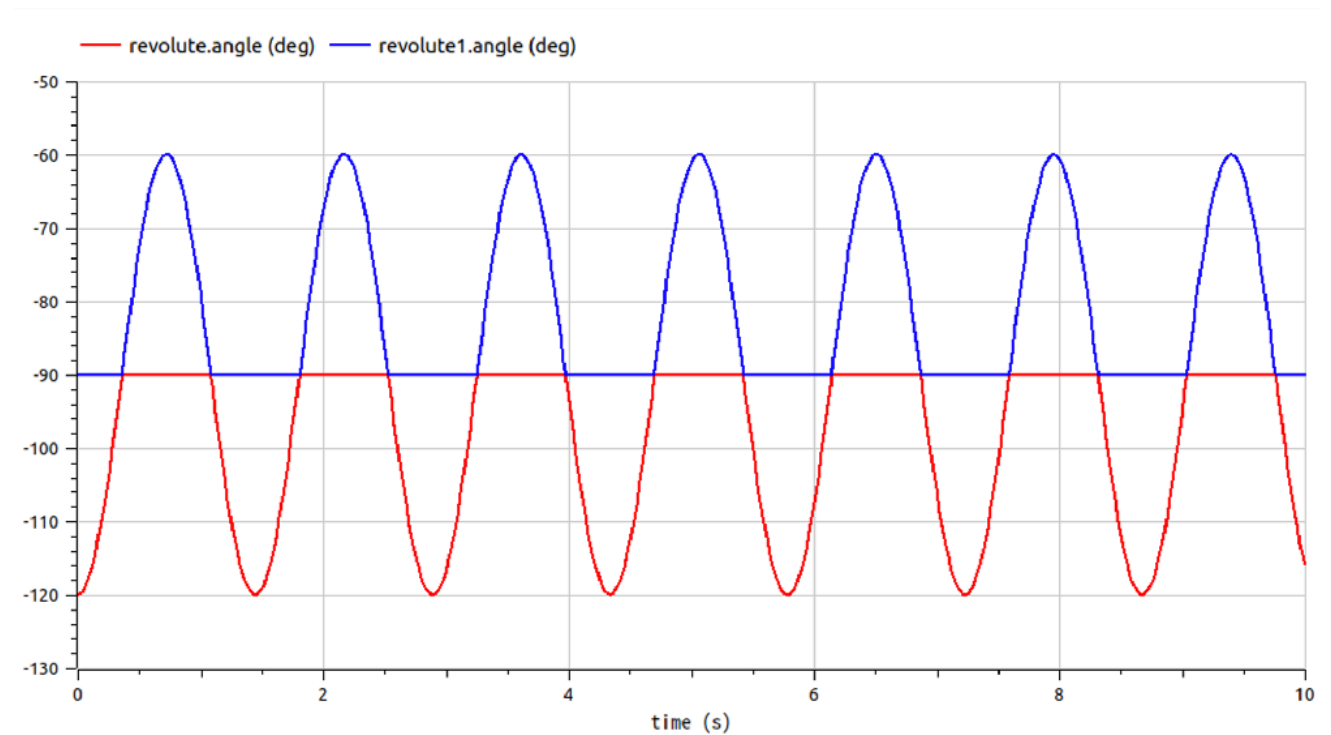
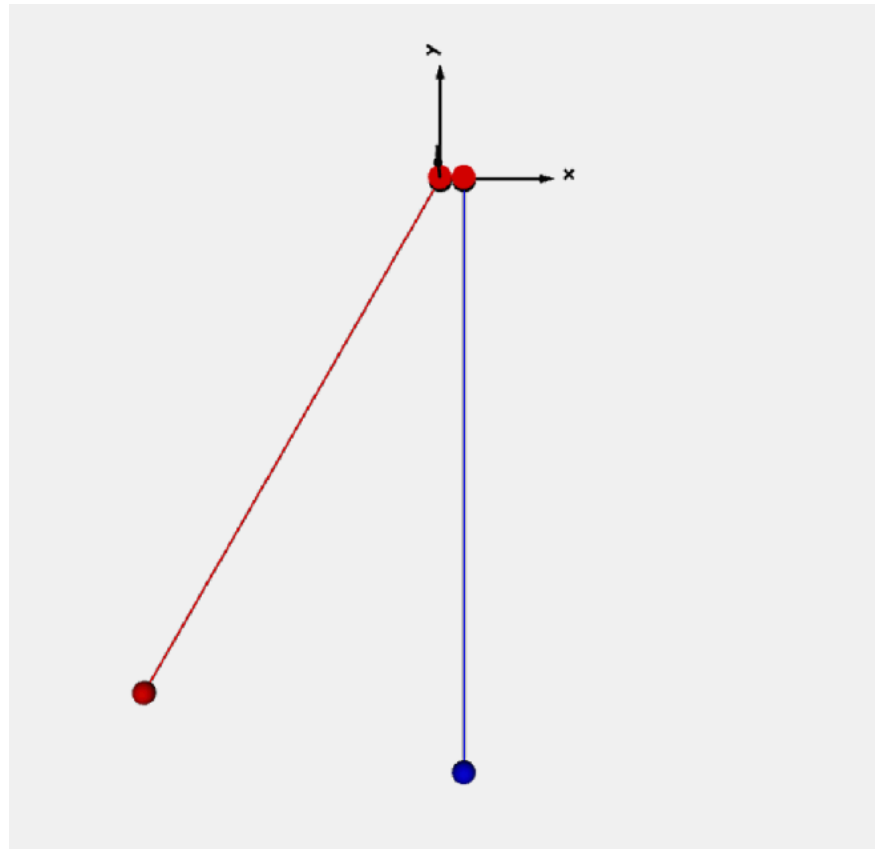


オープンCAEシンポジウム2022 トレーニング

OpenModelicaによる

マルチボディダイナミクス実習

(オペレーション編)



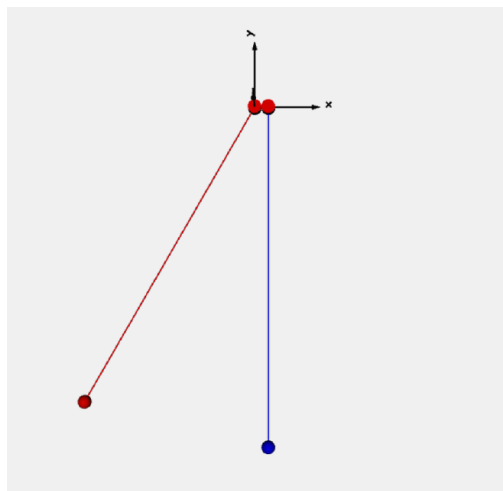
オープンCAE学会 2022.09.10

田中周(アマネ流研), zeta_plusplus(Modelicaライブラリ勉強会)

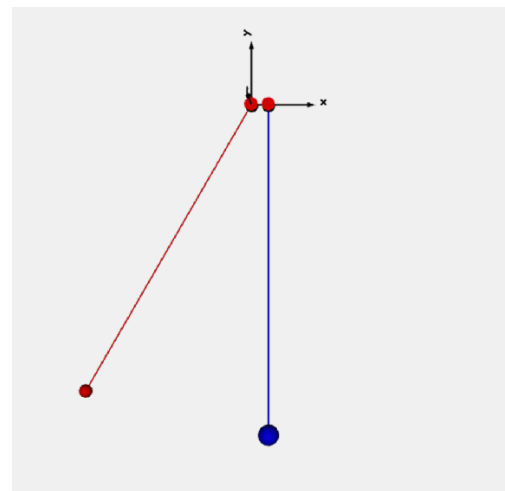
はじめに

Modelica MultiBody ライブラリは、3次元力学的要素を提供するフリーのModelicaパッケージであり、これらの要素を使用するとロボットや機械装置や車両のような機械系のモデル化ができます。特徴としてすべてのコンポーネントは大きさと色をもったアニメーションの情報をもっています。

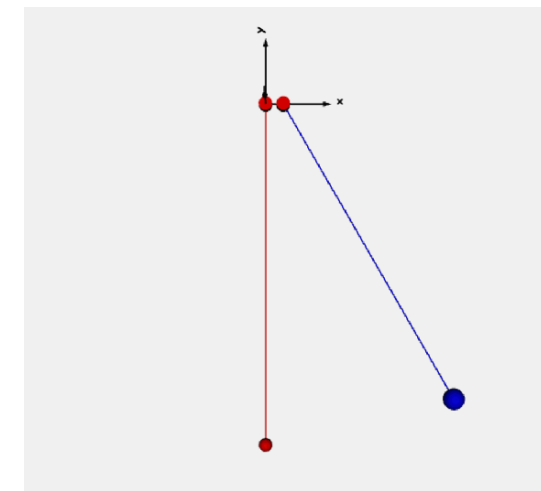
ここでは、Multibody ライブラリを使用して、2つの振り子が衝突する問題のシミュレーションモデルを作成します。



同じ重さの振り子が衝突する場合



小さな振り子が大きな振り子と
衝突する場合



大きな振り子が小さな振り子と
衝突する場合

この問題は、以下の動画で紹介されていたものを参考にしました。

振り子の不思議（はぴエネ！#602） https://www.youtube.com/watch?v=XGDcbQ_TVuA

モデルは以下のブログおよび Github にあるものを、講習会向けに改変しました。

振り子の衝突、Virtual laboratory by Modelica, <https://virtualmbdlabmodelica.net/collidingpendulums/>
<https://github.com/zeta-plusplus/SystemModels>

ライブラリの入手方法、インストールなど

Modelica MultiBody ライブラリは、Modelica Standard Library (MSL) の一部として配布されており、OpenModelica をインストールするとシステムライブラリとして、ライブラリマネージャを使用してインストールすることができます。

Modelica Standard Library <https://github.com/modelica/ModelicaStandardLibrary>

OpenModelica <https://www.openmodelica.org>

OpenModelica のインストールに関しては以下を参考にしてください。

OpenModelica のインストールと動作テスト (Windows, Linux) <https://www.amane.to/archives/1056>

- The purpose of this document is introducing the Modelica.Mechanics.MultiBody package which is included in the Modelica Standard Library (MSL). This document uses libraries, software, figures, and documents included in MSL and those modifications. Licenses and copyrights of those are written in next page.

**Copyright (c) 2022, Amane Tanaka & zeta_plusplus,
Released under the MIT License**

<https://opensource.org/licenses/mit-license.php>

Modelica Standard Library License

<https://github.com/modelica/ModelicaStandardLibrary/blob/master/LICENSE>

BSD 3-Clause License

Copyright (c) 1998-2020, Modelica Association and contributors
All rights reserved.

Redistribution and use in source and binary forms, with or without modification, are permitted provided that the following conditions are met:

- * Redistributions of source code must retain the above copyright notice, this list of conditions and the following disclaimer.
- * Redistributions in binary form must reproduce the above copyright notice, this list of conditions and the following disclaimer in the documentation and/or other materials provided with the distribution.
- * Neither the name of the copyright holder nor the names of its contributors may be used to endorse or promote products derived from this software without specific prior written permission.

THIS SOFTWARE IS PROVIDED BY THE COPYRIGHT HOLDERS AND CONTRIBUTORS "AS IS" AND ANY EXPRESS OR IMPLIED WARRANTIES, INCLUDING, BUT NOT LIMITED TO, THE IMPLIED WARRANTIES OF MERCHANTABILITY AND FITNESS FOR A PARTICULAR PURPOSE ARE DISCLAIMED. IN NO EVENT SHALL THE COPYRIGHT HOLDER OR CONTRIBUTORS BE LIABLE FOR ANY DIRECT, INDIRECT, INCIDENTAL, SPECIAL, EXEMPLARY, OR CONSEQUENTIAL DAMAGES (INCLUDING, BUT NOT LIMITED TO, PROCUREMENT OF SUBSTITUTE GOODS OR SERVICES; LOSS OF USE, DATA, OR PROFITS; OR BUSINESS INTERRUPTION) HOWEVER CAUSED AND ON ANY THEORY OF LIABILITY, WHETHER IN CONTRACT, STRICT LIABILITY, OR TORT (INCLUDING NEGLIGENCE OR OTHERWISE) ARISING IN ANY WAY OUT OF THE USE OF THIS SOFTWARE, EVEN IF ADVISED OF THE POSSIBILITY OF SUCH DAMAGE.

Contents

[はじめに](#)

[OpenModelica の起動](#)

[package と model の作成](#)

[コンポーネントの配置](#)

[コンポーネントの接続](#)

[コンポーネントのパラメータの設定](#)

[モデルのチェックとインスタンス化](#)

[シミュレーションの実行](#)

[シミュレーション結果のアニメーション](#)

[振り子の角度のプロット](#)

[モデルパラメータの作成](#)

[振り子の追加](#)

[衝突のモデル化](#)

[実験 1 同じ質量の振り子を衝突させた場合](#)

[実験 2 軽い振り子を重い振り子に衝突させた場合](#)

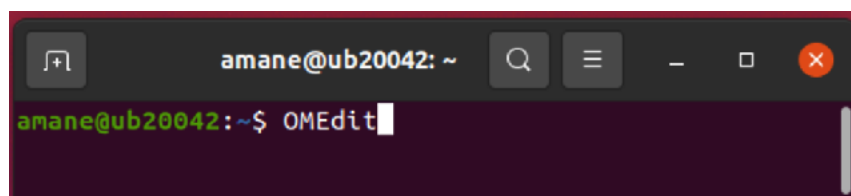
[実験 3 重い振り子を軽い振り子に衝突させた場合](#)

[まとめ](#)

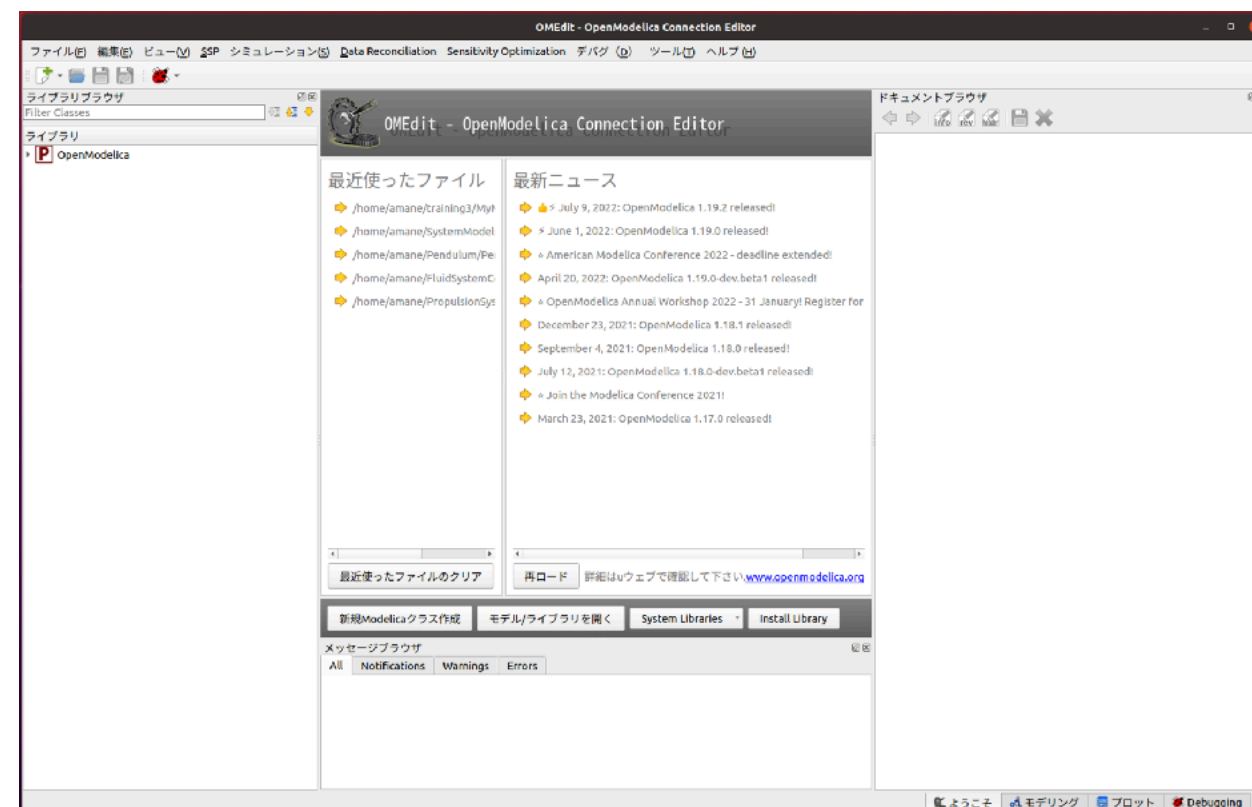
OpenModelica の起動

① OpenModelica を起動する。

Linux の場合、コマンドラインから
OMEdit と入力する。



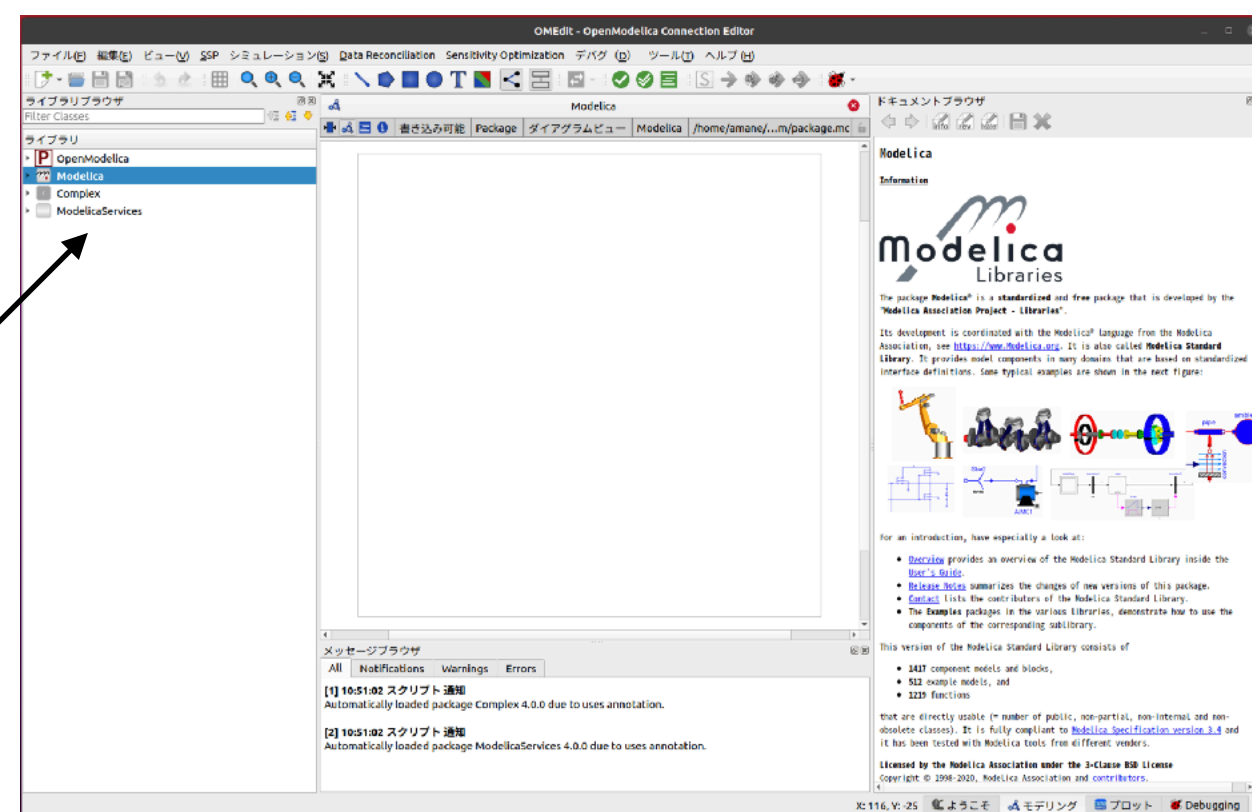
Windowsの場合、
スタートメニュー > OpenModelica
> OpenModelica Connection Editor



② Modelica Standard Library をロードする。

ファイル > システムライブラリ > Modelica > 4.0.0

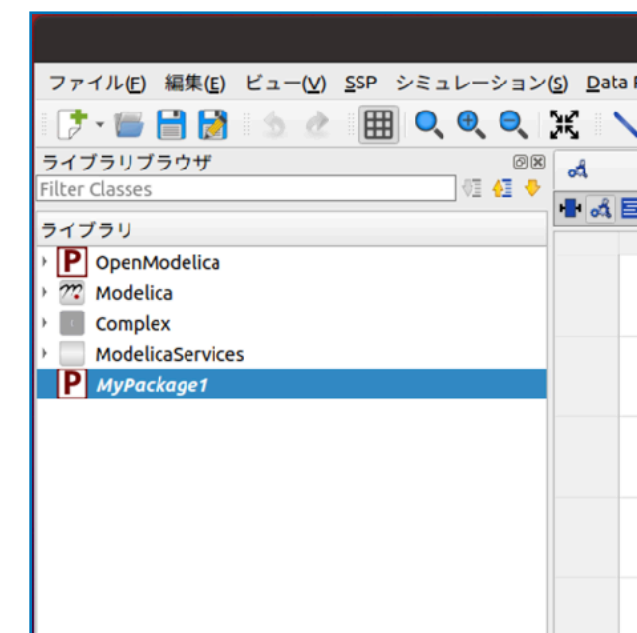
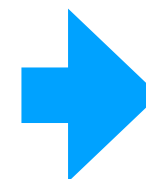
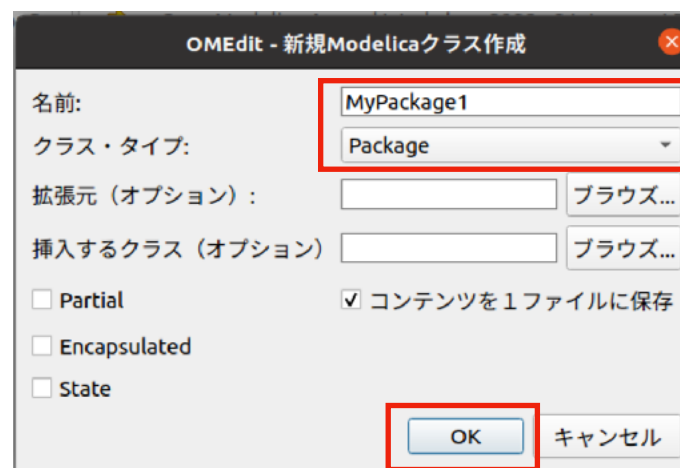
Modelica
Complex
ModelicaServices] Modelica Standard Library
依存するライブラリ



package と model の作成

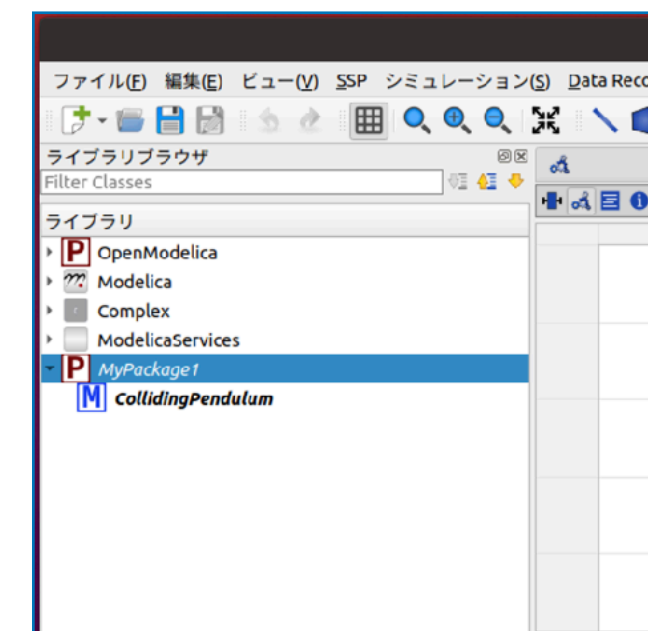
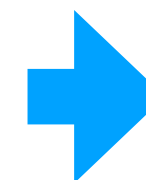
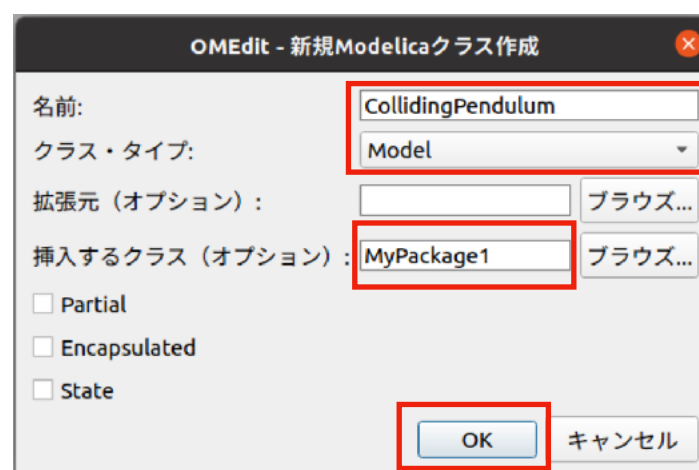
① ファイル > New > Modelicaクラス新規作成

