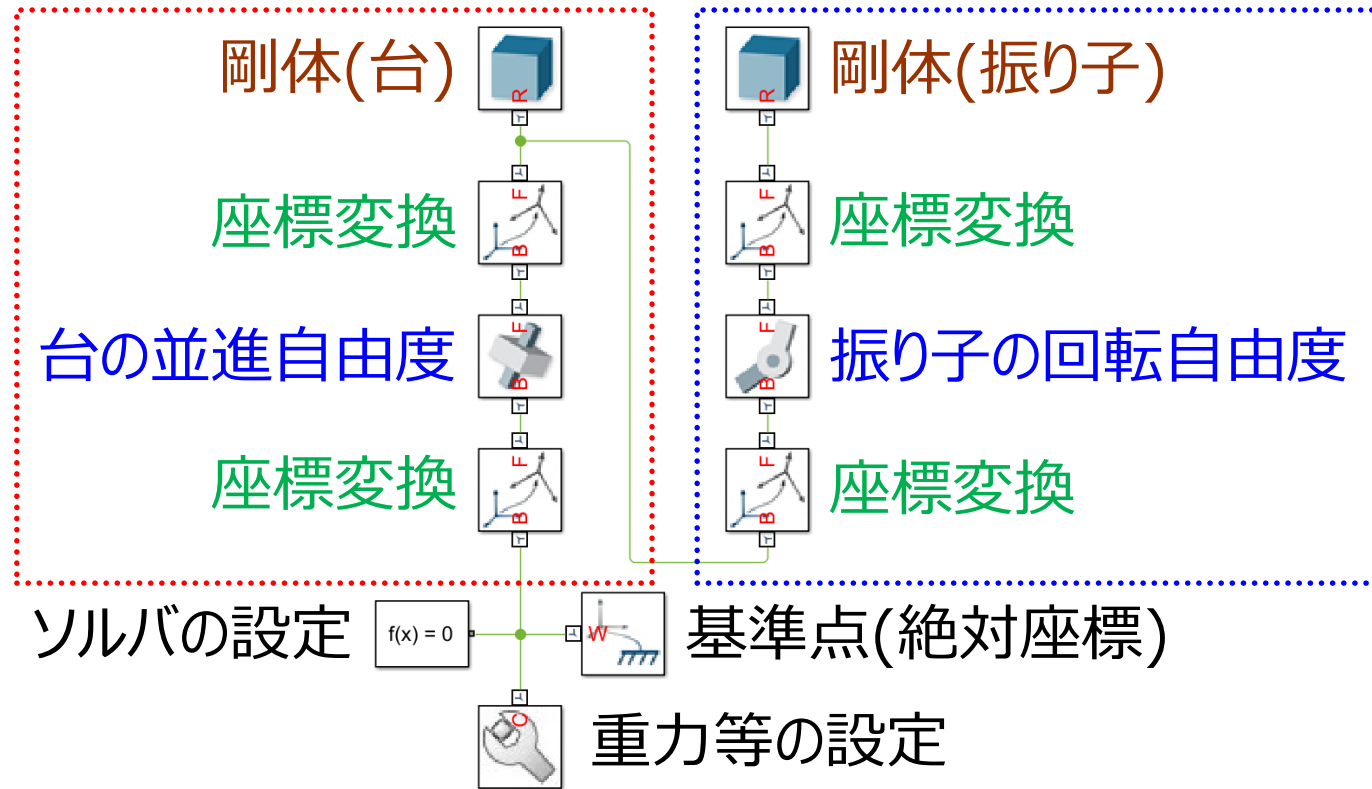
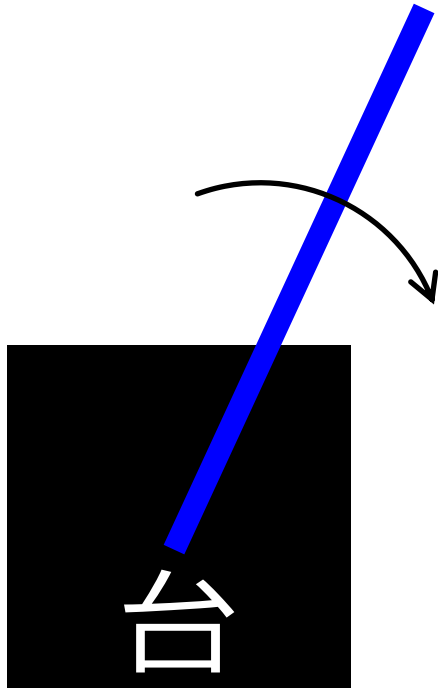
Simscape Multibody

System Identification

三つのツール

【動く台上の振り子】

[物体や物体の動く方向を表現]



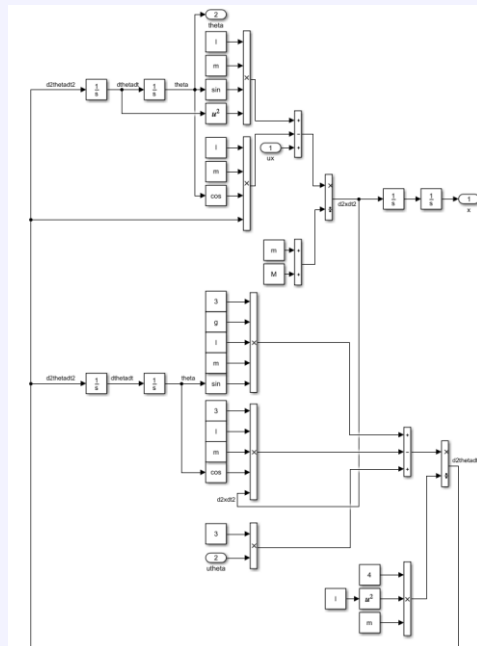
感覚的なモデリングが可能

三つのツール

【動く台上の振り子】

Simscape Multibodyを
利用しない場合

[モデリング手法]
ラグランジュの運動方程式



必要なブロックは約**40個**

Simscape Multibodyを
利用する場合

[モデリング手法]
マルチボディダイナミクス



必要なブロックは**11個**

低労力でモデリングが可能

Symbolic Math

Simscape Multibody

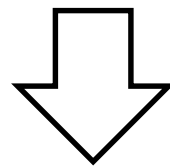
System Identification

Simscape Multibody

低労力で感覚的なモデリングを可能とする

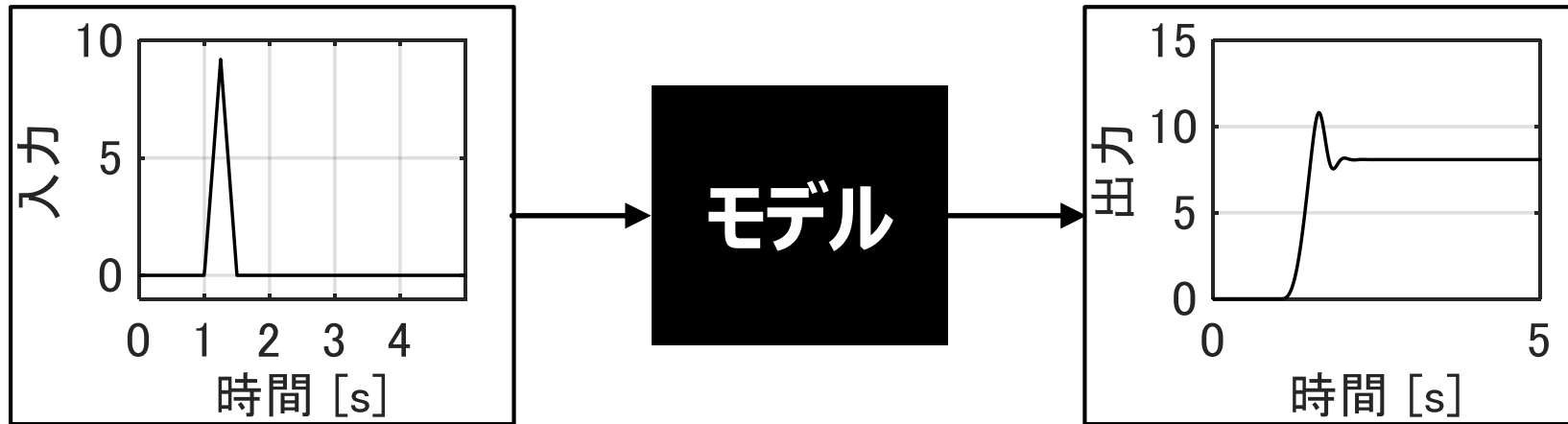
System Identification toolbox

System Identification Toolbox



システム同定を可能とするツールボックス

システム同定



例)状態方程式

$$\dot{x} = \mathbf{A}x + \mathbf{B}u$$

$$y = \mathbf{C}x + \mathbf{D}u$$

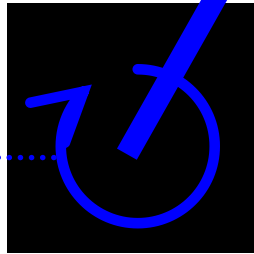
系の入出力の関係からモデルを推定するモデリング手法

三つのツール

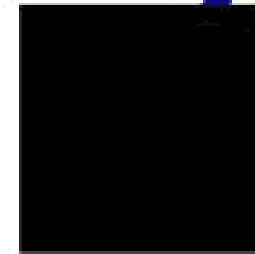
【動く台上の振り子】

システム同定によりモデルを作る

回転自由度



並進自由度



Symbolic Math

Simscape Multibody

System Identification

三つのツール

【システム同定に利用するデータ】

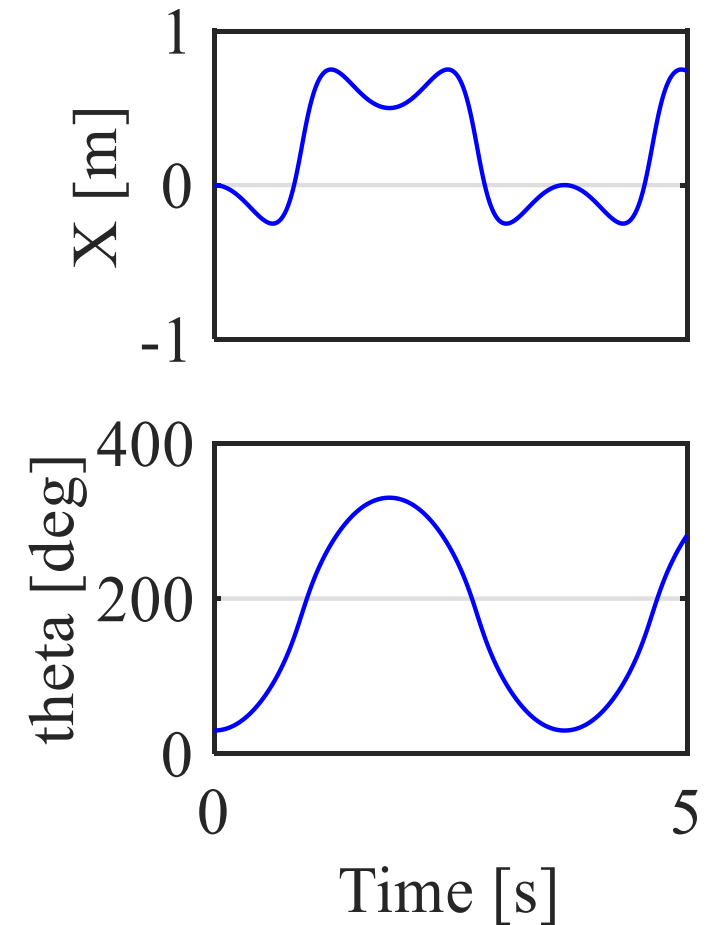
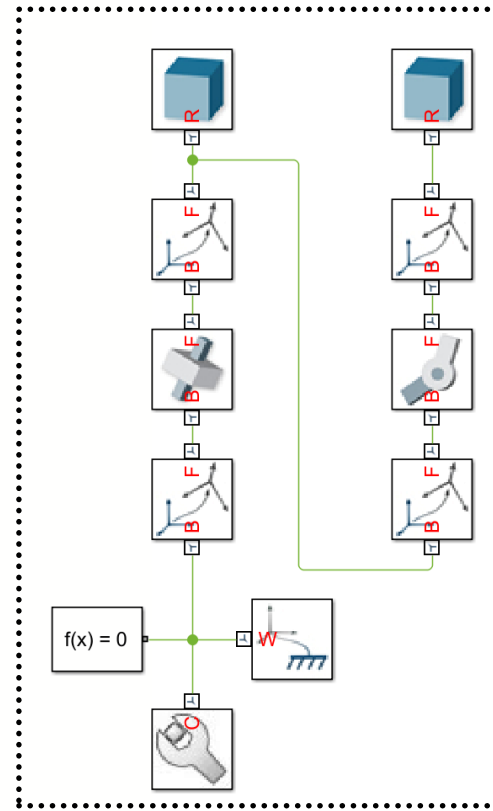
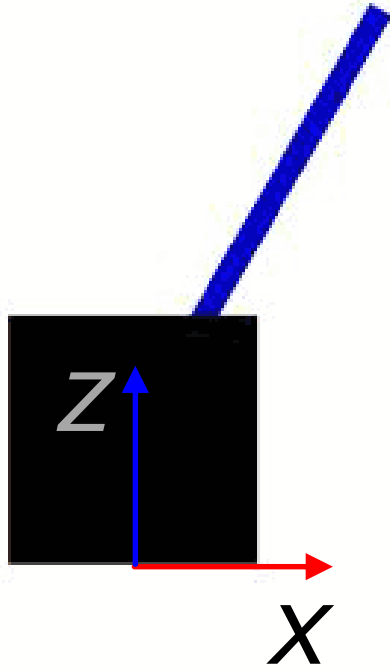


Fig. Simscape Multibodyを用いて構築したモデル

Fig. 計算結果

三つのツール

【システム同定を簡単に実現可能なツール】

```

コマンドウィンドウ
>> systemIdentification
fx >>

```

(step1)

$$\text{DAT} = \text{iddata}([x, \text{theta}], \text{input}, \text{samp});$$

(samp : 利用するデータのサンプリング周期)

(step2)

同定するモデルのタイプを選択

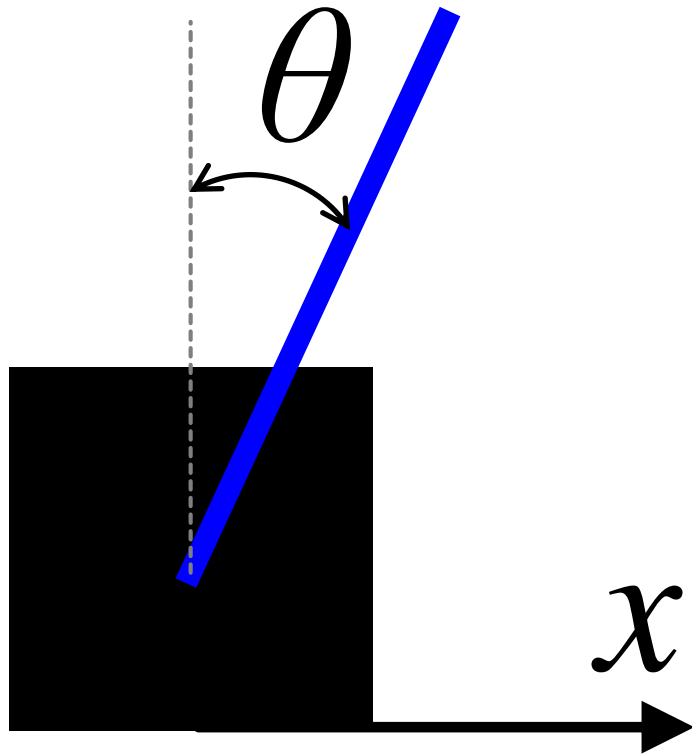
The screenshot shows the 'System Identification - Untitled' window. The workflow is as follows:

- Import data:** A 'DAT' block is selected in the 'Import data' section.
- Operations:** The 'Preprocess' dropdown is set to '< Preprocess'.
- Working Data:** A 'DAT' block is shown in the 'Working Data' section.
- Estimate:** The 'Estimate' dropdown is set to 'Estimate ->'. Below it, 'To Workspace' and 'To LTI Viewer' options are visible.
- Model Views:** The 'ss1' block is selected in the 'Import models' section. The 'Model Views' section has 'Model output' checked, and 'Model residuals' is highlighted.
- Data Views:** 'Time plot', 'Data spectra', and 'Frequency function' are listed with checkboxes.
- Validation Data:** A 'DAT' block is shown in the 'Validation Data' section.

