

MapleSim User's Guide

Copyright © Maplesoft, a division of Waterloo Maple Inc.

2015

MapleSim User's Guide

版權

Maplesoft、MapleSim、Maple は、すべて Waterloo Maple Inc. の商標です。

© Maplesoft, a division of Waterloo Maple Inc. 2008-2013. All rights reserved.

本書のいかなる部分も、電子的、機械的、写真、記録など形式および手段を問わず、複製、検索システムへの保存、転写を行うことを禁止します。本書の情報は、予告なく変更することがあり、販売元がその内容を保証するものではありません。本書で説明しているソフトウェアは、ライセンス合意に基づいて提供されるもので、その合意に従う場合に限り使用および複製を許可します。合意で明示的に許可されている場合を除き、メディアを問わずソフトウェアをコピーすることは法律違反となります。

Java および Java を含むすべての名称は、Sun Microsystems, Inc. のアメリカ合衆国および他の国における商標または登録商標です。Maplesoft は、Sun Microsystems, Inc. とは無関係です。

Linux は、Linus Torvalds の登録商標です。

Macintosh は、Apple Inc. のアメリカ合衆国および他の国で登録された商標です。

Microsoft、Excel、Windows は、Microsoft Corporation の登録商標です。

Modelica は、Modelica Association の登録商標です。

他のすべての商標は、その所有者が所有権を有します。

本書は、Maple の特別バージョンおよび DocBook を使用して作成されています。

Printed in Canada

ISBN 978-1-926902-39-5

目次

はじめに	xv
1 はじめての MapleSim	1
1.1 MapleSim での物理モデリング	1
トポロジー (非因果的) システム表現	1
数理モデルの作成と簡略化	1
拡張微分代数方程式ソルバ	2
非因果的モデリングと因果的モデリング	2
1.2 MapleSim ウィンドウ	7
1.3 基本チュートリアル: RLC 回路と DC Motor のモデリング	9
RLC 回路モデルの作成	10
コンポーネントプロパティの指定	13
プローブの追加	14
RLC 回路モデルのシミュレーション	15
単純な DC Motor モデルの作成	16
DC Motor モデルのシミュレーション	18
2 モデルの構築	21
2.1 MapleSim コンポーネントライブラリ	21
コンポーネントに対するヘルプトピックの表示	22
MapleSim 7 またはそれ以前のバージョンで作成されたモデルの更新	23
2.2 モデルの閲覧	23
モデルツリー	23
モデルナビゲーションコントロール	27
2.3 システムにおけるコンポーネント間の相互作用の定義	28
2.4 コンポーネントプロパティの指定	29
パラメータ単位の指定	30
初期条件の指定	31
2.5 サブシステムの作成と管理	33
例: サブシステムの作成	34
サブシステムの詳細を表示する	35
モデルにサブシステムのコピーを複数追加	36
サブシステム定義と共有サブシステムの編集	39
スタンドアロンサブシステムの操作	44

2.6 グローバルパラメータとサブシステムパラメータ	47
グローバルパラメータ	47
サブシステムパラメータ	50
パラメータブロックの作成	51
パラメータセットの作成	57
パラメータと変数の詳細設定の利用	58
2.7 モデルへのファイルの添付	64
2.8 カスタムライブラリの作成と管理	65
例：既存モデルからカスタムライブラリを作成	66
2.9 モデルへの注釈の追加	68
例：モデルへのテキスト注釈の追加	68
2.10 2-D Math 表記によるテキスト入力	70
2.11 補間テーブルコンポーネントのデータセットの作成	72
例：Maple でのデータセットの作成	72
2.12 ベストプラクティス：モデルの構築	73
ベストプラクティス：サブシステムの作成と配置	73
ベストプラクティス：電気モデルの作成	75
ベストプラクティス：1-D 並進モデルの作成	77
ベストプラクティス：マルチボディモデルの作成	78
ベストプラクティス：油圧モデルの作成	79
ベストプラクティス：初期条件の強制	80
3 カスタムコンポーネントの作成	81
3.1 カスタムコンポーネントについて	81
単純なカスタムコンポーネントの作成	82
一般的な使用方法	84
カスタムコンポーネントテンプレートの使用	85
3.2 信号フローの動作を使用したカスタムコンポーネントの作成	85
簡単な信号フローのカスタムコンポーネントの作成	85
カスタムコンポーネントでの微分方程式の使用	91
3.3 物理的な接続を持つカスタムコンポーネントの作成	91
抵抗のシステム方程式の抽出	92
3.4 MapleSim でのカスタムコンポーネントの使用	93
カスタムコンポーネントにテキストや図を追加する	94
カスタムコンポーネントを現在のモデルの一部として保存する	96

カスタムコンポーネントをカスタムライブラリに追加する	96
カスタムコンポーネントを編集する	96
3.5 例：非線形バネダンパカスタムコンポーネントの作成	97
カスタムコンポーネントテンプレートを開く	98
コンポーネントの名前と方程式の定義	98
コンポーネントのポートの定義	99
次元のチェック	102
カスタムコンポーネントの生成	102
4 モデルのシミュレーションと可視化	105
4.1 MapleSim によるモデルのシミュレーションのしくみ	105
Modelica 記述	105
モデルの記述	105
システム方程式	106
方程式の簡略化	106
積分とイベント処理	106
シミュレーション結果	107
4.2 モデルのシミュレーション	108
シミュレーションとシミュレーションオプションの設定	109
プローブ値の編集	116
シミュレーション結果比較のためのパラメータセットの保存	117
4.3 シミュレーションの進捗状況メッセージ	117
4.4 シミュレーション結果とスナップショットの管理	118
結果の保存	118
スナップショットの保存と使用	119
4.5 プロットウィンドウ設定のカスタマイズ	120
例：複数の物理量を個別のグラフにプロットする	121
例：1つの物理量を別の物理量に対してプロットする	124
4.6 マルチボディモデルの可視化	127
3-D アニメーションとマルチボディの設定	128
3-D ワークスペース	130
3-D モデルの表示と閲覧	132
3-D モデルへの図形の追加	134
3-D ワークスペースでモデルを作成する	138

例: 3-D ワークスペースで二重振り子のモデルを作成して動画を再生する	142
4.7 ベストプラクティス: モデルのシミュレーションと可視化	151
時間がかかるシミュレーションの実行には外部の C コンパイラを使用する	151
モデルの一部で生成される結果を比較する	151
5 モデルの解析と操作	153
5.1 概要	153
MapleSim のテンプレート	153
Maple ワークシートで MapleSim の方程式とプロパティを扱う	156
サブシステムの使用	157
5.2 モデルからの方程式とプロパティの取得	158
5.3 線形系の解析	159
パラメータや変数の操作 (オプション)	160
解析とシミュレーション	160
コンポーネントの作成	161
5.4 パラメータの最適化	161
5.5 モデルからの C コードの生成とエクスポート	163
MapleSim でエクスポートする場合のモデルの準備	164
コード生成テンプレートの添付	166
サブシステムのロード	167
特定のポートに対するパラメータ値のカスタマイズ、定義、および割り当て	167
コード生成オプションの選択	168
C コードの生成と保存	171
5.6 外部 C コード/ライブラリからカスタムコンポーネントを生成	172
外部 C コード/DLL テンプレートを開く	173
C/ライブラリコードの場所とオプションを指定します。	173
C/ライブラリコードの場所とオプションの定義	175
C コードの生成と保存	176
5.7 Maple の埋め込みコンポーネントを扱う	177
5.8 Maple の標準的なワークシートを扱う	177
6 MapleSim チュートリアル	179
6.1 チュートリアル 1: ギアボックス付き DC Motor のモデリング	179

DC Motor のモデルにギアボックスを追加する	180
ギアボックス付き DC Motor モデルのシミュレーション	181
DC Motor コンポーネントをグループ化してサブシステムを作成する ...	182
グローバルパラメータをモデルに代入する	183
入出力値の変更	185
6.2 チュートリアル 2: ケーブル張力コントローラのモデリング	187
ケーブル張力コントローラのモデルを作成する	188
コンポーネントプロパティの指定	190
ケーブル張力コントローラのシミュレーション	190
6.3 チュートリアル 3: 非線形ダンパのモデリング	192
バネダンパカスタムコンポーネントの生成	192
減衰係数値を与える	192
非線形ダンパモデルの作成	193
サブシステムにパラメータを代入する	197
線形バネ付き非線形ダンパモデルのシミュレーション	199
6.4 チュートリアル 4: 平面スライダクランク機構のモデリング	201
平面リンクサブシステムの作成	202
パラメータの定義と代入	205
クランクとコネクティングロッドエレメントの作成	206
固定フレーム、Sliding Mass、ジョイントエレメントを追加する	207
初期条件の指定	208
平面スライダクランク機構のシミュレーション	209
6.5 チュートリアル 5: カスタムコンポーネントテンプレートの使用	210
例: 温度依存抵抗のモデリング	211
例: コンプライアント接地と区分関数	216
例: カスタムポート	221
カスタムコンポーネントの高度な使用方法	227
6.6 チュートリアル 6: C コード/DLL カスタムコンポーネントテンプレート の使用	232
6.7 チュートリアル 7: 方程式の抽出テンプレートの使用	238
テンプレートの説明	239
バネダンパの方程式の生成	243
バネダンパの方程式の操作	247
6.8 チュートリアル 8: 油圧システムのモデリング	248

計算上の問題	249
基本的な油圧ライブラリコンポーネント	249
基本的な油圧方程式	251
単純な油圧ネットワークの解析	253
油圧流路の制御の概要	257
メカニカルシステムと油圧システム	258
油圧作動油の圧縮率の概要	266
流体慣性モデルの概要	268
ウォーターハンマーモデルの概要	270
油圧カスタムコンポーネントの概要	280
7 リファレンス : MapleSim のキーボードショートカット	283
用語集	289
索引	291

目次

図 1.1: 因果的モデルブロックダイアグラム	2
図 1.2: 非因果的モデルブロックダイアグラム	3
図 1.3: 通過変数と介在変数の単純なモデル	4
図 1.4: 通過変数と介在変数の単純な電気モデル	4
図 1.5: RLC 回路	5
図 1.6: RLC MapleSim 回路	6
図 1.7: MapleSim ウィンドウ	7
図 1.8: 電圧レスポンスのプロット	16
図 1.9: EMF	17
図 1.10: DC Motor のトルクとスピードのプロット	19
図 2.1: モデルツリーの [コンポーネント] ビュー	24
図 2.2: モデルツリーを使用したコンポーネントの選択	26
図 2.3: サブシステムの表示	27
図 2.4: モデルナビゲーションコントロール	28
図 2.5: Unit Conversion Block を使用した単位の指定	31
図 2.6: 初期条件	32
図 2.7: サブシステムグループ	33
図 2.8: サブシステムの作成	34
図 2.9: 複数のサブシステムの定義	37
図 2.10: サブシステムの定義	38
図 2.11: モデルに複数のサブシステムを追加する	39
図 2.12: DC Motor サブシステム	41
図 2.13: サブシステムダイアログのコピー	46
図 2.14: 添付	64
図 2.15: 力を示す矢印の確認	78
図 2.16: 重心配置のベストプラクティス	79
図 2.17: 油圧モデル	80
図 3.1: MapleSim のテンプレート	82
図 3.2: カスタムコンポーネントを定義する方程式	85
図 3.3: ポートのマッピング	86
図 3.4: ポートマッピングの変数	87
図 3.5: 生成されたカスタムコンポーネント	88

図 3.6: 完成したカスタムコンポーネントモデル	88
図 3.7: 2つの質量バネダンパの方程式	91
図 3.8: 2つの質量バネダンパのポートのマッピング	91
図 3.9: 抵抗のポートのマッピング	93
図 3.10: 非線形バネダンパカスタムコンポーネント	97
図 4.1: シミュレーションプロセス	108
図 4.2: シミュレーション結果の進捗状況メッセージ	118
図 4.3: シミュレーションオプション設定のスナップショット	119
図 4.4: 保存結果パレットとスナップショット	120
図 4.5: シミュレーショングラフ	122
図 4.6: カスタムプロットウィンドウ	124
図 4.7: 1つの物理量を別の物理量に対してプロットする	126
図 4.8: 3-D ワークスペース	131
図 4.9: 3-D 表示のコントロール	133
図 4.10: 二重振り子の遠近表示	133
図 4.11: 二重振り子の直交表示	134
図 4.12: 二重振り子のインプリシットジオメトリ	135
図 4.13: 添付形状	136
図 6.1: ケーブル張力コントローラ	191
図 6.2: 非線形ダンパモデル	195
図 6.3: 平面スライダクランク機構	201
図 6.4: 温度依存抵抗	212
図 6.5: 落下するボール	216
図 6.6: バウンドするボールの力学	217
図 6.7: バウンドするボール	219
図 6.8: バウンドするボールの結果	221
図 6.9: カスタムポート	223
図 6.10: カスタムポートの使用	224
図 6.11: 遠心ポンプの水頭流量曲線	227
図 6.12: 遠心ポンプのカスタムコンポーネント	230
図 6.13: Windows 用外部 C コード定義	234
図 6.14: Unix 用外部 C コード定義	234
図 6.15: 引数テーブル	235
図 6.16: パイプの流れ	254

図 6.17: 流路の制御	258
図 6.18: 固定流量源	259
図 6.19: 固定圧力源を使用した並進運動	262
図 6.20: 固定圧力源の結果	263
図 6.21: 固定並進フランジ油圧コンポーネント	264
図 6.22: 固定回転フランジ油圧コンポーネント	264
図 6.23: パスカルの原理の例	266
図 6.24: 油圧作動油の圧縮率	267
図 6.25: 流体慣性を使用しないシステム	269
図 6.26: 流体慣性を使用するシステム	269
図 6.27: 流体慣性を使用する場合と使用しない場合のシステム	270
図 6.28: ウォーターハンマー	272
図 6.29: 離散化されたパイプラインのセグメント	273
図 6.30: ウォーターハンマーの圧力の流量	276
図 6.31: アキュムレータを持つ場合の圧力サージ	279
図 6.32: 水頭流量	280
図 6.33: 遠心ポンプのカスタムコンポーネントの方程式	281
図 6.34: 重力ヘッドのカスタムコンポーネントの方程式	281

表目次

表 1.1: 通過変数と介在変数のドメインタイプ	4
表 1.2: MapleSim ウィンドウコンポーネント	7
表 2.1: MapleSim コンポーネントライブラリ	21
表 2.2: ドメイン固有の結線の色	29
表 2.3: 2-D Math 表記のキーの組み合わせ	71
表 3.1: ポートのマッピング	87
表 3.2: 信号フローコンポーネント	89
表 3.3: 通過変数と介在変数の特徴	92
表 3.4: 通過変数と介在変数の数学的關係	92
表 3.5: 抵抗の変数とパラメータ	92
表 4.1: シミュレーションの設定	110
表 4.2: シミュレーションオプション設定	113
表 4.3: 3-D アニメーションのパラメータ値	128
表 4.4: マルチボディのパラメータ値	130
表 4.5: 3-D ワークスペースのコントロール	132
表 5.1: MapleSim のテンプレート	154
表 6.1: 温度依存抵抗コンポーネント	215
表 6.2: バウンドするボールのマルチボディコンポーネント	220
表 6.3: 遠心ポンプのデータ	228
表 6.4: 円形パイプのパラメータ	228
表 6.5: 遠心ポンプのコンポーネント	229
表 6.6: 外部 C コード DLL カスタムコンポーネントと必要な設定	237
表 6.7: バネダンパのコンポーネントと必要な設定	244
表 6.8: 基本的な油圧ライブラリコンポーネント	250
表 6.9: Bernoulli と Darcy の式の表記	252
表 6.10: 円形パイプのパラメータ	253
表 6.11: 油圧コンポーネントと必要な設定	255
表 6.12: スプール弁	257
表 6.13: 固定流量源を使用した並進運動	260
表 6.14: Translational Motion with a Fixed Pressure Source	262
表 6.15: マルチボディコンポーネントの動作	264
表 6.16: 油圧作動油の圧縮率のコンポーネント	267

表 6.17: 密閉された油圧システムコンポーネント	268
表 6.18: 流体慣性	268
表 6.19: Fluid Properties の値	273
表 6.20: ウォーターハンマーのパラメータ	274
表 6.21: アクムレータパラメータのカスタムコンポーネント	278
表 7.1: モデルの開閉と保存	283
表 7.2: ブロックダイアグラムでのモデルの作成	283
表 7.3: ブロックダイアグラムでのモデルの表示	284
表 7.4: 3-D 表示でのモデルの表示	285
表 7.5: モデルのシミュレーション	286
表 7.6: [プロットウィンドウ] のレイアウト変更	286
表 7.7: その他	287

はじめに

MapleSim の概要

MapleSimTM は、複雑なマルチドメイン物理システムを作成してシミュレーションを行うためのモデリング環境です。物理システムをグラフィック形式で表すコンポーネントダイアグラムを作成することができます。数式処理および数値計算の両方のアプローチを使用することで、MapleSim はコンポーネントダイアグラムから自動的にモデルの数式を生成し、忠実度の高いシミュレーションを実行します。

複雑なマルチドメインモデルの作成

MapleSim を使用すると、さまざまな工学分野のコンポーネントを1つのシステムに統合するモデルを作成できます。MapleSim には、300 以上ものモデリングコンポーネントのライブラリが用意されています。これには、電気、油圧、メカニカル、伝熱といったデバイス、センサやソース、および信号ブロックなどが含まれます。さらに、モデリングやシミュレーションに対するユーザのニーズに合わせてカスタムコンポーネントを作成することもできます。

高度な数式処理および数値計算機能

MapleSim は、MapleTM の高度な数式処理機能および数値処理機能を使用して、物理システムの挙動をシミュレーションする数理モデルを生成します。そのため、数式に簡略化テクニックを適用して簡潔かつ数値的効率の高いモデルを作成することができます。

組み込みの分析ツールとテンプレート

MapleSim には、Maple ワークシート形式のさまざまなテンプレートが用意されています。これらのテンプレートを使用して、モデル数式を表示したり、パラメータ最適化などの高度な解析タスクを実行したりすることができます。モデルを解析してシミュレーション結果を対話形式で表示するには、埋め込みコンポーネント、プロットツール、ドキュメント作成ツールなどの Maple 機能を使用できます。また、モデルを C コードに変換して別のアプリケーションやツールを使用

して作業することもできます。これには、リアルタイムでシミュレーションを実行できるアプリケーションなどが含まれます。

対話型 3-D 可視化ツール

MapleSim の 3-D アニメーション環境では、マルチボディメカニカルシステムモデルの 3 次元グラフィック表現を構築してアニメーションを作成することができます。この環境を使用して、モデルの 3-D 設定を検証したり、条件やシミュレーション開始時間を変更した場合のシステムの挙動を視覚的に解析したりすることができます。

関連製品

MapleSim 2015.1 を使用するには、Maple 2015.1 が必要です。

また、MaplesoftTM は、工学設計プロジェクト向けに、Maple および MapleSim の機能を拡張するツールボックス、アドオン、その他のアプリケーションを提供しています。これらの製品の一覧については、

<http://www.maplesoft.com/products> を参照してください。

関連リソース

リソース	説明
MapleSim インストールガイド	MapleSim のシステム要件およびインストール手順。 MapleSim インストールガイド は、MapleSim インストール DVD の Install.html ファイルに含まれています。
MapleSim ヘルプシステム	次の情報が提供されています。 <ul style="list-style-type: none"> • MapleSim ユーザガイド : MapleSim に関する概念的な情報、MapleSim 機能の概要、および始めて使用する際に役立つ例題など。 • MapleSim 操作方法 : モデルの構築、シミュレーション、解析タスクに関するヘルプ。 • MapleSim コンポーネントライブラリ : MapleSim で利用できるモデリングコンポーネントの説明。
MapleSim 例題	さまざまなエンジニアリング分野からのモデルの例。これらのモデルは MapleSim ウィンドウの左側にある [ライブラリ] タブの [アプリケーションと事例] パレットにあります。
MapleSim ユーザガイドの例題	ユーザガイドで使用されているモデルと例題。これらのモデルは MapleSim ウィンドウの左側にある [ライブラリ] タブの [アプリケーションと事例] > [ユーザガイドの例題] パレットにあります。例題は章別になっており、ユーザガイドで使用される順に並んでいます。
MapleSim オンラインリソース	トレーニングウェビナー、製品デモ、ビデオ、サンプルアプリケーションなど。 詳細は、 http://www.maplesoft.com/products/maplesim をご覧ください。
MapleSim モデルギャラリー	サンプルモデル、カスタムコンポーネント、解析テンプレートの集合。これらは、ダウンロードしてユーザの MapleSim プロジェクトで使用することができます。 詳細は、 http://www.maplesoft.com/products/maplesim/modelgallery/ をご覧ください。

追加情報については、http://www.maplesoft.com/site_resources をご覧ください。

サポートについて

カスタマーサポートまたはテクニカルサポートを受けるには、<http://www.maplesoft.com/support> をご覧ください。

カスタマーフィードバック

Maplesoft はユーザからのフィードバックを歓迎します。MapleSim 製品のドキュメントに関連するコメントは、doc@maplesoft.com までご連絡ください。

第1章 はじめての MapleSim

この章の内容は以下のとおりです。

- *MapleSim* での物理モデリング [1ページ]
- *MapleSim* ウィンドウ [7ページ]
- 基本チュートリアル: RLC 回路と DC Motor のモデリング [9ページ]

1.1. MapleSim での物理モデリング

物理モデリング (物理ベースのモデリング) は、数学と物理法則を組み合わせ、エンジニアリングにおけるコンポーネントまたは相互接続したコンポーネントシステムの動作を説明します。大部分のエンジニアリングシステムは力学と関連しているため、その動作は一般的に常微分方程式 (ODE) を使用して定義されます。

モデルを速く簡単に作成できるように、MapleSim は以下の機能を備えています。

トポロジー (非因果的) システム表現

従来のモデリングツールで使用される信号フローアプローチでは、システムの入出力を明確に定義する必要があります。一方、MapleSim では、トポロジー表現を使用することにより、信号のフローを考慮する必要なしに、関連コンポーネントを接続することができます。

数理モデルの作成と簡略化

トポロジー表現は、容易に数学表現に対応付けられ、MapleSim の記号機能によってシステム方程式が自動的に生成されます。

MapleSim がシステム方程式を生成するとき、冗長な方程式および、0 や 1 による乗算は数式簡略化ツールによってすべて取り除かれます。そして式は、まとめたり、減らしたりされ、正確さを失わずにシステムを表現する最小集合の方程式になります。

拡張微分代数方程式ソルバ

トポロジーアプローチでは、モデル定義に代数制約が取り入れられています。ODEと代数制約を組み合わせた問題は微分代数方程式 (DAE) と呼ばれます。制約の性質によって DAE の問題の複雑度が変わる場合があります。問題の複雑度は DAE のインデックスで示されます。DAE のインデックスが大きくなると、複雑度も高くなります。

複雑な DAE のための汎用ソルバの開発は、記号計算の分野における多くの研究のテーマです。計算エンジンとして Maple を採用している MapleSim は、高インデックス DAE を解く、最新の記号技術と数値技術を集結した高度な DAE ソルバを実現しています。

非因果的モデリングと因果的モデリング

モータやパワートレインなど本物の機械は相互作用する一連の物理コンポーネントから成り立っており、一般的に、ブロックダイアグラムを使用してモデリングされます。2つのブロックがラインで接続されている場合、これらは物理法則によって結ばれていることを示します。ソフトウェアによるシミュレーションについて、ブロックダイアグラムは因果的または非因果的に分類することができます。

因果的モデリング

多くのシミュレーションツールは因果的 (信号フロー) モデリングに限定されています。これらのツールでは、基本的に時変数値である単方向信号がブロックの方向に流れます。ブロックでは、信号に対しあらかじめ定義されている数学操作が実行され、結果はブロックの反対側から出力されます。このアプローチは、制御システムやデジタルフィルタなど信号が単方向にしか進まないモデリングシステムに適しています。

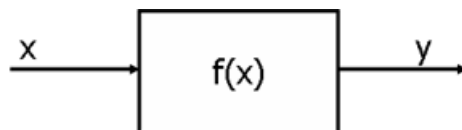


図1.1 因果的モデルブロックダイアグラム

このアプローチは代入に似ており、右側で既知変数または変数集合に関する計算が行われ、結果が左側の別の変数に代入されます。

$$y := f(x)$$

非因果的モデリング

実際の物理コンポーネントがどのように相互作用するかをモデリングするには別のアプローチが必要です。非因果的モデリングでは、接続された2つのブロックからの信号は両方向に流れます。プログラミングでは、単純な等式に似ているといえます。

$$y = f(x)$$

信号には、エネルギーや電流、回転力、熱流量、質量流など、どの物理量を保存する必要があるかなどの情報が含まれます。そしてブロックには、従う必要がある物理法則(方程式)などの情報、つまり、保存する必要がある物理量が含まれます。

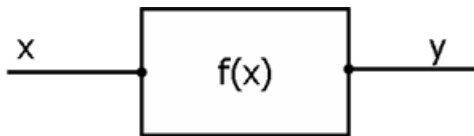


図1.2 非因果的モデルブロックダイアグラム

MapleSim では、両方のアプローチを使用することができます。たとえば、関連するロジックとのシミュレーションには物理システムを非因果的モデリングで表し、制御ループのシミュレーションには因果的モデリングを使用するなど、実行するタスクに最適なアプローチを選択することができます。

通過変数と介在変数

非因果的モデリングアプローチを使用する場合、モデリングしているコンポーネントの通過変数と介在変数の確認が有効です。一般的に、介在変数はシステム内の原動力を表し、通過変数は保存量の流れを表します。通過変数は、保存量の符号の規則で流れ方向も決定します。

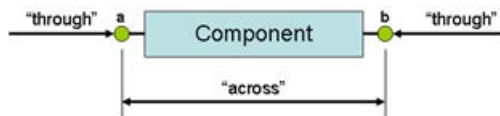


図1.3 通過変数と介在変数の単純なモデル

符号の規則の例および矢印の方向がモデル上で作用する力をどのように表すかについては、[ライブラリ] タブの [アプリケーションと事例] > [ユーザガイドの例題] > [第 1 章] メニューから [Constant Acceleration]、[Sign Convention] および [Arrow Convention] の各例題を参照してください。

次の例では、電子回路の通過変数 i は電流、介在変数 V は電圧降下を表しています。

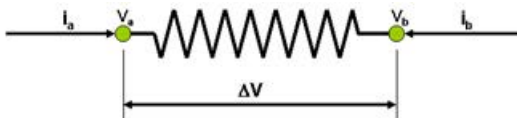


図1.4 通過変数と介在変数の単純な電気モデル

下の表は、ほかのドメインにおける通過変数と介在変数の例です。

通過変数と介在変数のドメインタイプ

ドメイン	通過	介在
電気	電流 (A)	電圧 (V)
磁気	磁束 (Wb)	MMF (A)
メカニカル (並進)	力 (N)	位置 ($\frac{m}{s}$)
メカニカル (回転)	トルク ($N.m$)	角度 ($\frac{rad}{s}$)
油圧	流量 ($\frac{m^3}{s}$)	圧力 ($\frac{N}{m^2}$)
熱流量	熱流量 (W)	温度 (K)

簡単な例を挙げると、抵抗の支配方程式は以下のように表されます。

$$V = R \cdot i$$

上記方程式に Kirchhoff の電流保存の法則を組み合わせると、回路を完全に表現することができます。

$$R \cdot i_b = V_b - V_a \text{ および } i_b + i_a = 0$$

この例を拡張した下の回路図は、Resistor (抵抗)、Inductor (コイル) と Capacitor (コンデンサ) が直列に接続された電気回路、RLC 回路です。

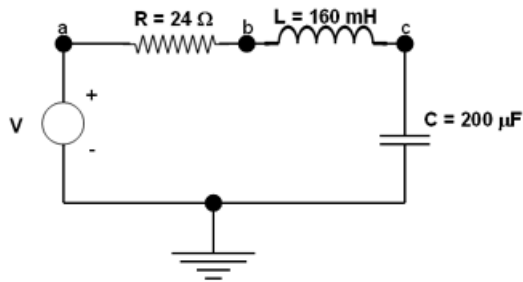


図1.5 RLC 回路

この回路を手動でモデリングする場合、抵抗、コイル、およびコンデンサはそれぞれ以下の特性方程式で表すことができます。

$$R \cdot i_R = V_a - V_b$$

$$L \frac{d}{dt} i_L = (V_b - V_c)$$

$$i_c = C \cdot \frac{d}{dt} V_c$$

Kirchhoff の法則を適用すると、それぞれポイント a、ポイント b、ポイント c について以下の保存方程式が成り立ちます。

$$i_V - i_R = 0$$

$$i_R - i_L = 0$$

$$i_L - i_C = 0$$

これらの方程式を、入力電圧の定義 (シミュレーションを開始して 1 秒後に 0 ボルトから 1 ボルトへ変動と定義) と合わせると、以下の式になります。

$$V_a = \begin{cases} 0.0 & 0.0 \leq t < 1.0 \\ 1.0 & t \geq 1.0 \end{cases}$$

この式からは、モデルを定義し、回路を流れる電流と電圧を求めるために十分な情報が得られます。

MapleSim では、これらの計算がすべて自動的に行われます。つまり、ユーザは回路を描き、コンポーネントのパラメータを指定するだけで十分です。この原則は、MapleSim における全エンジニアリングドメインにおいて同じように適用され、あるドメインのコンポーネントを簡単に別のドメインのコンポーネントと接続することができます。

基本チュートリアル: RLC 回路と DC Motor のモデリング [9ページ]では、上述の RLC 回路をモデリングして、MapleSim の因果的モデルと非因果的モデルを組み合わせる機能について説明しています。以下の図は、作成した RLC 回路図が MapleSim でどのように表示されるかを示しています。

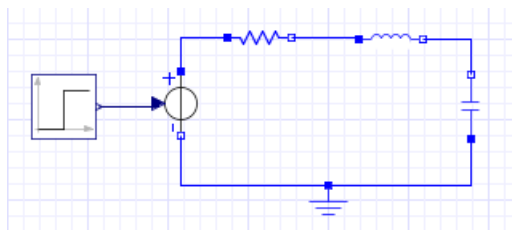


図1.6 RLC MapleSim 回路

因果的コンポーネントと非因果的コンポーネントを使用してモデルを表す別の方法については、[ライブラリ] タブの [アプリケーションと事例] > [ユーザガイドの例題] > [第 1 章] メニューから [Double Mass Spring Damper] の例を参照してください。

1.2. MapleSim ウィンドウ

MapleSim ウィンドウは、以下のペインとコンポーネントで構成されています。

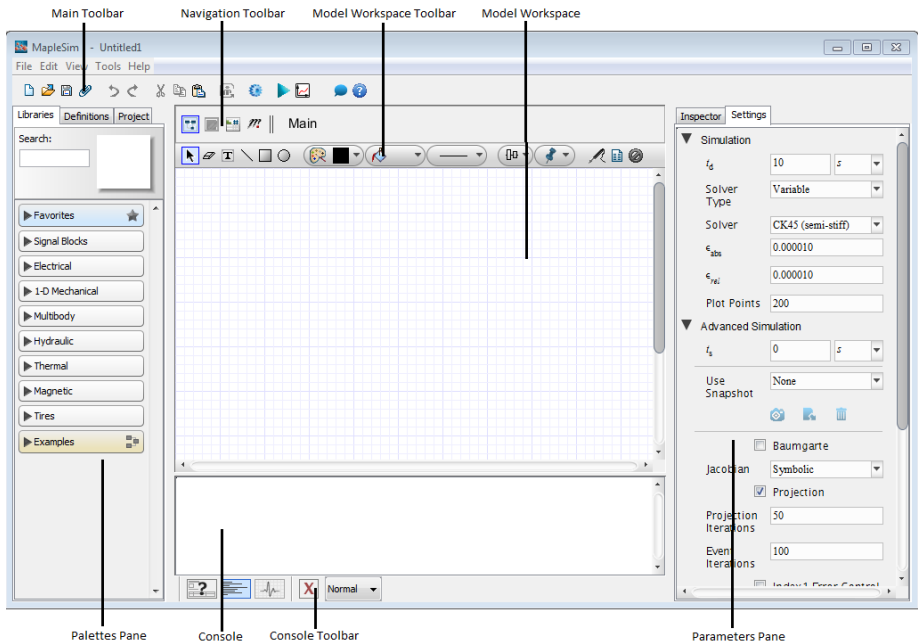






図1.7 MapleSim ウィンドウ

MapleSim ウィンドウコンポーネント

コンポーネント	説明
メインツールバー	シミュレーションを実行するツールやモデルに MapleSim 解析テンプレートを添付するツール、一般的なほかのタスクを実行するツールなどが配置されています。
ナビゲーションツールバー	モデルやサブシステムを階層的に参照したり、モデルの表示を変更するツールが配置されています。また、対応する Modelica® コードを表示するためのツールもあります。
モデルワークスペースのツールバー	オブジェクトを配置したり、選択するツールと注釈やプロンプなどの要素を追加するツールが配置されています。

コンポーネント	説明
モデルワークスペース	ブロックダイアグラムでモデルの構築と編集を行う領域です。
パレットペイン	<p>モデルの作成と、MapleSim プロジェクトの管理に使用できるツールを含む展開可能なメニューが配置されています。このペインは3つのタブで構成されています。</p> <ul style="list-style-type: none"> • [ライブラリ]: モデルの例題およびモデルに追加できるドメイン特有のコンポーネントを含むパレットが配置されています。 • [定義]: モデル内のサブシステムおよびカスタムコンポーネントのパレットが配置されています。 • [プロジェクト]: モデルの閲覧や作成、パラメータセットやプローブ、モデルに添付されるドキュメントの管理に役立つツールを含むパレットが配置されています。
コンソール	<p>コンソールツールバー上のボタンを使用すると、以下のペインを表示できます。</p> <ul style="list-style-type: none"> • ヘルプ: モデリングコンポーネントに関連するヘルプトピックを表示します。 • メッセージコンソール: シミュレーション中に MapleSim エンジンの状態を示す進捗状況メッセージを表示します。 メッセージコンソールの消去 ()を使用するとコンソールをクリアすることができます。 • デバッグ: モデルの構築時にエラーのあるサブシステムを特定し、診断メッセージを表示します。
コンソールツールバー	<p>コンソールに表示するメッセージタイプを選択したり、制御するためのツール (  ) が含まれます。</p>

コンポーネント	説明
パラメータペイン	<p>以下のタブで構成されています。</p> <ul style="list-style-type: none"> • [インスペクタ]: 名前やパラメータ値などモデリングコンポーネントのプロパティを表示および編集、シミュレーションのオプションおよびプローブの値を指定することができます。 • [設定]: シミュレーション時間、ソルバ、シミュレーションエンジン、3-Dワークスペースに対する任意のパラメータ値などのオプションを指定できます。 <p>このペインの内容はモデルワークスペースでの選択に応じて変わります。</p>

1.3. 基本チュートリアル: RLC 回路と DC Motor のモデリング

このチュートリアルでは、MapleSimのモデリングコンポーネントおよび基本ツールを紹介し、因果的モデルと非因果的モデルを組み合わせる機能について説明します。

このチュートリアルでは、以下のタスクを実行します。

1. RLC 回路モデルを作成します。
2. コンポーネントのプロパティを指定するパラメータ値を設定します。
3. シミュレーションで確認するデータの値を読むプローブを追加します。
4. RLC 回路モデルをシミュレートします。
5. RLC 回路ダイアグラムを修正し、単純な DC motor モデルを作成します。
6. さまざまなパラメータ値で DC motor モデルをシミュレートします。

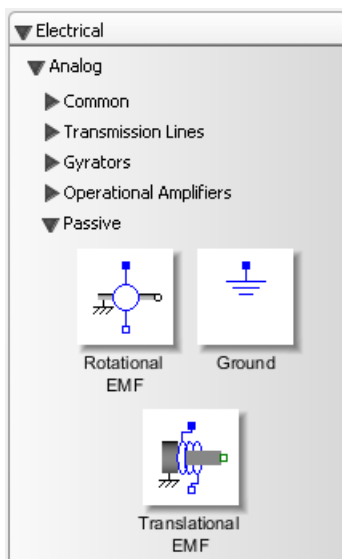
RLC回路モデルの例は、**[ライブラリ]** タブの **[アプリケーションと事例]** > **[ユーザガイドの例題]** > **[第 1 章]** メニューから **[RLC Circuit]** を参照してください。作成するモデルは **RLC 回路モデル** と同じです。

RLC 回路モデルの作成

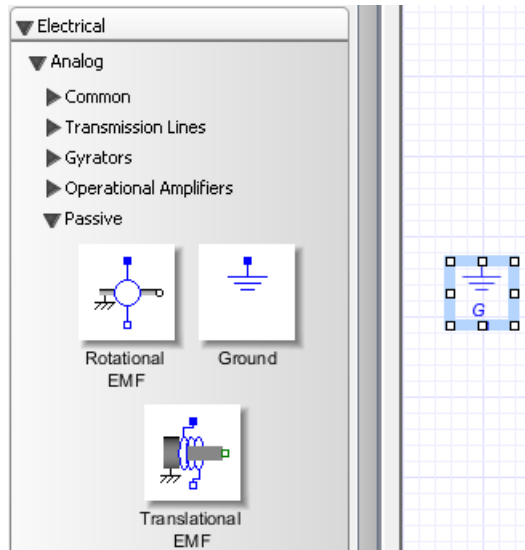
RLC回路を作成するには、コンポーネントを**モデルワークスペース**に追加し、システム内の各コンポーネントを接続してダイアグラムを形成します。このRLC回路モデルの例では、電気コンポーネントライブラリの Ground、Resistor、Inductor、Capacitor、Signal Voltage ソースコンポーネントを使用します。また、Step入力ソースも使用しますが、これは回路内で入力電圧レベルを動かす信号発生器です。

RLC 回路を作成するには

1. **モデルワークスペース**の左側にある**[ライブラリ]**タブで、**[電気]**の隣の三角形をクリックしてパレットを展開します。同様に、**[アナログ]**メニューを展開し、**[受動素子]**サブメニューを開きます。



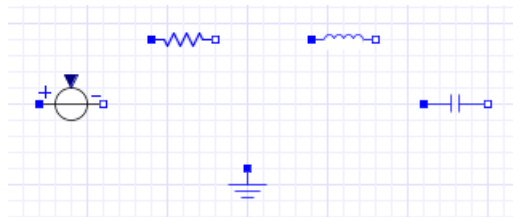
2. **[電気]** > **[アナログ]** > **[受動素子]** メニューから、**Ground** コンポーネントを**モデルワークスペース**にドラッグします。



3. モデルワークスペースに残りの電気コンポーネントを追加します。

- [電気] > [アナログ] > [受動素子] > [抵抗] メニューから、**Resistor** コンポーネントを追加します。
- [電気] > [アナログ] > [受動素子] > [インダクタ] メニューから、**Inductor** コンポーネントを追加します。
- [電気] > [アナログ] > [受動素子] > [コンデンサ] メニューから、**Capacitor** コンポーネントを追加します。
- [電気] > [アナログ] > [ソース] > [電圧] メニューから、**Signal Voltage** コンポーネントを追加します。

4. 各コンポーネントをドラッグし、下の図のように配置します。



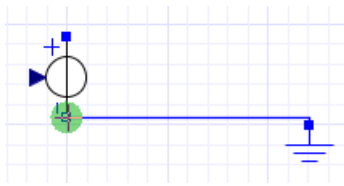
5. **Signal Voltage** コンポーネントを時計回りに回転させるには、**モデルワークスペース**で **Signal Voltage** コンポーネントを右クリック (Macintosh では **[Control]** キーを押しながらクリック) し、**[時計回りに回転]** を選択します。
6. **Signal Voltage** コンポーネントを左右に反転させるには、もう一度コンポーネントを右クリック (Macintosh では **[Control]** キーを押しながらクリック) し、**[水平方向に反転]** を選択します。プラスのポート (青色) が上にあることを確認します。
7. **Capacitor** コンポーネントを時計回りに回転させるには、**モデルワークスペース**で **Capacitor** コンポーネントを右クリック (Macintosh では **[Control]** キーを押しながらクリック) し、**[時計回りに回転]** を選択します。

次に、モデリングコンポーネントを接続し、システムにおける相互関係を定義します。

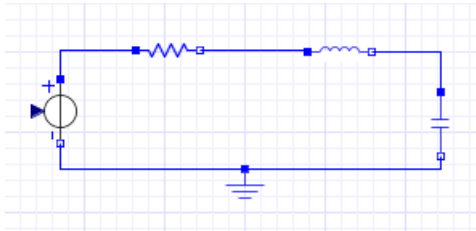
8. マウスポインタを **Ground** コンポーネントのポート上に移動させます。ポートは緑で強調表示されます。



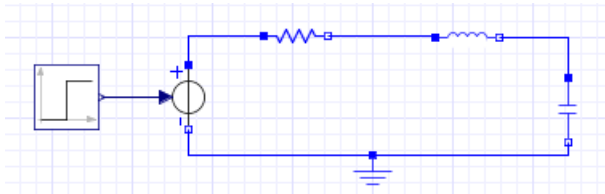
9. **Ground** 入力ポートをクリックし、結線を引きはじめます。
10. マウスポインタを **Signal Voltage** コンポーネントのマイナスポート上に移動させます。



11. ポートを 1 回クリックします。 **Ground** コンポーネントと **Signal Voltage** コンポーネントが接続されます。
12. 残りのコンポーネントを下の図のように接続します。



- 13 次に、モデルにソースを追加します。[信号ブロック] パレットを展開して、[ソース] メニューから [実数] サブメニューを選択します。
- 14 パレットから [Step] ソースをドラッグして、モデルワークスペースの **Signal Voltage** コンポーネントの左側に配置します。Step ソースには明確な信号フローがあり、結線上の矢印で表されます。このフローによって回路は入力信号に反応します。
- 15 **Step** ソースを **Signal Voltage** コンポーネントに接続します。完成した RLC 回路モデルを下の図に示します。



コンポーネントプロパティの指定

コンポーネントのプロパティは、モデルのコンポーネントにパラメータ値を設定することで指定できます。

コンポーネントプロパティを指定するには

1. モデルワークスペースで **Resistor** コンポーネントをクリックします。モデルワークスペースの右側にある [インスペクタ] タブに、抵抗の名前とパラメータ値が表示されます。
2. [R] フィールドに「24」を入力し、[Enter] キーを押します。これで抵抗が 24Ω に変更されます。




3. ほかのコンポーネントに以下のパラメータ値を指定します。パラメータの単位を指定する場合は、パラメータ値フィールド横のドロップダウンメニューからその値を選択します。

- **Inductor** のインダクタンスに 160mH を指定します。
- **Capacitor** のキャパシタンスに $200\mu\text{F}$ を指定します。
- **Step** ソースの $[T_{01}]$ の値に 0.1s を指定します。

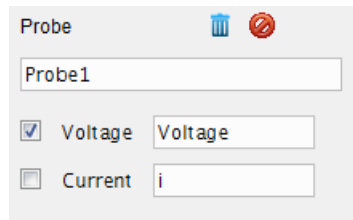
プローブの追加

シミュレーションのためのデータ値を指定するには、モデルのラインまたはポートにプローブを追加します。例として、RLC 回路の電圧を測ります。

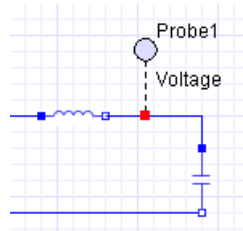
プローブを追加するには

1. **モデルワークスペースのツールバーのプローブを追加ボタン** () をクリックします。
2. マウスポインタを、**Inductor** コンポーネントと **Capacitor** コンポーネントを接続しているライン上に移動させます。ラインが強調表示されます。
3. ラインを1回クリックします。**モデルワークスペース** にプローブが表示されます。
4. **モデルワークスペース** の空白の場所にプローブをドラッグし、ワークスペースをクリックしてプローブを配置します。
5. プローブを選択します。**モデルワークスペース** の右側にある **[インスペクタ]** タブにプローブのプロパティが表示されます。
6. **[インスペクタ]** タブの **[Voltage]** チェックボックスを選択して、シミュレーショングラフに電圧量を組み込みます。

7. この量にカスタム名を付けて**モデルワークスペース**に表示するには、下図のように「**Voltage**」と入力して、**[Enter]** キーを押します。



名前が付けられたプローブが結線に追加されます。



シミュレーションでプローブ値を使用する別の例については、**[ライブラリ]** タブの **[アプリケーションと事例]** > **[ユーザガイドの例題]** > **[第 1 章]** メニューから **[Sensors and Probes]** を参照してください。

RLC 回路モデルのシミュレーション

モデルのシミュレーションを開始する前に、シミュレーション時間を指定できます。

RLC 回路のシミュレーションを実行するには

1. パラメータペインの上部にある **[設定]** タブをクリックし、**[シミュレーション]** セクションでシミュレーション時間 (t_d) を 0.5s に設定します。
2. **[オプション]** セクションで **[Compiler]** チェックボックスをオフにします。
3. **メインツールバー** で **シミュレーションの実行** (▶) をクリックします。MapleSim によってシステム方程式が生成され、ステップ入力に対するレスポンスがシミュレートされます。

シミュレーションが完了すると、電圧レスポンスがグラフ上にプロットされます。

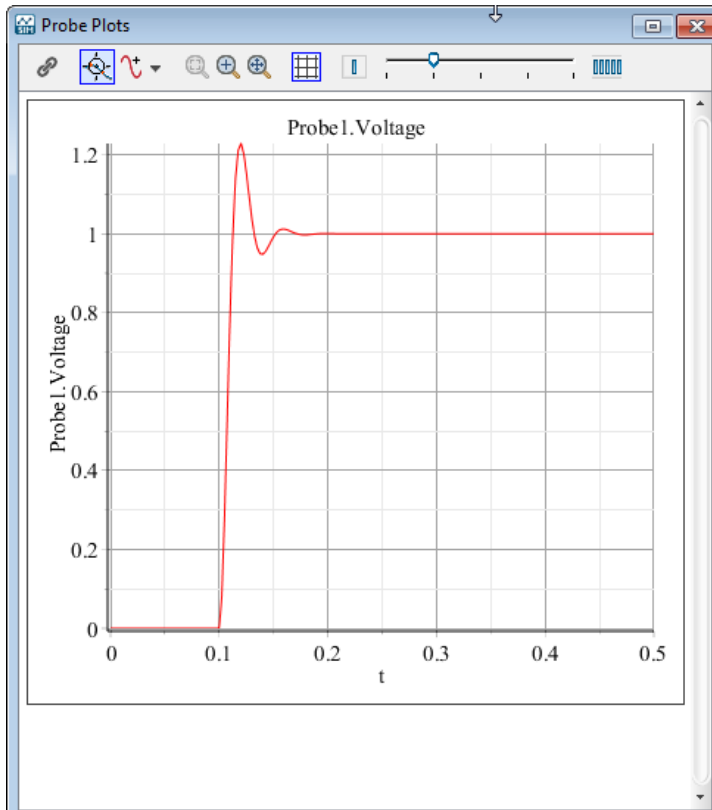


図1.8 電圧レスポンスのプロット

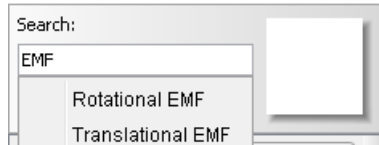
4. モデルを「**RLC_Circuit1.msimsim**」という名前で保存します。プローブおよび変更したパラメータ値はモデルの一部として保存されます。

単純な DC Motor モデルの作成

次に、起電力 (EMF) とメカニカル Inertia コンポーネントを RLC 回路モデルに追加し、DC Motor モデルを作成します。この例では、検索機能を使用して RLC 回路モデルにコンポーネントを追加します。

単純な DC Motor モデルを作成するには

1. [ライブラリ] タブのパレットの上部にある [検索] フィールドに「EMF」と入力します。ドロップダウンリストに検索結果が表示されます。



2. ドロップダウンリストから、[EMF] を選択します。EMF コンポーネントが [検索] フィールド横の四角内に表示されます。



3. EMF コンポーネントをモデルワークスペースにドラッグして、Capacitor コンポーネントの右側に配置します。
4. [検索] フィールドで「Inertia」を検索します。
5. モデルワークスペースに Inertia コンポーネントを追加して EMF コンポーネントの右側に配置します。
6. 各コンポーネントを下の図のように接続します。

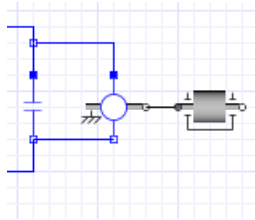





図1.9 EMF

注: EMF コンポーネントのプラスのポート (青色) を接続するには、ポートを 1 回クリックし、マウスポインタを Capacitor (コンデンサ) と Inductor (コイル) を接続するラインにドラッグして、ラインをクリックします。

7. モデルワークスペースで **EMF** コンポーネントをクリックします。
8. **[インスペクタ]** タブをクリックし、**[パラメータ]** セクションで変換係数 (**k**) の値を「**10**」 $\frac{N \cdot m}{A}$ に設定します。
9. **Step** コンポーネントをクリックし、パラメータ **[T₀]** の値を 1s に変更します。

DC Motor モデルのシミュレーション

DC Motor モデルのシミュレーションを実行するには

1. モデルワークスペースで **Probe1** を削除します。
2. モデルワークスペースのツールバーの**プローブを追加**ボタン () をクリックします。
3. マウスポインタを **EMF** コンポーネントと **Inertia** コンポーネントを接続するライン上に移動させます。
4. ラインをクリックし、次にワークスペースの空白部分をクリックしてプローブを配置します。
5. プローブを選択して、**[インスペクタ]** タブをクリックします。次に、**[Speed]** チェックボックスと **[Torque]** チェックボックスを選択して、**[Angle]** チェックボックスをオフにします。保存量のフロー方向を示す矢印がついたプローブがモデルに追加されます。プローブを選択して**インスペクタ**タブの**プローブの反転** () をクリックすると、保存量のフロー方向 (Torque) を逆にすることができます。
6. プローブ名 **Output** を変更します。
7. モデルワークスペースで空白部分をクリックします。
8. **[設定]** タブで、シミュレーション実行時間 (**t_d**) を 5s に設定します。
9. **メインツールバー**で**シミュレーションの実行** () をクリックします。次のグラフが表示されます。

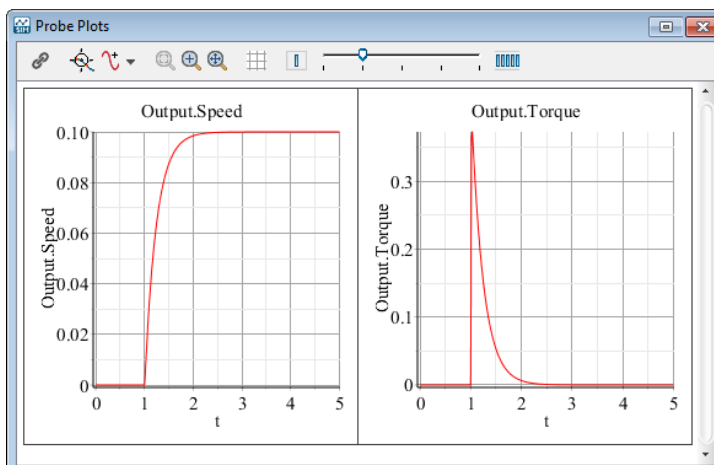


図1.10 DC Motor のトルクとスピードのプロット

10 モデルを「DC_Motor1.msim」という名前で保存します。

第2章 モデルの構築

この章の内容は以下のとおりです。

- *MapleSim* コンポーネントライブラリ [21ページ]
- モデルの閲覧 [23ページ]
- システムにおけるコンポーネント間の相互作用の定義 [28ページ]
- コンポーネントプロパティの指定 [29ページ]
- サブシステムの作成と管理 [33ページ]
- グローバルパラメータとサブシステムパラメータ [47ページ]
- モデルへのファイルの添付 [64ページ]
- カスタムライブラリの作成と管理 [65ページ]
- モデルへの注釈の追加 [68ページ]
- 2-D Math 表記によるテキスト入力 [70ページ]
- 補間テーブルコンポーネントのデータセットの作成 [72ページ]
- ベストプラクティス: モデルの構築 [73ページ]

2.1. MapleSim コンポーネントライブラリ

MapleSim コンポーネントライブラリには、モデルを構築するための 500 以上のコンポーネントが用意されています。これらのコンポーネントはすべて、ドメイン(電気、磁気、油圧、1-D メカニカル、マルチボディ、信号ブロック、伝熱)ごとにパレットにまとめられています。ほとんどのコンポーネントは Modelica Standard Library 3.2.1 をベースとしています。

MapleSim コンポーネントライブラリ

ライブラリ	説明
信号ブロック	入力および出力信号を操作または生成するためのコンポーネント。
電気	アナログの電気回路や単相および多相システム、電気機械などをモデリングするためのコンポーネント。

ライブラリ	説明
1-D メカニカル	1-D 並進および 1-D 回転システムをモデリングするためのコンポーネント。
マルチボディ	力、運動およびジョイントコンポーネントを含むマルチボディメカニカルシステムをモデリングするためのコンポーネント。
油圧	流体動力システムやシリンダ、アクチュエータなどの油圧システムをモデリングするためのコンポーネント。
伝熱	熱流量および熱伝達をモデリングするためのコンポーネント。
磁気	磁気回路をモデリングするためのコンポーネント。

ライブラリには、完全な電気回路やフィルタなど、参照およびシミュレート可能なサンプルモデルも用意されています。MapleSim ライブラリの構造とモデリングコンポーネントに関する詳細は、MapleSim ヘルプシステムの **MapleSim コンポーネントライブラリ** を参照してください。

デフォルトのライブラリを拡張するために、数理モデルからカスタムモデリングコンポーネントを作成し、カスタムライブラリに追加することもできます。詳細は、*カスタムコンポーネントの作成 [81ページ]* を参照してください。

コンポーネントに対するヘルプトピックの表示

MapleSim コンポーネントライブラリに含まれている各コンポーネントに対するヘルプトピックは、**モデルワークスペース** 下のヘルプペインに表示することができます。ヘルプペインを表示するには、MapleSim ウィンドウの下部に配置されている **選択したコンポーネントのヘルプを表示 (?)** をクリックします。次に、**モデルワークスペース** に追加したコンポーネントを選択すると、そのコンポーネントのヘルプトピックが表示されます。また、ヘルプトピックは以下に示すいずれかの操作で別のヘルプシステムウィンドウに表示することもできます。

- いずれかのパレットでモデリングコンポーネントを右クリック (Macintosh では **[Control]** キーを押しながらクリック) し、コンテキストメニューから **[ヘルプ]** を選択します。
- MapleSim ヘルプシステムでコンポーネントのヘルプページを検索します。

MapleSim 7 またはそれ以前のバージョンで作成されたモデルの更新

MapleSim 7 以前のバージョンでは、Modelica Standard Library 3.1 のコンポーネントが MapleSim コンポーネントライブラリに含まれていましたが、MapleSim 2015 では、従来の Modelica Standard Library 3.1 を Modelica Standard Library 3.2.1 に置き換えました。

MapleSim 7 以前のバージョンで作成したモデルは、MapleSim 2015 以降のバージョンで開くことができます。その際には、対応する Modelica Standard Library 3.2.1 のコンポーネントを使うように自動的に更新されます。詳細は、MapleSim ヘルプシステムで、**MapleSim 操作方法**>**旧バージョンの MapleSim で作成したモデルの更新**を参照してください。

注: Modelica Standard Library 3.2.1 のコンポーネントを含んだモデルは、MapleSim 7 以前のバージョンでは使用できません。

2.2. モデルの閲覧

[**モデルツリー**]パレットまたはモデルのナビゲーションコントロールを使用してモデルを参照すると、**モデルワークスペース**に表示されているコンポーネントの階層レベルを閲覧することができます。トップレベルを閲覧すると、システムの全体図が表示されます。トップレベルは、モデルにおける最上位のレベルで、個別モデリングコンポーネントやコンポーネントの組み合わせを表すサブシステムブロックを含む、システム全体を表します。また、モデルのサブレベルを閲覧し、個々のサブシステムの詳細やコンポーネントを表示することもできます。

モデルツリー

[**モデルツリー**]パレットは、パレットペインの[**プロジェクト**]タブに表示されます。[**モデルツリー**]パレットを使用して、モデルを閲覧したり、モデルの要素を検索することもできます。モデルツリーのノードは、モデルツリービューに応じて、モデルにおけるコンポーネント、ポート、添付、パラメータブロック、またはプローブを表します。モデルツリービューを変更するには、[**検索**]テキストボックスの下にあるリストから選択します。以下の図では、[*5 DoF Robot*]のマルチボディモデルの[**コンポーネント**]ビューを示しています。

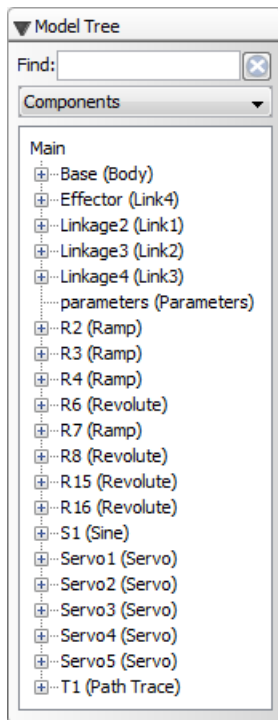


図2.1 モデルツリーの [コンポーネント] ビュー

以下のモデルツリービューから選択できます。

- **[添付]**: このビューでは、ドキュメントが添付されているコンポーネントやサブシステムをすべて表示します。添付の例としては、ワークシート、スプレッドシート、およびCAD図面があります。コンポーネントノードを展開すると、添付を確認することができます。添付をダブルクリックすると、適切なプログラムで添付ファイルを開くことができます。**[検索]** テキストボックスにキーワードを入力して、一致するドキュメントまたはコンポーネント名を探することができます。
- **[コンポーネントタイプ]**: このビューでは、コンポーネントやサブシステムの型順にモデルツリービューを表示します。コンポーネントやサブシステムのノードは、型に続いて名前で識別されます。**[検索]** テキストボックスにキーワードを入力して、一致するコンポーネントタイプを探することができます(コンポーネント名は無視されます)。

- **[コンポーネント]**: このビューでは、コンポーネントやサブシステムの名前順にモデルツリービューを表示します。コンポーネントやサブシステムのノードは、名前に続いて型で識別されます (**図2.1 「モデルツリーの [コンポーネント] ビュー」** を参照)。 **[検索]** テキストボックスにキーワードを入力して、一致するコンポーネントおよびサブシステムの名前を探することができます (コンポーネントタイプは無視されます)。この[コンポーネント]ビューが、デフォルトのモデルツリービューとなります。
- **[パラメータ]**: このビューでは、パラメータ定義のあるコンポーネントをすべて表示します (パラメータとともに)。パラメータ定義は、パラメータテーブル、パラメータブロック、Modelica Record、または ToVariable コンポーネントから取得されます。 **[検索]** テキストボックスにキーワードを入力して、一致するパラメータおよびコンポーネント名を探することができます。パラメータビュー (パラメータへの参照をすべて検索する方法も含め) の詳細は、MapleSim ヘルプシステムで、 **MapleSim 操作方法 > モデルの構築 > モデルツリーの操作と検索 > パラメータビュー** を参照してください。
- **[プローブ]**: このビューでは、モデルのプローブをすべて表示します。プローブへのフルパスは、プローブの名前の後ろに括弧付きで示されます。 **[検索]** テキストボックスにキーワードを入力して、一致する名前のプローブを探ことができます。

コンポーネントまたはサブシステムと関連付けられているパラメータを表示するには、モデルツリーでコンポーネントノードを展開し、ノードを選択します。モデルワークスペースで要素がハイライトされるとともに、モデルワークスペースのビューが要素の表示に切り替わり、その要素の設定可能なパラメータが **[インスペクタ]** タブに表示されます。コンポーネントの選択例については、 **図2.2 「モデルツリーを使用したコンポーネントの選択」** を参照してください。

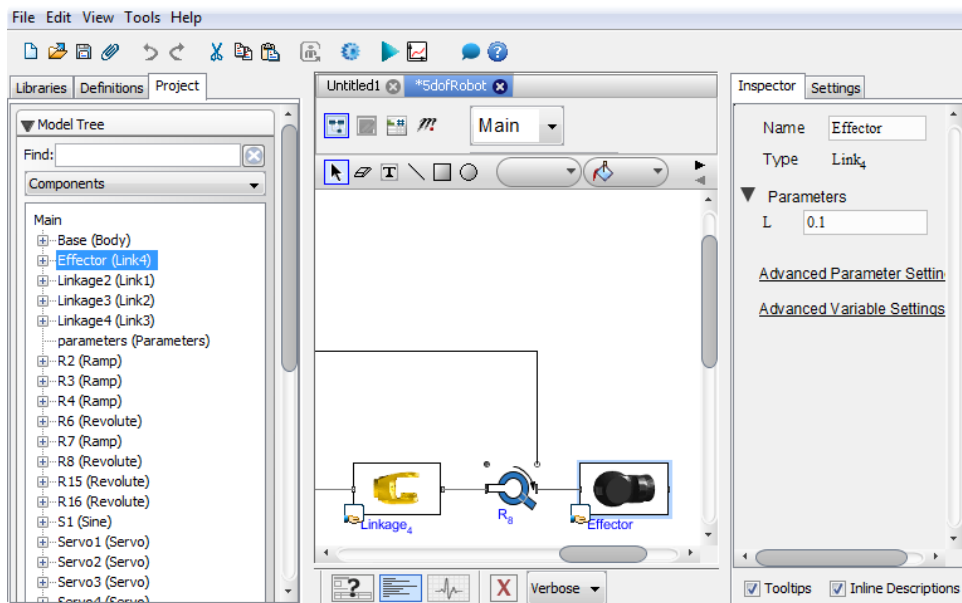


図2.2 モデルツリーを使用したコンポーネントの選択

モデルツリーから複数のコンポーネントを選択すると、コンポーネントに設定可能な共通のパラメータがすべて [インスペクタ] タブに表示されます。[インスペクタ] タブでパラメータを変更すると、選択したすべてのコンポーネントのパラメータが更新されます。

コンポーネントまたはサブシステムを表示するには、モデルツリーのノードをダブルクリックするか展開し、その子ノードを選択します。モデルワークスペースビューが、適切な階層レベルに展開され、コンポーネントまたはサブシステムが表示されます。

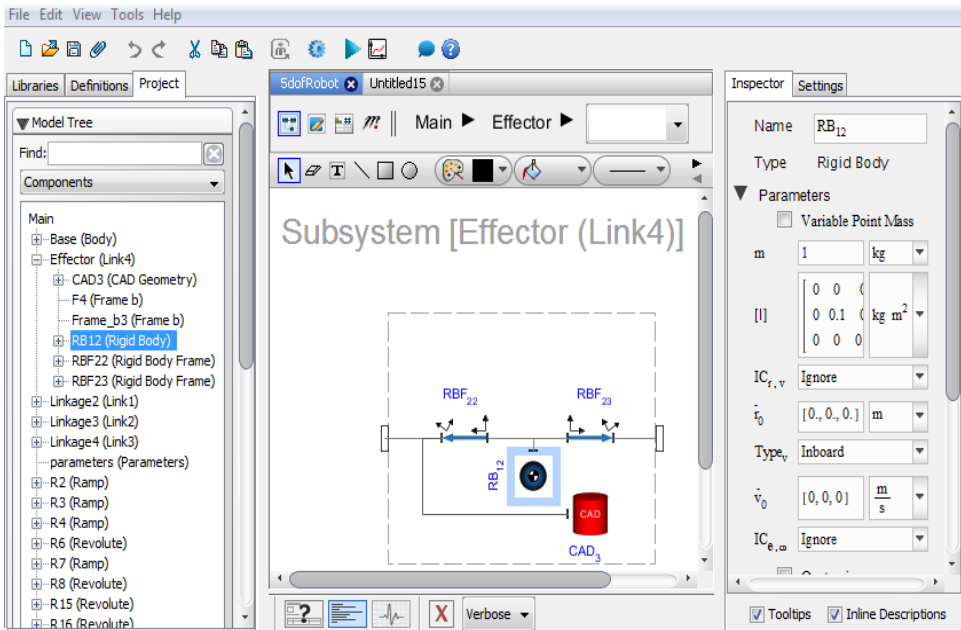


図2.3 サブシステムの表示

[モデルツリー] パレットおよび複雑なモデル管理の詳細は、MapleSim ヘルプシステムで、[MapleSim 操作方法 > モデルの構築 > モデルツリーの操作と検索セクション](#)を参照してください。