名前: MyPackage1
クラスタイプ: Package



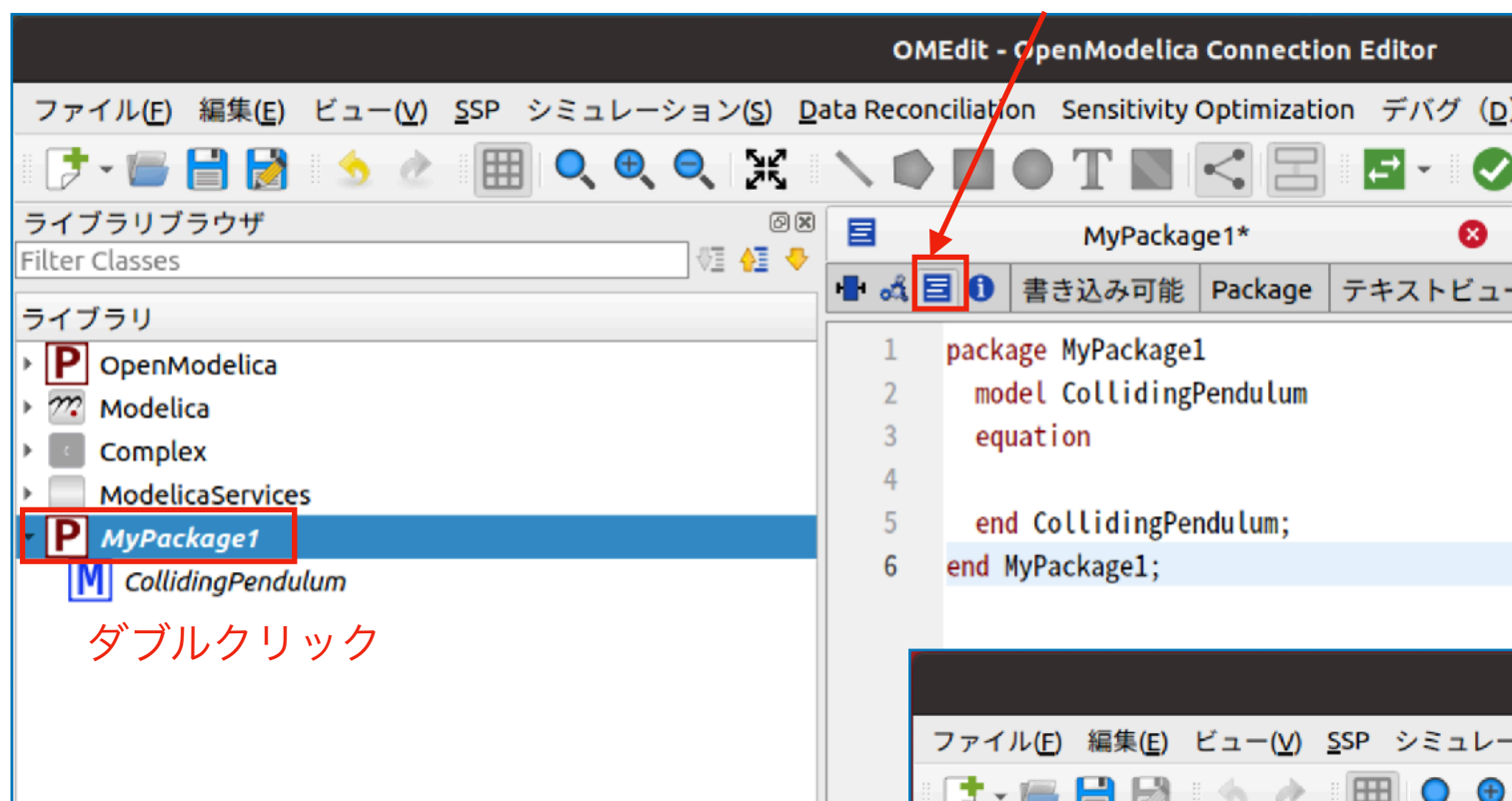
② ライブラリブラウザの MyPackage1 を右クリック > Modelicaクラス新規作成

名前: CollidingPendulum
クラスタイプ: Model
挿入するクラス: MyPackage1



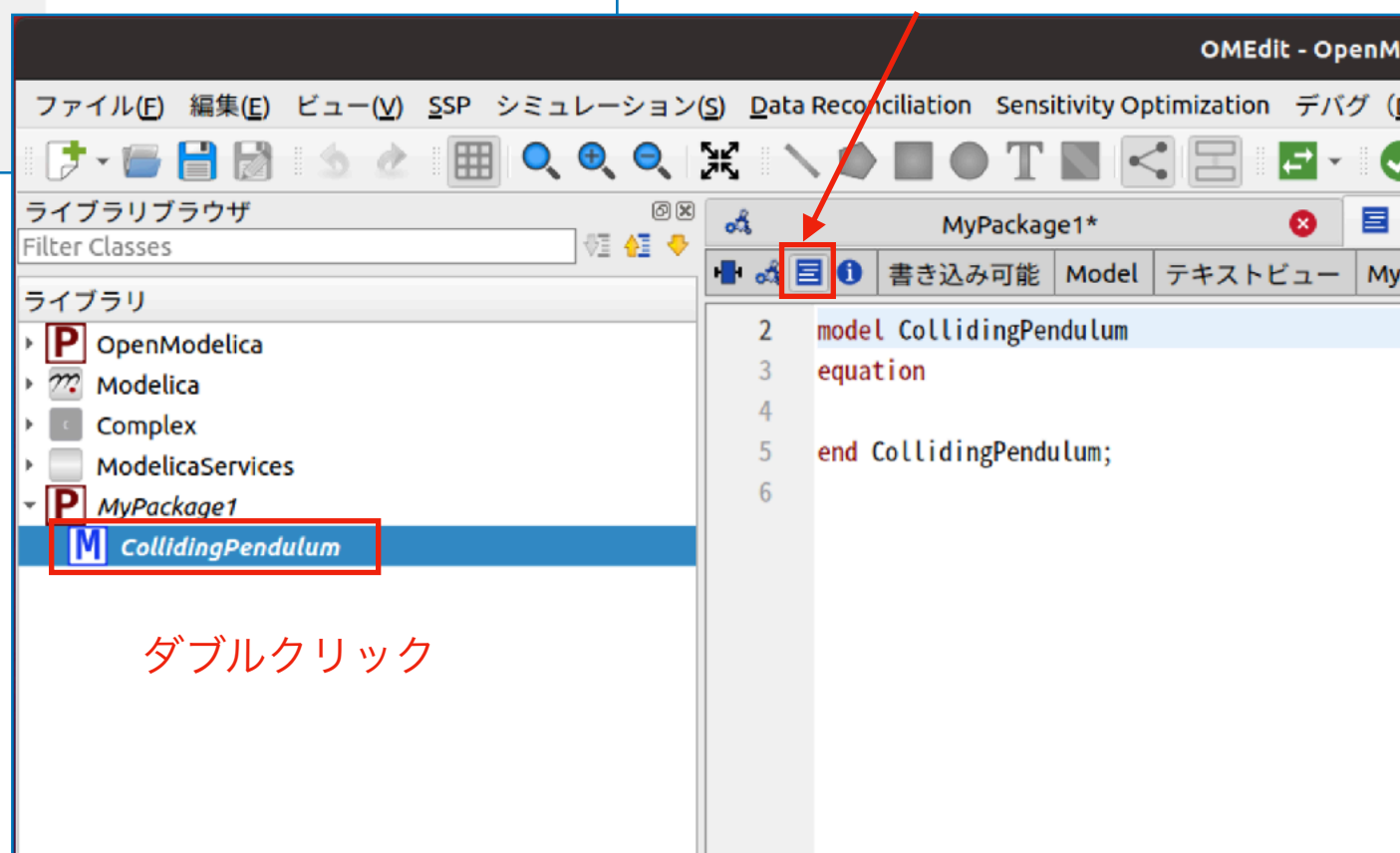
③ ソースコードを確認する。

[テキストビュー]ボタン



ダブルクリック

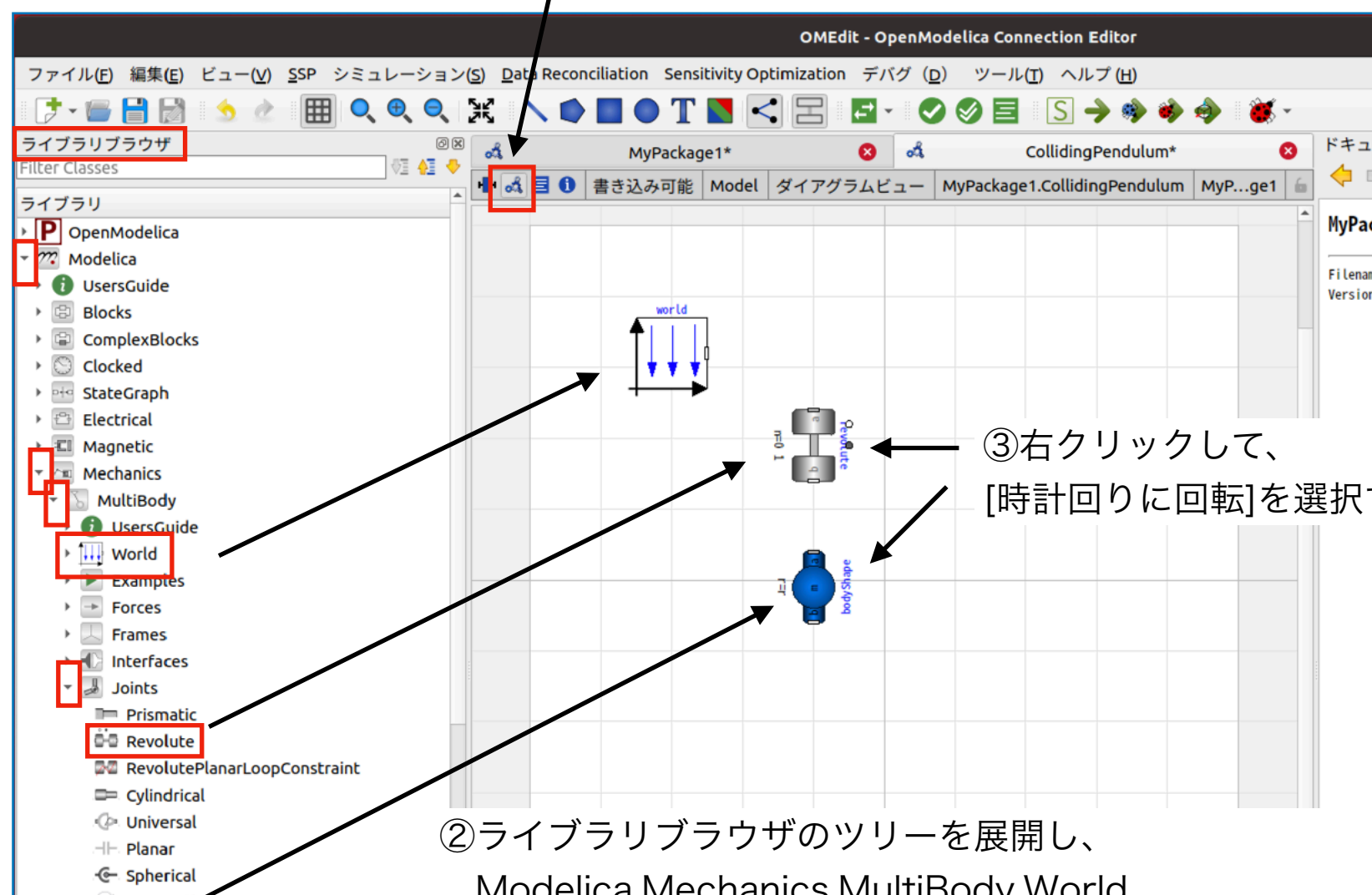
[テキストビュー]ボタン



ダブルクリック

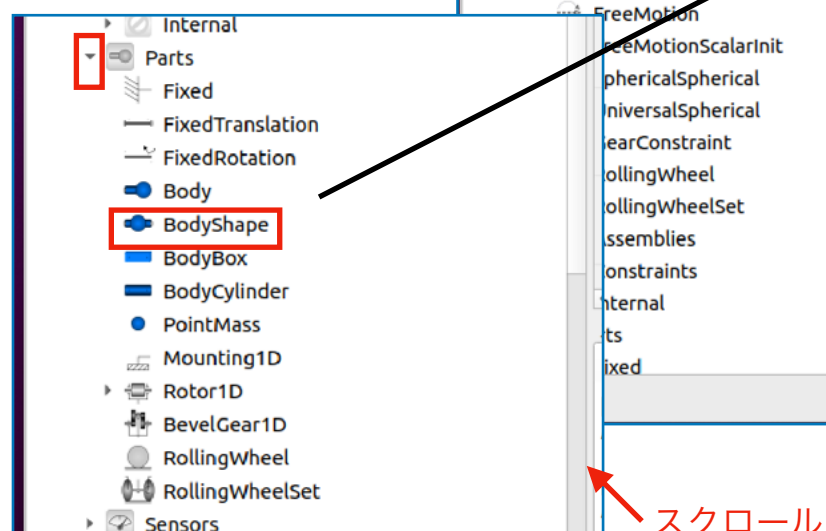
コンポーネントの配置

① CollidingPendulum モデルのダイアグラムビューに切り替える。



③右クリックして、
[時計回りに回転]を選択する。

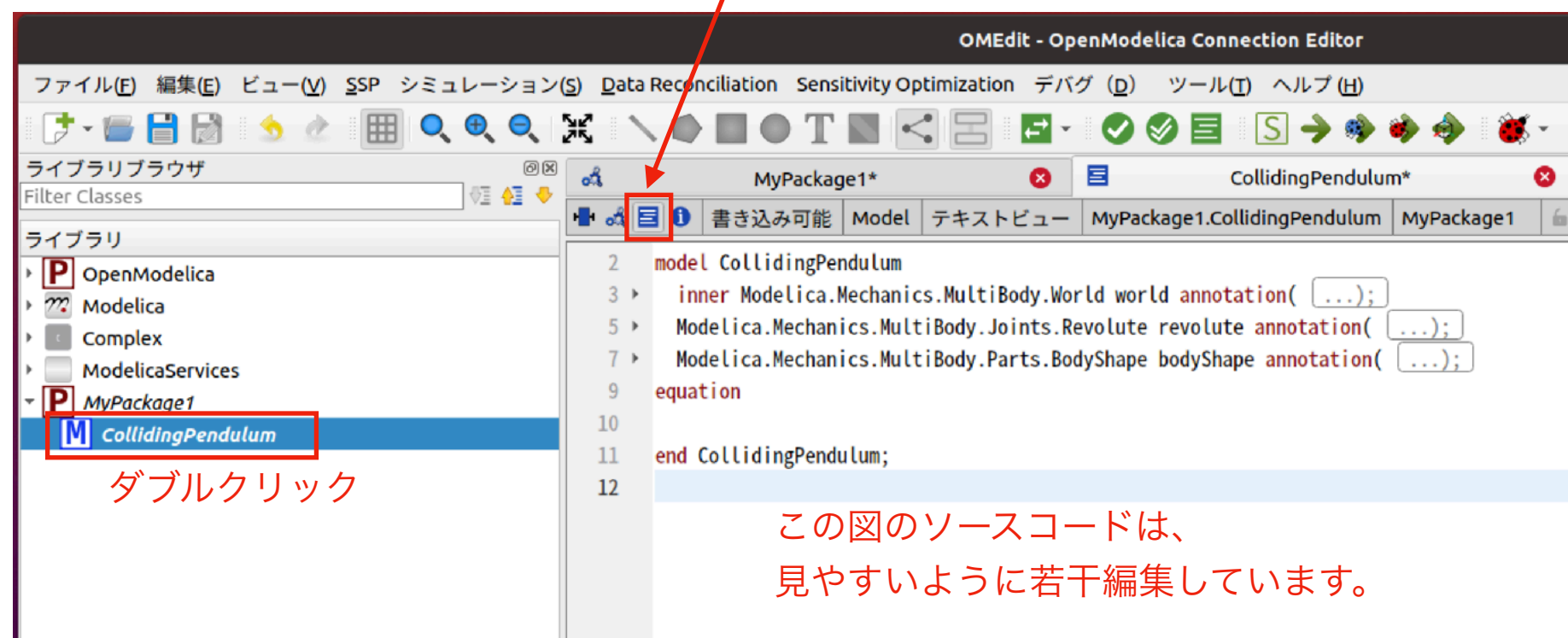
②ライブラリブラウザのツリーを展開し、
Modelica.Mechanics.MultiBody.World
Modelica.Mechanics.MultiBody.Joints.Revolute
Modelica.Mechanics.MultiBody.Parts.BodyShape
をドラッグ・アンドドロップする



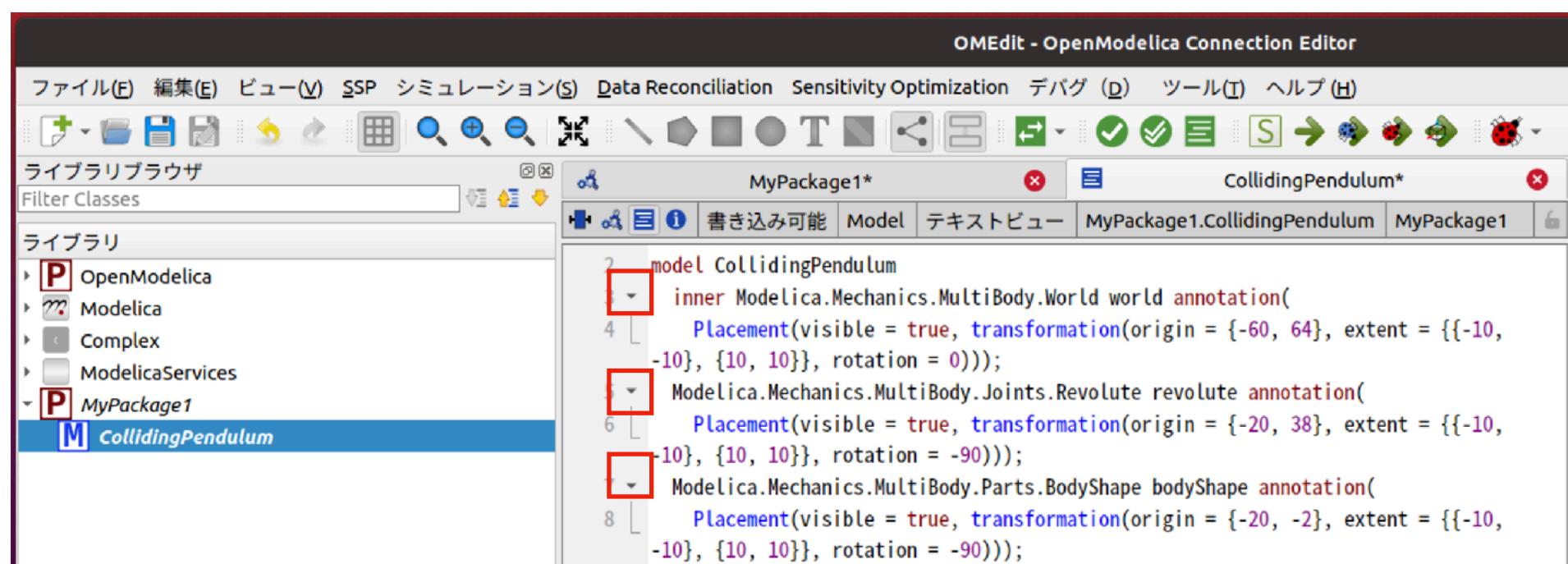
スクロール

④ソースコードを確認する。

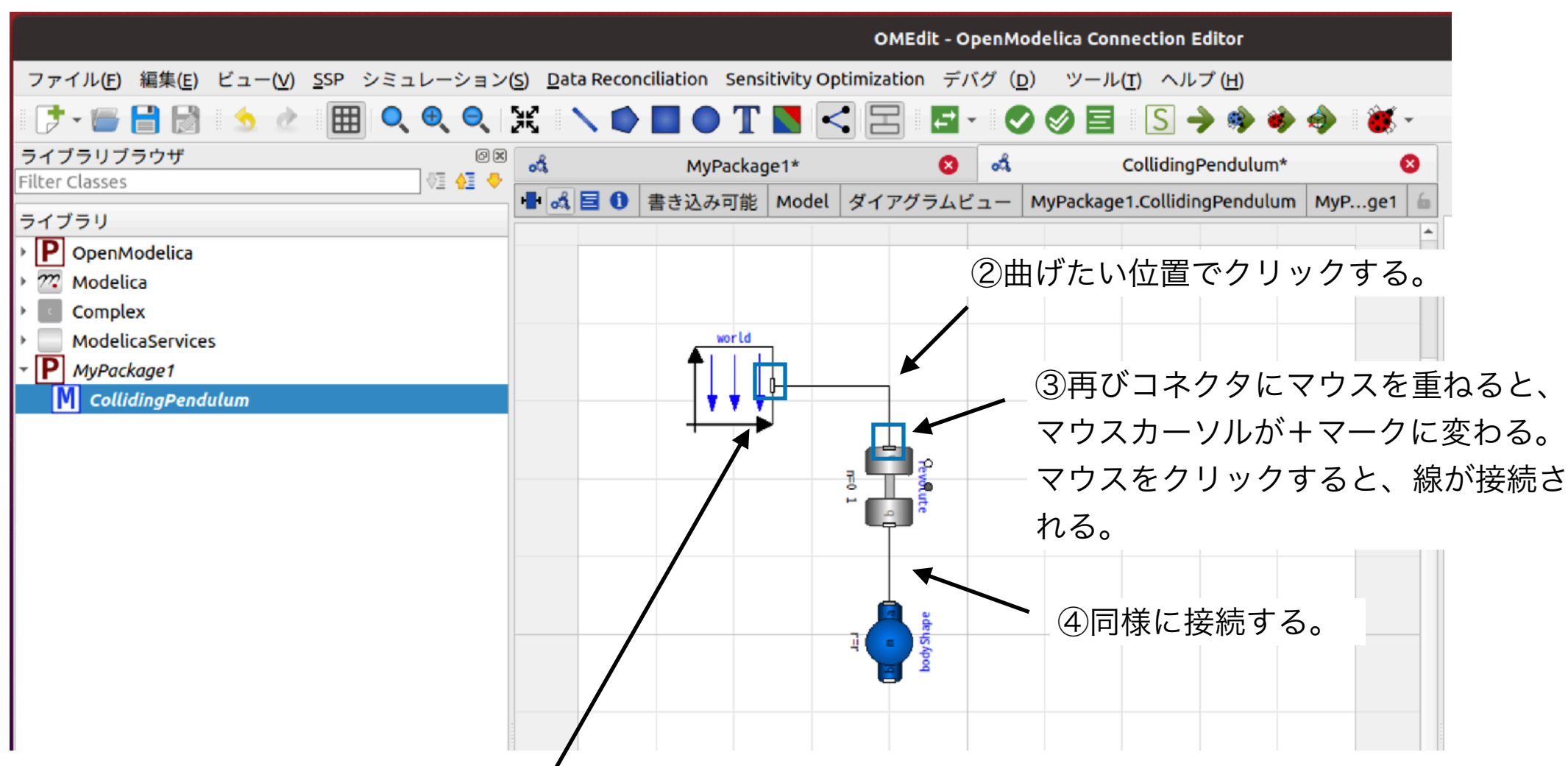
テキストビューに切り替える。



三角マークをクリックして展開すると、annotaiotn に位置情報が記述されているのが確認できる。



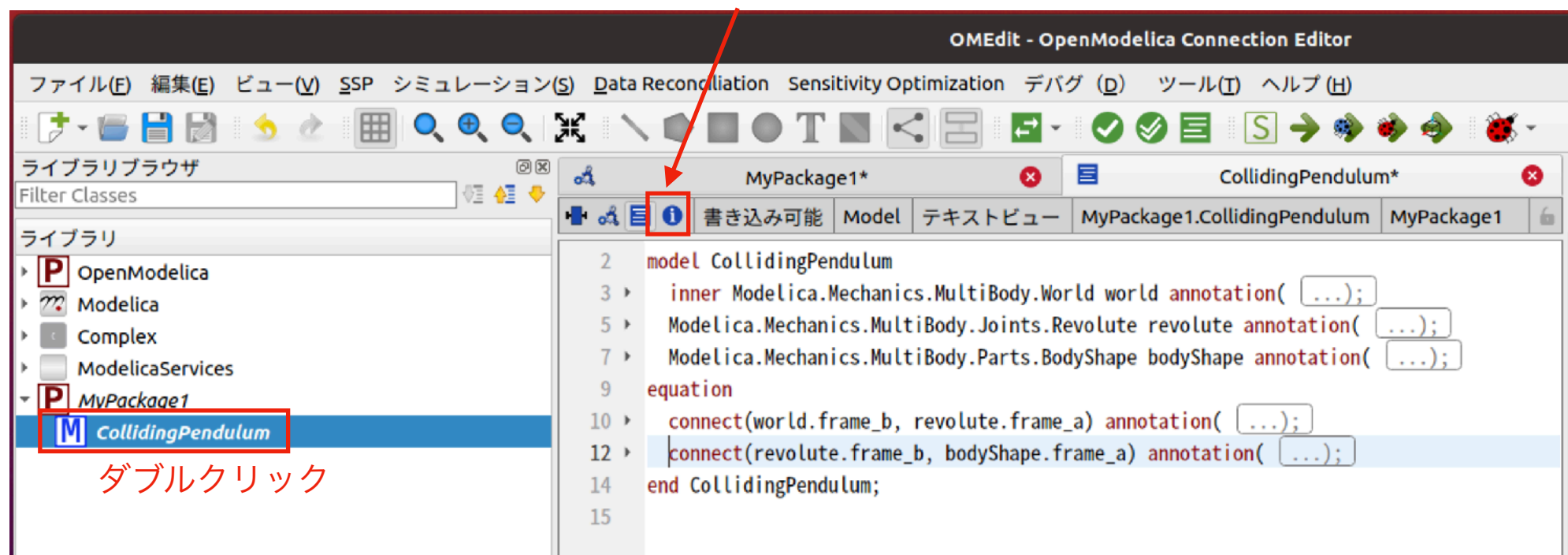
コンポーネントの接続



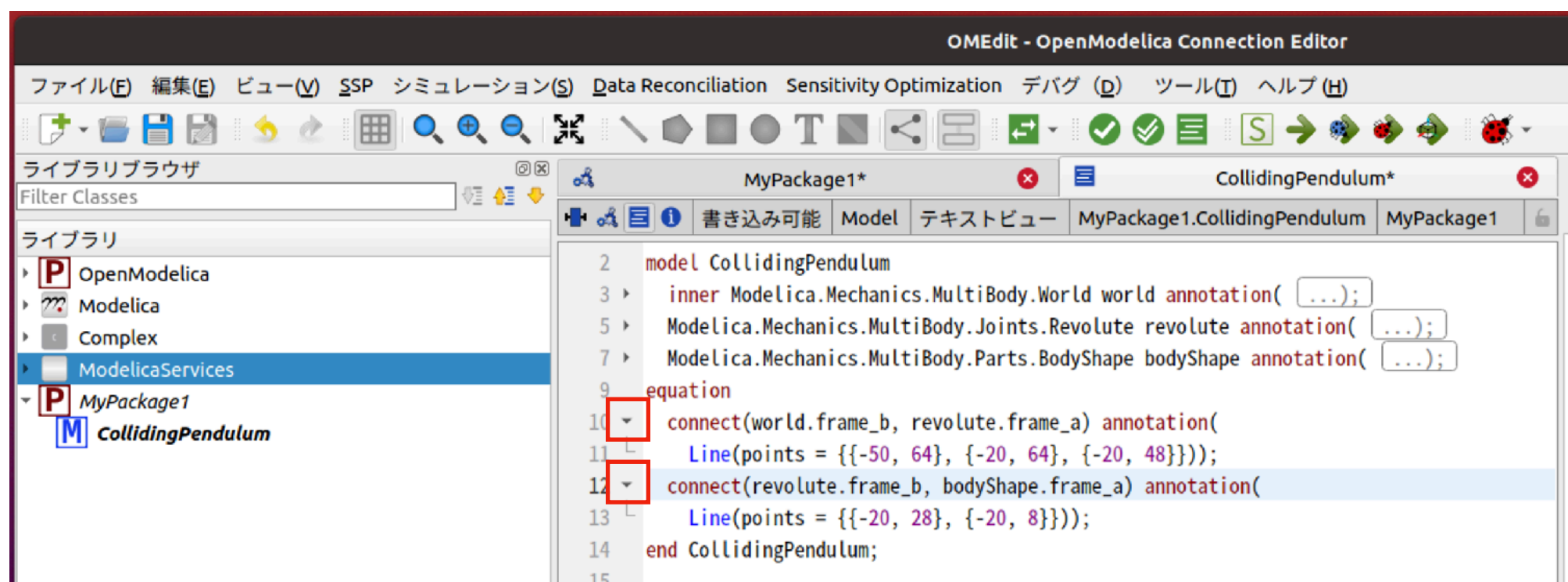
- ①コネクタにマウスカーソルを重ねると、マウスカーソルが+マークに変わる。
その状態でマウスの左ボタンを押し、押したまま少し移動するとコネクタからマウス位置まで接続線が引き出される。
その状態でボタンを離す。線は引き出されたままになる。
- ②曲げたい位置でクリックする。
- ③再びコネクタにマウスを重ねると、マウスカーソルが+マークに変わる。マウスをクリックすると、線が接続される。
- ④同様に接続する。