(step3) 同定結果

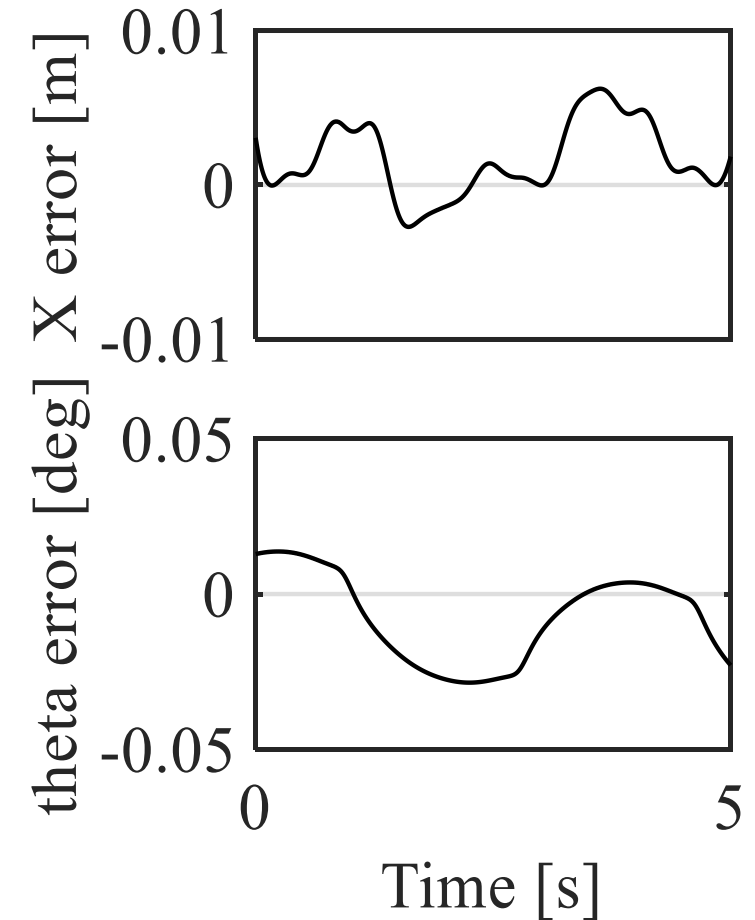
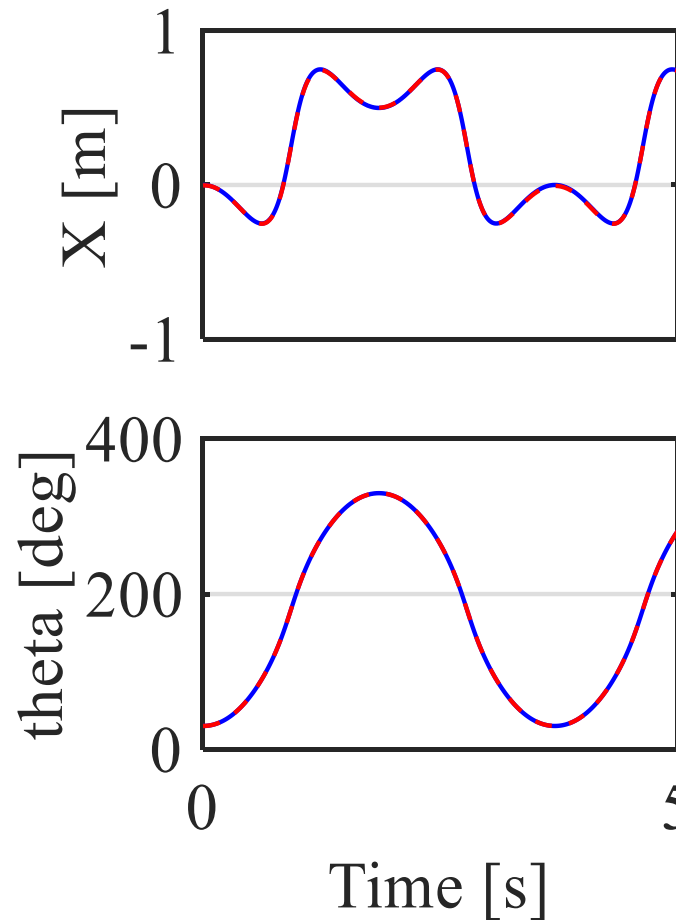
三つのツール

【同定結果】



$$\dot{x} = \mathbf{A}x + \mathbf{B}u$$

$$y = \mathbf{C}x + \mathbf{D}u$$



— Simscape result
- - - Identified result

Symbolic Math

Simscape Multibody

System Identification

【結果の応用例】

$$eigenvalue = eig(A)$$

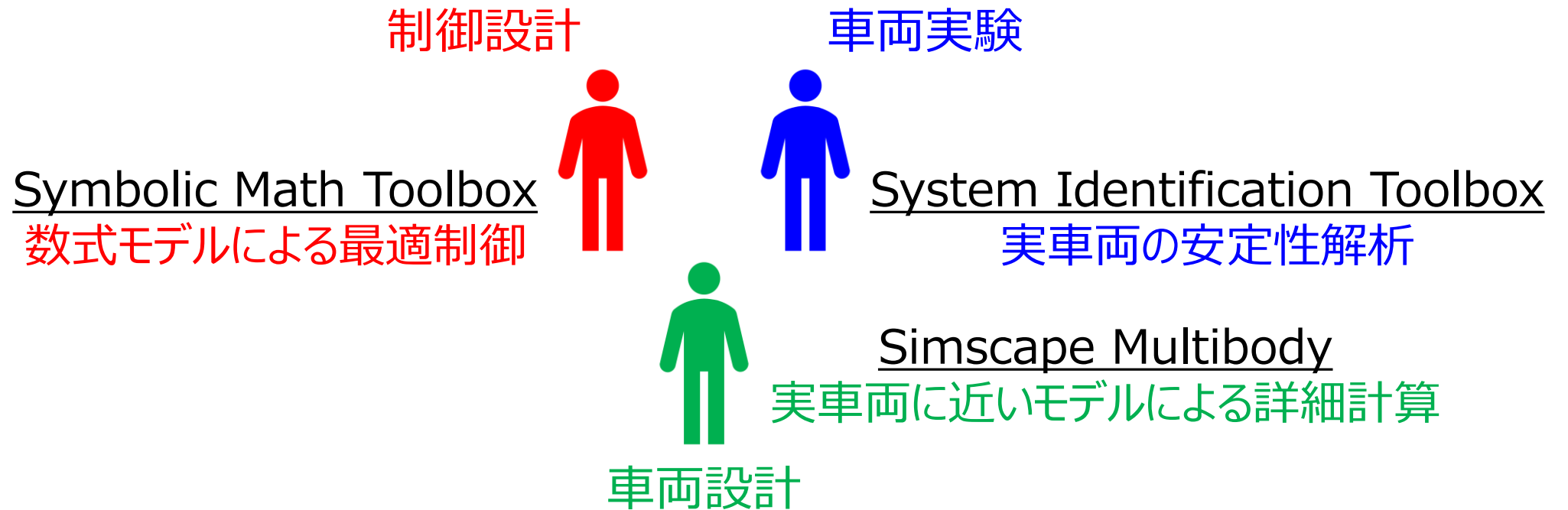
固有値を算出し
安定性の検討等も可能

本日の内容

- [1] 本講演の背景と目的
- [2] 運動解析を行う上で重要な三つの物理モデリングツール
- [3] 四輪車を対象とした三つのツールの適用例と使い分け方の提案 (初級, 中級)
- [4] モデルドリブンとデータドリブンの組み合わせの提案

四輪車への適用例

各手法はそれぞれ特徴があるので用途に応じて使い分ける必要がある



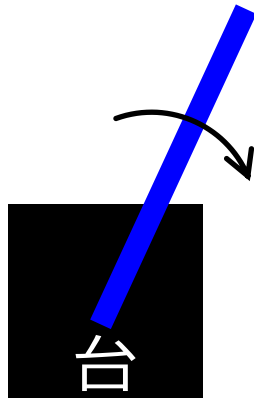
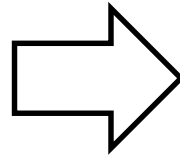
MathWorks製品を用途に応じて使い分け