モデルナビゲーションコントロール

モデルワークスペースのツールバーの上に配置されているモデルナビゲーションコントロールを使用しても、モデルワークスペースに表示されているダイアグラムのモデリングコンポーネント間やサブシステム間など、階層レベル間を移動して閲覧することができます。

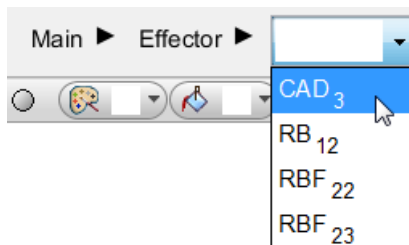


図2.4 モデルナビゲーションコントロール

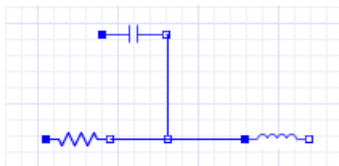
ドロップダウンメニューから、**モデルワークスペース**に表示するサブシステムまたはモデリングコンポーネントの名前を選択します。**Main** (Main ▶) をクリックし、モデルのトップレベルを表示します。また、モデル内の特定のサブシステムに直接移動して、それを閲覧することもできます。たとえば、上記の例に示されている [Effector] をクリックすると、**モデルワークスペース**に Link4 サブシステムの内容が表示されます。

2.3. システムにおけるコンポーネント間の相互作用の定義

作成しているコンポーネント間の相互作用を定義するには、システム内でそれらのコンポーネントを接続します。**モデルワークスペース**では、2つの接続ポートのあいだに結線を引くことができます。



また、結線はポートと別の結線のあいだにも引くことができます。



MapleSim では、互換性のあるドメイン間でのみ結線を引くことができます。デフォルトでは、各ラインタイプはドメインに固有の色で表示されます。

ドメイン固有の結線の色

ドメイン	ライン色
メカニカル 1-D 回転	黒
メカニカル 1-D 並進	緑
メカニカルマルチボディ	黒
アナログ電気	青
電気多相	青
磁気	オレンジ
デジタルロジック	紫
ブール値信号	ピンク
因果的信号	ネイビーブルー
整数値信号	オレンジ
伝熱	赤

各ドメインの接続ポートも異なる色と形状で表示されます。接続ポートの詳細は、MapleSim ヘルプシステムの **MapleSim コンポーネントライブラリ > コネクタの概要** を参照してください。

コンポーネントの接続ポートは、スカラーポートまたはベクトルポートのいずれかです。スカラーポートに関連付けられる値は1つだけですが、ベクトルポートには1つ以上の値に関連付けることができます。2つのスカラーポート間または同じサイズの2つのベクトルポート間を接続できます。ベクトルポートとスカラーポートを接続する場合は、ベクトル入力/出力をスカラー出力/入力にそれぞれ変換するセレクトコンポーネントを使用する必要があります。詳細は、MapleSim ヘルプシステムの **MapleSim 操作方法 > モデルの構築 > ベクトルおよびスカラーコンポーネントとの接続** を参照してください。

2.4. コンポーネントプロパティの指定

コンポーネントのプロパティは、モデルのコンポーネントにパラメータ値を設定することで指定できます。**モデルワークスペース**でコンポーネントを選択すると、そのコンポーネントの設定可能なパラメータ値がMapleSim ウィンドウ右側の **[インスペクタ]** タブに表示されます。

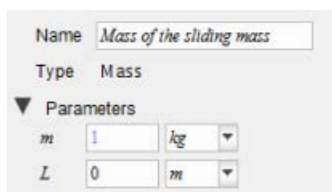
注: すべてのコンポーネントに編集可能なパラメータ値があるわけではありません。

パラメータ値の入力には、上付き文字や下付き文字、ギリシア文字などの数学的文章を追加することができる書式オプションである2-D Math表記を使用します。詳細は、*2-D Math 表記によるテキスト入力 [70ページ]*を参照してください。

注: MapleSim コンポーネントライブラリのパラメータのほとんどにはデフォルト値が設定されていますが、一部のパラメータでは、このデフォルト値はシミュレーションする上で無意味な暫定値が入っています。ほかのパラメータ値と区別するため、この暫定値には青いフォントが使用されています。これらの値は、シミュレーションに対し、より適切な値に置き換える必要があります。詳細は、MapleSim ヘルプシステムで、**MapleSim 操作方法 > モデルの構築 > パラメータの指定**を参照してください。

パラメータ単位の指定

パラメータ値の単位を指定するには、パラメータフィールドの横にあるドロップダウンメニューを使用します。たとえば、下の図は **Mass** コンポーネントに設定可能なパラメータフィールドを示しています。質量には kg 、 lb_m 、 g 、または $slug$ 、そして長さには m 、 cm 、 mm 、 ft 、または in を指定することができます。



モデルをシミュレートする際、MapleSim はすべてのパラメータ単位を自動的に国際単位系 (SI) に変換します。したがって、1つのモデルの中で、パラメータ値に複数の単位系を選択することができます。

信号の単位を変換するには、**[信号ブロック]** パレットに配置されている **[信号変換]** メニューの **Unit Conversion Block** コンポーネントを使用します。このコンポーネントは、時間、温度、速度、圧力、容量などの単位を変換することができます。下の例では、出力信号の単位を変換する **Unit Conversion Block** コンポー

ネットが並進用の **Position Sensor** と **Feedback** コンポーネントのあいだに接続されています。

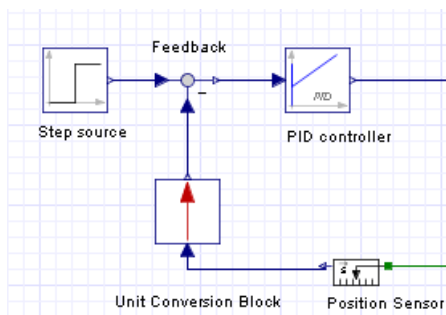


図2.5 Unit Conversion Block を使用した単位の指定

モデルに電気、1-D メカニカル、油圧、または熱力学センサーが含まれている場合は、生成する出力信号の単位を選択することもできます。

初期条件の指定

MapleSim のすべてのドメインからのコンポーネントに対して、パラメータ値を設定して初期条件を指定できます。モデルワークスペースで状態変数を含むコンポーネントを選択すると、そのコンポーネントに設定可能なほかのパラメータ値とともに、有効な初期条件フィールドが [インスペクタ] タブに表示されます。

たとえば、下の図は **Mass** コンポーネントで初期速度と位置フィールドが設定可能であることを示しています。

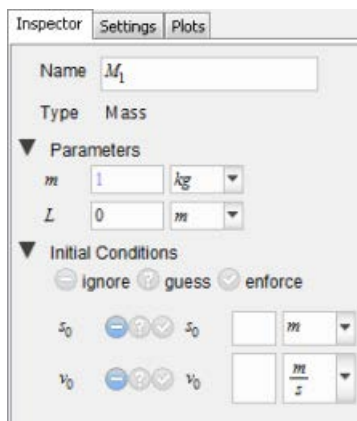


図2.6 初期条件

初期条件の強制方法の指定

特定のコンポーネントに対して指定した初期条件をどのように強制するかを決定できます。指定可能なオプションは、**ignore** (☐)、**guess** (?)、**enforce** (☑) の3種類です。初期条件フィールド横のボタンを適宜クリックすることで、各初期条件パラメータにつきこれらのオプションを独立に選択することができます。

ignore オプションを選択すると、初期条件フィールドに入力するパラメータ値は無視され、ソルバは初期条件としてデフォルト値(通常ゼロ)を用います。すべての初期条件フィールドは、このオプションにデフォルト設定されています。

guess オプションを選択すると、ソルバは、初期条件フィールドに入力したパラメータ値を最良推定値として使用します。最良推定値は、システムを記述する方程式系が解を持つような初期状態を見つけるための出発点です。ソルバは、まず最良推定値を用いて方程式系の解を求めますが、解が存在しない場合、最良推定値に近い初期条件値を用いて方程式系の解を求めます。

enforce オプションを選択すると、ソルバは、初期条件フィールドに入力されているパラメータ値をシミュレーションの出発点として使用します。このオプションでは、**guess** オプションと同様、初期条件フィールドに入力したパラメータ値に対する方程式系の解を探しますが、解が存在しない場合は**guess** オプションの場合と異なり、ほかの値に置き換えずエラーメッセージを表示します。

これらのオプションの選択についての詳細は、ベストプラクティス：初期条件の強制 [80ページ]を参照してください。

初期条件の強制方法の例は、[ライブラリ] タブの [アプリケーションと事例] > [ユーザガイドの例題] > [第 2 章] メニューから [Relative Positions] を参照してください。

2.5. サブシステムの作成と管理

サブシステム(または複合コンポーネント)は、いくつかのモデリングコンポーネントを1つのブロックコンポーネントにまとめたものです。シンプルな DC モータのサブシステムを下図に示します。

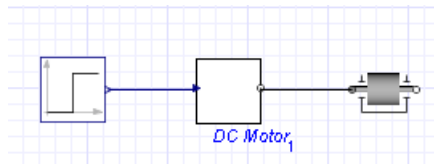
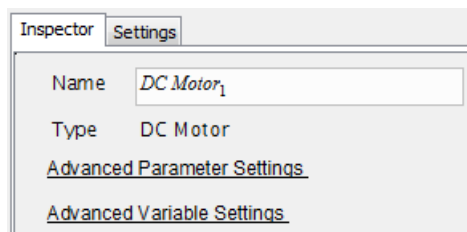


図2.7 サブシステムグループ

サブシステムは、たとえばタイヤや DC モータなど、完全なシステムを構成するコンポーネントをグループ化するのに利用できます。また、**モデルワークスペース**で図面の配置を改善したり、モデルにシステムのコピーを複数追加できるようにしたり、コンポーネントのグループを Maple で解析したり、パラメータや変数をすばやく割り当てるためにも利用できます。ほかにも、サブシステム内に別のサブシステムを作成し、モデルを階層的に整理することもできます。

サブシステムを作成したら、[インスペクタ] タブ内の [パラメータ詳細設定] および [変数詳細設定] を使用して、サブシステム内の全コンポーネントに対してパラメータや変数を割り当てることができます。



MapleSim でサブシステムを作成するときのベストプラクティス (最良の方法) については、ベストプラクティス: サブシステムの作成と配置 [73ページ] を参照してください。

例: サブシステムの作成

以下の例では、DC モータモデルの電気コンポーネントをグループ化してサブシステムを作成します。

サブシステムを作成するには

1. MapleSim ウィンドウ左側の [ライブラリ] タブで、[アプリケーションと事例] > [ユーザガイドの例題] > [第2章] メニューの順に展開し、[Simple DC Motor] の例を開きます。
2. モデルワークスペースの上に配置されている選択ツール (マウスカーソル) を使用して、すべての電気コンポーネントを囲む四角形を描きます。

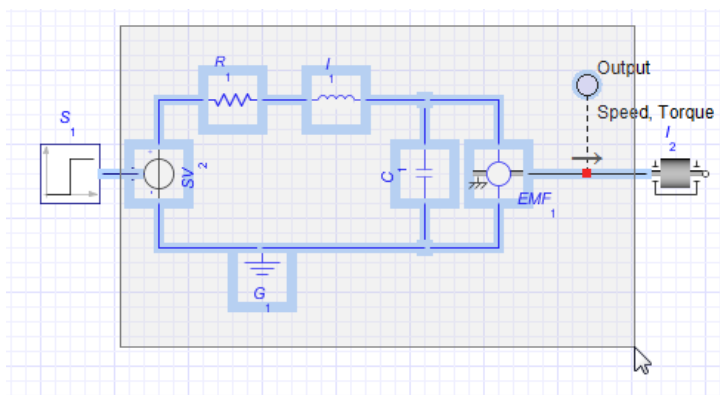
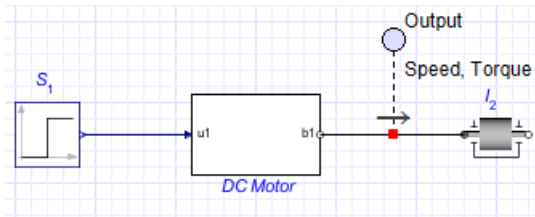


図2.8 サブシステムの作成

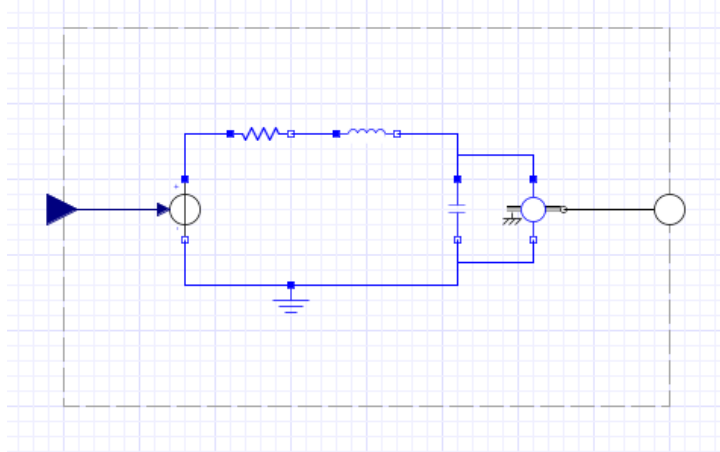
3. [編集] メニューから [サブシステムの作成] を選択 (または、四角に囲まれた領域内を右クリックし、[サブシステムの作成] を選択) します。
4. ダイアログボックスで、「DC Motor」と入力します。
5. [OK] をクリックします。DC モータを表す白いブロックがモデルワークスペースに表示されます。



この例では、モデルに含まれるほかのサブシステムを影響することなく編集および操作が可能な「スタンドアロンサブシステム (*stand-alone subsystem*)」を作成しています。モデルと同じサブシステムのコピーを複数追加し、それらをグループとして編集したい場合は、サブシステム定義を作成することができます。詳細は、モデルにサブシステムのコピーを複数追加[36ページ]を参照してください。

サブシステムの詳細を表示する

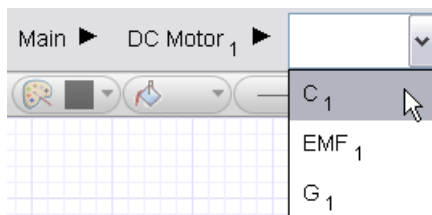
サブシステムに含まれているコンポーネントを表示するには、**モデルワークスペース**でサブシステムをダブルクリックします。サブシステムの詳細ビューが表示されます。



この表示で、点線はサブシステムの境界を示しています。境界線内の結線およびコンポーネントの編集、境界線外へのコンポーネントの追加と接続、ほかのコンポーネントへ接続するためのサブシステムポートの追加などの操作が可能です。

境界のサイズを変更するには、点線をクリックし、ボックスの周りに表示されるサイズ変更ハンドルのいずれかをドラッグします。

モデルのトップレベルまたは別のサブシステムを表示するには、**ナビゲーションツールバー**にあるモデルナビゲーションコントロールを使用します。



モデルにサブシステムのコピーを複数追加

モデルに同一構成を持つサブシステムのコピーを複数追加する場合は、「サブシステム定義」を作成することができます。サブシステム定義とは、一連のサブシステムで共有される属性と構成を定義する基本サブシステムを指します。

たとえば、同じコンポーネントで構成され、同じ抵抗値を持った3つのDC Motor サブシステムをモデルに追加する場合、以下のタスクを実行することで実現できます。

1. **モデルワークスペース**で、希望する構成の DC Motor サブシステムを作成します。
2. 上記サブシステム構成を元にサブシステム定義を作成し、それを **[定義]** タブに追加します。
3. 最後に、サブシステム定義をソースとして、DC Motor サブシステムのコピーをモデルに追加します。

DC Motor サブシステムのコピーをモデルに追加するときは、DC Motor サブシステムのサブシステム定義アイコンを **[定義]** タブから **モデルワークスペース** にドラッグします。モデルワークスペースに追加されたコピーは、**[定義]** タブ内のサブシステム定義と構成を共有するため、「共有サブシステム (*shared subsystem*)」と呼ばれます。

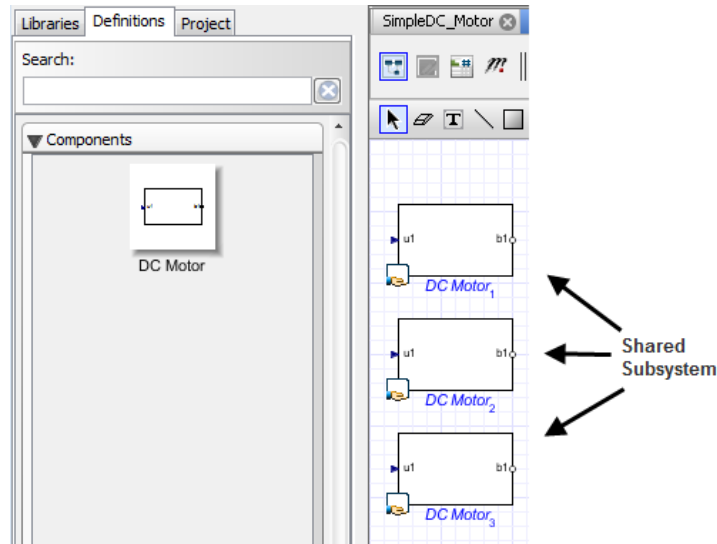



図2.9 複数のサブシステムの定義

同じサブシステム定義からコピーされた共有サブシステムは「リンク」しています。つまり、共有サブシステムのどれかに変更を加えると、その変更は同じサブシステム定義から作成されたほかの共有サブシステムすべてに反映されます。変更は、**[定義]** タブのサブシステム定義の項目にも反映されます。共有サブシステムはモデルワークスペースにアイコン  で表示されます。

上記例で、たとえば DC Motor2 共有サブシステムの **Resistor** コンポーネントの抵抗パラメータを 24Ω から 10Ω に変更すると、**DC Motor₁** および **DC Motor₃** 共有サブシステムはもとより、**[定義]** タブの **DC Motor** サブシステム定義の Resistor コンポーネントの抵抗値も 10Ω に変わります。

詳細は、[サブシステム定義と共有サブシステムの編集 \[39ページ\]](#)を参照してください。

例：モデルにサブシステム定義と共有サブシステムを追加する

次の例では、**DC Motor** サブシステム定義を作成し、モデルに共有サブシステムを複数追加します。

定義タブにサブシステム定義を追加する

サブシステム定義を追加するには

1. モデルワークスペースで、例: サブシステムの作成 [34ページ] で作成した DC Motor スタンドアロンサブシステムを右クリック (Macintosh では **[Control]** キーを押しながらクリック) します。
2. コンテキストメニューから、**[共有サブシステムに変換]** を選択します。
3. サブシステム定義の名前に「**DC Motor**」と入力し、**[OK]** をクリックします。
4. モデルワークスペース左側の **[定義]** タブで、**[コンポーネント]** パレットを展開します。

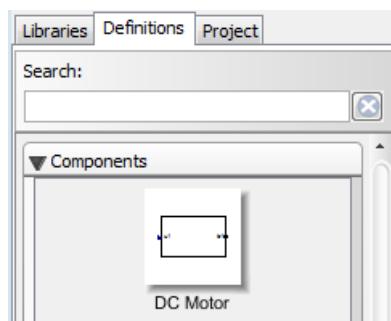


図2.10 サブシステムの定義

[コンポーネント] パレットにサブシステム定義が追加され、モデルワークスペースのサブシステムは、**DCMotor₁** という名前の共有サブシステムに変わります。この共有サブシステムは、**DCMotor** というサブシステム定義にリンクされます。

5. モデルを「**DCMotorSubsystem.msim**」という名前で保存します。このモデルは例: 同一サブシステム定義にリンクしている共有サブシステムを編集する [39ページ] で作成します。

このサブシステム定義を使用すると、MapleSim モデルに DC Motor 共有サブシステムを複数追加することができます。

ヒント: サブシステム定義を別のモデルで使用する場合は、サブシステム定義をカスタムライブラリに追加します。詳細は、**カスタムライブラリの作成と管理** [65ページ] を参照してください。

モデルに DC Motor 共有サブシステムを複数追加する

モデルに **DC Motor** 共有サブシステムを複数追加するには、**DC Motor** サブシステム定義アイコンを [定義] タブからドラッグし、**モデルワークスペース**に配置します。

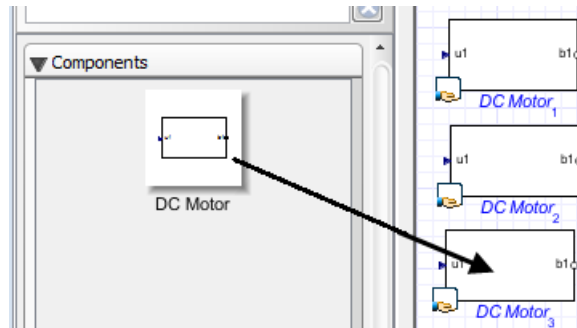


図2.11 モデルに複数のサブシステムを追加する

モデルに新しいスタンドアロンサブシステムまたは共有サブシステムを追加した場合、**モデルワークスペース**に表示されるそのサブシステムの名前には固有の下付き数字が付与されます。上記図で示されているように、各 DC Motor 共有サブシステムの名前には下付き数字が付与されています。ユーザはこの番号で、モデル内に配置されているサブシステムの複数のコピーを識別することができます。

サブシステム定義と共有サブシステムの編集

モデルワークスペースで共有サブシステムを編集すると、変更はその共有サブシステムがリンクしているサブシステム定義はもとより、同じサブシステム定義からコピーされたほかの共有サブシステムにも反映されます。

例：同一サブシステム定義にリンクしている共有サブシステムを編集する

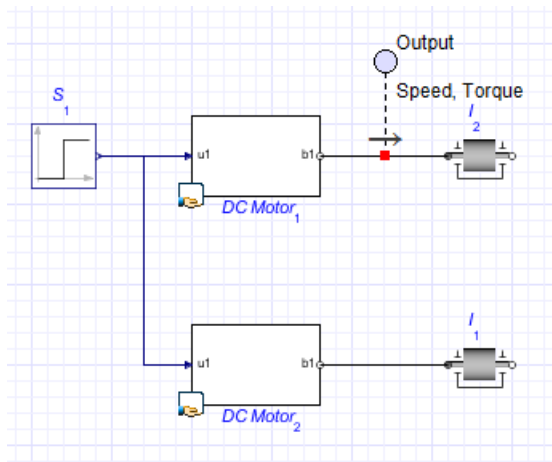
この例では、2つの **DC Motor** 共有サブシステムを含むモデルを作成し、その共有サブシステムの抵抗値とアイコンを編集します。これらの共有サブシステムは、例：モデルにサブシステム定義と共有サブシステムを追加する [37ページ] で作成された **DC Motor** 共有サブシステム定義にリンクされています。1つの **DC Motor** 共有サブシステムの1つのコンポーネント値と1つのアイコンを変更する

と、モデル内のほかの **DC Motor** 共有サブシステムと、これ以降に追加される新しい **DC Motor** 共有サブシステムにもその変更が追加されることを確認します。

注: この例を実行する前に、例: モデルにサブシステム定義と共有サブシステムを追加する [37ページ] を実行済みで、その結果を保存している必要があります。

共有サブシステムを使用するには

1. 例: モデルにサブシステム定義と共有サブシステムを追加する [37ページ] で作成した **DCMotorSubsystem.msim** ファイルを MapleSim で開きます。
2. [定義] タブで [コンポーネント] パレットを展開し、2 番目の [DC Motor] 共有サブシステムをワークスペースにドラッグし、既存の **DC Motor** 共有サブシステムの下に置きます。
3. [ライブラリ] タブで [1-D メカニカル] > [回転] > [共通] メニューを展開し、2 番目の **Inertia** コンポーネントをワークスペースにドラッグし、既存の **Inertia** コンポーネントの下に置きます。
4. モデル内で、新しく追加したコンポーネントと既存のコンポーネントのあいだを次のように接続します。



5. モデルワークスペースで、 $DC\ Motor_1$ 共有サブシステムをダブルクリックします。共有サブシステムが詳細表示されます。

Subsystem DC Motor [DC Motor1]

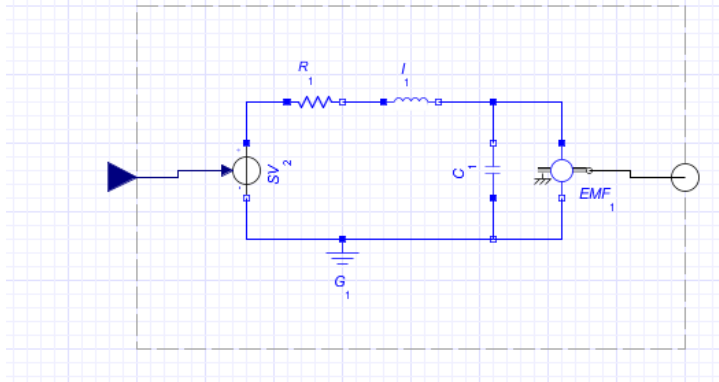
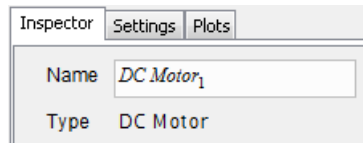
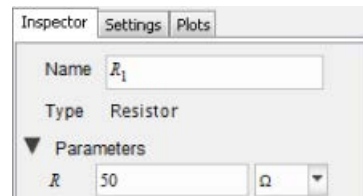


図2.12 DC Motor サブシステム

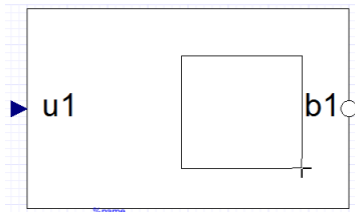
サブシステム定義名 (**DC Motor**) と、それに続く共有サブシステム名 (**DC Motor₁**) から成る見出しが **モデルワークスペース** の上部に表示されます。すべての共有サブシステムの詳細表示には、モデルにおける共有サブシステムの複数のコピーを識別できるように、この見出しが表示されます。また、共有サブシステムを選択すると、そのサブシステム定義の名前が **[インスペクタ]** タブの **[型]** フィールドに表示されます。



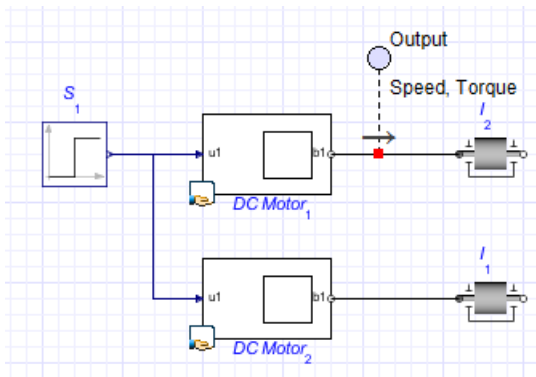
6. **Resistor** コンポーネント (**R₁**) を選択し、**[インスペクタ]** タブで **[パラメータ]** をクリックします。抵抗値を **50Ω** に変更します。



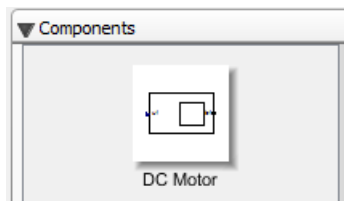
7. ナビゲーションツールバーで、**アイコン** (🔍) をクリックします。
8. **モデルワークスペースのツールバーにある長方形ツール** (□) を使用して、マウスポインタでクリックし、四角形を描くようにドラッグします。



9. ナビゲーションツールバーで、**ダイアグラム** (📐) をクリックします。
10. ナビゲーションツールバーで、**Main** をクリックし、モデルのトップレベルを表示します。**DC Motor** 共有サブシステムの表示は両方ともユーザによって描かれた四角形に変わっています。



11. MapleSim ウィンドウ左側の **[定義]** タブで、**[コンポーネント]** パレットを展開します。下図のように、変更はこのパレットの **DC Motor** 項目にも反映されています。



モデルワークスペースに配置されている **DC Motor** サブシステムをダブルクリックし、それらの **Resistor** コンポーネントを選択すると、両方の共有サブシステムの抵抗値が 50Ω になっていることが確認できます。

12 [定義] タブから **DC Motor** サブシステムの新たなコピーをドラッグし、**モデルワークスペース**内の任意の場所に配置します。新しいコピーがユーザが描いた四角形で表示され、その抵抗値も 50Ω であることを確認したら、それをワークスペースから削除します。

13 モデルを「**DCMotorSharedSubsystem.msimsim**」という名前で保存します。このモデルは例:共有サブシステムとそのサブシステム定義とのあいだのリンクの解除 [43ページ] で作成します。

例: 共有サブシステムとそのサブシステム定義とのあいだのリンクの解除

リンクしている共有サブシステムが複数含まれているモデルで特定のコピーのみを編集するには、その共有サブシステムとサブシステム定義のあいだのリンクを解除することで、**モデルワークスペース**に配置されているほかのサブシステムに影響を与えることなくそのサブシステムを編集することができます。

注: この例を実行する前に、例:同一サブシステム定義にリンクしている共有サブシステムを編集する [39ページ] を実行済みでその結果を保存し、かつその例題の結果を保存している必要があります。

共有サブシステムのリンクを解除するには

1. 例:同一サブシステム定義にリンクしている共有サブシステムを編集する [39ページ] で作成した **DCMotorSharedSubsystem.msimsim** モデルを開きます。
2. **モデルワークスペース**で、**DC Motor₂** 共有サブシステムを右クリック (Macintosh では [Control] キーを押しながらクリック) します。
3. [スタンドアロンサブシステムに変換] を選択します。**DC Motor₂** サブシステムと [定義] タブの **DC Motor** サブシステム定義のあいだのリンクが解除され、**copy of DC Motor₁** となります。
4. **DC Motor₁** 共有サブシステムをダブルクリックします。
5. アイコン  をクリックします。

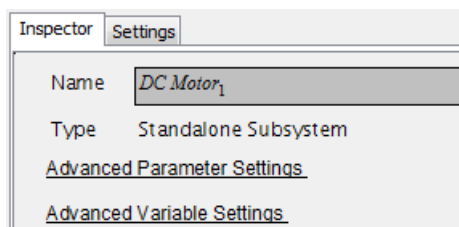
6. **長方形ツール** (□) を使用して、マウスポインタでクリックし、**モデルワークスペース**で四角形を描くようにドラッグします。
7. **ダイアグラム** (☒) をクリックしてから **Main** をクリックし、モデルのトップレベルを表示します。変更は、**モデルワークスペース**に配置されている **DCMotor₁** 共有サブシステムと、**[定義]** タブの **DC Motor** サブシステム定義に反映されます。**DC Motor** サブシステム定義とのリンクが解除されたため、**copy of DC Motor₁** サブシステムには変更が反映されないことに注意してください。


ヒント: 共有サブシステムをスタンドアロンサブシステムに変換する場合、既存の共有サブシステムやサブシステム定義と区別するためにもスタンドアロンサブシステムには意味のある名前を付けることがベストプラクティスとして推奨されます。

スタンドアロンサブシステムの操作

スタンドアロンサブシステムとは、サブシステム定義とリンクしていないサブシステムを指します。スタンドアロンサブシステムを作成する方法は2つあります。例: 共有サブシステムとそのサブシステム定義とのあいだのリンクの解除 [43ページ] で説明されている、新規サブシステムとして作成する方法と、例: サブシステムの作成 [34ページ] で説明されている、共有サブシステムをスタンドアロンサブシステムに変換する方法です。スタンドアロンサブシステムは、**モデルワークスペース**に配置されているほかのサブシステムに影響を与えることなく編集することができます。

特定のサブシステムがスタンドアロンであるかどうかを確認するには、**モデルワークスペース**でサブシステムを選択し、**[インスペクタ]** タブを見ます。サブシステムがスタンドアロンである場合、**[型]** フィールドに **[スタンドアロンサブシステム]** と表示されます。



スタンドアロンシステムは共有サブシステムアイコン () を **モデルワークスペース** に表示しません。また、スタンドアロンサブシステムをダブルクリックして詳細表示を開いても、**モデルワークスペース** にサブシステムの見出しは表示されません。


スタンドアロンサブシステムを **モデルワークスペース** でコピーして貼り付けるときに、オプションで共有サブシステムに変換し、新しいサブシステム定義を作成することができます。詳細は、例: スタンドアロンサブシステムのコピーと貼り付け [46ページ] を参照してください。


例: デバッグコンソールに表示される警告メッセージを処理する

共有サブシステムをスタンドアロンサブシステムに変換すると、**モデルワークスペース** 内でサブシステムがハイライトされ、サブシステム定義とのリンクが解除されたことを知らせる警告メッセージが表示されます。


注: この例は例: 共有サブシステムとそのサブシステム定義とのあいだのリンクの解除 [43ページ] の延長です。

警告メッセージを処理するには

1. MapleSim ウィンドウ下部の **診断情報** () をクリックし、デバッグコンソールを表示します。コンソールには、次のメッセージが表示されます。

Description	Location
 The stand-alone subsystem "copy of DC Motor1" is identical to the shared subsystem "DC Motor".	Main

2. **copy of DC Motor₁** サブシステムをスタンドアロンサブシステムとして扱うためには、警告メッセージを右クリック (Macintosh では **[Control]** キーを押しながらクリック) し、**["copy for DC Motor1"] に対する重複警告を無視する** を選択し、デバッグコンソールで警告メッセージが非表示となるようにします。

ヒント: デバッグコンソールで非表示にした警告メッセージを表示したい場合は、コンソールの下の **無視された警告をリセット** () をクリックします。前に非表示にしたすべての警告メッセージがデバッグコンソールに再び表示されます。

また、**copy of DC Motor₁** スタンドアロンサブシステムを再度 **DC Motor** サブシステム定義とリンクさせたい場合は、警告メッセージを右クリック (Macintosh では [Control] キーを押しながらクリック) し、**[共有サブシステム "DC Motor" を使用するために "copy of DC Motor1" を更新します。]** を選択します。

例: スタンドアロンサブシステムのコピーと貼り付け

注: この例は例: 共有サブシステムとそのサブシステム定義とのあいだのリンクの解除 [43ページ]の延長です。

スタンドアロンサブシステムをコピーおよび貼り付けるには

1. モデルワークスペースで、**copy of DC Motor₁** スタンドアロンサブシステムをコピーし、貼り付けます。ダイアログボックスが表示されます(図2.13「サブシステムダイアログのコピー」を参照してください)。
2. [上記のスタンドアロンサブシステムを共有サブシステムに変換(推奨)] を選択します。**DC Motor 1** という名前の新しいサブシステム定義が [定義] タブに追加されます。

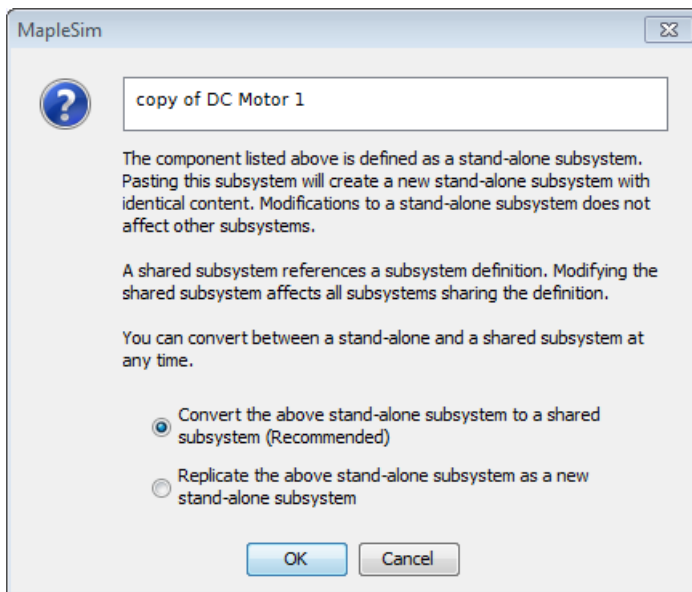


図2.13 サブシステムダイアログのコピー

モデルワークスペースで、**copy of DC Motor₁** スタンドアロンサブシステムは、**copy of DC Motor₁** という名前の共有サブシステムになり、この共有サブシステムのコピーで **copy of DC Motor₂** という名前の共有サブシステムがモデルワークスペースに追加されます。共有サブシステムの **copy of DC Motor₁** と **copy of DC Motor₂** は、両方とも新しい **DC Motor 1** サブシステム定義にリンクしていることとなります。そのため、**copy of DC Motor₁** または **copy of DC Motor₂** をモデルワークスペースで編集しても、これらの変更は元の **DC Motor** サブシステム定義にリンクしているサブシステムには反映されません。

注: または、[上記のスタンドアロンサブシステムを複製し、新しいスタンドアロンサブシステムとして作成] を選択すると、モデルワークスペースに存在するほかのサブシステムに影響することなく編集できる、別のスタンドアロンサブシステムが追加されます。

2.6. グローバルパラメータとサブシステムパラメータ

MapleSimでは、グローバルパラメータとサブシステムパラメータの値を定義し、その値を [パラメータを追加または変更] エディタ、パラメータブロック、パラメータセット、[インスペクタ] タブの [パラメータ詳細設定]、[変数詳細設定] を使用してコンポーネントに代入することができます。

グローバルパラメータ

共通のパラメータ値を共有するコンポーネントがモデルに複数含まれている場合、グローバルパラメータを作成することができます。グローバルパラメータを使用すると、共通のパラメータ値を一箇所で定義し、その共通の値をモデルに配置されている複数のコンポーネントに代入することができます。

以下の例は、グローバルパラメータを定義して代入する方法を示すものです。より詳細な例については、本ガイドの第6章のチュートリアル 1: ギアボックス付き *DC Motor* のモデリング [179ページ]を参照してください。

例：グローバルパラメータの定義と代入

モデルに共通の抵抗値を持つ **Resistor** コンポーネントが複数含まれている場合、パラメータエディタ画面で抵抗値のグローバルパラメータを定義することができます。

グローバルパラメータを定義および代入するには

1. [ライブラリ] タブで、[電気] パレット、[アナログ]、[受動素子]、[抵抗] の順に開きます。
2. パレットから、**Resistor** コンポーネントのコピーを3つモデルワークスペースにドラッグします。



3. ナビゲーションツールバーで、**パラメータ** (🔗) をクリックするか、ワークスペースをクリックしてインスペクタタブから**パラメータ**を追加または変更をクリックします。[Main サブシステムの標準設定] 画面が表示されます。この画面から、グローバルパラメータを定義し、モデル中の **Resistor** コンポーネントに代入します。

Main subsystem default settings

Name	Type	Default Value	Default Units	Description

Subsystem Composition

 R_1 component

Name	Type	Value	Units	Description
R	Resistance	1	Ω	Resistance at temperature T_ref

 R_2 component

Name	Type	Value	Units	Description
R	Resistance	1	Ω	Resistance at temperature T_ref

 R_3 component

Name	Type	Value	Units	Description
R	Resistance	1	Ω	Resistance at temperature T_ref

4. [Main サブシステムの標準設定] テーブルで、[名前] 列の1つ目のフィールドをクリックします。

5. グローバルパラメータ名に「**GlobalResistance**」と入力し、**[Enter]**を押します。
6. **[Resistance[[Ω]]]** を選択し、デフォルト値として2を指定します。
7. 説明に「**Global resistance variable**」と入力し、**[Enter]**を押します。

Main subsystem default settings

Name	Type	Default Value	Default Units	Description
GlobalResistance	Resistance [Ω]	2	Ω	Global resistance variable

これで抵抗値のためのグローバルパラメータが定義されました。次に、共通の **GlobalResistance** パラメータ値を **モデルワークスペース** に配置されている各 **Resistor** コンポーネントに代入します。

8. [**R₁ コンポーネント**] テーブルおよび [**R₂ コンポーネント**] テーブルに、抵抗値として「**GlobalResistance**」を入力します。

R₁ component

Name	Type	Value	Units	Description
R	Resistance	GlobalResistance	Ω	Resistance at temperature T_ref

R₂ component

Name	Type	Value	Units	Description
R	Resistance	GlobalResistance	Ω	Resistance at temperature T_ref

R₃ component

Name	Type	Value	Units	Description
R	Resistance	1	Ω	Resistance at temperature T_ref

これで **GlobalResistance** パラメータの抵抗値 (**[Main サブシステムの標準設定]** テーブルで「**2**」と定義) が **R₁** および **R₂** コンポーネントの抵抗値に代入されました。

R₁ および **R₂** コンポーネントはこれ以降、**[Main サブシステムの標準設定]** テーブルにて行われる **GlobalResistance** パラメータ値への変更を受け継ぐようになります。たとえば、**[Main サブシステムの標準設定]** テーブルで **GlobalResistance** パラメータのデフォルト値が「**5**」に変更されると、**R₁** および **R₂** コンポーネントの抵抗値も **5** になります。ただしパラメータ値として **GlobalResistance** が代

入されていない R_3 コンポーネントには、いかなる **GlobalResistance** パラメータ値の変更も適用されません。

サブシステムパラメータ

サブシステム内の複数のコンポーネントで共有する共通のパラメータ値を作成するには、サブシステムパラメータを作成します。グローバルパラメータと同様、サブシステムパラメータはパラメータエディタ画面で定義し、コンポーネントに代入する共通の値です。

サブシステムパラメータを代入する方法は2つあります。ひとつは**パラメータ** (🔗) をクリックする方法で、もうひとつは**[インスペクタ]** タブの **[パラメータ詳細設定]** ツールを使用する方法です。パラメータは、それが定義されているサブシステム内のコンポーネントにしか割り当てられません。**モデルワークスペース** のサブシステムをクリックして **パラメータ** (🔗) または **[パラメータ詳細設定]** をクリックし、パラメータエディタ画面からパラメータを定義すると、定義したパラメータは、選択したサブシステムおよびネスト化されたあらゆるサブシステムのコンポーネントに代入されます。

例については、本ガイドの第6章のチュートリアル3: *非線形ダンパのモデリング* [192ページ]を参照してください。

注: サブシステムでパラメータを作成し、その値をトップレベルに配置されているコンポーネントに代入した場合、トップレベルに配置されているコンポーネントはパラメータの値を受け継ぎません。

例: 共有サブシステムへのサブシステムパラメータの代入

モデルの共有サブシステムにサブシステムパラメータを代入すると、そのデフォルトのサブシステムパラメータはリンクしているほかの共有サブシステムにも代入されます。ただし、デフォルトのサブシステムパラメータを代入した後も、各共有サブシステムのサブシステムパラメータ値は、モデルに含まれるほかのパラメータ値に影響を与えることなく、個々に編集することができます。

共有サブシステムにサブシステムパラメータを代入するには

1. **[アプリケーションと事例]** パレットで **[ドメイン別例題]** > **[マルチボディ]** メニューを展開し、**[Double Pendulum]** モデルを開きます。このモデルには、

L という名前のサブシステム定義とリンクしている2つの共有システム、 L_1 と L_2 が含まれています。

2. L_1 共有サブシステムをダブルクリックします。
3. **パラメータ** (🔧) をクリックします。
4. **L サブシステムの標準設定** テーブルの下部に配置されている、空のフィールドをクリックします。
5. パラメータ名に「**c**」と入力し、デフォルトの値を「**1**」のままにして [Enter] を押します。
6. **ダイアグラム** (📊) をクリックします。新しいサブシステムパラメータ (**c**) が、 L_1 共有サブシステムの [インスペクタ] タブに表示されます。
7. モデルのトップレベルで、 L_2 サブシステムを選択し、[インスペクタ] タブを確認します。新しいサブシステムパラメータは、 L_2 共有システムに対しても表示されています。
8. [インスペクタ] タブで、**c** の値を「**50**」に変更します。
9. **モデルワークスペース** で、 L_1 共有サブシステムをクリックし、[インスペクタ] タブを確認します。**c** パラメータの値が変わっていないことに注意してください。

パラメータブロックの作成

上記方法によってサブシステムパラメータを定義する代わりに、サブシステムパラメータ式を定義できるパラメータブロックを作成し、それをモデルのコンポーネントに代入することもできます。パラメータブロックを使用すると、**モデルワークスペース** のトップレベルの複数のモデルに対し、パラメータ値を適用できます。

下の図は、**モデルワークスペース** に追加されたパラメータブロックを表しています。



このブロックをダブルクリックすると、パラメータエディタ画面が表示されます。この画面から、ブロックのパラメータ値が定義できます。

Parameters subsystem default settings

Name	Type	Default Value	Default Units	Description
<input type="text"/>				

パラメータ値の定義が終わると、それらの値をモデル内に配置されているコンポーネントのパラメータに代入することができます。

パラメータ値をほかのモデルで使用するには、パラメータブロックをカスタムライブラリに追加します。カスタムライブラリの詳細は、[カスタムライブラリの作成と管理 \[65ページ\]](#)を参照してください。

注:

- パラメータブロックは、パラメータ値を代入したいコンポーネントが配置されているサブシステムに作成する必要があります。
- モデルの同一階層レベルにおいて、同一名のパラメータを含むパラメータブロックを作成することはできません。たとえば、同一サブシステムにおいて、それぞれが **mass** という名前のパラメータを含む2つのパラメータブロックを作成することはできません。

例: パラメータブロックの作成と使用

この例では、モデル内の複数のコンポーネントで共有できるパラメータ式を作成します。パラメータブロックを作成すると、1か所でパラメータ値を変更するだけで複数のシミュレーション結果を比較することができます。

パラメータブロックを作成して使用するには

1. MapleSim ウィンドウ左側の [ライブラリ] タブで、[アプリケーションと事例] パレット、[ドメイン別例題]、[1-D メカニカル] メニューの順に展開し、[PreLoad] の例を開きます。
2. [設定] タブで、[t_{d1}] (シミュレーション時間) に「0.012」秒を入力します。
3. ワークスペースで SM_1 という MASS コンポーネントをクリックしてから [インスペクタ] タブをクリックします。これからはパラメータブロックを使用して、 m 、 L 、 s_0 、 v_0 パラメータの値を設定します。
4. モデルワークスペースのツールバーからパラメータブロックを追加 (📄) をクリックし、モデルワークスペースの空白部分をクリックします。
5. [インスペクタ] タブをクリックし、パラメータブロックの名前に「SlidingMassParams」と入力します。
6. モデルワークスペースで、パラメータブロック SlidingMassParams をダブルクリックします。パラメータエディタ画面が表示されます。

Parameters subsystem default settings

Name	Type	Default Value	Default Units	Description


7. テーブルの最初のフィールドをクリックし、「MASS」という名前の記号パラメータを定義します。
8. [Enter] を押します。この行の残りのフィールドが有効になります。
9. [型] ドロップダウンメニューで、Mass [[kg]] を選択します。
10. デフォルト値「5」を入力します。
11. [デフォルト単位] ドロップダウンメニューで、[kg] を選択します。
12. [説明] フィールドに「Mass of the sliding mass」と入力します。
13. 同様に、以下のパラメータと値を Parameters サブシステムの標準設定テーブルに定義します。

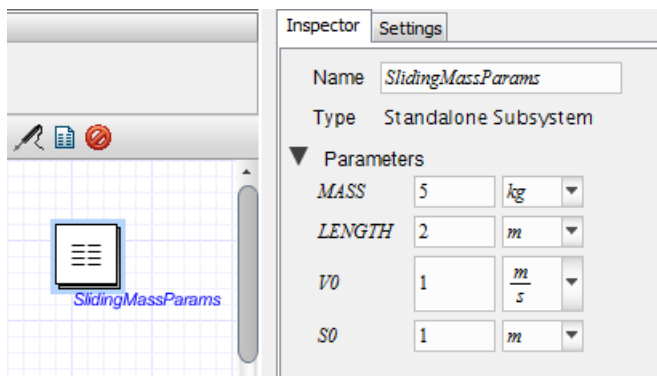
名前	型	デフォルト値	デフォルト単位	説明
LENGTH	Length [[m]]	2	m	Length of the sliding mass
V0	Velocity [[$\frac{m}{s}$]]	1	$\frac{m}{s}$	Initial velocity of the sliding mass
S0	Position [[m]]	1	m	Initial position of the sliding mass

下の図は、値がすべて定義された状態のパラメータエディタ画面を表していません。

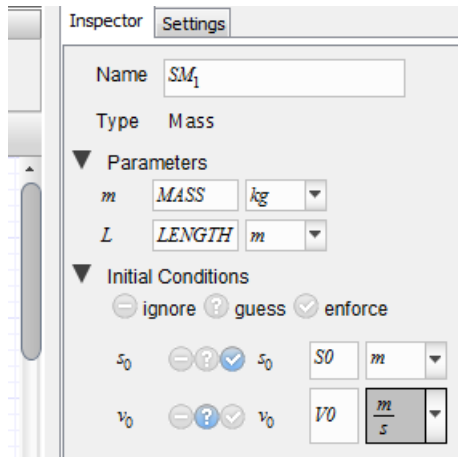
Parameters subsystem default settings

Name	Type	Default Value	Default Units	Description
MASS	Mass [[kg]]	5	kg	Mass of the sliding mass
LENGTH	Length [[m]]	2	m	Length of the sliding mass
V0	Velocity [[$\frac{m}{s}$]]	1	$\frac{m}{s}$	Initial velocity of the sliding mass
S0	Position [[m]]	1	m	Initial position of the sliding mass

14 ナビゲーションツールバーにあるダイアグラム () をクリックし、次に **Main** (Main ▶) をクリックします。モデルワークスペースでパラメータブロックを選択すると、定義したパラメータが、MapleSim ウィンドウ右側の [インスペクタ] タブに表示されます。

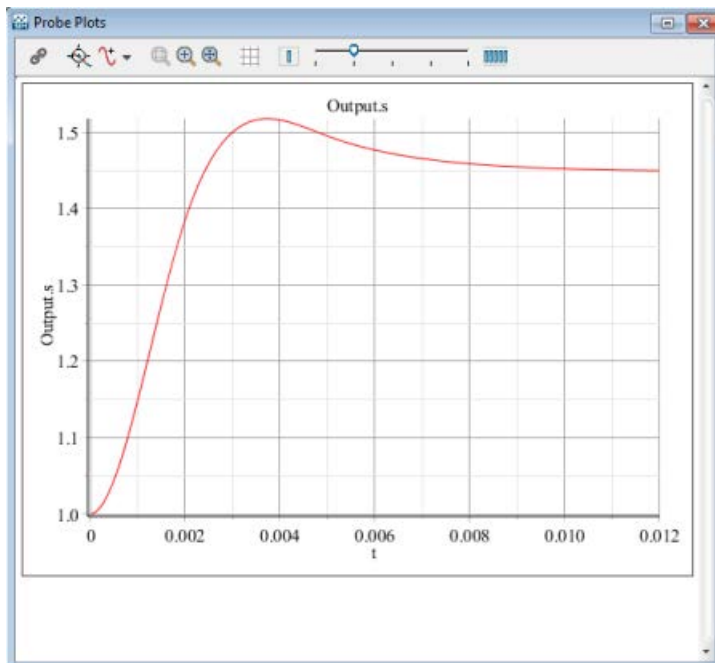


- 15 モデルワークスペースで、ダイアグラム内の **SM₁** Mass コンポーネントを選択します。
- 16 [インスペクタ] タブで以下のパラメータ値を代入し、[Enter] を押します。

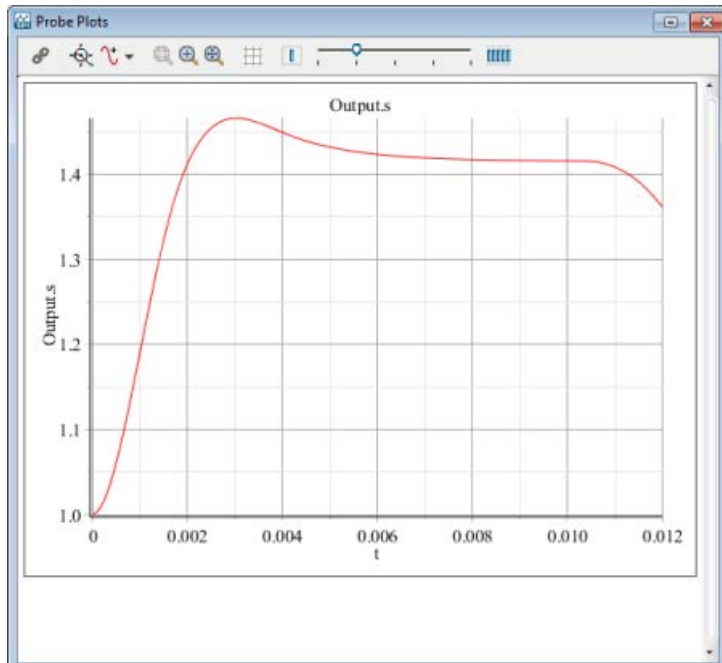


これで、この **Mass** コンポーネントのパラメータはパラメータブロックで定義された数値を受け継ぐようになります。

17. 同様に、モデル内の **SM₂** および **SM₃** という Mass コンポーネントにも同じ値を代入します。
- 18 **モデルワークスペース**で、**Input** というラベルのプロープを削除します。
- 19 **Output** というラベルのプロープを選択します。
- 20 [インスペクタ] タブで、[Velocity] の横にあるチェックボックスをオフにします。
- 21 モデルをシミュレートするには、**メインツールバー**の**シミュレーションの実行** (▶) をクリックします。次のグラフが表示されます。



- 22 モデルワークスペースで、パラメータブロックをクリックします。
- 23 [インスペクタ] タブで、質量 (MASS) を「3.5」、初期速度を「5」に変更します。[Enter] を押します。これらの変更は、記号パラメータ値を代入したすべての Mass コンポーネントに適用されます。
- 24 モデルで再度シミュレーションを実行します。新しいシミュレーショングラフが表示され、最初のグラフと比較できます。



パラメータセットの作成

モデルのための作成するパラメータは、再利用可能なパラメータセットとして保存できます。パラメータセットを利用すると、ワークスペースに表示された1つのモデルに対し、パラメータ値のセットを保存と再利用したり、異なるパラメータ値のセットどうしを比較することができます。いつでも多様なシミュレーションを簡単に適用、実行でき、その都度、モデルに対して新しい値を保存できます。パラメータセットは、**モデルワークスペース**の全パラメータのスナップショットを提供します。

モデルのパラメータセットは、**[プロジェクト]**タブのパラメータセット下に表示されます(下図参照)。



パラメータセットを右クリック (Macintosh では **[Control]** キーを押しながらクリック) することで、同じモデルで異なるパラメータセットを保存、再利用、比較することができます。詳細は、**MapleSim ヘルプシステムの MapleSim 操作方法 > モデルの構築 > パラメータセットの利用 > パラメータセットの保存と適用セクション**を参照してください。

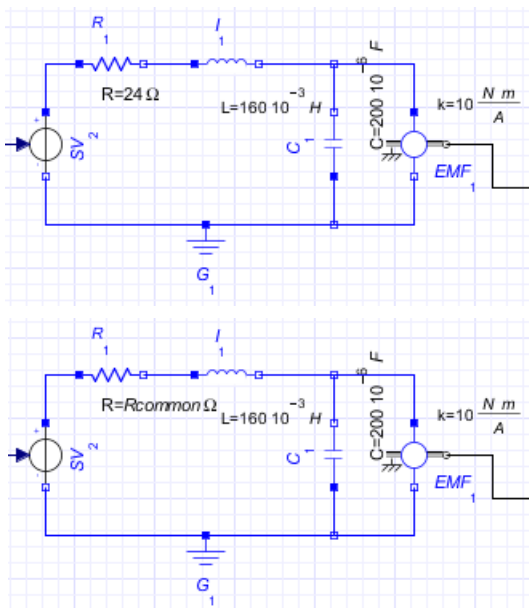
パラメータと変数の詳細設定の利用

モデルのトップレベルの **[Mainサブシステムの標準設定]** ウィンドウで、パラメータを追加してそのデフォルト値を設定することで、サブシステムを定義します。別の方法としては、**[インスペクタ]** タブの **[パラメータ詳細設定]** および **[変数詳細設定]** ツールを使用して、サブシステムのコンポーネントに対し、サブシステムのパラメータ、変数、初期値を直接設定することもできます。詳細設定を使用すると、1つまたは複数のデフォルト値をオーバーライドすることができます。

パラメータ詳細設定

[パラメータ詳細設定] を使用すると、選択されたサブシステムコンポーネントのデフォルト値をオーバーライドすることができます。必要であれば、パラメータ化機能 (🔧) を使用してオーバーライドをパラメータ化することもできます。ひとつのサブシステムでのコンポーネントオーバーライドは、その他すべてのサブシステムから見えるパラメータに変換することができます。

次のモデルでは、Rの初期値にオーバーライドが適用され、パラメータ **Rcommon** に変換されています。




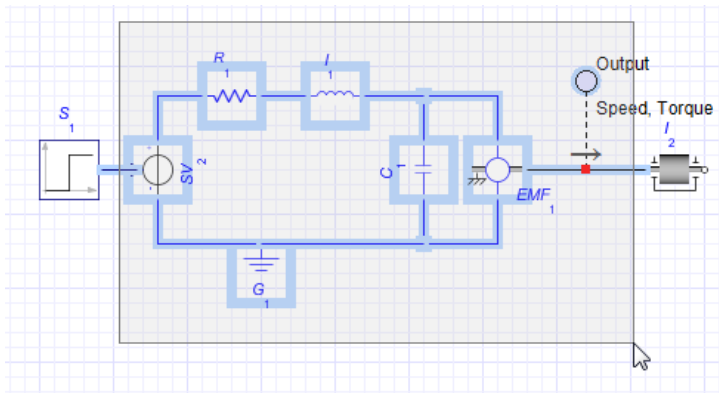
変数詳細設定

[**変数詳細設定**]を使用すると、サブシステムコンポーネントの初期条件を指定できます。[**変数詳細設定**]を選択すると、そのサブシステムのすべての設定可能なコンポーネントに対する初期条件フィールドが表示されます。

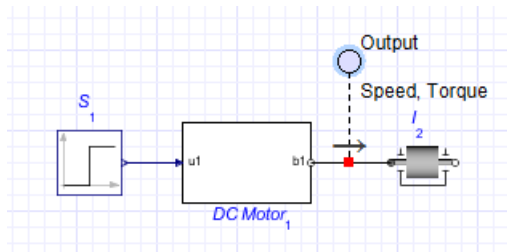
例：パラメータオーバーライドの作成

パラメータオーバーライドを作成するには

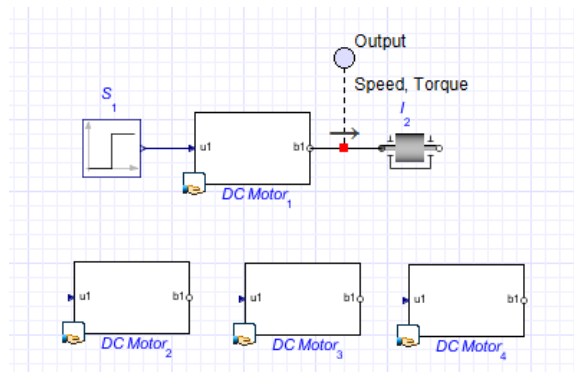
1. MapleSim ウィンドウ左側の [**ライブラリ**] タブで、[**アプリケーションと事例**] > [**ユーザガイドの例題**] > [**第2章**] メニューの順に展開し、[**Simple DC Motor**] の例を開きます。
2. **モデルワークスペース**の上に配置されている**選択ツール** ()を使用して、すべての電気コンポーネントを囲む四角形を描きます。



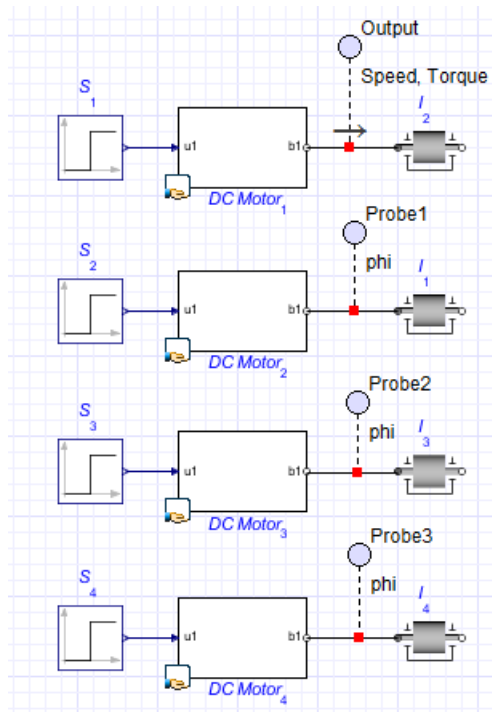
3. **[編集]**メニューから**[サブシステムの作成]**を選択するか、四角に囲まれた領域内を右クリック (Macintoshでは**[Control]**キーを押しながらかリック) し、**サブシステムの作成**を選択します。
4. ダイアログボックスに「**DC Motor**」と入力し、**[OK]**をクリックします。DC Motor サブシステムが表示されます。



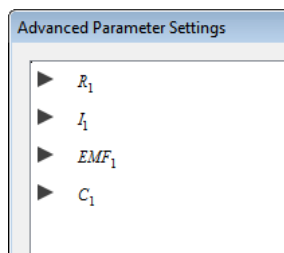
5. DC Motor サブシステムを使用して共有サブシステムの定義を作成し、**[定義]**タブに追加します。
6. DCMotorサブシステム定義アイコンを**[定義]**タブからドラッグし、**モデルワークスペース**に置くことで、DC Motor サブシステムのコピーを3つ**モデルワークスペース**に追加します。



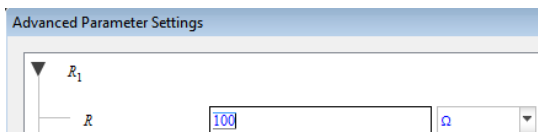
7. DC Motor サブシステムを3つ、下図のように作成します。



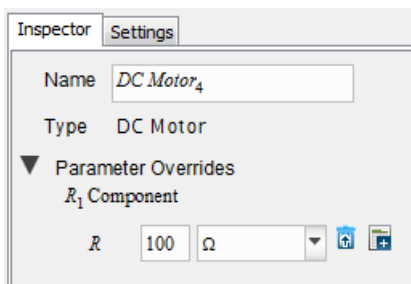
8. DC Motor₄ サブシステムをクリックし、[インスペクタ] タブで [パラメータ詳細設定] をクリックします。[パラメータ詳細設定] ウィンドウが表示され、サブコンポーネントシステムすべてが表示されます。