⑤ソースコードを確認する。

テキストビューに切り替える。

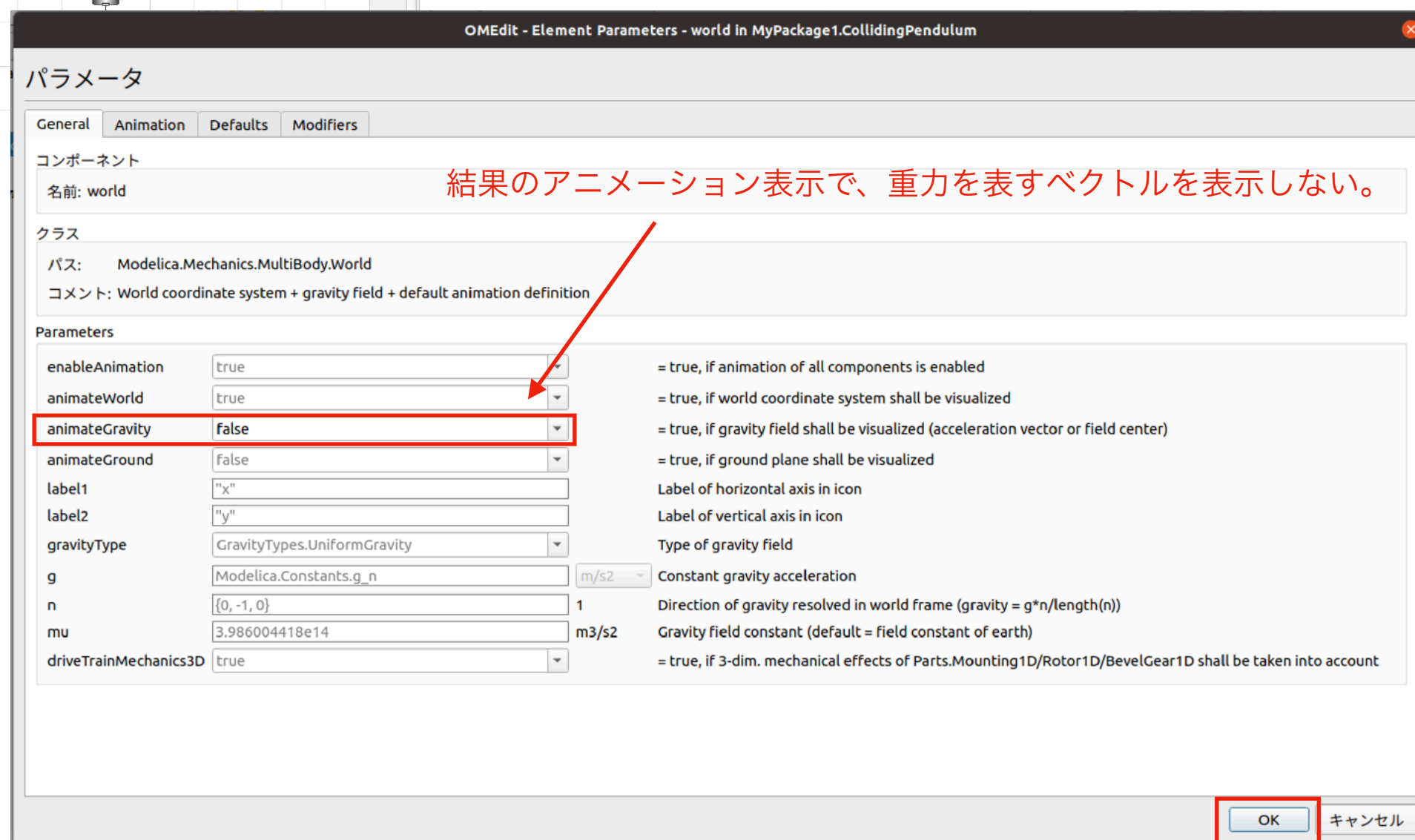
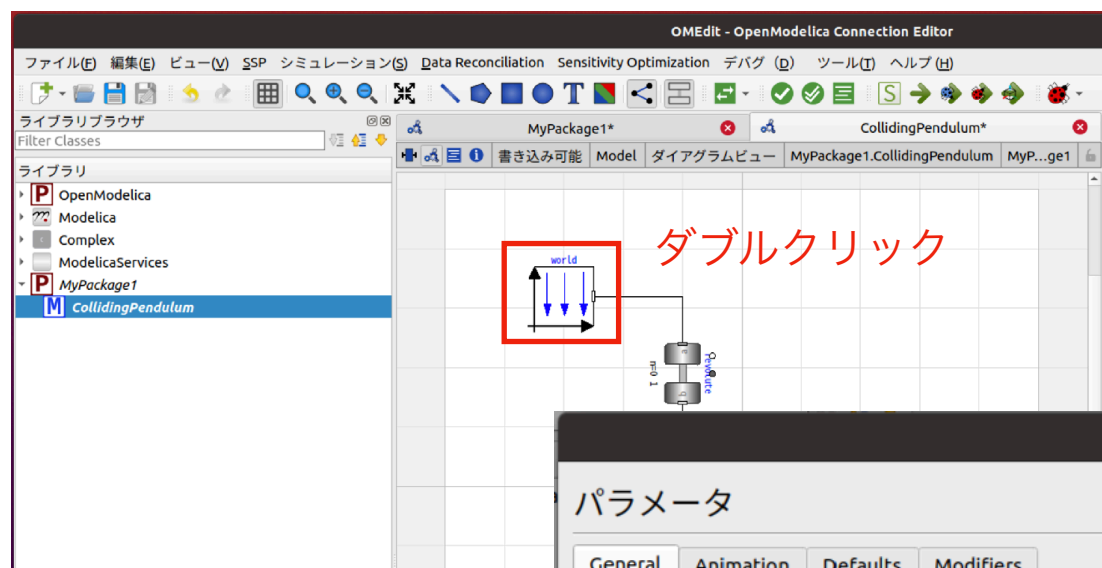


三角マークをクリックして展開すると、annotaiotn に位置情報が記述されているのが確認できる。

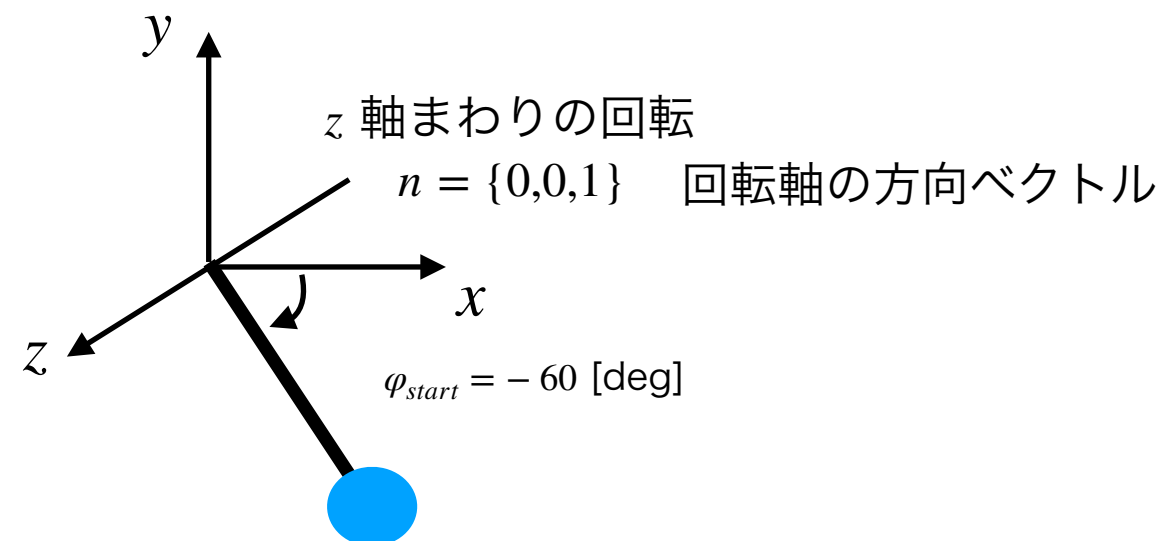
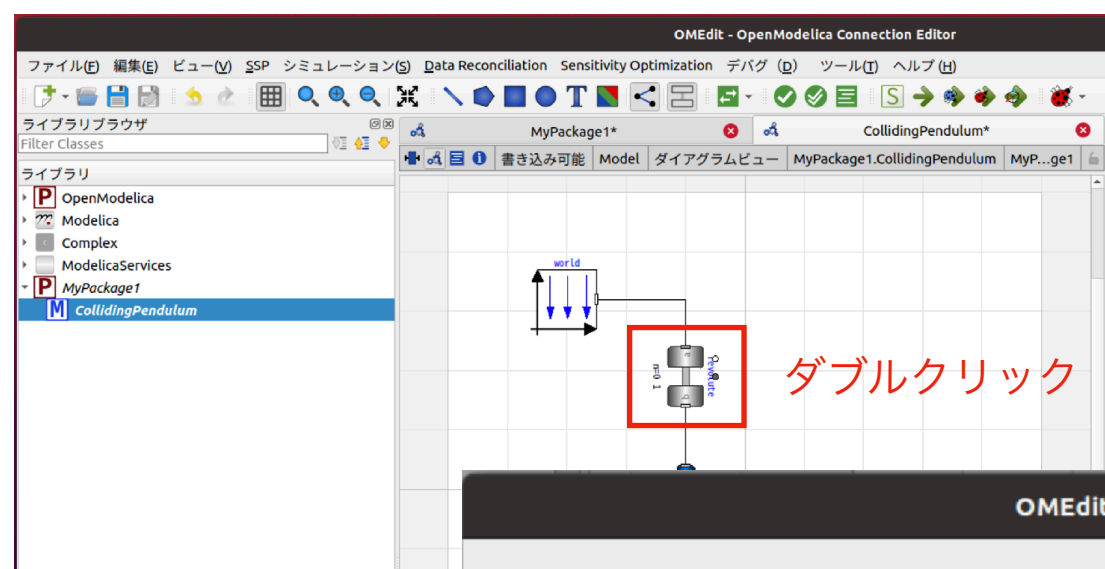


コンポーネントのパラメータの設定

① world の設定



② revolute (回転ジョイント)の設定



OMEdit - Element Parameters - revolute in MyPackage4.CollidingPendulum

パラメータ

General Animation Advanced Modifiers

コンポーネント
名前: revolute

クラス
パス: Modelica.Mechanics.MultiBody.Joints.Revolute
コメント: Revolute joint (1 rotational degree-of-freedom, 2 potential states, optional axis flange)

Parameters

useAxisFlange ☐ = true, if axis flange is enabled
 animation true = true, if animation shall be enabled (show axis as cylinder)
 n {0, 0, 1} 1 Axis of rotation resolved in frame_a (= same as in frame_b)

Initialization

phi.start ☒ -60 deg Relative rotation angle from frame_a to frame_b
 w.start ☒ 0 rad/s First derivative of angle phi (relative angular velocity)
 a.start ☐ 0 rad/s² Second derivative of angle phi (relative angular acceleration)

OK キャンセル

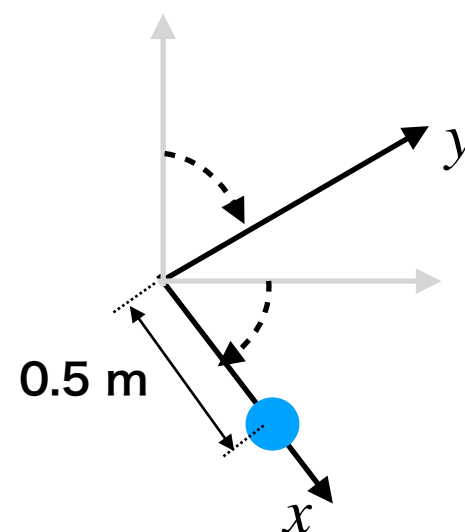
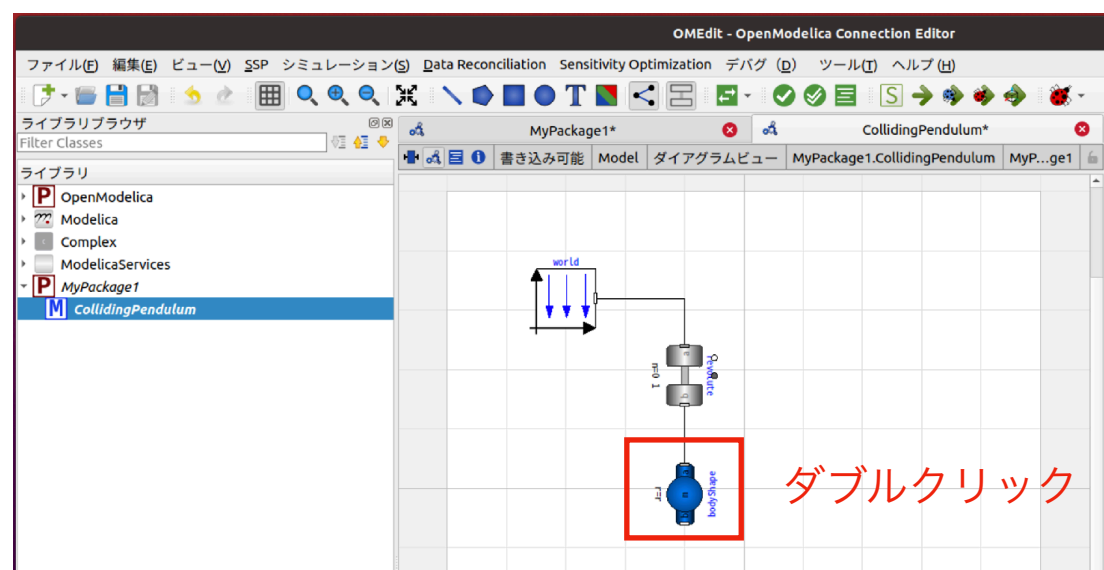
回転軸の方向ベクトル

初期角度

初期角速度

初期角加速度

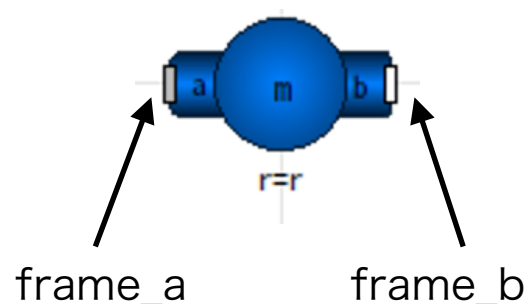
③ bodyShape の設定



振り子の長さ

revolute で回転した座標系

$$\mathbf{r} = \mathbf{r}_{CM} = \{0.5, 0, 0\}$$

 $\mathbf{r}$ frame_a から frame_b までのベクトル $\mathbf{r}_{CM}$ frame_a から重心までのベクトルModelica.Multibody
ライブラリのコネクタ

OMEdit - Element Parameters - bodyShape in MyPackage1.CollidingPendulum

パラメータ

General Initialization Animation Advanced Modifiers

コンポーネント
名前: bodyShape

クラス
パス: Modelica.Mechanics.MultiBody.Parts.BodyShape
コメント: Rigid body with mass, inertia tensor, different shapes for animation, and two frame connectors (12 potential states)

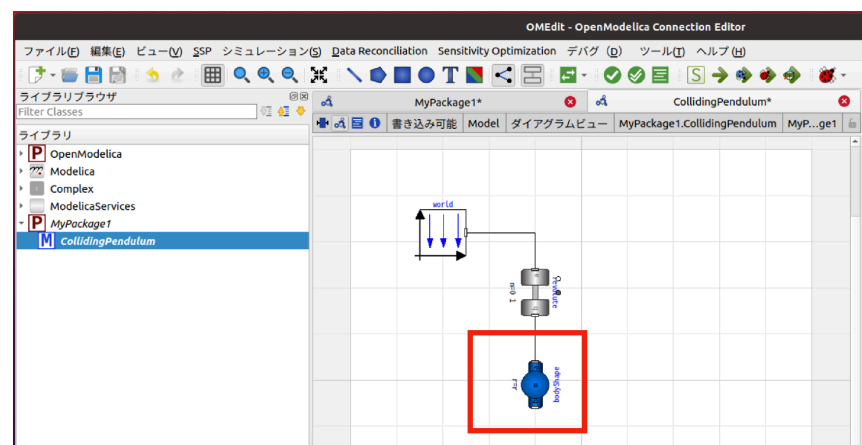
Parameters

animation	true	= true, if animation shall be enabled (show shape between frame_a and frame_b and optionally a sphere at the center of mass)
animateSphere	true	= true, if mass shall be animated as sphere provided animation=true
$\mathbf{r}$	{0.5, 0, 0} m	Vector from frame_a to frame_b resolved in frame_a
$\mathbf{r}_{CM}$	{0.5, 0, 0} m	Vector from frame_a to center of mass, resolved in frame_a
m	1 kg	Mass of rigid body

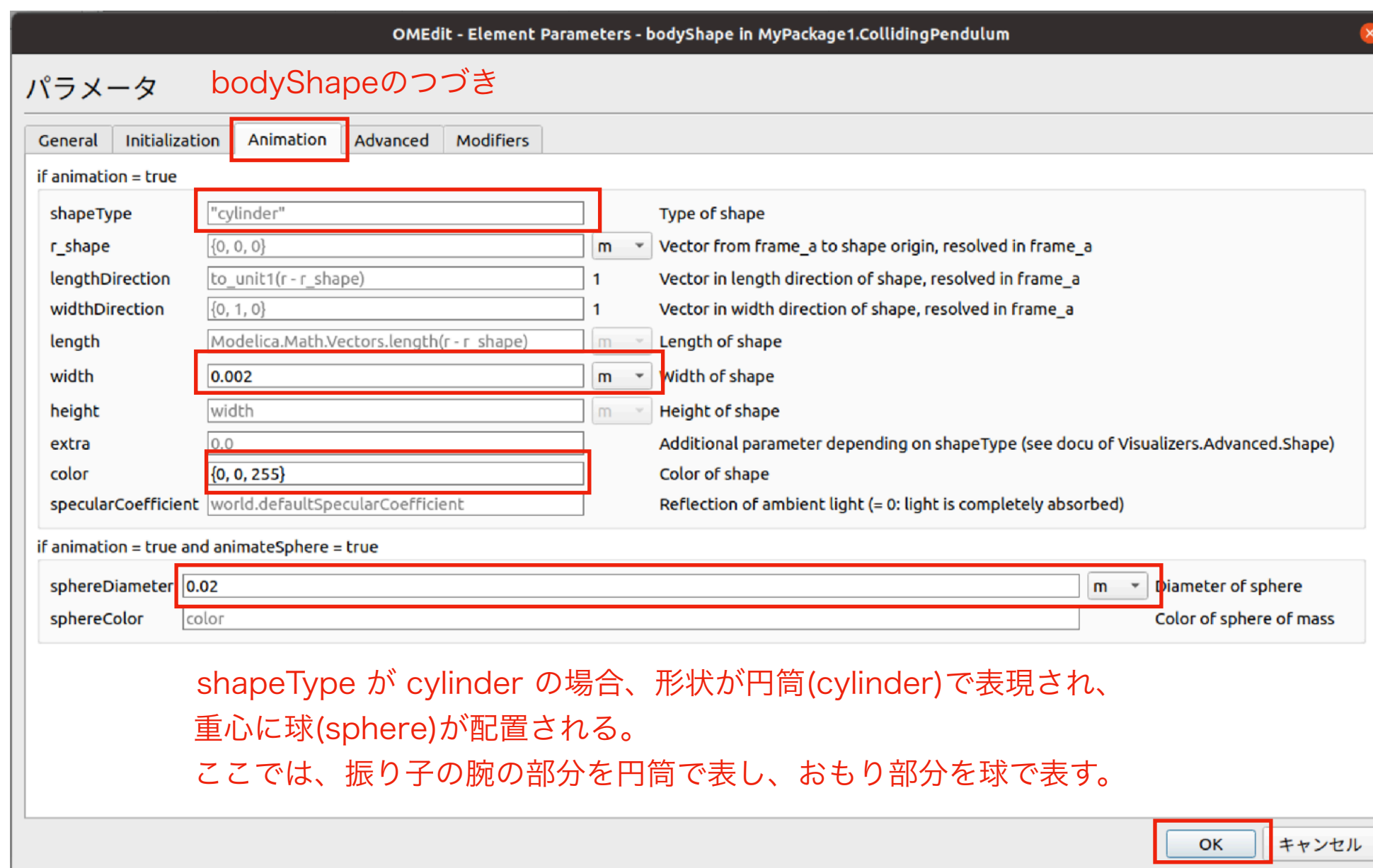
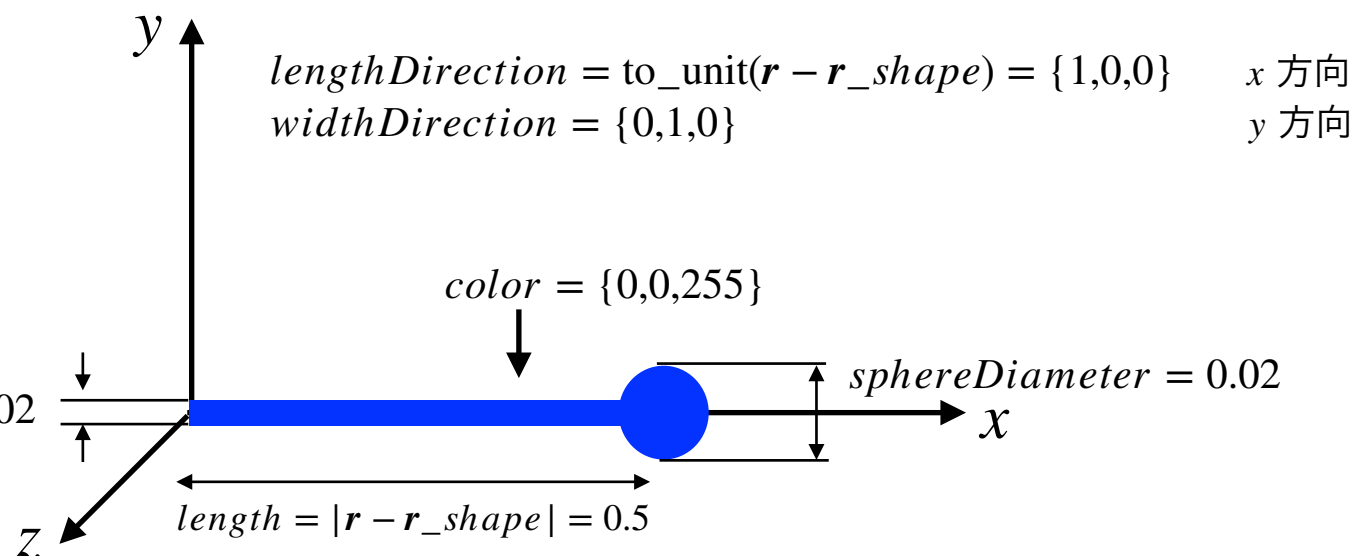
Inertia tensor (resolved in center of mass, parallel to frame_a)

I_11	0.001	kg.m2 Element (1,1) of inertia tensor
I_22	0.001	kg.m2 Element (2,2) of inertia tensor
I_33	0.001	kg.m2 Element (3,3) of inertia tensor
I_21	0	kg.m2 Element (2,1) of inertia tensor
I_31	0	kg.m2 Element (3,1) of inertia tensor
I_32	0	kg.m2 Element (3,2) of inertia tensor