四輪車への適用例

運動計算モデル作成の上で重要なツール

Symbolic Math Toolbox

Simscape Multibody

System Identification
Toolbox1ststep2ndstepツールの
基本説明動く台上の振り子ツールの
応用例四輪車

四輪車への適用例

前提

前提

Symbolic Math

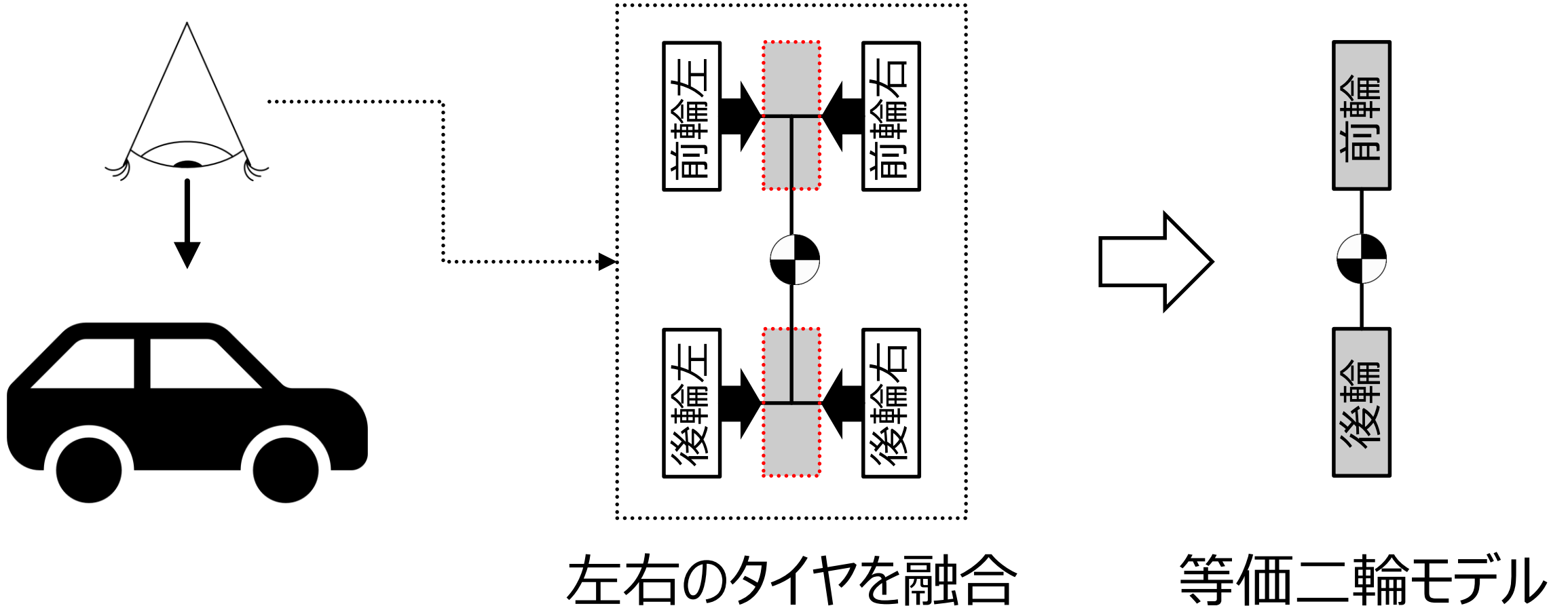
Simscape Multibody

System Identification

使い分け

四輪車への適用例

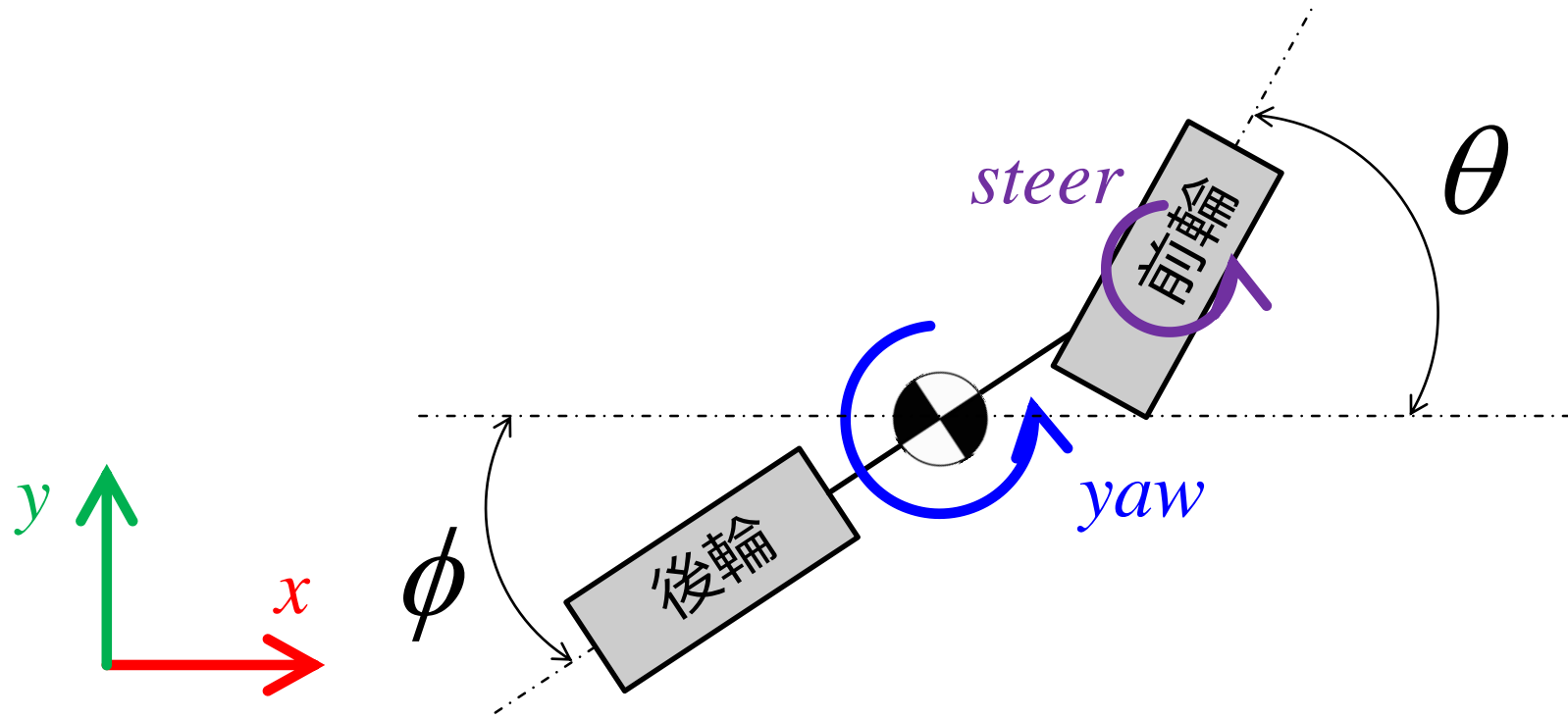
【等価二輪モデル】



最も基本的な四輪車の挙動を計算するシミュレーションモデル

四輪車への適用例

【等価二輪モデル】

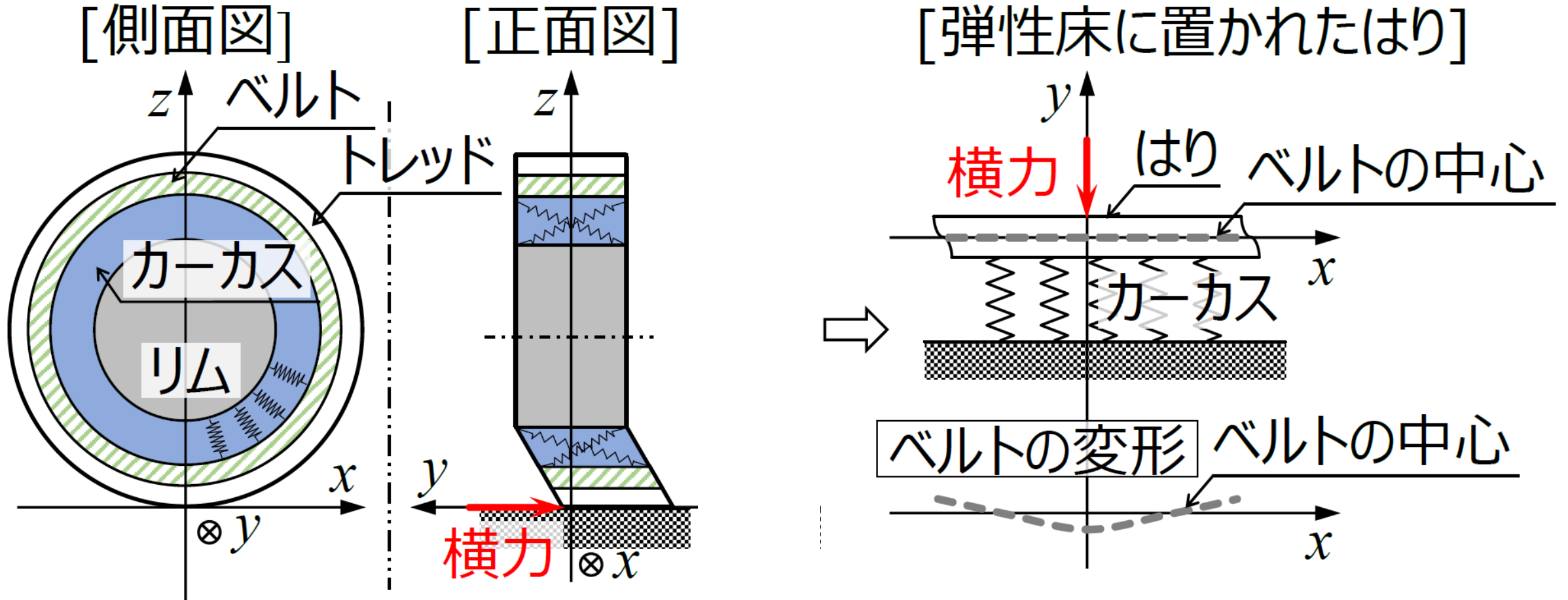


$x, y, yaw, steer$ 軸方向に自由度を持つ

四輪車への適用例

【利用するタイヤモデル】

Fialaの弾性リングモデル



前提

Symbolic Math

Simscape Multibody

System Identification

使い分け

四輪車への適用例

【利用するタイヤモデル】

Fialaの弾性リングモデル

トレッドゴムの弾性定数

接地面の長さや幅

内圧

物理的な意味が明確なパラメータを設定する事で
タイヤが発生する力を計算可能なモデル

前提

Symbolic Math

Simscape Multibody

System Identification

使い分け

四輪車への適用例

Symbolic Math Toolbox

前提

Symbolic Math

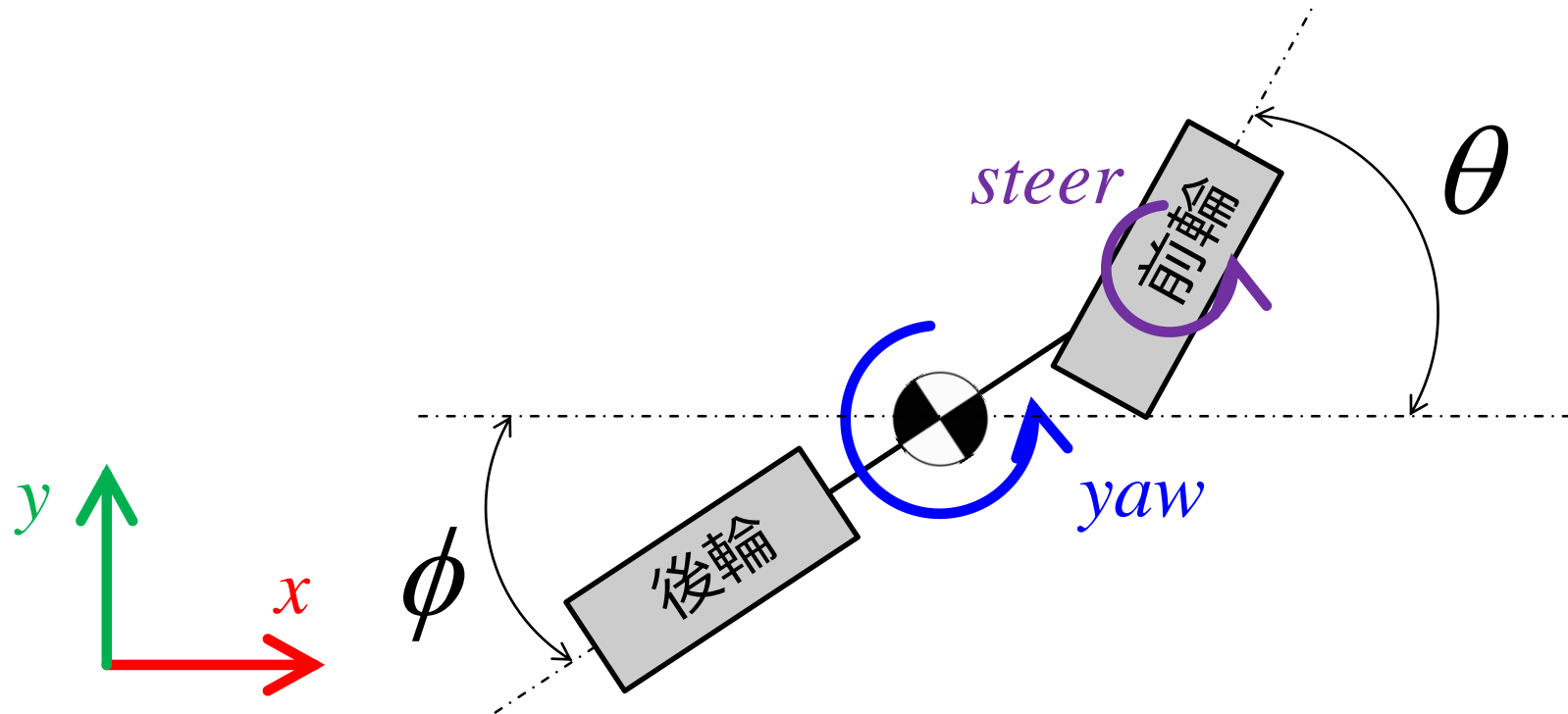
Simscape Multibody

System Identification

使い分け

四輪車への適用例

モデル化の方法



前提

Symbolic Math

Simscape Multibody

System Identification

使い分け

四輪車への適用例

ラグランジュの運動方程式

前提

Symbolic Math

Simscape Multibody

System Identification

使い分け

まずは ラグランジアンを立式

四輪車への適用例

ラグランジアン

前提

Symbolic Math

Simscape Multibody

System Identification

使い分け

四輪車への適用例

位置エネルギーと 運動エネルギーの 差分

前提

Symbolic Math

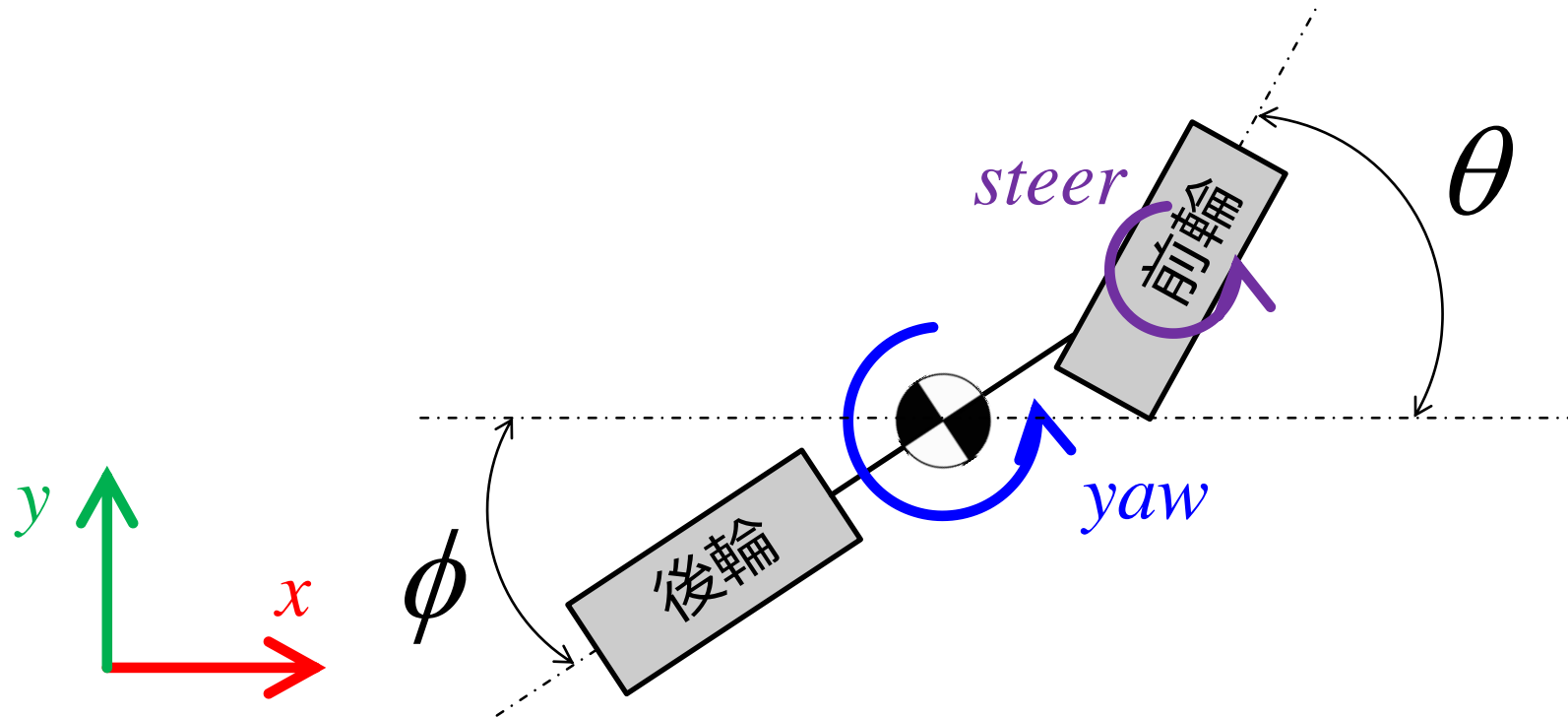
Simscape Multibody

System Identification

使い分け

四輪車への適用例

等価二輪モデルは 水平面を動く二次元のモデル



位置エネルギーは
考慮しない

四輪車への適用例

運動エネルギー

前提

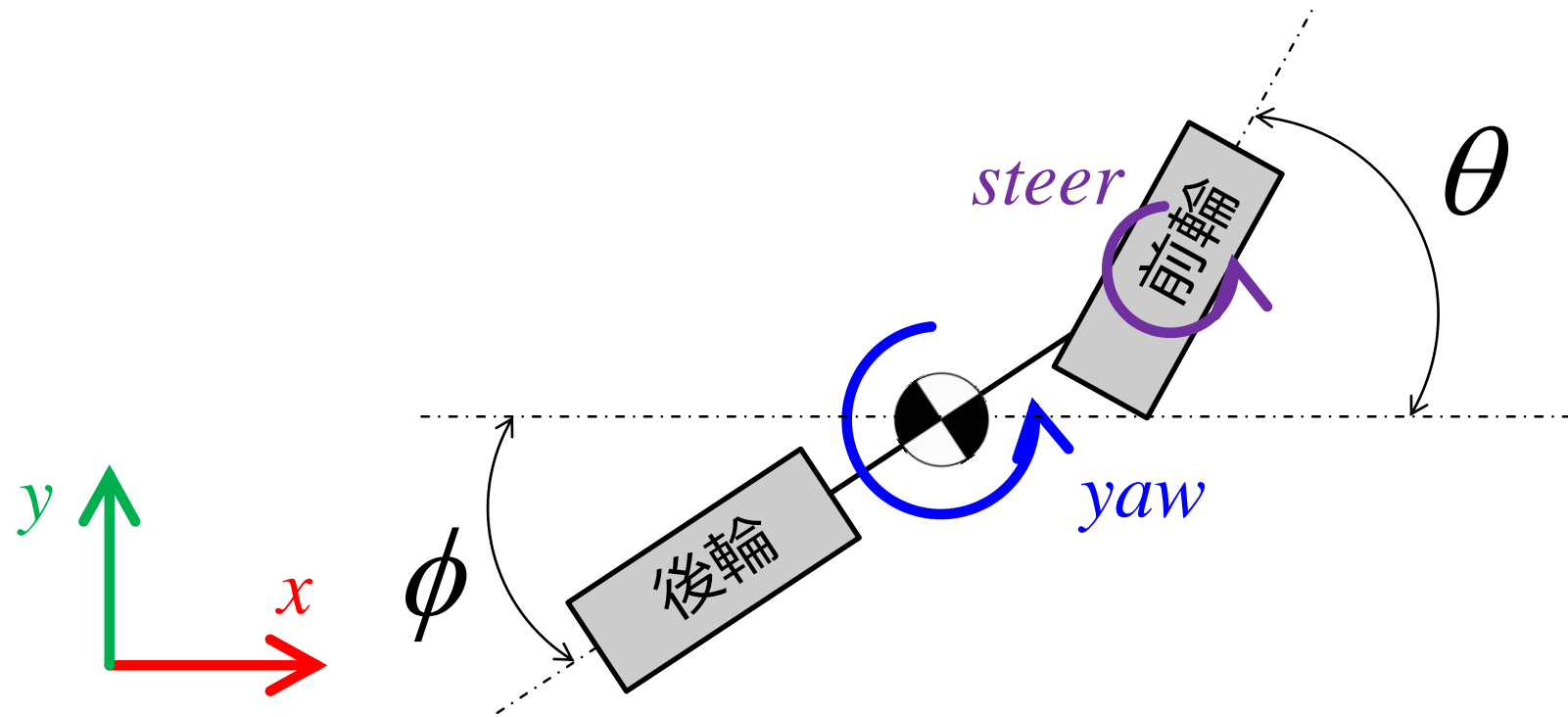
Symbolic Math

Simscape Multibody

System Identification

使い分け

四輪車への適用例

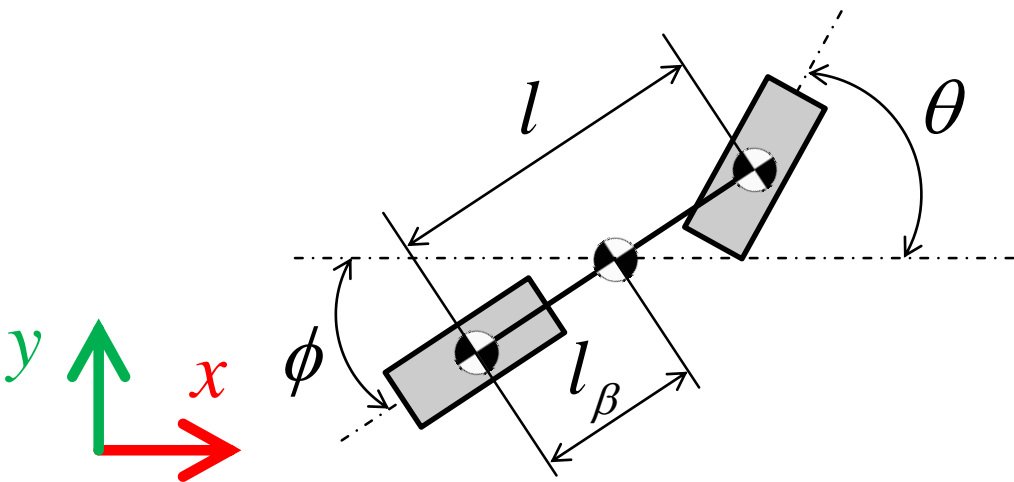


$x, y, yaw, steer$ 軸方向の運動によるエネルギー

四輪車への適用例

【ラグランジアン】

$$L = \frac{1}{2} \left\{ m_r \left(\frac{dy}{dt} - \frac{\frac{d\phi}{dt} (lm_f + l_\beta m_b) \cos \phi}{m_b + m_f + m_r} \right)^2 + m_r \left(\frac{dx}{dt} + \frac{\frac{d\phi}{dt} (lm_f + l_\beta m_b) \sin \phi}{m_b + m_f + m_r} \right)^2 + m_f \left(\frac{dy}{dt} + \frac{\frac{d\phi}{dt} (lm_b + lm_r - l_\beta m_b) \cos \phi}{m_b + m_f + m_r} \right)^2 + m_b \left(\frac{dy}{dt} + \frac{\frac{d\phi}{dt} (l_\beta m_f - lm_f + l_\beta m_r) \cos \phi}{m_b + m_f + m_r} \right)^2 \right. \\ \left. + m_f \left(\frac{dx}{dt} - \frac{\frac{d\phi}{dt} (lm_b + lm_r - l_\beta m_b) \sin \phi}{m_b + m_f + m_r} \right)^2 + m_b \left(\frac{dx}{dt} - \frac{\frac{d\phi}{dt} (l_\beta m_f - lm_f + l_\beta m_r) \sin \phi}{m_b + m_f + m_r} \right)^2 + I_b \left(\frac{d\phi}{dt} \right)^2 + I_r \left(\frac{d\phi}{dt} \right)^2 + I_f \left(\frac{d\theta}{dt} \right)^2 \right\}$$



	前輪	後輪	シャーシ
質量	m_f	m_r	m_b
イナーシャ(yaw軸まわり)	I_f	I_r	I_b

- *) l_β : 後輪回転軸からシャーシの重心までの距離
- *) x, y : 絶対座標系を基準とした重心の位置

Symbolic Math Toolboxにより 一瞬で解く事ができる

四輪車への適用例

```

clear;clc;close all;

%% 変数定義 %%
syms mr mf mb X(t) Y(t) phi(t) theta(t) t l lbeta lf lr lb lf Ir
syms u1 u2 u3 u4 Ffx Ffy Frx Fry Mfz Mrz

%% ラグランジアン %%
L(t) = (mr*(diff(Y(t), t) - (cos(phi(t))*diff(phi(t), t))*(l
(mr*(diff(X(t), t) + (sin(phi(t))*diff(phi(t), t))*(l
(lb*diff(phi(t), t)^2)/2 + (lf*diff(theta(t), t)^2)/2 + (lr*diff(phi(t), t)^2)/2 +...
(mf*(diff(Y(t), t) + (cos(phi(t))*diff(phi(t), t))*(l*mb + l*mr - lbeta*mb))/...
(mb + mf + mr))^2)/2 +(mb*(diff(Y(t), t) + (cos(phi(t))*diff(phi(t), t))*(lbeta*mf - l*mf +...
lbeta*mr))/(mb + mf + mr))^2)/2 + (mf*(diff(X(t), t) - (sin(phi(t))*diff(phi(t), t)*...
(l*mb + l*mr - lbeta*mb))/(mb + mf +mr))^2)/2 + (mb*(diff(X(t), t) - (sin(phi(t))*diff(phi(t), t)*...
(lbeta*mf - l*mf + lbeta*mr))/(mb + mf + mr))^2)/2;

%% 一般化力 %%
u1 = Ffx * cos(theta(t)) - Ffy * sin(theta(t)) + Frx * cos(phi(t)) - Fry * sin(phi(t));
u2 = Ffx * sin(theta(t)) + Ffy * cos(theta(t)) + Frx * sin(phi(t)) + Fry * cos(phi(t));
u3 = lf * (Ffx * sin(theta(t) - phi(t)) + Ffy * cos(theta(t) - phi(t))) - lr * Fry + Mrz;
u4 = Mfz;

%% ラグランジュの運動方程式を処理 %%
EQ_X = functionalDerivative(L, X) == u1;
EQ_Y = functionalDerivative(L, Y) == u2;
EQ_phi = functionalDerivative(L, phi) == u3;
EQ_theta = functionalDerivative(L, theta) == u4;

```

functionalDerivative

functionalDerivative
汎関数微分を行う関数

四輪車への適用例

[x軸方向]

$$\frac{d^2 x}{dt^2} = \frac{F_{fy} \sin \theta + F_{ry} \sin \phi - F_{fx} \cos \theta - F_{rx} \cos \phi}{m_b + m_f + m_r}$$

[y軸方向]

$$\frac{d^2 y}{dt^2} = \frac{F_{fx} \sin \theta + F_{rx} \sin \phi + F_{fy} \cos \theta + F_{ry} \cos \phi}{m_b + m_f + m_r}$$

[yaw軸方向]

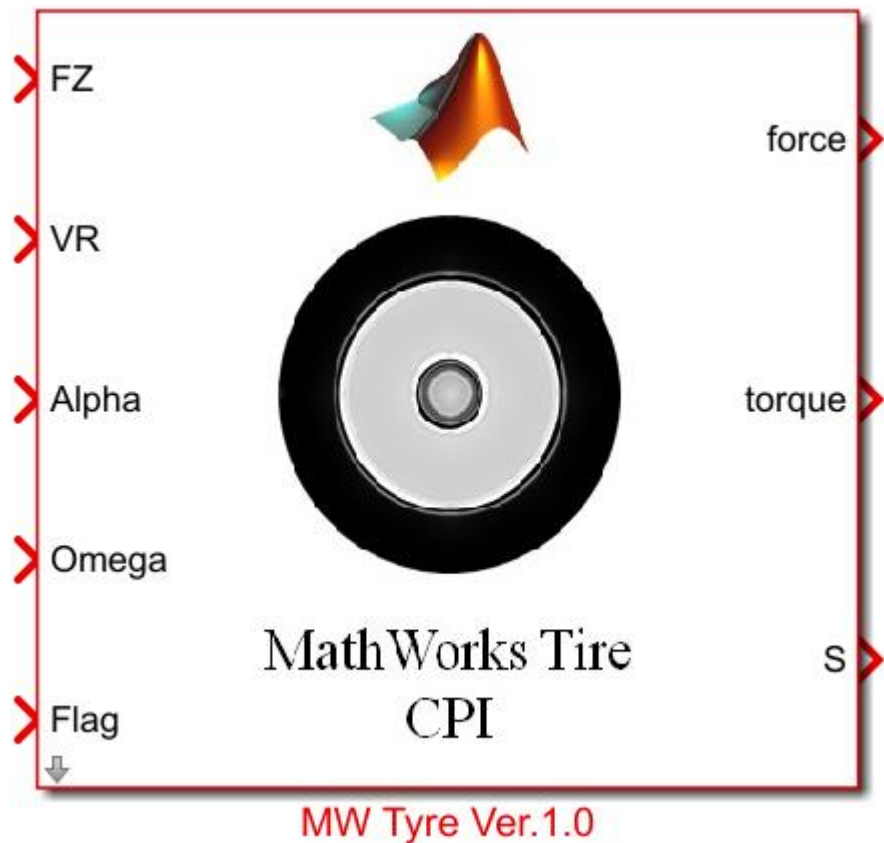
$$\frac{d^2 \phi}{dt^2} = \frac{M_{rz} m_b + M_{rz} m_f + M_{rz} m_r - F_{ry} l m_f - F_{ry} l_\beta m_b + F_{fy} l m_b \cos(\phi - \theta) + F_{fy} l m_r \cos(\phi - \theta) - F_{fy} l_\beta m_b \cos(\phi - \theta) - F_{fx} l m_b \sin(\phi - \theta) - F_{fx} l m_r \sin(\phi - \theta) + F_{fx} l_\beta m_b \sin(\phi - \theta)}{I_b m_b + I_b m_f + I_b m_r + I_r m_b + I_r m_f + I_r m_r + l^2 m_b m_f + l^2 m_f m_r + l_\beta^2 m_b m_f + l_\beta^2 m_b m_r - 2l l_\beta m_b m_f}$$