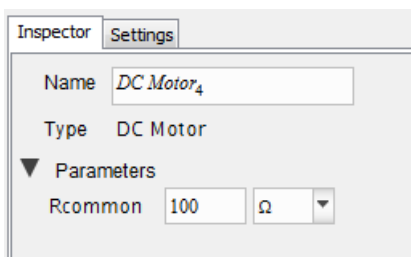
9. [R1] を開き、抵抗パラメータ (R) に値「100」を入力します。



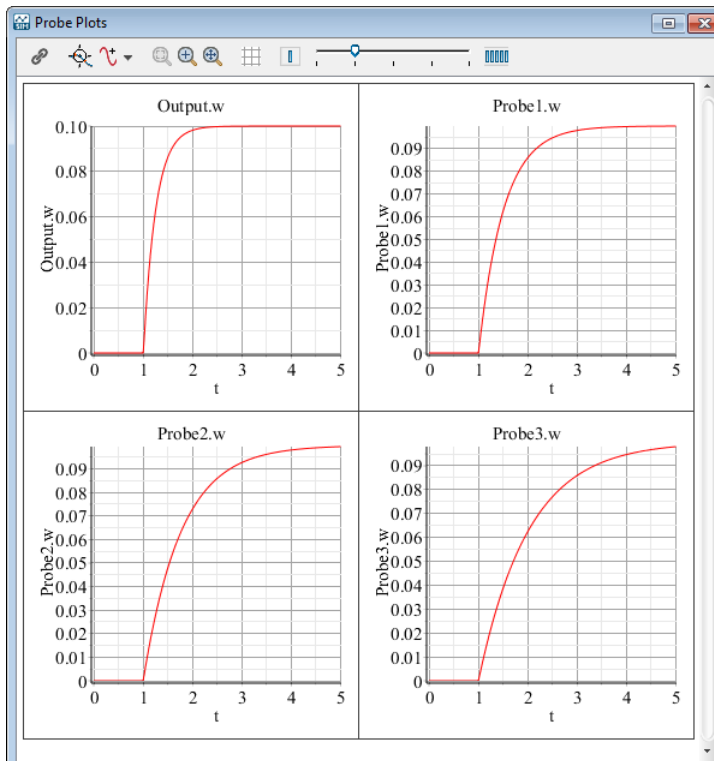
10. [OK] をクリックします。新しいパラメータが [インスペクタ] タブにオーバーライドとして表示されます。



11. このオーバーライドを再利用可能なパラメータに変更するには、**パラメータ化** (📄) をクリックし、新しいパラメータ名「**Rcommon**」を入力して、[OK] をクリックします。**Rcommon**はほかのサブシステムで再利用できるパラメータとして[インスペクタ]タブに表示されます。これはすでにオーバーライドではなくなっています。



- 12 ほかのサブシステムをそれぞれクリックして、DC Motor サブシステム 3、2、1 に対し、**Rcommon** の値をそれぞれ 75Ω、50Ω、25Ω と設定します。
- 13 各サブシステムでプローブを選択し、[インスペクタ] タブで **[Speed]** チェックボックスをオンにして、ほかのチェックボックスをすべてオフにします。
- 14 **メインツールバー**で**シミュレーションの実行** (▶) をクリックします。それぞれのサブシステムに対し次のグラフが表示されます。



初期条件オーバーライドの指定

特定のサブシステムコンポーネントについて、既存の初期条件をオーバーライドして初期条件値を設定することができます。コンポーネントを選択すると、[インスペクタ] タブに利用可能な初期条件フィールドと既存のオーバーライドが表示され、コンポーネントのそれ以外の設定可能なパラメータ値も表示されます。

サブシステムを選択して **[変数詳細設定]** をクリックすると、サブシステムコンポーネントがすべて表示されます。コンポーネントを選択し、そのコンポーネントの初期値を指定することができます。この機能は、共有サブシステムを複数持つモデルに特に有用です。

2.7. モデルへのファイルの添付

[プロジェクト] タブ下の **[添付]** パレットを使用すると、外部アプリケーションで作成されたスプレッドシートや設計文書など、あらゆる形式のファイルをモデルに添付することができます。**[添付]** パレットで添付されたファイルは、後の MapleSim セッションでモデルを扱うときに参照できるように、カレントモデルの一部として保存することができます。ファイルを保存するには、添付ファイルの保存先となるパレットのカテゴリを右クリック (Macintoshでは **[Control]** キーを押しながらクリック) し、**[ファイルを添付]** を選択します。

また、メニューバーで **[編集] > [ファイルを添付...]** を選択してモデルにファイルを添付することもできます。デフォルトでは、この方法を使用すると、ファイルは **[ドキュメント]** カテゴリに分類されます。この添付物を移動するには、その項目をクリックして別のカテゴリにドラッグします。

下図に、**DamperCurve.csv** と **Data Generation.mw** という名前のファイルを含む **[添付]** パレットを示します。

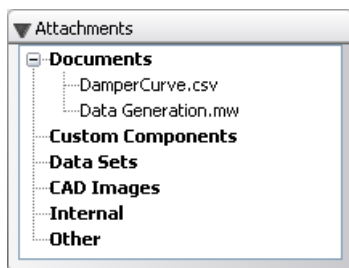


図2.14 添付

また、**[添付]** パレットは、Maple で解析タスクを実行するための MapleSim テンプレートを開く場合や、カスタムモデリングコンポーネントの作成、モデルのためのデータセットの生成などの目的で使用することもできます。解析タスクの実


行に関する詳細は、本ガイドの [モデルの解析と操作](#) [153ページ] を参照してください。

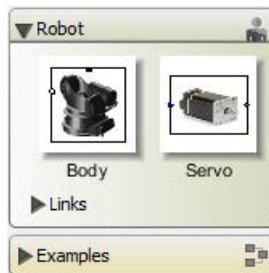
2.8. カスタムライブラリの作成と管理

複数のファイルや MapleSim セッションで再利用したいサブシステム、およびカスタムモデリングコンポーネントを保存するためのカスタムライブラリを作成することができます。作成したカスタムライブラリは、MapleSim ウィンドウの左側にある **[ライブラリ]** タブのカスタムパレットに表示され、ユーザのコンピュータに .msimlib ファイルとして保存されます。将来の MapleSim セッションでこれらのカスタムパレットは MapleSim ウィンドウに表示されます。

ほかのパレットからコンポーネントを追加する場合と同様に、モデル構築時にはカスタムライブラリパレットからサブシステムやコンポーネントを利用できません。

カスタムライブラリを別のユーザと共有することも可能です。たとえば、ネットワークドライブ上にカスタムライブラリを格納した場合、対象の格納場所へのアクセス権限を持つ別のユーザは、カスタムライブラリを各自の MapleSim セッションに読み込むことができます。

カスタムライブラリパレットは、**[アプリケーションと事例]** パレットの上部にアイコン  で表示されます。カスタムパレットのサンプルを以下に示します。



カスタムライブラリの作成についての詳細は、MapleSim ヘルプシステムから **MapleSim 操作方法 > モデルの構築 > カスタムライブラリ > カスタムライブラリの作成** を参照してください。

Modelica 3.2.1 プログラミング言語に基づいたモデルライブラリやモデルを、他社のツールを使用して作成する場合、そのモデルライブラリやモデルの.mo ファイルを .msimlib ファイルとして MapleSim にインポートすることができます。そうした場合、インポートしたモデルやライブラリを、ほかのモデリングコンポーネントと同じように MapleSim モデルで使用することができます。詳細は、**MapleSim 操作方法 > モデルの構築 > Modelica のモデルとライブラリをインポートして開く > Modelica ライブラリのインポート**を参照してください。

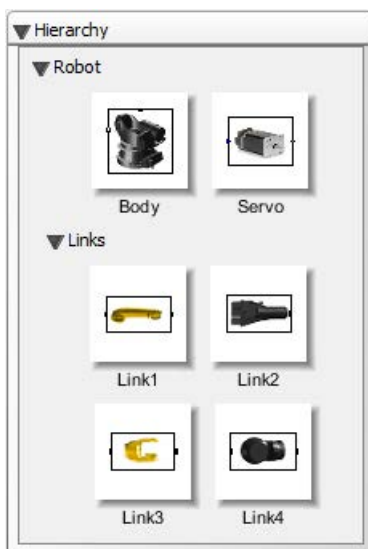
例：既存モデルからカスタムライブラリを作成

この例では、既存の MapleSim モデルからカスタムライブラリを作成します。

今後の MapleSim セッションでも使用できるように、サブシステムと.mw形式の添付ファイルをカスタムライブラリに追加します。

モデルからカスタムライブラリを作成するには

1. **[ライブラリ]** タブで、**[アプリケーションと事例]** パレット、**[ドメイン別例題]** > **[マルチボディ]** メニューの順に展開し、**[5 DoF Robot]** の例を開きます。
2. このモデルには、**[定義]** タブの **[コンポーネント]** パレットにリストされる6つの共有サブシステムが含まれます。
3. モデルを保存します。
4. **[ツール]** メニューから、**[MapleSim ライブラリにエクスポート]** と選択します。
5. **[パッケージ]** に「**Robot**」と入力してライブラリに名前を付けます。
注： 指定したパッケージ名は、MapleSim インターフェースに表示されるカスタムパレットの名前になります。
6. **[OK]** をクリックします。ライブラリ編集モード(ワークスペースの透かし文字とパラメータペインの **[ライブラリ]** タブにより表示)になります。MapleSim ウィンドウ左側の **[ライブラリ]** タブに、新しいカスタムライブラリのパレットが表示されます。各要素の階層を定義していないため、パレットは空の状態になっています。
7. **[定義]** タブに切り替え、ルート名(Robot)の **[階層]** タブにコンポーネントをドラッグします。必要に応じて、要素をサブグループに整理します。

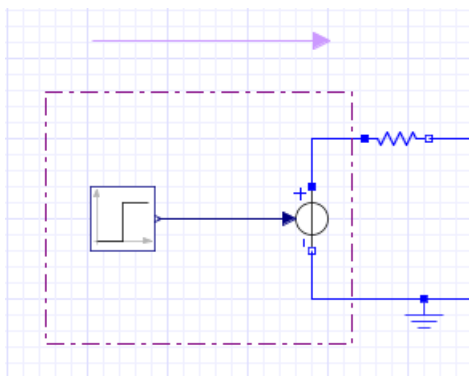



8. メインツールバーで現在のライブラリをリロード (🔄) をクリックして変更を保存し、[ライブラリ] タブのカスタムライブラリにパレットと更新情報をリロードします。カスタムライブラリパレットにこれらのコンポーネントがすべて表示されるようになります。



2.9. モデルへの注釈の追加


モデルワークスペースのツールバーに配置されているツールを使用すると、線や矢印、図形を描くことができます。また、MapleSim は色や、線のスタイル、塗りつぶしをカスタマイズするためのツールも多く備えています。

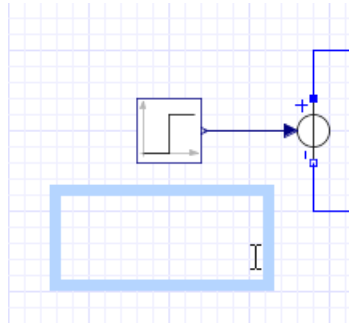


モデルワークスペースのツールバーに配置されているテキストツール()を使用すると、モデルにテキスト注釈を追加することができます。テキスト注釈では、2-D Math 表記で数値を入力し、テキストのスタイル、色、フォントをフォーマットすることができます。2-D Math 表記の詳細は、*2-D Math 表記によるテキスト入力* [70ページ]を参照してください。

例：モデルへのテキスト注釈の追加

注釈をモデルに追加するには

1. [ライブラリ] タブで、[アプリケーションと事例] パレット、[ユーザガイドの例題]>[第2章]メニューの順に展開し、[Simple DC Motor]の例を開きます。
2. モデルワークスペースのツールバーで、テキストツール()をクリックします。
3. モデルワークスペース内の **Step** コンポーネントの下に、注釈を入力するためのテキストボックスを描きます。



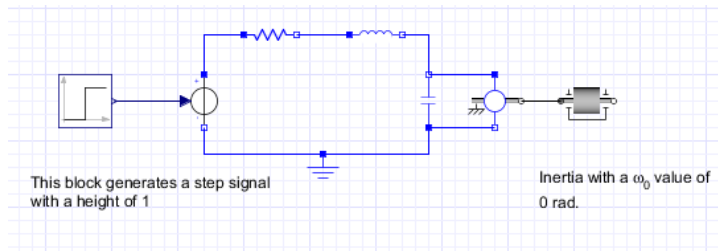
マウスの左ボタンを開放すると、**モデルワークスペース**の上のツールバーが書式設定のツールバーに切り替わります。



4. 次の文章(テキスト)を入力します : **This block generates a step signal with a height of 1.**
5. 入力したテキストを選択し、フォントを **Arial** に変更します。
6. テキストボックス外で、任意の場所をクリックします。
7. **Inertia** コンポーネントの下に別のテキストボックスを描きます。
8. 次の文章(テキスト)を入力します : **Inertia with a ω_0 value of 0 rad.**

ヒント : ギリシア文字のオメガ (ω) を入力するには、コンテキストバーで [数学] アイコン **Text Math** をクリックして(または **[F5]** を押して) 2D Math モードに切り替え、「**omega**」と入力し **[Esc]** キーを押します。下付きの値を入力するには、**[Ctrl] + [Shift] + 下線 ([_])** キー (Windows および Linux) または **[Command] + [Shift] + 下線 ([_])** キー (Macintosh) に続けて「**0**」を入力します。下付き文字の入力を終了するには、キーボードの右矢印キーを押します。コンテキストバーのテキストツールをクリックしてテキスト入力モードに切り替え、残りのテキストを入力します。

9. 入力したテキストを選択し、フォントを **Arial** に変更します。
10. 注釈の入力を終了するには、テキストボックス外で任意の場所をクリックします。



2.10. 2-D Math 表記によるテキスト入力

パラメータ値および注釈には、2-D Math 表記のテキストを入力できます。2-D Math 表記とは、下付き文字、上付き文字、ギリシャ文字のような数学要素を入力する際に使用する書式オプションです。2-D Math 表記のテキストを入力する際、使用可能な Maple コマンドや数学記号のリストを表示する補完機能が使用できます。

下記はよく使用する 2-D Math 表記の入力ショートカット一覧です。

2-D Math 表記のキーの組み合わせ

タスク	キーの組み合わせ	例
テキストモードと 2-D Math モード間の切り替え (注釈の入力時のみ有効)	[F5]	-
コマンドおよび記号の補完 (パラメータと注釈の入力時のみ有効)	<ol style="list-style-type: none"> 記号名、ギリシア文字、または Maple コマンドの先頭数文字を入力します。 プラットフォームに応じて、次のキーの組み合わせのいずれかを入力します。 <ul style="list-style-type: none"> [Esc] キー : Macintosh、Windows、Linux [Ctrl] + [Space] キー : Windows [Ctrl] + [Shift] + [Space] キー : Linux メニューから、挿入したい記号またはコマンドを選択します。 	-
変数に対する下付き文字の入力	[Ctrl] (Macintosh では [Command]) + [Shift] + 下線 ([_]) キー	x_a
上付き文字の入力	caret (^)	x^2
平方根の入力 (注釈の入力時のみ有効)	「sqrt」と入力し、[Ctrl] (Macintosh では [Command]) + [Space] キーを押します。	\sqrt{x}
累乗根の入力 (注釈の入力時のみ有効)	「nthroot」と入力し、[Ctrl] (Macintosh では [Command]) + [Space] キーを押します。	$\sqrt[n]{x}$
分数の入力	スラッシュ (/)	$\frac{1}{8}$

タスク	キーの組み合わせ	例
区分、行列、またはベクトル行の入力(注釈の入力時のみ有効)	[Ctrl] (Macintosh では [Command]) + [Shift] + [R] キー	[3 8]
表列の入力(注釈の入力時のみ有効)	[Ctrl] (Macintosh では [Command]) + [Shift] + [C] キー	[6]

詳細は、MapleSim ヘルプシステムの **MapleSim 操作方法 > モデルの構築 > モデルへの注釈の追加 > 2-D Math 表記のキーの組み合わせ**を参照してください。

2.11. 補間テーブルコンポーネントのデータセットの作成

モデルの補間テーブルコンポーネントに値を与えるデータセットを作成し、たとえば、入力信号や、電気の **Current Table** および **Voltage Table** ソースなどにカスタム値を与えることができます。データセットを作成するには、カスタム値が格納されている Microsoft® Excel® スプレッドシート (.xls または .xlsx)、またはカンマ区切り (.csv) ファイルを添付するか、MapleSim テンプレートダイアログボックスに用意されているデータ生成テンプレートまたは乱数データ生成テンプレートを使用して Maple にデータセットを作成します。

補間テーブルコンポーネントの詳細は、MapleSim ヘルプシステムの **MapleSim コンポーネントライブラリ > 信号ブロック > 補間テーブル > 概要**を参照してください。

例：Maple でのデータセットの作成

この例では、データ生成テンプレートを使用して MapleSim の **1D Lookup Table** コンポーネントのためにデータセットを作成します。このテンプレートでは、あらゆる Maple コマンドを使用してデータセットを作成できますが、説明のため、ここでは、定義済みの計算を使用してデータセットを作成します。

Maple でデータセットを作成するには

1. 新しい MapleSim ドキュメントを開きます。
2. [ライブラリ] タブで [信号ブロック] パレットを展開し、[補間テーブル] メニューを開きます。
3. モデルワークスペースに **1D Lookup Table** コンポーネントを配置します。

4. メインツールバーで、**テンプレートから添付を作成する** (🔗) をクリックします。
5. テンプレートリストから、**[データ生成]** を選択します。
6. **[添付]** フィールドに **「My First Data Set」** と入力し、**[添付を作成]** をクリックします。Maple が起動し、データ生成テンプレートが開きます。
7. ワークシート全体を実行するには、Maple ウィンドウの上部の **(!!!)** をクリックします。
8. テンプレートの下部に配置されている **[データセット名]** フィールドに **「TestDataSet」** と入力します。
9. MapleSim でデータセットを使用可能にするには、**[MapleSim にデータ添付]** をクリックします。
10. MapleSim の **[プロジェクト]** タブで **[添付]** パレットを展開し、**[データセット]** カテゴリを開きます。作成したデータセットファイルが一覧に表示されます。これで、このデータセットを **モデルワークスペース** の補間テーブルコンポーネントに設定できます。
11. **モデルワークスペース** で、**1D Lookup Table** コンポーネントを選択します。
12. **[data source]** フィールドで、**[attachment]** を選択します。
13. **[インスペクタ]** タブの **[data]** ドロップダウンメニューから、**[TestDataSet.mpld]** ファイルを選択します。これで、データセットは **1D Lookup Table** コンポーネントに代入されます。
14. Maple でデータ生成テンプレートを保存してから、MapleSim でモデルを保存します。

2.12. ベストプラクティス：モデルの構築

このセクションでは、MapleSim モデルのレイアウト (配置) および作成におけるベストプラクティス (最良の方法) について説明します。

ベストプラクティス：サブシステムの作成と配置

モデルを作成する場合は、まずコンポーネントをパレットから **モデルワークスペース** の中央にドラッグします。 **モデルワークスペース** 内のコンポーネントを望

みどおりに再配置します。必要な場合、コンポーネントの向きを変えます。コンポーネントの位置と向きを定めたら、**モデルワークスペース**でそれらを接続します。

コンポーネントをサブシステム化する場合、画面の表示範囲に収まるようにコンポーネントを選択してください。これによりサブシステムコンポーネントのすべてをスクロールせずに見ることができます。

再利用が考えられるコンポーネントグループをサブシステム化する


ダイアグラムの至るところ、または複数のファイルでの再利用が考えられるコンポーネントグループをサブシステム化してください。たとえば、振り子システムに複数の平面リンクモデルを含める場合、リンクサブシステムを作成すると、モデルにそのコンポーネントグループを複数コピーできます。リンクサブシステムを別の振り子モデルで使用する場合は、カスタムライブラリを作成することで、そのサブシステムは別のファイルでも使用できるようになります。

解析対象コンポーネントグループをサブシステム化する

より詳細な解析または試験、あるいはソースコードへの変換が考えられるコンポーネントグループをサブシステム化してください。解析の実行や、特定のサブシステムから方程式を取得するには、いくつかの MapleSim テンプレートが使用できます。コード生成テンプレートはサブシステムからしかソースコードを生成することができません。

解析タスクの実行に関する詳細は、本ガイドの [モデルの解析と操作\[153ページ\]](#) を参照してください。

デバッグコンソールを使用してサブシステムのコピーおよび未接続の結線を特定する

MapleSim ウィンドウの下部にある **モデルの診断情報を表示** () をクリックしてデバッグペインを表示します。

シミュレーション実行後、デバッグペインには、モデル作成時に発生するエラーに対処するための診断メッセージが表示されます。デバッグペインの下にある **診断テストの実行** () をクリック (または [編集] メニューから [モデルをチェック] を選択) すると、MapleSim はモデルに未接続結線、または同一内容のサブシステ

ムでありながらサブシステム定義にリンクしていないサブシステムがないかを確認します。いずれかの問題が検出されると、問題箇所を含むサブシステムを特定するメッセージがデバッグコンソールに表示されます。デバッグペインのメッセージを右クリック (Macintosh では **[Control]** キーを押しながらクリック) すると、問題の解決に役立つ表示オプションが表示されます。

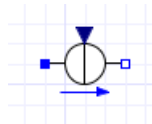
ベストプラクティス : 電気モデルの作成

電気回路に Ground コンポーネントを配置する

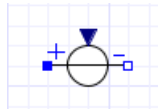
どんな電気回路モデルにも、電圧信号に対して基準を示す **Ground** コンポーネントを配置し、接続する必要があります。

電流源および電圧源の接続を確認する

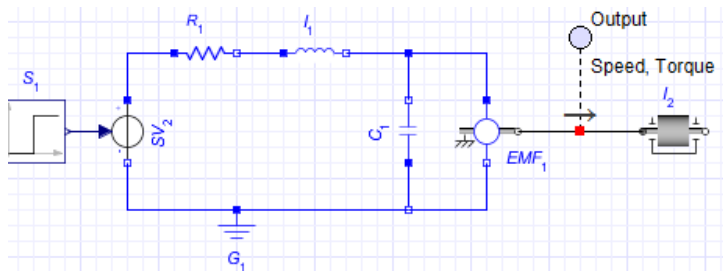
シミュレーションの結果は、電流源や電圧源がモデルでどのように接続されているかによって変わります。シミュレーション結果が予期しないものであった場合は、モデルに配置されているほかのコンポーネントと電源のあいだの接続を確認してください。MapleSim コンポーネントライブラリに用意されている電流源では、正電流の方向が矢印で示されます。



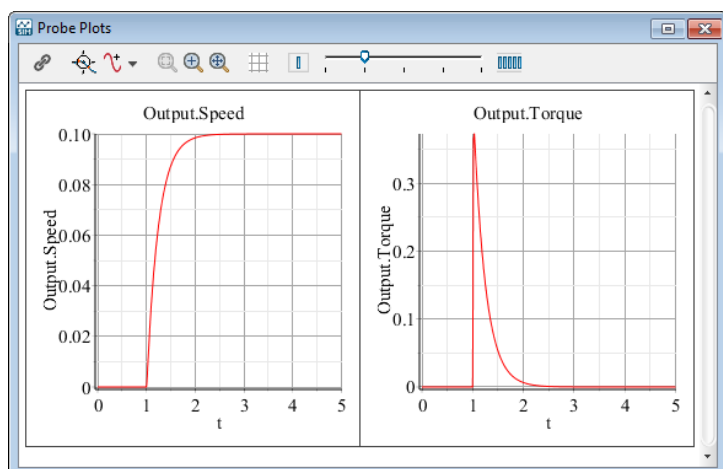
また、電圧源では、正の電圧の位置がプラス記号、負の電圧の位置がマイナス記号で示されます。



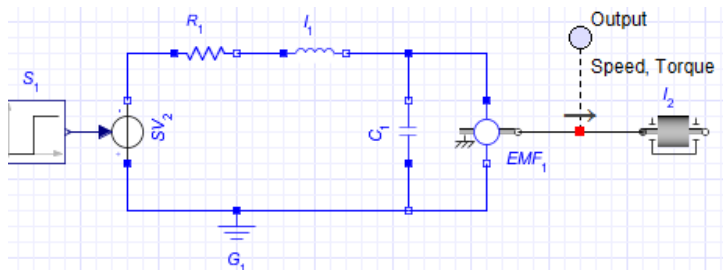
たとえば、下の **Simple DC Motor** モデルでは、図面左側に配置されている **Signal Voltage** ソースのプラスのポートは **Resistor** コンポーネントのプラスのポートに接続されています。



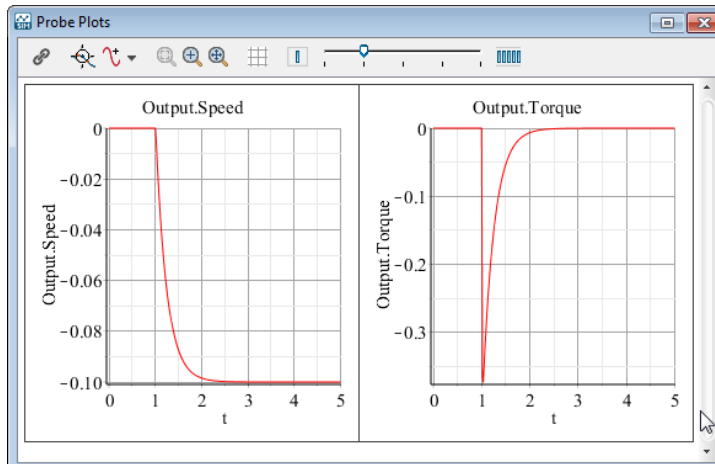
このモデルをシミュレートした場合、MapleSim は下に示すトルクと速度の量を結果として返します。



逆に、下の図に示されているように、**SignalVoltage** ソースのマイナスのポートが **Resistor** コンポーネントのプラスのポートに接続されているとします。



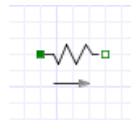
その場合、MapleSim は異なる速度とトルク量の結果を返します。



ベストプラクティス : 1-D 並進モデルの作成

力を示す矢印の向きがすべて同じであることを確認する

MapleSim では、1-D メカニカル の並進コンポーネントはすべて 1-D 座標系で定義され、正の方向はコンポーネントのアイコンとともに表示される灰色の矢印の方向として定義されます。



モデルに力が加えられると、コンポーネントは矢印の方向に移動します。このため、モデルにおける 1-D メカニカル の並進コンポーネントの向きがすべて同じであることを確認する必要があります。たとえば、下記のスプリングダンパーモデルでは、力を示す矢印はすべて右向きになっています。

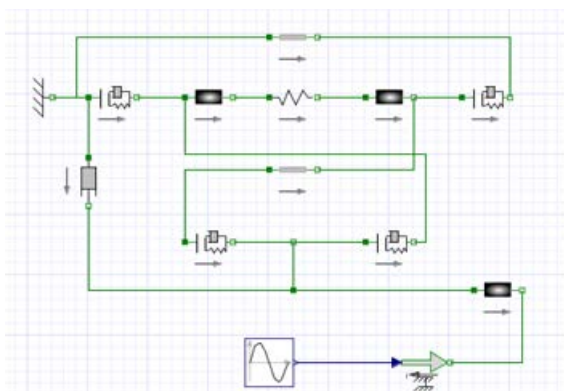


図2.15 力を示す矢印の確認

符号の規則の例および矢印の方向がモデル上で作用する力をどのように表すかについては、[ライブラリ] タブの [アプリケーションと事例] > [ユーザガイドの例題] > [第2章] メニューから [Constant Acceleration]、[Sign Convention] および [Arrow Convention] の各例題を参照してください。

ベストプラクティス：マルチボディモデルの作成

Rigid Body Frame の内側のポートは重心フレームに接続する

モデルに配置されている **Rigid Body Frame** コンポーネントの内側のポートは **Rigid Body** コンポーネントの重心フレームに接続される必要があります。これにより、**Rigid Body Frame** コンポーネントの変位および回転を表すローカル座標系が、**Rigid Body** コンポーネントで定義されている重心系と確実に等しくなります。

下に示す平面リンクの例では、**Rigid Body Frame** の内側のポート（つまり、 のアイコンを持つポート）は両方とも **Rigid Body** コンポーネントに接続されています。

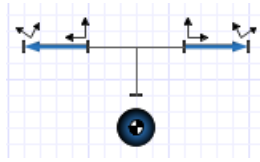


図2.16 重心配置のベストプラクティス

ベストプラクティス : 油圧モデルの作成

流体特性を定義する

油圧モデルを作成する場合は、モデルのトップレベルまたは油圧サブシステムと同じレベルに **Hydraulic Fluid Properties** コンポーネントを配置して、流体の特性を定義する必要があります。このコンポーネントをモデルのトップレベルに配置すると、モデルにおけるすべての油圧コンポーネントとサブシステムがそのコンポーネントで定義されている流体特性を受け継ぎます。一方、**Hydraulic Fluid Properties** コンポーネントをサブシステムと同じレベルに配置すると、そのコンポーネントで定義される特性はそのサブシステムやその中に入っているすべてのサブシステムに含まれている油圧コンポーネントを受け継ぎます。

下の例では、図の右上に示されている **Hydraulic Fluid Properties** コンポーネントで定義される流体特性はモデルに配置されているすべての油圧コンポーネントを受け継がれます。

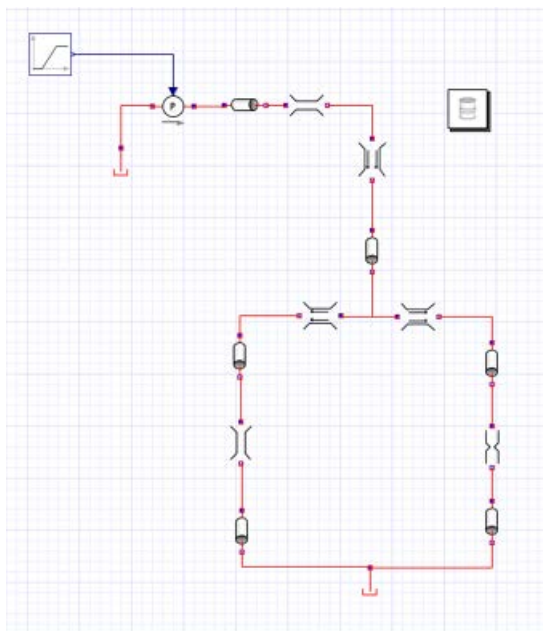


図2.17 油圧モデル

油圧システムのモデリング方法に関する完全なチュートリアルについては、チュートリアル 8: 油圧システムのモデリング [248ページ] を参照してください。

ベストプラクティス: 初期条件の強制

複雑なモデルでは、初期条件がすべて相互に独立しているとは限らない場合があります。一般的には、モデルの自由度により、**enforce** (🔒) オプションを使用し、初期条件を指定した値に強制的に設定することができます。また、指定した初期条件のパラメータ値に対して **guess** オプション (❓) を使用して、ソルバがシステムの適切な初期状態をより速く探せるようにすることもできます。

第3章 カスタムコンポーネントの作成

この章の内容は以下のとおりです。

- [カスタムコンポーネントについて \[81ページ\]](#)
- [信号フローの動作を使用したカスタムコンポーネントの作成 \[85ページ\]](#)
- [物理的な接続を持つカスタムコンポーネントの作成 \[91ページ\]](#)
- [MapleSim でのカスタムコンポーネントの使用 \[93ページ\]](#)
- [例: 非線形バネダンパカスタムコンポーネントの作成 \[97ページ\]](#)

3.1. カスタムコンポーネントについて

カスタムコンポーネントテンプレートは双方向の Maple ワークシートです。このテンプレートを使用すると独自の専門的な MapleSim コンポーネントを簡単に作成することができます。新しいモデルを作成するたびにコードを作成したり、方程式を置き換える必要がありません。カスタムコンポーネントを作成して MapleSim コンポーネントライブラリを拡張すると、ユーザが定義した数理モデルに基づいてカスタムモデリングコンポーネントを作成できます。カスタムコンポーネントでは、物理ドメインに関連付けられた信号やポートを使用したり、この2つを組み合わせて使用できます。また、カスタムコンポーネントのライブラリを作成したり、特別な機能を持つ特定のサブシステムを含むカスタムコンポーネントも作成できます。

カスタムコンポーネントテンプレートを使用すると、システムパラメータや変数の定義、方程式の最適化レベルの設定、数式の生成、結果から生じた式の解析を行うことができます。カスタムコンポーネントテンプレートには、あらかじめ用意されている埋め込みコンポーネントが含まれています。これを使用して、MapleSim モデルによって生成された数式のシステム方程式を抽出、操作、および解析を実行できます。ライブラリのさまざまなコンポーネントを使用して、モデルの作成、初期条件やコンポーネントプロパティの設定、パラメータや変数への新しい値の代入などを行うことができます。

ドメイン固有のカスタムコンポーネントの作成方法に関するチュートリアルについては、[チュートリアル5: カスタムコンポーネントテンプレートの使用 \[210ページ\]](#) **カスタムコンポーネントテンプレートの使用**を参照してください。

カスタムコンポーネントテンプレートにはさまざまな種類があります。各テンプレートは、MapleSimの[添付を作成]ダイアログボックス([表示]>[添付を作成]メニュー)を使用してモデルに添付できます。

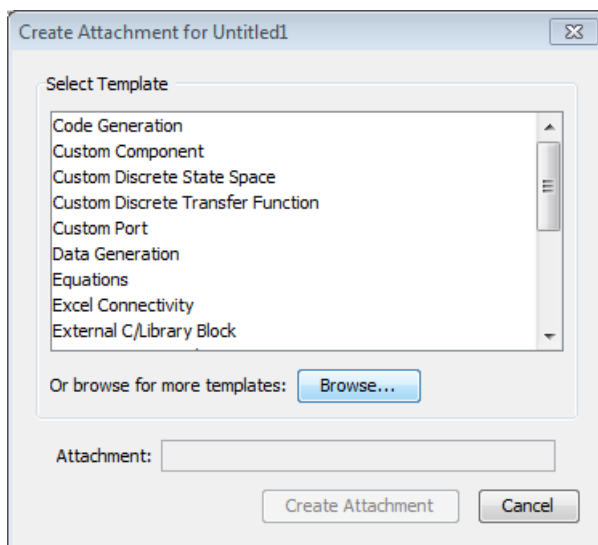


図3.1 MapleSimのテンプレート

単純なカスタムコンポーネントの作成

MapleSimモデルのカスタムコンポーネントを作成する一般的なプロセスには、カスタムコンポーネントのコンポーネント方程式、コンポーネントパラメータ、およびシステムモデルの指定、ポートタイプと値の指定、およびコンポーネントの生成が含まれます。

カスタムコンポーネントを作成するには

1. MapleSimモデルを新規作成し、[編集]>[添付の作成]の順にクリックします。
2. [カスタムコンポーネント]テンプレートを選択し、[添付を作成]をクリックします。Mapleの[カスタムコンポーネント]テンプレートがロードされます。
3. 必要であれば、タイトル、作者、および日付でヘッダーとなるバナーをカスタマイズします。

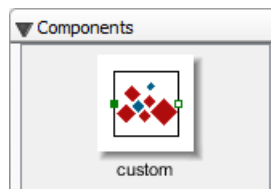
4. **[方程式]**セクションで、カスタムコンポーネントの方程式を入力します。方程式、パラメータおよび初期条件はすべてここに入力します。行の最後で**[Enter]**を押します。

$$eq := \left[s(t) = sa(t) - sb(t), 0 = Fa(t) + Fb(t), Fa(t) = \text{piecewise}\left(s(t) < 0, K \cdot s(t) + B \cdot \frac{d}{dt}s(t), 0\right), K = 1000, B = 10 \right]$$

5. **パラメータ**セクションで、モデルパラメータにデフォルト値とタイプを割り当てます。
6. **変数**セクションで、モデル変数に初期値とタイプを割り当てます。
7. 以下のように、**ポート**セクションで**[ポートを追加]**を押してカスタムコンポーネントにポートを追加します。ポートのレイアウトをコントロールできます。

カスタムポートを定義することができます。この場合、あらかじめ**カスタムポート**テンプレートを使用してカスタムポートを定義しておく必要があります。定義が完了すると、テンプレートでカスタムポートの使用が可能になります。カスタムポートの使用方法に関する完全なチュートリアルについては、第6章の例: [カスタムポート \[221ページ\]](#)を参照してください。

8. ポートのタイプ、スタイル、ポート名、およびポート信号についての詳細を入力します。
9. **コンポーネントの生成**セクションに、コンポーネント名を入力します。これは、MapleSimの**[定義]**タブで表示されるカスタムコンポーネントの名前です。
10. **[MapleSimコンポーネントを生成]**をクリックしてコンポーネントを作成し、MapleSim環境に戻ります。**[定義]**タブの**[コンポーネント]**に、カスタムコンポーネントが表示されるようになります。



一般的な使用方法

カスタムコンポーネントテンプレートは最も汎用的なテンプレートです。具体的には、代数式、微分方程式、または微分代数方程式からカスタムコンポーネントを作成することを目的としています。カスタムコンポーネントテンプレートは、新しいMapleSim コンポーネントを簡単に作成するための、特定のMaple コマンドに関連するプリビルトのコントロールとプロシージャの集合です。[カスタムコンポーネント]の他にも、**[カスタム離散時間状態空間]** および **[カスタム離散系伝達関数]** テンプレートは指定された伝達関数を実装しています。また、**[Modelica カスタムコンポーネント]**を使用すると、ユーザが提供するModelica コードを使用してカスタムコンポーネントを作成できます。

カスタムコンポーネントテンプレートは、単なる方程式のコンテナではありません。モデルのカスタムコンポーネントを生成する前に、Maple のすべての機能を使用して方程式を開発することもできます。これには、コンポーネントの動作をすぐに解析して確認するためのMaple のプログラミング言語、数式処理機能、およびドキュメントツールへのアクセスも含まれます。

カスタムコンポーネントテンプレートを使用して以下のタスクを実行し、Maple でカスタムコンポーネントを作成します。

- モデルにカスタムコンポーネントテンプレートを添付する
- コンポーネントの動作を決める支配方程式およびプロパティを定義する (パラメータ、ポート変数など)
- コンポーネントのポートを指定する
- 関連するポート変数のマッピングを定義する
- 方程式の変数をポートにマッピングする
- コンポーネントを生成し、MapleSim で使用可能にする
- ユーザの数理モデルをテストおよび解析する

カスタムコンポーネントテンプレートには、組み込みコンポーネントと同じ検証を行い、接続とパラメータの無効な値を排除しながら、これらのタスクを実行できるプリビルトのコントロールが含まれています。

カスタムコンポーネントテンプレートの使用

このテンプレートの使用方法の詳細については、MapleSim DAE カスタムコンポーネントテンプレートの使用ヘルプページを参照してください。

3.2. 信号フローの動作を使用したカスタムコンポーネントの作成

カスタムコンポーネントは、多くの信号フローコンポーネントをまとめて接続する必要性を減らすことで、モデルの構築を簡単にします。この例では、簡単な信号フロー方程式のカスタムコンポーネントを作成する方法について示します。

簡単な信号フローのカスタムコンポーネントの作成

次の方程式を実装するカスタムコンポーネントを作成します。

$$x(t) = y(t) + z(t)$$

カスタムコンポーネントを作成するには

1. MapleSim モデルを新規作成し、[編集]>[添付を作成]の順にクリックします。
2. [カスタムコンポーネント]テンプレートを選択し、[添付を作成]をクリックします。
3. 方程式セクションで、以下の方程式を入力します。

$$eq := [x(t) = y(t) + z(t)]$$

注: eq には方程式のリストが割り当てられる必要があるため、この方程式は角括弧で囲まれています。

この行で [Enter] を押して、変更を登録します。

$$eq := [x(t) = y(t) + z(t)];$$

$$[x(t) = y(t) + z(t)]$$

図3.2 カスタムコンポーネントを定義する方程式

ヒント: カスタムコンポーネントの方程式を明示的な形式に置き換える必要はありません。たとえば、この方程式を次のように置き換えることができます。

$$eq := x(t) + \log(x(t)^2) = y(t) + z(t)$$

この場合、出力 $x(t)$ には明示的な解がありません。MapleSim は $x(t)$ の解を自動的に求めます。

4. **[すべて更新]** をクリックして、テーブルを更新します。
5. **ポートセクション**で、**[ポートを追加]** を3回クリックして以下の場所にドラッグし、新しいポートを3つ追加します。

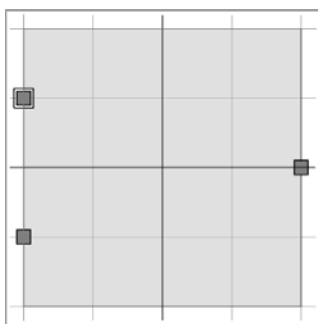


図3.3 ポートのマッピング

6. 左側の一番上のポートをクリックして選択します。
7. **[タイプ]** ドロップダウンリストから **[Real Signal]** を選択します。 **[スタイル]** では、 **[in]** ラジオボタンを選択します。ポートの名前はデフォルトで **real_i** になります。

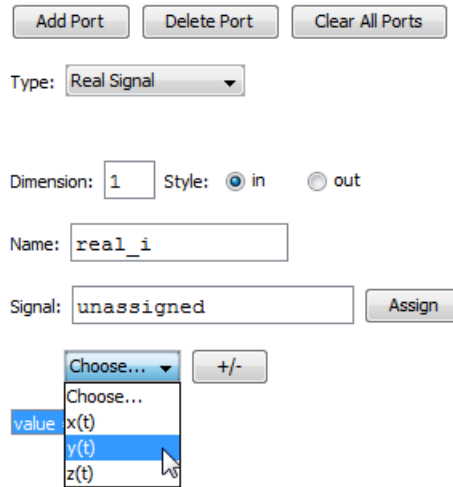


図3.4 ポートマッピングの変数

8. 次に、変数をポート信号に関連付けます。図3.4「ポートマッピングの変数」に示すように、ドロップダウンリストから $y(t)$ を選択します。
9. 表3.1「ポートのマッピング」の設定を使用して、残りのポートマッピングを割り当てます。

ポートのマッピング

ポートの名前	ポートの種類	ポートのコンポーネント
real_i	信号入力値	$y(t)$
real1_i	信号入力値	$z(t)$
real_o	信号出力値	$x(t)$

10. コンポーネントの生成セクションで、[MapleSimコンポーネントを生成]をクリックします。カスタムコンポーネントの方程式が生成され、モデルに代入されます。カスタムコンポーネントのアイコンが、[定義] タブの [コンポーネント] パレットに表示されます。

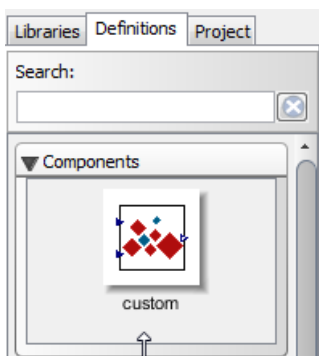


図3.5 生成されたカスタムコンポーネント

11 次のモデルでは、表3.2「信号フローコンポーネント」のコンポーネントを使用して、カスタムコンポーネントを[コンポーネント]パレットからワークスペースにドラッグし、2つの信号ソースを左側の入力ポートに接続し、一番右のポートにプローブを配置(右クリックして[プローブを追加]を選択)します。

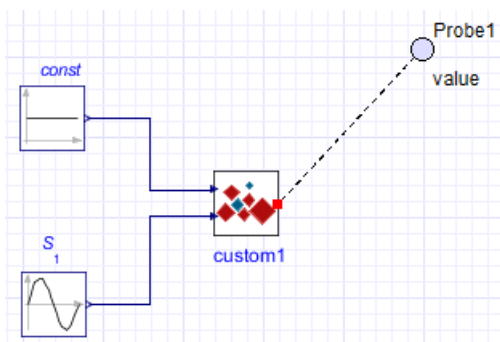
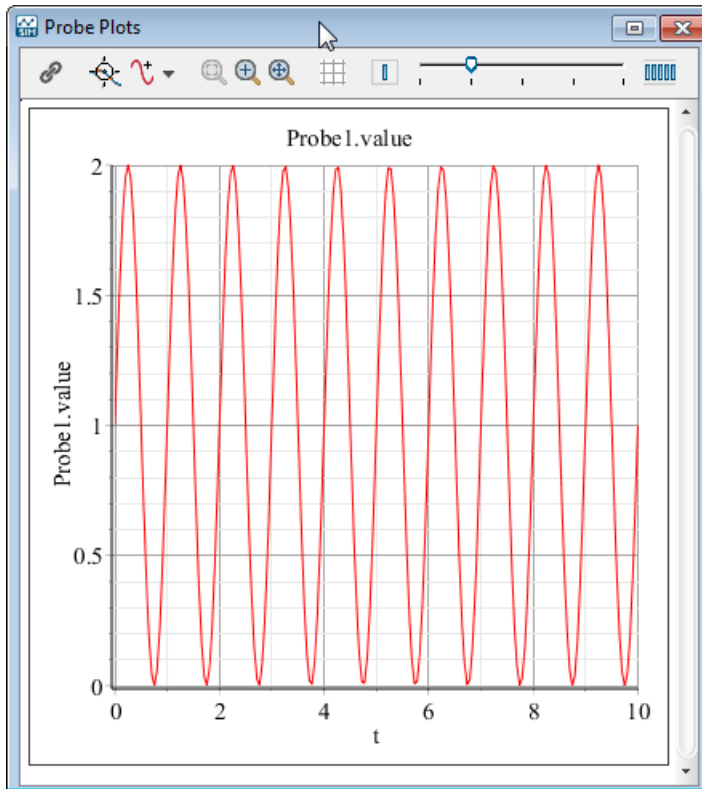


図3.6 完成したカスタムコンポーネントモデル

信号フローコンポーネント

コンポーネント	コンポーネント数	シンボル	ライブラリ場所	必要な設定
カスタムコンポーネント	1		[定義] > [コンポーネント]	カスタム設定
Constant	1		[信号ブロック] > [ソース] > [実数]	デフォルト設定を使用
Sine Source	1		[信号ブロック] > [ソース] > [実数]	デフォルト設定を使用

12 メインツールバーでシミュレーションの実行 (▶) をクリックします。シミュレーションが終了すると、下のグラフが表示されます。



非因果的マッピングの利点

カスタムコンポーネントのポートは入力信号および出力信号として指定されますが、実際には MapleSim は非因果的であるため、ピンのタイプに関係なく信号を入力または出力にすることができます。たとえば、 $x(t)$ と $z(t)$ が指定され、 $y(t)$ にプローブが配置されると、MapleSim は自動的に指定された方程式を

$z(t)$ が指定され、 $y(t)$ にプローブが配置されると、MapleSim は自動的に指定された方程式を $y(t) = x(t) + z(t)$ に置き換えます。

に置き換えます。

入力信号と出力信号の概念は、MapleSim のコード生成機能に必要です。これは、コードが「因果的」であり、MapleSim が入力を期待して出力を提供するためです。

カスタムコンポーネントでの微分方程式の使用

モデルにライブラリのコンポーネントを使用する代わりに、微分方程式を使用してカスタムコンポーネントを定義することもできます。たとえば **図3.7 「2つの質量バネダンパの方程式」** は、ひとつの外力を受ける2つの質量スプリングダンパーの組み合わせの運動を示す方程式を表しています。

$$\begin{aligned}
 \text{eq} := & \left[m1 \cdot \frac{d^2}{dt^2} x1(t) = -K1 x1(t) - B1 \frac{d}{dt} x1(t) - K2 (x1(t) - x2(t)) - B2 \left(\frac{d}{dt} x1(t) \right. \right. \\
 & \left. \left. - \frac{d}{dt} x2(t) \right), m2 \frac{d^2}{dt^2} x2(t) = -K2 (x2(t) - x1(t)) - B2 \left(\frac{d}{dt} x2(t) - \frac{d}{dt} x1(t) \right) + F(t) \right]; \\
 \text{params} := & [K1 = 1, B1 = 1, K2 = 1, B2 = 1, m1 = 1, m2 = 1]; \\
 \text{initialconditions} := & [x1(0) = 0, x2(0) = 0, D(x1)(0) = 0, D(x2)(0) = 0];
 \end{aligned}$$

図3.7 2つの質量バネダンパの方程式

図3.8 「2つの質量バネダンパのポートのマッピング」 に、パラメータをコンポーネントのポートにマッピングする方法を示します。



図3.8 2つの質量バネダンパのポートのマッピング

3.3. 物理的な接続を持つカスタムコンポーネントの作成

物理的な接続に基づいてカスタムコンポーネントを作成する場合、それぞれの接続ポートには関連する2つの変数(介在変数と通過変数)があります。通過変数は、保存量(熱、質量、電流、力、トルクなど)の流れを表し、介在変数はシステム内の原動力(温度差、気圧差、電圧降下、速度、または相対的な角速度など)を表します。

通過変数と介在変数の特徴

通過変数の特徴	介在変数の特徴
保存量 (熱や質量など)	保存量の流れを動かす
フロー方向がある	スカラーである
入力 = 出力 + 蓄積という関係を満たす	物理ドメイン内の2点間の違いを定義する
ドメイン間で同一	

表3.4「通過変数と介在変数の数学的関係」に、さまざまな介在変数および通過変数間の接続を定義する数学的関係を示します。

通過変数と介在変数の数学的関係

ドメイン	支配方程式	通過変数	介在変数
オームの法則 電気ドメイン	$I = \frac{V}{R}$	I	V
ハーゲンポアズイコ式 油圧ドメイン	$\frac{dm}{dt} = \frac{\pi D^4 \rho}{128 L \mu} \cdot P$	$\frac{dm}{dt}$	P
フーリエの法則 伝熱ドメイン	$\frac{dQ}{dt} = h A T$	$\frac{dQ}{dt}$	T

抵抗のシステム方程式の抽出

表3.5「抵抗の変数とパラメータ」に、複数の変数と1つのパラメータを持つ単純な抵抗のモデルを示します。

抵抗の変数とパラメータ

変数	パラメータ	説明
i(t)		電流
v(t)		電圧
vLeft(t)		左側のポートの電圧
vRight(t)		右側のポートの電圧

	R	抵抗
--	---	----

オームの法則では、電圧と電流を次のように定義します。

$$v(t) = V_{right(t)} - V_{left(t)}$$

$$v(t) = i(t) \cdot R$$

図3.9「抵抗のポートのマッピング」は、カスタムコンポーネントのポートにマッピングされた方程式を示しています。



図3.9 抵抗のポートのマッピング


右側のポートの電流 $i(t)$ にはマイナス記号があり、抵抗から流出していることを表しています。左側のポートの電流はプラスであり、抵抗へ流入していることを表しています。抵抗 (R) は、[インスペクタ] タブのパラメータで使用可能なパラメータとして定義されています。

3.4. MapleSim でのカスタムコンポーネントの使用

MapleSim では、カスタムコンポーネントをサブシステムと同じように扱うことができます。カスタムコンポーネントに対して実行できるタスクは以下のとおりです。

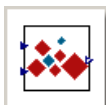
- カスタムコンポーネントにテキストや図を追加する
- カスタムコンポーネントを現在のモデルの一部として保存する
- カスタムコンポーネントをカスタムライブラリに追加する
- カスタムコンポーネントを編集する
- カスタムコンポーネントの例題を開く

カスタムコンポーネントにテキストや図を追加する

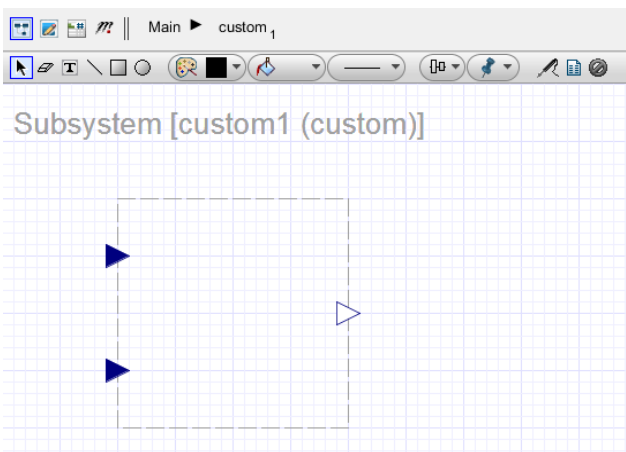
カスタムコンポーネントの外見をカスタマイズしたい場合は、デフォルトのカスタムコンポーネントアイコンを変更することができます。モデルワークスペースでカスタムコンポーネントを選択し、ナビゲーションツールバーにあるアイコンをクリックします。描画や注釈ツールを使用してテキストや図を追加したり、カスタムの図をインポートします。


カスタムコンポーネントに図を追加するには

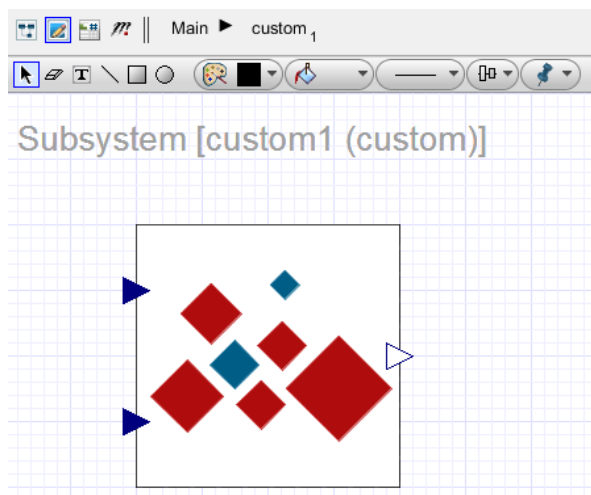
1. カスタムコンポーネントを作成し、それを MapleSim ワークスペースにドラッグします。




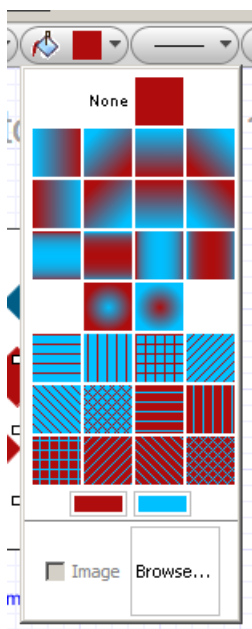
2. カスタムコンポーネントを右クリックし、[コンポーネントを開く]を選択します。ワークスペースにコンポーネントが表示され、ポート接続が表示されます。



3. ナビゲーションツールバーでアイコンをクリックします。コンポーネントの境界の内側にデフォルトの画像が表示されます。



4. 画像をクリックし、塗りつぶし領域ドロップダウンメニュー () をクリックします。画像のリストが表示され、下に画像の参照ボタンが表示されます。



5. [参照] をクリックします。[画像を読み込み] ウィンドウが表示されます。

6. アイコン画像を参照して選択し、**[開く]**をクリックします。
7. ナビゲーションツールバーの**Main**をクリックし、モデルのトップレベルを参照します。カスタムコンポーネントおよび同じコンポーネントの他のすべてのインスタンスに新しいアイコンが反映されます。

カスタムコンポーネントを現在のモデルの一部として保存する

モデルを保存するとき、カスタムコンポーネントがモデルの一部として保存されます。ただし、モデル上で**モデルの整理**ツールを実行した場合、未使用のカスタムコンポーネント定義が削除されます。カスタムコンポーネントが**モデルの整理**機能によって削除されることを防ぐには、以下の手順を実行します。

- カスタムコンポーネントを**[定義]**タブの**[コンポーネント]**パレットから**[階層]**パレットに移動します。
- モデル内のカスタムコンポーネントを使用するには、カスタムコンポーネントを**[コンポーネント]**パレットからモデルワークスペースにドラッグします。

詳細は、MapleSim ヘルプシステムで、**MapleSim 操作方法 > モデルの構築 > モデルの整理**を参照してください。

カスタムコンポーネントをカスタムライブラリに追加する

カスタムコンポーネントを現在のモデル以外のファイルで使用するには、そのコンポーネントをカスタムライブラリに追加します。詳細は、**カスタムライブラリの作成と管理 [65ページ]**を参照してください。

カスタムコンポーネントを編集する

生成したカスタムコンポーネントを編集するには、対応する Maple ワークシートで修正し、コンポーネントを再生成します。

カスタムコンポーネントを編集するには

1. MapleSim **モデルワークスペース**で、編集したいカスタムコンポーネントをダブルクリックします。Maple が起動し、当該カスタムコンポーネントテンプレートが開きます。
2. Maple ワークシートで、数式、プロパティ、またはポート値を編集します。

3. ワークシートの下部に配置されている **[MapleSim カスタムコンポーネントを生成]** をクリックします。MapleSim に表示されているカスタムコンポーネントに変更箇所が生成されます。
4. カスタムコンポーネントを追加した .mw ファイルおよび .msim ファイルの変更内容を保存します。

3.5. 例 : 非線形バネダンパカスタムコンポーネントの作成

この例では、カスタムコンポーネントテンプレートを使用して、非線形バネダンパコンポーネントを作成します。この例に定義されている方程式は、MapleSim の **Translational Spring Damper** コンポーネントに基づいているため、剛性と減衰係数は、コンポーネントへの入力関数に置き換えます。

支配法則を得るために、まず free-body diagram (自由物体図) を描きます。このスプリングダンパシステム図を以下に示します。

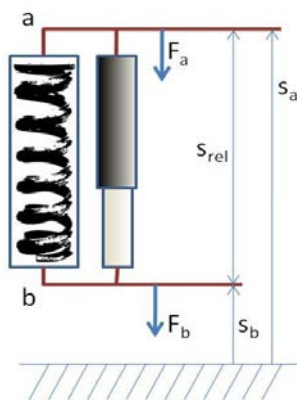


図3.10 非線形バネダンパカスタムコンポーネント

終点の a と b は、コンポーネントのポートとして定義することができ、方程式はこれらのポートに対して導き出します。その場合、運動の一般方程式は次のようになります。

$$d \cdot \frac{d}{dt} s_{rel}(t) + c \cdot s_{rel}(t) = F(t)$$

上記式で、 d は減衰係数、 c はバネの剛性、 s_{rel} は次の式で表すことができる s_a と s_b の2つのポート間における相対変位を表しています。

$$s_{rel}(t) = s_b(t) - s_a(t)$$

また、システムにかかる力を見ると、合力は $F(t) = F_b(t)$ で、次の等式が成り立つことが分かります。

$$F_a(t) + F_b(t) = 0$$

上記は、すべてシステムの動作を定義するために必要な関係です。

カスタムコンポーネントテンプレートを開く

カスタムコンポーネントテンプレートはMapleSim テンプレートの一部で、**メインツールバー**からアクセスします。

カスタムコンポーネントテンプレートを開くには

1. MapleSim で、カスタムコンポーネントを追加するモデルを開きます。
2. **メインツールバー**で、**テンプレートから添付を作成する** (🔗) をクリックします。
3. **テンプレートを選択してください**リストで、**[カスタムコンポーネント]**を選択します。
4. **[添付]** フィールドで、テンプレートの名前に「**Nonlinear Spring-Damper**」と入力し、**[添付を作成]** をクリックします。Maple が起動し、カスタムコンポーネントテンプレートが開きます。

コンポーネントの名前と方程式の定義

次に、MapleSim インターフェースに表示されるコンポーネント名を指定し、方程式を定義します。

カスタムコンポーネントを定義するには：

1. **方程式**セクションで以下の方程式を入力し、非線形系を定義します。

>

$$eq := [d(t) * (diff(s_rel(t), t)) + c(t) * s_rel(t) = F(t), s_rel(t) = s_b(t) - s_a(t), \\ v_rel(t) = diff(s_rel(t), t), F(t) = F_b(t), F_a(t) + F_b(t) = 0];$$

方程式は、Maple リストに入力されることにご注意ください。定数の d (減衰) と c (剛性) は、システムへの入力状態として定義するために、関数の $d(t)$ と $c(t)$ に置き換えます。

2. 方程式にカーソルを置いて、**[Enter]** キーを押します。
3. **変数**セクションで、**[すべて更新]** をクリックして更新された変数リストを表示します。

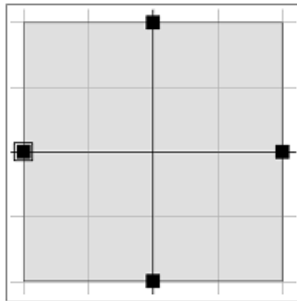
これで、生成されるカスタムコンポーネントに追加するポートに入出力変数を代入することができます。

コンポーネントのポートの定義

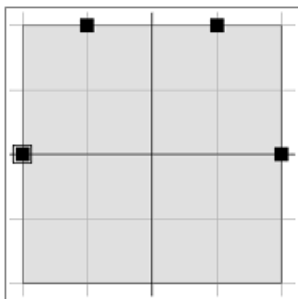
テンプレートのポートセクションでは、生成されたコンポーネントに表示されるポートに代入する入出力変数とポートの配置を指定します。

ポートを定義するには

1. **[ポートを追加]** を 4 回クリックします。配置し、定義するポートを表す 4 つの四角形がダイアグラム内に表示されます。

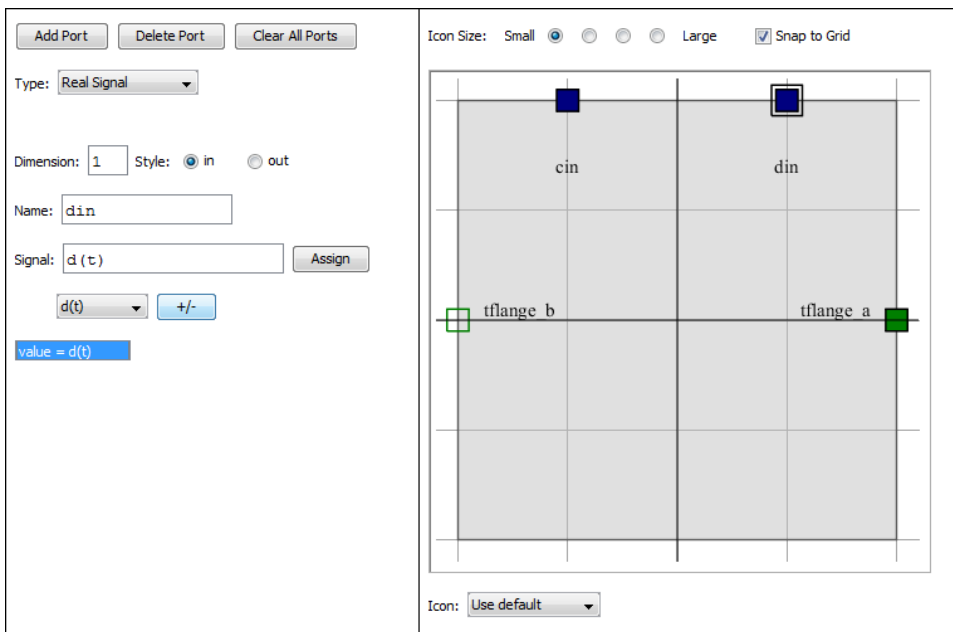


2. ポートをドラッグして、左右両側に 1 つずつ、上側に 2 つ配置します。



3. ダイアグラム左側のポートを選択します。
4. **[タイプ]** ドロップダウンメニューから、**[Translational]** を選択します。
5. ポートのスタイルには、**[b]** を選択します。ポートの名前はデフォルトで **tflange_b** になります。
6. 最初に、位置変数を定義します。**[変数]** の下のリストで **[Position]** を選択します。**[変数]** の下のドロップダウンリストから **[s_b(t)]** を選択します。
7. 次に、力変数を定義します。**[変数]** の下のリストで **[Force]** を選択します。**[変数]** の下のドロップダウンリストから **[F_b(t)]** を選択します。これで、左側のポートは位置変数 **s_b(t)** と力変数 **F_b(t)** が関連付けられている並進フランジとして定義されたことになります。
8. ダイアグラム右側のポートを選択します。
9. **[タイプ]** ドロップダウンメニューから、**[Translational]** を選択します。
10. ポートのスタイルには、**[a]** を選択します。ポートの名前はデフォルトで **tflange_a** になります。
11. 最初に、位置変数を定義します。**[変数]** の下のリストで **[Position]** を選択します。**[変数]** の下のドロップダウンリストから **[s_a(t)]** を選択します。
12. 次に、力変数を定義します。**[変数]** の下のリストで **[Force]** を選択します。**[変数]** の下のドロップダウンリストから **[F_a(t)]** を選択します。これで、左側のポートは位置変数 **s_a(t)** と力変数 **F_a(t)** が関連付けられている並進フランジとして定義されたことになります。
13. ダイアグラム左上部のポートを選択します。