OK キャンセル



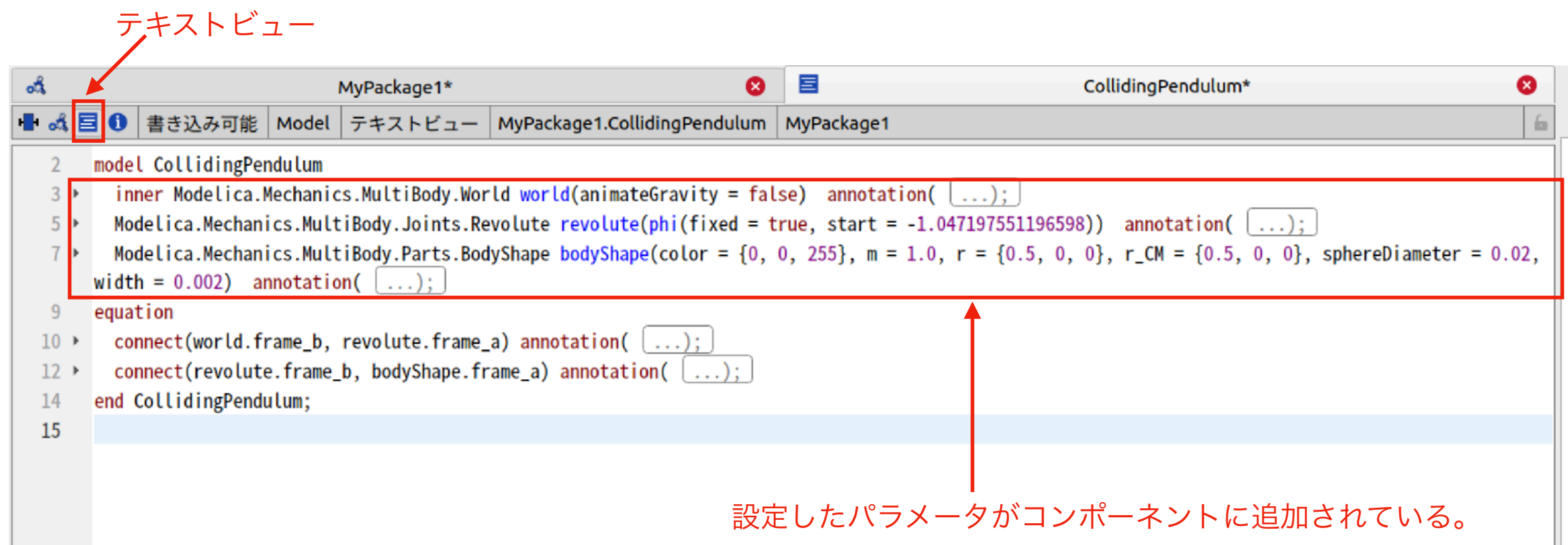
$width = height = 0.002$



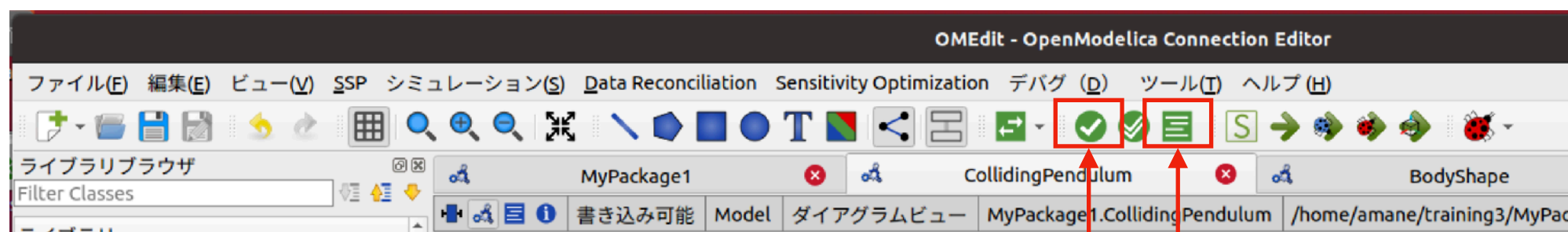
shapeType が cylinder の場合、形状が円筒(cylinder)で表現され、
重心に球(sphere)が配置される。

ここでは、振り子の腕の部分を円筒で表し、おもり部分を球で表す。

④[テキストビュー] に切り替えソースコードの確認する。

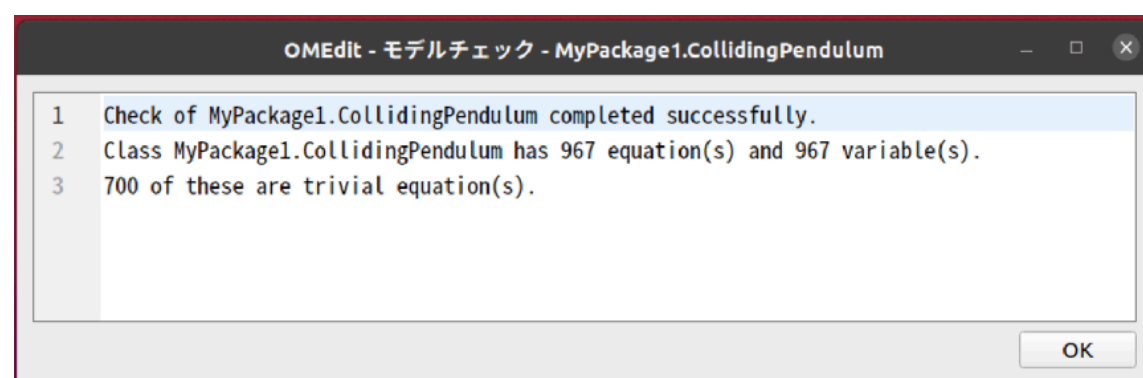


モデルチェックとインスタンス化



モデルチェック モデルのインスタンス化

①[モデルチェック]ボタンをクリックする。



正常にモデル化できていれば、
方程式(equation)の数と
変数(variable)の数が一致し、
方程式系が閉じる。

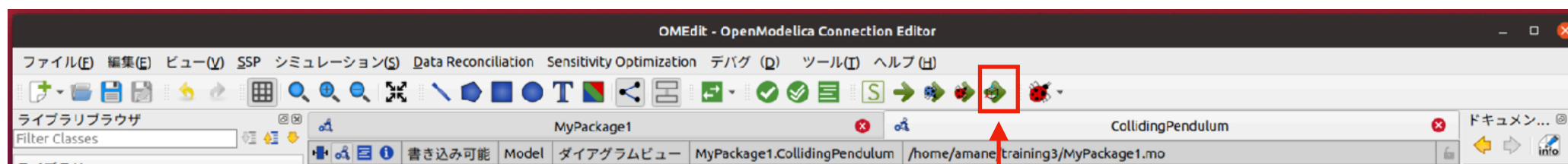
②[モデルのインスタンス化]ボタンをクリックする。



関数、変数、パラメータ、方程式などのリストが表示される。

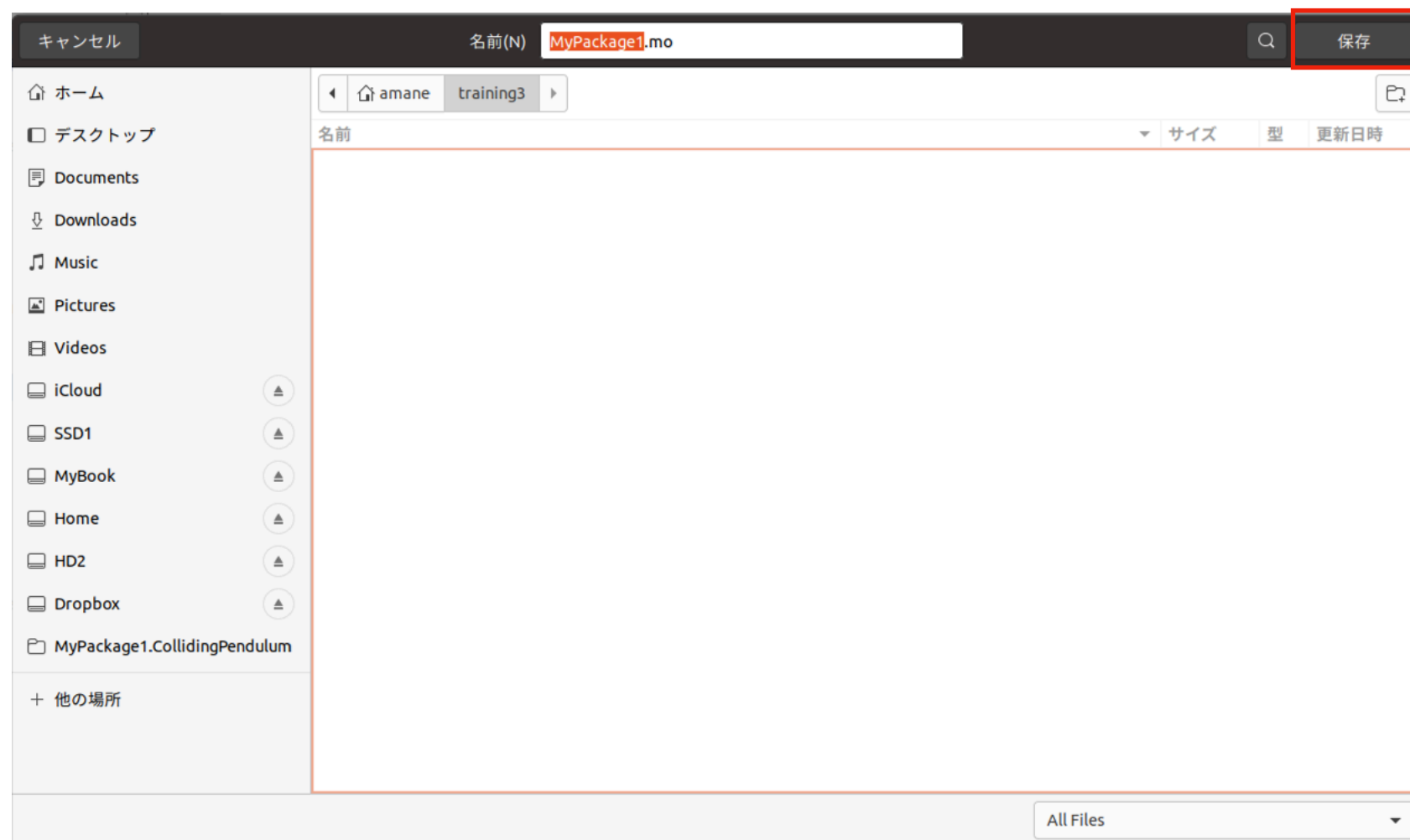
シミュレーションの実行

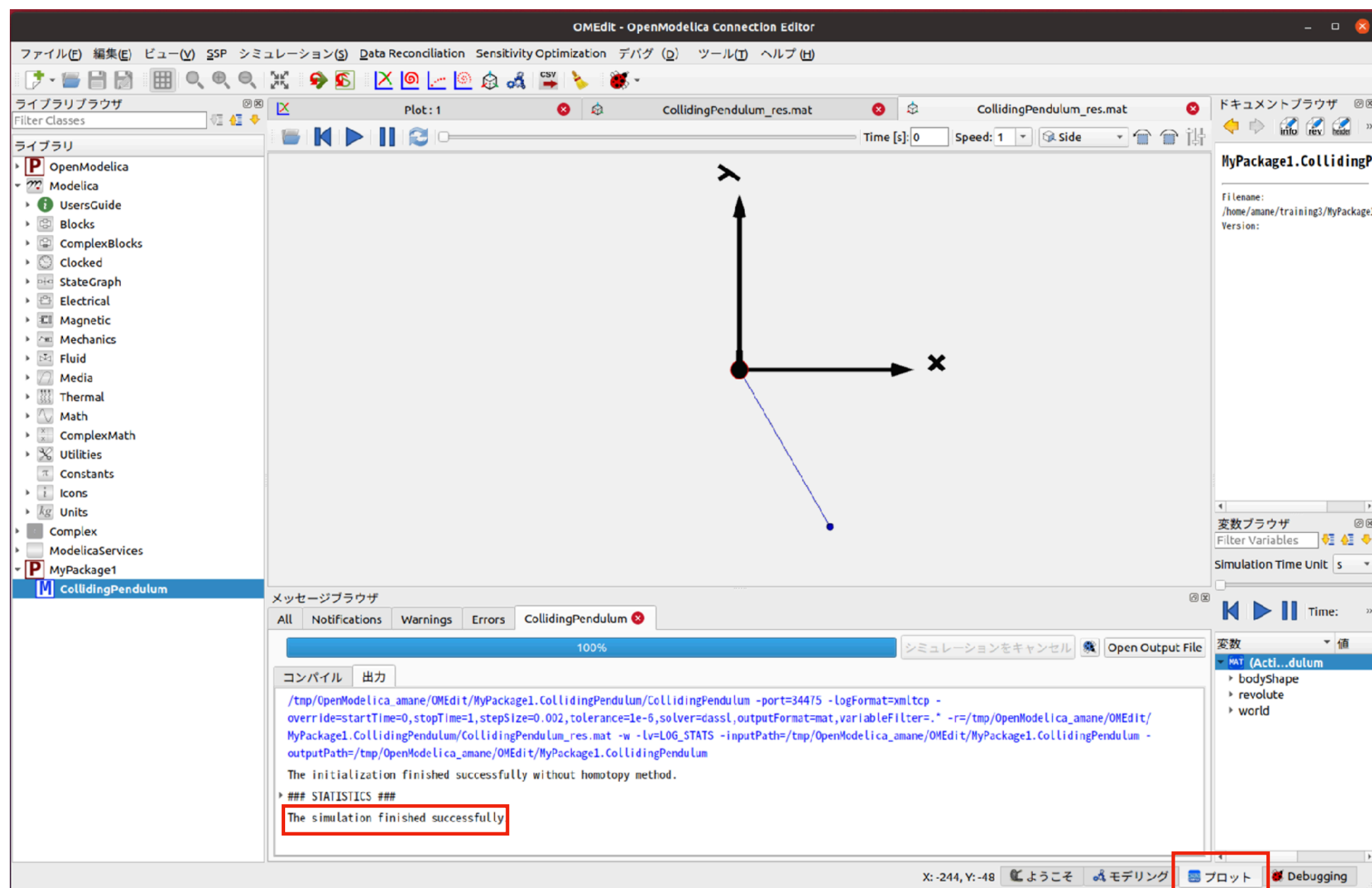
①[Simulate with Animation]ボタンをクリックする。



Simulate with Animation

②モデルを保存するダイアログが表示されるので保存する。

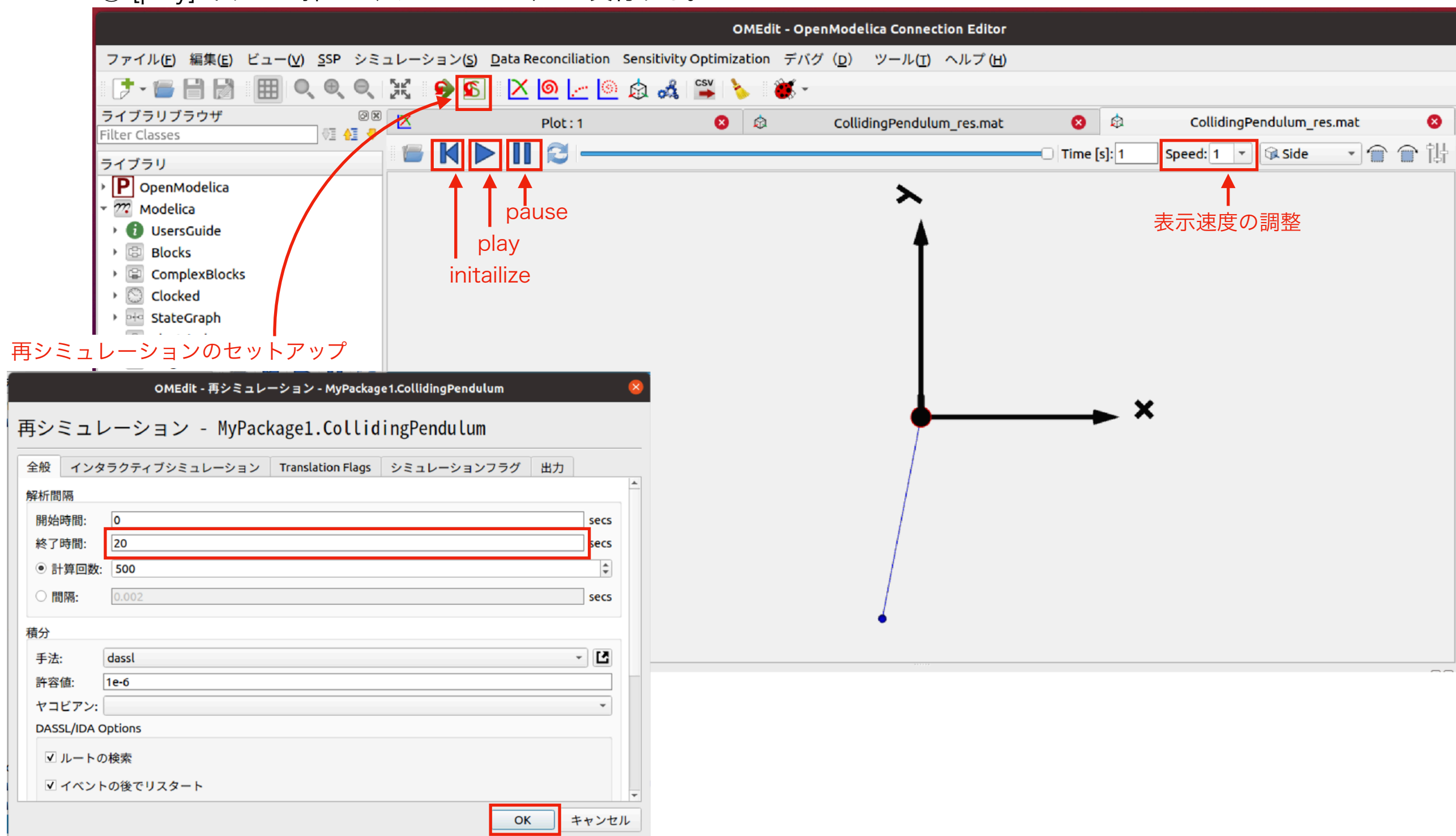




自動的に画面が[プロット]タブに切り替わり、正常に終了すると、メッセージブラウザに
The simulation finished successfully.
と表示される。

シミュレーション結果のアニメーション

① [play] ボタンを押して、アニメーションを実行する。



デフォルトでは終了時間は1secなので、すぐ終わります。
終了時間を長くして[OK]を押すと、もっと長く再計算できます。

振り子の角度のプロット

① 変数ブラウザの revolute.angle のチェックボックスをチェックする

The screenshot displays the OMEdit - OpenModelica Connection Editor interface. The main window shows a plot of 'revolute.angle (deg)' versus 'time (s)'. The plot shows a periodic oscillation between approximately -60 and -120 degrees over a 20-second interval. The left sidebar contains a library browser with various mechanical components. The right sidebar shows the 'MyPackage1.CollidingPendium' model, with the 'revolute' component selected. In the 'variable browser' for the 'revolute' component, the 'angle' variable is highlighted, and its checkbox is checked. The bottom status bar indicates the simulation is running successfully.

OMEdit - OpenModelica Connection Editor

ファイル(F) 編集(E) ビュー(V) SSP シミュレーション(S) Data Reconciliation Sensitivity Optimization デバグ (D) ツール(T) ヘルプ(H)

ライブラリブラウザ

Filter Classes

ライブラリ

- Prismatic
- Revolute
- RevolutePlan...opConstraint
- Cylindrical
- Universal
- Planar
- Spherical
- FreeMotion
- FreeMotionScalarInit
- SphericalSpherical
- UniversalSpherical
- GearConstraint
- RollingWheel
- RollingWheelSet
- Assemblies
- Constraints
- Internal
- Parts
- Fixed
- FixedTranslation
- FixedRotation
- Body
- BodyShape
- BodyBox
- BodyCylinder
- PointMass
- Mounting1D
- Rotor1D
- BevelGear1D
- RollingWheel
- RollingWheelSet
- Sensors
- Visualizers
- Types
- Icons

Plot: 1

Grid

Log X

Log Y

Plot: 2

ドキュメントブラウザ

MyPackage1.CollidingPendium

Filename: /home/amane/training4/MyPackage1.mo

Version:

変数ブラウザ

Filter Variables

Simulation Time Unit

s

Time: 0.0

Speed: 1

変数	値	Display Unit	記述
bodyShape			
revolute			
R_rel	-4.79552	rad/s2	Second de...leration)
☒ angle	-75.78...	deg	= phi
animation	1		= true, if ...s cylinder)
cylinder			
cylin...Color			
cyli...eter	0.05	m	Diameter ...oint axis
cyli...ngth	0.1	m	Length of ...joint axis
der(phi)	2.00923	Hz	der(Relat... frame_b)
der(w)	-4.79552	s-2	der(First ...velocity))
frame_a			
frame_b			
n			
phi	-60.00...	deg	Relative ...o frame_b
spec...ient	0.7		Reflectio...absorbed)
stateSelect	4		Priority t... as states
tau	0	N.m	Driving to...f rotation
w	0.0	rad/s	First deri... velocity)
world			

メッセージブラウザ

All Notifications Warnings Errors CollidingPendium

100%

シミュレーションをキャンセル

Open Output File

コンパイル 出力

```

/home/amane/OMEdit/MyPackage1.CollidingPendium/CollidingPendium -port=42011 -logFormat=xmltcp -
override=startTime=0,stopTime=20,stepSize=0.04,tolerance=1e-6,solver=dassl,outputFormat=mat,variableFilter=
r=/home/amane/OMEdit/MyPackage1.CollidingPendium/CollidingPendium_res.mat -w -lv=LOG_STATS -inputPath=/
home/amane/OMEdit/MyPackage1.CollidingPendium -outputPath=/home/amane/OMEdit/MyPackage1.CollidingPendium

The initialization finished successfully without homotopy method.

### STATISTICS ###

The simulation finished successfully.
  