[Steer軸方向]

$$\frac{d^2 \theta}{dt^2} = \frac{M_{fz}}{I_f}$$

四輪車への適用例

【利用するタイヤモデル】



Fialaの弾性リングモデルをSimulink上で
利用可能とするために開発したブロック

**File exchange上で
公開する予定**

File exchange:様々なシミュレーションモデルや関数等が
公開されている弊社WEBサイト

前提

Symbolic Math

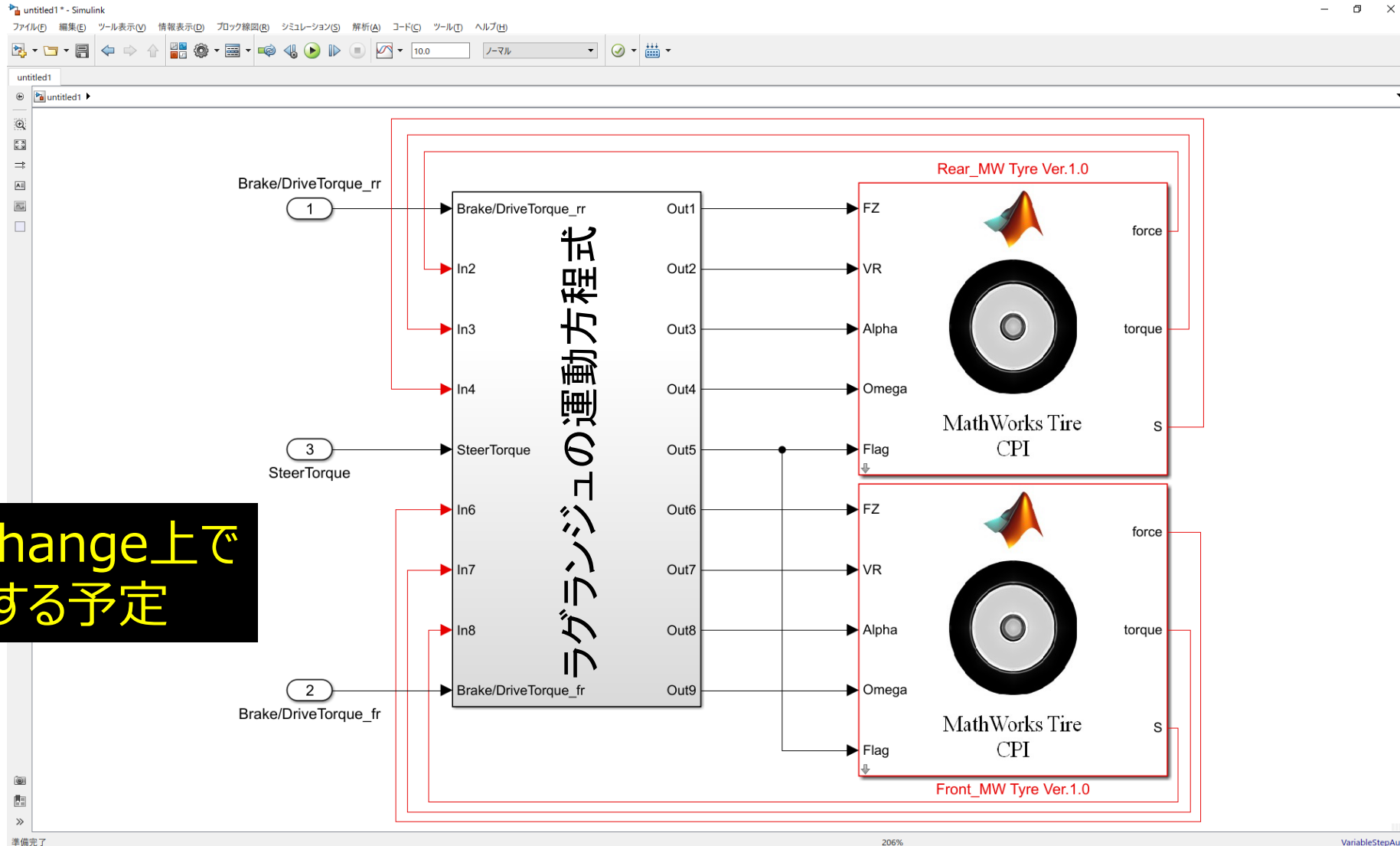
Simscape Multibody

System Identification

使い分け

四輪車への適用例

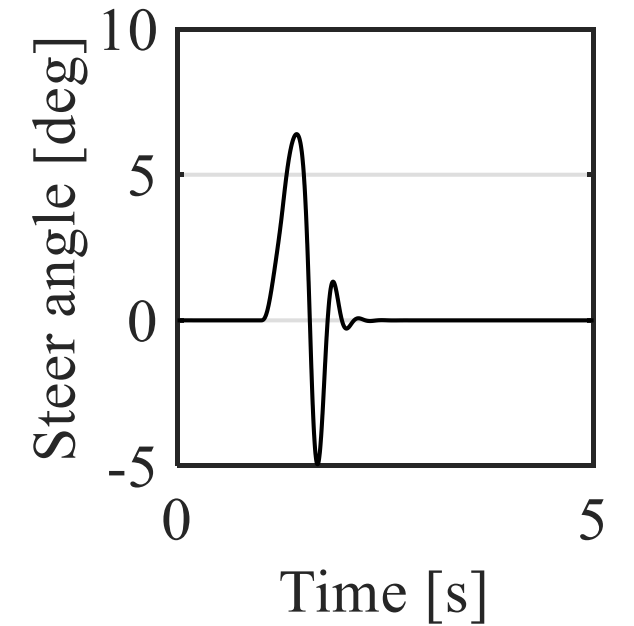
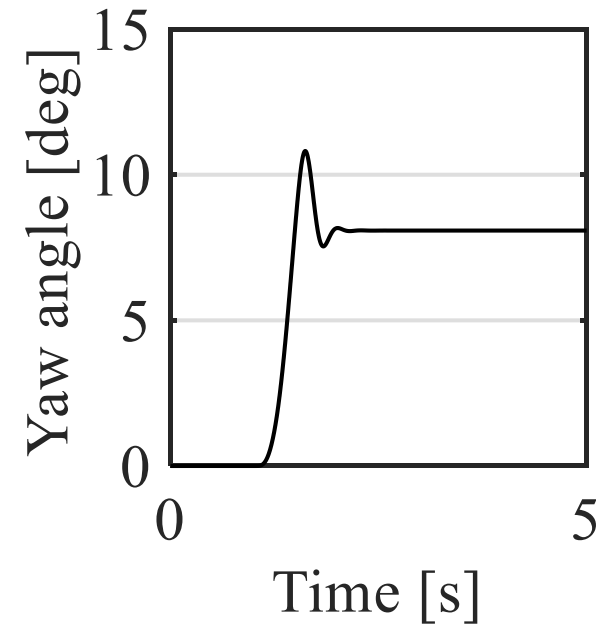
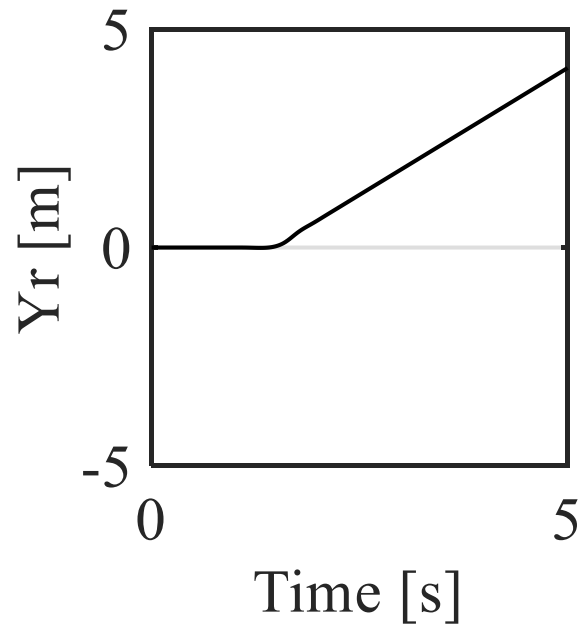
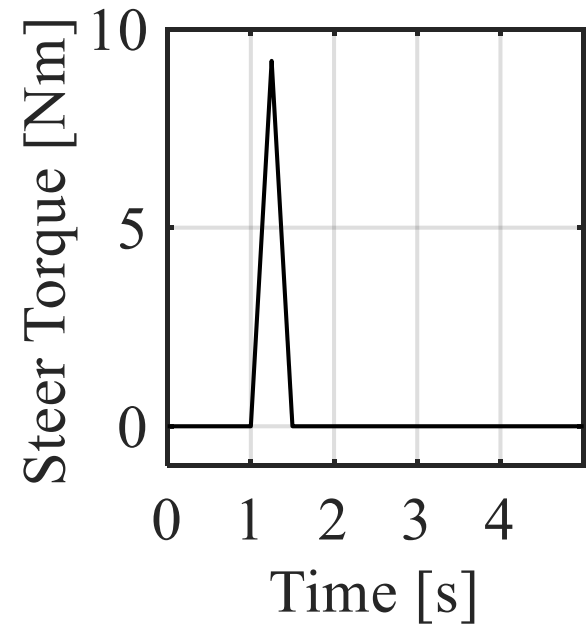
【構築したモデル】



File exchange上で
公開する予定

四輪車への適用例

【シミュレーション結果】



四輪車への適用例

モデルの特徴

前提

Symbolic Math

Simscape Multibody

System Identification

使い分け

式が"明らか

四輪車への適用例

メカニクス

四輪車への適用例

最適計算が可能

前提

Symbolic Math

Simscape Multibody

System Identification

使い分け

四輪車への適用例

【最適計算が可能】

[例]