- 14 **[タイプ]** ドロップダウンメニューから **[Real Signal]** を選択します。ポートの名前はデフォルトで **real_i** になります。名前を **cin** に変更します。
- 15 **[変数]** の下のドロップダウンメニューから **[c(t)]** を選択します。これで、このポートは剛性変数 **c(t)** が関連付けられている入力信号として定義されたことになります。
- 16 ダイアグラム右上部のポートを選択します。
- 17 **[タイプ]** ドロップダウンメニューから **[Real Signal]** を選択します。ポートの名前はデフォルトで **real_i** になります。名前を **din** に変更します。
- 18 **[変数]** の下のドロップダウンメニューから **[d(t)]** を選択します。これで、このポートは減衰変数 **d(t)** が関連付けられている入力信号として定義されたことになります。



MapleSim で生成されるカスタムコンポーネントでは、ポートはこの配置で表示されます。

次元のチェック

この操作は省略可能です。

1. **次元解析**セクションを開き、**[次元のチェック]**をクリックします。単位系に矛盾があるシステム方程式の代数式は、数式コンポーネントに表示されます。
2. 単位を修正するには、テンプレートの**変数**セクションで、**[タイプ]**列のシステム変数に以下の単位を割り当てます。
 - $c(t)$ には、「**Force/Distance**」を入力します。
 - $d(t)$ には、「**Force/Velocity**」を入力します。
 - $F(t)$ には、「**Force**」を入力します。
 - $s_{\text{rel}}(t)$ には、「**Length**」を入力します。
 - $v_{\text{rel}}(t)$ には、「**Velocity**」を入力します。
3. **[すべて更新]** ボタンをクリックします。代数式 **Force/Distance** および **Force/Velocity** は、対応する Modelica タイプ、**TranslationalSpringConstant** および **TranslationalDampingConstant** にそれぞれ変換されます (直接これらの値を入力することも可能)。
4. **次元解析**セクションに戻り、**[次元のチェック]**をクリックします。結果は、以下のような2つの方程式となります。

$$cin(t) = c(t) \frac{\text{kg}}{\text{s}^2}$$

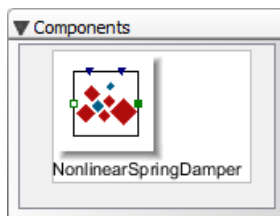
$$din(t) = d(t) \frac{\text{kg}}{\text{s}}$$

この矛盾には特に問題はなく、実数の入力信号 $cin(t)$ および $din(t)$ は実際には単位が適用されていることを示しています。

カスタムコンポーネントの生成

コンポーネントの生成セクションで、カスタムコンポーネントの名前を「**NonlinearSpringDamper**」にします。

[MapleSim コンポーネントを生成] をクリックしてカスタムコンポーネントを生成します。生成されたカスタムコンポーネントは、MapleSim 内の **[定義]** タブの **[コンポーネント]** パレットに表示されます。



モデルワークスペースにドラッグすることで、カスタムコンポーネントをモデルに追加することができます。

第6章のチュートリアル3: *非線形ダンパのモデリング* [192ページ]はこのカスタムコンポーネントをモデル内で使用しています。

第4章 モデルのシミュレーションと可視化

この章の内容は以下のとおりです。

- *MapleSim* によるモデルのシミュレーションのしくみ [105ページ]
- モデルのシミュレーション [108ページ]
- シミュレーションの進捗状況メッセージ [117ページ]
- シミュレーション結果とスナップショットの管理 [118ページ]
- プロットウィンドウ設定のカスタマイズ [120ページ]
- マルチボディモデルの可視化 [127ページ]
- ベストプラクティス: モデルのシミュレーションと可視化 [151ページ]

4.1. MapleSim によるモデルのシミュレーションのしくみ

Modelica 記述

MapleSim ライブラリの多くのコンポーネントの方程式は、Modelica 物理モデリング言語で記述されています。一方、マルチボディコンポーネントの方程式は、専用エンジンで生成した後、Modelica に変換しています。専用エンジンは、高度な数学的手法を用いて、可能な限り簡潔かつ効率的であるように方程式を生成します。

Modelica の詳細は、<http://www.modelica.org> を参照してください。

モデルの記述

モデルの各コンポーネントには、コンポーネントの動作を表す方程式系が含まれます。これらの方程式系には、純粋な代数方程式または微分方程式しか含めることができません。また、コンポーネントには、連立方程式の一部を有効または無効にしたり、状態値を変更するなどして、シミュレーション中にコンポーネントの動作を変えることができるイベントをいくつも定義することもできます。さらに、2つ以上のコンポーネントを接続すると、その相互関係を表す方程式が追加で生成されます。

システム方程式

コンポーネントのポート間の方程式と、トポロジ(コンポーネントの接続)で決まる方程式が収集され、1つの大きな連立方程式にされます。この段階で、パラメータ値も代入されます。ここで、MapleSim シミュレーションエンジンは、微分代数方程式が混在した大きな連立方程式をかかえているかもしれません。これは、大きな連立方程式に、離散イベントや代数制約を含む微分方程式があることを意味します。

方程式の簡略化

「*indexreduction*(低インデックス化)」と呼ばれるプロセスを使用すると、代数制約は可能な限り減らされます。この段階の中心となるのは、方程式と変数の数を削減するために、数式処理の簡素化テクニックを使用して修正された1次の連立微分代数方程式(DAE)を作成するアルゴリズムです。これらのテクニックの多くは混在した連立方程式を処理します。

変数には、モデルワークスペース右側の[インスペクタ]タブで特定コンポーネントにパラメータ値を指定することによってその初期値を設定できるものがあります。指定されている初期状態に矛盾がある場合は、シミュレーション中にエラーが発生します。

積分とイベント処理

前処理のステップがすべて終了すると、積分とイベント処理プロセスが始まります。選択したソルバタイプに基づいて、高度なDAEソルバが連立方程式の数値積分を行います。可変ソルバの場合、解の精度に影響を与える制約のドリフトを避けるために、代数制約は常にモニターされています。固定ソルバタイプの場合、代数制約は固定された時間ステップごとにモニターされます。

積分の実行中、モデルの一部である不等条件がモニターされ、これらの条件のうち、1つ以上が変わるとイベントが発生します。そのようなイベントが発生すると、数値ソルバは停止し、シミュレーションエンジンはイベント条件に基づいて、連立方程式の新しい構成を計算します。このステップでは、連立方程式の新構成における初期条件の再計算も行われます。その後、ソルバは再始動し、別のイベントが発生するか、シミュレーション時間が終了するまで連立方程式の数値解を求め続けます。

注: 可変ステップソルバと固定ステップソルバの両方でイベントが発生します。固定ステップソルバの場合、イベントは固定時間ステップの実行時のみに処理されるのに対して、可変ソルバの場合は、ソルバが時間ステップを調整し、積分の実行中にイベントが発生する正確な時刻にイベントが処理される点が異なります。

シミュレーション結果

結果はシミュレーションプロセスの最後のステップで生成され、重要な物理量を描いたグラフで表示されます。また、マルチボディメカニカルシステムの場合は、そのオプションが指定されていると、3-D 動画が表示されます。

シミュレーションプロセスの概要は、次のチャートのとおりです。

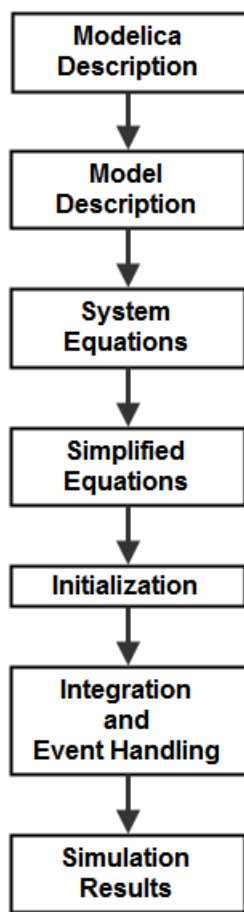


図4.1 シミュレーションプロセス

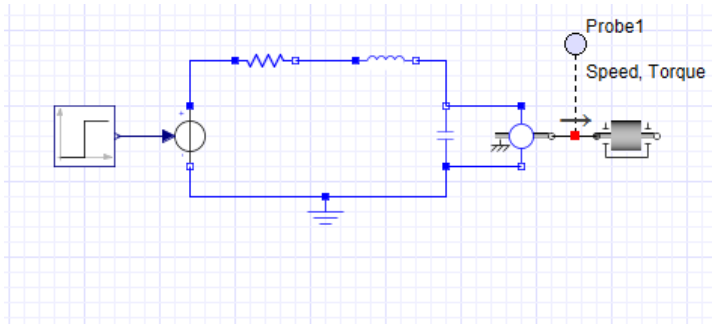
このセクションの情報は、シミュレーションプロセスの簡単な説明です。シミュレーションエンジンで使用される DAE ソルバの詳細は、Maple ヘルプシステムの `dsolve,numeric` ヘルプトピックを参照してください。

4.2. モデルのシミュレーション

2-D または 3-D のモデル内の結線やポート、コンポーネントなどにプローブを追加すると、電流、電圧などの物理的特性がどのように反応または応答するか確認

することができます。MapleSim では、プローブで接続ポートに関連付けられている確認対象の変数を識別します。

通過変数を計測するプローブを追加した場合、**モデルワークスペース**には流れの正方向を示す矢印が表示されます。



ユーザは、シミュレーション時間や使用するソルバの種類のほか、ソルバやシミュレーションエンジン、**3-D ワークスペース**のその他のパラメータ値などを指定することができます。シミュレーションの実行後、デフォルトでは、指定された物理量ごとにグラフが表示されます。

その後、最初のプローブまたはパラメータ値を変更し、別のシミュレーションを実行して結果を比較することができます。

符号の規則の例および矢印の方向がモデル上で作用する力をどのように表すかについては、**[ライブラリ]** タブの **[アプリケーションと事例]** > **[ユーザガイドの例題]** > **[第4章]** メニューから **[Constant Acceleration]**、**[Sign Convention]** および **[Arrow Convention]** の各例題を参照してください。

シミュレーションとシミュレーションオプションの設定

シミュレーションに使用するパラメータは、パラメータペインの**[設定]** タブにあります。このタブには、**[シミュレーション]** およびシミュレーション**[オプション]** の各設定セクションがあります。

マルチボディと3-Dアニメーション設定の説明については、**3-Dアニメーションとマルチボディの設定** [128ページ] を参照してください。

シミュレーションの設定

[シミュレーション] セクションでは、シミュレーション時間、プロット点の数、ソルバ、ソルバのパラメータを指定できます。[シミュレーション] 設定セクションで使用可能なパラメータの一覧と説明については、表4.1「シミュレーションの設定」を参照してください。

シミュレーションの設定

パラメータ	デフォルト	説明
t_d	10s	シミュレーションの実行時間。浮動小数点値を含む、あらゆる正値を指定することができます。 注: 実行時間はシミュレーションの終了時間とは異なります。シミュレーションの終了時間は t_d+t_s によって得られます。ここで t_s はシミュレーションの開始時間を表します(表4.2「シミュレーションオプション設定」を参照)。
Solver Type	Variable	シミュレーションに使用するソルバの種類。 <ul style="list-style-type: none"> • Variable: 可変時間ステップを使用して許容誤差を管理します。 • Fixed: 固定時間ステップを使用し、積分のエラーを無視します。 注: 固定ステップソルバは MapleSim がエクスポートしたコードによって使用される固定ステップソルバと同じものです。

パラメータ	デフォルト	説明
Solver	Variable : CK45 (semi-stiff) Fixed : Euler	<p>シミュレーションに使用する DAE ソルバを指定します。[Solver Type] を [Variable] にした場合は、以下の選択肢を使用できます。</p> <ul style="list-style-type: none"> • CK45 (semi-stiff) : semi-stiff DAE ソルバ (ck45 法) を使用する • RKF45 (non-stiff) : non-stiff DAE ソルバ (rkf45 法) を使用する • Rosenbrock (stiff) : stiff DAE ソルバ (Rosenbrock 法) を使用する <p>複雑なモデルの場合は、モデルのシミュレーションに必要な時間を短縮するために、stiff DAE ソルバの使用が推奨されます。</p> <p>[Solver Type] を [Fixed] にした場合は、以下の選択肢を使用できます。</p> <ul style="list-style-type: none"> • Euler : Forward Euler ソルバを使用する • Implicit Euler : Implicit Euler ソルバを使用する (stiff システム用) • RK2 : 2 次ルンゲクッタソルバを使用する • RK3 : 3 次ルンゲクッタソルバを使用する • RK4 : 4 次ルンゲクッタソルバを使用する
ϵ_{abs}	$1 \cdot 10^{-5}$	可変ソルバを使用してシミュレーションを実行する際に、積分ステップを成功と判断するための絶対許容誤差の限度を指定します。このオプションには浮動小数値を指定できます。
ϵ_{rel}	$1 \cdot 10^{-5}$	可変ソルバを使用してシミュレーションを実行する際に、積分ステップを成功と判断するための相対許容誤差の限度を指定します。このオプションには浮動小数値を指定できます。

パラメータ	デフォルト	説明
Step size	0.0010	固定ステップ型ソルバを使用してシミュレーションを実行する際の、固定のサンプリング周期の間隔を指定します。このオプションには浮動小数値を指定できません。
Plot Points	200	<p>シミュレーションで描画する点数の最小値を指定します。データ点は、シミュレーション時間に応じて、均等に分布されます。正整数を指定することができます。イベントにさらに多くの点を追加できます(表4.2「シミュレーションオプション設定」のプロットイベントを参照)。</p> <p>シミュレーションエンジンでは、以下のうち最大の[Plot points]の値を使用します。</p> <ul style="list-style-type: none"> • [Plot Points] の設定、または • [3D Sample Rate] (fps) * シミュレーション時間 ([3-D Animation] が有効化されている場合)、または • [3D Sample Rate] (fps) * [3-D Playback Time] ([3-D Animation] が有効化されていて、[3-D Playback Time] が指定されている場合) <p>注: このオプションで指定する点数は、表示目的のみに使用されます。シミュレーションに使用された実際の点数は、シミュレーショングラフに表示される点数と異なる場合があります。</p>

シミュレーションオプション設定

シミュレーションの [オプション] セクションでは、シミュレーションの開始時間、使用する定常状態のスナップショット、コンパイルオプション、およびその他の設定を指定できます。これらの設定には、シミュレーションの設定で選択したソルバの種類 (Variable または Fixed) に固有の設定もあります。シミュレーションの [オプション] 設定で使用可能なパラメータの一覧と説明については、表4.2「シミュレーションオプション設定」を参照してください。

シミュレーションオプション設定

パラメータ	デフォルト	Solver Type	説明
t_s	0	すべて	シミュレーションの開始時間。負の値を含む、あらゆる浮動小数点値を指定できます。 注: シミュレーションの開始時間はシミュレーションの終了時間に影響しますが、シミュレーションの実行時間 t_d には影響しません。シミュレーションの終了時間は、 $t_d + t_s$ によって求められます。
Use Snapshot	None	すべて	スナップショットは、特定の時刻におけるシミュレーションの状態を取得します。シミュレーションでスナップショットを使用する場合は、モデルで使用する初期条件をオーバーライドし、そのモデルのスナップショットの時刻の状態に置き換えることができます。 スナップショットの詳細は、シミュレーション結果とスナップショットの管理[118ページ]を参照してください。
Baumgarte	<input type="checkbox"/>	すべて	モデルに Baumgarte の拘束安定化を適用します。これを選択して、モデルに適した微分ゲイン (アルファ) および比例ゲイン (ベータ) の値を入力します。
Jacobian	Symbolic	すべて	システムのヤコビアンに対して数式処理または数値近似を選択します。数式処理による定式化を使用するとより高速で正確なシミュレーションを実行できますが、定式化するのに時間がかかる場合があります。 注: 数値近似定式は stiff ソルバ (Rosenbrock 法または Implicit Euler 法) のみで使用できます。

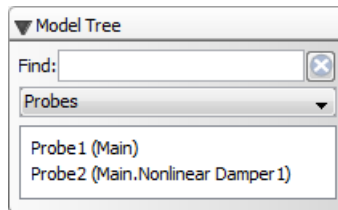
パラメータ	デフォルト	Solver Type	説明
Projection	<input checked="" type="checkbox"/>	すべて	モデルに拘束条件に対する射影法を適用します。シミュレーションの各ステップで得られた解を拘束の多様体に対して射影する場合に選択します。射影は、Projection Iterations の最大数に到達した場合、またはかい離が Projection Tolerance の値を下回った場合に終了します。
Projection Iterations	50	すべて	拘束条件に対する射影法における最大収束計算回数。 注: このパラメータは [Projection] が選択されている場合にのみ使用できます。
Projection Tolerance	0.000010	Fixed	射影法の収束計算が終了する許容値。あらゆる正の浮動小数点値を指定できます。
Event Projection	<input checked="" type="checkbox"/>	Fixed	イベント処理中に拘束条件に対する射影法を実行する場合に選択します。ただし、積分の結果を得るのに時間がかかります。このオプションを選択しない場合、次のステップで、イベントが拘束条件に対する射影法を適用できない点に解を変更すると、シミュレーションが失敗する場合があります。
Event Iterations	100	すべて	積分器がエラーを返す前に実行できるイベント処理の最大収束計算回数。正の整数値を指定できます。
Event Hysteresis	$1.0 \cdot 10^{-7}$	Fixed	イベントのヒステリシス幅。0 以上の浮動小数値を指定できます。0 を設定すると、このパラメータが無効になります。
Index 1 Error Control	<input type="checkbox"/>	Variable	これを選択して、すべての代数変数に誤差制御を適用します。デフォルトでは、誤差制御はイベントをトリガーする代数変数、プロットされた代数変数または関数の出力である代数変数にのみ適用されます。

パラメータ	デフォルト	Solver Type	説明
Index 1 Tolerance	1.0	Variable	微分変数と比較した代数変数の相対誤差を制御します。たとえば 10 という値は、代数変数が微分変数の誤差の 10 倍である可能性があることを意味します。
Initial Hysteresis	$1.0 \cdot 10^{-10}$	Variable	シミュレーションの開始時点で発生するすべてのイベントのイベントヒステリシス幅。0 以上の浮動小数値を指定できます。
Scaling	None	Variable	システムに適用する変数のスケールリング方法を指定します。使用可能な選択肢は以下のとおりです。 <ul style="list-style-type: none"> • None : スケールリングを適用しない • Minimum : 公称の最小値を使用する • Maximum : 公称の最大値を使用する • Geometric : 公称値の幾何平均を使用する
Minimize Events	<input type="checkbox"/>	Variable	このオプションは、シミュレーションの実行中に発生するイベント数を減らすためにヒューリスティックスを使用するかどうかを指定します。選択した場合、区分遷移のイベントへのマッピングは行われません。
Solver Diagnostics	<input type="checkbox"/>	すべて	これを選択した場合、シミュレーションで拘束条件処理の収束計算回数、拘束条件の残差、イベント処理、およびステップサイズの診断を行います。結果は、診断終了後に [シミュレーション結果] タブの [ソルバ診断] プロットに表示されます。投影オプションをクリアにしているシステムでは、追加の計算コストが発生します。
Plot Events	<input checked="" type="checkbox"/>	Variable	シミュレーションの実行中のイベントポイントに、追加のプロット点を含めるかどうかを指定します。

パラメータ	デフォルト	Solver Type	説明
Compiler	<input checked="" type="checkbox"/>	Variable	シミュレーションにネイティブCコンパイラを使用するかどうかを指定します。このオプションが選択されている場合、シミュレーションエンジンによって生成される Maple プロシージャはCコードに変換され、外部のCコンパイラによってコンパイルされます。 複雑なモデルの場合は、シミュレーションの実行に必要な時間を短縮するために、このオプションをオンにすることをお勧めします。
Compile Optimized	<input checked="" type="checkbox"/>	すべて	コンパイル中にコードを最適化します。このパラメータがオフになっていると、コンパイル時間は短縮されますが、シミュレーションの実行には時間がかかります。

プローブ値の編集

[プロジェクト] タブで、[モデルツリー] パレットを開き、リストから [プローブ] を選択します。現在の MapleSim モデルに追加されているすべてのプローブが、ここに一覧表示されます。



プローブがモデルのトップレベルに追加されている場合、プローブ名の横には括弧で [Main] と表示され、それ以外の場合は、プローブのサブシステム名がプローブ名の横に表示されます。上記例の場合、モデルには、モデルのトップレベルに [Probe1]、そして [Main.Nonlinear Damper1] という名前のサブシステム（つまり、[Main] にある [Nonlinear Damper1] サブシステム）に [Probe2] の2つのプローブが追加されています。

このパレットの項目をクリックすると **モデルワークスペース** でそのプローブに移動し、[インスペクタ] タブからプローブ値を閲覧、編集することができます。ま

た、パレットの項目を右クリック (Macintosh では **[Control]** キーを押しながらクリック) し、コンテキストメニューを用いてプローブを操作することもできます。

詳細は、MapleSim ヘルプシステムの **MapleSim 操作方法 > モデルのシミュレーション > プローブの使用 > プローブ値の編集**を参照してください。

シミュレーション結果比較のためのパラメータセットの保存

モデルに代入されているパラメータ値の組み合わせをパラメータセットに保存することができます。その結果、あるパラメータセットを使用してシミュレーションを実行し、その後に別のパラメータセットでパラメータ値を置き換えて、シミュレーションを再実行し、結果を比べることができます。

詳細は、MapleSim ヘルプシステムの **MapleSim 操作方法 > モデルの構築 > パラメータセットの利用 > パラメータセットの保存と適用**セクションを参照してください。

4.3. シミュレーションの進捗状況メッセージ

シミュレーション中、進捗状況は**モデルワークスペース**の下にある**コンソール**ペインに表示されます。これらのメッセージは MapleSim エンジンが数理モデルを生成しているときの状態を示し、シミュレーションエラーのデバッグに役立ちます。シミュレーションの各ステップに対するメッセージが、固有のセクション(例: **方程式の生成**や**初期値の計算**)に表示されます。新しいステップが開始すると、前のセクションは自動的に折り畳まれます。セクションに対するメッセージを確認するには、そのセクションのグレーの矢印をクリックしてセクションを展開します。または、以下のように矢印キーを使用して、コンソールペインを操作します。

- 右矢印キーを押してセクションを展開する
- 左矢印キーを押してセクションを折り畳む
- 下矢印キーを押して次のセクションに移動する
- 上矢印キーを押して前のセクションに移動する

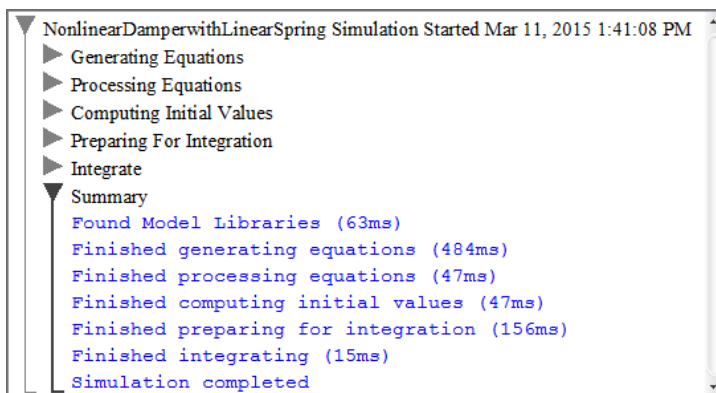

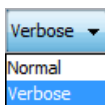



図4.2 シミュレーション結果の進捗状況メッセージ

オプションとして、シミュレーションを実行する前に、MapleSim ウィンドウの下部にある **Message Console** () をクリックすることで、進捗状況メッセージに表示する情報の詳細度を指定することができます。



コンソールのメッセージを消去するには、**メッセージコンソールの消去** () をクリックします。

4.4. シミュレーション結果とスナップショットの管理

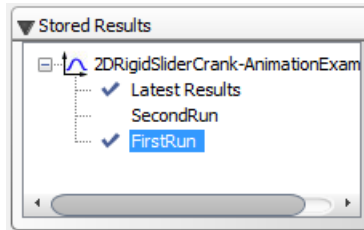
[シミュレーション結果] タブの [保存結果] パレットを使用すると、複数のシミュレーション結果を表示、保存、エクスポートすることができます。また、それぞれの保存結果に関して、シミュレーション中の特定の時刻のモデルの状態変数をすべて記録したスナップショットを保存およびエクスポートできます。

結果の保存

モデルのシミュレーションを実行するたびに、最新の結果が [Latest Results] として [保存結果] パレットに保存されます。この項目には、シミュレーションに関連するすべてのグラフ、進捗状況メッセージ、3-D 動画 (該当する場合) が含まれ

ています。ただし、[Latest Results] の項目に保存されている結果は、新しくシミュレーションを実行するたびに上書きされます。

新しい名前でシミュレーション結果を保存するには、[Latest Results] の入力内容を右クリック (Macintosh では [Control] キーを押しながらクリック) し、コンテキストメニューから [名前を付けて保存] を選択して、保存する結果の名前を入力します。MapleSim の現在のセッションにおいて複数のシミュレーションで生成されたグラフを比較したり、参照したりすることができます。



結果を保存したあとにモデルを保存しておく、今後の MapleSim セッションでモデルを開いたときに [保存結果] パレットから保存した結果を利用できます。ただし、モデルを閉じて再び開いた場合、[Latest Results] は保存されません。

スナップショットの保存と使用

特定の時刻にシミュレーションのスナップショットを取得し、スナップショットを保存結果の一部として保存することで、状態情報を保存できます。スナップショットを保存しておく、状態情報を今後のシミュレーションで利用できるようになります。新しいスナップショットの作成や次のシミュレーションで使用するスナップショットの選択など、スナップショットの管理はシミュレーションの [オプション] 設定から実行します (表4.2 「シミュレーションオプション設定」を参照)。

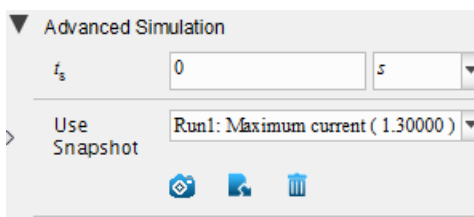


図4.3 シミュレーションオプション設定のスナップショット

この方法でスナップショットを使用すると、スナップショットに記録された情報から、今後のシミュレーションの初期値を設定します。

シミュレーションで使用するスナップショットが選択されない場合、シミュレーションの実行アイコンは▶と表示されます。シミュレーションで使用するスナップショットが選択された場合、シミュレーションの実行アイコンは🔄に表示が変わります。シミュレーションでスナップショットが使用された場合、[保存結果]パレットに表示される説明から設定情報を確認できます。

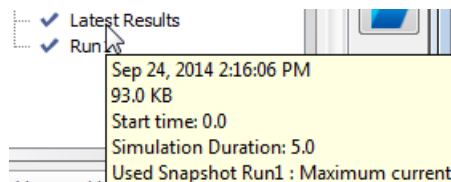


図4.4 保存結果パレットとスナップショット

詳細は、MapleSim ヘルプシステムの **MapleSim 操作方法 > モデルのシミュレーション > シミュレーション結果の管理 > シミュレーションのスナップショットの管理** セクションを参照してください。

4.5. プロットウィンドウ設定のカスタマイズ

デフォルトでは、プローブの物理量は**プローブプロット**と呼ばれるプロットウィンドウに個別にプロットされます。各グラフで、y軸は物理量の値を表し、x軸はシミュレーション時間の値を表します。

オプションとして、カスタムプロットウィンドウ設定を作成できます。カスタムプロットウィンドウ設定は、たとえば、1つのグラフで複数の物理量を比較したり、ある物理量に対して別の物理量をプロット、またはほかのプローブの値をそのままにして特定の物理量に対するシミュレーショングラフを表示するときなどに使用できます。2つの異なるモデルから物理量を比較することも可能です。プロットのタイトルをカスタマイズしたり、[プロット]ウィンドウに表示する列数などを指定したりして、[プロット]ウィンドウをさらにカスタマイズすることができます。

プロットウィンドウの作成についての詳細は、**新しいプロットウィンドウ設定の生成**を参照してください。[プロット]ウィンドウに関する詳細は、MapleSim ヘルプシステムの **MapleSim 操作方法 > モデルのシミュレーション > プロットウィンドウ設定の操作**セクションを参照してください。

新しいプロットウィンドウを作成すると、シミュレーションを再度実行せずにデータの入力が行われます。

ヒント: モデルと保存結果を保存して再び開くと、プロットは最初に「*No data available*」のメッセージを表示する場合があります。プロットを読み込むには、**[保存結果]**パレットで項目を右クリックし、**[プローブプロットを表示]**を選択します。

シミュレーションデータを別のアプリケーションで使用する場合は、結果を Microsoft Excel (.xls) またはカンマ区切り (.csv) ファイルにエクスポートします。詳細については、**シミュレーショングラフデータのエクスポート**を参照してください。

以下の例で、カスタムプロットウィンドウ設定を作成します。

例：複数の物理量を個別のグラフにプロットする

この例では、**プローブプロット**を表示し、2つ目の変数をそれぞれのカスタムプロットに追加するプロットウィンドウを作成します。

プローブプロットを表示するには

1. **[ライブラリ]** タブで、**[アプリケーションと事例] > [ドメイン別例題] > [マルチボディ]** メニューの順に展開し、**[Double Pendulum]** の例を開きます。
2. **メインツールバー**で**シミュレーションの実行** (▶) をクリックします。**[シミュレーション結果]** タブが選択された状態で**[可視化ウィンドウ]**が開きます。**[3-D アニメーションウィンドウ]**と**[プローブプロット]**が**[シミュレーション結果]**タブに表示されます。**図4.5 「シミュレーショングラフ」**を参照してください。

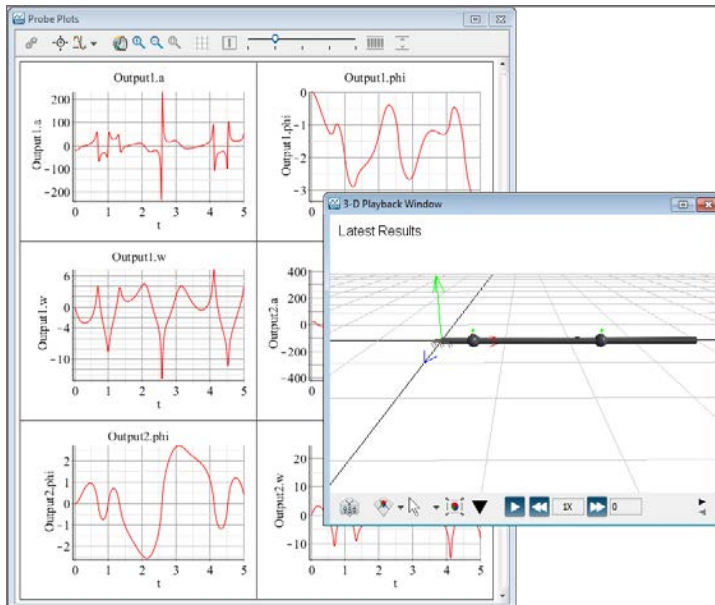





図4.5 シミュレーショングラフ

カスタムプロットウィンドウ設定を作成するには

1. [プロットウィンドウ] パレットで、Output1.w、Output2.a、Output2.phi、Output2.wの各プロットをダブルクリックして非表示にします。これによりプローブプロットは [Output1.a] および [Output1.phi] の2つのプロットだけの表示になります。



2. 選択したプロットウィンドウの複製ボタン () をクリックします。
3. [プロットウィンドウを複製] ダイアログボックスで、名前「**Acceleration and Angle Comparison**」を入力します。[OK] をクリックします。現在表示可能なプロットを含んだ新規プロットウィンドウが、「Acceleration and Angle Comparison」の名前で作成されます。
ヒント: プローブプロットを元の表示に戻すには、[プロットウィンドウ] パレットのプローブプロットを右クリックし、[全プロットの表示] を選択します。
4. [プロットウィンドウ] で、プロット [Output1.a] を [Acceleration and Angle Comparison] プロットウィンドウから選択します。

5. [変数] パレットの **Output2** で、[a] を選択します。
6. 選択したプロットに選択した変数を追加 () をクリックします。プロットが Output1.a および Output2.a の 2 つの曲線を表示します。
7. [プロットウィンドウ] で、プロット [**Output1.phi**] を [**Acceleration and Angle Comparison**] プロットウィンドウから選択します。
8. [変数] パレットの **Output2** で、[phi] を選択します。
9. 選択したプロットに選択した変数を追加 () をクリックします。プロットが両方の曲線を表示します。
10. [プロットウィンドウ] パレットの **Acceleration and Angle Comparison** で、[**Output1.a**] (1 番目のプロット名) を右クリックして [**名前の変更**] を選択します。
11. 「**Acceleration (a)**」と入力して名前を付けます。これでプロットのタイトルが変更になります。
12. [プロットウィンドウ] パレットの **Acceleration and Angle Comparison** で、[**Output1.phi**] (2 番目のプロット名) を右クリックして [**名前の変更**] を選択します。
13. 「**Angle (phi)**」と入力して名前を付けます。

作成したプロットを図4.6「カスタムプロットウィンドウ」に示します

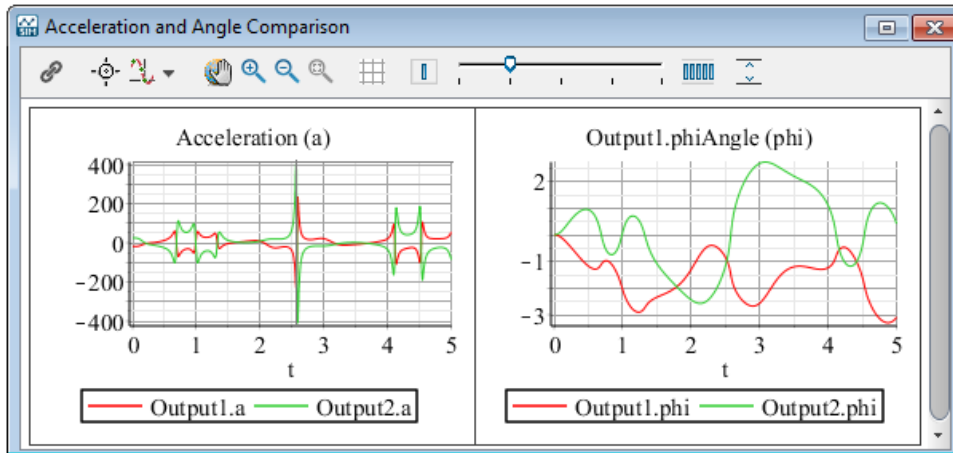



図4.6 カスタムプロットウィンドウ

例：1つの物理量を別の物理量に対してプロットする


この例では、二重振り子の各リンクのXとY位置をプロットするためのカスタムプロットウィンドウ設定を作成します。

1つの物理量をカスタムプロットウィンドウの別の物理量に対してプロットするには


1. [ライブラリ] タブで、[アプリケーションと事例] > [ドメイン別例題] > [マルチボディ] メニューの順に展開し、[Double Pendulum] の例を開きます。
2. モデルワークスペースツールバーのプローブを追加ボタン (📍) をクリックします。
3. L_1 共有サブシステムの右ポートをクリックします。
4. モデルワークスペースの空白の領域をクリックし、プローブを配置します。
5. [インスペクタ] タブでこのプローブに「FirstLink」というラベルを付け、[Length[1]]と[Length[2]]を選択します。
6. L_2 共有サブシステムの右ポートに、Length[1]とLength[2]の物理量を計測するプローブをもう1つ追加し、このプローブに「SecondLink」というラベルを付けます。

7. **メインツールバーでシミュレーションの実行** () をクリックします。[可視化ウィンドウ] が開き、[シミュレーション結果] タブにプローブプロットが表示されます。
8. ここでは2つのプロット **FirstLink.r_0[2]** と **SecondLink.r_0[2]** のみをプロットウィンドウに表示させる場合を考えます。これが新規プロットウィンドウを作成するベースとなります。[プロットウィンドウ] パレットで、その他のプロット名をダブルクリックして非表示にします。



9. **プロットウィンドウの複製ボタン** () をクリックします。
10. [プロットウィンドウを複製] ダイアログボックスで、名前「**X versus Y**」を入力します。[OK] をクリックします。現在表示可能なプロットを含んだ新規プロットウィンドウが、「X versus Y」の名前で作成されます。
ヒント: プローブプロットを元の表示に戻すには、[プロットウィンドウ] パレットの**プローブプロット**を右クリックし、[全プロットの表示] を選択します。
11. [プロットウィンドウ] パレットの **X versus Y** で、[**FirstLink.r_0[2]**] (1番目のプロット名) を右クリックして [名前の変更] を選択します。
12. 「**TopLink**」と入力して名前を付けます。これでプロットのタイトルが変更になります。
13. 同様に、プロット名 [**SecondLink.r_0[2]**] を「**Bottom Link**」に変更します。
14. [プロットウィンドウ] で、プロット [**Top Link**] を [**X versus Y**] プロットウィンドウから選択します。
15. [変数] パレットで、[**FirstLink: r_0[1]**] を選択します。



16. **選択したプロットの X 軸に選択した変数を適用** () をクリックします。
17. [プロットウィンドウ] で、プロット [**Bottom Link**] を [**X versus Y**] プロットウィンドウから選択します。
18. [変数] パレットで、[**SecondLink: r_0[1]**] を選択します。



19. **選択したプロットの X 軸に選択した変数を適用** () をクリックします。

- ㉔ **プロットツールバー**で、スライダを使用してプロットの列数を1に変更します。
- 作成したプロットを **図4.7 「1つの物理量を別の物理量に対してプロットする」** に示します。

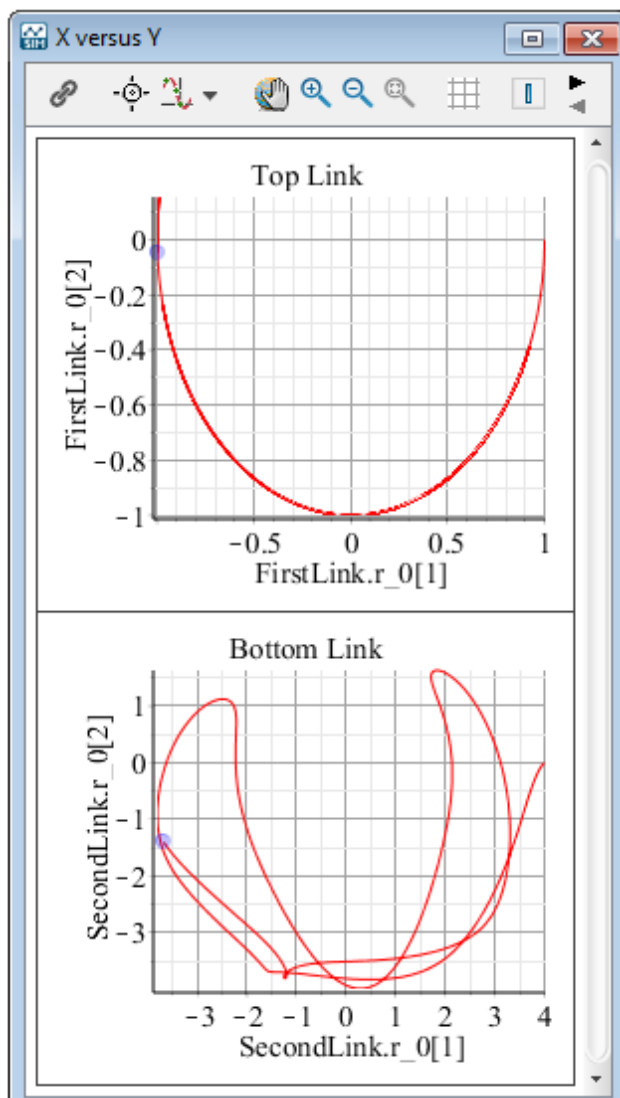


図4.7 1つの物理量を別の物理量に対してプロットする

上記のプロットは、それぞれ振り子の各リンクの端点の運動を表しています。下部リンクは、上部リンクとの相互作用により、より複雑な動きを示しています。

4.6. マルチボディモデルの可視化

MapleSim では、3-D アニメーション環境を使用して、マルチボディシステムの 3-D 図を作成したり、解析することができます。モデルの作成過程では、パラメータを変更し、そのモデルの 3-D 構成を検証したり、シミュレーション結果を視覚的に解析することができます。3-D モデルは、**3-D ワークスペース**にオブジェクトをドラッグし、接続して作成し、シミュレーション結果は、オブジェクトの動きを描写する動画再生で可視化することができます。

モデルワークスペースでブロックダイアグラムを作成すると、そこで加えられた変更は自動的に **3-D ワークスペース**の 3-D 図に反映されます。同様に、**3-D ワークスペース**でモデルを作成すると、そこで加えられた変更はモデルワークスペースの**ブロックダイアグラム**に自動的に反映されます。変更は、どちらのワークスペースで加えられても、**モデルワークスペース**、**3-D ワークスペース**の両方に反映されます。

3-D ワークスペースでは、モデルをあらゆる方向から表示できます。さらに、モデルの表現をより現実的なものにするために、モデルの部品に 3-D 図形を結びつけることもできます。これらの図形は、外部の CAD ファイルからインポートすることも、**[ライブラリ]** タブの **[マルチボディ]** > **[可視化]** パレットから選択することができます。

モデルのシミュレーション後、**[3-D アニメーションウィンドウ]**で 3-D モデルの動画を再生することができます。再生オプションを指定することにより、特定のコンポーネントとその動きに焦点を当てることもできます。たとえばアニメーションの実行中に、カメラの追跡オプションを指定して **[3-D アニメーションウィンドウ]**の特定のオブジェクトに注意を向けることが可能です。また、トレース線を追加して、動画でコンポーネントが移動する軌跡を示すこともできます。

CAD ジオメトリと可視化された図形は、3-D ワークスペースでは透明に、**[3-D アニメーションウィンドウ]**では不透明に描画されます。

3-D 図形の追加と **3-D ワークスペース**の使用に関する詳細は、MapleSim ヘルプシステムの **MapleSim 操作方法 > 3-D モデルの表示**セクションを参照してください。

3-D アニメーションとマルチボディの設定

マルチボディメカニカルコンポーネントの 3-D アニメーションに使用するパラメータは、[設定] タブの [マルチボディ] および [3-D アニメーション] セクションにあります。

3-D アニメーション設定

マルチボディメカニカルコンポーネントを含むモデルでは、次の 3-D アニメーションの値を指定できます。

3-D アニメーションのパラメータ値

パラメータ	デフォルト	説明
3-D Animation	<input checked="" type="checkbox"/>	シミュレーション実行後に、3-D 動画を生成するかどうかを指定します。このオプションがオフになっていると、3-D 動画は生成されません。 モデルが複雑で動画が必要ない場合は、このオプションをオフにするとシミュレーション実行時間を短縮できます。

パラメータ	デフォルト	説明
3-D Playback Time	-	<p>3-D動画の再生時間を秒単位で指定します。この値は、シミュレーショングラフに描画されるシミュレーションの時間を指定する t_d 値とは異なります。[3-D Animation] フィールドがオンの場合は、このオプションに浮動小数値を指定できます。</p> <p>このオプションには、動画の再生速度を速くまたは遅くするために値を指定します。たとえば、[t_d] 値が0.5秒に設定されているときに [3-D Playback Time] に10秒を設定すると、0.5秒のシミュレーション動画は、実時間で10秒かけて再生されるため、再生速度は遅くなります。</p> <p>このフィールドに値が指定されていない場合、[3-D Playback Time] の値は、[t_d] の値と同じになり、たとえば、10秒のシミュレーションの動画は、実時間で10秒かけて再生されます。動画に描写されるフレームの数は [Plot Points] に指定されている値、および [3-D Playback Time] の値と [3-D Sampling Rate] の値の積で決まります。</p>
3-D Sampling Rate	40	<p>3-D 動画再生で表示する 1 秒ごとのフレーム数を指定します。この値を大きくすると、よりスムーズに再生されるアニメーションを作成できます。このオプションには、[3-D Animation] フィールドの値が true の場合に正整数を指定することができます。</p> <p>新規モデルに対するデフォルト値は 40 fps です。</p>
Enable Translational Snapping	<input type="checkbox"/>	このオプションをオンにすると、コンポーネントは3-D空間において Translation Snap Delta に基づく最近接の位置に配置されます。
Translation Snap Delta	1.0	Translation Snap Delta の間隔を指定します。
Enable Rotational Snapping	<input type="checkbox"/>	このオプションをオンにすると、コンポーネントは3-D空間において Rotation Snap Delta に基づく最近接の位置に配置されます。

パラメータ	デフォルト	説明
Rotation Snap Delta	0.785398163	Rotation Snap Delta の間隔を指定します。
Perspective Grid Extent	10.0	遠近表示で描画されるグリッドの範囲を指定します。グリッドは、水平面上の両方向に、この長さで示す範囲まで広がります。
Grid Spacing	1.0	グリッド線の間隔を指定します。
Base Radius	0.1	3-D ワークスペース でマルチボディコンポーネントを表現する球と円柱で構成されるインプリシットジオメトリ。円柱は Base Radius を使用して描画され、球(剛体とジョイント)は Base Radius * 2 を使用して描画されます。
Enable View Change Animations	<input checked="" type="checkbox"/>	有効化すると、3-D 直交表示と遠近表示の切り替え、および 3-D ワークスペース や [3-D アニメーションウィンドウ] で [表示ウィンドウに合わせて拡大/縮小] 、 [選択範囲に合わせて拡大/縮小] または [アニメーションの全体範囲を表示] を使用する際の遷移がスムーズになります。

マルチボディ設定

マルチボディメカニカルコンポーネントを含むモデルでは、次のパラメータ値を指定することができます。

マルチボディのパラメータ値

パラメータ	デフォルト	説明
\hat{e}_g	[0, -1, 0]	重力の方向を指定します。
g	9.81	地球の重力による、地表上での加速度を指定します。 デフォルトの単位は $\frac{m}{s^2}$ です。

3-D ワークスペース

3-D ワークスペースは、MapleSim ウィンドウで 3-D モデルの構築と表示をするためのエリアです。3-D ワークスペースは、**[可視化ウィンドウ]**の **[3-D モデル構築]** タブにあります。

3-D ワークスペースを開くには：

- [表示]メニューから、[3-Dモデル構築ウィンドウの表示]を選択します。[可視化ウィンドウ]が開いて3-Dワークスペースが表示されます。別の方法として、MapleSimメインツールバーから、3-Dモデル構築ウィンドウの表示 (🔍) をクリックします。

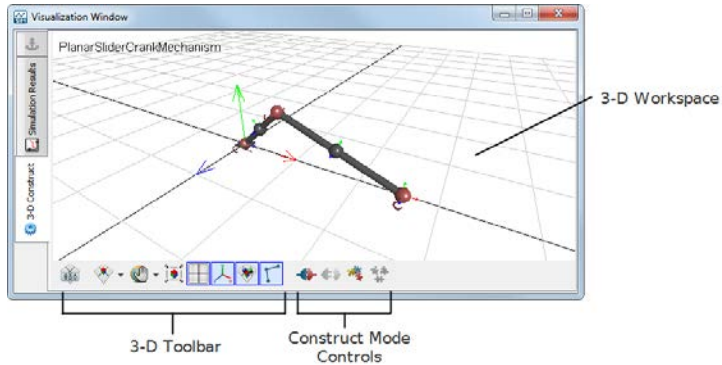
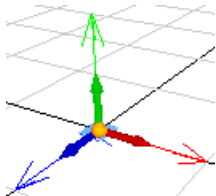


図4.8 3-D ワークスペース

3-D ワークスペースのコントロール

コンポーネント	説明
3-D ワークスペース	<p>3-D モデルの構築および表示を実行するエリア。原点の矢印は空間軸の方向を示し、以下の色で表示されます。</p> <div style="display: flex; align-items: center; justify-content: center;">  <div style="margin-left: 20px;"> <p>X - 赤</p> <p>Y - 緑</p> <p>Z - 青</p> </div> </div> <p>3-D モデル内要素の相対サイズと位置の計測には基準としてグリッドを使用することができます。</p>
3-D ツールバー	<p>3-D ワークスペース内にあるコンポーネントを表示、非表示にするツールや、さまざまなモードを切り替えるためのツール、カメラナビゲーションツールを選択するためのツール、3-D モデルの表示を変更するツールなどが配置されています。</p>
コンストラクトモードコントロール	<p>3-D ツールバーの一部で、3-D モデルの構築とアセンブル、および 3-D オブジェクトを接続するためのコントロールが配置されています。</p>

マウスポインタをツールバーのボタン上に移動させると、ボタンの説明が表示されます。

3-D モデルの表示と閲覧

3-D ワークスペースでは**3-D 表示のコントロール**ツールを使用して、遠近表示またはいずれかの直交表示で3-D モデルを表示したり、閲覧することができます。

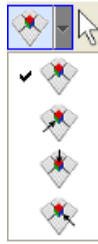


図4.9 3-D 表示のコントロール

遠近表示を使用すると、3-D空間のあらゆる方向からモデルを観察したり、視点を移動することができるため、モデルに含まれる要素間の3-D空間的關係を確認することができます。遠近表示では、カメラにより近いオブジェクトは遠くのものより大きく見えます。

下は、二重振り子のモデルを透視法を使用して表示した場合のイメージです。

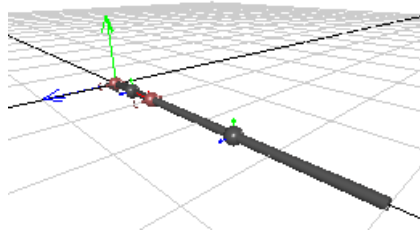


図4.10 二重振り子の遠近表示

また、直交表示では、3-Dモデルを前、上、および横から表示することができます。直交表示では、遠近表示と異なり平行射影が使用され深度情報がないため、3-Dモデルは平なオブジェクトとして表示されます。直交表示は、カメラに垂直な表示面において線や距離を忠実に表示するため、「実寸」表示と呼ばれる場合もあります。これらの表示は、オブジェクト間の空間關係や隙間を解析するのに便利です。

下は、二重振り子のモデルを上からの正投影法を使用して表示した場合のイメージです。

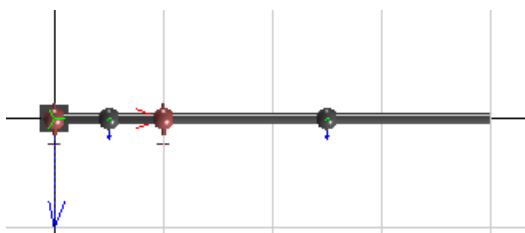


図4.11 二重振り子の直交表示

動画が静止表示中であっても再生中であってもモデルを閲覧したり、モデルの表示を変更することができます。また、どの表示でもパンしたり、拡大/縮小することができます。透視法ではさらに、カメラを移動させ、上から、下からと、あらゆる方向からモデルを表示することができます。

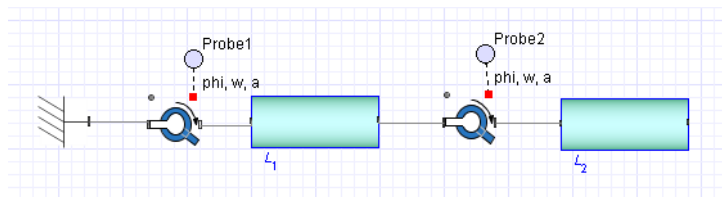
ヒント: カメラをパン、ズームしたり、大きな 3-D モデルのまわりを移動させる前に、焦点を当てたいオブジェクト上にマウスポインタを置いてください。

MapleSim は、マウスポインタを置いたオブジェクトに応じてナビゲーション設定機能を調節します。

3-D モデルへの図形の追加

インプリシットジオメトリの追加

デフォルトでは、モデルの物理コンポーネントは「インプリシットジオメトリ」と呼ばれる基本的な球や円柱で **3-D ワークスペース** に表示されます。たとえば、2つの回転ジョイントと平面リンクを表す2つのサブシステムを含む二重振り子のモデルがあるとします。



3-D ワークスペースでは、完全にアSEMBルされた振り子のモデルにおけるインプリシットジオメトリは次のように表示されます。

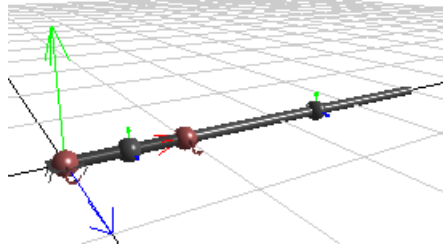


図4.12 二重振り子のインプリシットジオメトリ

この例では、球は回転ジョイントと剛体を表し、円柱は平面リンクを表しています。

インプリシットジオメトリで、別のインプリシットジオメトリに接続されていないものは薄い灰色、接続されているものは濃い灰色で描画され、例外としてジョイントオブジェクトは赤で描画されます。

注: モデルワークスペースで無効にされているコンポーネントは、**3-D ワークスペース**に表示されません。

添付形状の追加

モデルの表現をより現実的なものにするには、「添付形状」と呼ばれる図形や線をモデルに追加することができます。これらを追加するには、まず、**[マルチボディ]>[可視化]**パレットから添付形状コンポーネントを**モデルワークスペース**内のブロックダイアグラムに追加し、接続します。

モデルのシミュレーションを実行すると、**3-Dワークスペース**には、インプリシットジオメトリに加えて添付形状が表示されます。下の図では、振り子のロッドとおもりを視覚的に表す目的で添付形状が追加されています。またトレース線(図に示されている曲線)は、シミュレーション中にモデルの特定部分によって描かれる軌跡を表しています。

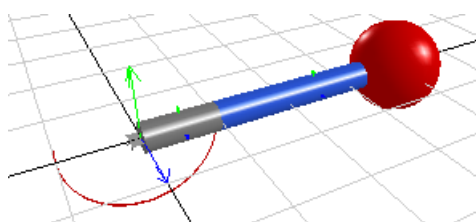


図4.13 添付形状

添付形状の色、サイズ、縮尺度、およびその他の視覚的側面は、シミュレーションを実行する前に、**[設定]** タブで各コンポーネントにパラメータ値を設定してカスタマイズすることができます。

3-D ワークスペースでインプリシットジオメトリのみを表示したい場合は、**3-D ツールバー**の**形状データの表示/非表示** (👁️) をクリックし、添付形状を非表示にします。添付形状のみを表示したい場合は、**インプリシットジオメトリの表示/非表示** (👁️) をクリックし、インプリシットジオメトリを非表示にします。

添付形状コンポーネントの詳細は、MapleSim ヘルプシステムの **MapleSim コンポーネントライブラリ > マルチボディ > 可視化 > 概要** を参照してください。

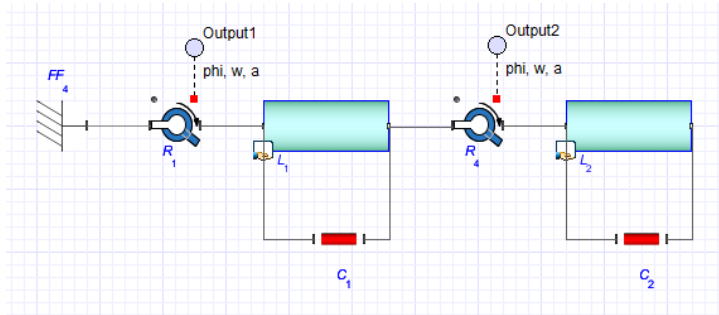
注: マルチボディモデルに **Flexible Beam** コンポーネントが含まれている場合、梁の曲げは 3-D モデルのインプリシットジオメトリでは描写されません。

例：二重振り子のモデルへの添付形状の追加

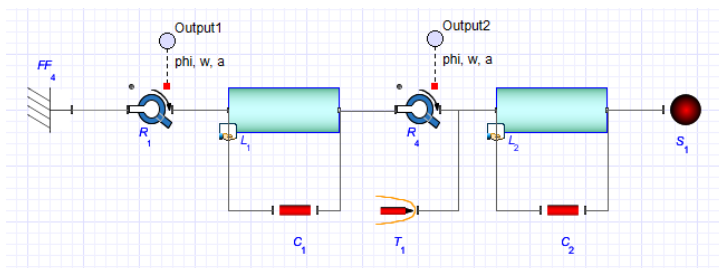
次の例では、振り子のロッドを表す円柱と振り子のおもりを表す球コンポーネントを追加します。また、動画再生時に回転ジョイントが移動する軌跡を示す **Path Trace** コンポーネントも追加します。

添付形状を追加するには

1. **[ライブラリ]** タブで、**[アプリケーションと事例] > [ドメイン別例題] > [マルチボディ]** メニューの順に展開し、**[Double Pendulum]** の例を開きます。
2. **[マルチボディ]** パレットを展開し、**[可視化]** メニューを開きます。
3. **モデルワークスペース**内の平面リンクサブシステムの下部に2つの **Cylindrical Geometry** コンポーネントを追加します。
4. 各コンポーネントを下図のように接続します。



5. 同じメニューから、**Spherical Geometry** コンポーネントを1つ追加し、 L_2 共有サブシステムの右側に配置します。
6. **Spherical Geometry** コンポーネントを右クリック (Macintoshでは[**Control**]キーを押しながらクリック) し、[**水平方向に反転**]を選択します。
7. **Path Trace** コンポーネントを1つ追加し、2つの **Cylindrical Geometry** コンポーネントのあいだに配置します。
8. 各コンポーネントを下の図のように接続します。



9. モデルワークスペースで、最初の **Cylindrical Geometry** コンポーネント (前の図の C_1) を選択します。
10. MapleSim ウィンドウ右側の [**インスペクタ**] タブで、円柱の半径を「**0.2**」に変更します。
11. 円柱の色を選択するために、[**color**] フィールドの横に配置されているボックスをクリックし、いずれかの色見本をクリックします。
12. モデルワークスペースで、2つ目の **Cylindrical Geometry** コンポーネント (前の図の C_2) を選択します。

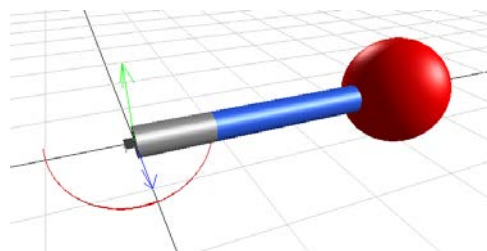
13 この円柱の半径を「**0.2**」に変更し、色も変更します。

14 **Spherical Geometry** コンポーネント (前の図の S_1) を選択します。

15 この球の半径を「**0.8**」に変更し、色も変更します。

16 モデルをシミュレートするには、**メインツールバーのシミュレーションの実行** (▶) をクリックします。

シミュレーションが完了すると、[シミュレーション結果] タブが選択された状態で[可視化ウィンドウ]が開きます。**[3-D アニメーションウィンドウ]** は、添付形状でモデルを表示します。



17. モデルの動画を再生するには、**[3-D アニメーションウィンドウ]**にある**再生** (▶) をクリックします。

Path Trace コンポーネントを使用する別の例については、[ライブラリ] タブで [アプリケーションと事例] > [ユーザガイドの例題] > [第4章] メニューを展開し、[Lorenz Attractor] の例を開きます。

3-D ワークスペースでモデルを作成する

MapleSim モデルは、**3-D ワークスペース**にオブジェクトを追加、接続して作成することができます。3-Dモデルにマルチボディコンポーネントを追加するには、[3-D モデル構築] ウィンドウをメインの MapleSim ウィンドウの横に配置し、任意のコンポーネントを [マルチボディ] パレット、[お気に入り] パレット、以前に作成したカスタムライブラリ、または [ライブラリ] タブの検索ペインから **3-D ワークスペース**にドラッグします。

3-D ワークスペースでは、**3-D ワークスペース**内に配置されているグラフィカルコントロールを使用して、3-D オブジェクトを追加、接続、および配置すること

ができます。ジョイントやその他のマルチボディコンポーネントについては、初期条件を設定することができます。

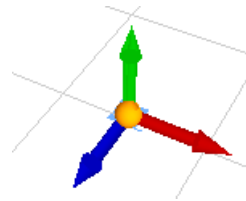
3-D モデルに変更が加えられると、それは自動的にモデルワークスペースに表示されている 2-D ダイアグラムに反映され、逆に、ブロックダイアグラムに変更が加えられると、それは自動的に **3-D ワークスペース** の 3-D モデルに反映されます。たとえば、**3-D ワークスペース** で **Flexible Beam** コンポーネントを追加して接続すると、**モデルワークスペース** には、**Flexible Beam** のブロックダイアグラムと追加された結線が同時に表示されます。

注:

- **3-D ワークスペース** でサブシステムを作成することはできません。サブシステムは、**モデルワークスペース** でのみ作成することができます。
- コンポーネントライブラリのマルチボディにある **[力・モーメント]**、**[センサ]**、および **可視化** コンポーネントを **3-D ワークスペース** にドラッグすることはできません。そのため、これらのコンポーネントを追加する場合は、**モデルワークスペース** で行う必要があります。

3-D ワークスペースでオブジェクトを移動する

3-D ワークスペース で 3-D 操作ツールをクリックおよびドラッグすることにより、個別のオブジェクトまたはオブジェクトのグループを配置することができます。



単独の未接続オブジェクト用の 3-D 操作ツールを表示するには、**3-D ワークスペース** 内のオブジェクトを 1 回クリックします。次に、3-D 操作ツールの青の矢印をクリックしてからドラッグすると、オブジェクトが Z 軸に沿って移動します。緑の矢印を操作すると Y 軸に沿って、赤の矢印を操作すると X 軸に沿って、オブジェクトが移動します。また、3-D 操作ツールの中央にある球をクリックしてからドラッグすると、オブジェクトを全方向に移動させることができます。

つながったオブジェクトのグループの場合、3-D 操作ツールの位置はモデルの構成によって決まります。

- **Fixed Frame** コンポーネントを含む 3-D モデルでは、**Fixed Frame** コンポーネントを表す四角形をクリックすると 3-D 操作ツールが表示されます。
- **FixedFrame** コンポーネントを含まないモデルでは、システムの初期条件を定義するオブジェクトをクリックすると 3-D 操作ツールが表示されます。たとえば、モデルには **Rigid Body** コンポーネントが含まれており、その初期条件パラメータが [**Strictly Enforce**] に設定されていた場合、3-D 操作ツールはその **RigidBody** コンポーネントに表示されます。**3-D ワークスペース** 内でモデルが移動されると、初期条件が [**Strictly Enforce**] に設定されている **Rigid Body** コンポーネントに依存するその他すべての **Rigid Body** コンポーネントの初期条件が更新されます。
- モデルに、その初期条件が [**Strictly Enforce**] に設定されている **Fixed Frame** コンポーネントも **Rigid Body** コンポーネントも含まれていない場合は、3-D モデル内のどのオブジェクトをクリックしても 3-D 操作ツールが表示されません。オブジェクトのグループが移動された場合、モデル内のすべてのマルチボディコンポーネントの初期条件は [**Treat as Guess**] に設定されます。