```

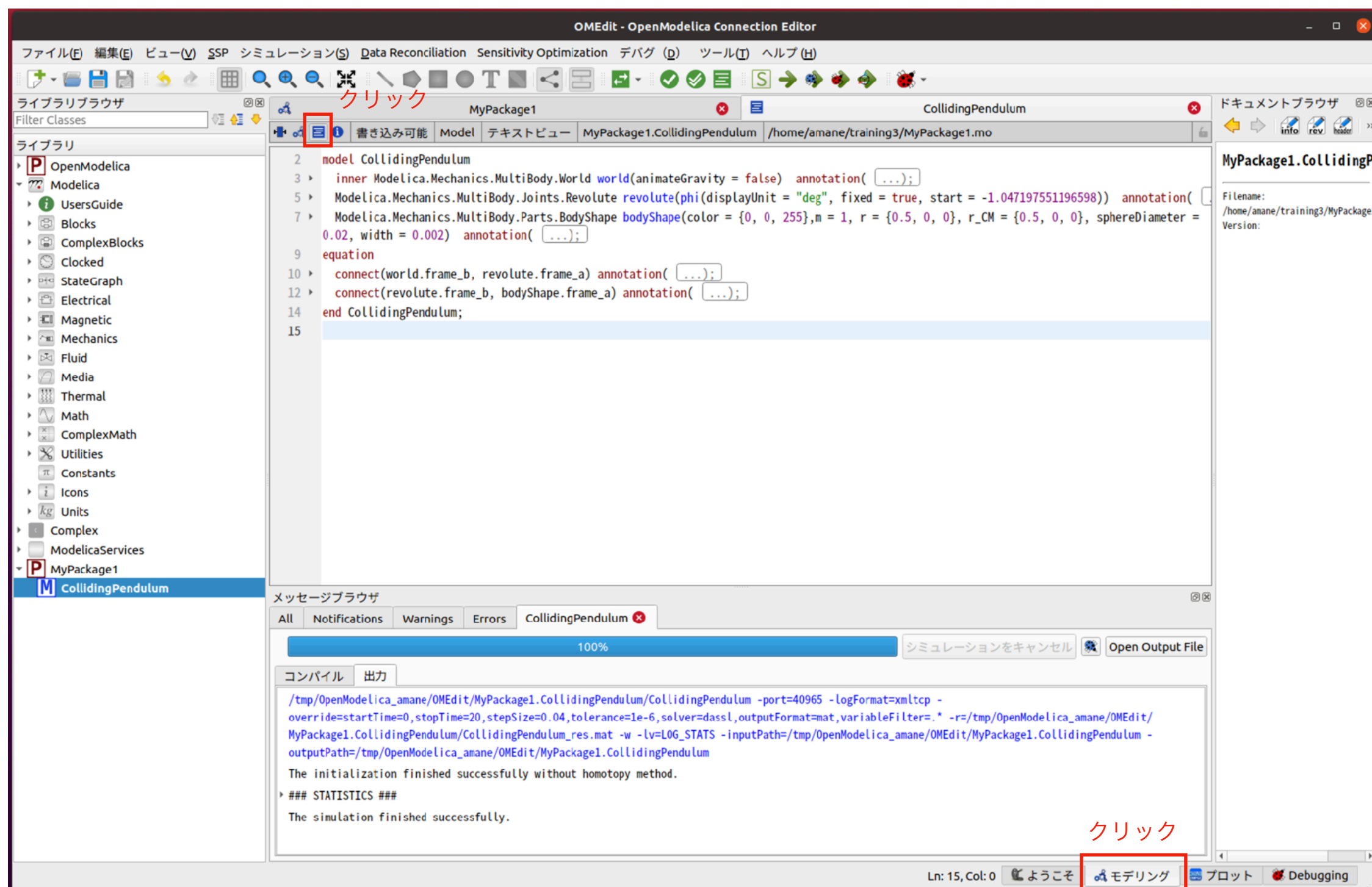
Ln: 15, Col: 0

ようこそ モデリング プロット Debugging

モデルパラメータの作成

ユーザーによるモデル設定がわかりやすくなるように、ユーザ定義のパラメータを追加します。

① [モデリング]タブに移り、[テキストビュー]に切り替える。



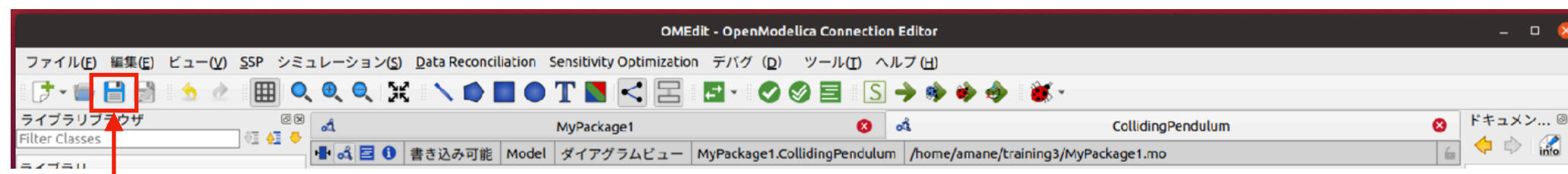
② ソースコードにパラメータ等を追加します。

追加する部分

```
model CollidingPendulum
  constant Real pi = Modelica.Constants.pi;
  parameter Modelica.Units.SI.Length armLength = 0.5 "Arm Length of Pendulum";
  parameter Modelica.Units.SI.Mass mass0 = 1 "Mass of Pendulum 0";
  parameter Modelica.Units.SI.Diameter diameter0 = 0.02 "Diameter of Pendulum 0";
  parameter Modelica.Mechanics.MultiBody.Types.Color color0 = {0,0,255} "Color of Pendulum 0";
  parameter Modelica.Units.SI.Angle startAngle0 = pi / 6 "Initial Angle of Pendulum 0";

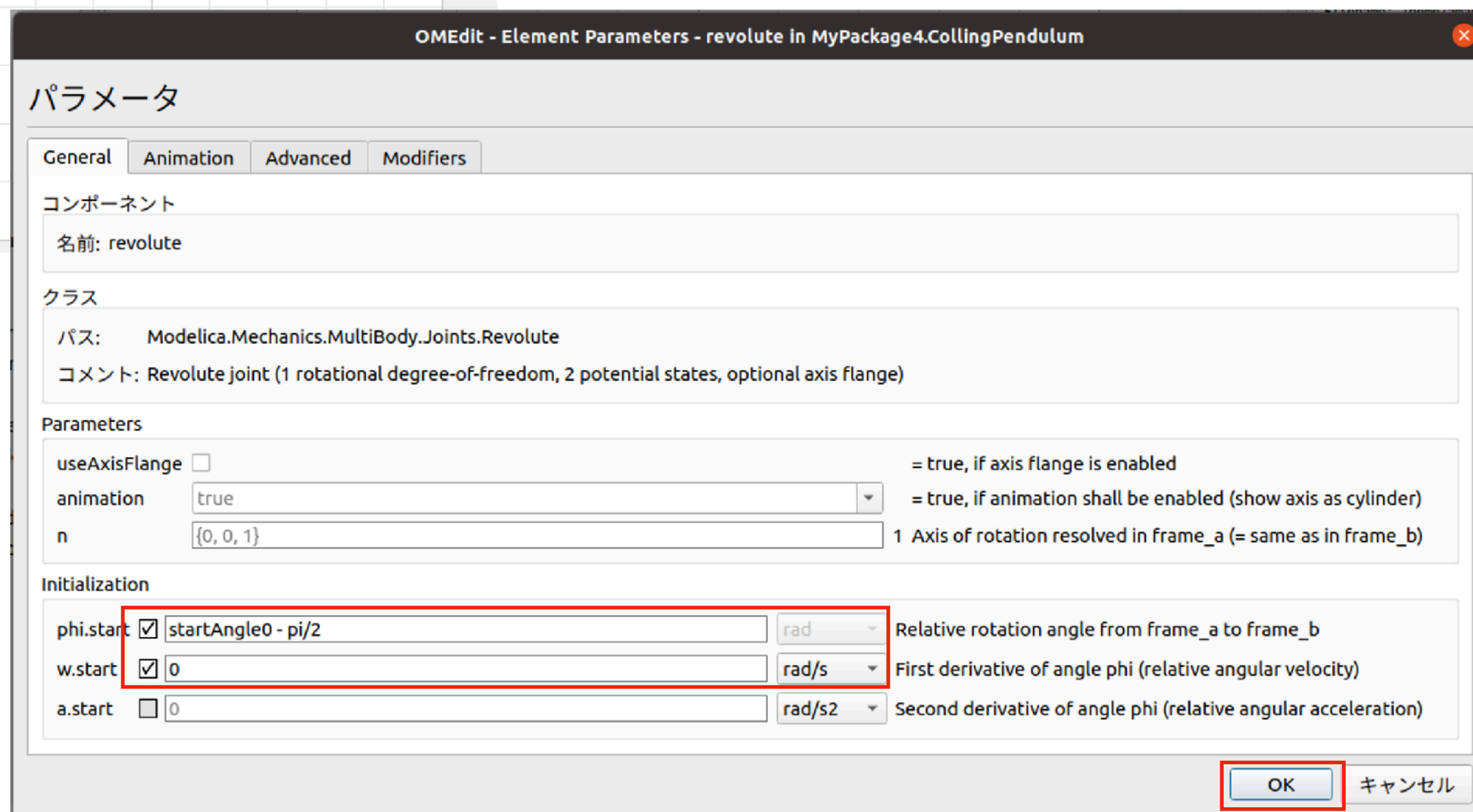
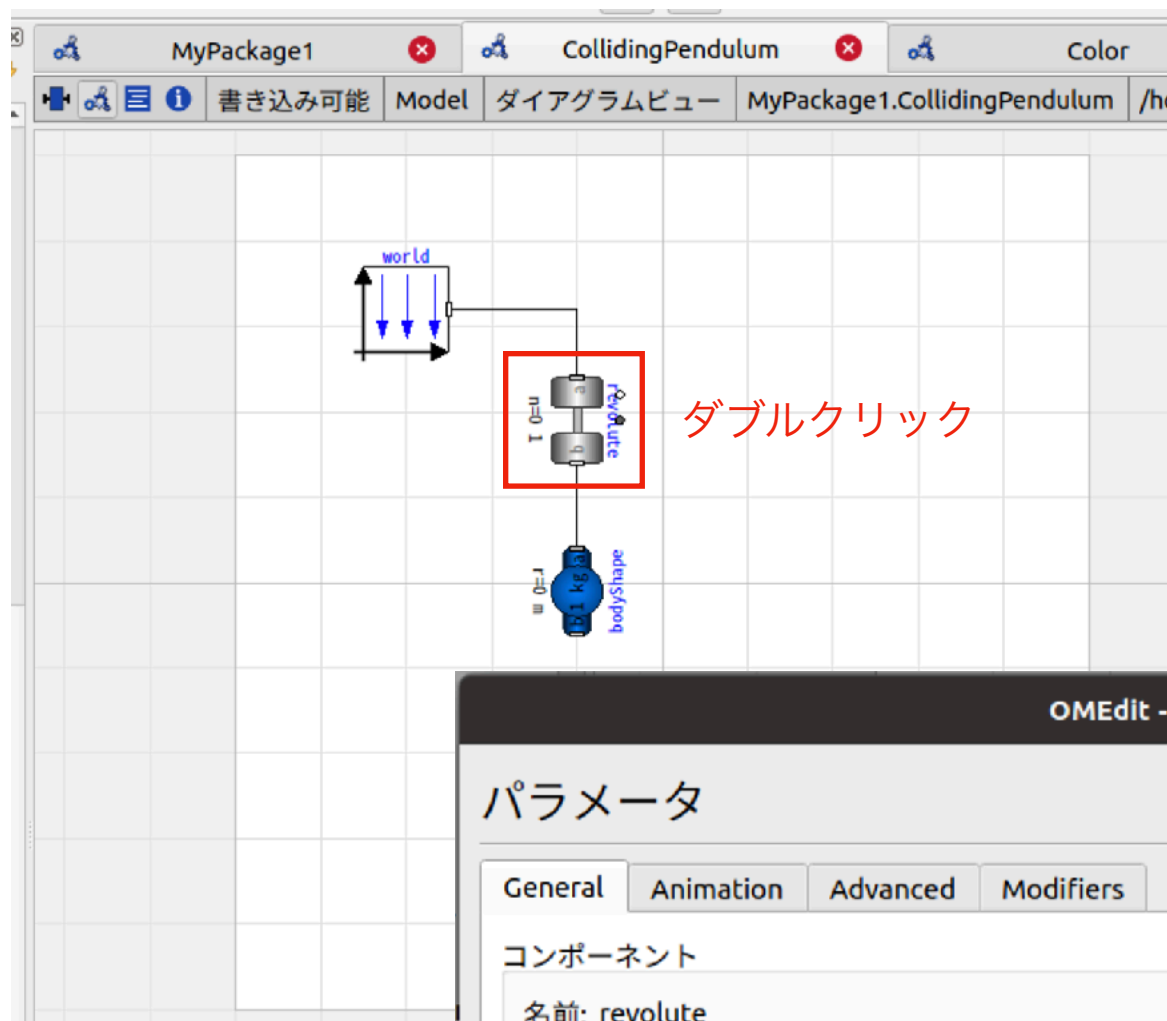
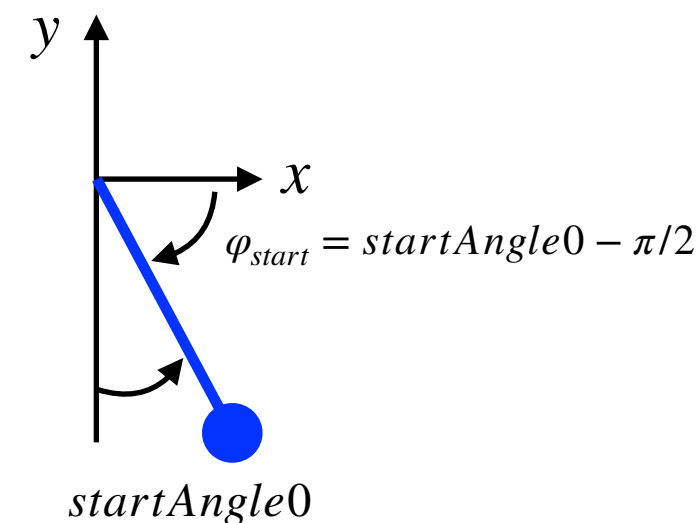
  inner Modelica.Mechanics.MultiBody.World world(animateGravity = false) annotation( ...);
  Modelica.Mechanics.MultiBody.Joints.Revolute revolute(phi(displayUnit = "deg", fixed = true,
    start = -1.047197551196598)) annotation( ...);
  Modelica.Mechanics.MultiBody.Parts.BodyShape bodyShape(color = {0, 0, 255},m = 1, r = {0.5,
    0, 0},
    r_CM = {0.5, 0, 0}, sphereDiameter = 0.02, width = 0.002) annotation( ...);
equation
  connect(world.frame_b, revolute.frame_a) annotation( ...);
  connect(revolute.frame_b, bodyShape.frame_a) annotation( ...);
end CollidingPendulum;
```

③ [保存]ボタンをクリックしてソースコードを保存する。

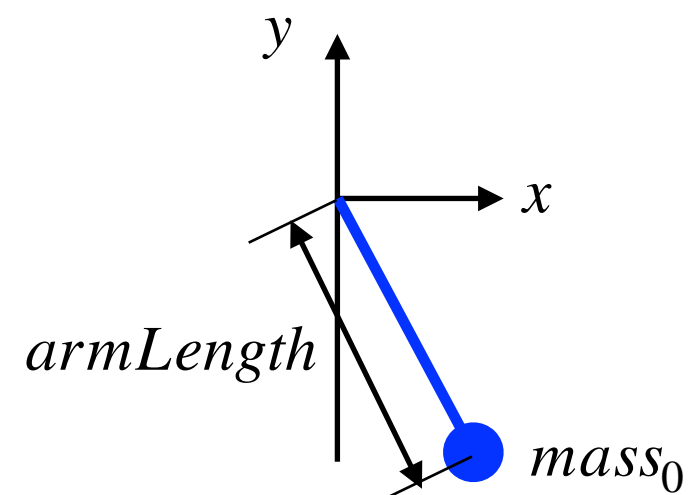
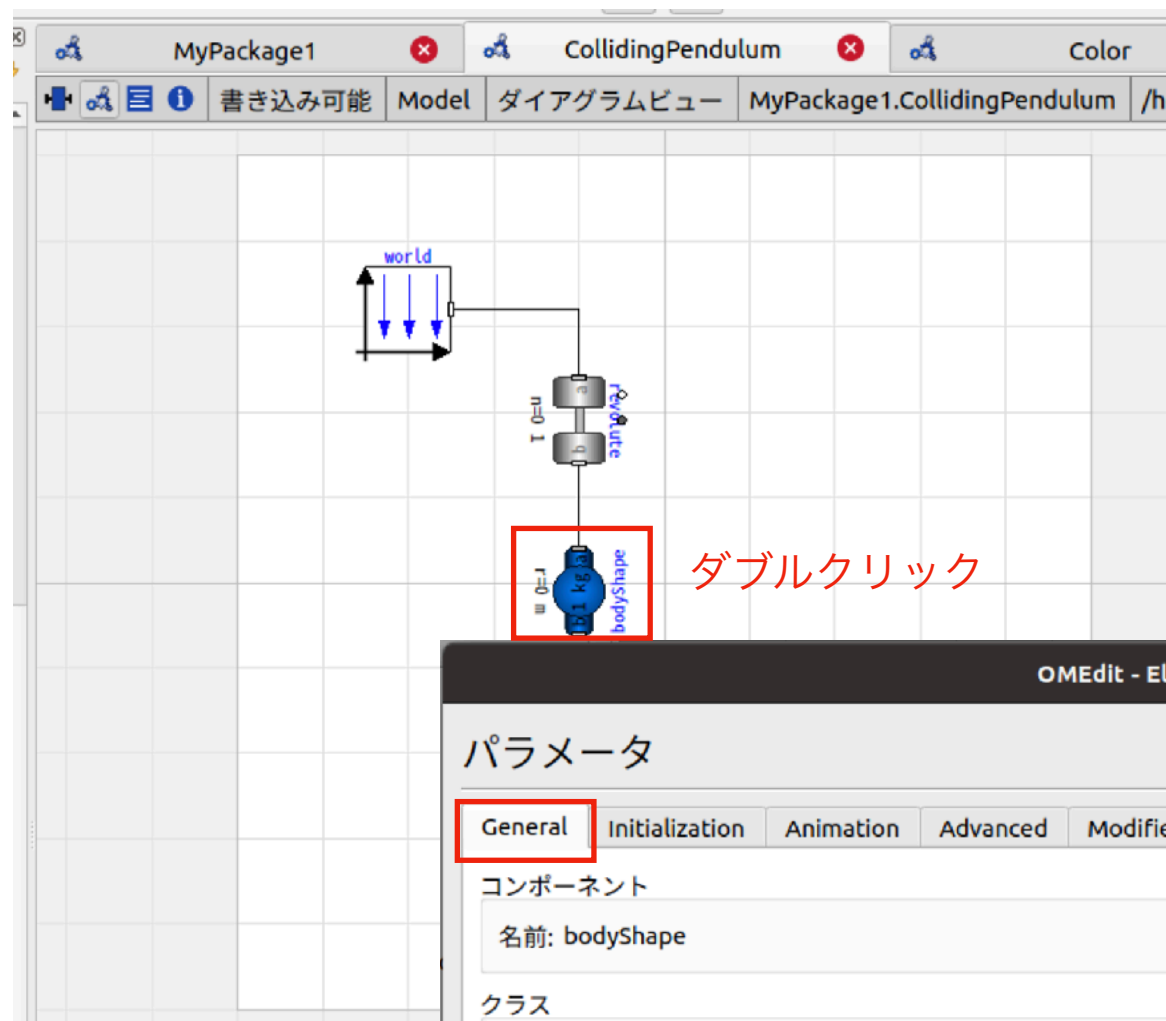


保存

④ revolve のパラメータを修正する。



⑤ bodyShape のパラメータを修正する。



OMEdit - Element Parameters - bodyShape in MyPackage1.CollidingPendulum

パラメータ

General Initialization Animation Advanced Modifiers

コンポーネント

名前: bodyShape

クラス

パス: Modelica.Mechanics.MultiBody.Parts.BodyShape

コメント: Rigid body with mass, inertia tensor, different shapes for animation, and two frame connectors (12 potential states)

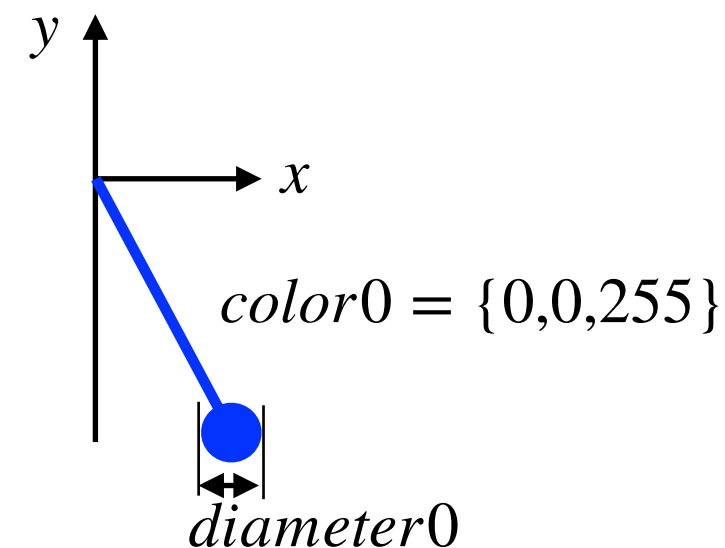
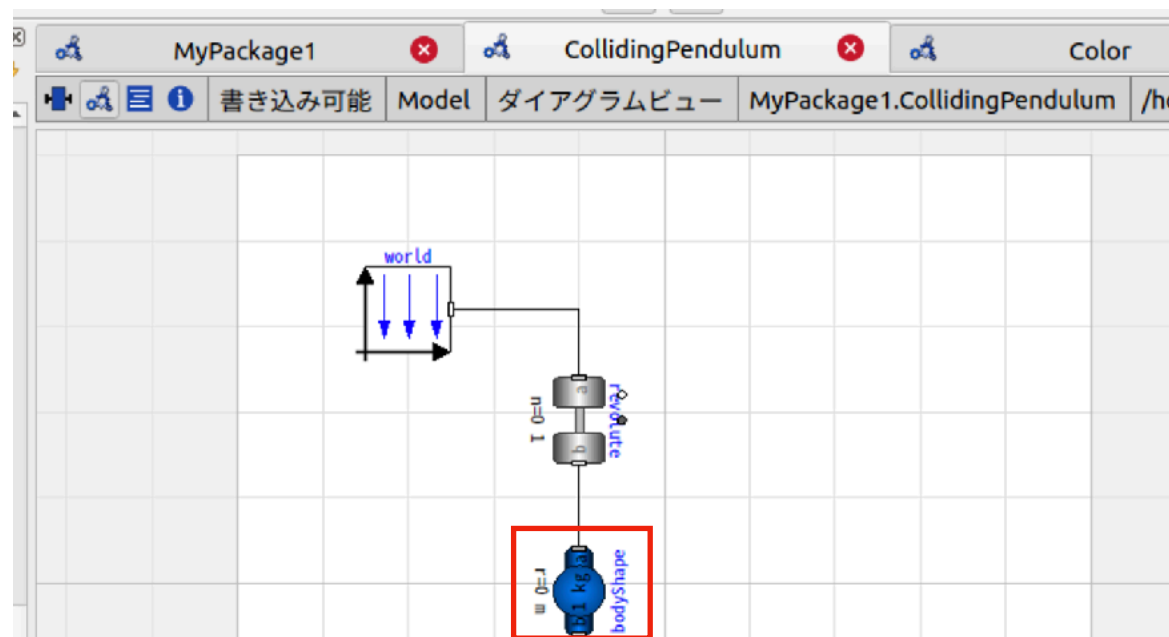
Parameters

animation	true	= true, if animation shall be enabled (show shape between frame_a and frame_b and optionally a sphere at the center of mass)
animateSphere	true	= true, if mass shall be animated as sphere provided animation=true
r	{armLength, 0, 0}	m Vector from frame_a to frame_b resolved in frame_a
r_CM	{armLength, 0, 0}	m Vector from frame_a to center of mass, resolved in frame_a
m	mass0	kg Mass of rigid body

Inertia tensor (resolved in center of mass, parallel to frame_a)

I_11	0.001	kg.m2 Element (1,1) of inertia tensor
I_22	0.001	kg.m2 Element (2,2) of inertia tensor
I_33	0.001	kg.m2 Element (3,3) of inertia tensor
I_21	0	kg.m2 Element (2,1) of inertia tensor
I_31	0	kg.m2 Element (3,1) of inertia tensor
I_32	0	kg.m2 Element (3,2) of inertia tensor

OK キャンセル



OMEdit - Element Parameters - bodyShape in MyPackage1.CollidingPendulum

パラメータ

General Initialization **Animation** Advanced Modifiers

if animation = true

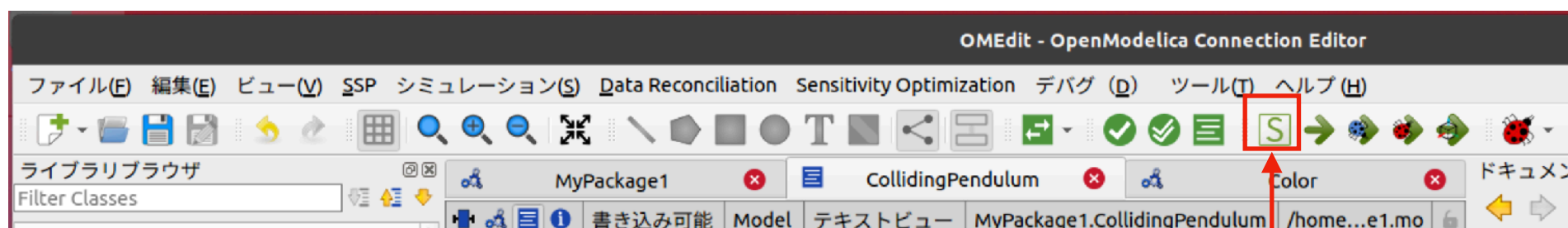
shapeType	"cylinder"	Type of shape
r_shape	{0, 0, 0}	Vector from frame_a to shape origin, resolved in frame_a
lengthDirection	to_unit1(r - r_shape)	Vector in length direction of shape, resolved in frame_a
widthDirection	{0, 1, 0}	Vector in width direction of shape, resolved in frame_a
length	Modelica.Math.Vectors.length(r - r_shape)	Length of shape
width	0.002	Width of shape
height	width	Height of shape
extra	0.0	Additional parameter depending on shapeType (see docu of Visualizers.Advanced.Shape)
color	color0	Color of shape
specularCoefficient	world.defaultSpecularCoefficient	Reflection of ambient light (= 0: light is completely absorbed)