評価関数を**車両の安定性**とし
最適化アルゴリズムを用いて
重心位置を最適化

四輪車への適用例

Simscape Multibody

前提

Symbolic Math

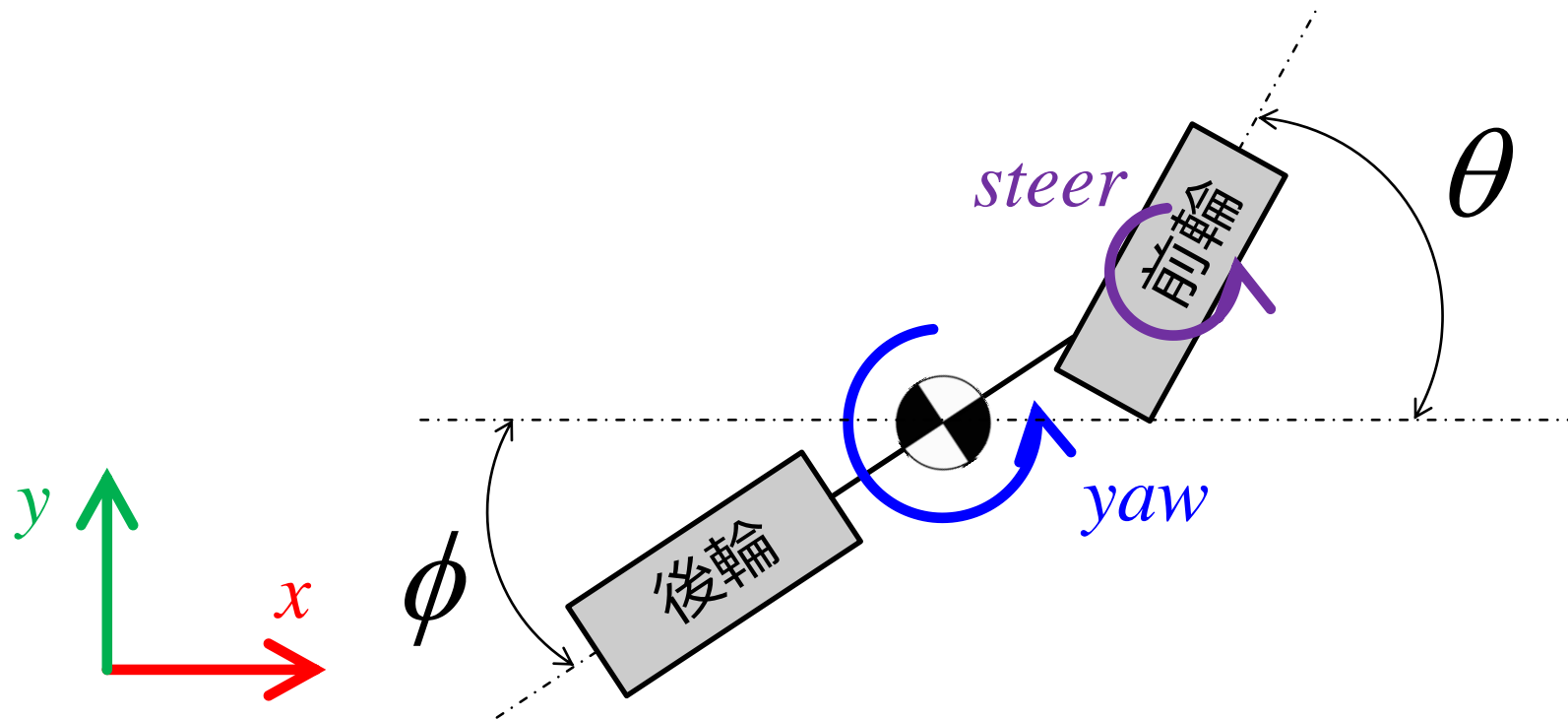
Simscape Multibody

System Identification

使い分け

四輪車への適用例

モデル化の方法



前提

Symbolic Math

Simscape Multibody

System Identification

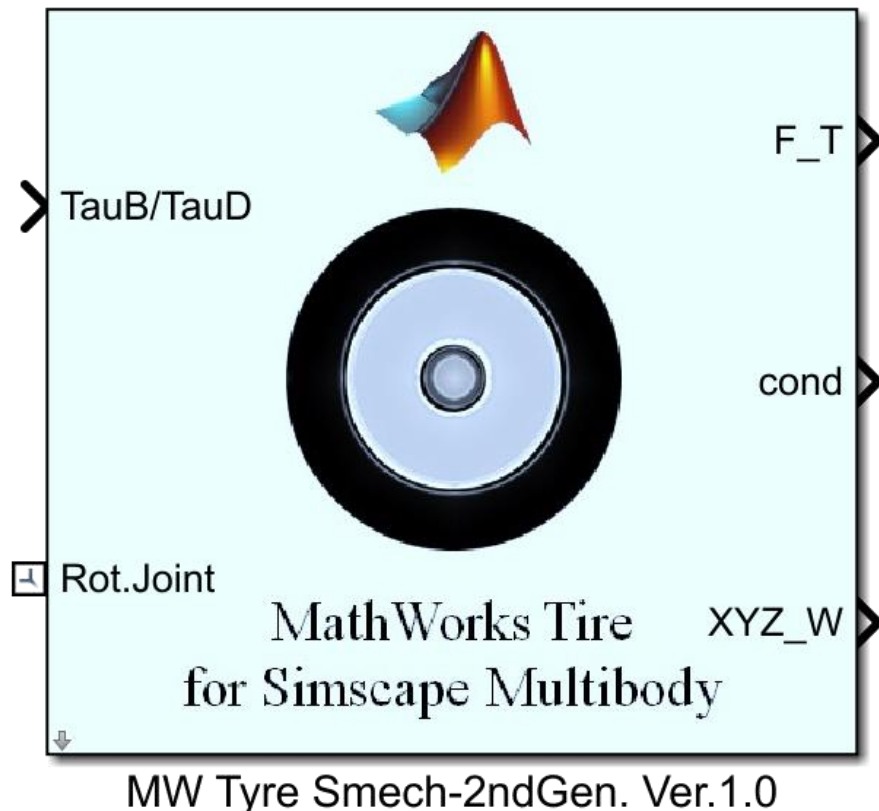
使い分け

モデルの構築は 比較的簡単

前後のタイヤと シャーシを繋ぐだけ

四輪車への適用例

【利用するタイヤモデル】



Fialaの弾性リングモデルを
Simscape Multibodyを用いて
利用可能とするために開発したブロック

**File exchange上で
公開する予定**

File exchange:様々なシミュレーションモデルや関数等が
公開されている弊社WEBサイト

前提

Symbolic Math

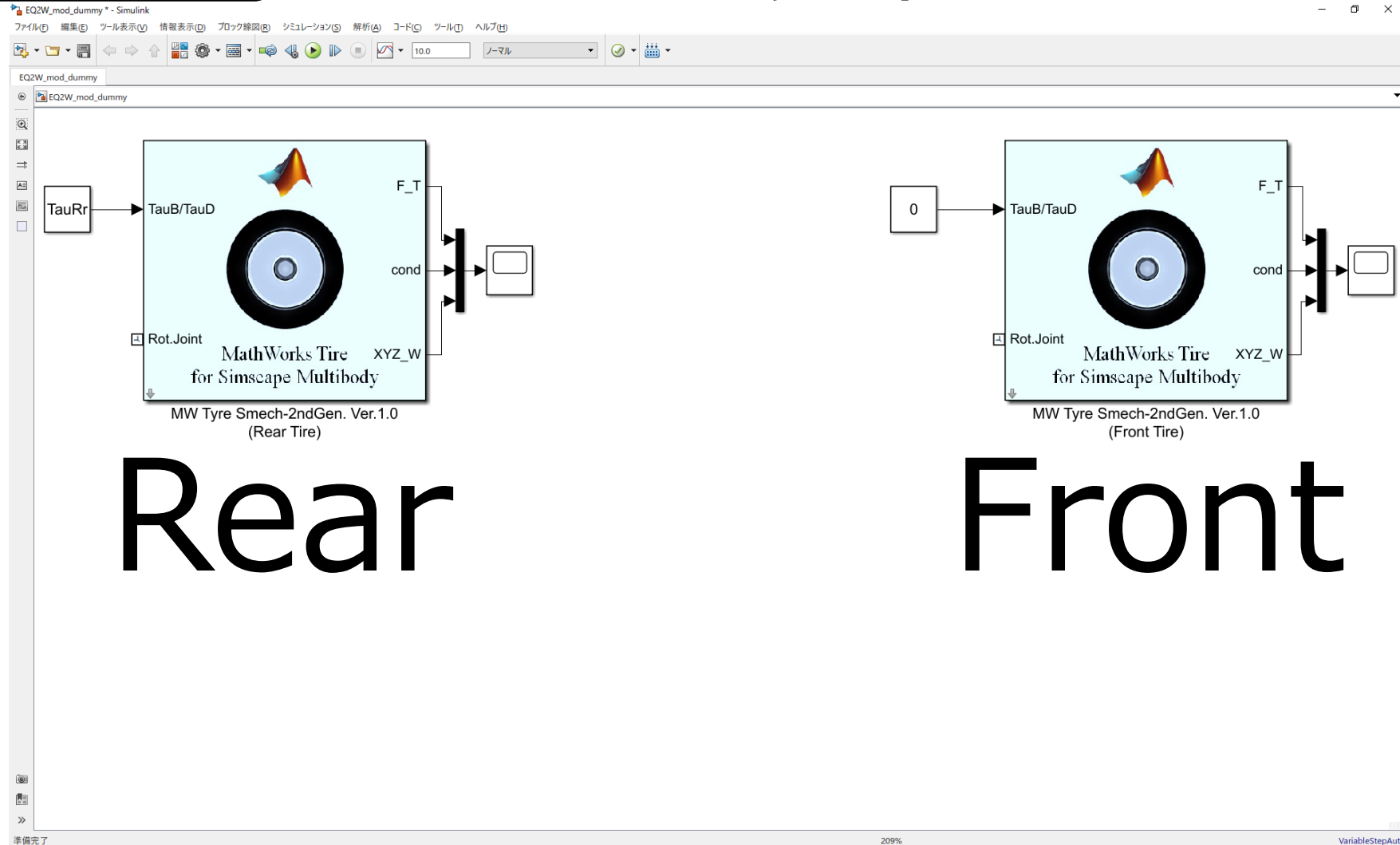
Simscape Multibody

System Identification

使い分け

四輪車への適用例

まずはタイヤを置く

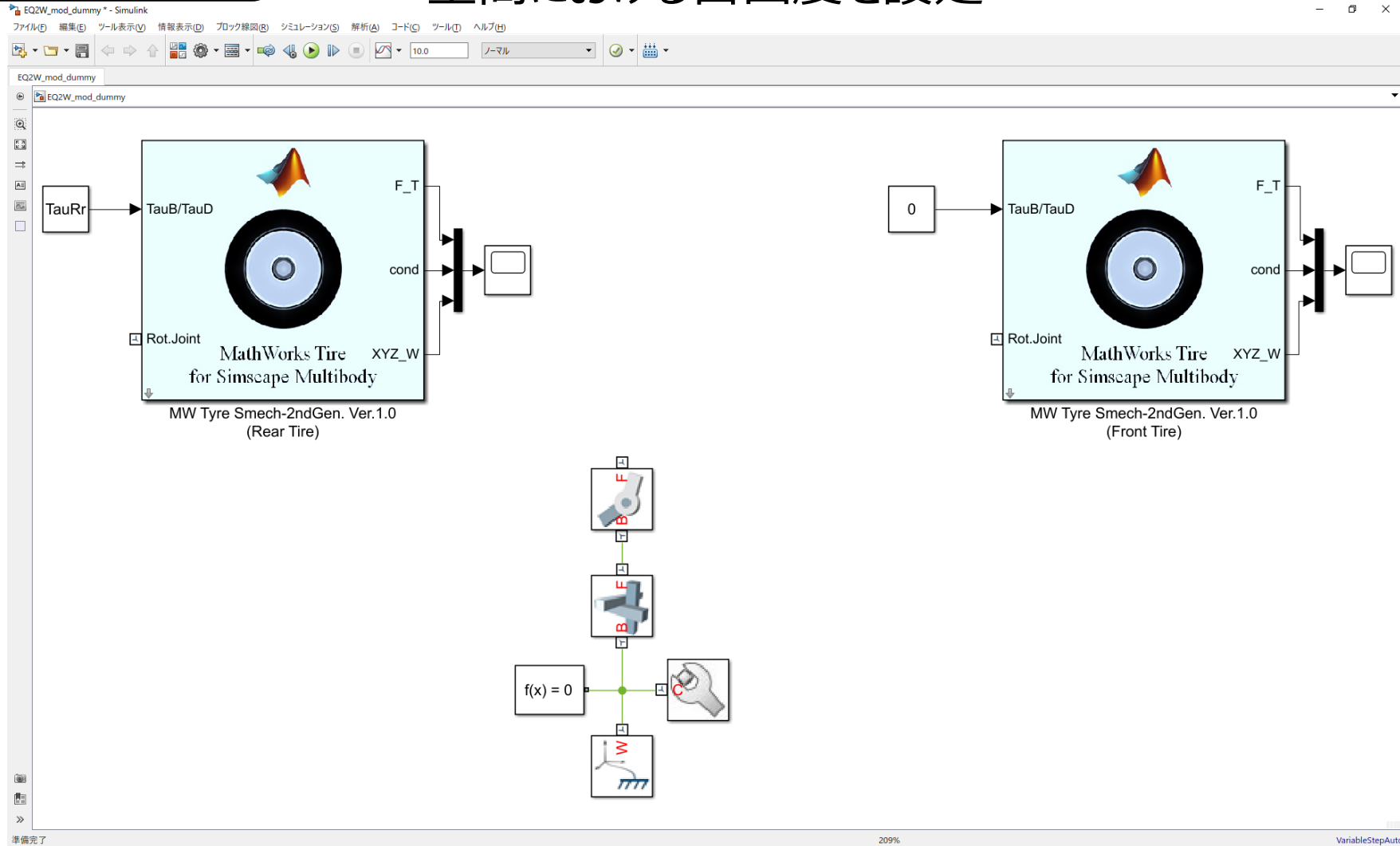


Rear

Front

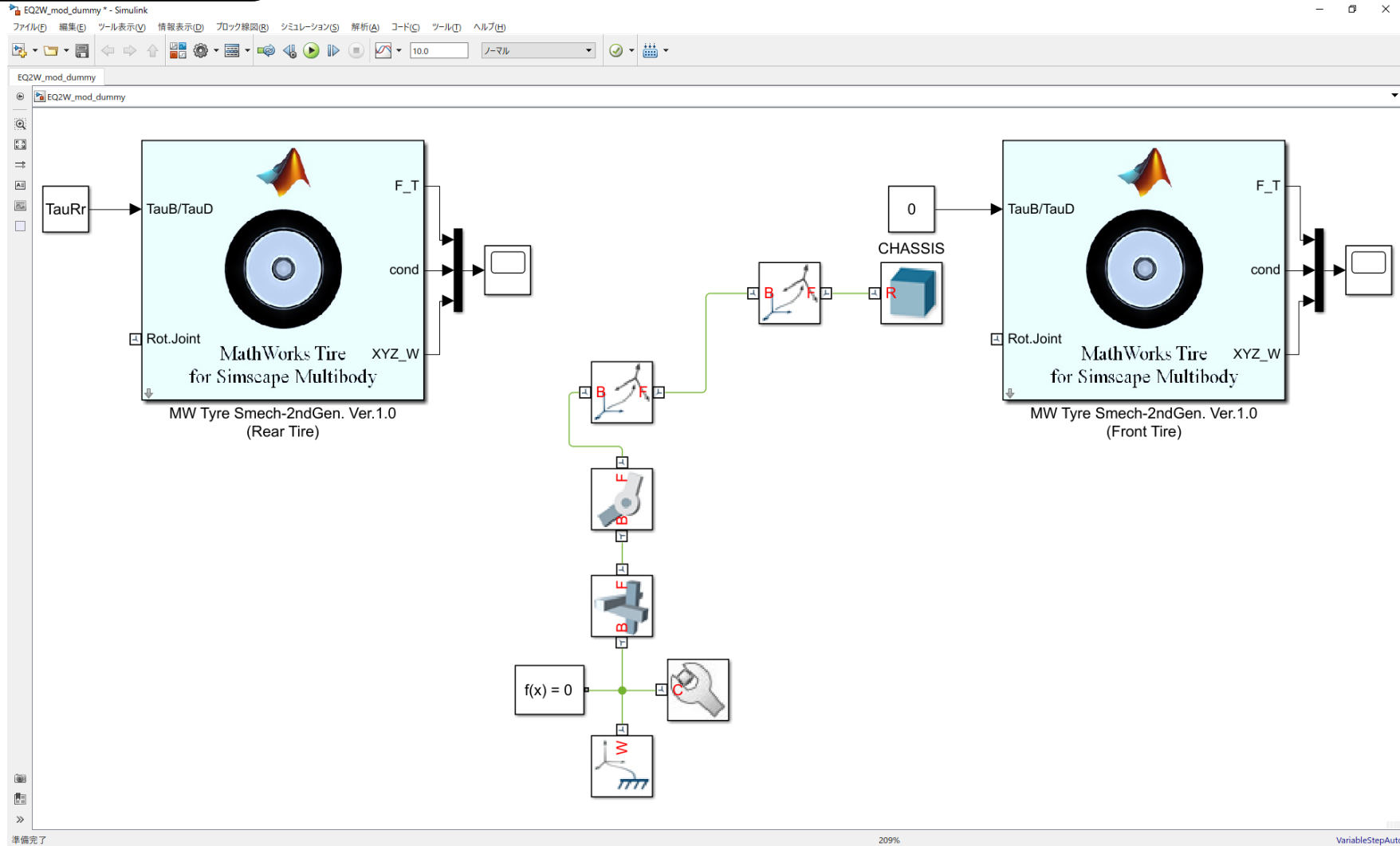
四輪車への適用例

ソルバの設定 空間における自由度を設定



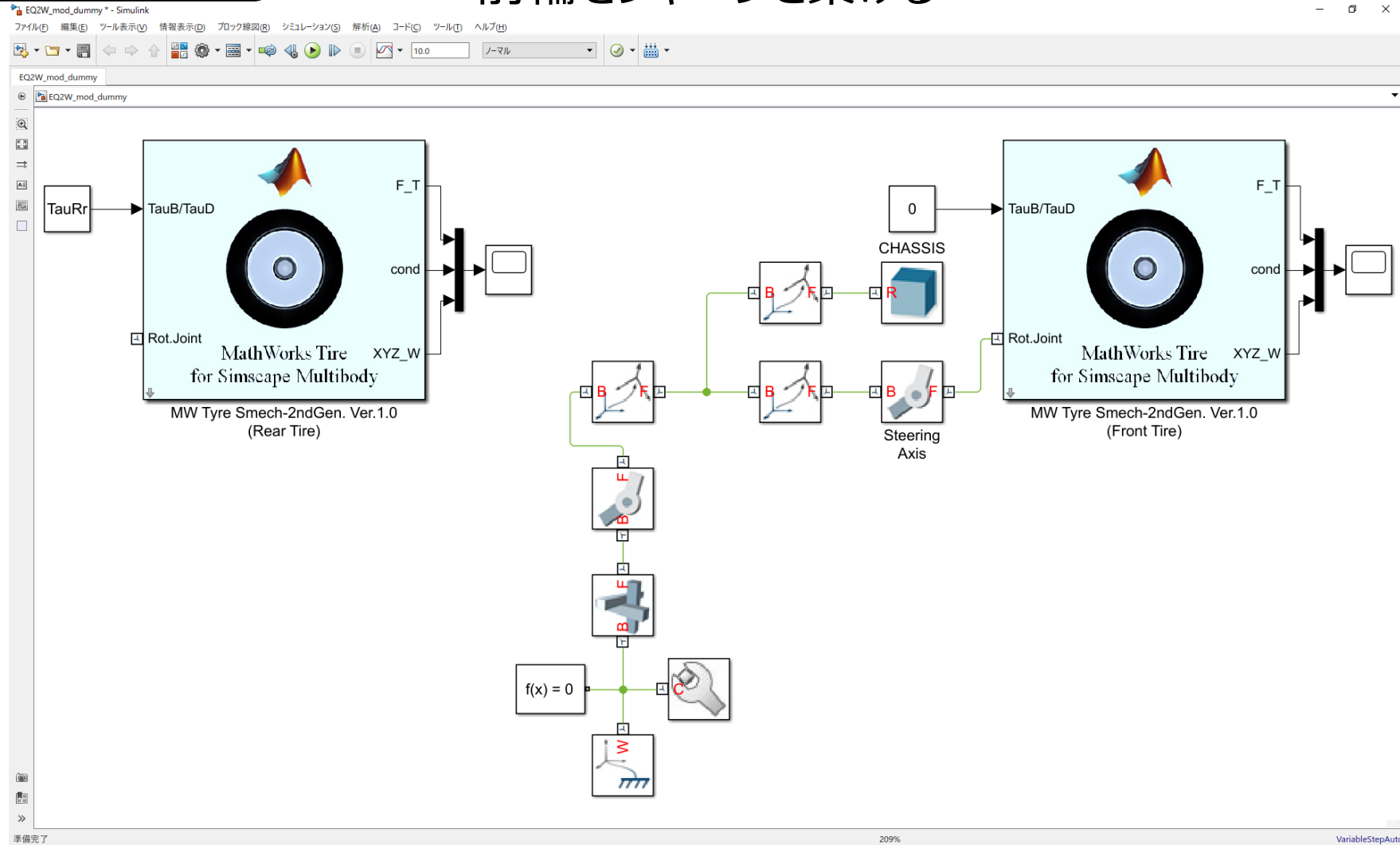
四輪車への適用例

シャーシを繋げる



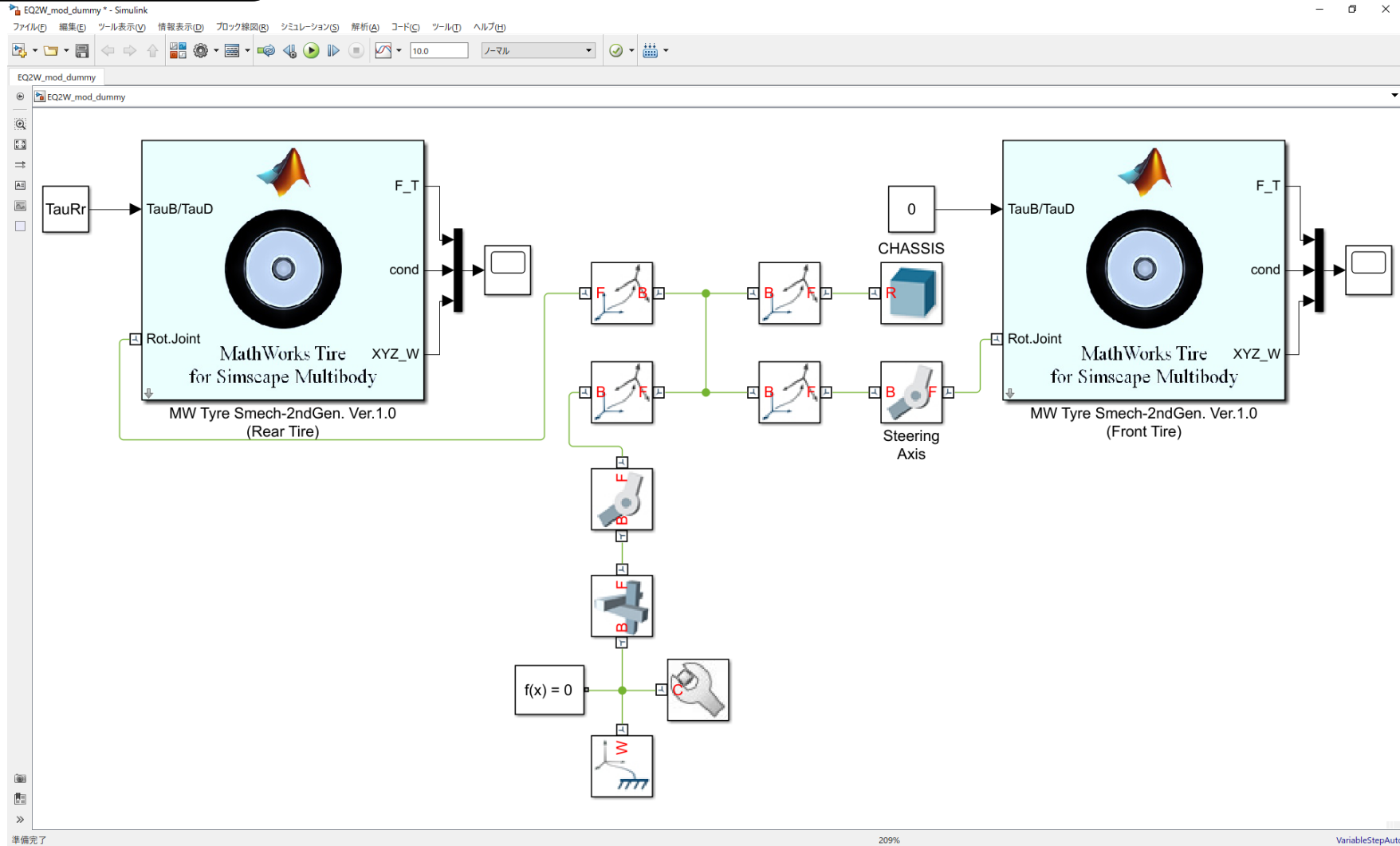
四輪車への適用例

ステア軸周りに回転自由度を与え 前輪をシャーシと繋げる



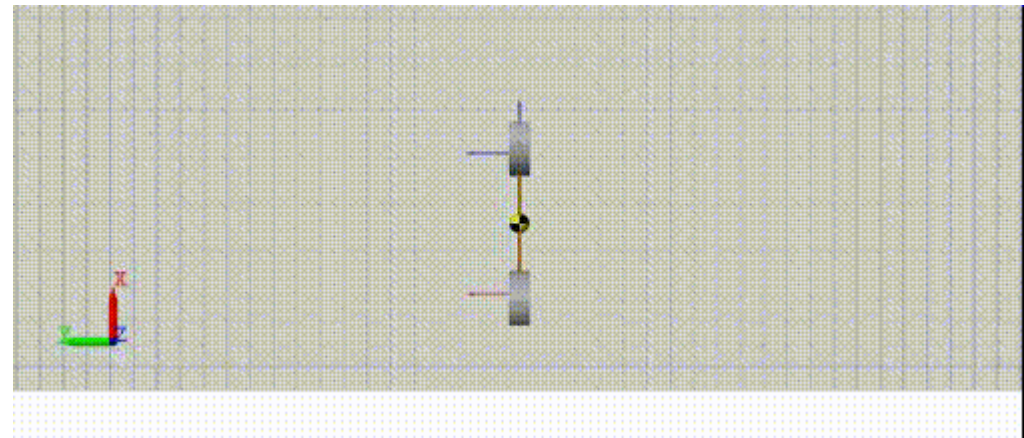
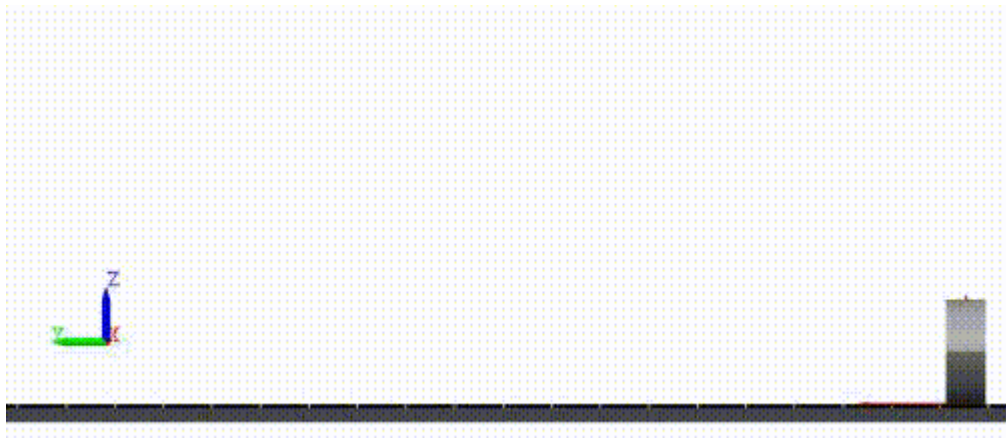
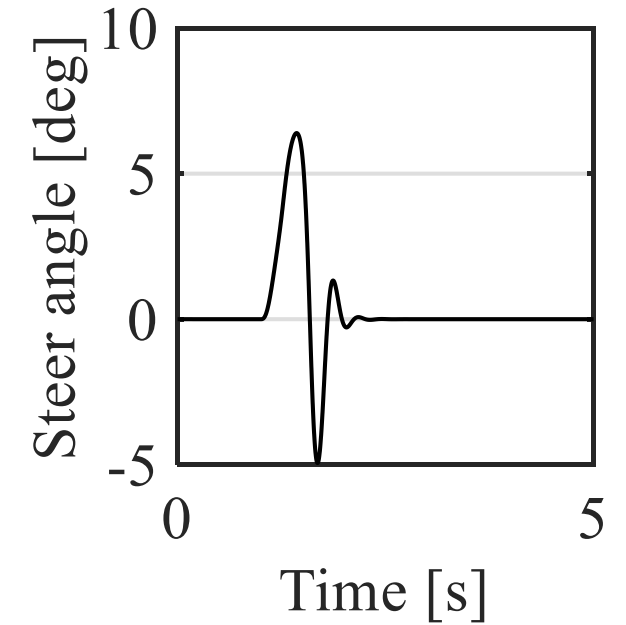
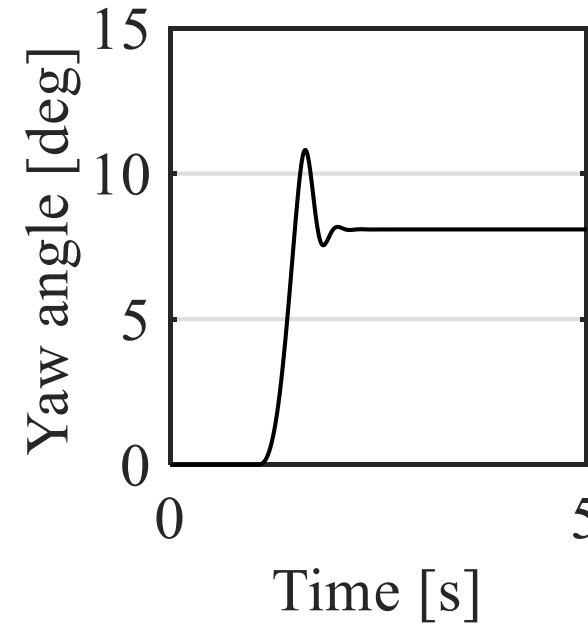