注: 3-D 操作ツールを表示するには、モデルのマルチボディコンポーネントが数値パラメータを持つ必要があります。パラメータブロックで定義されたカスタムパラメータ値、グローバルパラメータ、またはサブシステムパラメータがマルチボディコンポーネントに割り当てられていると、3-D 操作ツールは **3-D ワークスペース** のコンポーネントをクリックしても表示されません。

3-D モデルのアセンブル


動画を再生する前に、3-D モデルをアセンブルする必要があります。3-D モデルのアセンブルとは、**3-D ワークスペース** に表示されたモデルを、モデルの初期設定(割り当てられたパラメータ値と推定された初期条件によって定義される)と同期させることを意味します。同期プロセスは、モデルをシミュレーションしたときに自動的に発生します。**3-D ツールバー** で、**3-D 表示の更新** (🔄) をクリックしてモデルをアセンブルします。**3-D ワークスペース** では、組み立てられたインプリシットジオメトリが濃いグレーで描画され、例外としてジョイントオブジェクトは赤で描画されます。


注: 有効な構成および結線を使う場合にのみ 3-D モデルのアセンブルを実行できます。たとえば、結線が不足している 3-D モデルのアセンブルを試みると、コンソールペインにエラーメッセージが表示され、動画は生成されません。

詳細は、MapleSim ヘルプシステムの 3-D モデルのアセンブルを参照してください。

拘束解除ボタンを使用して 3-D ワークスペースのジョイントを操作する


3-D ワークスペース内のジョイントオブジェクトを選択し、運動学拘束を無効化

() をクリックして、モデルを作成するあいだ 3-D ワークスペース内でジョイントの運動学的拘束が適用されないようにすることができます。運動学的拘束条件を一時的に解除された関節は、3-D ワークスペースでピンク色で表示され、モデル構築中その初期条件は 3-D ワークスペースに表示されません。

運動学拘束を無効化 () は、たとえば、3-D ワークスペースで閉ループの 3-D モデルを作成し、配置しているあいだ、ジョイントを特定の位置に固定しておきたい場合などに使用します。

注:

- 拘束解除ボタンによる拘束解除は、[インスペクタ] タブに指定されているジョイントコンポーネントに対する実際の初期条件には影響しません。このボタンは、3-D ワークスペースに表示される初期条件に対してのみ作用します。
- 運動学的拘束が適用されているほかのジョイントについては、その初期条件は 3-D ワークスペースに表示されますが、運動学的拘束が解除されている関連ジョイントに影響をあたえるようなことはありません。

たとえば、運動学的拘束が解除されている回転ジョイント 1 つと、運動学的拘束が適用されている回転ジョイント 1 つをそれぞれ含む二重振り子の 3-D モデルがあるとします。運動学的拘束が適用されているジョイントの初期角度を変更すると、運動学的拘束が解除されているジョイントの位置は元のまま変わりませんが、運動学的拘束が適用されているジョイントは新しい初期角度で表示されます。3-D ワークスペースの新しい初期条件をすべて表示するには、3-D 表示の更新 () をクリックするか、シミュレーションを実行してモデルをアセンブルする必要があります。

3-D モデル作成中に添付形状を表示する

モデルワークスペースのブロックダイアグラムに **Cylindrical Geometry**、**Tapered Cylinder Geometry**、**Box Geometry**、または **Spherical Geometry** コンポーネントを接続すると、**3-D ワークスペース**と **[3-D アニメーションウィンドウ]**のどちらの場合でも対応する添付形状が表示されます。すべてのポートが**モデルワークスペース**に存在するマルチボディコンポーネントの対象ポートに接続されると、添付形状が**3-D ワークスペース**に表示されます。

CAD ジオメトリの操作

CAD ジオメトリは**3-D ワークスペース**および **[3-D アニメーションウィンドウ]**の両方で表示されます。**CAD Geometry** コンポーネントを**モデルワークスペース**に追加すると、該当する CAD 画像が**3-D ワークスペース**に表示されます。**CAD Geometry** コンポーネントは、モデル内の他のコンポーネントに接続されている、いないに関わらず、表示されます。**CAD Geometry** コンポーネントがほかのコンポーネントに接続されていない場合は、3-Dグリッドの原点に表示されます。**CAD Geometry**がほかのコンポーネントに接続されている場合は、追加されているモデリングコンポーネントの座標フレームの原点に表示されます。

CAD 画像の並進オフセットおよび回転オフセットについては、該当する **CAD Geometry** コンポーネントをモデルに接続する前でも、接続した後も定義することができます。これらのオフセットを定義するには、**モデルワークスペース**で **CAD Geometry** コンポーネントを選択し、**[インスペクタ]**タブでパラメータ値を指定します。

例：3-D ワークスペースで二重振り子のモデルを作成して動画を再生する


この例では、二重振り子のモデルを作成し、動画を再生します。ここでは、以下のタスクを実行します。

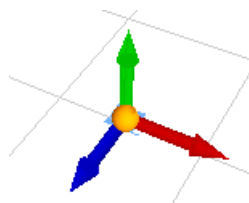
二重振り子を作成して動画を再生するには

1. **3-D ワークスペース**にオブジェクトを追加し、移動します。
2. 3-D オブジェクトを接続します。
3. モデル内のジョイントに初期条件を設定します。
4. 3-D モデルの動画を再生します。

3-D ワークスペースにオブジェクトを追加し、移動する

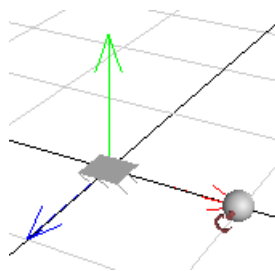
オブジェクトを追加または移動するには

1. 新しい MapleSim ドキュメントを開きます。
2. MapleSim メインツールバーから **3-D モデル構築ウィンドウの表示** () をクリックし、MapleSim のメインウィンドウの横に配置します。
3. [ライブラリ] タブで [マルチボディ] パレットを展開し、[ボディ・フレーム] メニューを開きます。
4. パレットから、**Fixed Frame** コンポーネントを **3-D ワークスペース** にドラッグします。**Fixed Frame** コンポーネントを表す灰色の四角形が **3-D ワークスペース** に追加され、その 3-D 操作ツールが表示されます。

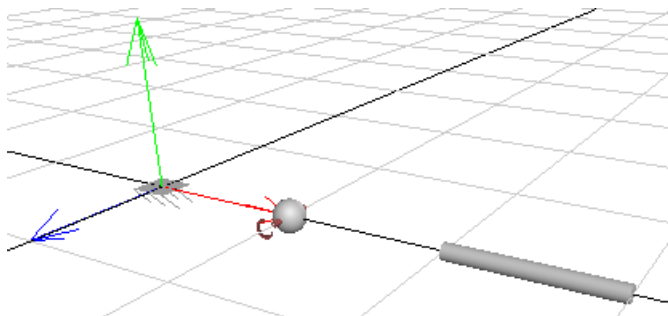


このマニピュレータを使用すると、**3-D ワークスペース** でオブジェクトを配置することができます。

5. 3-D 操作ツールの矢印コントロールをクリックし、ドラッグして **Fixed Frame** オブジェクトをグリッドの原点に配置します。
6. [マルチボディ] > [ジョイント・モーション] メニューから、**Revolute** コンポーネントを **3-D ワークスペース** にドラッグし、**Fixed Frame** の右側に配置します。



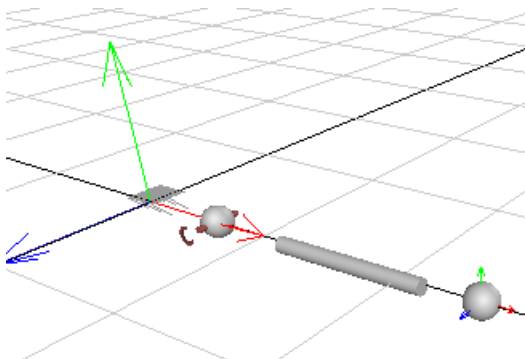
7. [マルチボディ]>[ボディ・フレーム]メニューから、**Rigid Body Frame** コンポーネントを**3-Dワークスペース**にドラッグし、**Revolute**の右側に配置します。



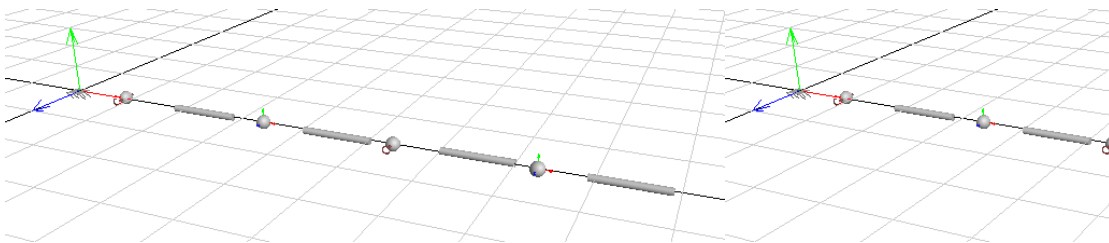
8. 同じメニューから、**RigidBody** コンポーネントを**3-Dワークスペース**にドラッグし、**Rigid Body Frame**の右側に配置します。

ヒント: 3-Dワークスペースで拡大/縮小するには、焦点を当てたいオブジェクト上にマウスポインタを置き、マウスホイールを回転します。マウスホイールを使ってズームするときは、ポインタの下の位置は不動となるため、その位置に拡大することができます。モデルをパンする場合は、[Shift]キーを押しながら**3-Dワークスペース**でマウスポインタをドラッグします。

9. 同じメニューから、**Rigid Body Frame** コンポーネントをもう1つ**3-Dワークスペース**にドラッグし、**Rigid Body**の右側に配置します。これで、振り子の1つ目のリンクに必要なコンポーネントが揃います。



10. ステップ6から9を繰り返し、最後に追加した **Rigid Body Frame** コンポーネントの右側に振り子の2つ目のリンクに必要なコンポーネントを追加します。

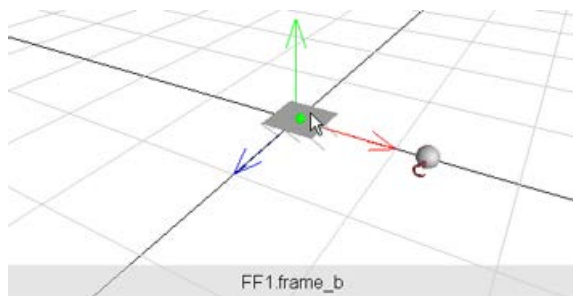


3-D オブジェクトの接続

次に、前のタスクで追加したオブジェクトを接続します。

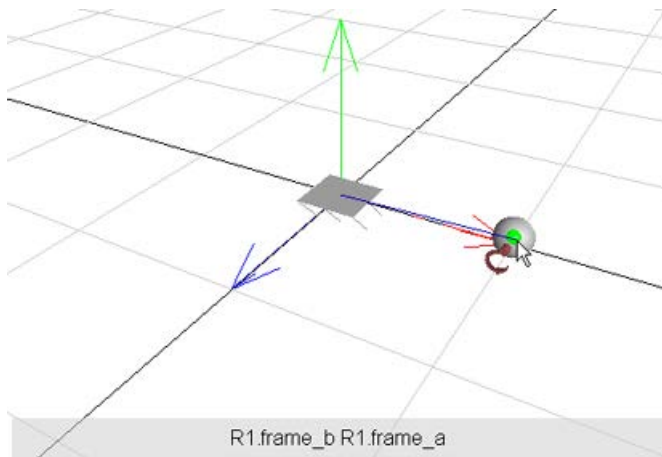
オブジェクトを接続するには

1. **ポートを接続** (🔗) をクリックします。
2. マウスポインタを **Fixed Frame** オブジェクトの上に移動させます。緑色の点が表示されます。

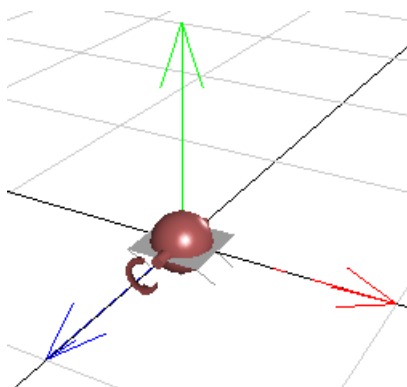


3. 緑色の点を1回クリックし、結線を引きはじめます。

4. マウスポインタを最初の **Revolute** ジョイントオブジェクトの上に移動させます。3-D ワークスペースの下部にある灰色のパネルに **Revolute** ジョイントフレームの名前が表示されます。



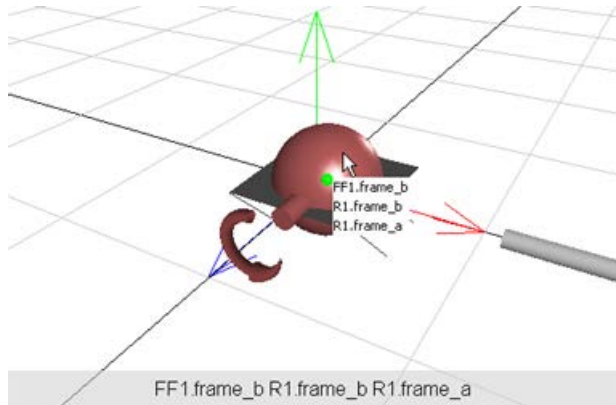
5. **Revolute** ジョイントオブジェクトを 1 回クリックします。ラインを接続することができるフレーム名を表示するコンテキストメニューが表示されます。
6. **[R1.Frame_a]** を選択します。3-D ワークスペースでオブジェクトが接続されます。



接続されると、ジョイントコンポーネントは赤で表示されることにご注目ください。

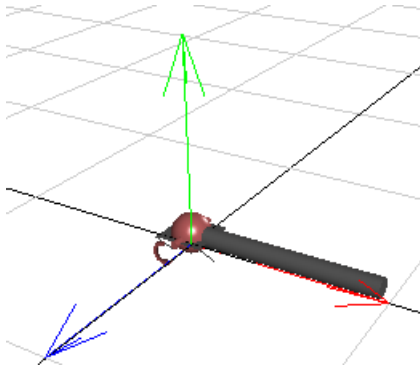
7. **ポートを接続** (🔌) をクリックし、次の結線を引き始めます。

8. **Revolute** ジョイントを表す球をクリックします。**Revolute** ジョイントのフレーム、および Revolute ジョイントが接続されている **Fixed Frame** を表示するコンテキストメニューが表示されます。



9. コンテキストメニューから、**[R1.frame_b]** を選択します。

10. **Rigid Body Frame** を表す円柱の端までマウスポインタをドラッグし、緑色の点をクリックします。



これで、1つ目の回転ジョイント (R_1) の **frame_b** は、1つ目の剛体フレーム (RBF_1) の **frame_a** に接続されます。

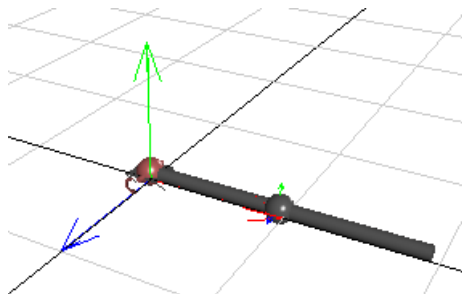
11. **[ポートを接続]** をクリックし、新しい結線を引き始めます。

12. RBF_1 コンポーネントを表す円柱のもう一方の端の上にマウスポインタを移動し、円柱を1回クリックします。

13 1つ目の **Rigid Body** コンポーネント (RB_1) を表す球にマウスポインタをドラッグし、1回クリックします。これで、 RB_1 が RBF_1 に接続されます。

14 同様に、 RB_1 の **frame_a** を 2つ目の **Rigid Body Frame** (RBF_2) の **frame_a** に接続します。

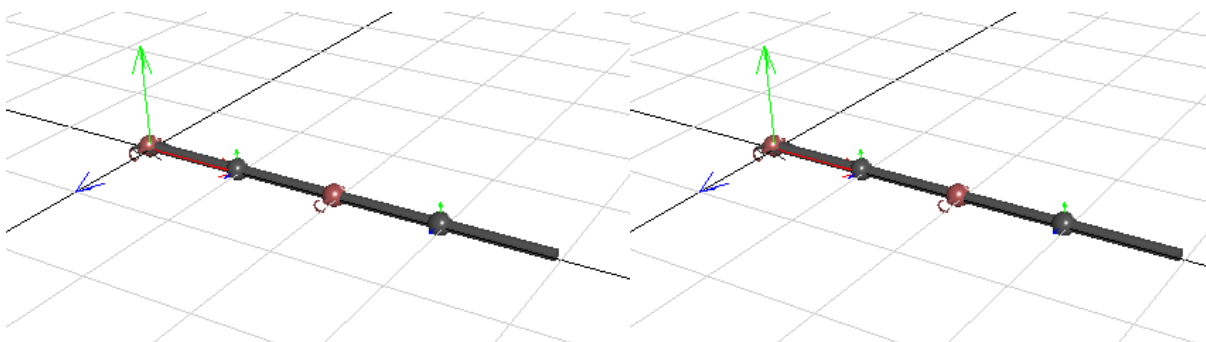
注: 各結線を引き始めるときは、接続ボタンをクリックしてください。



15 2つ目の **Rigid Body Frame** の **frame_b** を 2つ目の **Revolute** ジョイントの **frame_a** に接続します。

16 2つ目の **Revolute** ジョイントの **frame_b** を 3つ目の **Rigid Body Frame** の **frame_a** に接続します。

17 3つ目の **Rigid Body Frame** を 2つ目の **Rigid Body** に接続し、2つ目の **Rigid Body** を 4つ目の **Rigid Body Frame** に接続します。完成した 3-D モデルを下の図に示します。



2-D モデルワークスペースでは、すべてのコンポーネントが適宜追加され、接続されていることが確認できます。

ヒント: 3-D モデルを作成するときは、定期的に 2-D 表示に切り替え、ブロックダイアグラムでモデルが構想どおりにレイアウトされているか確認することがベストプラクティスとして推奨されます。

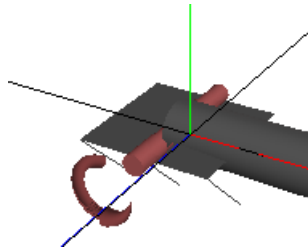
ジョイントコンポーネントに初期条件を設定する

3-Dワークスペースに配置されているグラフィカルコントロールを使用して、ジョイントコンポーネントに初期条件を設定することができます。

注: パラメータブロック、グローバルパラメータ、サブシステムパラメータの何れかで定義されたカスタムパラメータ値を割り当てられたジョイントコンポーネントでは、初期値設定のためのグラフィカルコントロールは使えません。このような場合は、[インスペクタ]タブのフィールドから初期条件を設定してください。

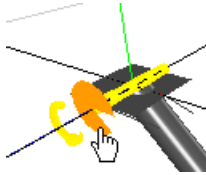
初期条件を設定するには

1. 1つ目の回転ジョイントの初期角度を設定するために、**3-Dワークスペース**で、1つ目の回転ジョイントを表している球をクリックします。ジョイントコンポーネントを表す赤い球が**3-Dワークスペース**から一時的に削除され、ジョイントのマニピュレータが表示されます。



2. マウスポインタをマニピュレータの上に移動します。マニピュレータが黄色で表示されます。

3. 回転ジョイントに設定する初期角度の値を表すメータを表示するために、マウスポインタをクリックし、マニピュレータの周りをドラッグします。オレンジ色の、円グラフの形をしたメータが表示されます。



マウスポインタをドラッグすると、グラフで表されている自由度の初期角度値を調整することができます。マウスポインタを上または右にドラッグすると角度値は大きくなり、下または左にドラッグすると、角度値は小さくなります。

4. メータが設定したい初期条件値に近づいたら、マウスのボタンを放します。選択した値は、[インスペクタ] タブ下の θ_0 パラメータの値として表示され、その値は 3-D ワークスペース内のインプリシットジオメトリに設定されます。

ヒント:

- モデルの初期条件は、[インスペクタ] タブの $[\theta_0]$ パラメータに値を入力しても設定することができます。[インスペクタ] タブで指定された初期条件は、3-D モデルに反映されます。
- 角度の初期条件を正確に指定するには、[設定] タブの [3-D アニメーション] で [Enable Rotational Snapping] を選択して、スナップを有効にします。

3-D モデルの動画を再生する

ここでは、3-D モデルをシミュレートし、アニメーションウィンドウで表示可能な動画を生成します。

3-D モデルの動画を再生するには

1. メインツールバーのシミュレーション実行 (▶) をクリックし、モデルのシミュレーションを実行します。シミュレーションが完了すると、[可視化ウィンド

ウが開き、シミュレーションのプロットと **[3-D アニメーションウィンドウ]**の両方を表示します。

2. **[3-D アニメーションウィンドウ]**を選択します(アニメーションウィンドウが表示されない場合は、**[可視化ウィンドウ]**の左ペインにある**[プロットウィンドウ]**パレットで、**[3-D アニメーションウィンドウ]**をダブルクリックして表示します)。
3. アニメーションを再生するには、**再生ツールバー**の**再生** (▶) をクリックします。

3-D モデルの動画のエクスポート

動画をエクスポート機能を使用すると、MapleSim を持っていない可能性のあるユーザのために、記録されたシミュレーションを .mpeg ファイルとしてエクスポートすることができます。詳細は、MapleSim ヘルプシステムの **MapleSim 操作方法 > 3-D アニメーション > シミュレーションを動画としてエクスポート**を参照してください。

4.7. ベストプラクティス: モデルのシミュレーションと可視化

このセクションでは、モデルのシミュレーションと可視化におけるベストプラクティス (最良の方法) について説明します。

時間がかかるシミュレーションの実行には外部のCコンパイラを使用する

[設定] のソルバの設定で、**[Compiler]** パラメータが **true** に設定されている場合、シミュレーションエンジンによって生成される Maple プロシージャはCコードに変換され、外部のCコンパイラによってコンパイルされます。その結果、シミュレーションを実行するのに必要な時間が短縮されます。一般的に、Cコンパイラを使用してモデルのシミュレーションを実行すると、時間がかかるシミュレーションほどコンパイル時間が短くなります。

モデルの一部で生成される結果を比較する

デバッグのため、モデルの特定部分または特定サブシステムのシミュレーション結果を確認したい場合があります。モデル内の特定の部分を選択し、**モデルワー**

クスペースの上にある無効化(🚫)をクリックするか、[Ctrl]+[E]キー (Macintoshでは [Command]+[E]) を押して、次に実行するシミュレーションからモデル内の対象部分を除外することができます。この状態でシミュレーションを実行すると、モデルのうち除外されなかった部分の結果のみが表示されます。つまり、この機能を使用すると、**モデルワークスペース**からコンポーネントを削除したり、複数のモデルを作成する必要なく、モデルの特定部分によって生成されるシミュレーション結果を表示し、比較することができます。

詳細は、MapleSim ヘルプシステムの **MapleSim 操作方法 > モデルのシミュレーション > シミュレーションからオブジェクトを除外する**を参照してください。

第5章 モデルの解析と操作

この章の内容は以下のとおりです。

- 概要 [153ページ]
- モデルからの方程式とプロパティの取得 [158ページ]
- 線形系の解析 [159ページ]
- パラメータの最適化 [161ページ]
- モデルからのCコードの生成とエクスポート [163ページ]
- 外部Cコード/ライブラリからカスタムコンポーネントを生成 [172ページ]
- Mapleの埋め込みコンポーネントを扱う [177ページ]
- Mapleの標準的なワークシートを扱う [177ページ]

5.1. 概要

MapleSimはMaple環境に完全に統合されています。Mapleのコマンド、テンプレート、カスタムコンポーネント、埋め込みコンポーネント、プロットツール、およびその他の機能を使用して、MapleSimモデルやサブシステムの動的挙動を解析し、操作することができます。Mapleを使用すると、たとえば、モデルのサブシステムや方程式の取得と操作、入出力値のテスト、モデルのCコードへの変換、その他多くの高度な解析タスクを実行することができます。また、**[添付]**パレットで任意の形式のファイルを添付して、MapleSimモデルの一部として保存できます。

MapleでMapleSimのモデルを操作するには、まず、**メインツールバーでテンプレートから添付を作成する** (🔗) をクリックし、添付を作成ウィンドウで使用可能なテンプレートを使用します。これらのテンプレートは、モデルの作成や解析タスク用のプリビルトツールを備えたMapleのワークシートです。Mapleで解析タスクを実行するにはまず、MapleSimモデルを作成し、それを用意されているテンプレートのいずれかで開きます。

MapleSimのテンプレート

メインツールバーで使用可能なMapleSimテンプレートは次のとおりです。

MapleSim のテンプレート

テンプレート名	UI 表示名	タスク
C コード生成	コード生成	モデルをCコードに変換します。詳細は、 <i>モデルからのCコードの生成とエクスポート [163ページ]</i> を参照してください。
カスタムコンポーネントテンプレート	カスタムコンポーネント	数理モデルに基づいたカスタムモデリングコンポーネントを作成します。詳細は、 <i>カスタムコンポーネントの作成 [81ページ]</i> を参照してください。
カスタムポートテンプレート	カスタムポート	カスタムコンポーネントにカスタムポートを作成する詳細は、 <i>カスタムコンポーネントの作成 [81ページ]</i> を参照してください。
離散状態空間カスタムコンポーネント	カスタム離散時間状態空間	離散状態空間表現から、MapleSim モデルのカスタムコンポーネントを定義・生成します。
離散伝達関数カスタムコンポーネント	カスタム離散系伝達関数	離散伝達関数表現から、MapleSim モデルのカスタムコンポーネントを定義・生成します。
データ生成テンプレート	データ生成	MapleSim で使用するデータセット (たとえば、補間テーブルコンポーネントのデータセット) を定義し、生成します。詳細は、 <i>補間テーブルコンポーネントのデータセットの作成 [72ページ]</i> を参照してください。
方程式の抽出テンプレート	方程式の抽出	線形または非線形モデルから方程式を取得します。詳細は、 <i>チュートリアル 6:C コード/DLL カスタムコンポーネントテンプレートの使用 [232ページ]</i> を参照してください。
Excel 接続テンプレート	Excel 接続	Excel スプレッドシートから MapleSim パラメータセットをインポートし、MapleSim パラメータセットを Excel スプレッドシートへエクスポートします。

テンプレート名	UI 表示名	タスク
外部 C コード/DLL 定義	外部 C/ライブラリブロック	外部 C コード/DLL から MapleSim カスタムコンポーネントを定義、作成します。
線形解析テンプレート	線形解析	線形系の方程式を表示および解析します。詳細は、 線形系の解析 [159ページ] を参照してください。
線形化	線形化	MapleSim 連続系サブシステムから線形系オブジェクトを作成します。
カスタムコンポーネントテンプレート : Modelica コード定義	Modelica カスタムコンポーネント	Modelica コードにより MapleSim カスタムコンポーネントを定義、作成します。
モンテカルロシミュレーションテンプレート	モンテカルロシミュレーション	パラメータに乱数分布を定義し、この分布を用いてシミュレーションを実行します。
マルチボディ解析テンプレート	マルチボディ解析	操作と解析に適した形式でマルチボディシステムモデルの方程式を取得します。
パラメータ最適化テンプレート	最適化	モデルのパラメータを解析および編集し、シミュレーションで見込まれる結果をグラフに表示します。詳細は、 パラメータの最適化 [161ページ] を参照してください。
乱数データテンプレート	乱数データの生成	MapleSim で使用するランダムなデータ点の集合(たとえば、補間テーブルコンポーネント用データセット)を定義し、生成します。
感度解析	感度解析	パラメータの感度解析を行います。
ワークシート	ワークシート	埋め込みコンポーネントで MapleSim モデルを開き、ワークシートを作成します。詳細は、 Maple の標準的なワークシートを扱う [177ページ] を参照してください。

別の方法として、Maple ワークシート上で MapleSim アプリケーションプログラミングインターフェース (API) の使用が可能です。既存の MapleSim モデルにリンクするための **LinkModel** コマンドではじまり、モデルの編集や解析を行うことができます。MapleSim API の詳細は、MapleSim のヘルプページを参照してください。

どちらの方法で解析タスクを実行しても **MapleSim**、**DynamicSystems** を含む全 Maple パッケージのコマンドを使用してモデルをプログラムで扱うことができます。

注: MapleSim テンプレートを使用した後は、まず .mw ファイルを保存してから .mw ファイルが添付された .msim ファイルを保存してください。

ヒント: 各テンプレートとしてあらかじめ用意された解析ツールでは、Maple の埋め込みコンポーネントを使用しています。対話型のグラフィカルコンポーネントを介して Maple コードを操作することが可能です。各埋め込みコンポーネントに関連付けられているコードには、**MapleSim** および **DynamicSystems** を含む Maple パッケージのコマンドが使用されています。

埋め込みコンポーネントに関連付けられているコードを表示するには、Maple ワークシートで、いずれかのツールを右クリック (Macintosh では **[Control]** キーを押しながらクリック) して、**[コンポーネントプロパティ]** を選択し、**[編集]** をクリックします。埋め込みコンポーネントに関する詳細は、Maple ヘルプシステムの **埋め込みコンポーネント** トピックを参照してください。

Maple ワークシートで MapleSim の方程式とプロパティを扱う

Maple テンプレートで MapleSim の方程式またはプロパティを表示および操作する場合、対応するパラメータ、変数、コネクタ、下付き文字、上付き文字が異なるものにマッピングされたり、表記が異なる場合があります。

MapleSim のプログラム名の Maple へのマッピング

Maple ワークシートに表示される、特定パラメータや変数、コネクタのプログラム名は、MapleSim インターフェースで表示される当該要素の名前と異なる場合があります。たとえば、モデルに **Inertia** コンポーネントが含まれている場合、角速度の初期値として MapleSim インターフェースに表示されるパラメータは ω_0 ですが、Maple ワークシートでは w_start です。パラメータ名、変数名およびコネクタ名のマッピングに関する詳細は、MapleSim ヘルプシステムの **MapleSim コンポーネントライブラリ** を参照してください。

MapleSim の上付き文字と下付き文字の Maple での表記

MapleSim インターフェースの下付き文字および上付き文字は、Maple ワークシートでは異なる表記で表示されます。MapleSim インターフェースの下付き文字は、Maple ワークシートでは下線とともに表示されます。たとえば、MapleSim インターフェースで $flange_a$ と表されるコネクタは、Maple ワークシートでは $flange_a$ と表示されます。また、上付き文字は、Maple ワークシートでは通常文字として表示されます。たとえば、MapleSim インターフェースで a^2 と表される変数は、Maple ワークシートでは $a2$ と表示されます。

サブシステムの使用

モデルをエクスポートする場合の基本構造はサブシステムです。テンプレートを使用すると、解析および操作するサブシステム全体を選択できます。モデルまたはモデルの一部をサブシステムに変換することによって、調査対象のモデリングコンポーネントセットをより簡単に識別したり、サブシステムの入出力を定義したり、調査するコンポーネントをブロックコンポーネントとして識別できます。MapleSim でサブシステムを作成するときのベストプラクティス (最良の方法) については、[ベストプラクティス: サブシステムの作成と配置 \[73ページ\]](#) を参照してください。

モデルをエクスポートする際の基本構造については、[\[ライブラリ\] タブの \[アプリケーションと事例\] > \[ユーザガイドの例題\] > \[第5章\] メニューから \[Preparing a Model for Export\]](#) の例を開いて参照してください。

注: サブシステムのコードを生成する場合、含まれるポートは実数の入力ポートと実数の出力ポートである必要があります。トップレベルのシステムのコードを生成する場合、システムには入力がないとみなされ、すべてのプローブ値は出力として処理されます。

ヒント: モデル全体を使用する場合は、モデルのトップレベルですべてのコンポーネントをグループ化し、1 つのサブシステムにします。

5.2. モデルからの方程式とプロパティの取得

方程式の抽出テンプレートは、モデルのパラメータや変数などのプロパティと方程式を取得、定義、解析するために使用することができます。また、初期方程式を設定したり、方程式の最適化レベルを設定したり、カスタム方程式を生成することもできます。Maple コマンドを使用すると、方程式の詳細な解析を実行したり、モデルの方程式を変数またはパラメータに割り当てたり、追加のシステム変数やパラメータを定義できます。このテンプレート内の機能は、複数のサブシステムが存在する場合に再利用可能な方程式を生成する場合に便利です。

方程式の解析テンプレートの完全な例題は、チュートリアル 7: 方程式の抽出テンプレートの使用 [238ページ] を参照してください。

方程式とプロパティを取得するには

1. MapleSim で、方程式またはプロパティを取得するモデルを開きます。
2. **メインツールバー**で、**テンプレートから添付を作成する** (🔗) をクリックします。[添付の作成] ウィンドウが表示されます。
3. リストから、[方程式の抽出] を選択します。
4. [添付] フィールドにテンプレートの名前を入力し、[添付を作成] をクリックします。Maple が起動し、**方程式の抽出テンプレート**にモデルが表示されます。
5. モデルダイアグラムの上にあるナビゲーションツールを使用して、方程式を表示するサブシステムを選択します。システム全体の方程式を取得する場合は、**Main** をクリックします。
6. [選択されたサブシステムを読み込む] をクリックします。モデルの方程式が抽出され、システムパラメータと変数がロードされます。[方程式を表示] セクションにシステム方程式が表示され、変数 DAEs に自動的に保存されます。

これで **DynamicSystems** や **MapleSim** などの Maple パッケージで方程式を操作することができます。これらのパッケージに関する詳細は、Maple ヘルプシステムの **DynamicSystems** および **MapleSim** トピックを参照してください。

5.3. 線形系の解析

線形解析テンプレートは、線形系の方程式の取得、表示、解析、入出力値のテスト、およびシミュレーション結果をボード線図、ナイキストプロット、または根軌跡プロットに表示するために使用することができます。

注:線形解析の対象としてシステム全体を指定することはできません。テンプレートの**解析とシミュレーションセクション**のツールを使用して線形解析を行うには、サブシステムを選択する必要があります。

MapleSim の線形系モデルを解析するには

1. MapleSim で、解析する線形系モデルを開きます。
2. **メインツールバー**で、**テンプレートから添付を作成する** (🔗) をクリックします。**[添付の作成]** ウィンドウが表示されます。
3. リストから、**[線形解析]** を選択します。
4. **[添付]** フィールドにテンプレートの名前を入力し、**[添付を作成]** をクリックします。Maple が起動し、**線形解析テンプレート**にモデルが表示されます。
5. モデルダイアグラムの上にあるナビゲーションツールを使用して、方程式を表示するサブシステムを選択します。
6. **[選択されたサブシステムを読み込む]** をクリックします。
7. エラーダイアログが表示される場合は、**[OK]** をクリックしてダイアログを閉じてください。

エラーが表示される場合、このシステムには出力が定義されていません。次のステップで、このシステムに出力を指定します。

8. **ポートを因果的にするセクション**で、システムの入出力信号を指定します。
 - **入力信号を指定するには:** 1つのポートの**[通過変数]**または**[介在変数]**列に「input」と入力します。「0」を入力して、変数に値ゼロを入力することもできます。
 - **出力信号を指定するには:** 1つのポートの**[通過変数]**または**[介在変数]**列に「output」と入力します。
9. **[選択したサブシステムを読み込む]** をクリックします。

線形系オブジェクトが作成され、システムの方程式が**方程式を表示**セクションに表示されます。

パラメータや変数の操作 (オプション)

パラメータや変数の操作セクションで、システムの変数やパラメータに新しい名前を割り当てることができます。

変数やパラメータに新しい名前を割り当てるには

1. 再割り当てしたい変数やパラメータの新しい名前を**新しい名前**列に入力します。
2. **[方程式を再割り当て]** をクリックします。

方程式を表示セクションのシステムの方程式で新しい名前が使用されます。

元の名前に戻すには、**DAE変数**セクションの**[代入をリセット]** をクリックしてください。

[モデルの新しい変数名とパラメータ名を保存する] を選択して、このモデルに関連付けられている別のテンプレートで変数とパラメータの新しい名前を流用できます。

解析とシミュレーション

解析とシミュレーションセクションのツールを使用して、線形系の解析やシステムの入力に対するさまざまな入力の効果を表示することができます。

以下のツールを解析に使用できます。

- ボード線図
- ナイキストプロット
- 根軌跡プロット

シミュレーションセクションで、システムに適用する入力信号を選択し、出力に対する効果を表示することができます。

コンポーネントの作成

システムの解析および設定後、システムに基づいてカスタムコンポーネントを作成し、MapleSim モデルに添付することができます。

システムからカスタムコンポーネントを作成するには

1. **[モデル名]** テキストボックスにコンポーネントの名前を入力します。
2. **[説明]** テキストボックスにコンポーネントの説明を入力します。
3. **[作成]** をクリックします。

カスタムコンポーネントは、MapleSim モデルの **[定義]** タブにある **[コンポーネント]** パレットに表示されます。また、カスタムコンポーネントを作成するために使用した線形解析テンプレートは、MapleSim モデルに添付され、**[プロジェクト]** タブにある **[添付]** > **[カスタムコンポーネント]** パレットに表示されます。

注: **[添付]** パレットに同じ名前を持つ線形系がすでに存在する場合、既存のファイルは上書きされます。

5.4. パラメータの最適化

最適化テンプレートを使用して、モデルのパラメータをテストしたり、シミュレーションのプロットを表示したり、Maple プロシージャにパラメータを割り当ててパラメータのスweepやその他の高度な最適化タスクを実行できます。

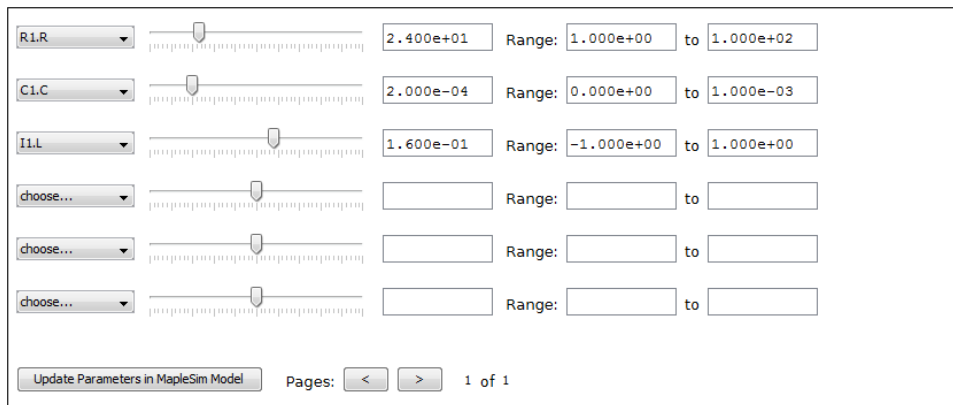
パラメータの最適化は、Global Optimization Toolbox のコマンドで実行することもできますが、この製品は、MapleSim には含まれていません。この製品に関する詳細は、Maplesoft Global Optimization Toolbox の、下記ウェブサイトで参照してください：

<http://www.maplesoft.com/products/toolboxes/globaloptimization/>

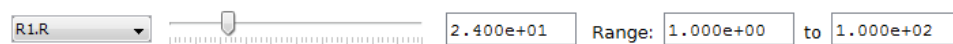
パラメータを最適化するには

1. MapleSim で、解析する線形系モデルを開きます。
2. メインツールバーで、**テンプレートから添付を作成する** (🔗) をクリックします。**[添付の作成]** ウィンドウが表示されます。
3. リストから、**[最適化]** を選択します。

4. [添付] フィールドにテンプレートの名前を入力し、[添付を作成] をクリックします。Maple のパラメータの最適化テンプレートにモデルが表示されます。
5. モデルダイアグラムの上にあるナビゲーションツールを使用して、解析するサブシステムを選択します。モデルワークスペースにサブシステムが表示されます。
6. テンプレートのパラメータの探索セクションで、[システムを読み込む] をクリックします。モデルのシミュレーション設定がインポートされます。
7. パラメータの設定セクションで、最初の [choose] リストからテストするパラメータを選択します。



注: パラメータが選択されると、代入されている値がスライダの横のフィールドに表示されます。



8. スライダとパラメータ値フィールドの横にある [範囲] フィールドに、スライダの範囲を指定します。デフォルトの範囲は 0 から 10 ですが、選択されたパラメータ値がこの範囲外の場合は、この限りではありません。
9. 上記手順で、テストしたいその他のパラメータを指定します。

すべてのパラメータを定義したら、スライダを動かしてさまざまな値をテストできます。また、[MapleSim モデルのパラメータを更新] をクリックして MapleSim でシミュレーションを実行することで、見込まれるシミュレーション結果をモデ

ルに表示できます。定義したパラメータを Maple のプロシージャに代入してプロシージャを生成すると、テンプレートの **パラメータの最適化** セクションにより詳しい解析タスクを実行することもできます。

プロシージャを生成したら、このプロシージャを呼び出して、指定されたパラメータ値を使用してシミュレーションを実行できます。プロシージャは、シミュレーション結果を $y+1$ 列の行列として、時間を 1 列目に、続いて各プローブ出力を 1 列ずつ返します。また、このプロシージャはパラメータのスweepと最適化にも使用できます。

Maple のプロシージャに関する詳細は、Maple ヘルプシステムの手続きのトピックを参照してください。

5.5. モデルからの C コードの生成とエクスポート

C 言語をサポートするアプリケーションでモデルを使用またはテストする場合は、**C コード生成テンプレート** を使用して、モデルまたはモデル内のサブシステムを C コードに変換できます。基本的な C コードとコンパイルおよび実行機能は、Maple からアクセスできます。このコードの拡張機能については、Connector の追加のツールボックスとして、さまざまなソフトウェアツールで利用できます。

MapleSim コードのエクスポート処理に関する詳しい説明については、エクスポートするためのコード生成を参照してください。

この **コード生成** テンプレートを使用すると、システムの入出力を定義したり、コードの最適化レベルを設定したり、ソースコードを生成したり、結果のコンポーネントやライブラリコードの形式を選択したりすることができます。タスク解析の実行、モデル方程式の変数への代入、入出力のグループ化、変数の追加の入出力ポートの定義を実行するには、Maple コマンドを使用できます。

注: C コードの生成では、定義された信号入力 (RealInput) および信号出力 (RealOutput) ポートを持つ混在した連立方程式を含め、MapleSim でモデリングするすべてのシステムを処理できます。

コードをエクスポートしたり、方程式を生成したりする場合、そのモデルに対するパラメータのサブセットのみが表示されることがあります。以下のパラメータはエクスポートできません。

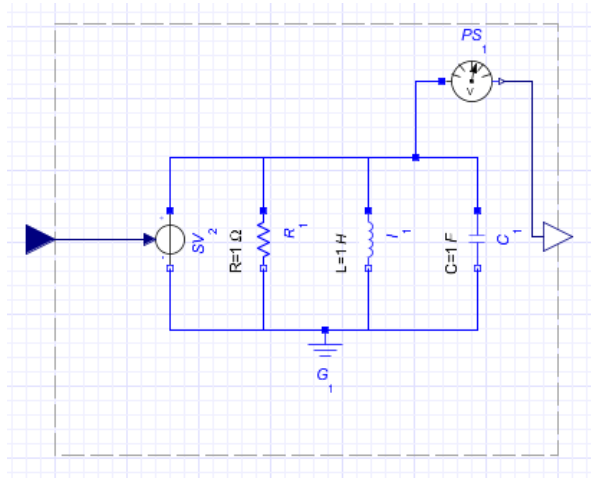
- マルチボディパラメータを直接エクスポートすることはできません。インスペクタタブでマルチボディパラメータが割り当てられているユーザ定義のパラメータのみ、エクスポートできます。
- 従属パラメータはエクスポートできません。パラメータ A が b の関数である場合 ($A=b$ 、 $A=\sin(b)$ 、 $A=1+3/b$ など)、A をエクスポートすることはできません。A は b の関数として方程式に直接代入されます。b はエクスポートすることができます。
- 方程式の数が変わるパラメータはエクスポートできません。
- 離散値に対するパラメータはエクスポートできません。

MapleSim モデルから C コードを生成するプロセスには次のステップが含まれています。

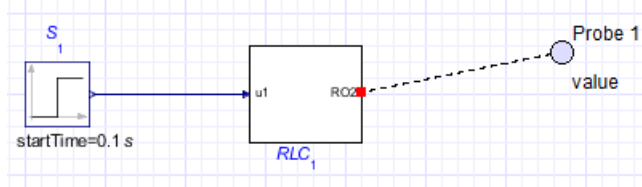
- MapleSim モデルの準備
- コード生成テンプレートの添付
- サブシステムのロード
- 特定のポートに対するパラメータ値のカスタマイズ、定義、および割り当て
- コード生成オプションの選択
- C コードの生成と保存

MapleSim でエクスポートする場合のモデルの準備

モデルをエクスポートする場合の基本構造はサブシステムです。このサブシステムには、生成されたコードからの入力信号と出力信号を定義します。サブシステムを作成することによって、**モデルワークスペース**でのシステムの視覚的なレイアウトを改善することもできます。次の図に、定義した入力(青の矢印)と定義した出力(白の矢印)を持つサブシステムを示します。サブシステムのコードを生成する場合、すべてのポートは実数の入力ポートと実数の出力ポートである必要があります。

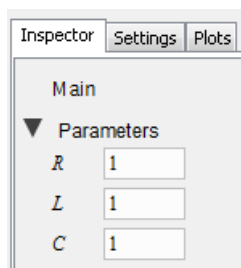


トップレベルのシステムのコードを生成する場合、次の図に示すように、入力はありませんがすべてのプローブ値が出力であるとみなされます。



ヒント: モデル全体に対してコードを生成するには、モデルのトップレベルですべてのコンポーネントをグループ化し、1つのサブシステムにします。

入出力に加えて、生成されたコードにはユーザが変更可能なパラメータが定義されている場合があります。デフォルトでは、エクスポートされるコードのすべてのパラメータが変更可能になっているわけではありません。一般的に、編集可能なパラメータが少ないほど、エクスポートされるコードの生成や実行にかかる時間が短縮されます。デフォルトでは、エクスポートされるサブシステムに定義されているパラメータのみが、生成されるコードでも変更可能になります。上記の例でRLCサブシステムのコードを生成する場合、デフォルトではパラメータR、L、Cのみがエクスポートされるコード内で変更可能です。



注: 生成されるコードですべてのパラメータが変更可能というわけではありません。変更により、システムに変数の追加や削除が必要となり方程式の構造に影響するパラメータは、エクスポート対象のパラメータのリストから自動的に削除されます。これは、そのパラメータがエクスポートされたサブシステムに定義されている場合も同様です。

初期化

すべての離散イベントは、対応する MapleSim モデルと同じ値に初期化されます。たとえば、MapleSim モデルでクラッチが「ロック済み」として初期化された場合、生成されるコードでは、最初にクラッチは「ロック済み」という設定であると想定します。同じことが連続変数やその導関数にも当てはまります。

エクスポートされるコードは初期状態の MapleSim モデルから初期条件を取得するため、シミュレーション可能なモデルに含まれるサブシステムのコードのみがエクスポートされる場合があります。

注: MapleSim でモデルを実行または初期化できない場合、そのモデルまたはサブシステムのコードをエクスポートできません。

コード生成テンプレートの添付

モデルをテンプレートに添付するには、**メインツールバー**で**テンプレートから添付を作成する** (🔗) をクリックし、**[コード生成]** を選択します。[添付] フィールドにテンプレートの名前を入力し、**[添付を作成]** をクリックします。Maple が起動し、C コード生成テンプレートにモデルが表示されます。

サブシステムのロード

テンプレートのこの部分では、コードを生成およびエクスポートするサブシステムを識別します。サブシステムを選択したら、**[選択したサブシステムを読み込む]** をクリックします。定義したすべての入出力ポートがロードされます。

特定のポートに対するパラメータ値のカスタマイズ、定義、および割り当て

入出力とパラメータ管理インターフェースを使用すると、特定のポートに対するパラメータ値をカスタマイズ、定義、および割り当てることができます。パラメータを割り当てられたサブシステムコンポーネントは、サブシステムのレベルで定義されたパラメータ値を継承します。

Inputs:

Input Variables		Change Row
1		

[入力変数]: モデルの入力変数です。

[行を変更]: 指定された行で方程式を選択します。

Outputs:

Output Variables		Export	Change Row
1		X*	

Add an additional output port for subsystem state variables

[エクスポート列をトグル]: すべてのパラメータをエクスポート用に選択または削除できます。

[出力変数]: モデルの出力変数です。

[エクスポート]: 数式形式で残したい変数を選択する場合は、「X」と入力します。

[行を変更]: 指定された行で方程式を選択します。

サブシステム状態変数に出力ポートを追加: 選択したサブシステムの状態変数にポートを追加する場合は、このオプションを選択します。

Parameters:

Toggle Export Column

	Parameters	Value	Export	Change Row
1	C1_C	0.4e-3		
2	EMF1_fixed_phi0	0.		
3	EMF1_k	0.1e2		
4	I1_L	.76		
5	R1_R	14.1		
6	R1_T_ref	300.15		

[パラメータ]: モデルのパラメータです。

[値]: システムパラメータの値を表示します。

[エクスポート]: 数式形式でエクスポートしたいパラメータを選択する場合は、「X」と入力します。

[行を変更]: 指定された行で方程式を選択します。

サブシステムがロードされたら、個々の入力および出力変数の要素を vector 配列にグループ化したり、カスタマイズされたパラメータ値の入出力ポートを追加できます。入力ポートには変数の導関数を含めることができます。また、出力ポートにはサブシステムの状態変数を含めることができます。

注: パラメータにエクスポート用のマークが付けられていない場合、そのパラメータは数値で置換されます。

コード生成オプションの選択

コード生成セクションでの設定により、コード生成プロセスの詳細オプションを指定します。


ソルバオプション

このセクションでは、ソルバの種類を指定できます。

Fixed step solver: Euler RK2 RK3 RK4 Implicit Euler

最適化オプション

コードの最適化レベルを設定し、コード生成プロセスの実行中に方程式を陰的な形式で残すのか、1つの連立常微分方程式 (ODE) に変換するのかを指定します。このオプションはコード生成プロセスの実行中にモデルの方程式に適用される単純化の程度を指定します。このオプションによってシステム内の不要な変数や方程式が削減されます。

Level of code optimization (0=None, 3=Full): 

次のいずれかのオプションを選択します。

None (0): 最適化は実行されません。生成されるコードではデフォルトの方程式が使用されます。

Partial (1, 2): システムから不必要な方程式が削除されます。

Full (3): 指数減少法を実行し、1次の連立常微分方程式 (ODE) または微分代数方程式 (DAE) まで式を削減して、不要な方程式を削除します。

拘束条件の計算オプション

[拘束条件の計算オプション] では、生成されたファイルで拘束条件に対する射影法を使用することで DAE で拘束条件を満たすかどうかを指定します。このオプションを使用すると、拘束条件を持つ DAE の精度が向上します。拘束条件が満たされていない場合、システムの結果は実際の解から外れる場合があり、指数関数的な割合でエラーが増加する可能性があります。

Maximum number of projection iterations:

Error tolerance:

Apply projection during event iterations

より正確な解を得るために射影を繰り返し実行できる最大回数を指定するには、**[射影法における最大収束計算回数]** を設定します。

射影後に得られる必要な許容誤差を指定するには、**[許容誤差]** を設定します。

より正確な解を得るために繰り返しを挿入するには、[イベント処理中の射影法の適用] を選択します。

MathWorks™ のウェブサイトでは説明されている External Model Interface の **constraint projection** ルーチンを使用して拘束条件に対する射影が実行され、DAE の結果のドリフトが制御されます。

イベント処理のオプション

イベント処理のオプションセクションでは、生成されたファイルで拘束条件に射影法を使用することにより、DAE 系のイベント条件を満たすかどうかを指定します。このオプションを使用すると、イベントを持つ DAE の精度が向上します。拘束条件が満たされていない場合、システムの結果は実際の解から外れる場合があります、指数関数的な割合でエラーが増加する可能性があります。

Maximum number of event iterations:
Width of event hysteresis band:

より正確な解を得るために射影を繰り返し実行できる最大回数を指定するには、[イベント処理の最大収束計算回数] を設定します。

射影後に得られる必要な許容誤差を指定するには、[イベントヒステリシスバンドの幅] を設定します。

Baumgarte 拘束安定化法

Baumgarte 拘束安定化法は、位置、速度、加速の各拘束を次のように単一式にまとめて、位置拘束方程式を安定化します。この線形方程式を加速度に対して積分すると、Baumgarte パラメータ、Alpha および Beta が、この位置の拘束を安定化させます。

Baumgarte Constraint Stabilization:

Apply Baumgarte constraint stabilization Export Baumgarte parameters

Alpha:

Beta:

[Baumgarte 拘束安定化法の適用]: モデルに Baumgarte 拘束安定化法を適用するときを選択します。

[Alpha]: モデルに適した微分ゲインの値を入力

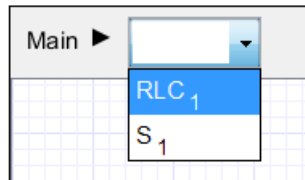
[Beta]: モデルに適した比例ゲインの値を入力

[Baumgarte パラメータのエクスポート]: 生成した C コードに Alpha および Beta の定数を含める場合を選択します。これにより、ソースコードで Alpha と Beta の値を変更することができるようになります。コードを再コンパイルして実行し、モデルに与える影響を確認してください。

C コードの生成と保存

C コードを生成するには

1. MapleSim で、コードを生成するモデルを開きます。
2. **モデルワークスペース**で、コードを生成してサブシステムにグループ化したいコンポーネントを確認します。
3. **メインツールバー**で、**テンプレートから添付を作成する** (🔗) をクリックします。**[添付の作成]** ウィンドウが表示されます。
4. リストから、**[コード生成]** を選択します。
5. **[添付]** フィールドにテンプレートの名前を入力し、**[添付を作成]** をクリックします。Maple が起動し、**C コード生成**テンプレートにモデルが表示されます。
6. ドロップダウンリストから、コードを生成するサブシステムを選択します。**サブシステムの選択**ウィンドウにサブシステムとその内容が表示されます。



7. モデルダイアグラムの直下にある**[選択したサブシステムを読み込む]**をクリックします。サブシステムと入出力変数がコード生成テンプレートにロードされます。

8. テンプレートの**Cコード生成のオプション**セクションで、ソルバを選択します。デフォルトではEulerソルバが選択されています。
9. コードの保存場所とファイル名を選択します。ファイルには、「c」という接頭辞と「c」という拡張子が自動的に追加されます。
10. **[Cコードを生成]** をクリックします。Cコードが生成されたら、テンプレートの下部にあるCコードを表示領域にコードを表示できます。また、Cコードは指定された場所に自動的に保存されます。

```

/*****
 * Automatically generated by Maple.
 * Created On: Wed Apr 25 13:35:01 2012.
 *****/
#ifdef WMI_WINNT
#define EXP __declspec(dllexport)
#else
#define EXP
#endif
#include <stdlib.h>
#include <stdio.h>
#include <math.h>
#ifdef FROM_MAPLE
#include <mplshlib.h>
static MKernelVector kv;
EXP ALGEB M_DECL SetKernelVector(MKernelVector kv_in, ALGEB args) { kv=kv_in; ret
#else
#ifdef WMI_WINNT
#define M_DECL __stdcall
#else
#define M_DECL
#endif
#endif
/*****

```

5.6. 外部Cコード/ライブラリからカスタムコンポーネントを生成

MapleSim では、モデル内から外部コードを直接呼び出すことができます。外部Cコード/DLLテンプレートを使用すると、外部CコードやDLL関数をモデルやサブシステムに直接呼び出すためのカスタムコンポーネントを作成できます。基本的なCコードにアクセスし、それらのコードをコンパイルしてMapleで実行することができます。このコードの拡張機能については、Connectorの追加のツールボックスとして、さまざまなソフトウェアツールで利用できます。


このテンプレートを使用すると、外部入出力の定義、関数名と引数の指定、ソースコードの生成、結果のコンポーネントおよびライブラリコードの書式の選択などを行うことができます。タスク解析の実行、モデル方程式の変数への代入、入出力のグループ化、変数の追加の入出力ポートの定義を実行するには、Maple コマンドを使用できます。

パラメータ、入力、出力に加えられた変更は記憶され、外部Cコード/DLLテンプレートを使用してシステムに再読み込みされるときに使用されます。

MapleSim モデルに対して外部コードカスタムコンポーネントを作成するプロセスには、次のステップが含まれています。

- カスタムコンポーネントの指定
- 外部C/ライブラリの場所の指定
- 外部/ライブラリコードのオプションの指定
- 生成する Modelica コードを保存するディレクトリの指定
- 外部コードカスタムコンポーネントの生成と保存

外部Cコード/DLLテンプレートを開く

メインツールバーでテンプレートから添付を作成する () をクリックし、[外部C/ライブラリブロック] を選択します。[添付] フィールドにテンプレートの名前を入力し、[添付を作成] をクリックします。Maple が起動し、テンプレートが開きます。

C/ライブラリコードの場所とオプションを指定します。

外部Cコード/DLLテンプレートを使用して、ライブラリコードの場所、コードの検証とモデルへの割り当てを行います。ヘッダファイルを指定するか、既存のCファイルや共有ライブラリファイルを使用するか、またはテキスト領域を使用して新しいCファイルを作成することができます。

ヘッダファイルの指定

必要な場合は、[ヘッダファイルの指定] を選択し、[ヘッダファイルの保存場所] テキストボックスで既存のヘッダファイルの場所を指定します。

Provide External Code using Text Area Specify Header File

Attached C/DLL/SO fl.c Refresh Attachments List

Location of C/DLL File: Select File

Location of Header File: Select File

Validate and Save C/Library File Validate and Attach C/Library File to MapleSim Model

既存の C ファイルまたはライブラリファイルの使用

[C/DLL ファイルの保存場所] テキスト領域を使用して、既存の C ファイルまたはライブラリファイルの場所を指定します。

Provide External Code using Text Area Specify Header File

Attached C/DLL/SO fl.c Refresh Attachments List

Location of C/DLL File: Select File

Location of Header File: Select File

Validate and Save C/Library File Validate and Attach C/Library File to MapleSim Model

指定した C ファイルやライブラリファイルの有効性を検証するには、**[C/ライブラリファイルの検証と保存]** をクリックします。

指定した C ファイルやライブラリファイルの有効性を検証して MapleSim モデルに添付するには、**[C/ライブラリファイルを検証して MapleSim モデルに添付]** をクリックします。添付したファイルは **[プロジェクト]** タブの **[添付] > [その他]** フォルダに保存されます。

Text Area を使用した外部コードの指定

[Text Area を使用した外部コードの指定] を選択すると、テキスト領域が表示されます。テキスト領域に C コードを入力し、**[Save to C File]** テキストボックスでファイルを保存する場所を指定します。

Provide External Code using Text Area Specify Header File

Attached C/DLL/SO f1.c Refresh Attachments List

Save to C File: Select File

Location of Header File: Select File

C ファイルの有効性を検証するには、**[C/ライブラリファイルの検証と保存]** をクリックします。ファイルは **[Save to C File]** テキストボックスで指定した場所に保存されます。

指定した C ファイルの有効性を検証して MapleSim モデルに添付するには、**[C/ライブラリファイルを検証して MapleSim モデルに添付]** をクリックします。添付したファイルは **[プロジェクト]** タブの **[添付]>[その他]** フォルダに保存されます。

添付した C またはライブラリファイルの使用

C またはライブラリが添付されている場合、**[添付された C/DLL/SO]** を選択して、ドロップダウンリストから特定の C またはライブラリファイルを選択することができます。

Provide External Code using Text Area Specify Header File

Attached C/DLL/SO f1.c Refresh Attachments List

Location of C/DLL File: Select File

Location of Header File: Select File

C/ライブラリコードの場所とオプションの定義

外部 C/ライブラリ関数名の定義、外部 C/ライブラリプロトタイプの指定、パラメータ名の選択、データ型の選択、配列かどうかの指定、外部関数の入力または

出力の指定などを行うことができます。指定した入出力は、カスタムコンポーネントの入出力になります。

必要に応じて、行 ID を指定して **[パラメータを削除]** をクリックすると、そのパラメータを削除することができます。

また、**[テーブルをクリア]** をクリックすると、パラメータテーブルをリセットすることができます。

Function Name:External Function Name: **Arguments:**Parameter Name: Passed By ReferenceData Type: Array?

	Parameter Name	Data Type	Change Row
1			

Row ID to Remove: **Output:**

Specify whether the external C/Library function returns a value. If it does, specify the name of the return parameter and its datatype.