if animation = true and animateSphere = true

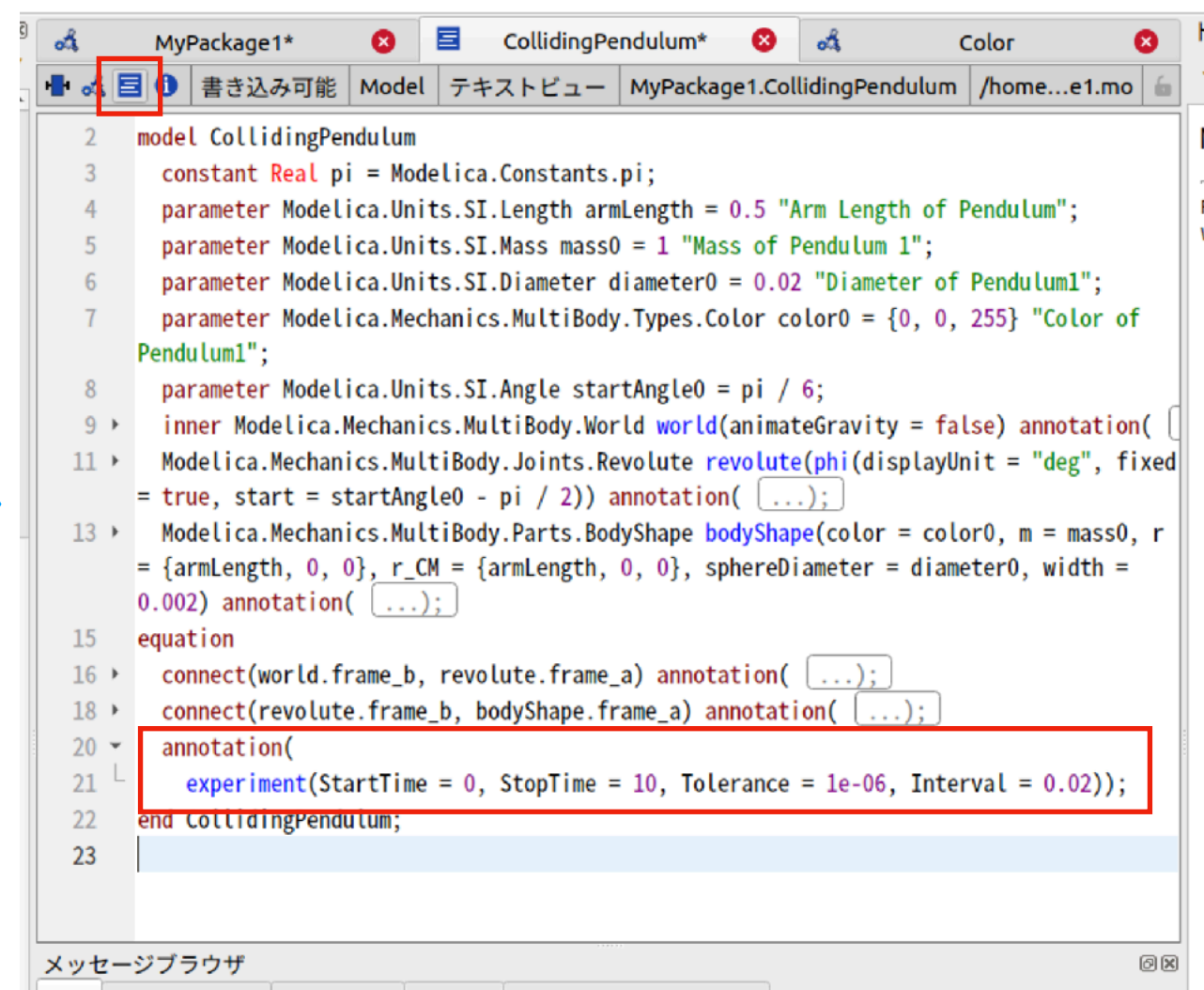
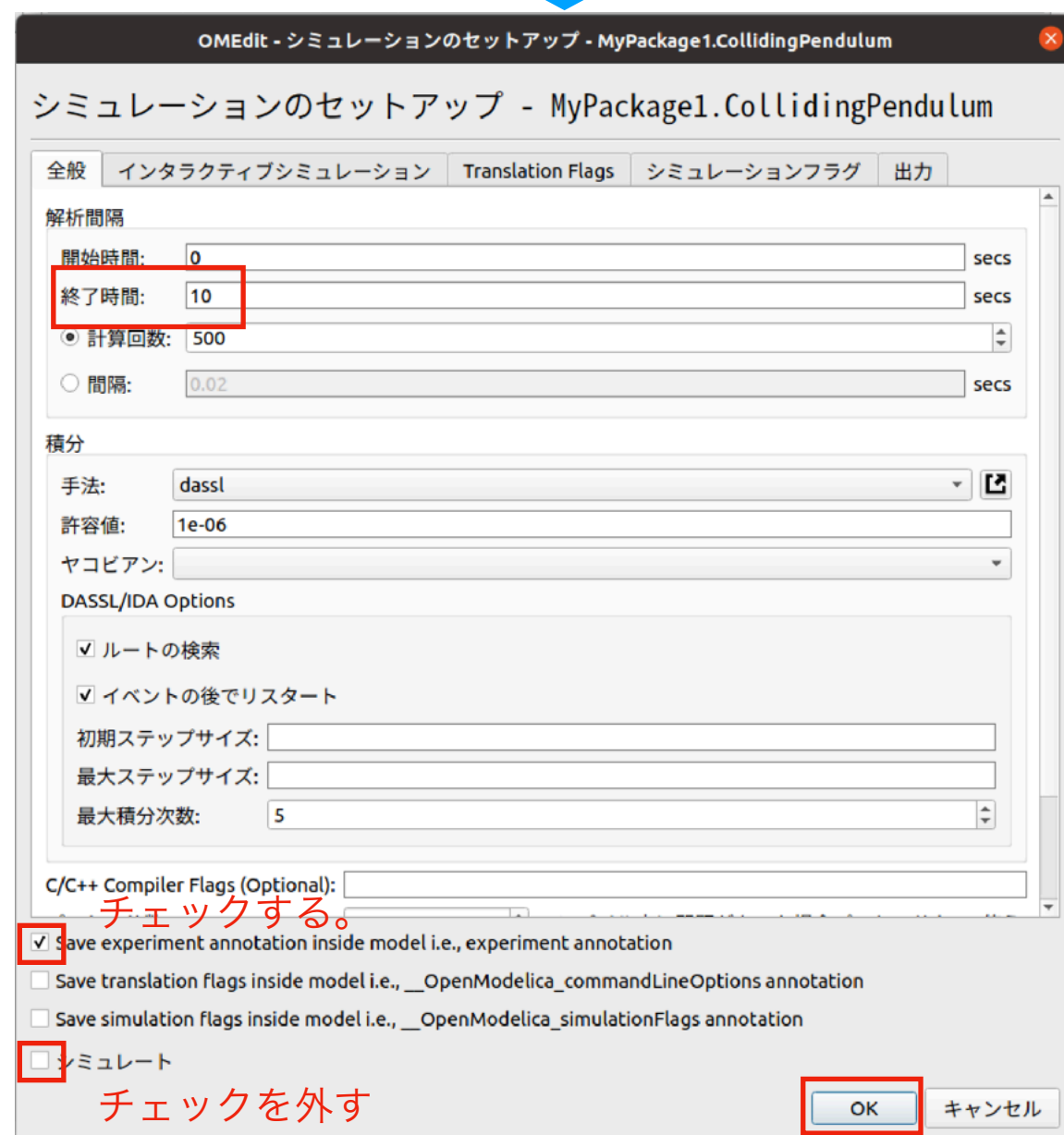
sphereDiameter	diameter0	Diameter of sphere
sphereColor	color	Color of sphere of mass

OK キャンセル

⑥ [シミュレーションのセットアップ]を行い、終了時間をソースコードに埋め込む。

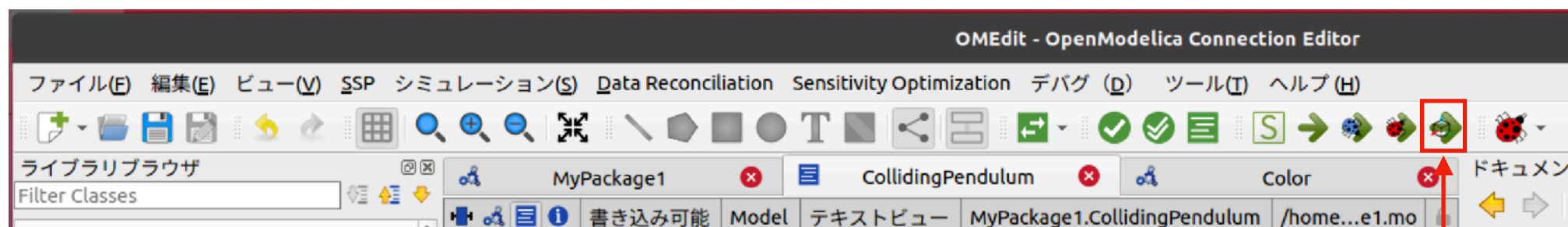


シミュレーションのセットアップ

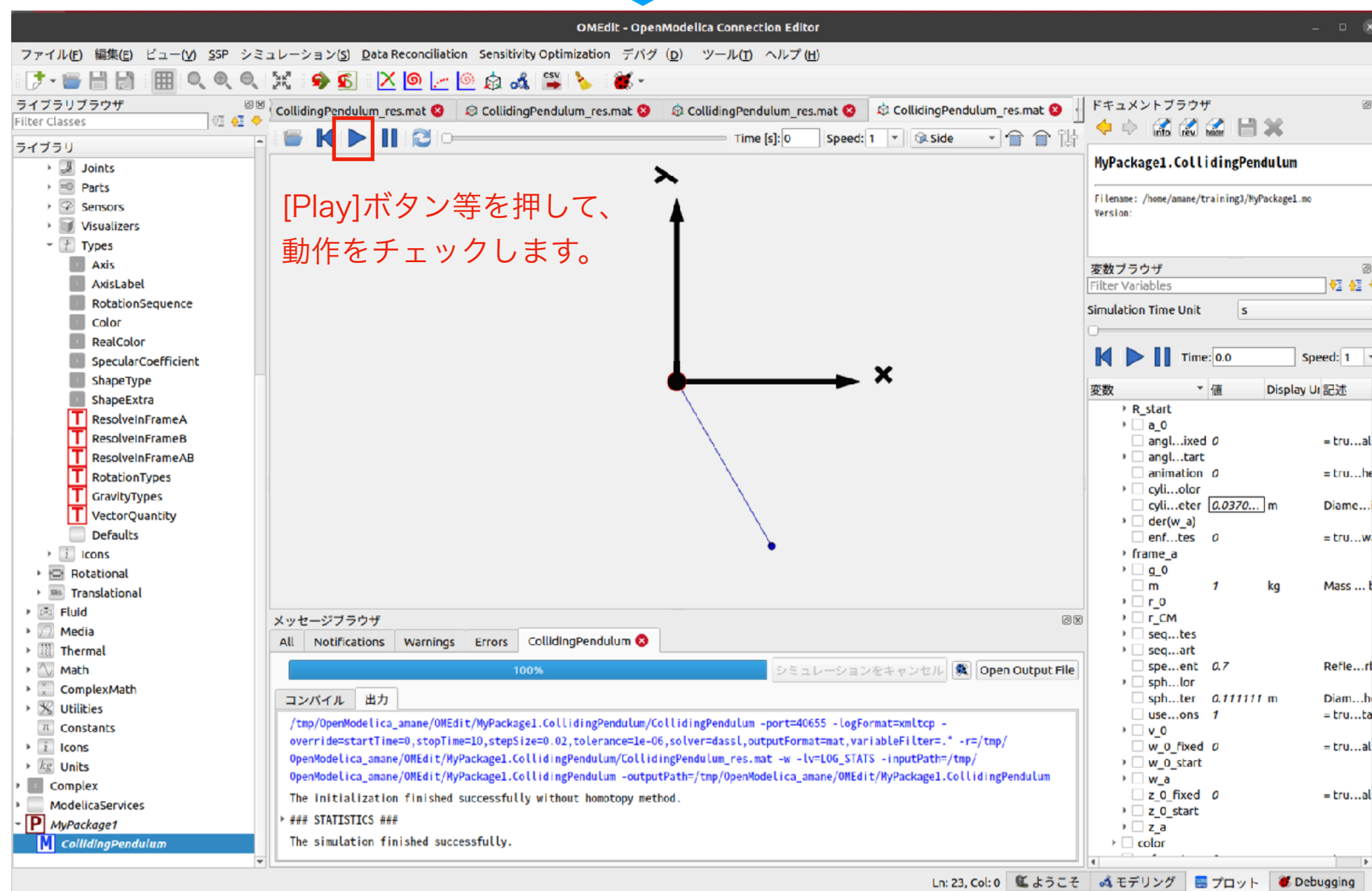


ソースコードの annotation 部分に StartTime, StopTime 等の記述が追加されている。

⑦再びシミュレーションを行い、動作を確認する。



クリック



振り子の追加

OMEdit - OpenModelica Connection Editor

ファイル(E) 編集(E) ビュー(V) SSP シミュレーション(S) Data Reconciliation Sensitivity Optimization デバグ (D) ツール(T) ヘルプ (H)

ライブラリブラウザ
Filter Classes

ライブラリ

- UsersGuide
- Blocks
- ComplexBlocks
- Clocked
- StateGraph
- Electrical
- Magnetic
- Mechanics
 - MultiBody
 - UsersGuide
 - World
 - Examples
 - Forces
 - Frames
 - Interfaces
 - Joints
 - Parts
 - Fixed
 - FixedTranslation
 - FixedRotation
 - Body
 - BodyShape
 - BodyBox
 - BodyCylinder
 - PointMass
 - Mounting1D
 - Rotor1D
 - BevelGear1D
 - RollingWheel
 - RollingWheelSet
 - Sensors
 - Visualizers
 - Types
 - Icons
 - Rotational
 - Translational
 - Fluid

② [ダイアログビュー] に切り替える。

③ Modelica.Mechanics.Multibody.Parts.FixedTranslation をドラッグ・アンド・ドロップする。

④ revolute を右クリックして [複製] を選ぶ

⑤ bodyShape を右クリックして [複製] を選ぶ

⑥ コンポーネントを次のように接続する。

メッセージブラウザ
All Notifications Warnings Errors CollidingPendulum x

100% シミュレーションをキャンセル Open Output File

コンパイル 出力

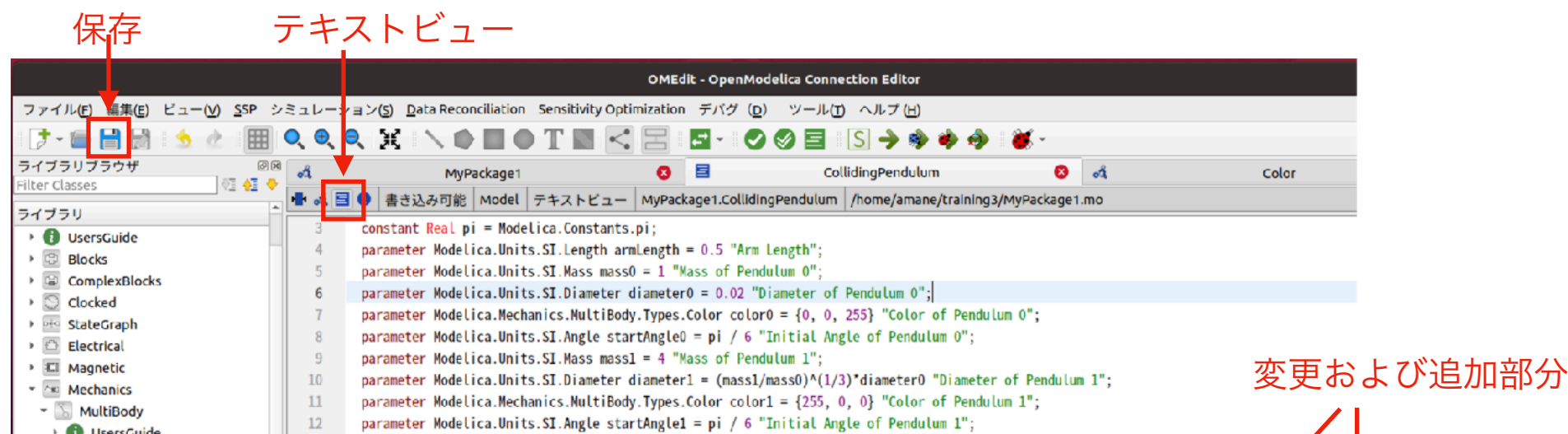
```

/tmp/OpenModelica_amine/OMEdit/MyPackage1.CollidingPendulum/CollidingPendulum -port=40655 -
LogFormat=xmltcp -
override=startTime=0,stopTime=10,stepSize=0.02,tolerance=1e-06,solver=dassl,outputFormat=mat,v
  
```

X: 99, Y: -40 ようこそ モデリング プロ

① [モデリング] タブに切り替える。

⑦ テキストビューに切り替え、パラメータを変更および追加する。編集後、保存する。



model CollidingPendulum

```

constant Real pi = Modelica.Constants.pi;
parameter Modelica.Units.SI.Length armLength = 0.5 "Arm Length of Pendulum";
parameter Modelica.Units.SI.Mass mass0 = 1 "Mass of Pendulum 0";
parameter Modelica.Units.SI.Diameter diameter0 = 0.02 "Diameter of Pendulum 0";
parameter Modelica.Mechanics.MultiBody.Types.Color color0 = {0, 0, 255} "Color of Pendulum 0";
parameter Modelica.Units.SI.Angle startAngle0 = -pi / 6 "Initial Angle of Pendulum 0";
parameter Modelica.Units.SI.Mass mass1 = 4 "Mass of Pendulum 1";
parameter Modelica.Units.SI.Diameter diameter1 = (mass1/mass0)^(1/3)*diameter0 "Diameter of Pendulum 1";
parameter Modelica.Mechanics.MultiBody.Types.Color color1 = {255, 0, 0} "Color of Pendulum 1";
parameter Modelica.Units.SI.Angle startAngle1 = pi / 6 "Initial Angle of Pendulum 1";
parameter Modelica.Units.SI.Length gap = 0.001 "Distance Between 2 Pendulums";

```

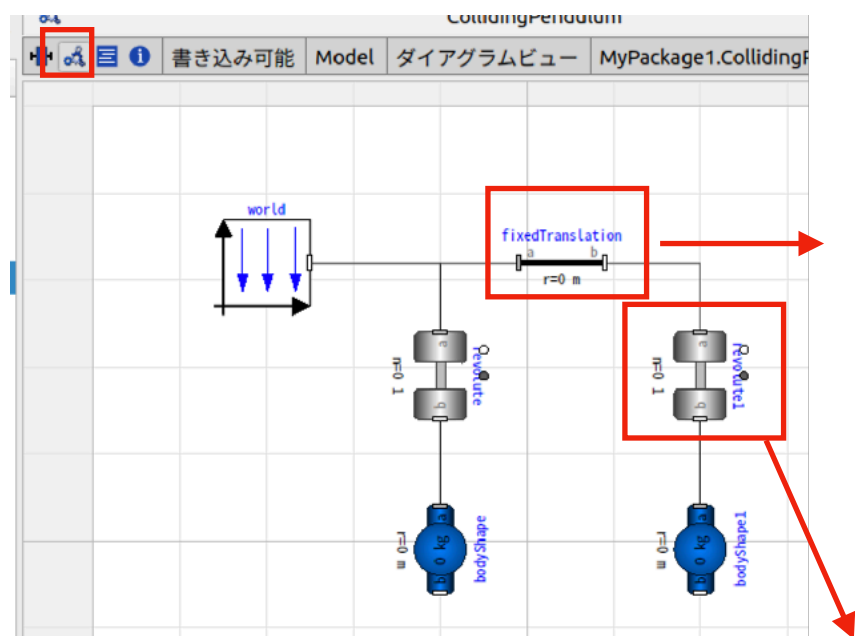
```

inner Modelica.Mechanics.MultiBody.World world(animateGravity = false) annotation( ...);

```

...

⑧ コンポーネントのパラメータを設定する。



OMEdit - Element Parameters - fixedTranslation in MyPackage1.CollidingPendulum

パラメータ

General Animation Modifiers

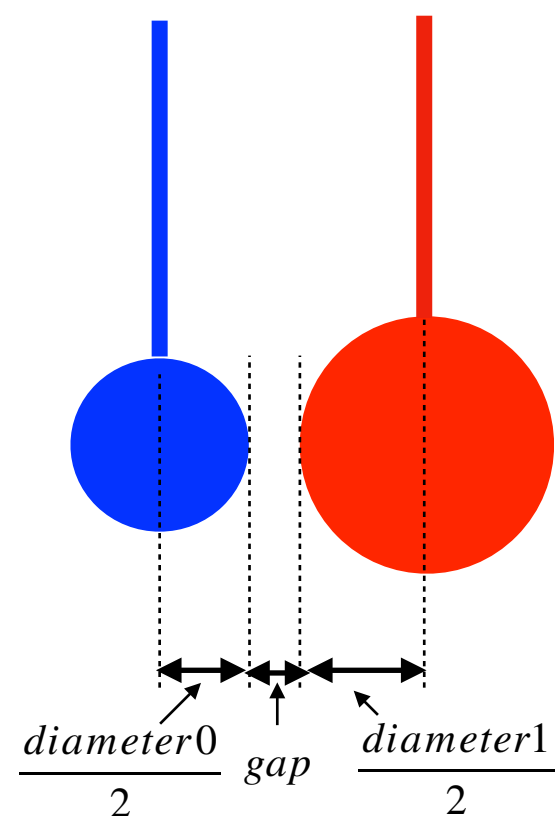
コンポーネント
名前: fixedTranslation

クラス
パス: Modelica.Mechanics.MultiBody.Parts.FixedTranslation
コメント: Fixed translation of frame_b with respect to frame_a

Parameters
animation: true = true, if animation shall be enabled
r: {gap + diameter0 / 2 + diameter1 / 2, 0, 0} m Vector from frame_a to frame_b resolved in frame_a

OK キャンセル

$$\mathbf{r} = \left\{ \text{gap} + \frac{\text{diameter0}}{2} + \frac{\text{diameter1}}{2}, 0, 0 \right\}$$



OMEdit - Element Parameters - revolute1 in MyPackage4.CollidingPendulum

パラメータ

General Animation Advanced Modifiers

コンポーネント
名前: revolute1

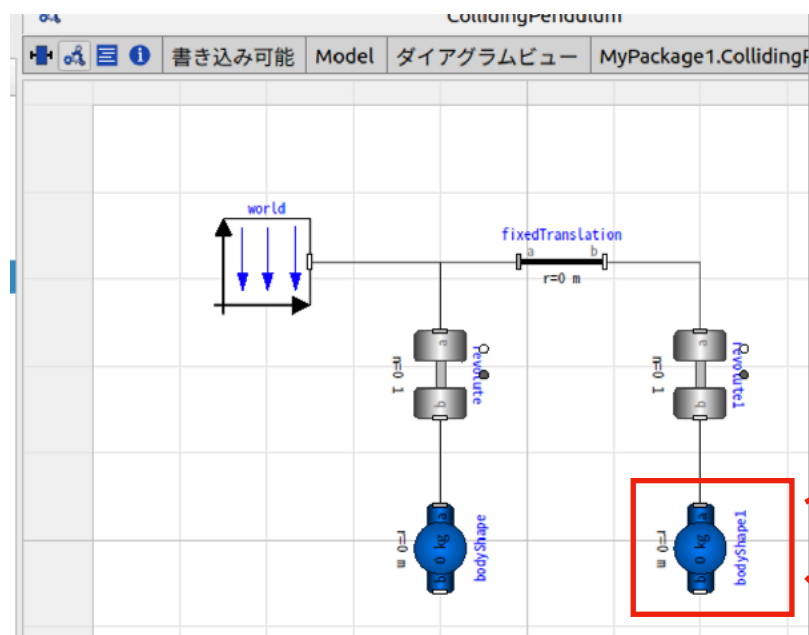
クラス
パス: Modelica.Mechanics.MultiBody.Joints.Revolute
コメント: Revolute joint (1 rotational degree-of-freedom, 2 potential states, optional axis flange)

Parameters
useAxisFlange: ☐ = true, if axis flange is enabled
animation: true = true, if animation shall be enabled (show axis as cylinder)
n: {0, 0, 1} 1 Axis of rotation resolved in frame_a (= same as in frame_b)

Initialization
phi.start: ☒ startAngle1 - pi / 2 rad Relative rotation angle from frame_a to frame_b
w.start: ☒ 0 rad/s First derivative of angle phi (relative angular velocity)
a.start: ☐ 0 rad/s2 Second derivative of angle phi (relative angular acceleration)

OK キャンセル

$$\varphi_{start} = \text{startAngle1} - \frac{\pi}{2}$$



OMEdit - Element Parameters - bodyShape1 in MyPackage1.CollidingPendulum

パラメータ

General Initialization Animation Advanced Modifiers

コンポーネント
名前: bodyShape1

クラス
パス: Modelica.Mechanics.MultiBody.Parts.BodyShape
コメント: Rigid body with mass, inertia tensor, different shapes for animation, and two frame connectors (12 potential states)

Parameters

animation ☐ = true, if animation shall be enabled (show shape between frame_a and frame_b and optionally a sphere at the center of mass)

animateSphere ☐ = true, if mass shall be animated as sphere provided animation=true

r m Vector from frame_a to frame_b resolved in frame_a

r_CM m Vector from frame_a to center of mass, resolved in frame_a

m kg Mass of rigid body

Inertia tensor (resolved in center of mass, parallel to frame_a)

I_11	0.001	kg.m2	Element (1,1) of inertia tensor
I_22	0.001	kg.m2	Element (2,2) of inertia tensor
I_33	0.001	kg.m2	Element (3,3) of inertia tensor
I_21	0	kg.m2	Element (2,1) of inertia tensor
I_31	0	kg.m2	Element (3,1) of inertia tensor
I_32	0	kg.m2	Element (3,2) of inertia tensor

OK キャンセル

$\mathbf{r} = \mathbf{r}_{CM} = \{\text{armLength}, 0, 0\}$
 $m = \text{mass1}$
 $\text{color} = \text{color1}$
 $\text{sphereDiameter} = \text{diameter1}$

OMEdit - Element Parameters - bodyShape1 in MyPackage1.CollidingPendulum

パラメータ

General Initialization Animation Advanced Modifiers

if animation = true

shapeType Type of shape

r_shape m Vector from frame_a to shape origin, resolved in frame_a

lengthDirection 1 Vector in length direction of shape, resolved in frame_a

widthDirection 1 Vector in width direction of shape, resolved in frame_a

length m Length of shape

width m Width of shape

height m Height of shape

extra Additional parameter depending on shapeType (see docu of Visualizers.Advanced.Shape)

color Color of shape

specularCoefficient Reflection of ambient light (= 0: light is completely absorbed)

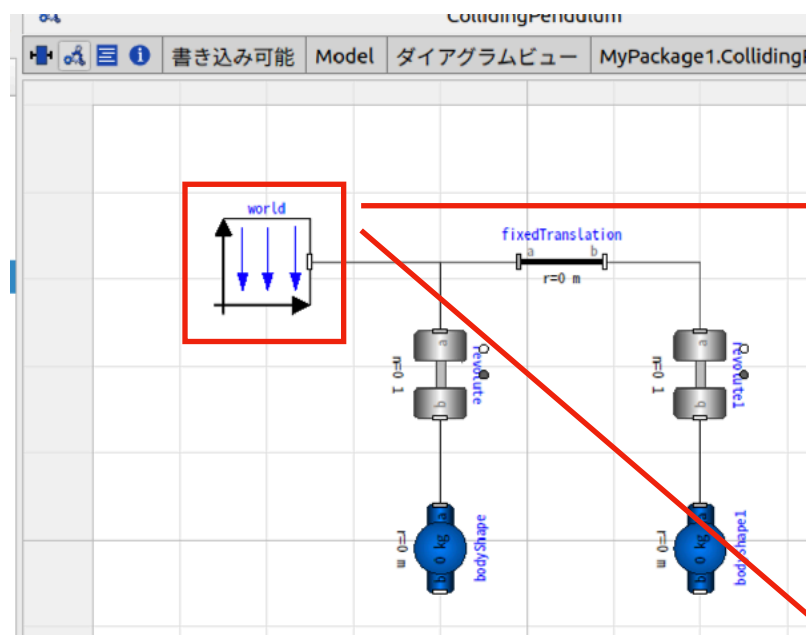
if animation = true and animateSphere = true

sphereDiameter Diameter of sphere

sphereColor Color of sphere of mass

OK キャンセル

⑨ 座標軸やジョイントの表示を調整する。
(小さくする)