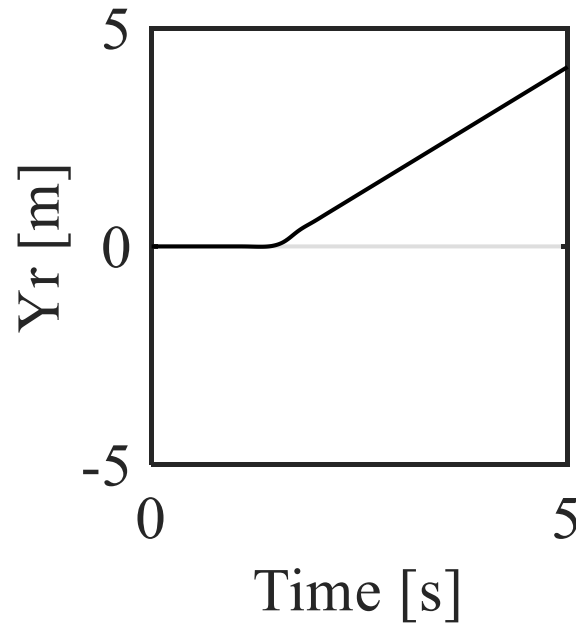
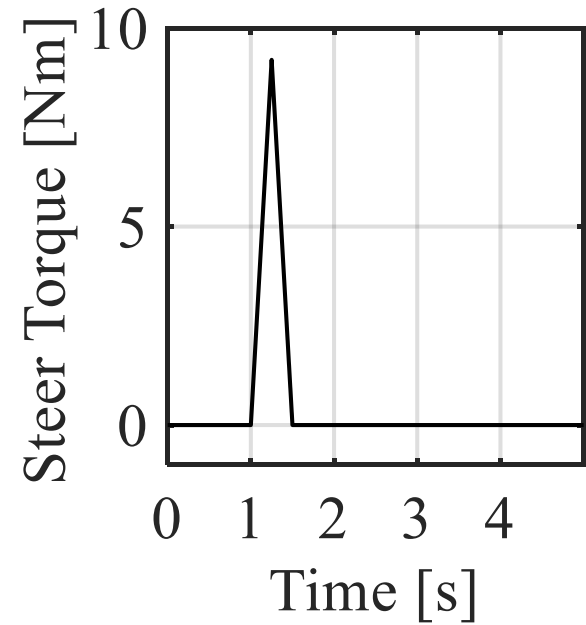
四輪車への適用例

後輪とシャーシを繋げる



四輪車への適用例

【シミュレーション結果】



前提

Symbolic Math

Simscape Multibody

System Identification

使い分け

四輪車への適用例

モデルの特徴

前提

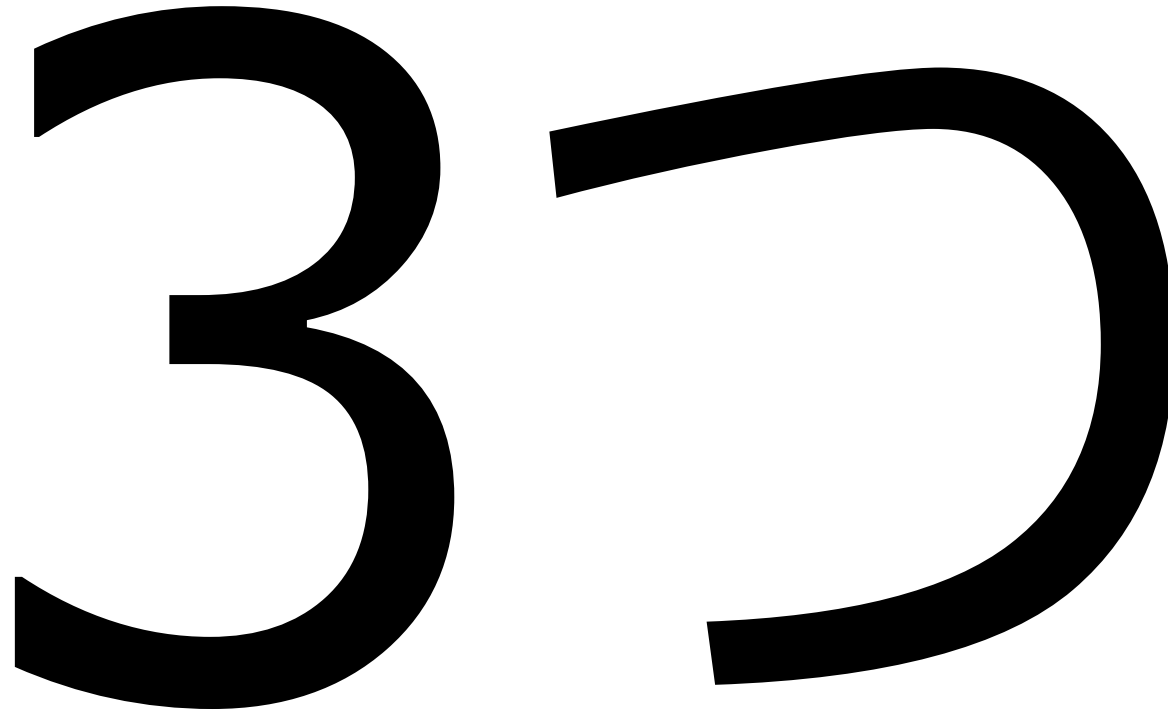
Symbolic Math

Simscape Multibody

System Identification

使い分け

四輪車への適用例

The image features the characters '3D' in a large, bold, black, sans-serif font. The '3' is on the left and the 'D' is on the right, both rendered with a thick stroke width.

四輪車への適用例

感覚的なモデリングが可能

詳細なモデルを構築しやすい

前提

Symbolic Math

Simscape Multibody

System Identification

使い分け

四輪車への適用例

モデルを拡張し易い

前提

Symbolic Math

Simscape Multibody

System Identification

使い分け

四輪車への適用例

【モデルを拡張し易い】

【例】

弊社のパワートレイン系のツールと組み合わせ

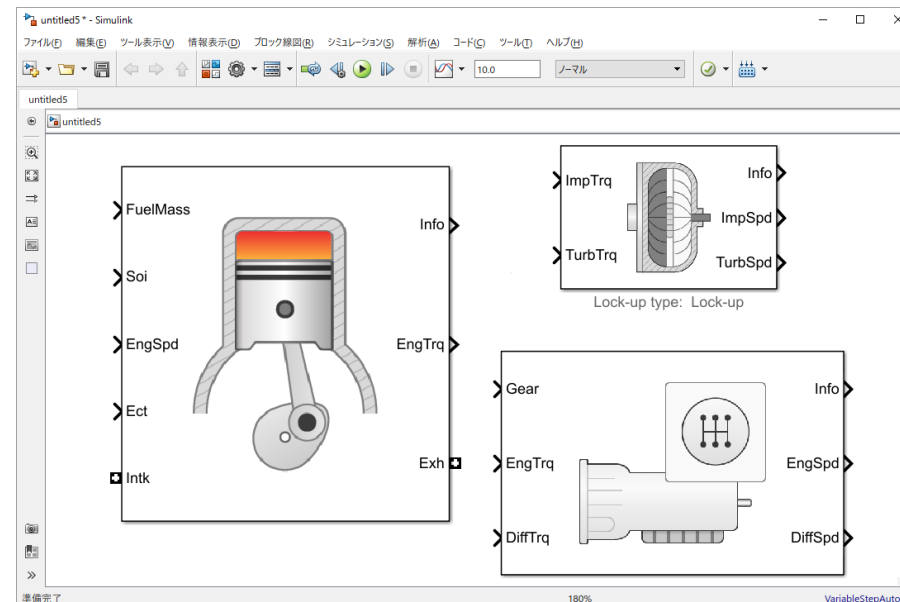
車両の挙動とパワートレイン系の挙動を

同時に計算

四輪車への適用例

【モデルを拡張し易い】

MathWorksは
パワートレイン系の挙動を計算するツール
Powertrain Blockset™を提供している



前提

Symbolic Math

Simscape Multibody

System Identification

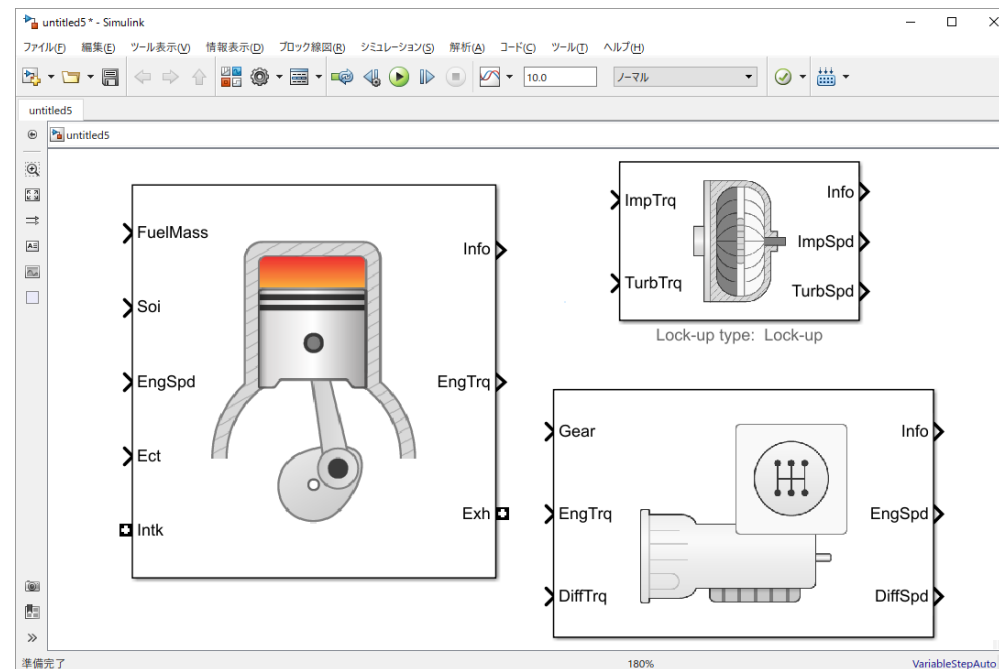
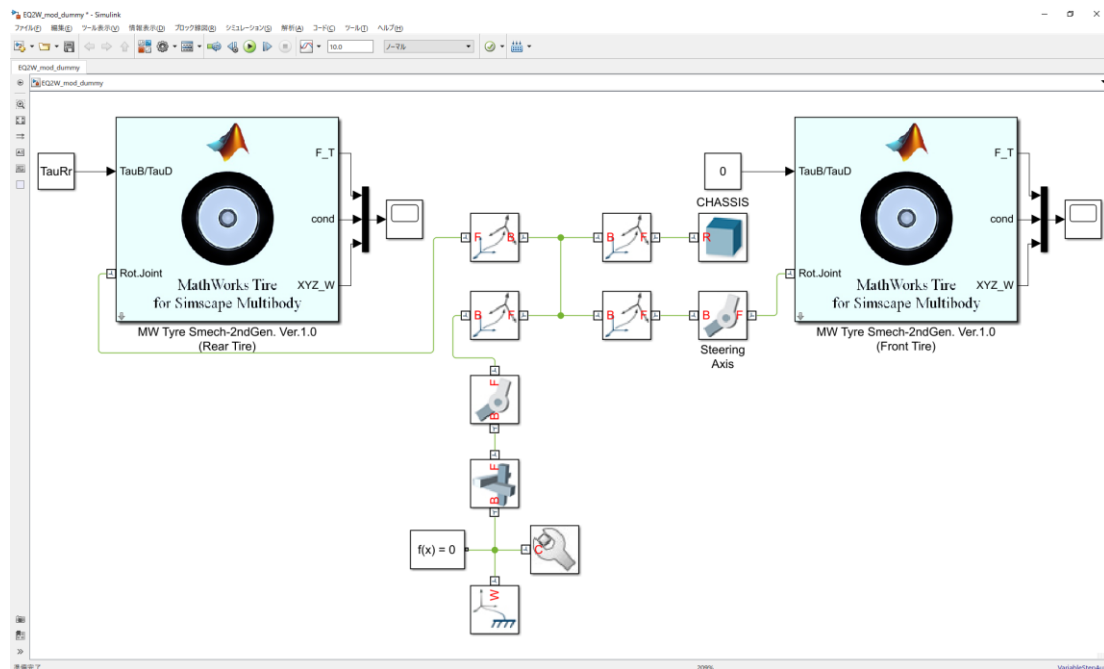
使い分け