 Return?Return Name: Return Type:

外部コードカスタムコンポーネントの作成方法についての完全なチュートリアルは、[チュートリアル 6: C コード/DLL カスタムコンポーネントテンプレートの使用 \[232ページ\]](#)を参照してください。

C コードの生成と保存

カスタムコンポーネントを生成するには

1. 生成する Modelica カスタムコンポーネントコードを保存する場所を指定します。

Target directory: <input type="text" value="C:\Users\"/> <input type="button" value="Browse"/>

2. **[外部コードコンポーネントの生成]** をクリックします。カスタムコンポーネントが生成されると、そのコードがテンプレートの下部にあるソースの詳細に表示されます。また、テンプレートは **[定義]** タブの **[コンポーネント]** パレットに自動的に保存されます。

5.7. Maple の埋め込みコンポーネントを扱う

埋め込みコンポーネントとは、MapleSim モデルについて、アクションを表示、編集、作成したり、情報を表示したり、解析したりするために、Maple ワークシートやドキュメントに埋め込まれる単純なグラフィカルインターフェースの要素です。また、モデルプロパティに、スライダ、プロットなど、ほかの Maple 埋め込みコンポーネントを関連付けてカスタム解析ツールを作成することもできます。

たとえば、**DocumentTools** パッケージのコマンドを使用して、パラメータ値を表示および変更することができます。また、モデルまたはサブシステムの方程式を **MapleSim** パッケージのコマンドを使用して取得し、任意の入力関数を使用してモデルまたはサブシステムの動作を解析するためにモデルを **DynamicSystems** のオブジェクトとして扱うこともできます。埋め込みコンポーネントは、**[コンポーネント]** パレットを使用して挿入します。

高度な解析タスクについての詳細は、**[ライブラリ]** タブの **[アプリケーションと事例]** > **[ユーザガイドの例題]** > **[第 5 章]** パレットから **[Sliding Table]** の例を開いてから、添付されている **[AdvancedAnalysis.mw]** ワークシートを開きます (MapleSim の **[プロジェクト]** タブにある **[添付]** > **[ドキュメント]** メニュー)。

5.8. Maple の標準的なワークシートを扱う

MapleSim モデルの添付を作成したら、アプリケーションプログラミングインターフェース (API) コマンドを使用して、Maple ワークシートにあるモデルとさらに情報を交換して、モデルを解析できます。MapleSim API は、Maple の標準的なワークシートで MapleSim モデルの操作、シミュレーション、および解析を行うための特別なプロシージャの集合です。

MapleSim モデルにリンクする方法は2つあります。LinkModel コマンドを使用して MapleSim モデルにリンクする方法と、埋め込みコンポーネントの機能を使用する方法です。LinkModel コマンドは、MapleSim モデルにアクセスできる接続モジュールを返します。LinkModel コマンドまたは埋め込みコンポーネント機能の使用に関する詳細は、MapleSim アプリケーションプログラミングインターフェースの概要と、LinkModel の説明にある例のセクションを参照してください。

第6章 MapleSim チュートリアル

MapleSim チュートリアルを使用すると、説明用のタスク、問題、およびベストプラクティス (最良の方法) を使用した例題に取り組むことで、MapleSim で使用できる主な機能、ツール、テンプレート、およびシステムについて学習することができます。これらの例題の多くは、MapleSim ウィンドウの左側にある [ライブラリ] タブの [アプリケーションと事例] > [ユーザガイドの例題] パレットにあります。例題はユーザガイドで使用される順に並んでいます。

この章の内容は以下のとおりです。

- チュートリアル 1: ギアボックス付き DC Motor のモデリング [179ページ]
- チュートリアル 2: ケーブル張力コントローラのモデリング [187ページ]
- チュートリアル 3: 非線形ダンパのモデリング [192ページ]
- チュートリアル 4: 平面スライダクランク機構のモデリング [201ページ]
- チュートリアル 5: カスタムコンポーネントテンプレートの使用 [210ページ]
- チュートリアル 6: C コード/DLL カスタムコンポーネントテンプレートの使用 [232ページ]
- チュートリアル 7: 方程式の抽出テンプレートの使用 [238ページ]
- チュートリアル 8: 油圧システムのモデリング [248ページ]

6.1. チュートリアル 1: ギアボックス付き DC Motor のモデリング

このチュートリアルでは、DC Motor モデルを拡張するために、以下のタスクを実行します。

- DC Motor のモデルにギアボックスを追加する
- ギアボックス付き DC Motor のモデルをシミュレートする
- DC Motor コンポーネントをグループ化してサブシステムを作成する
- グローバルパラメータをモデルに代入する
- 信号ブロックコンポーネントと PI コントローラをモデルに追加する

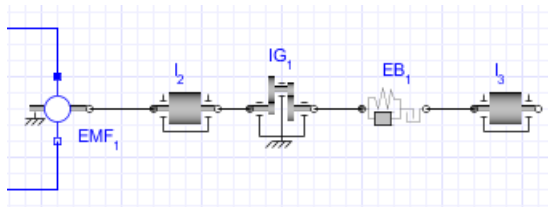
- 変更した DC Motor モデルにさまざまな条件を与えてシミュレートする

DC Motor のモデルにギアボックスを追加する

この例では、1-D メカニカルライブラリから ideal gearbox コンポーネント、線形バネおよびダンパ付きの backlash コンポーネント、inertia コンポーネントを追加し、それらを接続してギアボックスを作成します。モデルワークスペースでコンポーネントをドラッグして配置するには、選択ツールを使用します。

ギアボックスを追加するには

1. [ライブラリ] タブで、[アプリケーションと事例] > [ユーザガイドの例題] > [第 1 章] メニューの順に展開し、[Simple DC Motor] の例を開きます。
2. ワークスペースから、既存のプローブを削除します。
3. 以下のタスクを実行します。
 - [1-D メカニカル] > [回転] > [ベアリング・ギア] メニューから **Ideal Gear** コンポーネントをモデルワークスペースに追加し、**Inertia** コンポーネントの右側に配置します。
 - [1-D メカニカル] > [回転] > [バネ・ダンパ] メニューから **Elasto-Backlash** コンポーネントをモデルワークスペースに追加し、**Ideal Gear** コンポーネントの右側に配置します。
 - [1-D メカニカル] > [回転] > [共通] メニューから **Inertia** コンポーネントをもう 1 つモデルワークスペースに追加し、**Elasto-Backlash** コンポーネントの右側に配置します。
4. 以下の図のようにコンポーネントを接続します。



5. モデルワークスペースで、**Ideal Gear** コンポーネントをクリックします。

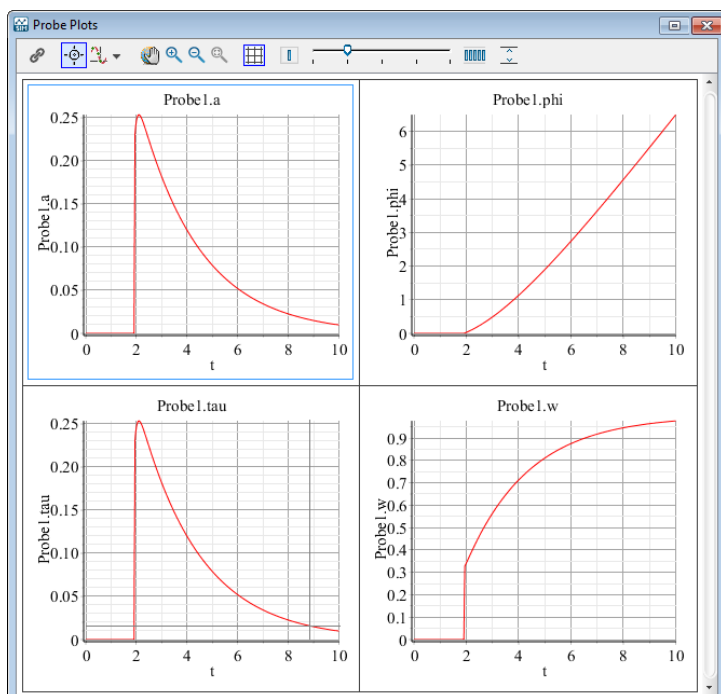
6. **[インスペクタ]** タブで速度伝達比 **[r]** を「10」に変更し、**[Enter]** を押して値を確定します。
7. ほかのコンポーネントに以下のパラメータ値を指定します。
 - **Elasto-Backlash** コンポーネントの **[b]** フィールドで、総合バックラッシュの値を 0.3rad に変更します。 **[d]** フィールドで、減衰係数を $10^4 \frac{\text{N}\cdot\text{m}\cdot\text{s}}{\text{rad}}$ に変更します。
 - 1つ目の **Inertia** コンポーネント (I_2) の **[J]** フィールドで、慣性モーメントの値を $10\text{kg}\cdot\text{m}^2$ に変更します。
 - 2つ目の **Inertia** コンポーネント (I_3) の **[J]** フィールドで、慣性モーメントの値を $1\text{kg}\cdot\text{m}^2$ に変更します。
 - **Step** ソースの **[height]** で、高さの値を「100」に変更します。

ギアボックス付き DC Motor モデルのシミュレーション

DC Motor モデルのシミュレーションを実行するには

1. **モデルワークスペースツールバーのプローブを追加** (📍) をクリックします。
2. マウスポインタを **Elasto-Backlash** コンポーネントと2つ目の **Inertia** コンポーネント (I_3) を接続するライン上に動かします。ラインが強調表示されます。
3. ラインを1回クリックし、ワークスペース内の空白部分をクリックしてプローブを固定します。
4. **モデルワークスペース**で、プローブを選択します。
5. 角度 (ϕ)、速度 (w)、加速度 (a)、トルク (τ) の値をシミュレーショングラフに含めるために、**[インスペクタ]** タブで、**[Angle]**、**[Speed]**、**[Acceleration]**、**[Torque]** を選択します。
6. **モデルワークスペース**で、空白部分をクリックします。
7. **[設定]** タブで **[t_{dj}]** パラメータを「10」秒に設定し、**[Enter]** を押します。

8. メインツールバーでシミュレーションの実行 (▶) をクリックします。シミュレーションが終了すると、下のグラフが表示されます。

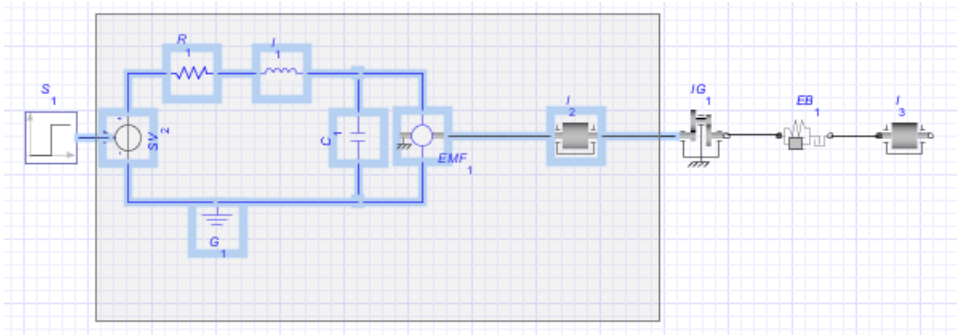


9. 結果を検証するには、[ライブラリ] タブで [アプリケーションと事例] > [ユーザガイドの例題] > [第 6 章] の順に展開し、[DC Motor with Gearbox] の例を開きます。

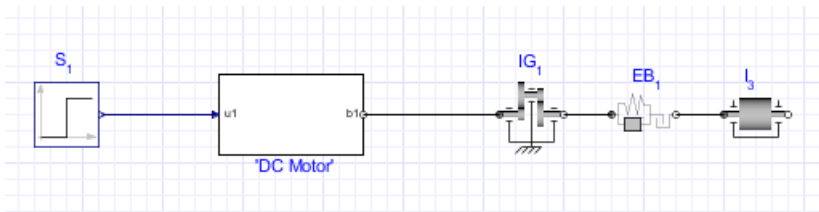
DC Motor コンポーネントをグループ化してサブシステムを作成する

DC Motor コンポーネントをグループ化するには

1. 選択ツール (☒) を使用して、すべての電気コンポーネントと 1 つ目の inertia コンポーネントを囲む四角形を描きます。



2. [編集] メニューから、[サブシステムの作成] を選択します。
3. [サブシステムの作成] ダイアログボックスで「DC Motor」と入力します。
4. [OK] をクリックします。DC Motor を表す白いブロックがモデルワークスペースに表示されます。



ヒント: サブシステム内のコンポーネントを表示するには、モデルワークスペースで **DC Motor** サブシステムをダブルクリックします。モデルのトップレベルを表示するには、ナビゲーションツールバーの **Main** (Main ▶) をクリックします。

グローバルパラメータをモデルに代入する

グローバルパラメータを定義し、その値を変数としてモデル内の複数のコンポーネントに代入することができます。

グローバルパラメータを代入するには

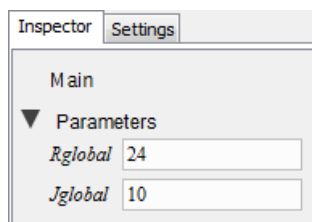
1. ナビゲーションツールバーで、**Main** をクリックし、モデルのトップレベルを表示します。
2. ナビゲーションツールバーで、**パラメータ** (⚙️) をクリックしてパラメータエディタ画面に切り替えます。

3. [Main サブシステムの標準設定] テーブルの1行目に、「Rglobal」という名前のパラメータを定義し、[Enter]を押します。
4. [デフォルト値]に「24」を指定し、[説明]として「Global resistance variable」を入力します。
5. テーブルの2行目に、「Jglobal」という名前のパラメータを定義し、[Enter]を押します。
6. [デフォルト値]に「10」を指定し、[説明]として「Global moment of inertia value」を入力します。

Main subsystem default settings

Name	Type	Default Value	Default Units	Description
Rglobal	Real	24		Global resistance value
Jglobal	Real	10		Global moment of inertia value

7. ダイアグラム表示に切り替えるには、ナビゲーションツールバーで、**ダイアグラム** (📐) をクリックします。新しい Rglobal と Jglobal が、[インスペクタ] タブに表示されます。これで、これらのパラメータ値をモデル内の他のコンポーネントに代入することができます。



8. ナビゲーションツールバーで、**パラメータ** (⚙️) をクリックします。
9. I₃ コンポーネントテーブルで、Moment of inertia (慣性モーメント) パラメータの [値] フィールドに「Jglobal」と入力し、[Enter]を押します。これで Moment of inertia パラメータは、グローバルパラメータ Jglobal の数値(この例では 10)を受け継ぎます。
10. ダイアグラム表示に切り替え、**DC Motor** サブシステムをダブルクリックします。
11. ナビゲーションツールバーで、**パラメータ** (⚙️) をクリックします。

12 **EMF₁ コンポーネント**テーブルで、Transformation coefficient (変換係数) パラメータの [値] フィールドに「RglobalJglobal」と入力し、[Enter] を押します。

注: この値は、変換係数の近似値です。

13 **R₁ コンポーネント**テーブルで、Resistance (抵抗) パラメータの [値] フィールドに「Rglobal」と入力し、[Enter] を押します。

14 ダイアグラム表示に切り替え、モデルのトップレベルを表示します。

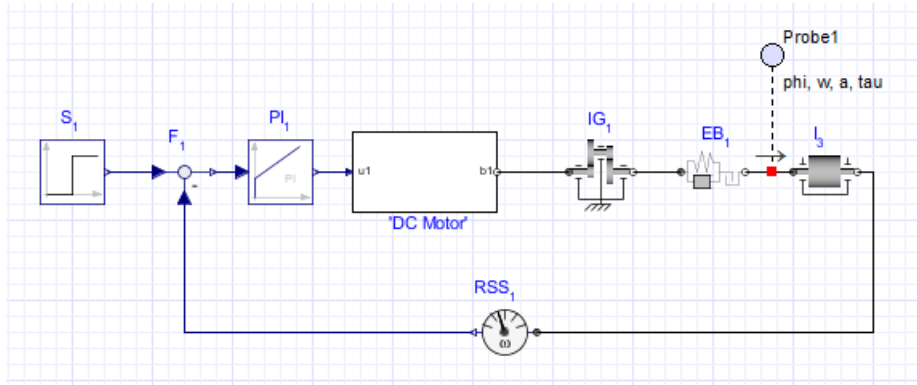
15 モデルを「DC_Motor2.msim」という名前で保存します。

入出力値の変更

この例では、モデルの入出力値を変更し、さまざまな条件でシミュレーションを実行します。

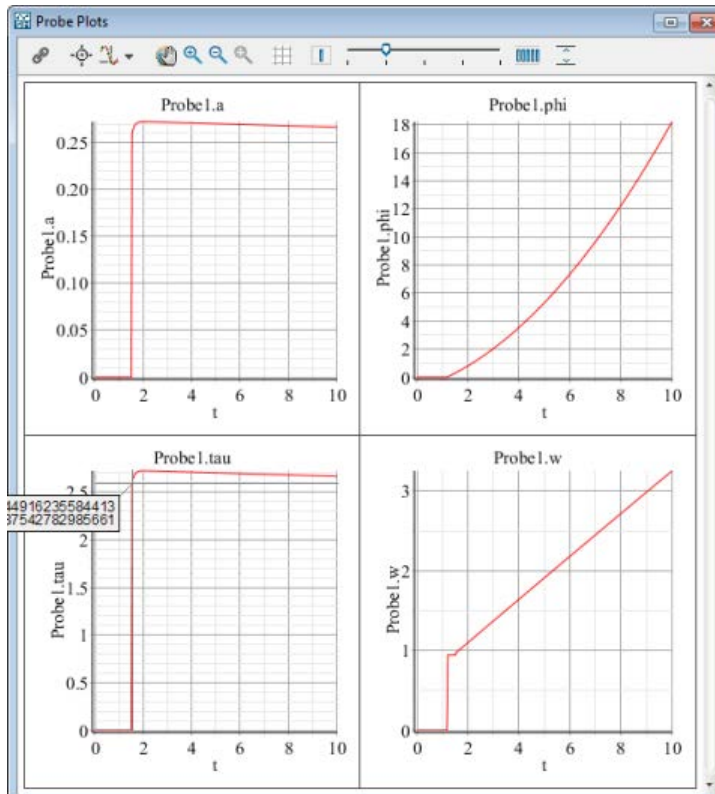
入出力値を変更するには

1. [ライブラリ] タブから、[1-D メカニカル] > [回転] > [センサ] メニューを展開し、**Rotational Speed Sensor** コンポーネントを **モデルワークスペース** に追加して Gearbox コンポーネントの下に配置します。
2. **Rotational Speed Sensor** コンポーネントを右クリック (Macintosh では [Control] キーを押しながらクリック) し、[水平方向に反転] を選択します。
3. **Step** ソースと **DC Motor** サブシステムのあいだの結線を削除します。
4. [信号ブロック] > [コントローラ] メニューから **PI** コンポーネントを **モデルワークスペース** に追加し、**DC Motor** サブシステムの左側に配置します。
5. [信号ブロック] > [数学] > [演算子] メニューから **Feedback** コンポーネントを **モデルワークスペース** に追加し、**PI** コンポーネントの左側に配置します。
6. 各コンポーネントを下図のように接続します。



垂線を描くには、結線を引いているときに、**モデルワークスペース**内の1点でクリックしてその点までの線分を確定し、そこからマウスカursorを別の方向に動かし、次の線分を描きます。

7. **モデルワークスペース**で、**PI** コンポーネントをクリックします。
8. [**インスペクタ**] タブで、[**k**] フィールドに gain (利得) の「**20**」を、[**T**] フィールドに time constant (時定数) を「**3**」秒に指定します。
9. モデルのシミュレーションを再度実行します。シミュレーションが終了すると、下のグラフが表示されます。



10 モデルを「DC_Motor3.msim」という名前で保存します。

11 結果を検証するには、[ライブラリ] タブで [アプリケーションと事例] > [ユーザガイドの例題] > [第 6 章] の順に展開し、[DC Motor Subsystem with Gearbox and PI Controller] の例を開きます。

6.2. チュートリアル 2 : ケーブル張力コントローラのモデリング

このチュートリアルでは、DC Motor の例を拡張して、あらかじめ定義された力で張られるケーブルをモデリングします。張力は **Constant** ソースで定義され、PI コントローラによって、モータを駆動する電圧が与えられます。ここでは、以下のタスクを実行します。

- ケーブル張力コントローラのモデルを作成する

- コンポーネントのプロパティを指定する
- ケーブル張力コントローラのモデルをシミュレートする

ケーブル張力コントローラのモデルを作成する

この例では、1-D メカニカルの回転および並進コンポーネントを使用して、ケーブル張力コントローラのモデルを作成します。また、コンポーネントをグループ化して **Gear** サブシステムを作成し、サブシステムにポートを追加します。

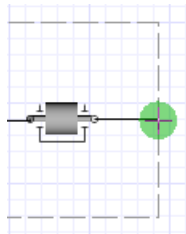
ケーブル張力コントローラを作成するには

1. 前のチュートリアルで作成した **DC_Motor3.msim** ファイルを開き、「**Cable_Tension.msim**」という名前で保存します。
2. **Elasto-Backlash** コンポーネントと **Inertia** コンポーネントを接続するラインに追加されているプローブを削除します。
3. **Rotational Speed Sensor** コンポーネントとその結線を削除します。
4. **Ideal Gear**、**Elasto-Backlash**、**Inertia** コンポーネントを選択し、グループ化して、サブシステム **Gear Components** にします。
5. モデルワークスペースに以下のコンポーネントを追加します。
 - **[1-D メカニカル] > [回転] > [ベアリング・ギア]** メニューから **Ideal Gear R 2 T** コンポーネントをモデルワークスペースに追加し、**Gear Components** サブシステムの右側に配置します。
 - **[1-D メカニカル] > [並進] > [センサ]** メニューから **Force Sensor** コンポーネントをモデルワークスペースに追加し、**Ideal Gear R 2 T** コンポーネントの右側に配置します。
 - **[1-D メカニカル] > [並進] > [バネ・ダンパ]** メニューから **Spring** コンポーネントをモデルワークスペースに追加し、**Force Sensor** コンポーネントの右側に配置します。
 - **[1-D メカニカル] > [並進] > [共通]** メニューから **Fixed** コンポーネントをモデルワークスペースに追加し、**Spring** コンポーネントの右側に配置します。
6. モデルワークスペース内の **Fixed** コンポーネントを右クリック (Macintosh では **[Control]** キーを押しながらクリック) し、**[反時計回りに回転]** を選択します。

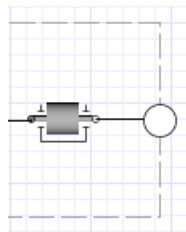
7. **Step** ソースを削除し、[信号ブロック]>[ソース]>[実数] メニューにある [Constant] ソースに置き換えます。

ヒント:Constant ソースは、未接続のラインエンドにドラッグすると、接続することができます。

8. **GearComponents** サブシステムをダブルクリックします。次に、このサブシステムを別のコンポーネントに接続するためのポートを追加します。
9. **Inertia** コンポーネントのマイナス (白) フランジをクリックし、マウスマウスカーソルをサブシステムのコンポーネントを囲む境界線にドラッグします。

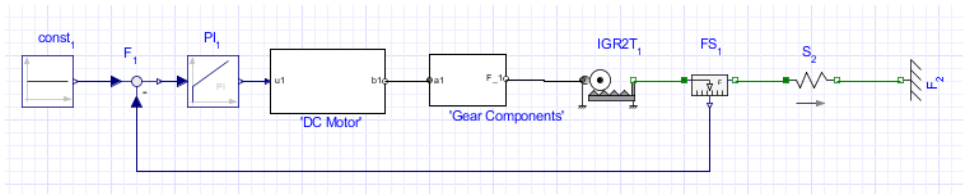


10. ラインを1回クリックします。サブシステムのポートがライン上に追加されます。



11. ナビゲーションツールバーで、**Main** をクリックしてモデルのトップレベルを表示します。

12. 各コンポーネントを下の図のように接続します。




コンポーネントプロパティの指定

コンポーネントプロパティを指定するには

1. モデルワークスペース内の **Gear Components** サブシステムをダブルクリックします。
2. このサブシステムコンポーネントに以下のパラメータ値を指定します。
 - **Ideal Gear** コンポーネントで、[Transmission ratio] (伝達比) の値を 「**0.01**」 に変更します。
 - **Inertia** コンポーネントで、[Moment of inertia] (慣性モーメント) の値を $0.1 \text{ kg}\cdot\text{m}^2$ に変更します。
3. ナビゲーションツールバーで、**Main** をクリックし、モデルのトップレベルを表示します。
4. ほかのコンポーネントに以下のパラメータ値を指定します。
 - **Spring** コンポーネントの [c] フィールドで、[Spring constant] (バネ定数) の値を $2110 \cdot 10^9 \frac{\text{N}}{\text{m}}$ に変更します。
 - **PI** コントローラで、[T] の値を **0.1s** に変更します。
 - **Constant** ソースの [k] フィールドで、[Constant output (一定出力)] の値を 「**77.448**」 に変更します。

ケーブル張力コントローラのシミュレーション

ケーブル張力コントローラをシミュレートするには

1. **プローブを追加** () をクリックします。
2. **Feedback** コンポーネントと **PI** コンポーネントを接続するラインをクリックします。ワークスペースをクリックしてプローブを配置します。
3. モデルワークスペースで、プローブを選択します。
4. [インスペクタ] タブで物理量 [**Real**] を選択し、名前を 「**Error**」 に変更します。

5. 物理量 **Real** を計測するプローブをもう 1 つ、**PI** コンポーネントと **DC Motor** サブシステムを接続するラインに追加します。物理量の名前を「**Controller**」に変更します。

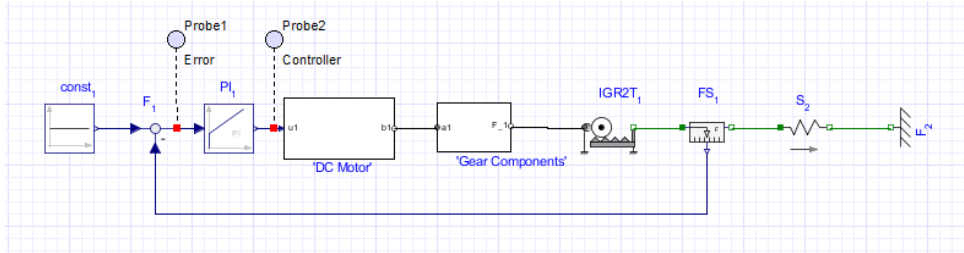
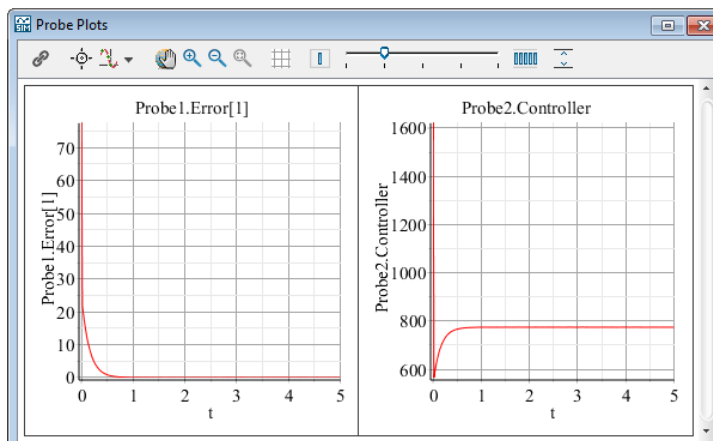


図6.1 ケーブル張力コントローラ

6. モデルワークスペースで、空白部分をクリックします。
7. [設定] タブで以下のパラメータを指定します。
- シミュレーション実行時間 [t_d] を「5」sに設定します。
 - [Solver Type] ドロップダウンメニューから [Variable] を選択します。
 - [Solver] ドロップダウンメニューから [Rosenbrock (stiff)] を選択します。
8. メインツールバーでシミュレーションの実行 (▶) をクリックします。シミュレーションが終了すると、下のグラフが表示されます。



9. ファイルを「**CableTension.msim**」という名前で保存します。

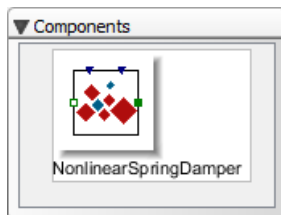
6.3. チュートリアル 3 : 非線形ダンパのモデリング

このチュートリアルでは、線形バネ付きの非線形ダンパをモデリングします。このチュートリアルは、前のチュートリアルで説明した概念をベースにしています。ここでは、以下のタスクを実行します。

- 微分方程式で定義されたカスタムのバネダンパを生成する
- 入力信号としてカスタムの damping coefficient (減衰係数) 値を与える
- 線形バネ付き非線形ダンパのモデルを作成する
- 変数をサブシステムに代入する
- 線形バネ付き非線形ダンパのモデルをシミュレートする

バネダンパカスタムコンポーネントの生成

この例は、第3章の [例: 非線形バネダンパカスタムコンポーネントの作成 \[97ページ\]](#) で作成された非線形バネダンパカスタムコンポーネントを使用しています。



減衰係数値を与える

モデルに追加した補間テーブルコンポーネントにカスタム値を与えることができます。この例では、外部ファイルで減衰係数値を与えます。

減衰係数値を作成するには

1. Microsoft® Excel® スプレッドシート (.xls) またはカンマ区切りファイル (.csv) のいずれかを作成して、下の値を入力します。

	A	B
1	0	750
2	0.05	500
3	0.1	250
4	0.2	75
5	0.25	250
6	0.3	650

- 1 列目はダンパの相対変位で、2 列目は減衰係数値です。
2. ファイルを「**DamperCurve.xlsx**」または「**DamperCurve.csv**」という名前で保存します。
3. MapleSim の [**プロジェクト**] タブにある [**添付**] パレットを展開します。
4. [**データセット**] を右クリック (Macintosh では [**Control**] キーを押しながらクリック) し、[**ファイルを添付**] を選択します。
5. 前に作成した Excel スプレッドシートまたは .csv ファイルを探して選択し、**添付する** をクリックします。これで、データセットを含むファイルがモデルに添付されます。このファイルは次のタスクで使用します。

非線形ダンパモデルの作成

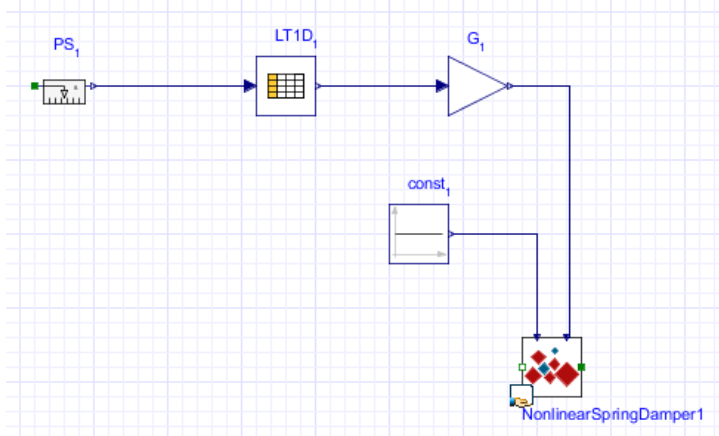
この例では、コンポーネントライブラリのコンポーネントを使用して非線形ダンパを作成します。

非線形ダンパを作成するには

1. [**定義**] タブから、**NonlinearSpringDamper** カスタムコンポーネントを **モデルワークスペース** にドラッグします。
2. [**ライブラリ**] タブを選択し、次のコンポーネントを **モデルワークスペース** に追加します。
 - [**信号ブロック**] > [**数学**] > [**演算子**] メニューから **Gain** コンポーネントを追加し、**NonLinearSpringDamper** コンポーネントの上に配置します。
 - [**信号ブロック**] > [**ソース**] > [**実数**] メニューから **Constant** コンポーネントを追加し、**NonLinearSpringDamper** と **Gain** コンポーネントのあいだに配置します。

- [信号ブロック] > [補間テーブル] メニューから **Lookup Table 1D** コンポーネントを追加し、**Gain** コンポーネントの左側に配置します。
- [1-D メカニカル] > [並進] > [センサ] メニューから **Position Sensor** コンポーネントをモデルワークスペースに追加し、**Lookup Table 1D** コンポーネントの左側に配置します。

3. 以下の図のようにコンポーネントを接続します。



4. モデルワークスペースに以下のコンポーネントを追加します。

- [1-D メカニカル] > [並進] > [共通] メニューから **Mass** コンポーネントと **Force** コンポーネントをモデルワークスペースに追加し、**Position Sensor** コンポーネントの左側に配置します。
- 同じメニューから、**Fixed** コンポーネントをモデルワークスペースに追加し、**NonLinearSpringDamper** コンポーネントの右側に配置してから、反時計回りに回転させます。
- [信号ブロック] > [ソース] > [実数] メニューから [Step] ソースを追加します。

5. 以下の図のようにコンポーネントを接続します。

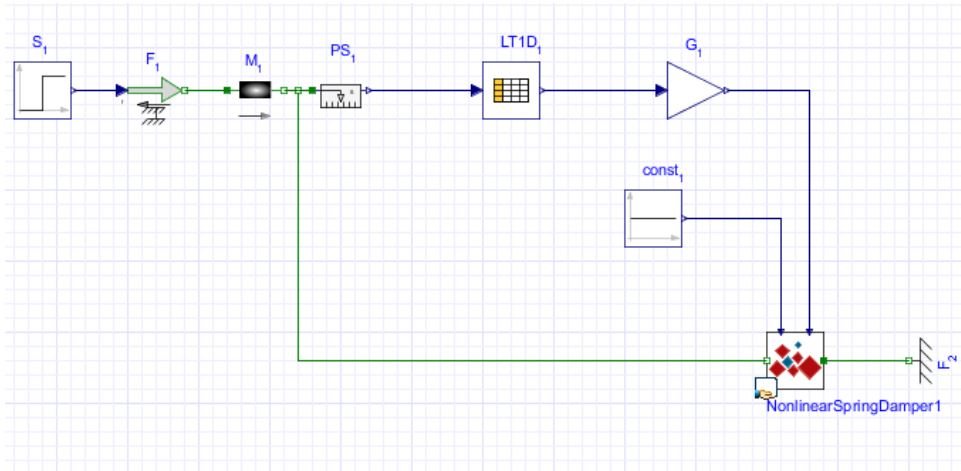
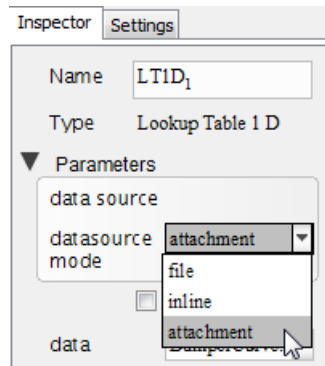
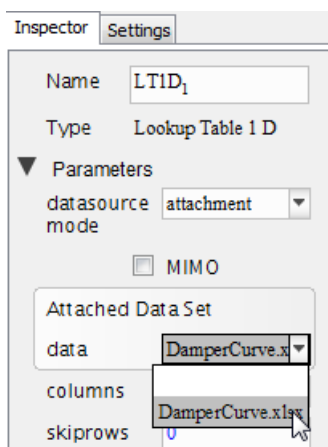


図6.2 非線形ダンパモデル

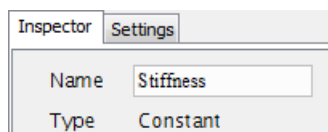
6. モデルワークスペースで、**Lookup Table 1D** コンポーネントを選択します。
7. [インスペクタ] タブで [datasource mode] リストから [attachment] を選択します。



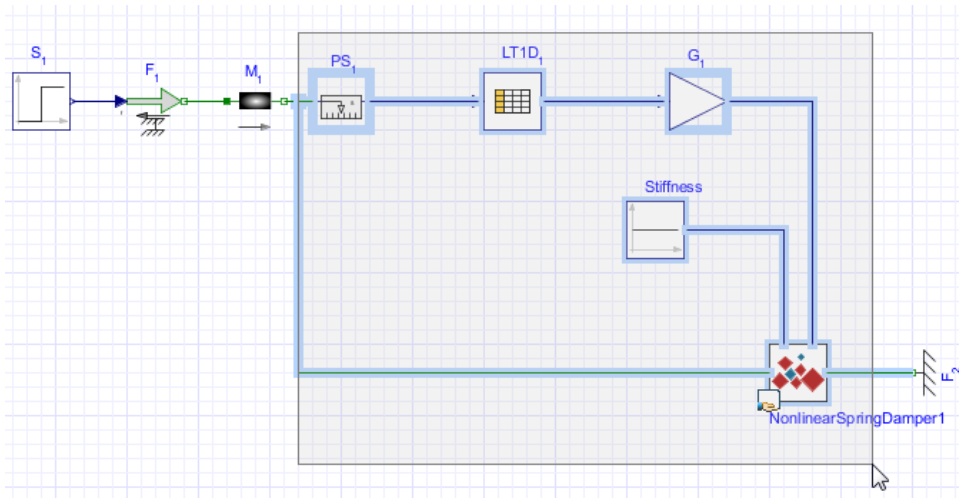
8. [data] リストから、作成した添付ファイルを選択します (**DamperCurve.xlsx** または **DamperCurve.csv** のいずれか)。



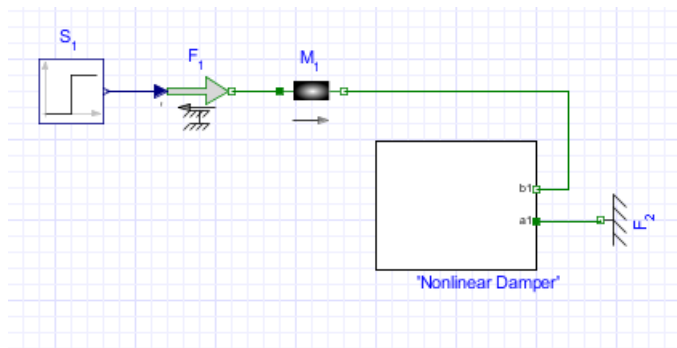
9. モデルワークスペースで、**Constant** コンポーネントを選択します。
10. [インスペクタ] タブの [名前] フィールドで、コンポーネント名を「**Stiffness**」に変更します。



11. **Step** コンポーネントを選択し、[height] を「**100**」に変更します。
12. **Mass** コンポーネントを選択し、mass (質量) [m] を **100kg** に変更します。
13. **選択ツール** (☞) を使用して、非線形ダンパモデルの全コンポーネントを囲む四角形を描きます。



14 選択したコンポーネントをグループ化し、「**Nonlinear Damper**」という名前のサブシステムにします。完成したモデルを下の図に示します。



サブシステムにパラメータを代入する


サブシステムにパラメータを代入するには

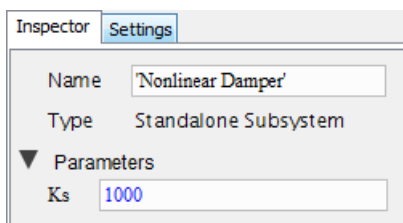
1. モデルワークスペースで、**NonlinearDamper**サブシステムをダブルクリックします。
2. ナビゲーションツールバーで、**パラメータ** (≡#) をクリックします。
3. [スタンドアロンサブシステムのデフォルト設定] テーブルの1行目に、「**Ks**」という名前のバネ定数パラメータを定義し、[Enter] キーを押します。

4. 同じ行の [デフォルト値] に「**1000**」を指定し、[説明] として「**Spring constant**」を入力します。これでパラメータ値 **Ks** を **Nonlinear Damper** サブシステムの他のコンポーネントに代入することができます。

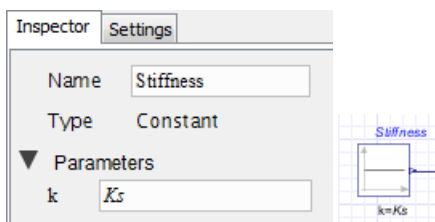
Standalone Subsystem default settings

Name	Type	Default Value	Default Units	Description
<input type="text" value="Ks"/>	Real	<input type="text" value="1000"/>		<input type="text" value="Spring constant"/>

5. ナビゲーションツールバーで、**ダイアグラム** () をクリックします。**Ks** パラメータが [インスペクタ] タブのフィールドとして表示され、設定してあるデフォルト値が入っています。



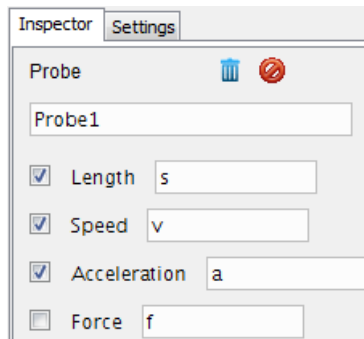
6. **モデルワークスペース**で **Stiffness** コンポーネントを選択し、一定出力のパラメータ **k** を **Ks** に変更します。これで、このコンポーネントは、**Ks** の数値 (この例では、**1000**) を受け継ぎます。つまり、サブシステムのレベルで **Ks** の数値を編集した場合には、**k** パラメータにもその変更が受け継がれます。



線形バネ付き非線形ダンパモデルのシミュレーション

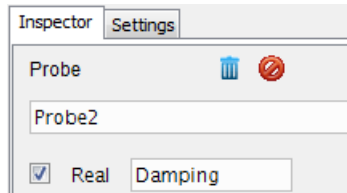
非線形ダンパのシミュレーションを実行するには

1. ナビゲーションツールバーで、**Main** をクリックし、モデルのトップレベルを表示します。
2. モデルワークスペースツールバーの**プローブを追加** () をクリックします。ワークスペースにカーソルを移動すると、カーソルがプローブアイコンになります。
3. プローブを追加するには、**Mass** と **Nonlinear Damper** サブシステムを接続するラインをクリックし、ワークスペース内の空白部分をクリックしてプローブを固定します。
4. **モデルワークスペース** で、プローブを選択します。
5. **[インスペクタ]** タブで、length (長さ)、speed (速さ)、acceleration (加速度) の物理量を選択します。

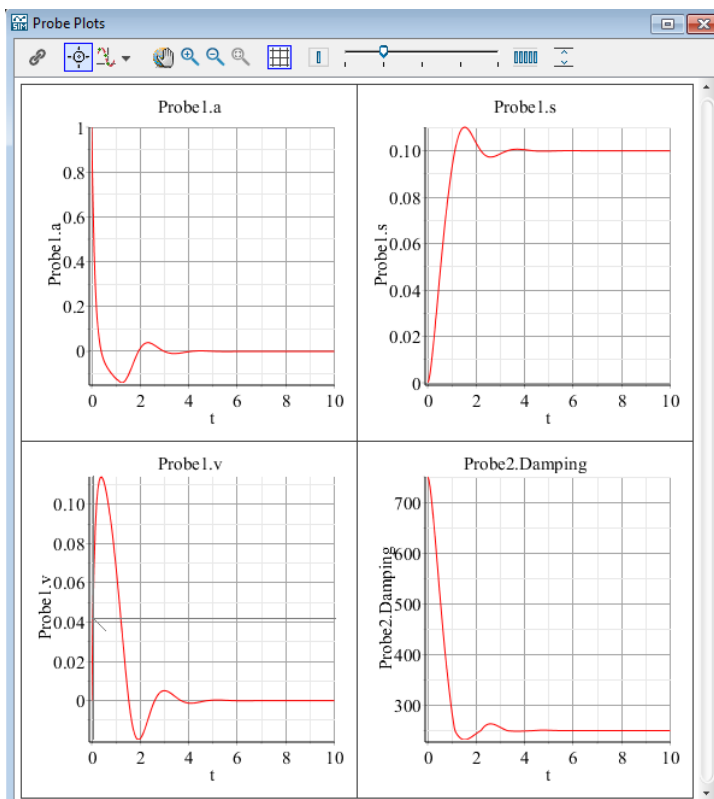


6. **モデルワークスペース** で、空白部分をクリックします。プローブの横に length (長さ)、speed (速さ)、acceleration (加速度) の物理量 (s、v、a) が表示されます。
7. **Nonlinear Damper** サブシステムをダブルクリックして、**Nonlinear Damper** サブシステムを表示します。
8. **Gain** と **NonlinearSpringDamper1** カスタムコンポーネントを接続するラインをクリックしてプローブを追加し、ワークスペース内の空白部分をクリックしてプローブを固定します。

9. モデルワークスペースで、プローブを選択します。
10. [インスペクタ] タブで物理量 [Real] を選択し、名前を「Damping」に変更します。



11. [設定] タブで $[t_d]$ パラメータを「10」秒に設定します。
12. メインツールバーでシミュレーションの実行 (▶) をクリックします。シミュレーションが終了すると、下のグラフが表示されます。



13 ファイルを「NonLinearSpringDamper.msim」という名前で保存します。

6.4. チュートリアル 4 : 平面スライダクランク機構のモデリング

マルチボディメカニカルライブラリのコンポーネントを使用して、下の図に示すような平面スライダクランク機構をモデリングします。

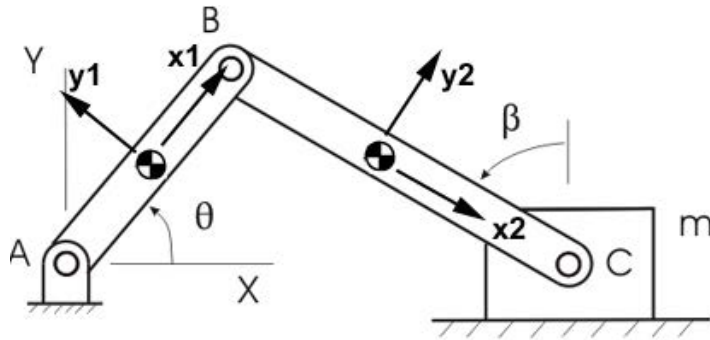


図6.3 平面スライダクランク機構

このモデルは、平面リンクに接続された revolute joint (回転ジョイント) A で構成されています。この平面リンクは、2つ目の回転ジョイント B によってコネクティングロッドに接続されています。さらにコネクティングロッドは3つ目の回転ジョイント C によって sliding mass に接続されており、sliding mass は、prismatic joint (並進ジョイント) によって地面に接続されています。実際に、このメカニズムは、クランクにおける回転運動を sliding mass における並進運動に変換する、またはその逆に変換するために使用されます。ダイアグラムに示されているシステムでは、Y 軸 (慣性系の y 軸) のマイナス方向に働く重力を唯一の外力と考えます。

このチュートリアルでは、以下のタスクを実行します。

- 平面リンクサブシステムを作成する
- サブシステムパラメータを定義し、代入する
- クランクを作成し、ロッドエレメントと接続する
- 固定フレーム、sliding mass、ジョイントエレメントをモデルに追加する

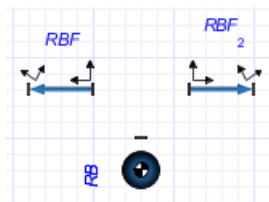
- 初期条件を指定する
- 平面スライダクランク機構をシミュレートする

平面リンクサブシステムの作成

上のダイアグラムは、このスライダクランクには2つの連結された平面リンクがあることを示しています。1つ目はポイントAとポイントBを連結するクランク、2つ目はポイントBとポイントCを連結するコネクティングロッドです。どちらにも、局所的なx軸(それぞれ $\mathbf{x1}$ 、 $\mathbf{x2}$)に沿った縦軸があります。したがって、まず2つのポートを持つ一般的な平面リンクを作成します。内側のポート(ベース)は、リンクのx軸に沿って、 $-\frac{L}{2}$ に位置し、外側のポート(先端)は、リンクのx軸に沿って、 $\frac{L}{2}$ に位置します。この例では、 L はリンクの長さを表しており、重心はリンクの中央に位置すると考えます。

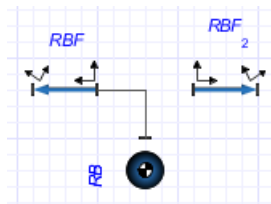
平面リンクサブシステムを作成するには

1. 新しい MapleSim ドキュメントを開きます。
2. [ライブラリ] タブの [マルチボディ] > [ボディ・フレーム] メニューから、**Rigid Body Frame** コンポーネントを2つと **Rigid Body** コンポーネントを1つ追加します。
3. モデルワークスペースで、いずれかの **Rigid Body Frame** コンポーネントを右クリック (Macintosh では [Control] キーを押しながらクリック) し、**水平方向に反転** を選択します。
4. **Rigid Body** コンポーネントを右クリック (Macintosh では [Control] キーを押しながらクリック) し、**反時計回りに回転** を選択します。
5. 各コンポーネントをドラッグし、下の図のような配置にします。

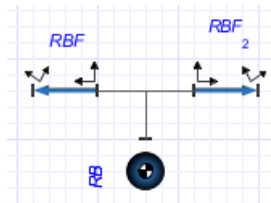


注:

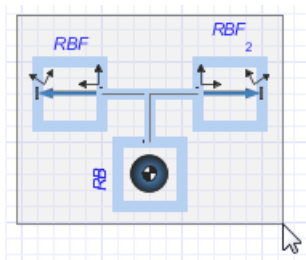
- コンポーネントのラベルが表示されていない場合は、[表示] メニューから [ラベルを表示] を選択してください。
 - コンポーネントのラベルが前の図のラベル(つまり、**RB**、**RBF**、and **RBF₂**) と異なる場合があります。コンポーネントを選択し、[インスペクタ] タブの [名前] に新しいラベルを入力することで、モデル内のラベルを変更できます。このチュートリアルでは、特定のコンポーネントを参照する場合には前の図で示したラベルを使用します。
6. **RB** コンポーネントと **RBF** コンポーネントの右フレームのあいだに結線を引きます。



7. **RB** コンポーネントと **RBF₂** コンポーネントの左フレームのあいだに別の結線を引きます。



8. 選択ツール (☞) を使用して、コンポーネントを囲む四角形を描きます。



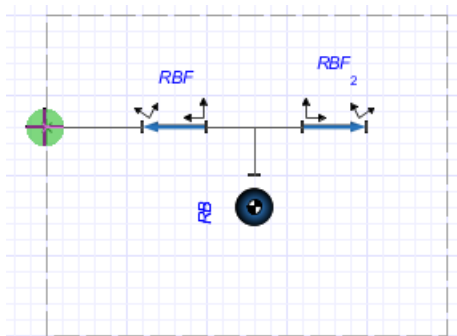
9. [編集] メニューから、[サブシステムの作成] を選択します。

10. [サブシステムの作成] ダイアログボックスで「Link」と入力し、[OK]をクリックします。

これで、このサブシステムをほかのコンポーネントに接続するためのポートを追加することができます。

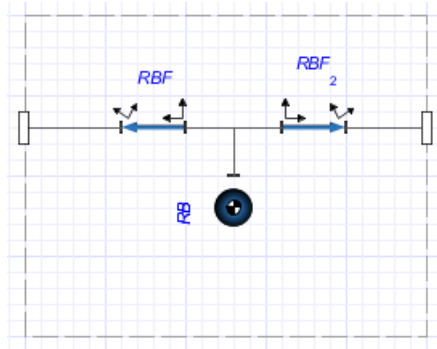
11. $Link_1$ サブシステムをダブルクリックします。

12. RBF コンポーネントの左フレームをクリックし、マウスポインタをサブシステムの左側の境界にドラッグします。



13. ラインを1回クリックします。サブシステムにポートが追加されます。


14. 同じように、 RBF_2 コンポーネントの右フレームを使用し、サブシステムの右側の境界にもう1つのポートを作成します。




パラメータの定義と代入

ここでは、リンクの長さを表すサブシステムのパラメータ L を定義し、そのパラメータ値を変数として **Rigid Body Frame** コンポーネントのパラメータに代入します。それによって **Rigid Body Frame** コンポーネントは、 L の数値を受け継ぎます。

パラメータを定義および代入するには

1. Link_1 サブシステムにいない場合は、ナビゲーションツールバーの **Main** をクリックしてから Link_1 サブシステムをダブルクリックします。
2. ナビゲーションツールバーで、**パラメータ** () をクリックするか、[インスペクタ] タブから [パラメータを追加または変更] をクリックします。[Link サブシステムの標準設定] ウィンドウが表示されます。
3. [Link サブシステムの標準設定] テーブルの 1 行目に、「 L 」という名前のパラメータを定義し、[Enter] を押します。
4. [デフォルト値] に「1」を指定し、[説明] として「Length」を入力します。
5. [RBF コンポーネント] セクションまでスクロールします。
6. \vec{r}_{XYZ} の [値] フィールドに、 $\left[-\frac{L}{2}, 0, 0\right]$ のオフセットの位置を指定し、[単位] ドロップダウンメニューから [m] を選択します。分数を入力するときは、スラッシュキー (/) を使用してください。
7. [RBF₂ コンポーネント] セクションまでスクロールします。

8. \bar{r}_{XYZ} の [値] フィールドに、 $\left[\frac{L}{2}, 0, 0\right]$ のオフセットの位置を指定し、[単位] ドロップダウンメニューから [m] を選択します。
9. ナビゲーションツールバーで、**ダイアグラム** () をクリックします。

クランクとコネクティングロッドエレメントの作成

ここでは、クランクとコネクティングロッドエレメントを作成するために、**Link** サブシステムの定義をモデルに追加し、**Crank** および **ConnectingRod** 共有サブシステムを作成します。さらに、コネクティングロッドエレメントに別の長さの値を代入します。

クランクを作成し、ロッドエレメントと接続するには

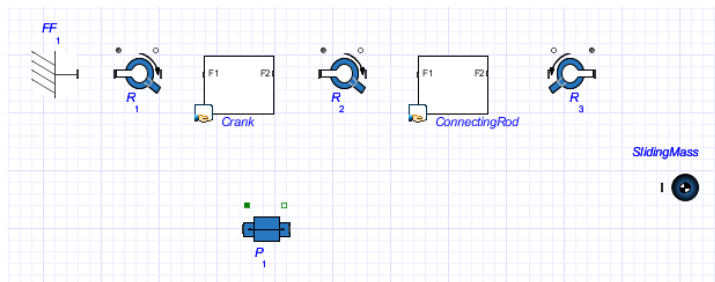
1. ナビゲーションツールバーで、**Main** をクリックしてモデルのトップレベルを表示します。モデルワークスペースに **Link₁** サブシステムが表示されます。
2. **Link₁** サブシステムを右クリック (Macintosh では [Control] キーを押しながらクリック) し、**共有サブシステムに変換** を選択します。**共有サブシステムを作成** ウィンドウが表示されます。[OK] をクリックします。[定義] タブに **Link** サブシステム定義が追加され、モデルワークスペースに配置されている **Link** サブシステムが共有サブシステムになります。
3. モデルワークスペースで、**Link₁** 共有サブシステムを選択します。[インスペクタ] タブの [名前] フィールドで、共有サブシステムの名前を「**Crank**」に変更します。
4. [定義] タブから **Link** アイコンをモデルワークスペースにドラッグし、**Crank** 共有サブシステムの右側に配置します。
5. モデルワークスペースで、**Link** 共有サブシステムの2つ目のコピーを選択します。
6. [インスペクタ] タブで共有サブシステムの名前を「**ConnectingRod**」に変更し、長さパラメータ (L) を「**2**」に変更します。

固定フレーム、Sliding Mass、ジョイントエレメントを追加する

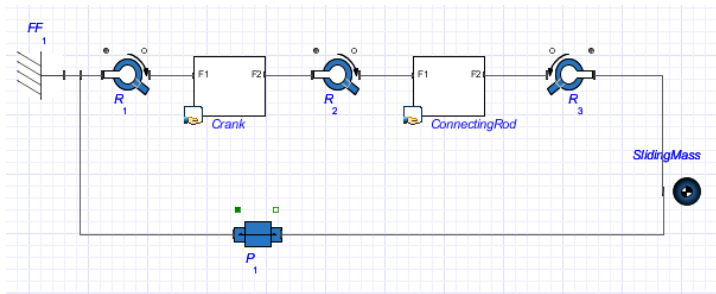
ここでは、**Fixed Frame** コンポーネント、sliding mass を表す **Rigid Body** コンポーネント、および **Revolute** ジョイントコンポーネントを追加します。

固定フレーム、Sliding Mass、ジョイントエレメントを追加するには

1. [ライブラリ] タブの [マルチボディ] > [ボディ・フレーム] メニューから **Fixed Frame** コンポーネントを選択し、**Crank** 共有サブシステムの左側に配置します。
2. 同じメニューから **Rigid Body** コンポーネントを追加し、**Connecting Rod** 共有サブシステムサブシステムのやや右下に配置します。
3. 以下のジョイントを追加します。
 - [マルチボディ] > [ジョイント・モーション] メニューから、1つ目の [Revolute] ジョイントを **Fixed Frame** コンポーネントとクランクのあいだに、2つ目の [Revolute] ジョイントをクランクとコネクティングロッドのあいだに、3つ目の [Revolute] ジョイントをコネクティングロッドと剛体ボディのあいだに追加します。
 - 同じメニューから [Prismatic] ジョイントを追加し、**Crank** 共有サブシステムの下部に配置します。
4. モデルワークスペースで **Rigid Body** コンポーネントを選択し、名前を「**SlidingMass**」に変更します。
5. **SlidingMass** コンポーネントを右クリック (Macintosh では [Control] キーを押しながらクリック) し、[水平方向に反転] を選択します。同様に、コネクティングロッドと剛体フレームのあいだにある回転ジョイントを水平方向に反転させます。



6. 以下の図のようにコンポーネントを接続します。



ヒント: この例では、回転ジョイントおよび並進ジョイントの標準運動軸が、望ましい運動軸と一致しています。たとえば回転ジョイントは、内側のフレームのz軸の周りを回転しますが、それは常にXY平面システムの慣性のZ軸と一致しています。非平面モデルを作成する場合には、正しい方向に沿って動いたり回転できるように、軸を変更する必要がある場合があります。

初期条件の指定

モデルの特定のコンポーネントに初期条件の値を指定できます。

初期条件を指定するには

1. 1つ目の回転ジョイント (前の図の R_1) の θ_0 フィールドで、初期角度を $\frac{\pi}{4} rad$ に変更します。



ヒント: π を入力するには、「pi」と入力し、[Ctrl] + [Space] キー (Macintosh では [Command] + [Shift] + [Space]) を押して、メニューから $[\pi]$ 記号を選択します。

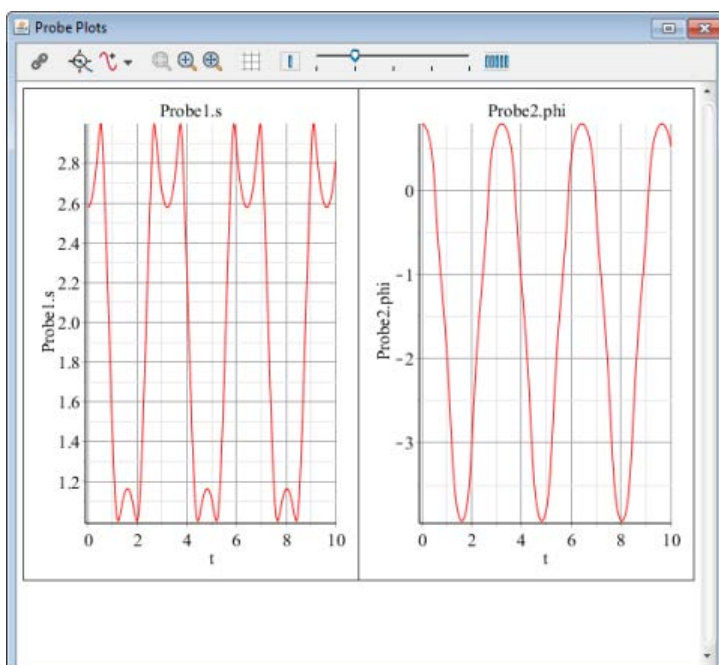
2. $[IC_{\theta,\omega}]$ のドロップダウンメニューから、[Strictly Enforce] を選択します。

MapleSimはこの初期条件を解決するにあたって、ほかのジョイントの角度を設定する前に、最初の角度を $\frac{\pi}{4} rad$ に設定します。

平面スライダクランク機構のシミュレーション

平面スライダクランク機構をシミュレートするには

1. モデルワークスペースツールバーのプローブを追加 () をクリックします。
2. モデルワークスペースで、**Prismatic** コンポーネントのアイコンの右上にある白い 1-D 並進フランジをクリックします。次にプローブをクリックして配置します。
3. モデルワークスペースで、プローブをクリックします。
4. [インスペクタ] タブで変位を測定するための物理量 [**Length**] を選択します。
5. 同様に、物理量 **Angle** を計測するプローブを、**R₁** コンポーネントアイコンの右上にある白い 1-D 回転フランジ (flange_b) (つまり、**Fixed Frame** と **Crank** コンポーネントのあいだにある回転ジョイント) に追加します。
6. モデルワークスペースで、空白部分をクリックします。
7. [設定] タブで[シミュレーション]を展開し、[t_d]パラメータを「10」秒に設定します。
8. メインツールバーでシミュレーションの実行 () をクリックします。シミュレーションが終了すると、下のグラフが表示されます。



9. 3-D ツールバーで再生 (▶) をクリックすると、3-D アニメーション領域でのシミュレーションに関するビデオを表示できます。

10. ファイルを「SliderCrank.msim」という名前で保存します。

6.5. チュートリアル5: カスタムコンポーネントテンプレートの使用

このチュートリアルでは、MapleSimのさまざまなドメインでのカスタムコンポーネントテンプレートの使用について説明します。このテンプレートを使用すると、システムパラメータや変数の定義、方程式の最適化レベルの設定、方程式の生成、結果から生じたの式の解析を実行できます。Maple コマンドを使用すると、方程式の詳細な解析を実行したり、モデルの方程式を変数またはパラメータに割り当てたり、追加のシステム変数やパラメータを定義できます。これらの機能は、複数のサブシステムが存在する場合に、再利用可能な方程式を生成するのに便利です。

カスタムコンポーネントテンプレートにはプリビルトの埋め込みコンポーネントが含まれています。これを使用して、MapleSim モデルによって生成された数式のシステム方程式を抽出、操作、および解析できます。ライブラリのさまざまなコンポーネントを使用して、モデルを作成したり、初期条件やコンポーネントプロパティを設定したり、パラメータや変数に新しい値を代入することができます。

このチュートリアルでは、カスタムコンポーネントテンプレートを使用して以下のタスクを実行し、さまざまなモデルの方程式を抽出します。

- モデルを作成する
- モデルにカスタムコンポーネントテンプレートを添付する
- 支配方程式を入力する
- コンポーネントのプロパティを指定して初期条件を設定する
- パラメータと変数に新しい値を代入する
- 方程式の抽出テンプレートを生成する
- 方程式を表示、操作、再割り当てを行う
- 方程式のシミュレーションを行い伝達関数に変換する
- 方程式の変数をポートにマッピングする
- ブロックのポートを指定する
- カスタムポートテンプレートを使用してカスタムポートを作成する

カスタムコンポーネントテンプレートの説明については、*カスタムコンポーネントの作成* [81ページ]を参照してください。

例：温度依存抵抗のモデリング

このチュートリアルの例では、抵抗が $r(t) = R0 \cdot \left(1 + \frac{(T(t) - T0)^2}{Tk^2} \right)$ の式に

従って変化する温度依存抵抗のカスタムコンポーネントを使用して、RL回路のモデルを作成します。ここで $R0$ 、 $T0$ 、および Tk はパラメータです。

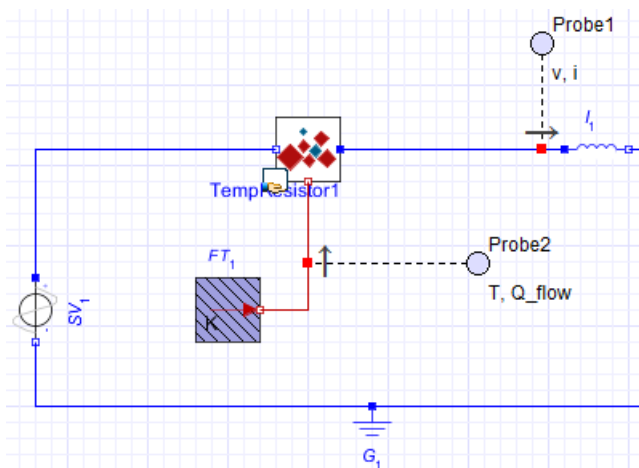


図6.4 温度依存抵抗

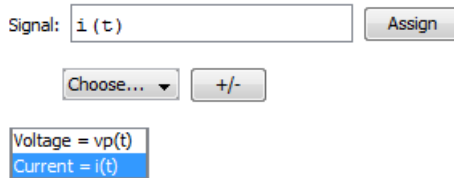
カスタムコンポーネントを作成するには

1. MapleSim モデルを新規作成し、[編集] > [添付を作成] の順に選択します。
2. [カスタムコンポーネント] テンプレートを選択し、[添付を作成] をクリックします。Maple のカスタムコンポーネントテンプレートがロードされます。
3. 方程式セクションで、次のシステム方程式を入力してコンポーネントを定義します。行の最後で [Enter] を押します。

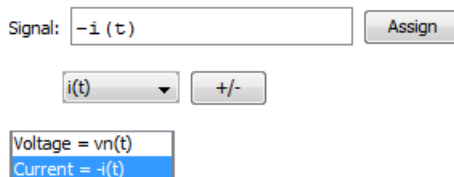
$$eq := \left[v(t) = vp(t) - vn(t), r(t) = R0 \cdot \left(1 + \frac{(T(t) - T0)^2}{TK^2} \right), v(t) = i(t) \cdot r(t), \right. \\ \left. qdot(t) = i(t) \cdot v(t) \right]$$

4. パラメータセクションで、[すべて更新] をクリックします。
5. ポートセクションまでスクロールします。
6. [ポートを追加] をクリックします。左側に新規ポートが表示されます。これが正の電気ピンになります。
7. [ドメイン] ドロップダウンリストから [Electrical] を選択します。

8. **[変数]** ラベルのドロップダウンボックスで **[vp(t)]** を選択します。ポートの介在変数が割り当てられます。
9. このポートの変数がリストされます。リストボックスで **[Current=unassigned]** をクリックし、ドロップダウンリストで **[i(t)]** を選択します。ポートの通過変数が割り当てられます。



10. **[ポートを追加]** をクリックします。右側に新規ポートが表示されます。これが負の電気ピンになります。
11. **[ドメイン]** ドロップダウンボックスから **[Electrical]** を選択します。
12. **[-]** と表記されている **[スタイル]** ラジオボタンをクリックします。ポートスタイルが白抜ききの四角形に変わります。
13. **[変数]** ラベルのドロップダウンボックスで **[vn(t)]** を選択します。ポートの介在変数が割り当てられます。
14. このポートの変数がリストされます。リストボックスで **[Current=unassigned]** をクリックし、ドロップダウンリストで **[i(t)]** を選択します。次に **+/-** ボタンをクリックして信号の符号をマイナスに変更します。