OMEdit - Element Parameters - world in MyPackage1.CollidingPendulum

パラメータ

General Animation Defaults Modifiers

if animateWorld = true

axisLength 0.1 m Length of world axes arrows

axisDiameter axisLength / defaultFrameDiameterFraction m Diameter of world axes arrows

axisShowLabels true = true, if labels shall be shown

axisColor_x Modelica.Mechanics.MultiBody.Types.Defaults.FrameColor Color of x-arrow

axisColor_y axisColor_x

axisColor_z axisColor_x Color of z-arrow

if animateGravity = true and gravityType = UniformGravity

gravityArrowTail {0, 0, 0} m Position vector from origin of world frame to arrow tail, resolved in world frame

gravityArrowLength axisLength / 2 m Length of gravity arrow

gravityArrowDiameter gravityArrowLength / defaultWidthFraction m Diameter of gravity arrow

gravityArrowColor {0, 230, 0} Color of gravity arrow

if animateGravity = true and gravityType = PointGravity

gravitySphereDiameter 12742000 m Diameter of sphere representing gravity center (default = mean diameter of earth)

gravitySphereColor {0, 230, 0} Color of gravity sphere

if animateGround = true and gravityType = UniformGravity

groundAxis_u if abs(n[1]) >= 0.99 then {0, 1, 0} else {1, 0, 0} 1 Vector along 1st axis (called u) of ground plane, resolved in world frame (should be perpendicular to gravity direction)

groundLength_u 2 m Length of ground plane along groundAxis_u

groundLength_v groundLength_u m Length of ground plane perpendicular to groundAxis_u

groundColor {200, 200, 200} Color of ground plane

OK キャンセル

$axisLength = 0.1$

$defaultJointLength = defaultJointWidth = 0.02$

OMEdit - Element Parameters - world in MyPackage1.CollidingPendulum

パラメータ

General Animation Defaults Modifiers

Parameters

nominalLength 1 m Nominal length of multi-body system

defaultAxisLength nominalLength / 5 m Default for length of a frame axis (but not world frame)

defaultJointLength 0.02 m Default for the fixed length of a shape representing a joint

defaultJointWidth 0.02 m Default for the fixed width of a shape representing a joint

defaultForceLength nominalLength / 10 m Default for the fixed length of a shape representing a force (e.g., damper)

defaultForceWidth nominalLength / 20 m Default for the fixed width of a shape representing a force (e.g., spring, bushing)

defaultBodyDiameter nominalLength / 9 m Default for diameter of sphere representing the center of mass of a body

defaultWidthFraction 20 Default for shape width as a fraction of shape length (e.g., for Parts.FixedTranslation)

defaultArrowDiameter nominalLength / 40 m Default for arrow diameter (e.g., of forces, torques, sensors)

defaultFrameDiameterFraction 40 Default for arrow diameter of a coordinate system as a fraction of axis length

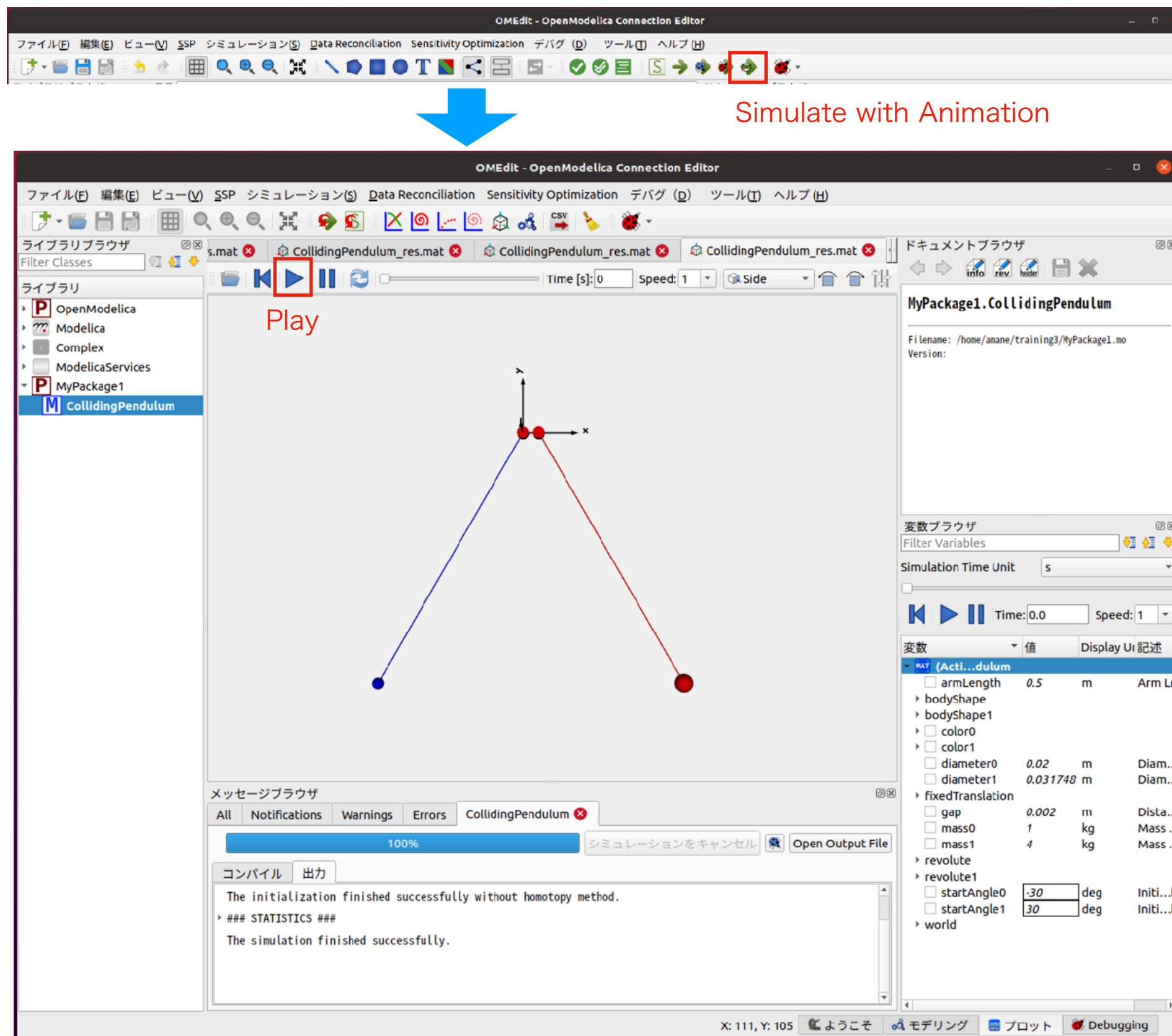
defaultSpecularCoefficient 0.7 Default reflection of ambient light (= 0: light is completely absorbed)

defaultLN_to_m 1000 N/m Default scaling of force arrows (length = force/defaultLN_to_m)

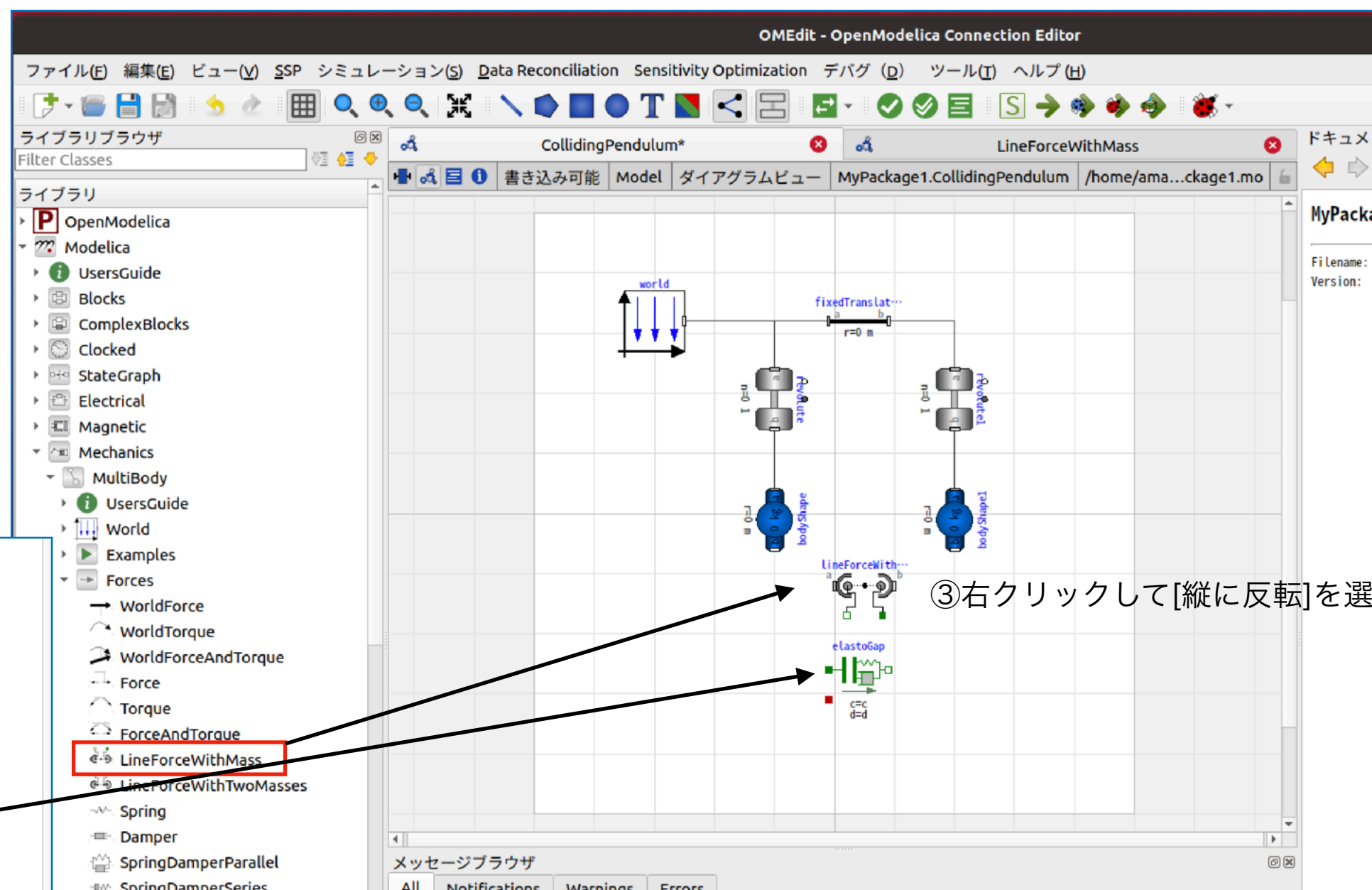
defaultNm_to_m 1000 N.m/m Default scaling of torque arrows (length = torque/defaultNm_to_m)

OK キャンセル

⑩シミュレーションを実行し、結果のアニメーションを動かす。



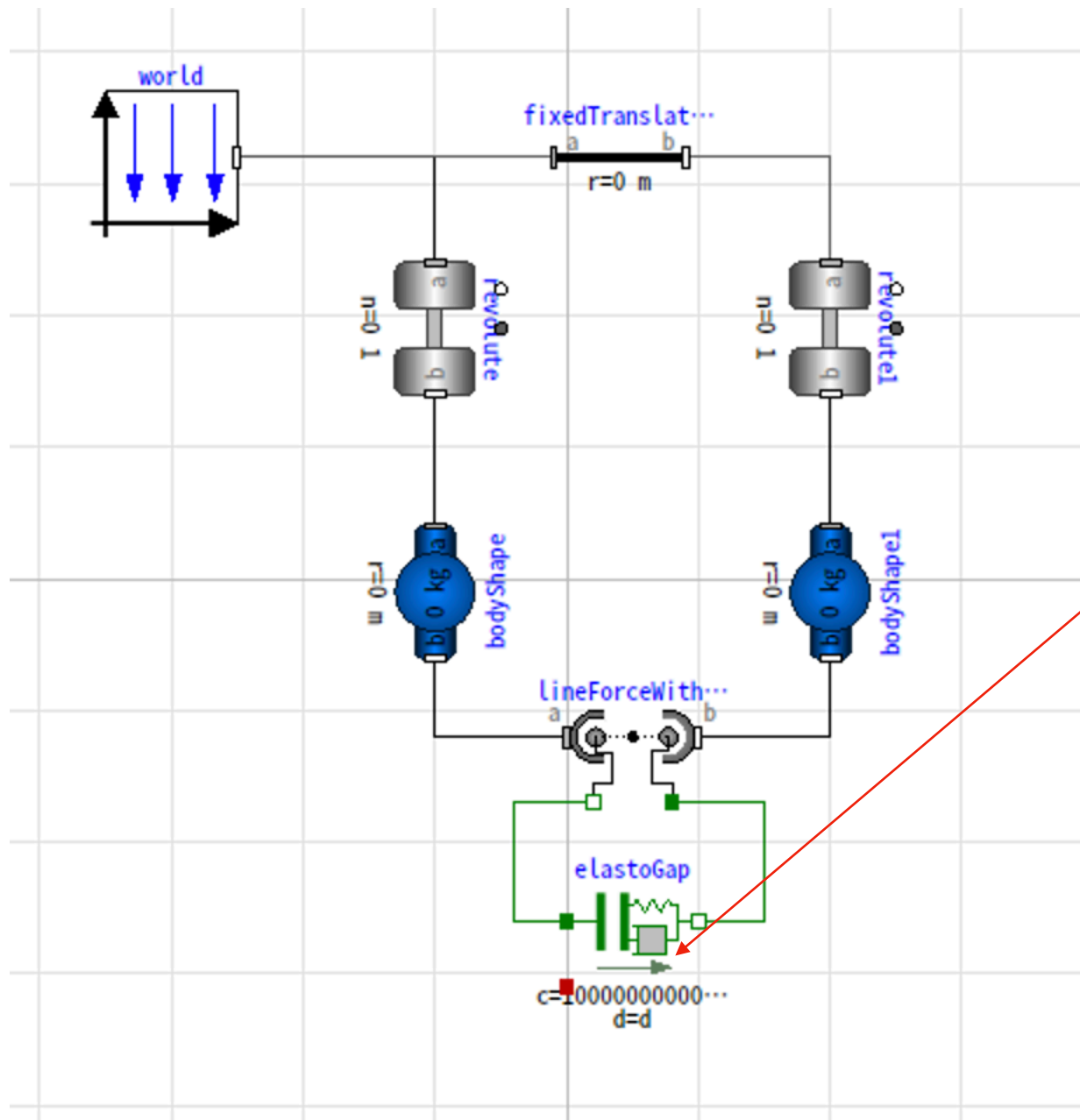
衝突のモデル化



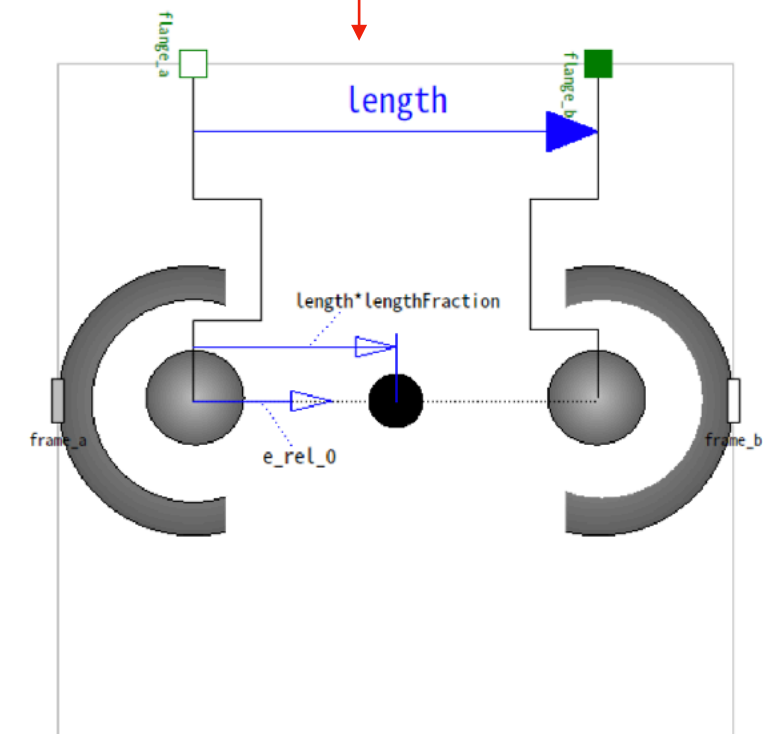
③右クリックして[縦に反転]を選択する。

- ①[モデリング]タブの[ダイアグラムビュー]に切り替える。
- ②Modelica.Mechanics.Multibody.Forces.LineForceWithMass と Modelica.Mechanics.Translational.Components.ElastoGap をドラッグ・アンド・ドロップする。

④コンポーネントを下図のように接続する。

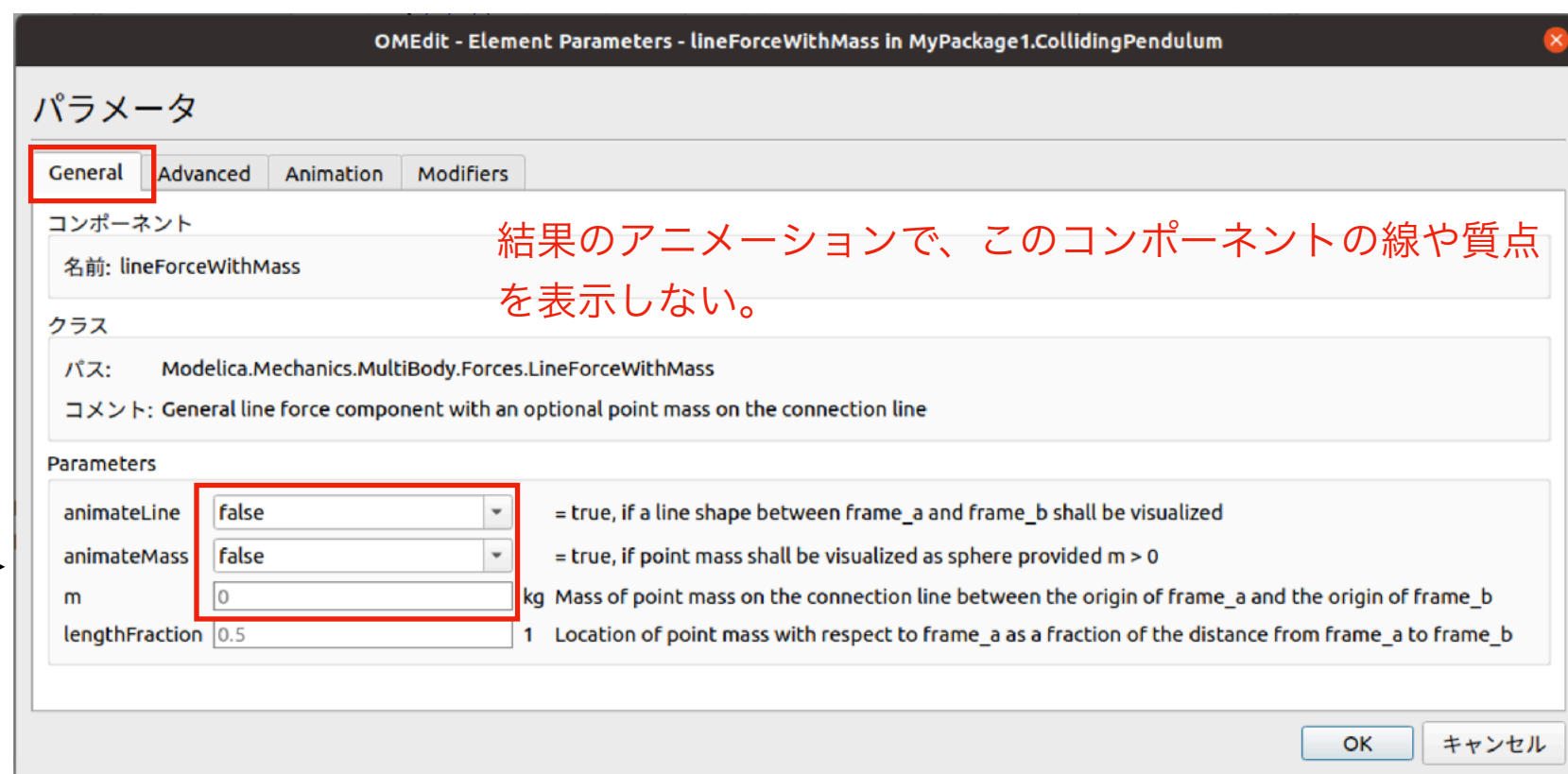
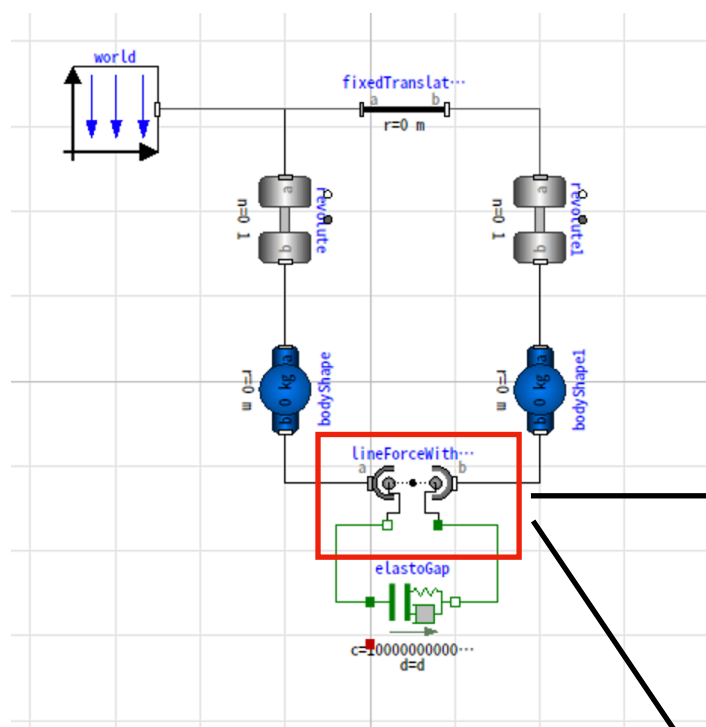


矢印の向き（長さが増大する向き）
をあわせる。



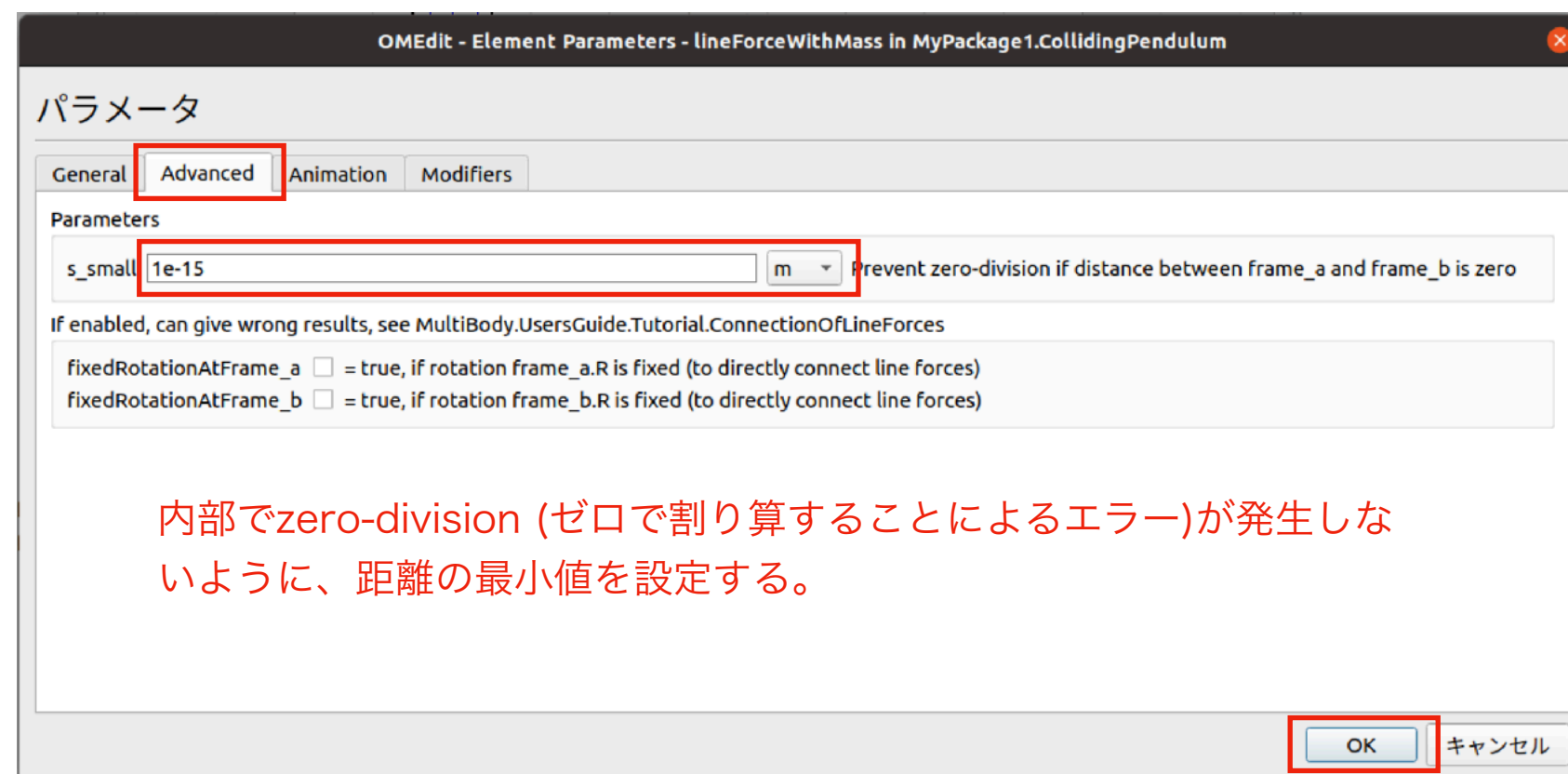
LineForceWithMassのダイアグラムビュー

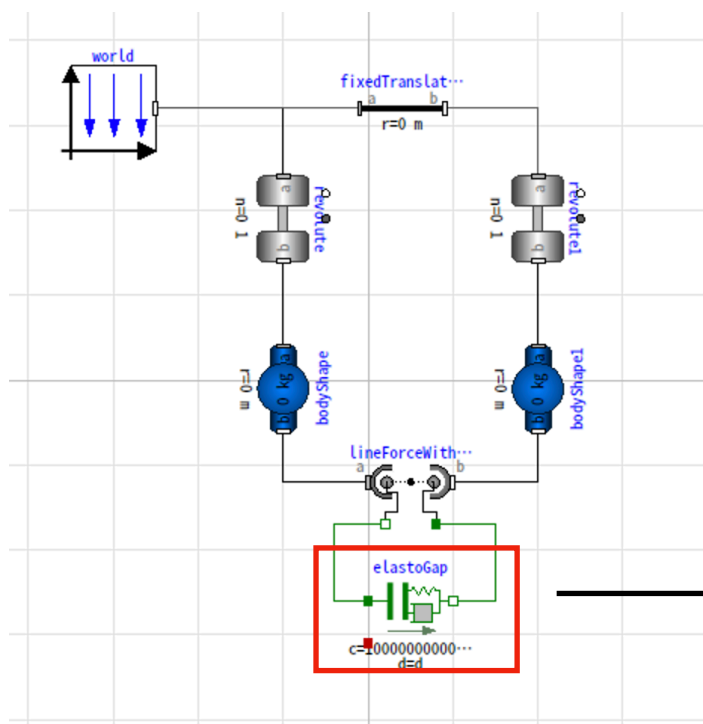
⑤コンポーネントの
パラメータを設定する。



LineForceWithMass

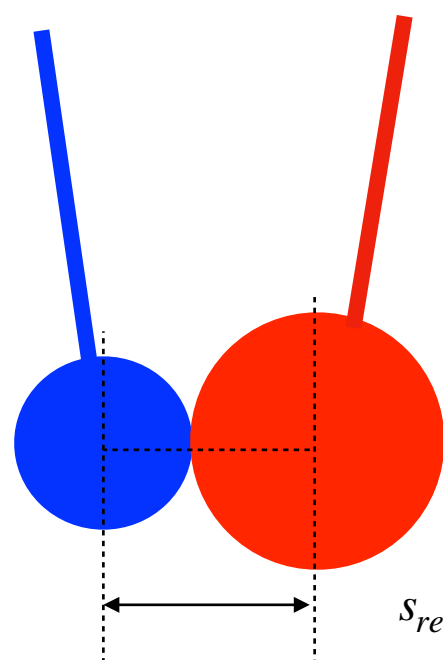
- 2点間の直線状のちからを表現するコンポーネント。
- Translational コンポーネント（一次元並進機構系）を接続して力を表現する。
- 力を発生するものの質量を質点で表現するオプションがある。