四輪車への適用例

【モデルを拡張し易い】

Simscape Multibody + Powertrain Blockset

車両挙動とパワートレイン系の挙動を
同時に検討可能



前提

Symbolic Math

Simscape Multibody

System Identification

使い分け

四輪車への適用例

【モデルを拡張し易い】

メカニク

前提

Symbolic Math

Simscape Multibody

System Identification

使い分け

四輪車への適用例

【モデルを拡張し易い】

これまで難しかった机上検討が
比較的簡単になる

前提

Symbolic Math

Simscape Multibody

System Identification

使い分け

四輪車への適用例

【モデルを拡張し易い】

【例】

減速時のpitch運動を安定化させる

エンジンの最適制御の検討や

トランスミッションの仕様検討等が実現可能

四輪車への適用例

System Identification toolbox

前提

Symbolic Math

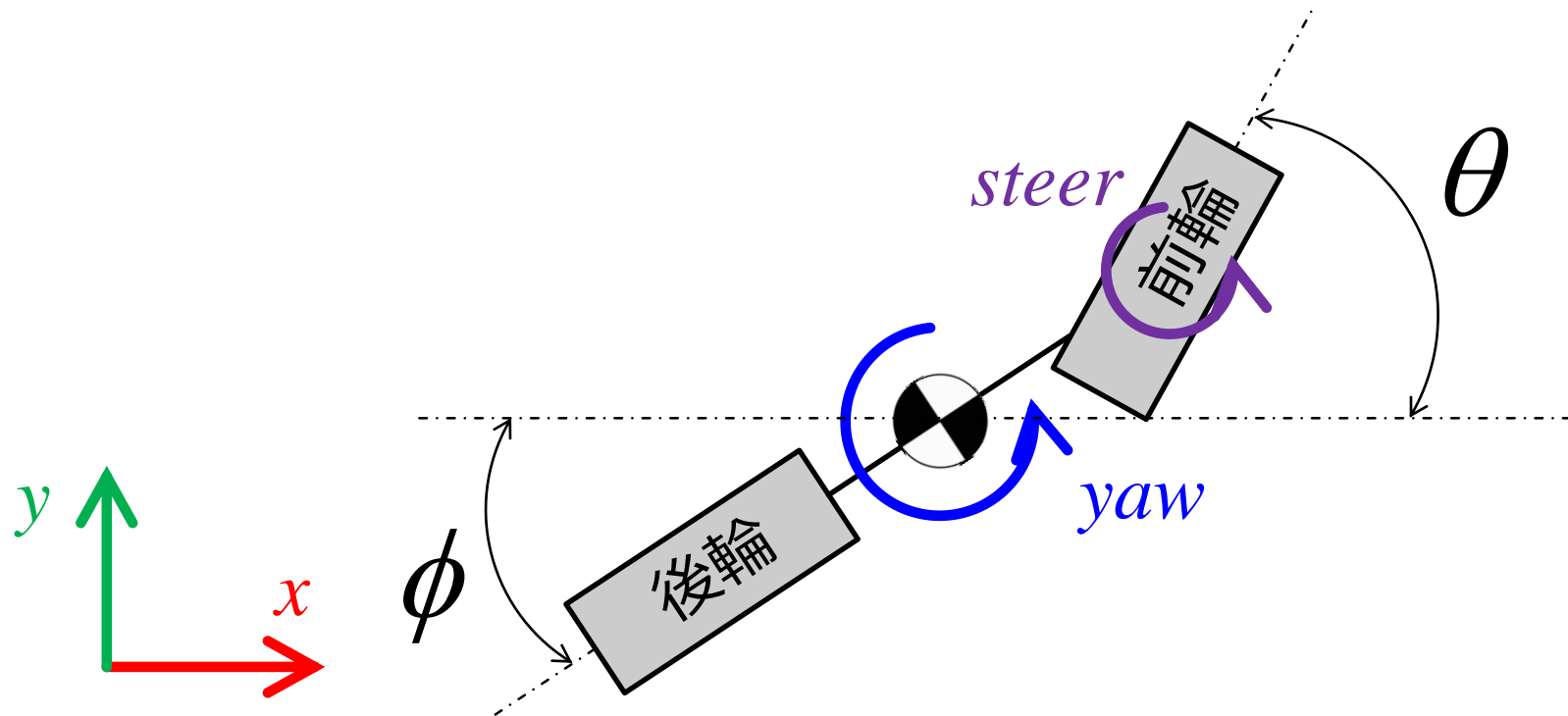
Simscape Multibody

System Identification

使い分け

四輪車への適用例

モデル化の方法



前提

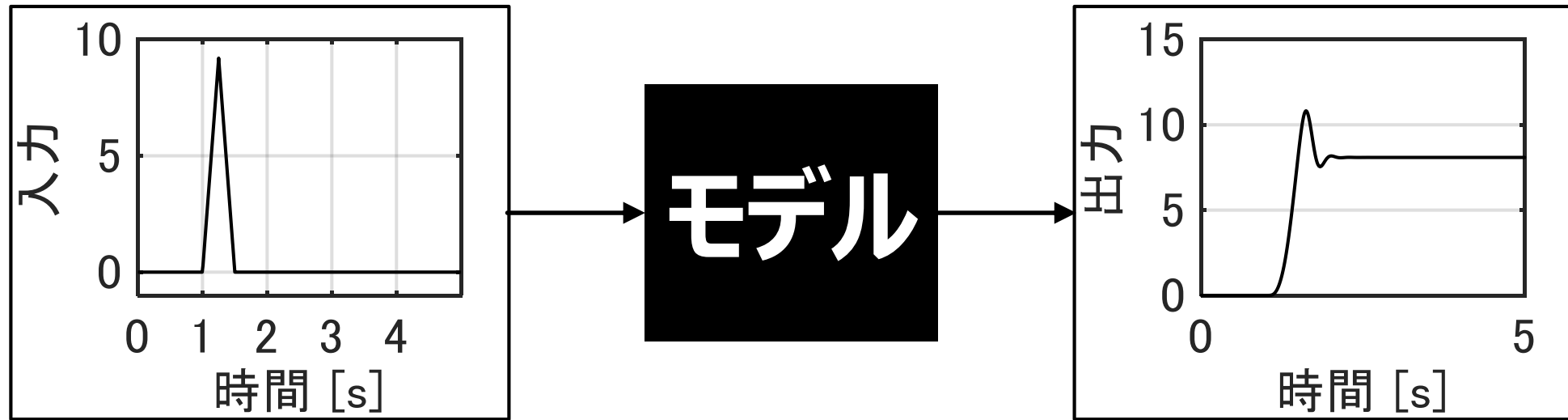
Symbolic Math

Simscape Multibody

System Identification

使い分け

【システム同定】



$$\dot{x} = \mathbf{A}x + \mathbf{B}u$$

$$y = \mathbf{C}x + \mathbf{D}u$$

系の入出力の関係からモデルを推定

四輪車への適用例

まずやること

四輪車への適用例

走行試験により 車両挙動を計測

前提

Symbolic Math

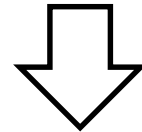
Simscape Multibody

System Identification

使い分け

今回は便宜的に

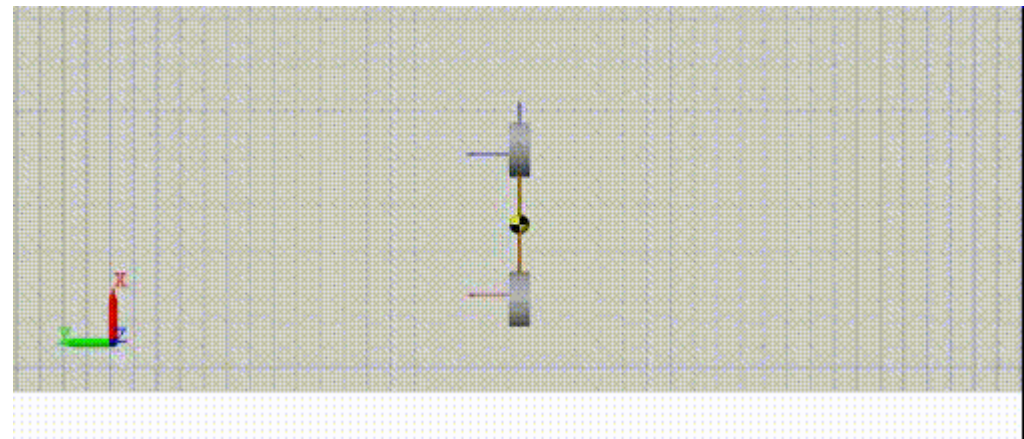
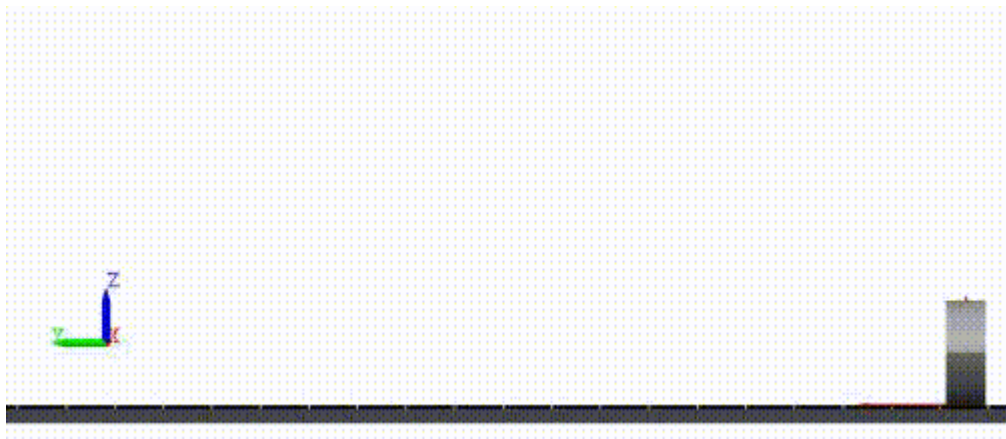
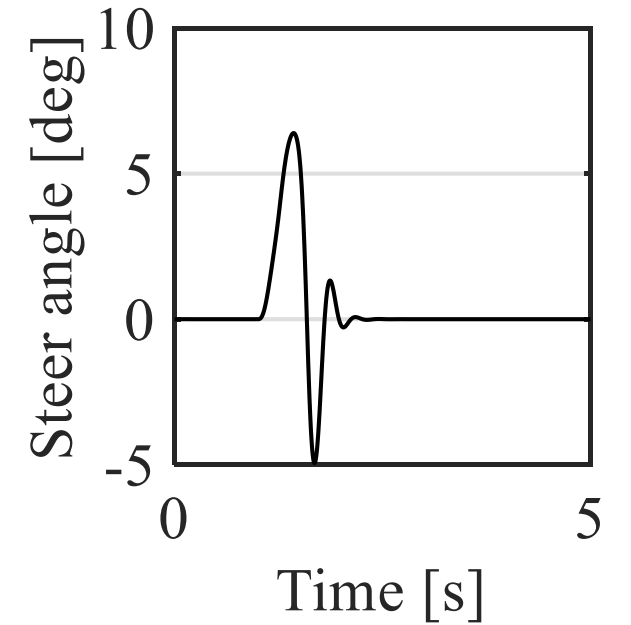
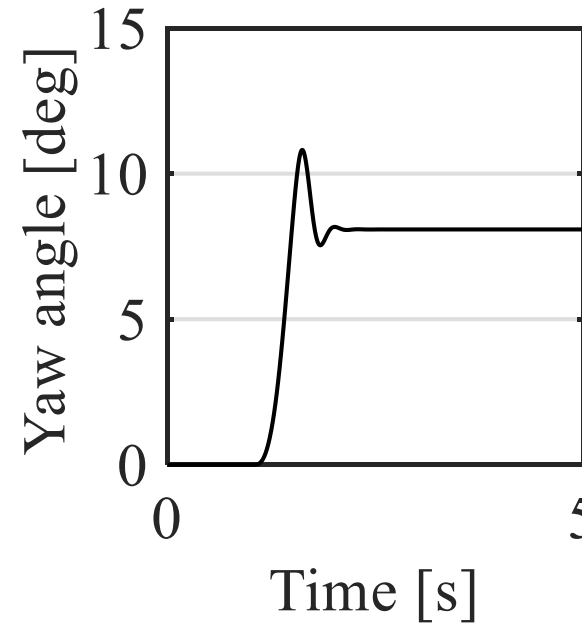
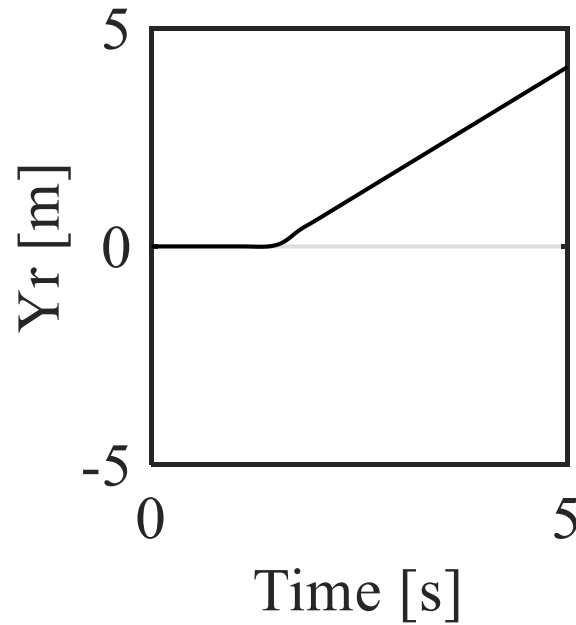
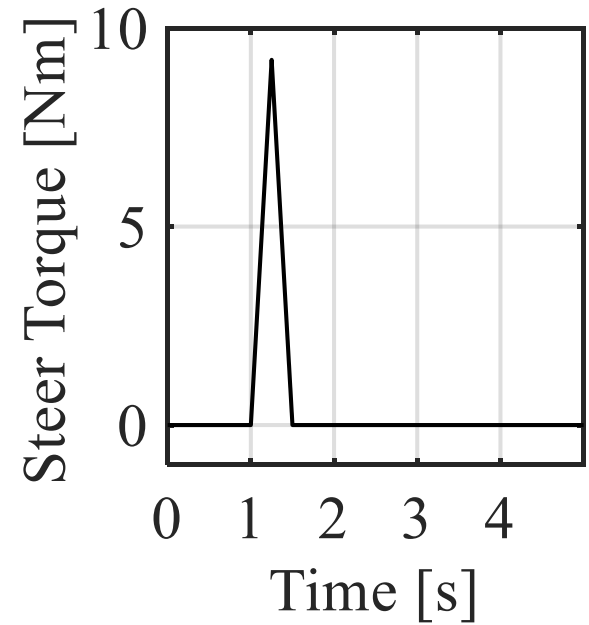
Simscape Multibodyにより
構築したモデルの計算結果



走行試験の結果

四輪車への適用例

走行試験の結果とみなす



システム同定用に データをまとめる

入力：ステアリングトルク τ

出力：ステア角 δ , y 変位, yaw角 θ

サンプリング周期：step

$\text{DAT} = \text{iddata}([\delta, y, \theta], \tau, \text{step})$

（“iddata”：システム同定用データオブジェクト）

四輪車への適用例

【システム同定を簡単に実現可能なツール】

```

コマンドウィンドウ
>> systemIdentification
fx >>
    
```

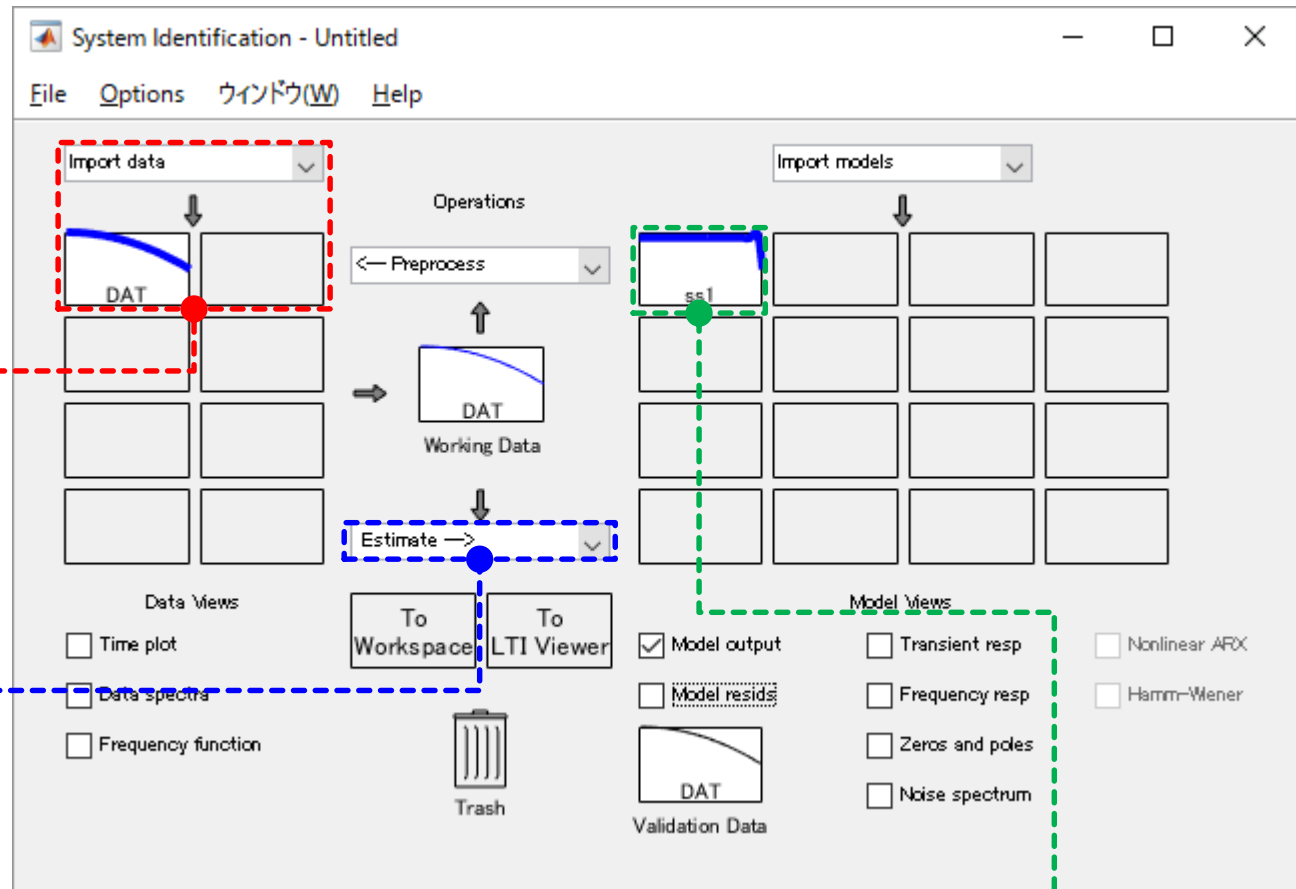
(step1)

“iddata”オブジェクトDATを設定

(samp : 利用するデータのサンプリング周期)

(step2)

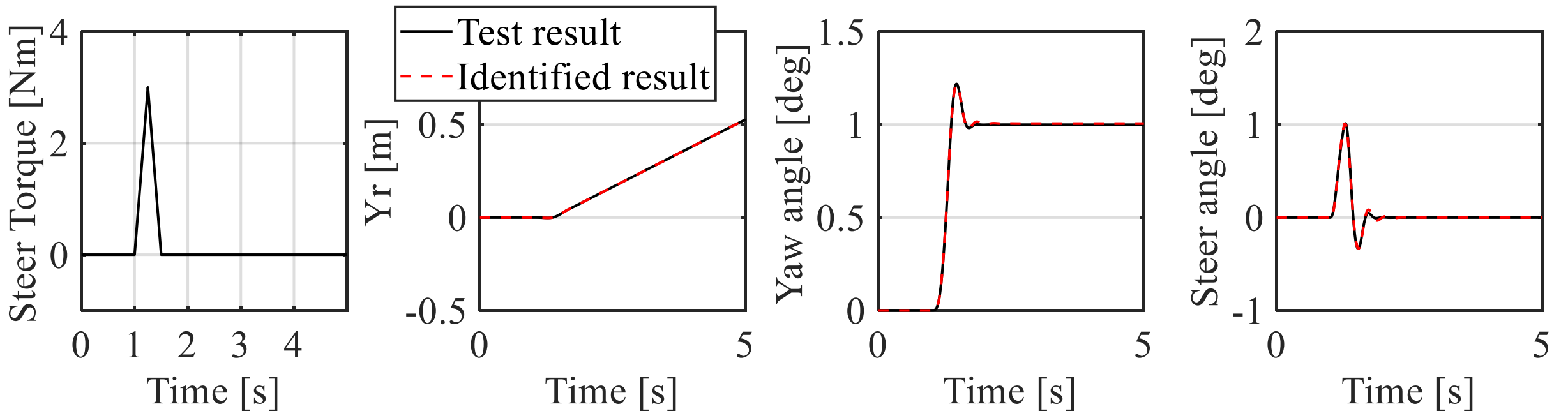
同定するモデルのタイプを選択



(step3) 同定結果

四輪車への適用例

【同定結果】



$$\dot{x} = \mathbf{A}x + \mathbf{B}u$$

$$y = \mathbf{C}x + \mathbf{D}u$$

モデル次数n:12

四輪車への適用例

モデルの特徴

前提

Symbolic Math

Simscape Multibody

System Identification

使い分け

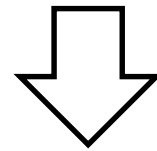
四輪車への適用例

システムへの入出力データから
モデルを構築可能

四輪車への適用例

生じている物理現象が不明な場合も
モデルを構築することができる

モデルを構築することができるという事



状態方程式におけるシステム行列Aを
導く事も出来るという事

四輪車への適用例

システム行列A

前提

Symbolic Math

Simscape Multibody

System Identification

使い分け

対角化すると 固有値を得る

$$\dot{x} = \mathbf{A}x + \mathbf{B}u$$

$$y = \mathbf{C}x + \mathbf{D}u$$

$$A = \begin{bmatrix} A1 & \cdots & 0 \\ \vdots & \ddots & \vdots \\ 0 & \cdots & An \end{bmatrix}$$