15. **[ポートを追加]** をクリックします。上辺に新規ポートが表示されます。ポートをクリックしたまま底辺の中央までドラッグします。
16. **[ドメイン]** ドロップダウンボックスから **[Thermal]** を選択します。
17. **Temperature** 変数に対して **[T(t)]** を選択し、**Heat Flow Rate** 変数に対して **[qdot(t)]** を選択します。

18 [すべて更新] ボタンをクリックします。[変数] テーブルの[タイプ] 列の入力内容が更新されます。

19 [変数] テーブルで、 $r(t)$ と $v(t)$ のタイプは引き続き **real** としてリストされます。このテーブルで、[$r(t)$] と [$v(t)$] 行の[タイプ] 列の入力内容をそれぞれ「Resistance」と「Voltage」に変更します。[すべて更新] をクリックして変更を確定します (更新しない場合、**real** に戻ります)。

20 [パラメータ] テーブルで、 R_0 のタイプ列に「Resistance」と入力し、 T_0 および T_k の両方に「ThermodynamicTemperature」と入力します。 T_0 のデフォルト列に「300」と代入します (単位は Kelvin です)。[すべて更新] をクリックして確定します。

注: タイプの参照セクションを展開して適切なドメインとタイプを検索することで、前のステップで使用したタイプ名を見つけることもできます。

21 次元解析セクションを開き、[次元のチェック] をクリックします。テキストエリアに「no issues found」というメッセージが表示されます。

22 コンポーネントの生成セクションで、名前を「TempResistor」に変更します。

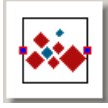
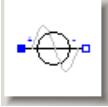


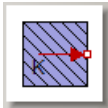
23 [MapleSim コンポーネントを生成] をクリックしてコンポーネントを作成し、MapleSim 環境に戻ります。カスタムコンポーネントが[定義] タブの[コンポーネント] パレットに表示されます。

24 カスタムコンポーネントをモデル領域にドラッグします。

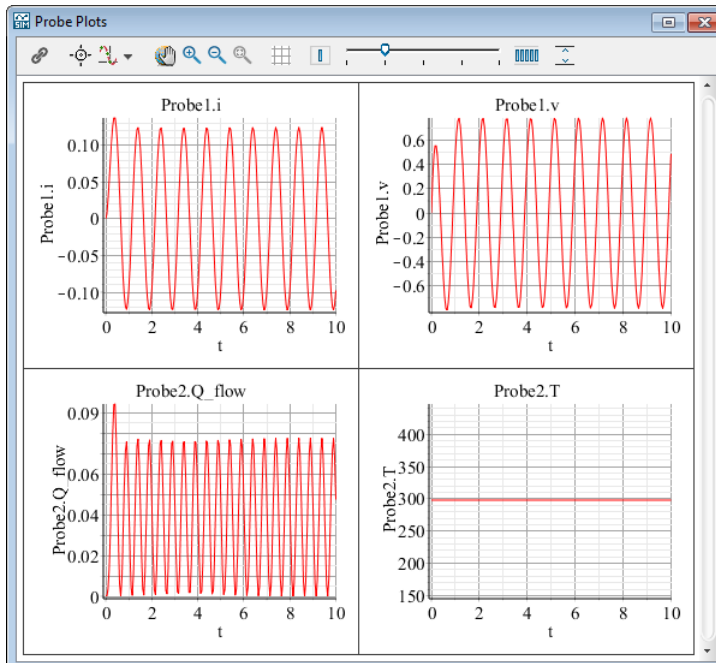
25 表6.1「温度依存抵抗コンポーネント」で指定されたコンポーネントおよび設定で、図6.4「温度依存抵抗」に表示されたモデルを作成します。

注: モデルを作成するときは、電気および伝熱の物理量を測定する2つのプローブを含めてください。

温度依存抵抗コンポーネント

コンポーネント	記号	コンポーネントの場所	必要な設定
TempResistor カスタムコンポーネント		[定義] > [コンポーネント]	デフォルト設定を使用
Sine Voltage		[ライブラリ] > [電気] > [アナログ] > [共通]	デフォルト設定を使用
Ground		[ライブラリ] > [電気] > [アナログ] > [共通]	デフォルト設定を使用
Inductor		[ライブラリ] > [電気] > [アナログ] > [共通]	デフォルト設定を使用
Fixed Temperature		[ライブラリ] > [伝熱] > [ソース]	T = 298K に設定

5 メインツールバーでシミュレーションの実行 (▶) をクリックします。シミュレーションが終了すると、下のグラフが表示されます。



例：コンプライアント接地と区分関数

このチュートリアル例では、コンプライアント接地をモデリングするためのカスタムコンポーネントを使用して、バウンドするボールのモデルを作成します。

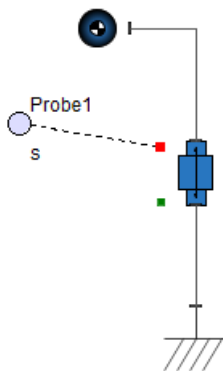


図6.5 落下するボール

図6.5 「落下するボール」 モデルの並進ジョイントは、縦の y 軸に沿って剛体を移動できるようにすることで、落下するボールをモデリングします。落下するボールをバウンドするボールに変更するには、カスタムコンポーネントを使用して、バネダンパ配置を使用したコンプライアントな地面との接地をモデリングします。カスタムコンポーネントは、次の条件によって並進ジョイントの 1D 並進ポートに添付されます。

- ボールは $s=0$ で地面に当たり、これによってバネダンパが縮む(したがってボールの位置は $s < 0$ になる)
- バネダンパは、 $s=0$ に戻るまでボールに復元力 $F(t)$ を伝える

図6.6 「バウンドするボールの力学」 にこのプロセスの図を示します。

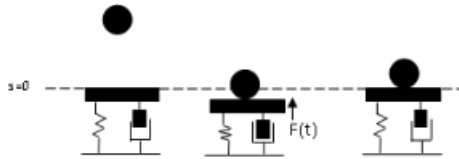


図6.6 バウンドするボールの力学

方程式は以下のとおりです。

$$f(x) = K s(t) + B \frac{ds(t)}{dt}, \text{ if } s(t) < 0$$

$$f(x) = 0 \text{ if } s(t) \geq 0$$

カスタムコンポーネントを作成するには

1. MapleSim モデルを新規作成し、**[編集]** > **[添付を作成]** の順に選択します。
2. **[カスタムコンポーネント]** テンプレートを選択し、**[添付を作成]** をクリックします。Maple の **カスタムコンポーネント** テンプレートがロードされます。
3. **方程式** セクションで、次の方程式、パラメータ、初期条件を入力してカスタムコンポーネントを定義します。行の最後で **[Enter]** を押します。

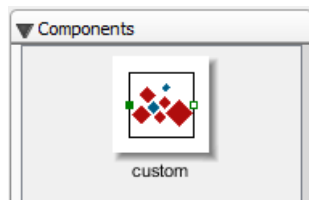
$$eq := [s(t) = sa(t) - sb(t), 0 = Fa(t) + Fb(t), Fa(t) = \text{piecewise}(s(t) < 0, K \cdot s(t) + B \cdot \text{diff}(s(t), t), 0)]$$

4. **ポート**までスクロールします。
5. **[すべて更新]** をクリックします。
6. **[ポートを追加]** をクリックします。
7. 左側のポートの [ドメイン] に **[Translational]** を選択します。スタイルは **[a]** (デフォルト) を使用します。 **Position** の変数に **[sa(t)]** を関連付け、 **Force** の変数に **[Fa(t)]** を関連付けます。
8. 右側に 2 番目のポートを追加します。
9. 右側のポートの [ドメイン] に **[Translational]** を選択します。スタイルは **[b]** を選択します。 **Position** の変数に **[sb(t)]** を関連付け、 **Force** の変数に **[Fb(t)]** を関連付けます。
10. **[すべて更新]** をクリックします。
11. **[変数]** テーブルまでスクロールアップします。
12. このテーブルで、[s(t)] の **[タイプ]** を **「Position」** に変更します。 **[すべて更新]** をクリックします。
13. **[パラメータ]** テーブルまでスクロールアップし、[B] の **[デフォルト]** 値を **「10」** に、[K] を **「1000」** に変更します。 [タイプ] は今のところ real のままにしておきます。
14. **[すべて更新]** をクリックします。
15. **次元解析** セクションを開き、 **[次元のチェック]** をクリックします。 次の式が表示されます。

$$B \frac{d}{dt} s(t) \frac{m}{s} + K s(t) m$$
 これは、単位 (次元) に矛盾があることを示しています。 総和において各要素に関連付けられている単位が表示されます。
16. MapleSim のエンジンは単位を使用しないため、この矛盾は無視することが可能で、モデルは意図したとおりに動作します。 それでも、次元の整合性をチェックすることにより、単純な代数エラーを簡単に回避することができます。 矛盾を解消するには、パラメータ列の B と K に適切なタイプを追加する必要があります。
17. **[パラメータ]** テーブルで、[B] と [K] のタイプ列にそれぞれ **「Force/Velocity」** および **「Force/Distance」** を入力します。 **[すべて更新]** をクリックします。

タイプがそれぞれ同等の次元タイプに更新され、**TranslationalDampingConstant** および **TranslationalSpringConstant** となります。

- 18 次元解析に戻り、[次元のチェック] を再度実行します。「No issues found」が表示されます。
- 19 **MapleSim コンポーネントを生成** をクリックしてコンポーネントを作成し、MapleSim 環境に戻ります。カスタムコンポーネントが [定義]>[コンポーネント] パレットに表示されます。



- 20 カスタムコンポーネントをワークスペースにドラッグし、指定されたモデルコンポーネントと表6.2「バウンドするボールのマルチボディコンポーネント」に示す設定を使用して、図6.7「バウンドするボール」に示すコンポーネントを作成します。並進ジョイントがy方向に沿って平行移動することを確認します。

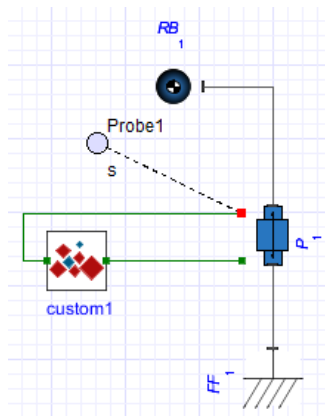
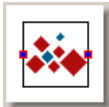

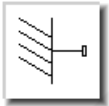
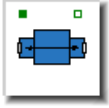


図6.7 バウンドするボール

バウンドするボールのマルチボディコンポーネント

コンポーネント	記号	コンポーネントの場所	必要な設定
カスタムコンポーネント		[定義]>[コンポーネント]	デフォルト設定を使用
Rigid Body		[ライブラリ]>[マルチボディ]>[ボディ・フレーム]	デフォルト設定を使用
Fixed Frame		[ライブラリ]>[マルチボディ]>[ボディ・フレーム]	デフォルト設定を使用
Prismatic		[ライブラリ]>[マルチボディ]>[ジョイント・モーション]	<p>並進ジョイントを y 方向に沿って平行移動させるには、以下のように設定します。</p> $\hat{e}_1 \text{ to } [0, 1, 0]$ <p>並進ジョイントに並進初期条件を以下のように設定します。</p> <p>IC_{s,v} を [Treat as Guess]</p> <p>並進ジョイントは初期変位を 0 より大きい値にする必要があります。以下のように設定します。</p> $s_0 \text{ to } 10m$

21. メインツールバーでシミュレーションの実行 (▶) をクリックします。シミュレーションが完了すると、[可視化ウィンドウ]が開き、[シミュレーション結果] タブにプローブプロットが表示されます。

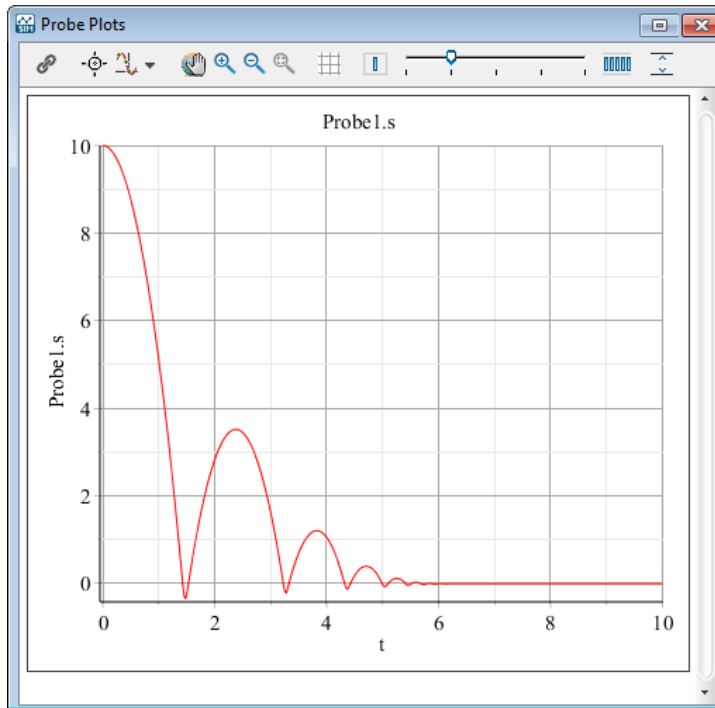


図6.8 バウンドするボールの結果

22 バウンドするボールのアニメーションを再生するには、[シミュレーション結果] タブの [3-D アニメーションウィンドウ] を選択してから、再生ツールバーの再生 (▶) をクリックします。より滑らかなアニメーションを生成するには、フレーム補間を設定します。詳細は、補間フレームを用いた3-Dモデルのアニメーションを参照してください。

例: カスタムポート

このチュートリアルの例では、ダミーの自動車モデルにより生成され、関係演算子 $f(t) = \frac{p(t)}{v(t)}$ を使用して力を計算するモニターブロックにより組み合わされた因果的信号、パワーおよび速度を伴うカスタムポートのペアを作成します。ダミーの自動車モデルについて、ここではパワーが一定 $p(t) = F$ であり、速度は

$v(t) = v_0 + a \cdot t$ によって求められ、それぞれ F 、 v_0 および a はパラメータであると仮定します。

カスタムポートの作成

カスタムポートを2つ作成する必要があります。1つは出力ポート bus_out 、もう1つは入力ポート bus_in です。

1. MapleSim モデルを新規作成し、**[編集]** > **[添付を作成]** の順にクリックします。
2. **[カスタムポート]** テンプレートを選択し、**[添付を作成]** を押します。Maple の **[カスタムポート]** テンプレートがロードされます。
3. 信号セクションで、**[行を追加]** を2回クリックし、それぞれの信号に対してテーブルに行を2つ追加します。
4. 最初の行で、「 p 」を **[Signal]** に、「*Power*」を **[タイプ]** に、「*output*」を **[In/Out/Flow]** 列に、および「*"Vehicle power"*」(二重引用符必須)を **[説明]** 列に入力します。
ヒント: **[In/Out/Flow]** 列には、最初の文字 (i/o/f) のみ入力すれば十分です。
5. 2番目の行で、「 v 」を **[Signal]** に、「*Velocity*」を **[タイプ]** に、「*output*」を **[In/Out/Flow]** 列に、および「*"Vehicle velocity"*」を **[説明]** 列に入力します。
6. 編集したセルが一切選択されていないことを確認(テーブルの外をクリック)してから、**[更新]** をクリックします。
7. **ポート生成**セクションで、「 bus_out 」を **[名前]** 欄に、「*vehicle bus port*」を **[説明]** 欄に入力し、アイコンの **[出力]** ラジオボタンをクリックします。
8. **[MapleSimポートを生成]** をクリックして出力ポートを作成します。自動的に MapleSim モデルに戻ります。
9. 入力ポートを作成するため、同じテンプレートに戻り修正を加えます。(テンプレートが閉じていた場合、再度開くには **[プロジェクト]** タブにある **[添付]** パレットの **[ドキュメント]** で CustomPort1.mw を右クリックし (Macintosh の場合は **[Control]** キーを押しながらクリック)、**[表示]** を選択します。

10. 信号セクションで、**[反転]**をクリックします。この操作で出力を入力に、またはその逆に変更します。
11. **ポート生成**セクションで、*bus_out*を *bus_in*に変更し、アイコンの**[入力]**ラジオボタンをクリックします。
12. **[MapleSimポートを生成]**をクリックして入力ポートを作成します。自動的に MapleSim モデルに戻ります。
定義した2つのカスタムポートは、**[定義]**タブの**[コンポーネント]**パレットに表示されます。CustomPortsFigure を参照してください。

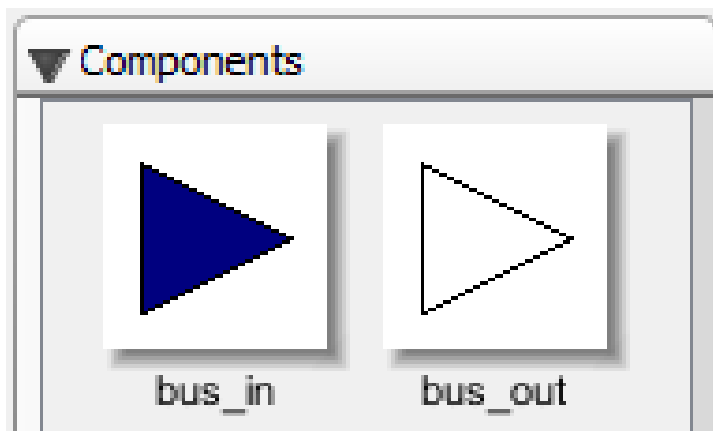


図6.9 カスタムポート

エンジンモデルの作成

1. 最初にダミーの自動車モデルを作成します。
2. MapleSim で、**[編集]**>**[添付を作成]**をクリックします。
3. **[カスタムコンポーネント]**テンプレートを選択し、**[添付を作成]**をクリックします。Maple の**カスタムコンポーネント**テンプレートがロードされます。
4. **方程式**セクションで、次のシステム方程式を入力してコンポーネントを定義します。行の最後で**[Enter]**を押します。

$$eq := [p(t) = P, v(t) = v0 + a \cdot t]$$

5. パラメータセクションで[すべて更新]をクリックし、続いて F 、 a 、および v_0 の [タイプ] を「Power」、「Acceleration」、および「Velocity」にそれぞれ変更します。
6. ポートセクションまでスクロールします。
7. [ポートを追加]をクリックします。左辺に新規ポートが表示されたら、右辺までドラッグします。
8. [タイプ] ドロップダウンメニューから、[Custom] を選択します (リストの一番最後の項目です)。
9. [タイプ] ドロップダウンメニュー下のテキストエリアで、カスタムタイプの名前を「bus_out」と入力します。[カスタムを適用] をクリックします。
10. このセクションの下部にあるドロップダウンメニューとリストボックスを使用して、Power 変数を $p(t)$ に、Velocity 変数を $v(t)$ に割り当てます。図6.10「カスタムポートの使用」に、テンプレートの完成したポートセクションを示します。

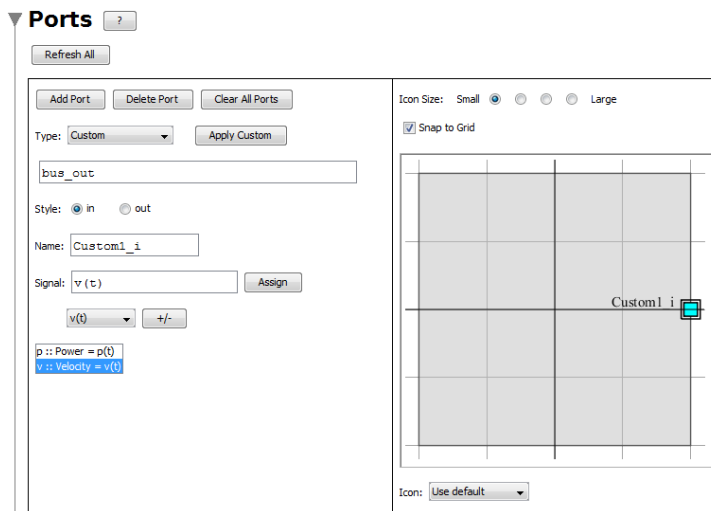


図6.10 カスタムポートの使用

11. 次元解析セクションで、[次元のチェック]をクリックします。テキストエリアに「no issues found」というメッセージが表示されます。

12 **コンポーネントの生成**セクションで、名前を「*engine*」に変更します。

[MapleSim コンポーネントを生成] をクリックします。

エンジンコンポーネントが[定義]タブの[コンポーネント]パレットに表示されます。

モニターモデルの作成

1. MapleSim で、[編集] > [添付を作成] をクリックします。
2. [カスタムコンポーネント] テンプレートを選択し、[添付を作成] をクリックします。Maple のカスタムコンポーネントテンプレートがロードされます。
3. 方程式セクションで、次のシステム方程式を入力してコンポーネントを定義します。行の最後で [Enter] を押します。

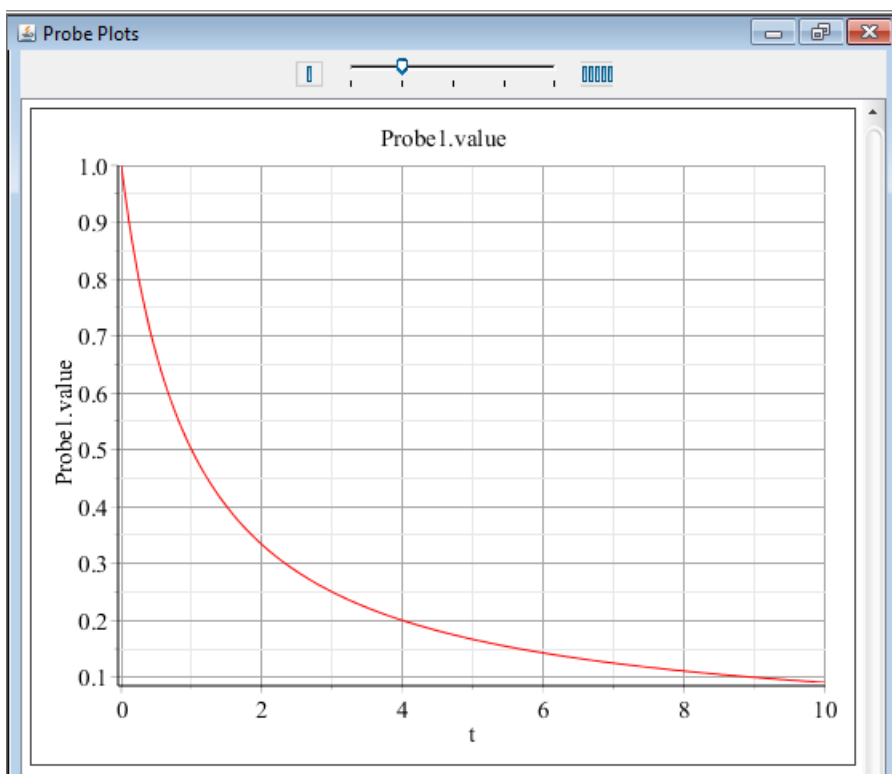
$$eq := \left[f(t) = \frac{p(t)}{v(t)} \right]$$

4. パラメータセクションで、[すべて更新] をクリックします。
5. ポートセクションまでスクロールします。
6. [ポートを追加] をクリックします。左辺に新規ポートが表示されたら、これがバス入力となります。
7. [タイプ] ドロップダウンメニューから、[Custom] (リストの一番最後の項目) を選択します。
8. [タイプ] ドロップダウンメニュー下のテキストエリアで、カスタムタイプの名前を「*bus_in*」と入力します。[カスタムを適用] をクリックします。
9. このセクションの下部にあるドロップダウンメニューとリストボックスを使用して、Power 変数を $p(t)$ に、Velocity 変数を $v(t)$ に割り当てます。
10. [ポートを追加] をクリックします。右辺に新規ポートが表示され、これが計算された力の出力となります。
11. [タイプ] ドロップダウンメニューから [Real Signal] を選択します。スタイルのラジオボタン [out] をクリックします。value の変数に $f(t)$ を割り当てます。
12. [すべて更新] をクリックします。[変数] テーブルで、変数 $f(t)$ の [タイプ] を「*Force*」に変更します。

- 13 次元解析セクションで、[次元のチェック]をクリックします。 $real_o(t) = f(t) N$ というメッセージが表示されます。これは出力ポート $real_o(t)$ が、実信号であるものの、力(ニュートン)の単位を持つ $f(t)$ と等しいことを示しています。
- 14 コンポーネントの生成セクションで、名前を「*monitor*」に変更します。
[MapleSim コンポーネントを生成] をクリックします。

モデルの完成

1. MapleSim で、**engine** と **monitor** モデルを [定義] > [コンポーネント] パレットからワークスペースにドラッグします。
2. **engine** ブロックの出力を **monitor** ブロックの入力に接続します。**monitor** ブロックの出力にプローブを追加します。
3. シミュレーションを実行します。[可視化ウィンドウ] の [シミュレーション結果] タブに、以下のプローブプロットが表示されます。



カスタムコンポーネントの高度な使用方法

Mapleのすべての機能を使用して、カスタムコンポーネントテンプレートの連立方程式を導くことができます。このセクションでは、高度なアプリケーションのサンプルを提供します。

例: 水頭流量曲線からの遠心ポンプのモデリング

以下の油圧の例では、遠心ポンプからの外挿データをカスタムコンポーネントに適用する方法について説明します。遠心ポンプカスタムコンポーネントの作成には次のタスクが含まれます。

- グラフからデータを取得する
- データセットに最適な曲線を適用して方程式を生成する
- 複数の引数を持つ演算子を取得する
- 演算子を適用してカスタムコンポーネントを生成する

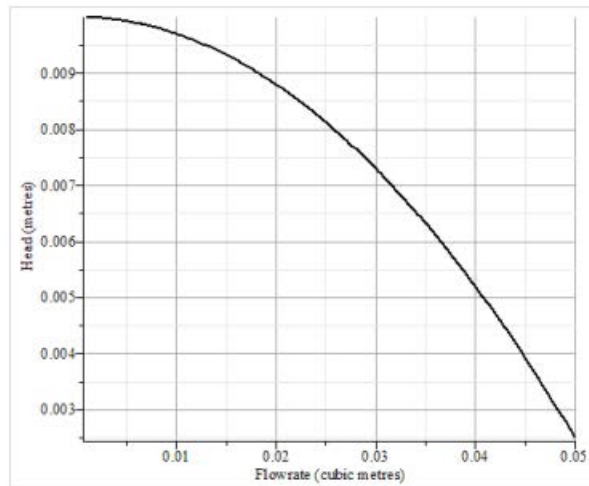


図6.11 遠心ポンプの水頭流量曲線

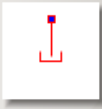

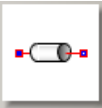

遠心ポンプのデータ

流量 (立法メートル)	圧力水頭 (メートル)
0.01	0.0098
0.02	0.00874
0.03	0.00725
0.04	0.005
0.05	0.0025

円形パイプのパラメータ

記号	説明	値
D	油圧配管直径	$0.01\ m$
L	パイプの長さ	$5\ m$
ϵ	内部パイプの凸凹の高さ	$1.5 \cdot 10^{-5}\ m$
ReL	層流域の最大レイノルズ数	2000
ReT	乱流域の最小レイノルズ数	4000
ρ	流体の密度	ρ_{fluid}
ν	流体の動粘度	ν_{fluid}

遠心ポンプのコンポーネント

コンポーネント	記号	コンポーネントの場所	用途	必要な設定
Atmospheric Pressure		[ライブラリ]>[油圧]>[リファレンス]	このコンポーネントは基準の圧力(電気ドメインのグラウンドと同じ)を定義し、大気との接続を表します。	デフォルト設定を使用
Hydraulic Fluid Properties		[ライブラリ]>[油圧]>[リファレンス]	すべての油圧モデルには Hydraulic Fluid Properties コンポーネントが必要です。このコンポーネントはパラメータブロックと同様にモデルワークスペースに配置され、次の油圧流体プロパティを定義します。 <ul style="list-style-type: none"> • rhoFluid: 液体の密度 • EIFluid: 流体の圧縮率を定義する体積弾性率 • nuFluid: 動粘度係数。動粘度を液体の密度で割って定義します。 	rhoFluid : $850 \frac{kg}{m^3}$ EIFluid : $8.0 \times 10^8 Pa$ nuFluid : $0.000018 \frac{m^2}{s}$
Circular Pipe		[ライブラリ]>[油圧]>[パイプ・バルブ]	円形パイプには油圧管路の圧力低下を定義します。圧力低下は Darcy の式によって求められます。	表6.4 「円形パイプのパラメータ」を参照
カスタムコンポーネント		[定義]>[コンポーネント]	このカスタムコンポーネントには、油圧管路の油圧と流量のプロパティを定義します。	ユーザ定義

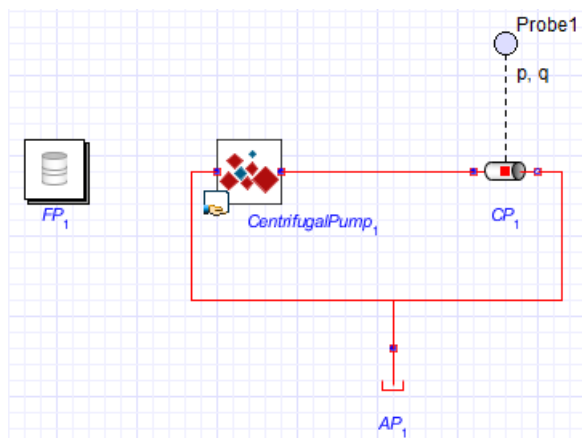


図6.12 遠心ポンプのカスタムコンポーネント

カスタムコンポーネントを作成するには

1. MapleSim モデルを新規作成し、[編集]>[添付を作成]の順にクリックします。
2. [カスタムコンポーネント] テンプレートを選択し、[添付を作成] をクリックします。Maple の [カスタムコンポーネント] テンプレートがロードされます。
3. 方程式セクションに2つのドキュメントブロックを挿入します(メインメニューから [フォーマット]>[ドキュメントブロックを作成] の選択を2回繰り返します)。
4. 追加した1つ目の行で、表6.3「遠心ポンプのデータ」から次のリストに値を配置し、行の末尾で [Enter] を押してリストを登録します。

```
L := [[0.01, 0.0098], [0.02, 0.00874], [0.03, 0.00725], [0.04, 0.005], [0.05, 0.0025]]
```

5. 2つ目の行で、次の Maple コマンドを使用して2次曲線をデータポイントに合わせ、行の末尾で [Enter] を押します。

```
f := unapply(CurveFitting[LeastSquares](L, x, curve = a·x2 + b·x + c), x)
```

6. 回帰曲線とブロックのパラメータに関する方程式を定義することで、カスタムコンポーネントに多項式を実装します。つまり、次の連立方程式、パラメータ、初期条件を入力してコンポーネントを定義します。行の最後で [Enter] を押します。

$$eq := [P(t) = f(Q(t)) \cdot \rho \cdot g, P(t) = Pr(t) - Pl(t), \rho = 1000, g = 9.81]$$

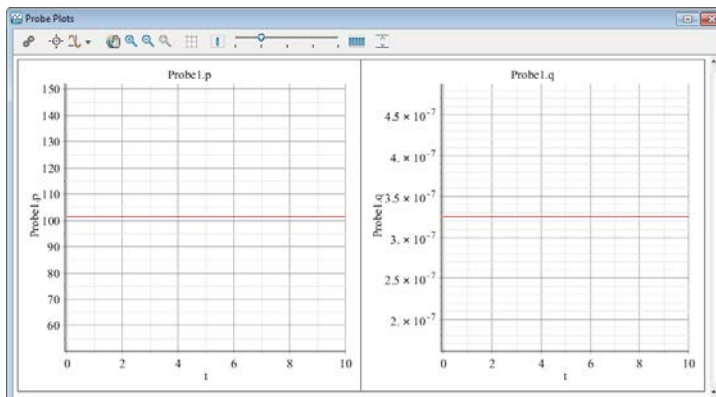
7. ポートまでスクロールします。
8. [ポートを追加] をクリックして左辺にポートを追加します。[Hydraulic] ドメインを選択し、**Pressure** 変数を $Pr(t)$ に、**Volume Flow Rate** 変数を $Q(t)$ に割り当てます。
9. [ポートを追加] をクリックして右辺にポートを追加します。[Hydraulic] ドメインを選択し、[スタイルb] をクリックし、**Pressure** 変数に $Pl(t)$ を、**Volume Flow Rate** 変数に $-Q(t)$ を割り当てます (+/- ボタンをクリックして記号を変更します)。
10. [すべて更新] をクリックします。
11. [パラメータ] テーブルで、 g のデフォルトを「9.81」に変更し、[タイプ] に「Acceleration」を割り当てます。rho に対しては、[デフォルト] を「1000」に変更し、[タイプ] を「Density」とします。
12. [変数] テーブルで、 $P(t)$ の [タイプ] を「Pressure」に変更します。
13. 次元解析セクションで、[次元のチェック] をクリックします。次の式が表示されます。
$$\frac{517}{50000} - \frac{13 Q(t)^2}{5} \frac{m^6}{s^2} - \frac{137 Q(t)}{5000} \frac{m^3}{s}$$
これは、次元に矛盾が発生していることを示しています。この矛盾は特に問題ではないため、無視することが可能です。この矛盾を除去したい場合は、元の数式の $Q(t)$ を $\frac{Q(t)}{Q1}$ に置き換え、パラメータ Q1 にデフォルト値 1 を割り当て、タイプを **VolumeFlowRate** として保護します (**Protected** 列に X を追加します)。
14. コンポーネントの生成セクションで、名前を「CentrifugalPump」に変更します。
15. [MapleSim コンポーネントを生成] をクリックしてコンポーネントを作成し、MapleSim 環境に戻ります。カスタムコンポーネントが [定義]>[コンポーネント] パレットに表示されます。
16. カスタムコンポーネントをモデルワークスペースにドラッグし、指定されたモデルコンポーネントと表6.5「遠心ポンプのコンポーネント」に示す設定を使

用して、**図6.12「遠心ポンプのカスタムコンポーネント」** に示すモデルを作成します。

ヒント: Circular Pipe コンポーネントにプローブを添付するには、コンポーネントを右クリック (Macintosh では **[Control]** キーを押しながらクリック) し、**[プローブを追加]** を選択してからワークスペースをクリックし、プローブを配置します。

注: 出力の圧力と体積流量の物理量を表示するには、プローブを選択し、**[インスペクタ]** タブで **[Pressure]** および **[Volume Flow Rate]** の物理量を選択します。

17. **メインツールバー**で**シミュレーションの実行** (▶) をクリックします。シミュレーションが終了すると、下のグラフが表示されます。



6.6. チュートリアル 6:C コード/DLL カスタムコンポーネントテンプレートの使用

このチュートリアルでは、**外部 C コード/DLL テンプレート**を使用して、外部 C コードパラメータをインポートし、以下のタスクを実行してモデルを作成します。

- カスタムコンポーネント名を指定する
- 外部 C/ライブラリの場所を指定する
- 外部 C/ライブラリコードオプションを定義する
- 生成される Modelica コードのディレクトリを指定する

- 外部コードカスタムコンポーネントを生成し、保存する
- 単純な外部関数モデルを作成する

このモデルは、**Step** 関数、**Constant Vector**、および**外部 C コード/DLL** の 3 つのコンポーネントで構成されます。

外部 C コードパラメータは、以下の入力を取り込む関数で定義されます。

- ダブルスカラー入力
- サイズ 2 の入力用ダブル配列
- サイズ 3 の出力用ダブル配列

そして、ダブルスカラーを返します。

外部コードカスタムコンポーネントを作成するには

1. 外部コードを呼び出す新規 MapleSim モデルを作成します。
2. メインツールバーで、**テンプレートから添付を作成する** (🔗) をクリックします。[添付の作成] ウィンドウが表示されます。
3. リストから、[外部 C/ライブラリブロック] を選択します。
4. [添付] フィールドにテンプレートの名前を入力し、[添付を作成] をクリックします。Maple で**外部 C コード/DLL 定義**テンプレートが開きます。
5. カスタムコンポーネント名として「ExternalCode」を設定します。

Specify the name of the MapleSim custom component to be generated.

Block Name:

6. [Text Area を使用した外部コードの指定] を選択し、[Save to C File] で外部 C/ライブラリの場所を指定します。

Provide External Code using Text Area Specify Header File

<input type="checkbox"/> Attached C/DLL/SO	<input type="text" value="f1.c"/>	<input type="button" value="Refresh Attachments List"/>
Save to C File:	<input type="text" value="C:\Temp\11.c"/>	<input type="button" value="Select File"/>
Location of Header File:	<input type="text"/>	<input type="button" value="Select File"/>

7. Windows プラットフォームでは、**図6.13 「Windows 用外部 C コード定義」**に示されている関数宣言を使用してテキスト領域に C コードを入力します。Unix プラットフォームでは、**図6.14 「Unix 用外部 C コード定義」**に示されている関数宣言を使用して C コードを入力します。

Validate and Save C/Library File Validate and Attach C/Library File to MapleSim Model

```

/*****
__declspec(dllexport) double __stdcall f1(double a, double *b, double *c)
{
    c[0] = a*a;
    c[1] = b[0] + b[1];
    c[2] = c[0]*c[1];

    return 1.0;
}
*****/

```

図6.13 Windows 用外部 C コード定義

Validate and Save C/Library File Validate and Attach C/Library File to MapleSim Model

```

/*****
double f1(double a, double *b, double *c)
*****/

```

図6.14 Unix 用外部 C コード定義

8. [C/ライブラリファイルの検証と保存] をクリックします。
9. 外部C/ライブラリの関数名と定義セクションで、[外部関数名]に「f1」と入力します。

Function Name:

External Function Name:

10. ダブルスカラー入力 'a' に次の値を指定し、[パラメータを追加] をクリックします。引数テーブルに**図6.15 「引数テーブル」**のようにパラメータが表示されます。

Arguments:

Parameter Name: Passed By Reference

Data Type: Array?

- 11 サイズ2の入力ダブル配列'b'に次の値を指定し、[パラメータを追加]をクリックします。引数テーブルに図6.15「引数テーブル」のようにパラメータが表示されます。

Arguments:

Parameter Name: Passed By Reference

Data Type: Array?

- 12 サイズ3の出力ダブル配列'c'に次の値を指定し、[パラメータを追加]をクリックします。引数テーブルに図6.15「引数テーブル」のようにパラメータが表示されます。

Arguments:

Parameter Name: Passed By Reference

Data Type: Array?

	Port Name	Port Type	Change Row
1	a	float	
2	b	float, 2	
3	c	float, 3, output	

Row ID to Remove:

図6.15 引数テーブル

- 13 C 関数の戻りパラメータに次の値を指定します。

Output:

Specify whether the external C/Library function returns a value. If it does, specify the name of the return parameter and its datatype.

Return?

Return Name:

Return Type:

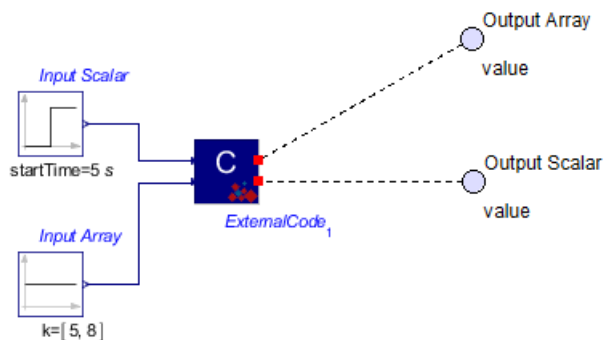
- 14 生成する Modelica カスタムコンポーネントコードを保存する場所を指定します。

Target directory:

- 15 [外部コードコンポーネントの生成] をクリックします。MapleSim ウィンドウ左側の [定義] タブにある [コンポーネント] パレットに、カスタムコンポーネントが表示されます。

外部コードカスタムコンポーネントを使用するには

1. 指定したモデルコンポーネントと表6.6「外部CコードDLLカスタムコンポーネントと必要な設定」からの設定を使用して、コンポーネントをモデルワークスペースにドラッグし、値を設定します。



注: モデルにモデルコンポーネントのパラメータ値が設定されていることを確認します。モデルワークスペースでコンポーネントを選択すると、そのコンポーネ

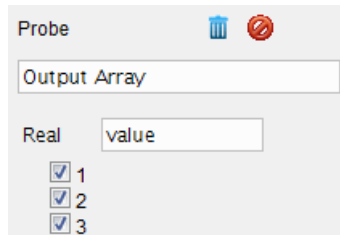
ントの設定可能なパラメータ値が MapleSim ウィンドウ右側の [インスペクタ] タブに表示されます。

表6.6 「外部 C コード DLL カスタムコンポーネントと必要な設定」 に必要なコンポーネントと設定を示します。

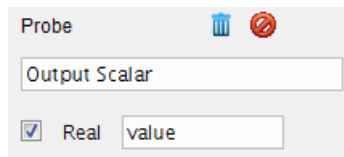
外部 C コード DLL カスタムコンポーネントと必要な設定

コンポーネント	記号	コンポーネントの場所	必要な設定
カスタムコンポーネント		[定義] > [コンポーネント]	デフォルト設定を使用
Constant Vector		[ライブラリ] > [信号ブロック] > [ソース] > [実数]	定数出力値として、 κ を [5, 8] に設定
Step		[ライブラリ] > [信号ブロック] > [ソース] > [実数]	[Height]: 4 [Offset]: 0 [T ₀]: 5

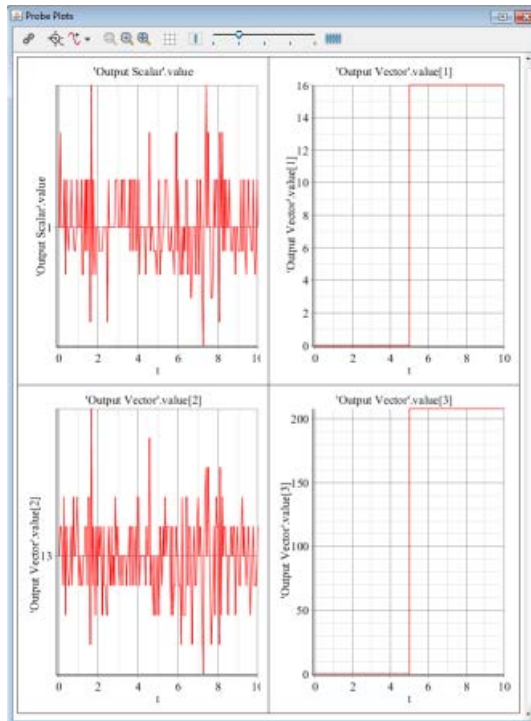
2. **Step** コンポーネントをカスタムコンポーネントの入力ポート **a** に接続します。
3. **Constant Vector** コンポーネントをカスタムコンポーネントの入力ポート **b** に接続します。
4. カスタムコンポーネントの出力ポート **c** にプローブを追加し、以下の値を入力します。



5. カスタムコンポーネントの出力ポート **r** にプローブを追加し、以下の値を入力します。



6. メインツールバーでシミュレーションの実行 (▶) をクリックします。シミュレーションが終了すると、下のグラフが表示されます。



7. 結果を検証するには、[ライブラリ] タブで [アプリケーションと事例] > [ユーザガイドの例題] > [第6章] の順に展開し、[Simple External Code Function] の例を開きます。

6.7. チュートリアル 7: 方程式の抽出テンプレートの使用

このチュートリアルでは、方程式の抽出テンプレートを使用して以下のタスクを実行し、バネダンパモデルの方程式を抽出します。

- モデルを作成する
- 方程式の抽出テンプレートを生成する
- 方程式を表示、操作、再割り当てを行う

方程式の抽出テンプレートにはプリビルトの埋め込みコンポーネントが含まれています。これを使用して、MapleSim モデルによって生成された数式のシステム方程式を抽出、操作、および解析できます。

このテンプレートを使用すると、システムパラメータや変数の定義、方程式の最適化レベルの設定、方程式の生成、結果から生じた式の解析を実行できます。Maple コマンドを使用すると、方程式の詳細な解析を実行したり、モデルの方程式を変数に割り当てたり、追加のシステム変数やパラメータを定義できます。これらの機能は、複数のサブシステムが存在する場合に、再利用可能な方程式を生成するのに便利です。

テンプレートの説明

方程式の抽出テンプレートは、MapleSim モデルから方程式を簡単に作成するための、特定の Maple コマンドに関連するプリビルトのコントロールとプロシージャの集合です。モデルのシミュレーションを実行する場合、すべてのパラメータ単位は SI 単位に変換されるため、モデル全体のパラメータ値に複数の単位系を選択できます。

方程式の抽出テンプレートは、**方程式の表示**と**パラメータ操作**の 2 つの主なセクションで構成されています。

方程式の表示セクション

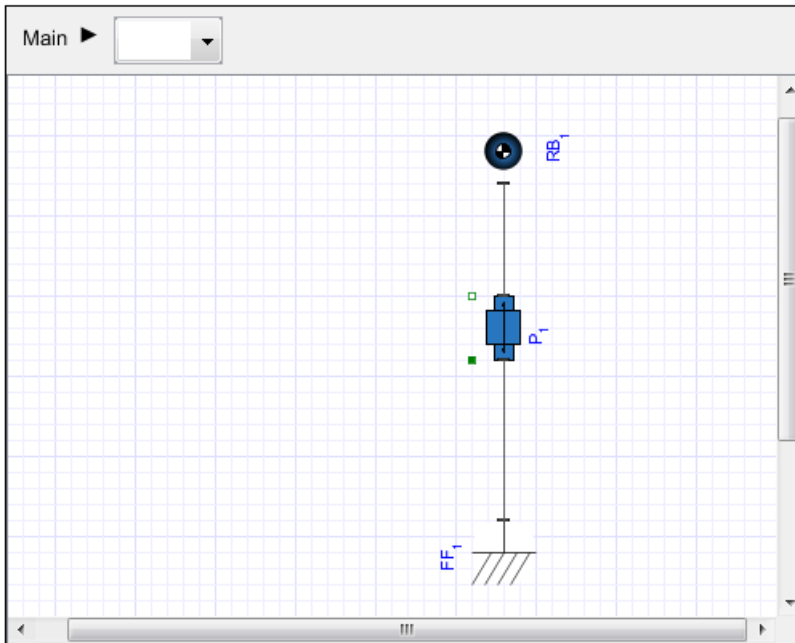
方程式を表示セクションは、**サブシステムの選択**、**パラメータや変数の操作**、**方程式を表示**の 3 つのセクションで構成されています。このセクションを使用して、モデル全体または 1 つのサブシステムの方程式を抽出します。

サブシステムの選択

このセクションでは、MapleSim のモデルをロードし、すべてのサブシステムとそのコンポーネントを表示します。ツールバーからサブシステムを選択し、そのサブシステムの方程式をロードします。

サブシステムが選択されていない場合に[選択されたサブシステムを読み込む]をクリックすると、モデル全体の方程式がロードされます。

Step 1: Subsystem Selection



選択されたサブシステムを読み込む: モデルの方程式を抽出し、システムのパラメータと変数をロードします。

パラメータや変数の操作

このセクションでは、生成された方程式のパラメータと DAE 変数をカスタマイズおよび定義できます。

DAE Variables:

Variables	New Name	Filter
-----------	----------	--------

Parameters:

Parameters	New Name	Value	Symbolic	Filter
------------	----------	-------	----------	--------

Simplify returned equations (may take time for large equations)
 Save new names for variables and parameters in the model

DAE 変数

[New Name]列に新しい変数名を指定して、DAE変数の名前を変更できます。たとえば、変数 $s(t)$ を $x(t)$ に変更できます。

[Variables]: モデルの DAE 変数です。

[New Name]: DAE 変数の新しい名前を入力します。

[Filter]: 指定された変数で方程式を選択します。

[フィルタを解除]: すべてをオフにして、すべての方程式を表示します。

[代入をリセット]: DAE 変数およびパラメータセクションの **[New Name]** 列で行った変更をリセットします。

パラメータ

[New Name]列でパラメータの名前を変更できます。デフォルトでは、方程式のすべてのパラメータを数値に置き換えることができます。必要なパラメータの横の**[Symbolic]**列の下に「X」を入力すると、数式形式のまま残すパラメータを手動で選択できます。**[Filter]**列には、選択した変数またはパラメータを持つ方程式のみが表示されます。または、すべてのパラメータを数式形式にする場合は、**[シンボル/数値のトグル]**を選択します。すべてのパラメータの横に「X」が表示されます。フィルタリングで数式パラメータを選択すると、数式形式で表示されます。

[Parameters]: モデルのパラメータです。

[New Name]: モデルのパラメータの新しい名前を入力します。

[Value]: MapleSim で指定した新しいパラメータ値が表示されます。

[Symbolic]: 数式形式で残したいパラメータを選択する場合は、「X」と入力します。

[Filter]: 指定されたパラメータで方程式を選択します。

[シンボル/数値のトグル]: パラメータの数式設定の選択をすべてオンまたはすべてオフに切り替えます。

[フィルタを解除]: すべてをオフにして、すべての方程式を表示します。

[出力された方程式を簡単化する]: 方程式のインデックスを削減するために、適切な簡単化プロシージャ、ルール、および数式アルゴリズムを実行したり、関数呼び出し、平方根、累乗根、およびべき乗を検索します。詳細情報は、GetEquations のヘルプページを参照してください。

[モデルの新しい変数名とパラメータ名を保存する]: MapleSim モデルの New Name 列で行った代入を保存するには、このオプションを選択してください。

[方程式を再割り当て]: 新しい方程式の名前を更新したり、変数やパラメータに対する変更を表示するには、**[方程式を再割り当て]** をクリックします。

方程式を表示

このセクションには、割り当てられたパラメータを持つ数式形式の連立方程式が表示されます。参照する方程式を選択するには、方程式のいずれかの種類(DAEs、Definitions、Relations、Events、ODEs、AEs)を選択します。これらの方程式は自動的にそれぞれの方程式変数に割り当てられ、Maple ワークシート本体で操作できます。たとえば DAEs は DAEs に割り当てられ、Definitions は Definitions に割り当てられます。方程式の種類の詳細は、Maple のワークシートのプロンプトで「?GetEquations」と入力して参照します。

Step 2: View Equations

Equations:

Equations Types: DAEs Definitions Relations Events ODEs AEs

[DAEs]

方程式操作セクション

このテンプレートで、**GetEquations** コマンドを使用してアクティブな MapleSim サブシステムの方程式を取得すると、手動で追加の方程式を生成できます。その他の方程式抽出機能については GetEquations ヘルプページを参照してください。テンプレートの方程式は自動的に変数 DAEs に割り当てられ、Maple ワークシート本体で操作できます。

注: **simplify** オプションを *true* に設定すると、Maple は **simplify** コマンドを使用して、それぞれの方程式の種類に保存されている方程式に対して単純化ルールを適用します。方程式が多数ある場合、この作業には非常に長い時間と多くのメモリを使用する場合があります。この場合は、オプションを *false* に設定してください。

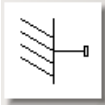

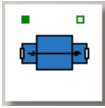
バネダンパの方程式の生成

このモデルは、剛体に添付されている並進ジョイント (スライダまたは並進ジョイントとも呼ばれる) で構成されており、いずれもマルチボディアブラリにあります。並進ジョイントは固定フレームに接続され、Y 軸に沿う並進運動 1 つだけが許容されます。このシステムでは、重力が唯一の外力として想定され、Y 軸に沿って作用します。これらのコンポーネントを 1 つのサブシステムにグループ化し、システムパラメータを定義して、サブシステムのパラメータを参照します。このチュートリアルでは、事前に定義された微分方程式を使用してサンプルの方程式を生成します。

モデルにモデルコンポーネントのパラメータ値が設定されていることを確認します。**モデルワークスペース**でコンポーネントを選択すると、そのコンポーネントの設定可能なパラメータ値が MapleSim ウィンドウ右側の **[インスペクタ]** タブに表示されます。

表6.7 「バネダンパのコンポーネントと必要な設定」に必要なコンポーネントと設定を示します。

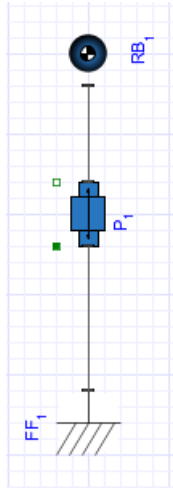
バネダンパのコンポーネントと必要な設定

コンポーネント	記号	ライブラリの場所	必要な設定
Fixed Frame		[ライブラリ]>[マルチボディ]>[ボディ・フレーム]	デフォルト設定を使用
Rigid Body		[ライブラリ]>[マルチボディ]>[ボディ・フレーム]	質量。 m を「1」 kg に設定します。
Prismatic		[ライブラリ]>[マルチボディ]>[ジョイント・モーション]	y方向の並進軸。 \hat{e}_1 を [0,1,0] に設定します。 バネ定数。 $[K_S]$ を設定します。 減衰係数。 $[K_d]$ を設定します。

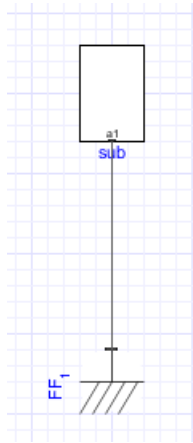
連立方程式の生成

連立方程式を生成するには

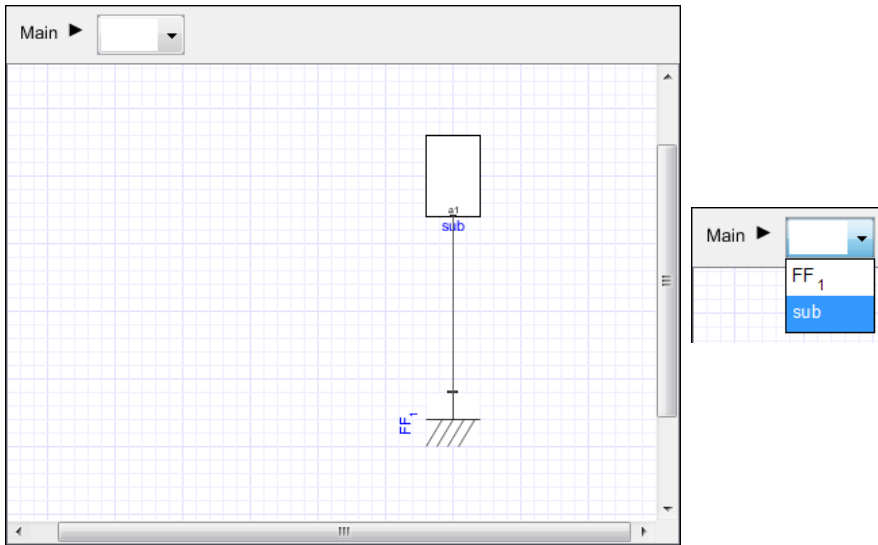
1. 指定されたモデルコンポーネントと 表6.7 「バネダンパのコンポーネントと必要な設定」 の設定を使用して、次のモデルを作成します。



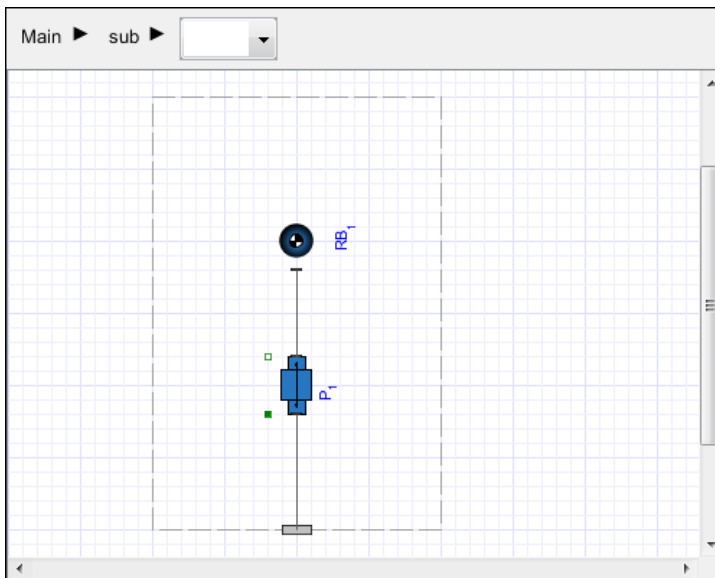
2. **sub** と呼ばれるサブシステムに **Prismatic** ジョイントと **Rigid Body** を配置します。これにより、方程式の抽出テンプレートが選択したサブシステム固有の方程式を生成します。



3. メインツールバーで、**テンプレートから添付を作成する** (📎) をクリックし、**方程式の抽出テンプレート** を選択します。
4. **[添付]** フィールドにワークシートの名前を入力し、**[添付を作成]** をクリックします。Maple ワークシートが起動して MapleSim モデルが開き、**[サブシステムの選択]** ウィンドウが表示されます。ツールバーにすべてのサブシステムが表示されます。



5. ツールバーで「sub」という名前のサブシステムを選択します。subサブシステムのコンポーネントが表示されます。



6. [選択されたサブシステムを読み込む]をクリックします。パラメータや変数の操作セクションに、*sub*コンポーネントのパラメータと変数が自動的にロードされます。

方程式を表示セクション

方程式を表示セクションに連立方程式が表示されます。

Step 2: View Equations

Equations:

Equations Types: DAEs Definitions Relations Events ODEs AEs

$$\left[\left[\frac{1}{10000} \frac{d}{dt} \left(\frac{d}{dt} \text{Main.sub.RB1.xi}'(t) \right) + \frac{1}{10000} \left(\frac{d}{dt} \left(\frac{d}{dt} \text{Main.sub.RB1.zeta}'(t) \right) \right) \sin(\text{Main.sub.RB1.eta}'(t)) + \frac{1}{10000} \left(\frac{d}{dt} \text{Main.sub.RB1.zeta}'(t) \right) \left(\frac{d}{dt} \text{Main.sub.RB1.eta}'(t) \right) \cos(\text{Main.sub.RB1.eta}'(t)) = 0 \right], \right. \\ \left. \left[\frac{1}{10000} \left(\frac{d}{dt} \left(\frac{d}{dt} \text{Main.sub.RB1.zeta}'(t) \right) \right) \cos(\text{Main.sub.RB1.xi}'(t)) \cos(\text{Main.sub.RB1.eta}'(t)) - \frac{1}{10000} \left(\frac{d}{dt} \text{Main.sub.RB1.zeta}'(t) \right) \left(\frac{d}{dt} \text{Main.sub.RB1.xi}'(t) \right) \sin(\text{Main.sub.RB1.xi}'(t)) \cos(\text{Main.sub.RB1.eta}'(t)) - \frac{1}{10000} \left(\frac{d}{dt} \text{Main.sub.RB1.zeta}'(t) \right) \cos(\text{Main.sub.RB1.xi}'(t)) \left(\frac{d}{dt} \text{Main.sub.RB1.eta}'(t) \right) \sin(\text{Main.sub.RB1.eta}'(t)) + \frac{1}{10000} \left(\frac{d}{dt} \left(\frac{d}{dt} \text{Main.sub.RB1.eta}'(t) \right) \right) \sin(\text{Main.sub.RB1.xi}'(t)) + \frac{1}{10000} \left(\frac{d}{dt} \text{Main.sub.RB1.eta}'(t) \right) \left(\frac{d}{dt} \text{Main.sub.RB1.xi}'(t) \right) \cos(\text{Main.sub.RB1.xi}'(t)) = 0 \right] \right]$$

バネダンパの方程式の操作

デフォルトでは、前述の方程式は自動的に DAEs 変数に保存されます。以下の例では、方程式の部分のみが方程式操作セクションに表示されています。

```
The above equations are automatically stored in the corresponding variables. Uncomment (remove # at the beginning of the line) the variable that you want to see.

> Vector (DAEs);
#Vector (Definitions);
#Vector (Relations);
#Vector (Events);
#Vector (ODEs);
#Vector (AEs);
```

```
For more control, use the GetEquations command directly:  
> A := MapleSim:-LinkModel():  
  ret := A:-GetEquations('output' = 'all', 'filter' = {}, 'simplify' = true):  
  DAEs := ret[1]:  
  Definitions := ret[2]:  
  Relations := ret[3]:  
  Events := ret[4]:  
  Functions := ret[5]:  
> DAEs;  
> A:-GetVariables('daeonly');
```

6.8. チュートリアル 8: 油圧システムのモデリング

このチュートリアルでは、油圧システムの基本的な説明を行います。この説明は、MapleSim でこれらのシステムのモデルの作成方法を理解する際に役立ちます。油圧ライブラリのコンポーネントを使用して、モデルを作成したり、初期条件やコンポーネントプロパティを設定したり、パラメータや変数に新しい値を代入することができます。

油圧コンポーネントは、主に油圧流路を機械的な動きに変換することを目的としています。純粋な油圧回路のモデリングにも使用できます。

このチュートリアルでは、以下の基本原則と概念に基づいてタスクを実行します。

- 基本的な油圧ライブラリコンポーネント
- 基本的な油圧方程式
- 単純な油圧ネットワークの解析
- 第一原則のモデリング
- メカニカルシステムと油圧システム

次のセクションでは、油圧ライブラリコンポーネントを使用して構築できる概念モデルについて説明します。

- 油圧流路の制御
- 油圧コンポーネントを持つマルチボディシステムの動作
- 油圧作動油の圧縮率

- 流体慣性モデル
- ウォーターハンマーモデル
- 油圧カスタムコンポーネント

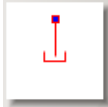

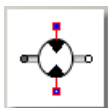
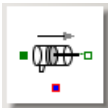
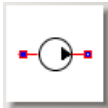
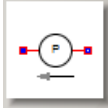
計算上の問題

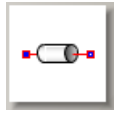
油圧ネットワークは、数値的に stiff になる傾向があります。一般的に、Rosenbrock 法の stiff ソルバの使用を推奨します。

基本的な油圧ライブラリコンポーネント

このチュートリアルでは、次の基本的な油圧ライブラリコンポーネントを使用します。

基本的な油圧ライブラリコンポーネント

コンポーネント	記号	ライブラリの場所	用途
Atmospheric Pressure		[ライブラリ]>[油圧] >[リファレンス]	このコンポーネントは基準の圧力 (電気ドメインのグラウンドと同じ) を定義し、大気との接続を表します。
Hydraulic Fluid Properties		[ライブラリ]>[油圧] >[リファレンス]	すべての油圧モデルにはHydraulic Fluid Propertiesコンポーネントが必要です。このコンポーネントはパラメータブロックと同様に モデルワークスペース に配置され、次の油圧流体プロパティを定義します。 <ul style="list-style-type: none"> • rhoFluid : 流体の密度 • EIFluid : 体積弾性率 (流体の圧縮率) • nuFluid : 動粘度係数 (動粘度を液体の密度で割ったもの)
Hydraulic Motor		[ライブラリ]>[油圧] >[アクチュエータ]	アクチュエータは油圧流路をメカニカルボディの運動に変換します。MapleSimでは油圧シリンダ (並進運動用) と油圧モータ (回転運動用) を提供しています。
Hydraulic Cylinder			
Fixed Flow Source		ライブラリ > 油圧 > ソース	油圧ソースの流量または圧力のいずれかを指定できます (MapleSimでほかの物理量を計算)。圧力源を使用する場合、MapleSimは圧力源に対する油圧システムの負荷を調整し、流量を求めます。また、その逆も行います。
Fixed Pressure Source			

コンポーネント	記号	ライブラリの場所	用途
Circular Pipe		[ライブラリ]>[油圧] >[パイプ・バルブ]	円形パイプには油圧管路の圧力低下が取り入れられます。圧力低下は Darcy の式と、事前に定義された方程式によって決定される摩擦係数によって求められます。

基本的な油圧方程式

Bernoulli および Darcy の式は、油圧システムの解析、流れに沿ったポイントの流圧および流量の特性の定義に必要な、基本的な方程式です。このチュートリアルでは、次の基本的な流体方程式を使用します。