ElastoGap

- 2点間の距離が s_{rel0} 以下になると Spring による弾性力と Damper による抵抗力が発生する。



$c = 1e15$ ばね定数
 $d = 0$ 抵抗係数

$$s_{rel0} = \frac{diameter0}{2} + \frac{diameter1}{2}$$

OMEdit - Element Parameters - elastoGap in MyPackage1.CollidingPendulum

パラメータ

General Advanced Modifiers

コンポーネント

名前: elastoGap
コメント:

クラス

パス: Modelica.Mechanics.Translational.Components.ElastoGap
コメント: 1D translational spring damper combination with gap

Parameters

c	1e15	N/m	Spring constant
d	0	N.s/m	Damping constant
s_rel0	diameter0 / 2 + diameter1 / 2	m	Unstretched spring length
n	1		Exponent of spring force ($f_c = -c * s_{rel} - s_{rel0} ^n$) = true, if heatPort is enabled
useHeatPort	☐		

Initialization

s_rel.start	☐ 0	m	Relative distance (= flange_b.s - flange_a.s)
v_rel.start	☐ 0	m/s	Relative velocity (= der(s_rel))

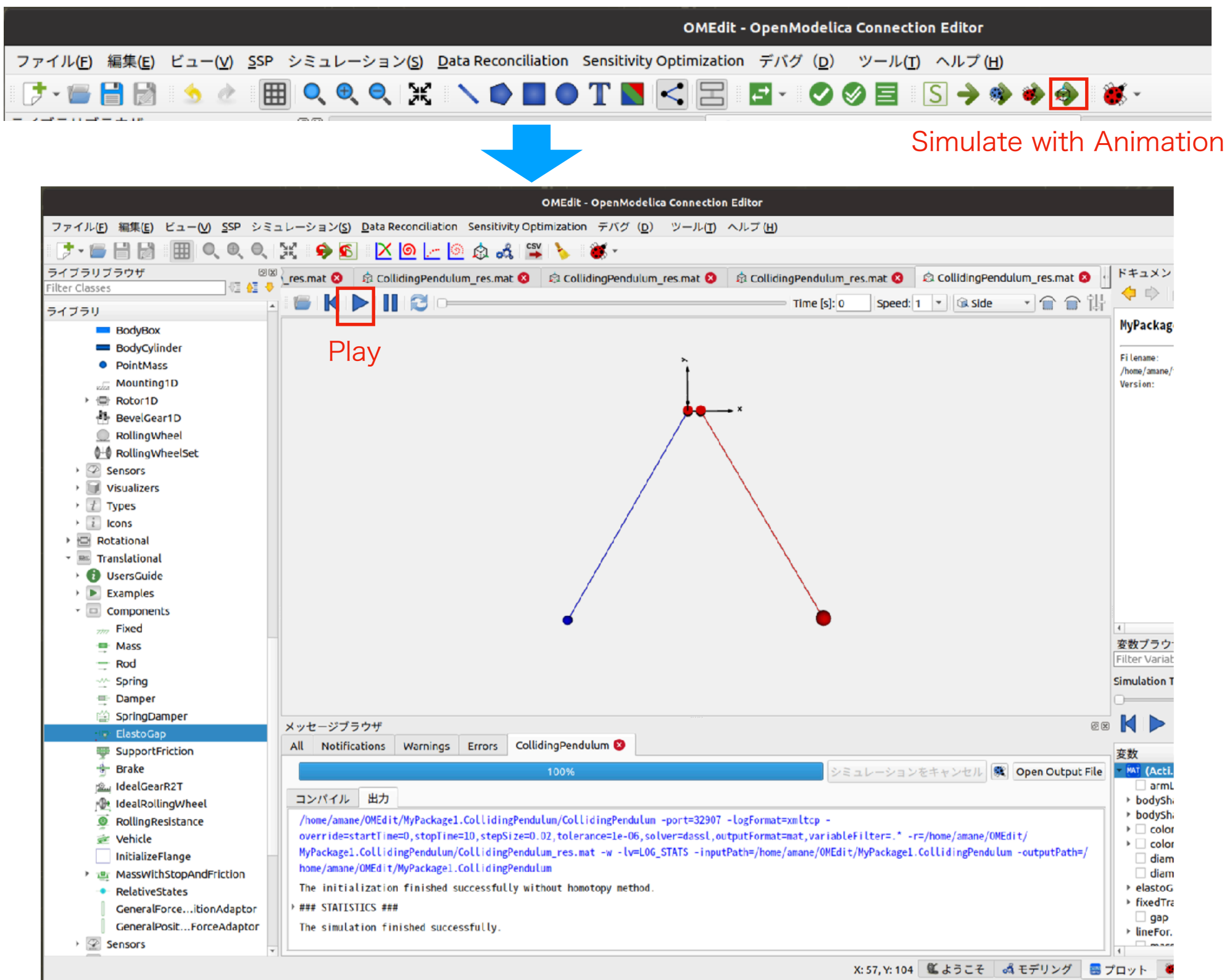
OK キャンセル

ElastoGapの中身については、

OpenModelicaによる一次元並進機構モデル入門 p.41 参照

https://www.amane.to/wp-content/uploads/2021/10/TranslationalComponents_20211110.pdf

⑥シミュレーションを実行し、結果のアニメーションを動かす。



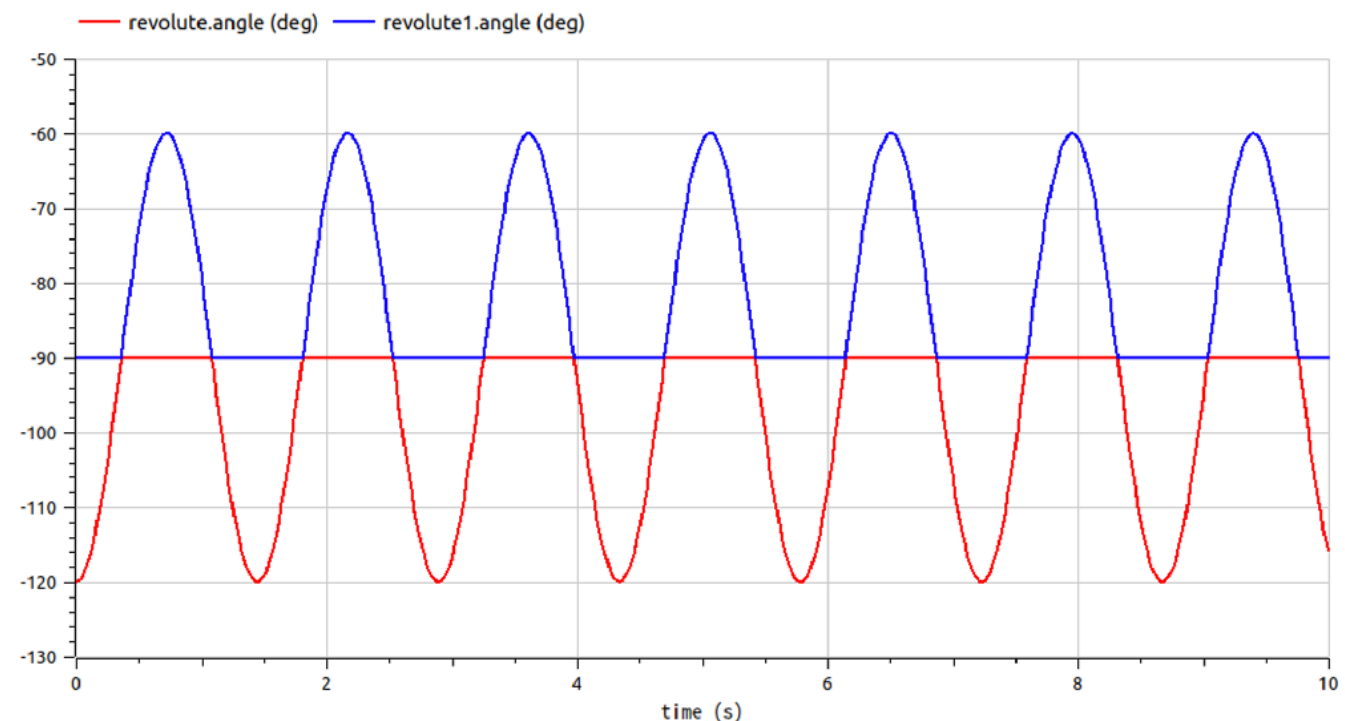
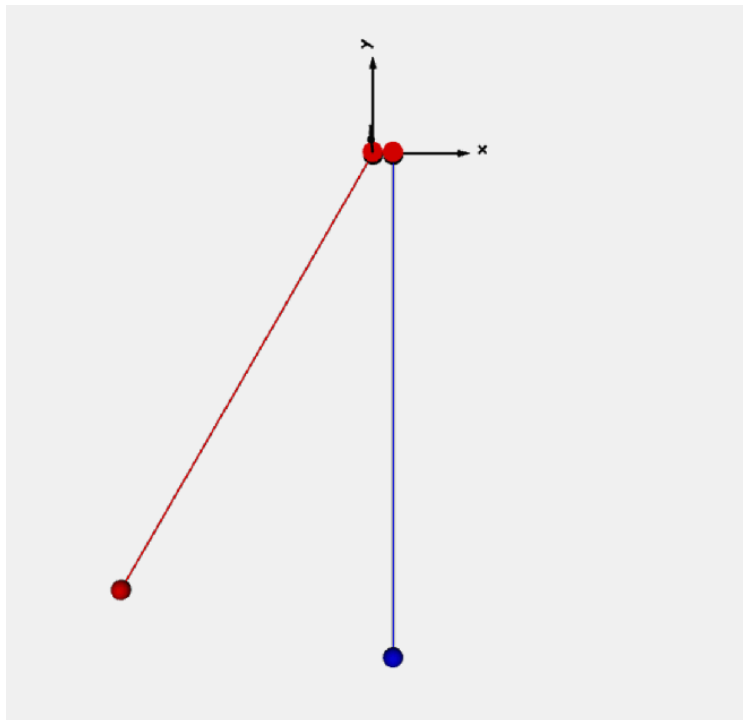
モデルは完成です。モデルパラメータを変更しているいろいろ実験しましょう。

実験 1 同じ質量の振り子を衝突させた場合

```

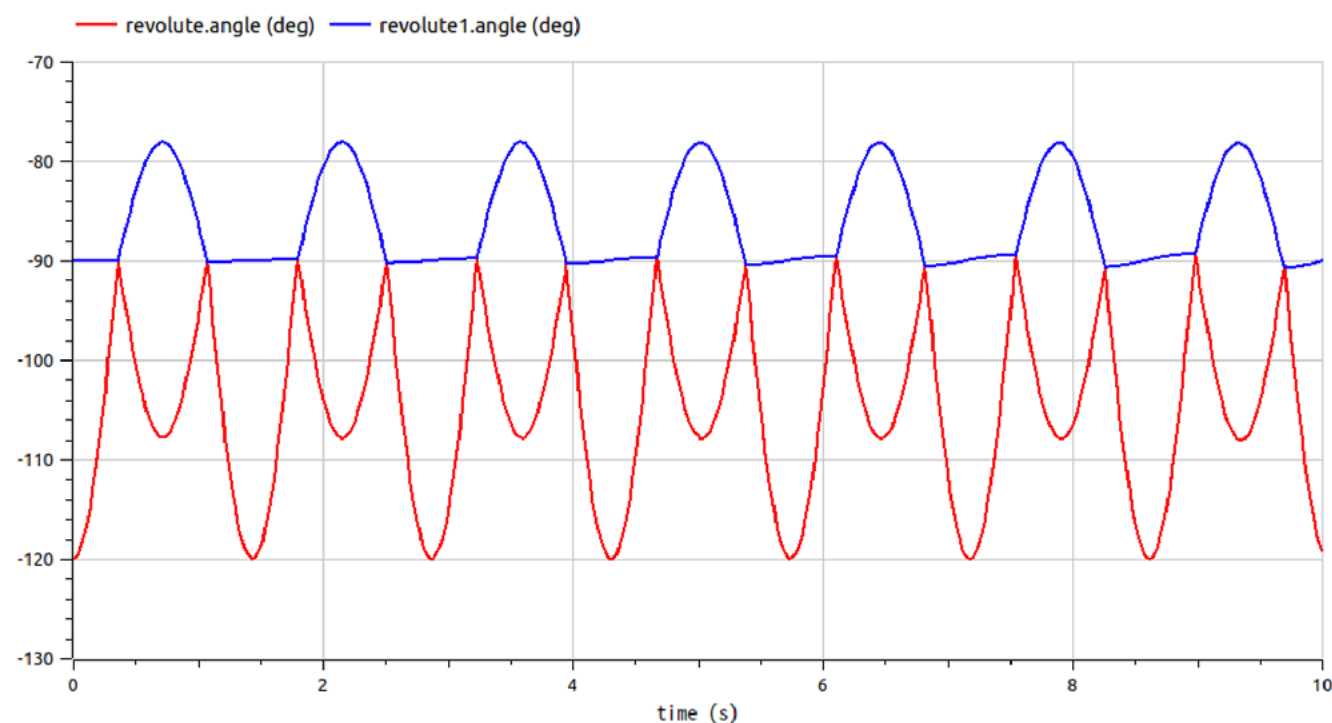
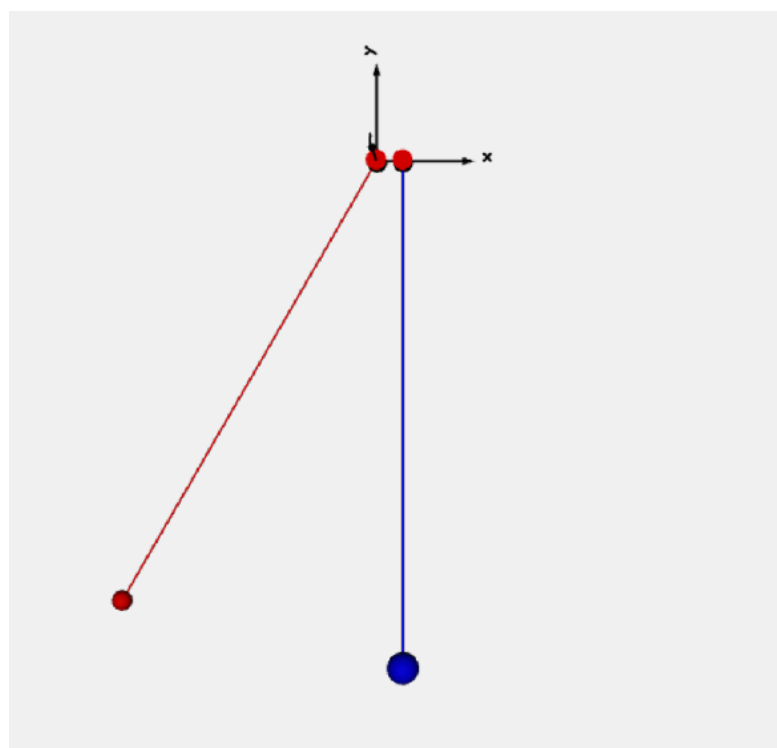
constant Real pi = Modelica.Constants.pi;
parameter Modelica.Units.SI.Length armLength = 0.5 "Arm Length of Pendulum";
parameter Modelica.Units.SI.Mass mass0 = 1 "Mass of Pendulum 0";
parameter Modelica.Units.SI.Diameter diameter0 = 0.02 "Diameter of Pendulum 0";
parameter Modelica.Mechanics.MultiBody.Types.Color color0 = {255, 0, 0} "Color of Pendulum 0";
parameter Modelica.Units.SI.Angle startAngle0 = -pi / 6 "Initial Angle of Pendulum 0";
parameter Modelica.Units.SI.Mass mass1 = 1 "Mass of Pendulum 1";
parameter Modelica.Units.SI.Diameter diameter1 = (mass1/mass0)^(1/3)*diameter0 "Diameter of Pendulum 1";
parameter Modelica.Mechanics.MultiBody.Types.Color color1 = {0, 0, 255} "Color of Pendulum 1";
parameter Modelica.Units.SI.Angle startAngle1 = 0 "Initial Angle of Pendulum 1";
parameter Modelica.Units.SI.Length gap = 0 "Distance Between 2 Pendulums";

```



実験 2 軽い振り子を重い振り子に衝突させた場合

```
constant Real pi = Modelica.Constants.pi;  
parameter Modelica.Units.SI.Length armLength = 0.5 "Arm Length of Pendulum";  
parameter Modelica.Units.SI.Mass mass0 = 1 "Mass of Pendulum 0";  
parameter Modelica.Units.SI.Diameter diameter0 = 0.02 "Diameter of Pendulum 0";  
parameter Modelica.Mechanics.MultiBody.Types.Color color0 = {255, 0, 0} "Color of Pendulum 0";  
parameter Modelica.Units.SI.Angle startAngle0 = -pi / 6 "Initial Angle of Pendulum 0";  
parameter Modelica.Units.SI.Mass mass1 = 4 "Mass of Pendulum 1";  
parameter Modelica.Units.SI.Diameter diameter1 = (mass1/mass0)^(1/3)*diameter0 "Diameter of Pendulum 1";  
parameter Modelica.Mechanics.MultiBody.Types.Color color1 = {0, 0, 255} "Color of Pendulum 1";  
parameter Modelica.Units.SI.Angle startAngle1 = 0 "Initial Angle of Pendulum 1";  
parameter Modelica.Units.SI.Length gap = 0 "Distance Between 2 Pendulums";
```

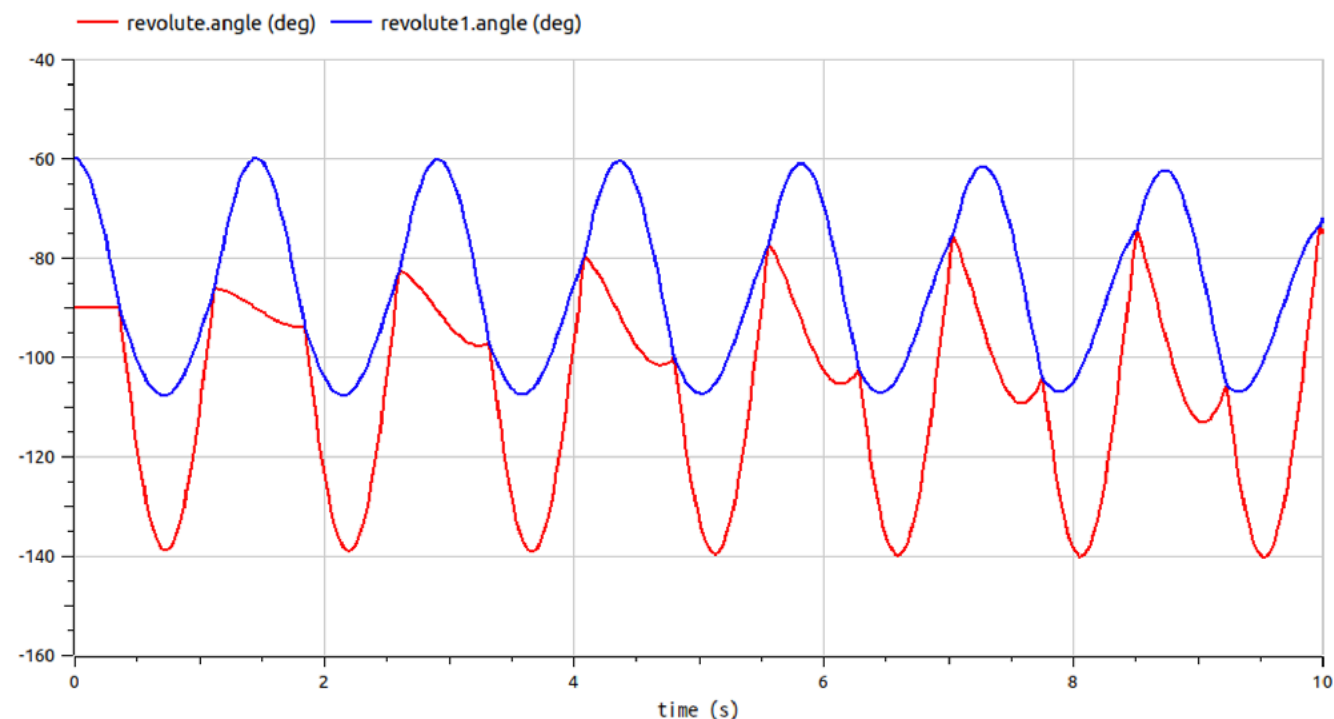
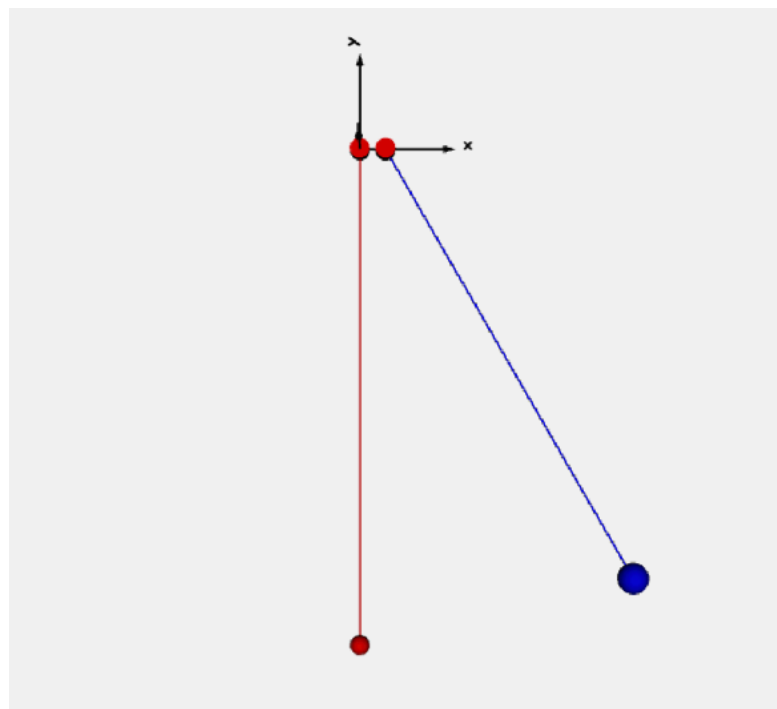


実験3 重い振り子を軽い振り子に衝突させた場合

```

constant Real pi = Modelica.Constants.pi;
parameter Modelica.Units.SI.Length armLength = 0.5 "Arm Length of Pendulum";
parameter Modelica.Units.SI.Mass mass0 = 1 "Mass of Pendulum 0";
parameter Modelica.Units.SI.Diameter diameter0 = 0.02 "Diameter of Pendulum 0";
parameter Modelica.Mechanics.MultiBody.Types.Color color0 = {255, 0, 0} "Color of Pendulum 0";
parameter Modelica.Units.SI.Angle startAngle0 = 0 "Initial Angle of Pendulum 0";
parameter Modelica.Units.SI.Mass mass1 = 4 "Mass of Pendulum 1";
parameter Modelica.Units.SI.Diameter diameter1 = (mass1/mass0)^(1/3)*diameter0 "Diameter of Pendulum 1";
parameter Modelica.Mechanics.MultiBody.Types.Color color1 = {0, 0, 255} "Color of Pendulum 1";
parameter Modelica.Units.SI.Angle startAngle1 = pi / 6 "Initial Angle of Pendulum 1";
parameter Modelica.Units.SI.Length gap = 0 "Distance Between 2 Pendulums";

```



まとめ

OpenModelica と Modelica Multibody ライブラリを使用し、2つの振り子が衝突する問題のシミュレーションモデルの作成する実習例題を示しました。以下のオペレーションについて示しました。

- ・ packageや model の作成方法
- ・ コンポーネントの配置、設定、パラメータ設定
- ・ モデルチェック、モデルのインスタンス化
- ・ シミュレーションの実行方法
- ・ アニメーションの実行方法
- ・ シミュレーション結果のプロット方法
- ・ パラメータの作成方法と設定方法