四輪車への適用例

つまり

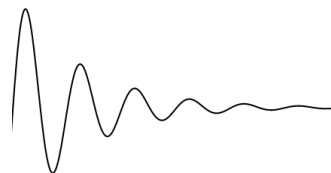
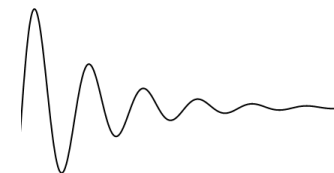
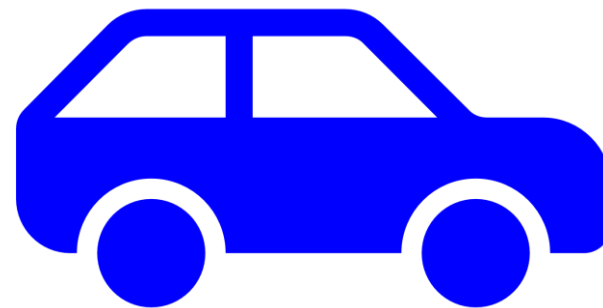
四輪車への適用例

入出力データからモデルを構築

安定性解析等も可能であるという事

四輪車への適用例

実験結果から根軌跡を描き 実際の車両の安定性解析が可能

車両A車両B

四輪車への適用例

以上

四輪車への適用例



Symbolic Math Toolbox

Simscape Multibody

System Identification
Toolbox

以上三つの物理モデリングツールの使い方を詳細に紹介

前提

Symbolic Math

Simscape Multibody

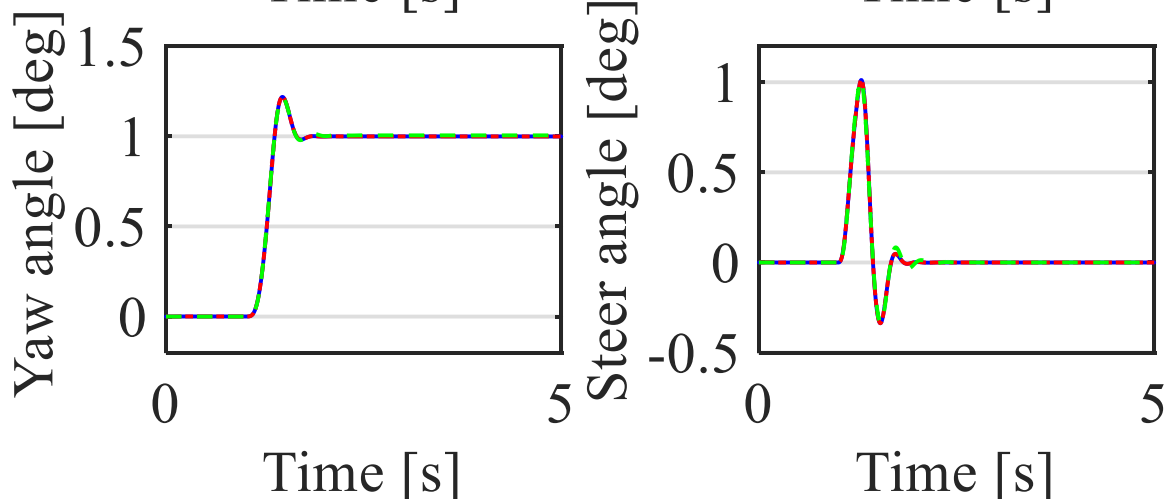
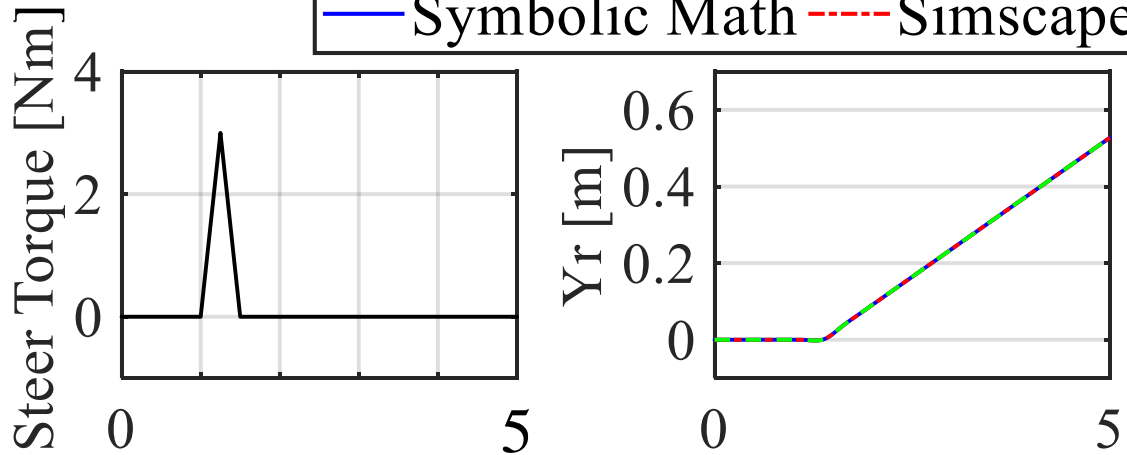
System Identification

使い分け

四輪車への適用例

いずれのモデルも全てほぼ同じ結果を算出

— Symbolic Math - - - Simscape Multibody - - - System Identification



<1> Symbolic Math Toolbox

- 式が明確なので最適計算が可能
- 最適化アルゴリズムを用いて重心最適化等が可能

<2> Simscape Multibody

- 感覚的なモデリングが可能
- モデルの詳細度を上げやすい
- Powertrain Blockset等の他のツールとの組み合わせがし易い

<3> System Identification Toolbox

- 走行試験の結果からモデリングが可能
- 走行試験の結果を用いて安定性解析が可能

前提

Symbolic Math

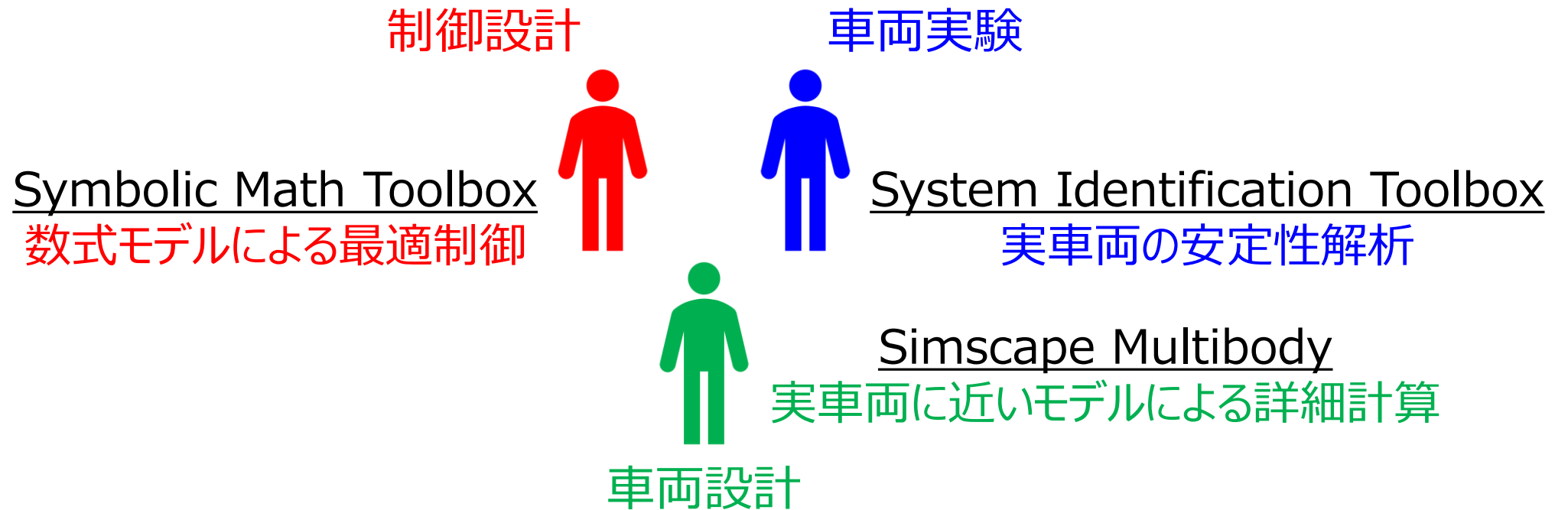
Simscape Multibody

System Identification

使い分け

四輪車への適用例

各手法はそれぞれ特徴があるので用途に応じて使い分ける必要がある



MathWorks製品を用途に応じて使い分け

前提

Symbolic Math

Simscape Multibody

System Identification

使い分け

本日の内容

- [1] 本講演の背景と目的
- [2] 運動解析を行う上で重要な三つの物理モデリングツール
- [3] 四輪車を対象とした三つのツールの適用例と使い分け方の提案
- [4] モデルドリブンとデータドリブンの組み合わせの提案 (全員)

モデル・データドリブン

これまで三つのツールを個別に説明

Symbolic Math Toolbox

Simscape Multibody

System Identification
Toolbox

モデル・データドリブン

それぞれのツールのユーザも増え

Symbolic Math Toolbox

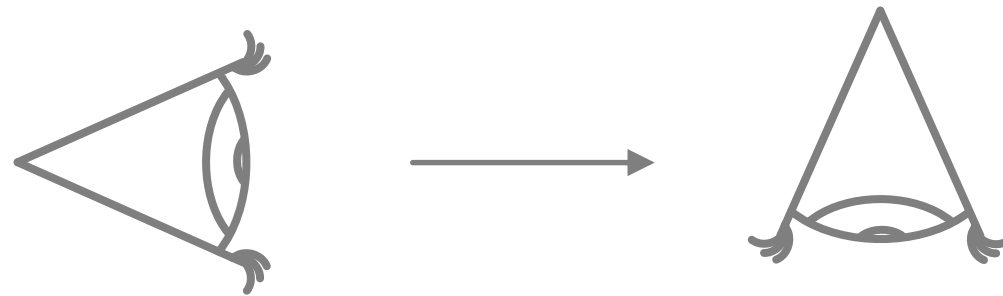
Simscape Multibody

System Identification
Toolbox

世の中における認知度も上がってきた

これらのツールには
更なる可能性がある

三つのツールの見方を変える



Change

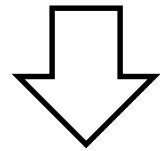
モデル・データドリブン

Symbolic Math Toolbox

Simscape Multibody

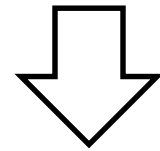
System Identification
Toolbox

運動方程式等の力学的原理に基づき
モデルを構築



モデルドリブン

実験データから
モデルを予測



データドリブン

モデル・データドリブン

Symbolic Math Toolbox

Simscape Multibody

System Identification
Toolbox

モデルドリブン

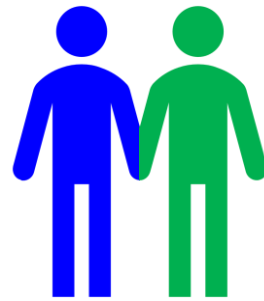
データドリブン

組み合わせ

より価値のある計算が可能

例え(ば)

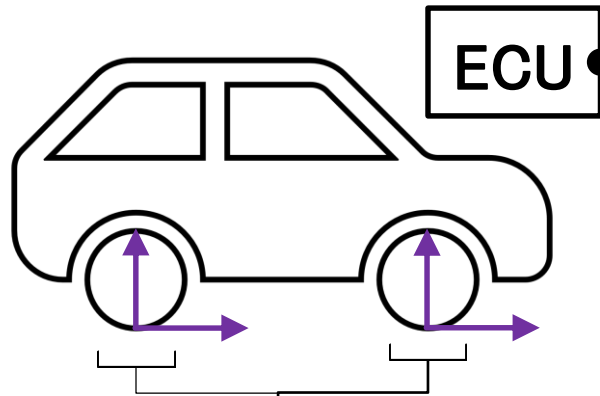
現実世界の車両の双子を 仮想世界に作る



TWIN

モデル・データドリブン

[現実世界]



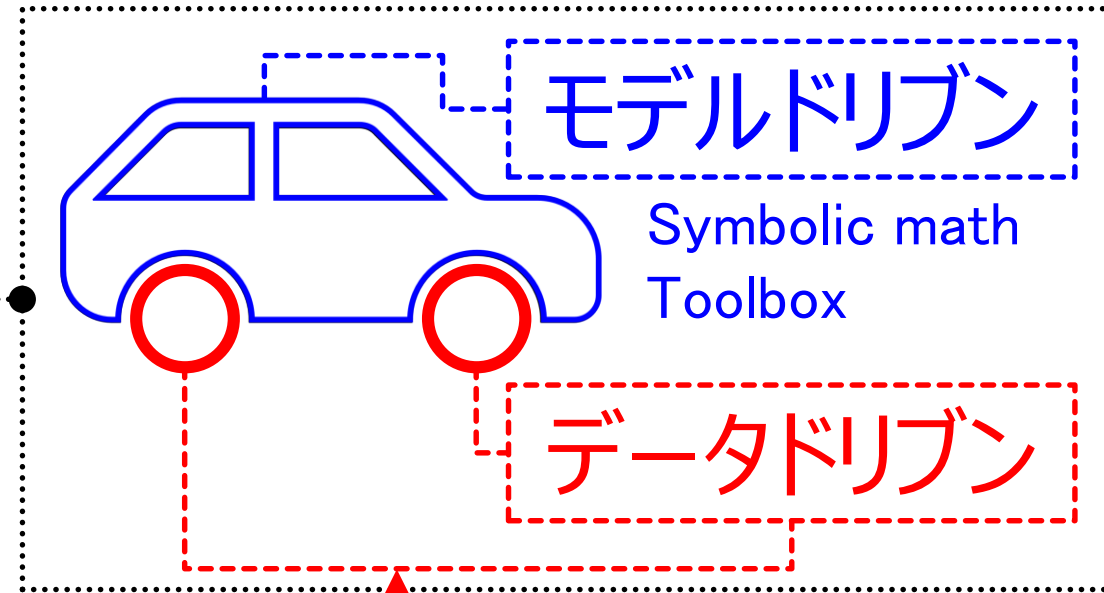
走行中のタイヤ力を計測/推定

Signal processing toolbox

タイヤモデルを同定

System Identification/ Optimization toolbox

[仮想世界]



走行中にタイヤモデルを更新

タイヤモデルが常に更新される現実に酷似する車両モデルを持つ

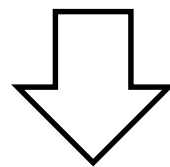
モデル・データドリブン

タイヤモデルが常に更新される現実に酷似する車両モデルを持つ

[考えられるメリット]

例えば

タイヤの摩耗やゴム硬度の変化等によるタイヤ特性の変化をタイヤモデルに反映

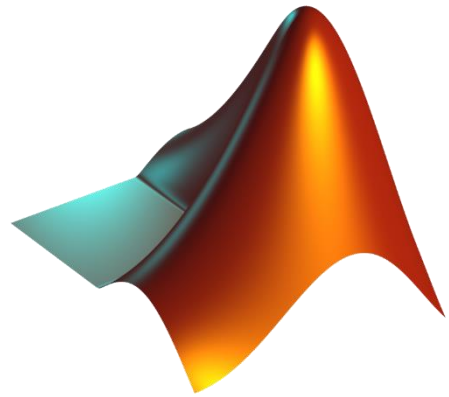


ABSやESC等の制御パラメータを走行中に自動調整

先進的な予防安全技術

モデル・データドリブン

モデルドリブン データドリブン 組み合わせのアプローチ



以前から取り組んでいた

一つのプラットフォーム上で可能

モデル・データドリブン

更に

furthermore

モデル・データドリブン

物理モデリング

最適計算

システム同定

制御

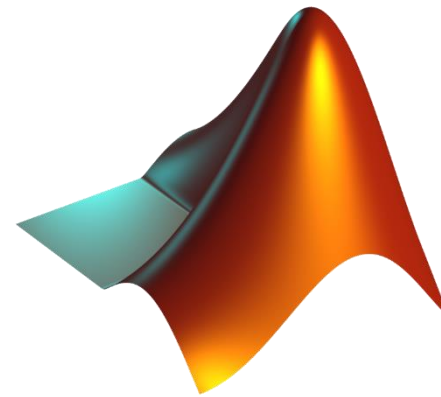
数式処理

ADAS

パワートレイン

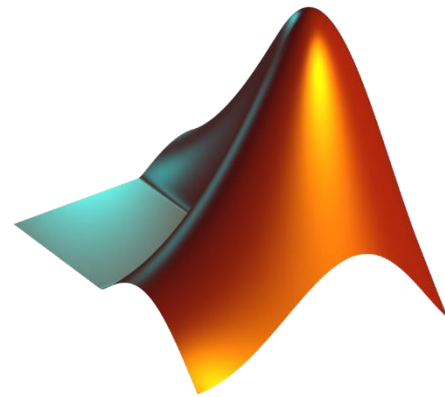
信号処理

等々 100近くの製品を用意



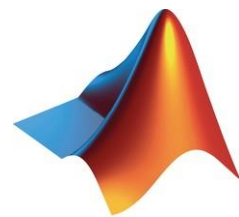
様々なツールの連携が一つのプラットフォーム上で可能

イノベーションを加速



Deliver consistent innovation

Thank you



MathWorks®

Accelerating the pace of engineering and science