- Bernoulli の式
- Darcy の式
- 摩擦係数

Bernoulli の式

Bernoulli の式は、パイプ内の非圧縮性流体の流れの圧力と流量の特性を定義します。流線沿いにあるポイントには次の関係が適用されます。

$$\frac{p}{\rho \cdot g} + \frac{V^2}{2 \cdot g} + z = constant$$

Darcy の式

定直径を持つパイプを流れる非圧縮性流体の場合、パイプの摩擦によって起こる圧力低下は Darcy の式によって求められます。

$$\Delta P = f \cdot \frac{L \cdot V^2}{D \cdot 2 \cdot g}$$

したがって、次のようになります。

$$\frac{p}{\rho \cdot g} + \frac{V^2}{2 \cdot g} + z + f \cdot \frac{L \cdot V^2}{D \cdot 2 \cdot g} = constant$$

Bernoulli と Darcy の式の表記

記号	説明	単位
P	圧力	Pa
ρ	密度	$\frac{kg}{m^3}$
g	重力定数	$\frac{m}{s^2}$
V	速度	$\frac{m}{s}$
z	高度	m
L	パイプの長さ	m
D	パイプの直径	m
f	摩擦係数	無次元

液体 (層流) 内の摩擦による内部の影響、およびパイプの表面の凸凹による影響 (乱流) を取り除くために、圧力が適用されます。流速を判断するには、適用された圧力に対する摩擦損失 (およびシステム内のその他の負荷) のバランスを取る必要があります。

MapleSim のメカニカル油圧システムでは、垂直変位 z はほかの条件と比べてそれほど重要ではないため、無視されます。

摩擦係数

層流では、内部摩擦 (f) の影響は次の式によって求められます。

$$f = \frac{64}{\text{Re}}$$

$$\text{Re} = \frac{D \cdot V}{\nu}$$

方程式は以下のとおりです。

f は内部摩擦を表します。

Re はレイノルズ数を表します。

D はパイプの直径を表します。

V は流体速度を表します。

v は動粘度を表します。

乱流では、パイプ表面の凸凹の摩擦効果は **Haaland の式** によって特徴付けられます。

$$f = \frac{1}{\left(1.8 \log_{10} \left(\frac{6.9}{Re} + \left(\frac{\epsilon}{3.7 \cdot D} \right)^{1.11} \right)\right)^2}$$

レイノルズ数 (**Re**) は、パイプ内の流れが層流なのか、乱流なのか、またはこの2つの間を移行しているのかを示します。たとえば、**表6.10 「円形パイプのパラメータ」** の円形パイプのパラメータは、層流 (**ReL**) と乱流 (**ReT**) のレイノルズ数を示しています。この2つのパラメータのあいだの摩擦係数は線形補間によって決まります。

円形パイプのパラメータ

記号	説明	値
D	油圧配管直径	0.01 <i>m</i>
L	パイプの長さ	5 <i>m</i>
ε	内部パイプの凸凹の高さ	1.5 · 10 ⁻⁵ <i>m</i>
ReL	層流域の最大レイノルズ数	2000
ReT	乱流域の最小レイノルズ数	4000
ρ	流体の密度	<i>rhoFluid</i>
v	流体の動粘度	<i>nuFluid</i>

単純な油圧ネットワークの解析

このセクションでは、単純な油圧システムのシミュレーションを行い、第一原理からの結果を解析し、以下の方法について説明します。

- 単純な層流パイプの油圧システムを作成する

- さまざまな法則 (質量保存、Bernoulli の式、Darcy の式など) を適用して支配方程式を解析する

パイプの流れ

図6.16 「パイプの流れ」では、内部摩擦の影響を減らすために圧力を適用した場合の、パイプからの圧力と層流量の特性を解析します。

パイプからの流れを解析するには

1. 指定されたモデルコンポーネントと表6.11 「油圧コンポーネントと必要な設定」の設定を使用して、次のモデルを作成します。

ヒント: Circular Pipe コンポーネントにプローブを添付するには、コンポーネントを右クリック (Macintosh では **[Control]** キーを押しながらクリック) し、**[プローブを追加]** を選択してからワークスペースをクリックし、プローブを配置します。

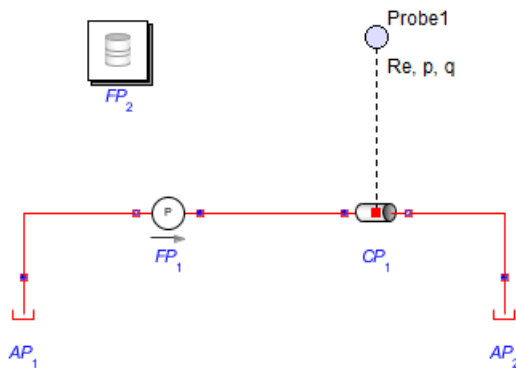
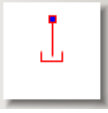

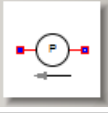
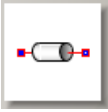
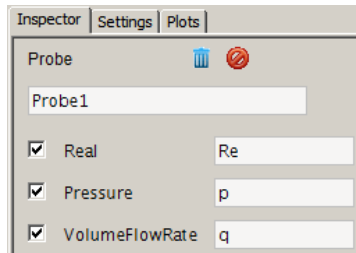


図6.16 パイプの流れ

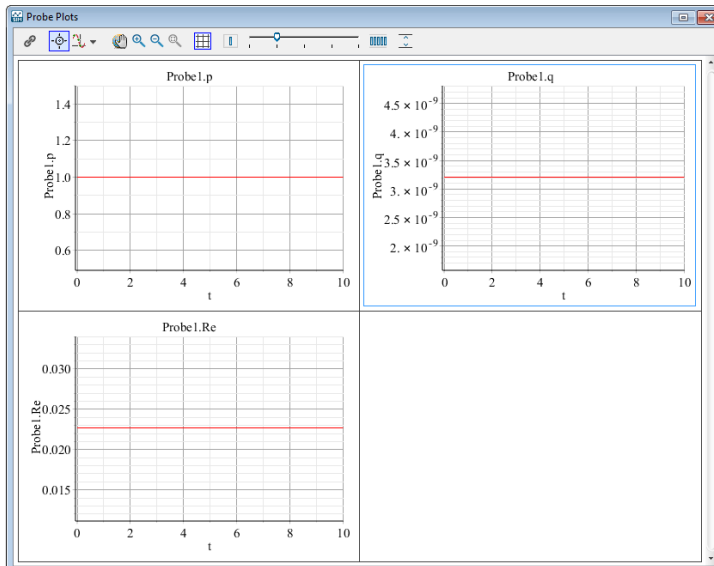
油圧コンポーネントと必要な設定

コンポーネント	数量	記号	ライブラリの場所	必要な設定
Atmospheric Pressure	2		[油圧] > [リファレンス]	デフォルト設定を使用
Hydraulic Fluid Properties	1		[油圧] > [リファレンス]	$\rho_{\text{Fluid}} : 850 \frac{\text{kg}}{\text{m}^3}$ $E_{\text{Fluid}} : 8.0 \times 10^8 \text{ Pa}$ $\nu_{\text{Fluid}} : 0.000018 \frac{\text{m}^2}{\text{s}}$
Fixed Pressure Source	1		[油圧] > [ソース]	デフォルト設定を使用
Circular Pipe	1		[油圧] > [パイプ・バルブ]	表6.10 「円形パイプのパラメータ」を参照

2. プロブをクリックし、**[Real]** (瞬時レイノルズ数)、**[Pressure]**、および **[VolumeFlowRate]** プロブパラメータを選択します。



3. メインツールバーでシミュレーションの実行 (▶) をクリックします。シミュレーションが完了すると、 $Q = \frac{3.2 \times 10^{-9} \text{ m}^3}{\text{s}}$ の予測流量を示す以下のようなグラフが表示されます。



第一原理のモデリング結果の確認

図6.16「パイプの流れ」に示すシステムを解析する場合は、次のDarcyの式を適用します。

$$\frac{\Delta P}{\rho \cdot g} = f \cdot \frac{L \cdot V^2}{D \cdot 2 \cdot g}$$

システムが層流であると仮定すると、次のようになります。

$$f = \frac{64}{\text{Re}}$$

したがって、次のようになります。

$$\frac{1}{850 \times 9.81} = \frac{64}{\frac{0.01 \times V}{0.000018}} \times \frac{5}{0.01} \times \frac{V^2}{2 \times 9.81}$$

$$0.0001199256461 = 2.935779816 V$$

ゆえに、以下のようになります。

$$V = 0.0000408 \frac{m}{s}$$

流量の方程式で V を使用すると、次のような結果になります。

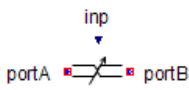
$$Q = \frac{1}{4} V \pi D^2 = 0.0000408 \times \frac{\pi \times 0.01^2}{4} = 3.2 \times 10^{-9} \frac{m^3}{s}$$

これは、MapleSim で求めた値と同じです。計算された V の値を使用すると $Re=0.02$ になります。これは、臨界値 2000 よりかなり少ないため、このシステムが層流であることがわかります。

油圧流路の制御の概要

スプール弁には鋭利で可変領域なオリフィスがあります。このオリフィスによってパイプの流れを可能にしたり、部分的に制限できます。また、油圧ネットワークをある部分から別の部分に切り替えることもできます。スプール弁には3つのポートがあります。

スプール弁

スプール弁	名前	説明	ID
	<i>PortA</i>	上流ポート	portA
	<i>PortB</i>	下流ポート	portB
	<i>inp</i>	入力信号	inp

上部のポート (**inp**) は、開放弁領域と同じ信号入力を受け入れます。このバルブ領域を制限することで、流れをオンまたはオフに切り替えます。左右のポート (**portA** および **portB**) は油圧コネクタです。次の図では、シミュレーション時間が5秒に達した場合に、上部の経路から下部の経路にモデルが切り替えられています。つまり、上部のスプール弁は開いており、下部のスプール弁は閉じています。5秒後に上部のスプール弁が閉じられ、下部のスプール弁が開かれます。

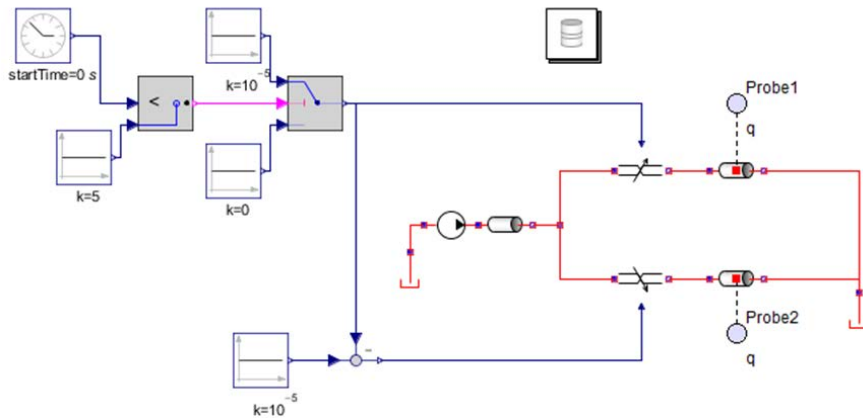


図6.17 流路の制御

メカニカルシステムと油圧システム

次の例では、マルチドメインコンポーネントを使用し、以下のソースを持つメカニカルモデルおよび油圧モデルでの並進運動をシミュレーションします。

- 固定流量源
- 固定圧力源

固定流量源を使用した並進運動のシミュレーション

次のモデルは、表6.13「固定流量源を使用した並進運動」に示すコンポーネントと設定を使用して、固定流量源からの流れを並進運動に変換します。

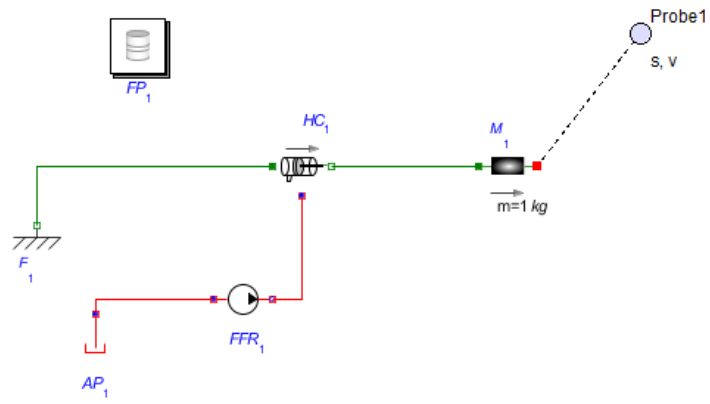
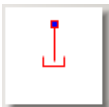

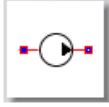
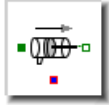
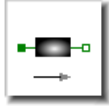



図6.18 固定流量源

固定流量源を使用した並進運動

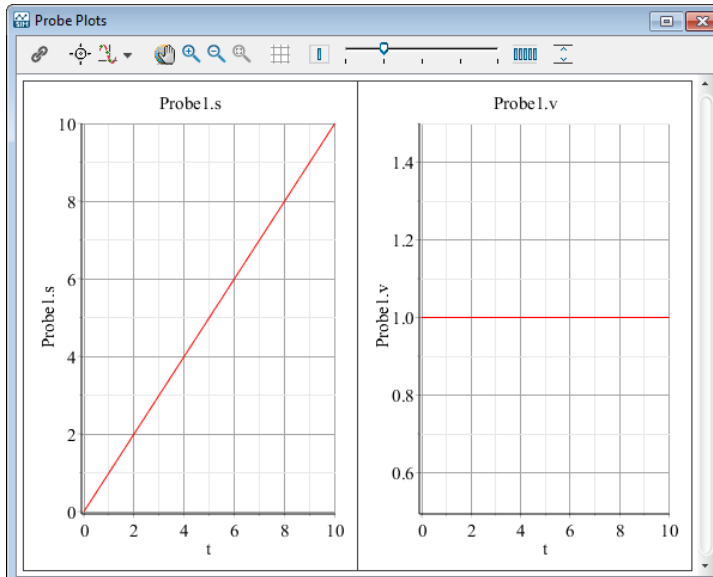
コンポーネント	数量	記号	ライブラリの場所	必要な設定
Atmospheric Pressure	1		[油圧] > [リファレンス]	デフォルト設定を使用
Hydraulic Fluid Properties	1		[油圧] > [リファレンス]	rhoFluid : $850 \frac{kg}{m^3}$ EIFluid : $8.0 \times 10^8 Pa$ nuFluid : $18 \times 10^{-6} \frac{m^2}{s}$
Fixed Flow Source	1		[油圧] > [ソース]	デフォルト設定を使用
Hydraulic Cylinder	1		[油圧] > [アクチュエータ]	デフォルト設定を使用
Mass	1		[1-D メカニカル] > [並進] > [共通]	デフォルト設定を使用
Translational Fixed	1		[1-D メカニカル] > [並進] > [共通]	デフォルト設定を使用

注: 油圧シリンダには断面領域 A ($1 m^2$) があります。一方で、固定流量源には流れ Q ($1 \frac{m^3}{s}$) があります。

シリンダは以下の速度で sliding mass を押しします。

$$V = \frac{Q}{A} = \frac{1 m^3 s^{-1}}{1 m^2} = 1 \frac{m}{s}$$

これは、シミュレーションを実行してsliding mass の速度を調べると確認できます。



固定圧力源を使用した並進運動のシミュレーション

図6.19「固定圧力源を使用した並進運動」および表6.14「Translational Motion with a Fixed Pressure Source」に示すように、固定流量源を固定圧力源に置き換えます。次のモデルは、固定圧力源からの流れを並進運動に変換します。

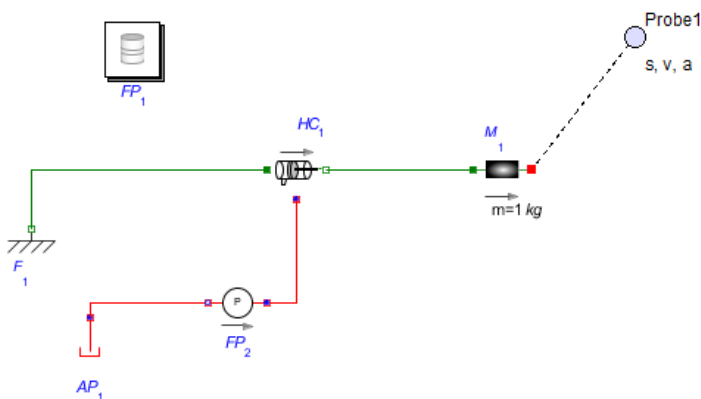
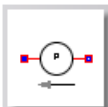


図6.19 固定圧力源を使用した並進運動

Translational Motion with a Fixed Pressure Source

コンポーネント	記号	ライブラリの場所	必要な設定
Fixed Pressure Source		[油圧] > [ソース]	デフォルト設定を使用

Sliding Mass の力は、油圧シリンダの断面領域 A に油圧流体の圧力 P をかけた値と等しくなります。

$$F = A \cdot P = 1 \text{ m}^2 \cdot 1 \text{ Pa} = 1 \text{ N}$$

Sliding Mass の加速度は次の式によって求められます。

$$F = m \cdot a = 1 \text{ m}^2 \cdot 1 \text{ Pa} = 1 \text{ N}$$

$$1 \text{ N} = 1 \text{ kg} \cdot a$$

ゆえに、次のようになります。

$$a = 1 \frac{\text{m}}{\text{s}^2}$$

Sliding Massの加速度、速度、変位を調べ、**図6.20「固定圧力源の結果」**の結果を使用してこれらの値を確認します。

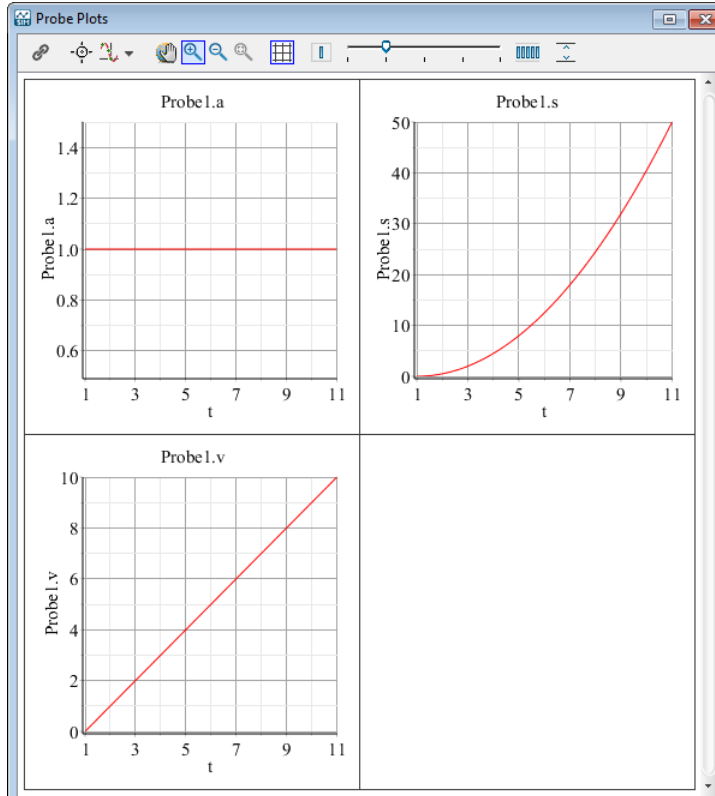


図6.20 固定圧力源の結果

油圧コンポーネントを持つマルチボディシステムの動作の概要

次のモデルでは、**表6.15「マルチボディコンポーネントの動作」**の固定フランジの並進と Rigid Bodyの質量を使用して、油圧シリンダの1D 並進ポートをマルチボディの並進ジョイントにある 1-D 並進ポートに接続します。

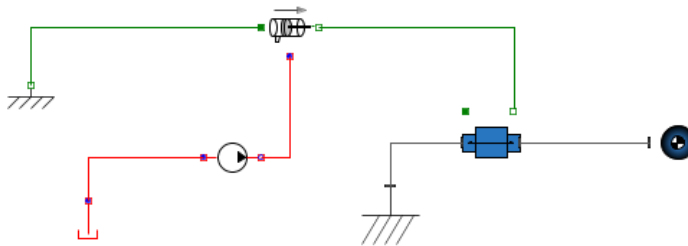


図6.21 固定並進フランジ油圧コンポーネント

同様に、次のモデルでは、表6.15「マルチボディコンポーネントの動作」の固定フランジの回転と Rigid Body の質量を使用して、油圧モータの 1-D 回転ポートをマルチボディの回転ジョイントにある 1-D 回転ポートに接続します。

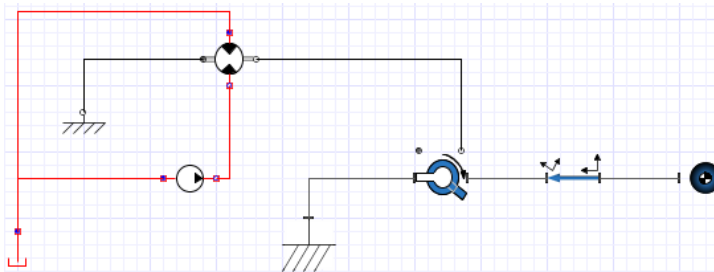


図6.22 固定回転フランジ油圧コンポーネント

マルチボディコンポーネントの動作

コンポーネント	記号	ライブラリの場所	必要な設定
Fixed Flow Source		[油圧] > [ソース]	デフォルト設定を使用
Rotational Fixed Flange		[1-D メカニカル] > [回転] > [共通]	デフォルト設定を使用
Translational Fixed Flange		[1-D メカニカル] > [並進] > [共通]	デフォルト設定を使用

コンポーネント	記号	ライブラリの場所	必要な設定
Atmospheric Pressure		[油圧]>[リファレンス]	デフォルト設定を使用
Hydraulic Cylinder		[油圧]>[アクチュエータ]	デフォルト設定を使用
Hydraulic Motor		[油圧]>[アクチュエータ]	デフォルト設定を使用
Prismatic		[マルチボディ]>[ジョイント・モーション]	デフォルト設定を使用
Rigid Body Frame		[マルチボディ]>[ボディ・フレーム]	デフォルト設定を使用
Rigid Body		[マルチボディ]>[ボディ・フレーム]	デフォルト設定を使用
Revolute		[マルチボディ]>[ジョイント・モーション]	デフォルト設定を使用
Fixed Frame		[マルチボディ]>[ボディ・フレーム]	デフォルト設定を使用

パスカルの原理

パスカルの原理によれば、密閉された油圧システムに対する圧力は、すべての場所に均等に伝達されます。この原理は、適用された力を増幅し、通常は移動できない荷重を移動できることを示しています。

図6.23 「パスカルの原理の例」 のモデルは、パスカルの原理の簡単な例を示しています。1 N の力 (0.1 m^2 の油圧シリンダに作用) は、油圧を 1 m^2 の油圧シリンダ

に伝達し、1kgの重さを垂直に持ち上げます。通常は、9.81 Nの力は1kgの力の高さを維持しますが、この簡単な油圧システムでは、10倍または $\frac{1 \text{ m}^2}{0.1 \text{ m}^2}$ の係数で荷重1 Nの大きさを増やしています。

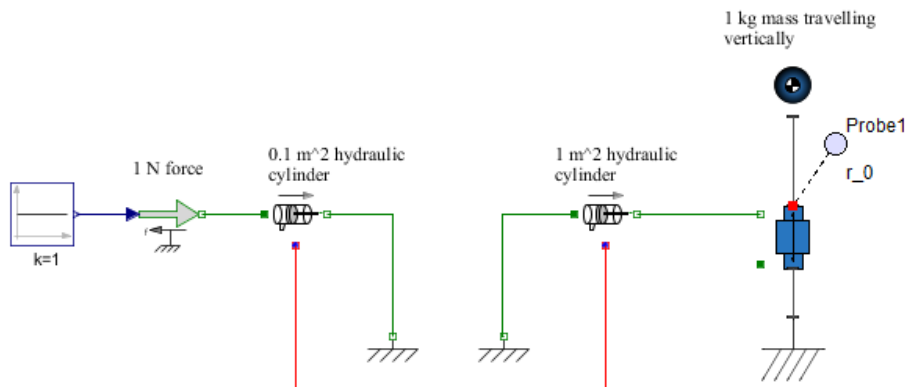


図6.23 パスカルの原理の例

油圧作動油の圧縮率の概要

Compliant Cylinderと Constant Volumeのチャンバコンポーネント(表6.17「密閉された油圧システムコンポーネント」)は、高圧時の油圧作動油の圧縮率をモデリングします。Compliant Cylinderコンポーネントは、管壁のコンプライアンスもモデリングします。いずれも、図6.24「油圧作動油の圧縮率」に示すように、パイプ間のノードまたは慣性に添付する必要があります。

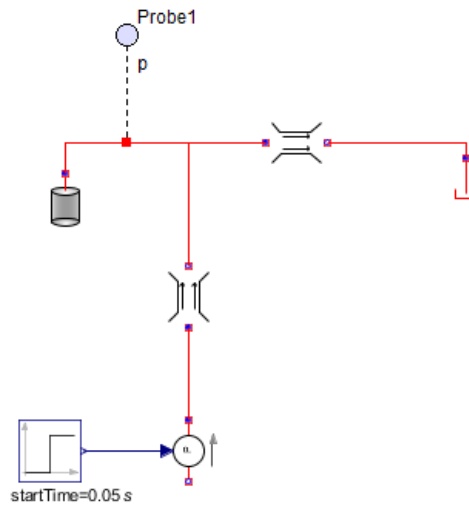

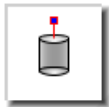


図6.24 油圧作動油の圧縮率

油圧作動油の圧縮率のコンポーネント

コンポーネント	記号	ライブラリの場所	必要な設定
Fixed Pressure Source		[油圧] > [ソース]	デフォルト設定を使用
Atmospheric Pressure		[油圧] > [リファレンス]	デフォルト設定を使用
Linear Resistance		[油圧] > [パイプ・バルブ]	デフォルト設定を使用

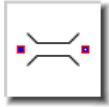
密閉された油圧システムコンポーネント

コンポーネント	数量	記号	ライブラリの場所	必要な設定
Compliant Cylinder	1		[油圧] > [チャンバ]	デフォルト設定を使用
Constant Volume	1		[油圧] > [チャンバ]	デフォルト設定を使用

流体慣性モデルの概要

Fluid Inertia コンポーネントは、パイプ内で加速または減速する液体の慣性をモデリングします。これはメカニカル inertia コンポーネントとよく似ています。流体慣性は、パイプの直径が大きい場合や、加速/減速が大きい場合に重要になる場合があります。このコンポーネントはウォーターハンマーをモデリングする場合に便利です。

流体慣性

コンポーネント	数量	記号	ライブラリの場所	必要な設定
Fluid Inertia	1		[油圧] > [パイプ・バルブ]	デフォルト設定を使用

流体慣性を使用しないシステム

図6.25 「流体慣性を使用しないシステム」に、流体慣性を使用しないシステムを示します。

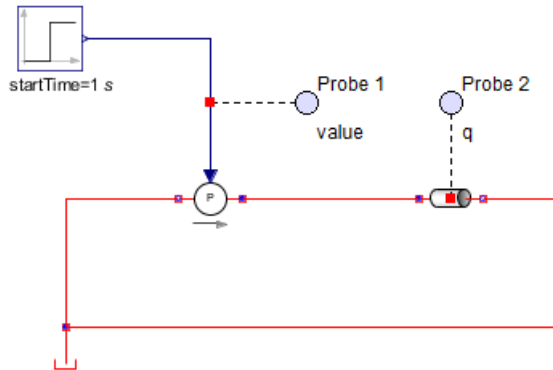


図6.25 流体慣性を使用しないシステム

流体慣性を使用するシステム

図6.25「流体慣性を使用しないシステム」に、流体慣性を使用するシステムを示します。

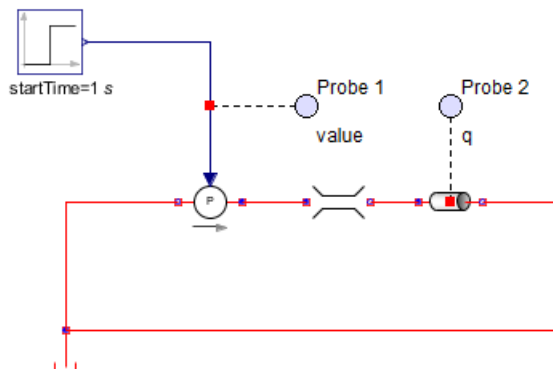


図6.26 流体慣性を使用するシステム

図6.27「流体慣性を使用する場合と使用しない場合のシステム」は、流体慣性を使用する場合(緑)と使用しない場合(赤)のシステムの流量を示しています。流体慣性を使用すると、システムにラグが発生します。

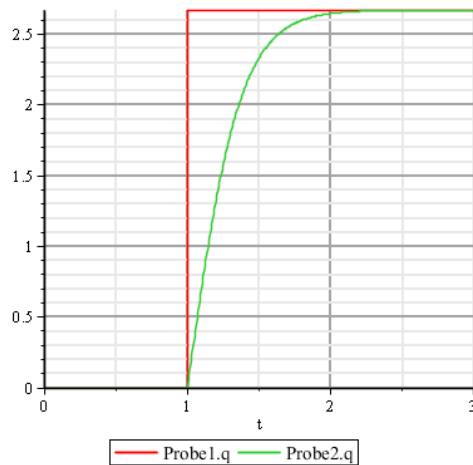


図6.27 流体慣性を使用する場合と使用しない場合のシステム

ウォーターハンマーモデルの概要

ウォーターハンマーは、バルブによってパイプ内の流れを急に止めた（または大きく制限した）場合に発生し、流体慣性の運動量が変わるために結果として圧力サージが発生します。この圧力サージは閉じたバルブに当たって跳ね返り、パイプを上下に移動して、パイプ全体を著しく破損させる可能性があります。従来、ウォーターハンマーは次の方程式の数値解によってモデリングされていました。

$$\frac{dV(x, t)}{dt} + \frac{1}{\rho} \frac{dP(x, t)}{dt} + \frac{fV(x, t)|V(x, t)|}{2D}$$

$$\frac{dV(x, t)}{dx} + \frac{1}{Ks} \frac{dP(x, t)}{dt} = 0$$

$$Ks = \frac{1}{\frac{1}{K} + \frac{D}{Et}}$$

ここで

$V(x, t)$ はパイプの速度を表します。

$P(x, t)$ はパイプの圧力を表します。

ρ は液体の密度を表します。

D はパイプの直径を表します。

t はパイプの壁の厚さを表します。

K は液体の体積弾性率を表します。

E はパイプのヤング率を表します。

f は摩擦係数を表します。

これらの方程式 (適切な境界と初期条件を持つ) は、通常は数値的に解決されますが、特性曲線法を使用して方程式を解く場合はカスタムコードが必要です。

例: ウォーターハンマー

ウォーターハンマーのシミュレーションのもう 1 つの方法は、集中パラメータのパイプラインモデルを構築することです。パイプラインモデルには、流動慣性、流れ抵抗 (管摩擦から)、パイプコンプライアンス、および流体の圧縮率などの影響も含まれます。

次の図では、慣性特性と抵抗特性を持つ離散化されたパイプラインモデルで、片方の端に圧力をかけて流れを作ります。2 秒後にもう一方の端にあるバルブを閉めると、圧力サージが発生します。



図6.28 ウォーターハンマー

図6.29 「離散化されたパイプラインのセグメント」に示すように、各サブシステムは、Compliant Cylinder、Circular Pipe、および Fluid Inertia コンポーネントで構成されています。全長 L 、容量 V 、 N 個に分割されたパイプラインには、 $N + 1$ 個のパイプ (それぞれの長さは

$$\frac{L}{N + 1}$$

)、 $N+1$ 個の流体慣性コンポーネント (それぞれの長さは

$$\frac{L}{N + 1}$$

)、および N 個の一定容量のチャンバがあります。各チャンバの容量は以下のとおりです。

$$\frac{V}{N}$$

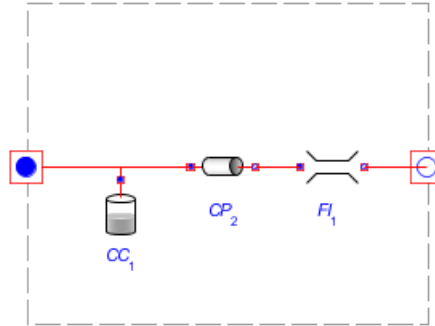


図6.29 離散化されたパイプラインのセグメント

ウォーターハンマーモデルを構築するには

1. 図6.28 「ウォーターハンマー」 や 図6.29 「離散化されたパイプラインのセグメント」 にあるようなコンポーネントと接続のあるモデルを作成します。
2. 表6.19 「Fluid Properties の値」 で指定した値で Fluid Properties コンポーネントを設定します。

Fluid Properties の値

パラメータ名	記号	説明	値
rhoFluid	ρ	流体の密度	1000 kg m^{-3}
ElFluid	K	体積弾性率	$200 \cdot 10^6 \text{ Pa}$
nuFluid	ν	流体の動粘度	$\frac{10^{-3}}{\text{rhoFluid}} \frac{\text{m}^2}{\text{s}}$

3. 表6.20 「ウォーターハンマーのパラメータ」 に表示されるパラメータおよび値でパラメータブロックを設定します。

ウォーターハンマーのパラメータ

パラメータ名	説明	値
N	パイプのセグメント数	20
Dia	油圧配管直径 (D)	0.1m
Len	パイプの長さ	25m
Em	パイプのヤング率 (E)	$70 \cdot 10^9 Pa$
ef	パイプ内部の凸凹	0.0001m
$thickness$	パイプの壁の厚さ (t)	0.001m

4. **Fixed Pressure** コンポーネントの (図6.28 「ウォーターハンマー」 の FP_2) 圧力 P を $500kPa$ に設定します。
5. **Main** と **HydraulicPipeline** 共有サブシステムの **Circular Pipe** コンポーネントを、以下のように設定します。

パラメータ名	設定
D	Dia
L	$\frac{Len}{N+1}$
ϵ	ef
Re_L	2000
Re_T	4000
ρ	ρ_{fluid}
ν	ν_{fluid}

6. **Main** と **HydraulicPipeline** 共有サブシステムの **Fluid Inertia** コンポーネントを、以下のように設定します。

パラメータ名	設定
A	$\frac{1}{4} \pi Dia^2$
L	$\frac{Len}{N+1}$
ρ	ρ_{fluid}

7. **HydraulicPipeline** 共有サブシステムの **Compliant Cylinder** コンポーネントを、以下のように設定します。

パラメータ名	設定
α	0
L	$\frac{Len}{N}$
D	<i>Dia</i>
D_o	<i>Dia + 2*thickness</i>
Em	<i>Em</i>
ν	<i>nuFluid</i>
EI	<i>EIFluid</i>

8. **First Order** コンポーネントで、[T] を **0.01s** に、[y0] を 「**0.01**」 に設定します。
9. **Step** コンポーネントを、以下のように設定します。
- [height] には 「**-0.009999**」 と入力します。
 - [offset] には 「**0.01**」 と入力します。
 - [T₀] には **2s** と入力します。
10. [設定] タブで以下の Simulation パラメータを設定します。
- [t_d] には **3s** と入力します。
 - [Solver Type] には [Variable] を選択します。
 - [Solver] には [Rosenbrock (stiff)] を選択します。

図6.30 「ウォーターハンマーの圧力の流量」 に、2 秒後に急に閉じたバルブのパイプの端における圧力と流量を示します。

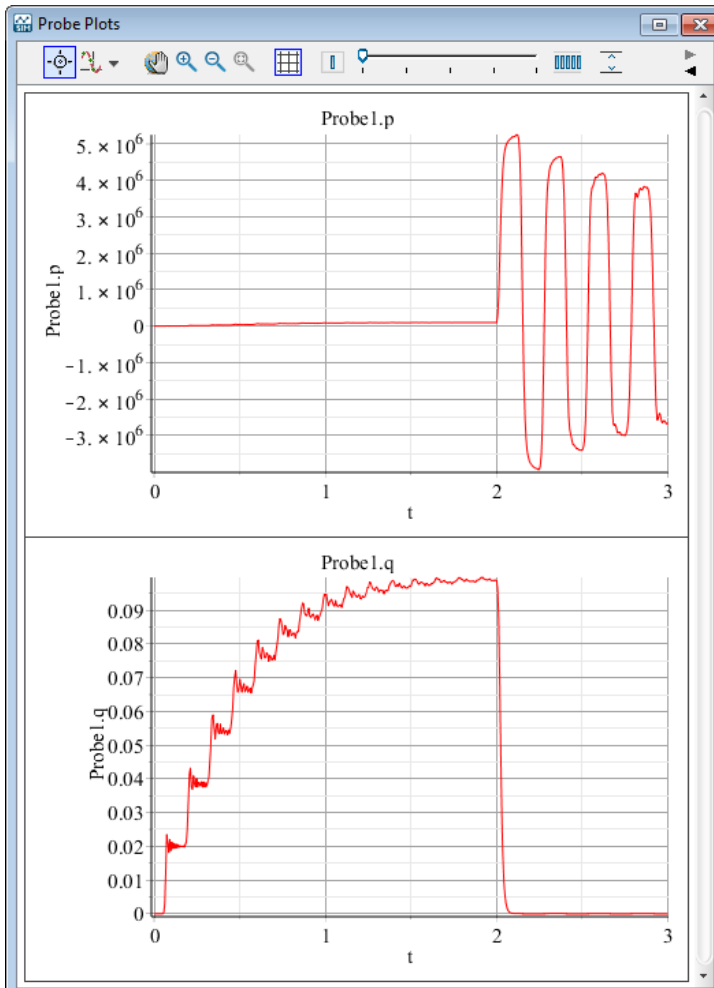


図6.30 ウォーターハンマーの圧力の流量

最大圧力は、約 $5 \times 10^6 \text{ Pa}$ で、液体の流量は $0.099 \frac{m^3}{s}$ に達します。最大圧力は次の Joukowski の式を使用して計算することもできます。

$$\Delta P = \rho c \frac{\Delta Q}{A}$$

$$c = \sqrt{\frac{Ke}{\rho}}$$

$$Ke = \frac{1}{\frac{1}{K} + \frac{D}{Et}}$$

表6.19 「Fluid Propertiesの値」と表6.20 「ウォーターハンマーのパラメータ」のパラメータを前の式に代入した場合、以下のように仮定できます。

$$\Delta Q = 0.099 \frac{m^3}{s}$$

結果は以下のとおりです。

$$\Delta P \approx 5 \times 10^6 \text{ Pa}$$

この結果は MapleSim モデルと一致します。

例: アクムレータを使用したウォーターハンマーの軽減

油圧アクムレータは、多くの場合はバルブの近くに配置されているタンクで、圧力下での圧縮不可能な油圧流体を保存します。アクムレータは、特定のしきい値を超えるほど圧力が高まった場合に液体をタンクに入れられるようにすることで、安全弁としての役割を果たします。この動作によって、圧力波の大きさと頻度を軽減します。

MapleSim には組み込みのアクムレータブロックがありません。ただし、次の方程式を使用したカスタムコンポーネントテンプレートによって、この機能を簡単にモデリングできます。カスタムコンポーネントの作成方法に関する詳細については、[カスタムコンポーネントの作成 \[81ページ\]](#)を参照してください。

$$\begin{aligned}
 eq &:= \left[q(t) = \dot{V}F(t), VF(t) \right. \\
 &= \left[\begin{array}{ll} Ks p(t) & p(t) \leq ppr \\ Vpr + (k \cdot (p(t) - ppr)) & ppr < p(t) \quad p(t) < pmax, k \\ Vmax + (Ks (p(t) - pmax)) & pmax \leq p(t) \end{array} \right. \\
 &= \left. \frac{(Vmax - Vpr)}{(pmax - ppr)} \right]
 \end{aligned}$$

$$params := [Vmax = 0.1, ppr = 10^5, pmax = 3 \cdot 10^6, Ks = 4 \cdot 10^{-10}, Vpr = 0]$$

$$initialconditions := [VF(0) = 0]$$

アキュムレータパラメータのカスタムコンポーネント

説明	値
Vmax	0.1m
ppr	100000
Pmax	3000000
Ks	$10 \times 10^{-10} \text{ m}$
Vpr	0

次の図に、圧力アキュムレータと同じパイプラインを示します。2秒後にもう一方の端にあるバルブを閉めると、圧力サージが発生します。図6.31「アキュムレータを持つ場合の圧力サージ」に、アキュムレータを持つ場合のパイプラインの終端での圧力サージを示します。

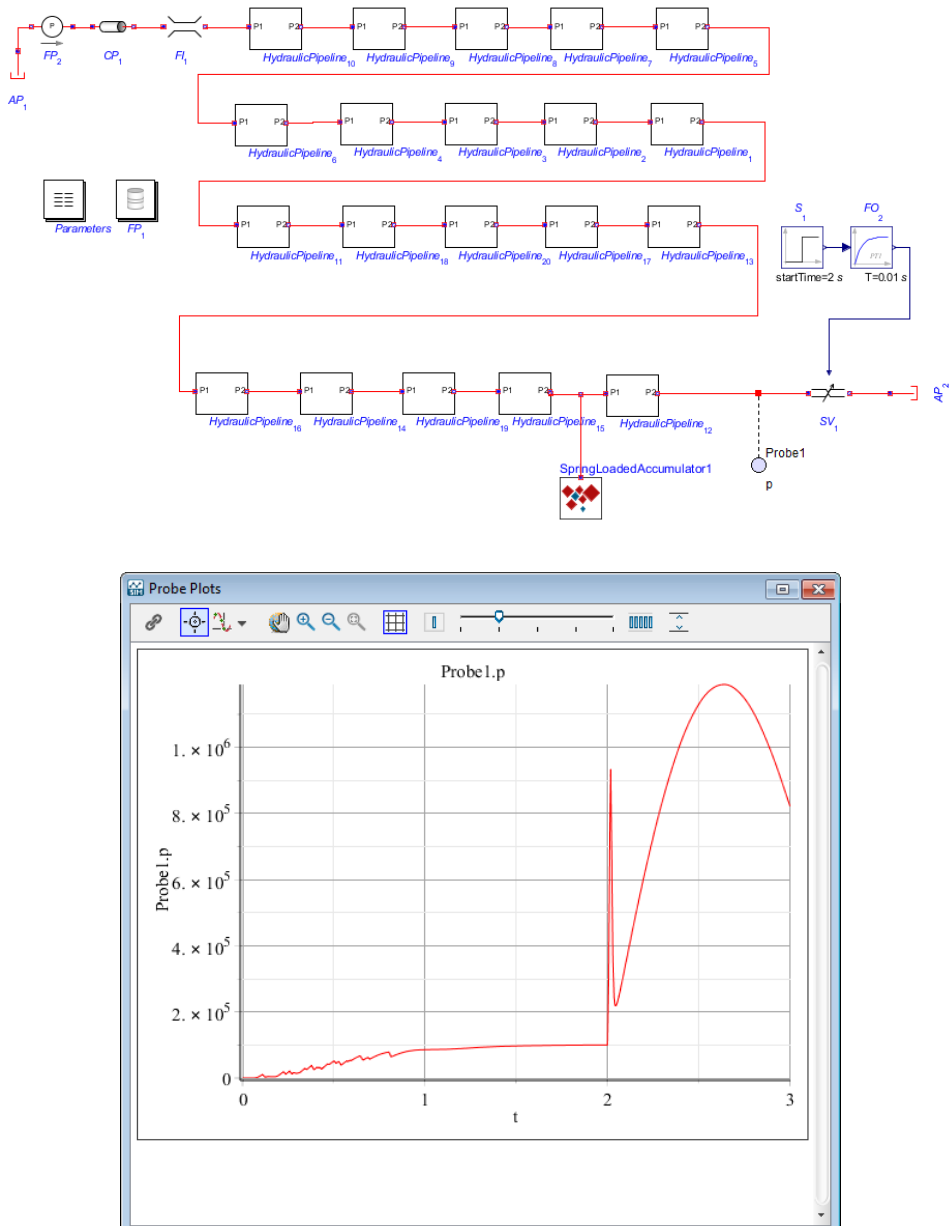


図6.31 アキュムレータを持つ場合の圧力サージ

油圧カスタムコンポーネントの概要

油圧カスタムコンポーネントの2つの例では、遠心ポンプと垂直管を示します。カスタムコンポーネントの作成方法に関する詳細については、[カスタムコンポーネントの作成 \[81ページ\]](#)を参照してください。

遠心ポンプ

通常、**図6.32「水頭流量」**に示すように、メーカーは遠心力ポンプの水頭流量のチャートを提供します。

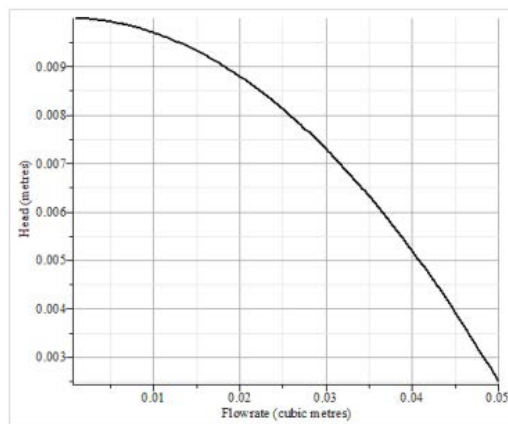


図6.32 水頭流量

これらのチャートからのデータは、カスタムコンポーネントに簡単に実装できます。

チャートのデータを実装するには

1. プロットから水頭流量ポイントの複数のセットを読み込みます。
2. Mapleのカーブフィッティング機能を使用して、これらのデータポイントを多項式に当てはめます。
3. この多項式をカスタムコンポーネントに実装します。たとえば **図6.33「遠心ポンプのカスタムコンポーネントの方程式」** は、最適なパラメータを含む遠心ポンプのカスタムコンポーネントの方程式を示しています。

注: この方程式は多項式であるため、複数の解が存在する場合があります。


```

eq := [ P(t) = (d + c · Q(t) + b · Q(t)2 + a · Q(t)3) · ρ · g, P(t) = Pr(t) - Pl(t) ]:
params := [ a = -3.3521 10-8, b = -0.0000039589, c = 0.009948, d = 35.04, ρ = 1000, g = 9.81 ]:
initialconditions := [ ]:

```

図6.33 遠心ポンプのカスタムコンポーネントの方程式

注: rhoFluid の値を Density パラメータに代入すると、Hydraulic Fluid Properties コンポーネントで定義された値が密度に割り当てられます。

垂直管

通常、メカニカル油圧システムでは重力ヘッドはそれほど重要ではないため、MapleSim の基本的なパイプコンポーネントではパイプの垂直移動がモデリングされません。圧力の低いシステムでは、重力ヘッドが重要になる場合があります。図6.34「重力ヘッドのカスタムコンポーネントの方程式」に、重力ヘッドをシミュレーションするためのカスタムコンポーネントの方程式を示します。

```

eq := [ dP(t) = rho · g · z, Pin(t) - Pout(t) = dP(t), Qin(t) = Qout(t), ]:
params := [ z = 0, rho = 1000, g = 9.81 ]:
initialconditions := [ ]:

```

図6.34 重力ヘッドのカスタムコンポーネントの方程式

第7章 リファレンス : MapleSim のキーボード ショートカット

モデルの開閉と保存

タスク	Windows と Linux	Macintosh
新規モデルを作成	[Ctrl] + [N]	[Command] + [N]
既存モデルを開く	[Ctrl] + [O]	[Command] + [O]
作業中のドキュメントを閉じる	[Ctrl] + [F4] (Windows) [Ctrl] + [W] (Linux)	[Command] + [W]
モデルを .msim ファイルとして保存	[Ctrl] + [S]	[Command] + [S]

ブロックダイアグラムでのモデルの作成

タスク	Windows と Linux	Macintosh
結線の描画中に操作をキャンセル	[Esc]	[Esc]
選択したモデリングコンポーネントを時計回りに90度回転	[Ctrl] + [R]	[Command] + [R]
選択したモデリングコンポーネントを反時計回りに90度回転	[Ctrl] + [L]	[Command] + [L]
選択したモデリングコンポーネントを左右反転	[Ctrl] + [H]	[Command] + [K]
選択したモデリングコンポーネントを上下反転	[Ctrl] + [F]	[Command] + [F]
選択したモデリングコンポーネントをサブシステム化	[Ctrl] + [G]	[Command] + [G]
選択した接続を変更	[Ctrl] + [D]	[Command] + [D]
すべての接続を変更	[Ctrl] + [A]	[Command] + [A]

タスク	Windows と Linux	Macintosh
サブシステムの作成	[Ctrl] + [G]	[Command] + [G]

ブロックダイアグラムでのモデルの表示

タスク	Windows と Linux	Macintosh
選択したモデリングコンポーネントまたはサブシステムの詳細を表示	[Ctrl] + [M]	[Command] + [M]
モデルワークスペースを拡大表示	[Ctrl] + 数値キーの [+] キー、または [Ctrl] を押しなが らマウスのホイール を前に回転させる	[Command] + 数値 キーの [+] キー、また は [Command] を押し ながらマウスのホ イールを前に回転さ せる
モデルワークスペースを縮小表示	[Ctrl] + 数値キーの [-] キー、または [Ctrl] を押しなが らマウスのホイールを 後ろに回転させる	[Command] + 数値 キーの [-] キー、また は [Command] を押し ながらマウスのホ イールを後ろに回転 させる
モデルダイアグラムのサイズをモデルワークスペースに合わせる	[Ctrl] + [T]	[Command] + [T]
ズーム比をデフォルトのズーム比(100%)にリセットする	[Ctrl] + [0] (ゼロ)	[Command] + [0] (ゼロ)

3-D 表示でのモデルの表示

タスク	Windows と Linux	Macintosh
ポートを接続	[Ctrl] + [Shift] + [C]	[Command] + [Shift] + [C]
遠近表示で、カメラを 3-D モデルの周囲に移動	[Ctrl] + マウスの左ボタンをクリックし、ドラッグする	[Command] + マウスをクリックし、ドラッグする
3-D モデルをパン	[Shift] + マウスの左ボタンをクリックし、ドラッグする	[Shift] + マウスをクリックし、ドラッグする
3-D ワークスペースを拡大または縮小	[Alt] + マウスの左ボタンをクリックし、ドラッグする。またはマウスホイールを前(拡大)または後ろ(縮小)に回転させる	[Alt] + マウスをクリックし、ドラッグする。またはマウスホイールを回転させる
3-D 表示をリフレッシュ	[Shift] + [F5]	[Shift] + [F5]

モデルのシミュレーション

タスク	Windows と Linux	Macintosh
シミュレーションの実行	[F5]	[F5]
MapleSim のメインウィンドウがアクティブな場合に、[可視化ウィンドウ] ([シミュレーション結果] タブが選択された状態で) を表示する、または [可視化ウィンドウ] など別のウィンドウが現在アクティブな場合に MapleSim ウィンドウを表示する	[F6]	[F6]
選択したコンポーネントまたは接続の有効/無効を切り替えて、次のシミュレーションから除外する	[Ctrl] + [E]	[Command] + [E]

[プロットウィンドウ] のレイアウト変更

タスク	Windows と Linux	Macintosh
プロットウィンドウをタイル表示	[Shift] + [T]	[Shift] + [T]
プロットウィンドウをカスケード表示	[Shift] + [C]	[Shift] + [C]
プロットを [プロットウィンドウ] に合わせる利用可能な垂直空間で、行の高さを自動的に調整してすべてのプロットを [プロットウィンドウ] に合わせる	[Shift] + [F]	[Shift] + [F]

その他

タスク	Windows と Linux	Macintosh
MapleSim から Maple を起動する	[F10]	[F10]

2-D Math 表記のキーボードショートカットについては、**MapleSim 操作方法 > モデルの構築 > モデルへの注釈の追加 > 2-D Math 表記のキーの組み合わせ**を参照してください。

用語集

用語	説明
2-D Math 表記	上付き文字、下付き文字、ギリシャ文字などの数式テキストを入力するための書式設定オプションです。
3-D ワークスペース	3-D モデルを構築し、編集するための MapleSim ウィンドウ領域です。
添付形状	システムモデルの現実的な表現を作成するために 3-D モデルで表示可能な形状です。添付形状には、円柱、トレース線、別のファイルからインポートする CAD ジオメトリなどがあります。
カメラ	3-D を表示する際の視点です。
カメラ追跡	選択した対象 3-D コンポーネントの動きをカメラが追従するプロセスです。アニメーション中、対象コンポーネントは常に [3-D アニメーションウィンドウ] の中心に表示されます。
カスタムコンポーネント	MapleSim のカスタムコンポーネントテンプレートで作成したユーザ定義のカスタムコンポーネントです。
カスタムライブラリ	ユーザ定義のパレットに保存した今後の MapleSim セッションで使用可能なモデリングコンポーネントとサブシステムの集合です。
埋め込みコンポーネント	Maple の標準的なワークシートで解析、操作、可視化可能なグラフィカルコントロール、ボタン、メータなどの対話形式コンポーネントです。
インプリシットジオメトリ	モデリングコンポーネントを表現するために 3-D モデルで表示されるデフォルトの円柱および球です。
Maple パッケージ	Maple で使用可能なルーチンやコマンドの集合です。多くの Maple パッケージには、特定の数学領域や科学領域、または研究分野に特化した一連のコマンドが用意されています。
MapleSim コンポーネントライブラリ	MapleSim に用意されているドメイン固有のモデリングコンポーネントのデフォルト集合です。これらのモデリングコンポーネントは、 [ライブラリ] タブのグレーのパレットにあります。

用語	説明
モデルワークスペース	ブロックダイアグラムビューでモデルを構築し、編集するための MapleSim ウィンドウの領域です。
正投影図	平行に投影し、表示平面上の線を「実際の長さ」で表示する3-Dビューのタイプです。MapleSimでは、モデルの正面、上面、および側面からの正射影図を表示することができます。
遠近表示	3-D空間のすべての方向からモデルを調べることができる3-Dビューです。
プローブ	MapleSim モデルのシミュレーションを行うために対象の数量を特定するためのツールです。
共有サブシステム	別のサブシステムと同じ設定を共有するサブシステムのコピーです。すべての共有サブシステムは、設定を定義する特定のサブシステムの定義にリンクしています。
スタンドアロンサブシステム	サブシステムの定義にリンクしておらず、モデル内の他のサブシステムとは無関係に編集や操作を行うことのできるサブシステムです。
サブシステム	単一ブロックにグループ化されたモデリングコンポーネントの集合です。
サブシステムの定義	一連の共有サブシステムの設定を定義するサブシステムブロックです。

索引

シンボル

- 2-D Math 表記, 70
- 3-D アニメーションウィンドウ, 127
- 3-D 動画, 150
- 3-D 表示
 - 直交, 132
- 3-D 表示
 - 遠近, 132
- 3-D 表示のコントロール
 - インプリシットジオメトリ, 134
 - 初期条件, 149
 - 添付形状, 135, 142
 - トレース線, 136
 - トレースの追加, 137
- 3-D 表示のナビゲーション, 132
- 3-D モデルの構築, 138
- 3-D モデルの動画を再生する, 150
- 3-D ワークスペース, 130
 - 軸の指定, 132
- アルファ, 113
- 因果的モデリング, 2, 6, 9
- インプリシットジオメトリ, 134
- 埋め込みコンポーネント, 177
- 運動学的拘束, 141
- 介在変数, 3
 - カスタムコンポーネント, 91
- 外部 C コード/DLL
 - カスタムコンポーネント, 175, 237
- 可視化, 127
 - 透明度, 127
- 可視化のパラメータ
 - 設定, 128
- カスタムコンポーネント
 - 外挿データからのモデリング, 227
 - 外部 C コード/DLL, 175, 237
 - カスタムコンポーネントについて, 83
 - テンプレート, 231
 - 編集, 96
 - 方程式の定義, 98
 - ポートの定義, 99
- カスタムプロットウィンドウ, 120
- カスタムライブラリ, 65
- 可変時間ステップ, 110
- キーボードショートカット, 283
- 許容誤差, 111
- グリッド
 - 3-D グリッド, 142
 - CAD ジオメトリの使用, 142
- グローバルパラメータ, 183
- 結線, 28
 - 色, 28
- 拘束安定化, 113
- 拘束条件に対する射影法, 114, 169
 - イベント処理, 114
 - 許容値, 114
 - 収束計算, 114
- 拘束条件の計算法オプション, 169
- コード生成
 - C コード, 163
 - サブシステム, 164
 - 初期化, 166
- 固定時間ステップ, 110
- コンストラクトモード, 138
- コンポーネントプロパティの指定, 13
- サブシステム

- 共有, 36
- コード生成, 164
- 作成と管理, 33, 182
- 定義, 36
- パラメータ, 50
- 複数インスタンスの編集, 39
- ポートの追加, 189
- モデルにサブシステム定義と共有サブシステムを追加する, 37
- モデルにサブシステムのコピーを複数追加, 36
- リンク, 37, 44
- 時間
 - シミュレーションの開始, 110
 - シミュレーションの実行, 113
 - シミュレーションの終了, 110, 113
- 時間ステップ, 110
- シミュレーション, 115
 - 初期条件, 119
- シミュレーションオプション設定, 112
- シミュレーショングラフ, 125
- シミュレーション結果
 - 管理, 119
 - グラフデータのエクスポート, 121
 - 進捗状況メッセージ, 117
 - スナップショット, 119
 - 比較, 119
 - 表示, 118
 - 保存, 119
 - メッセージコンソールの消去, 118
- シミュレーションの開始時間, 110
- シミュレーションの実行時間, 113
- シミュレーションの設定, 110
- シミュレーションのパラメータ
 - Compiler, 116
 - 設定, 109
 - 状態, 119
 - 初期化, 166
 - 初期条件, 59
 - オーバーライド, 63
 - 指定, 31
 - 初期条件の強制のベストプラクティス, 80
 - 初期条件の強制方法の指定, 32
 - 信号フロー, 89
 - 診断メッセージ, 8, 74
 - 進捗の情報メッセージ, 118
 - スタンドアロンサブシステム, 44
 - スナップショット, 119
 - 使用, 113
 - 接続ポート, 28
 - 設定
 - シミュレーション, 110
 - シミュレーションオプション, 112
 - 線形系
 - 解析, 159
 - 単位
 - パラメータ単位の指定, 30
 - 注釈, 68
 - チュートリアル, 179
 - 基本チュートリアル: RLC 回路と DC Motor のモデリング, 19
 - 通過変数, 3
 - カスタムコンポーネント, 91
 - 矢印方向の規則, 18, 77, 109
 - データセット
 - Maple で作成, 72
 - モデルの生成, 64

- デバッグコンソール, 45
- 添付パレット, 64
- テンプレート
 - カスタムコンポーネント, 98
 - カスタムコンポーネントについて, 85
 - コード生成, 163
 - 最適化, 161
 - 線形解析, 159
 - 方程式の解析, 158
- トレース線, 127, 135, 136, 137, 138
- 流れ方向, 3
- パラメータ
 - グローバルパラメータ, 47
 - サブシステムパラメータ, 50
 - パラメータ詳細設定, 50, 58
 - パラメータセット, 117
 - 変数詳細設定, 58
- パラメータオーバーライド, 59
- パラメータセット, 57
- パラメータ値, 13
- パラメータの最適化, 161
- パラメータブロック, 51
- パレット, 8, 21
- 非因果的マッピング, 90
- 非因果的モデリング, 2, 3, 6, 9
- 微分代数方程式, 2
- 描画, 68
- 符号の規則, 3
- 物理コンポーネント, 91
- 物理モデル
 - 解析, 153
 - ナビゲーション, 27
- プローブ, 108
 - 追加, 14
 - 矢印方向の規則, 18, 77, 109
- プローブの追加, 14
- プローブパレット, 116
- プロット
 - 2つ目の変数をグラフに追加する, 121
 - X軸変数の設定, 124
- プロットウィンドウ, 125
- ベータ, 113
- ベストプラクティス, 79
 - 1-D 並進モデルの作成, 77
 - サブシステムの作成と配置, 73
 - 初期条件の強制, 80
 - 電気モデルの作成, 75
 - マルチボディモデルの作成, 78
 - モデルのシミュレーションと可視化, 151
 - 油圧モデルの作成, 79
- ヘルプペイン, 22
- 変数のスケーリング, 115
- 方程式
 - 取得, 158
- 方程式の抽出
 - テンプレート, 247
- ポートとパラメータの管理, 167
- 補間テーブル, 192
- 保存結果
 - シミュレーションから, 118
- 保存量のフロー
 - 矢印方向の規則, 18, 77, 109
- マルチボディ
 - マルチボディモデルを作成するためのベストプラクティス, 78
- マルチボディのパラメータ値, 130
- モデリングコンポーネント

接続, 12
モデル
 作成, 10
モデルツリー, 23
モデルの構築
 3-D モデルのアセンブル, 140
 3-D モデル構築中に添付形状を表示する, 142
 3-D ワークスペースでのオブジェクトの移動, 139
 3-D ワークスペースでのオブジェクトの追加と移動, 143
 拘束解除ボタンの使用, 141
モデルへのファイルの添付, 64
モデルワークスペース, 8
矢印方向の規則, 75, 77
油圧システム, 281
 Bernoulli の式, 251
 Darcy の式, 251
 Joukowsky の式, 276
 圧縮率, 266
 ウォーターハンマー, 270
 カスタムコンポーネント, 277, 280
 基本的な油圧方程式, 251
 基本的な油圧ライブラリコンポーネント, 249, 253
 スプール弁, 257
 パスカルの原理, 265
 並進運動, 261
 摩擦係数, 252
 マルチドメイン, 258
 マルチボディの油圧, 263
 流体慣性, 268

例

1つの物理量を別の物理量に対してプロットする, 124
3-D ワークスペースでの二重振り子モデルの作成, 142
Maple でのデータセットの作成, 72
既存モデルからカスタムライブラリを作成, 66
共有サブシステムとそのサブシステム定義とのあいだのリンクの解除, 43
共有サブシステムへのサブシステムパラメータの代入, 50
グローバルパラメータの定義と代入, 48
サブシステムの作成, 34
スタンドアロンサブシステムのコピーと貼り付け, 46
デバッグコンソールに表示される警告メッセージを処理する, 45
同一サブシステム定義にリンクしている共有サブシステムを編集する, 39
二重振り子のモデルへの添付形状の追加, 136
パラメータオーバーライドの作成, 59
パラメータブロックの作成と使用, 52
非線形バネダンパカスタムコンポーネント, 103
複数の物理量を個別のグラフにプロットする, 121
モデルへのテキスト注釈の追加, 68

A

API コマンド, 177

B

Baumgarte, 113
 アルファ, 113
 ベータ, 113

C

CAD ジオメトリ, 142
Compile optimized, 116
Compiler, 116

D

DAE 変数, 241

E

EMI コンポーネントオプション, 168
Event hysteresis, 114
Event iterations, 114
Event Projection, 114

I

Index 1 error control, 114
Index 1 tolerance, 115
Initial hysteresis, 115

J

Jacobian, 113

L

Latest results
 シミュレーションから, 118

M

MapleSim ウィンドウ, 7

MapleSim コンポーネントライブラリ,
6, 9, 21

MapleSim モデル
 埋め込みコンポーネント, 177

Minimize events, 115

Modelica, 105

Modelica カスタムコンポーネント, 84

P

Plot events, 115

Plot points, 112

Projection, 114

Projection iterations, 114

Projection Tolerance, 114

S

Scaling, 115

Simulation duration time, 110

Simulation start time, 113

Solver, 111

Solver diagnostics, 115

Solver type, 110

Step size, 112

T

Time

 Simulation duration, 110

 Simulation start, 113

