MapleSim ユーザガイド

Copyright © Maplesoft, a division of Waterloo Maple Inc. 2026

MapleSim ユーザガイド

版権

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

© Maplesoft, a division of Waterloo Maple Inc. 2008-2026. 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。

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。

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 (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
アクションカード概要 8
MapleSim ウィンドウの概要 12
1.3 基本チュートリアル : RLC 回路と DC Motor のモデリング 18
RLC 回路モデルの作成 18
コンポーネントプロパティの指定 22
プローブの追加 22
RLC 回路モデルのシミュレーション 24
シンプルな DC モータモデルの作成 25
DC モータモデルのシミュレーション 27
2 モデルの構築 29
2.1 MapleSim コンポーネントライブラリ 29
コンポーネントに対するヘルプトピックの表示 30
旧バージョンの MapleSim で作成したモデルの更新 31
2.2 モデルの閲覧 31
モデルツリー 31
モデルナビゲーションコントロール 35
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 36
2.4 コンポーネントプロパティの指定 38
パラメータ単位の指定 38
初期条件の指定 39
2.5 サブシステムの作成と管理 41
例 : サブシステムの作成 42
サブシステムの詳細を表示する 43
モデルにサブシステムのコピーを複数追加 44

サブシステム定義と共有サブシステムの編集 48
スタンドアロンサブシステムの操作 53
2.6 グローバルパラメータとサブシステムパラメータ 56
グローバルパラメータとパラメータブロック 56
サブシステムパラメータ 59
サブシステムパラメータに対するパラメータブロックの使用 61
パラメータセットの作成 66
パラメータと変数の詳細設定の利用 67
2.7 モデルへのファイルの添付 74
2.8 カスタムライブラリの作成と管理 75
例 : 既存モデルからカスタムライブラリを作成 76
2.9 モデルへの注釈の追加 78
例 : モデルへのテキスト注釈の追加 79
2.10 2-D Math 表記によるテキスト入力 80
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 82
例 : Maple でのデータセットの作成 82
2.12 ベストプラクティス : モデルの構築 83
ベストプラクティス : サブシステムの作成と配置 83
ベストプラクティス : 電気モデルの構築 85
ベストプラクティス : 1-D 並進モデルの構築 88
ベストプラクティス : マルチボディモデルの構築 89
ベストプラクティス: 油圧モデルの構築 90
ベストプラクティス : 初期条件の強制 91
3 カスタムコンポーネントの作成 93
3.1 カスタムコンポーネントについて 93
シンプルなカスタムコンポーネントの作成 94
一般的な使用方法 95
カスタムコンポーネントテンプレートの使用 96
3.2 信号フロー動作を持つカスタムコンポーネントの作成 96
シンプルな信号フローの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での微分方程式の使用 102
3.3 物理接続を備えたカスタムコンポーネントの作成 103
抵抗のシステム方程式の導出 103
3.4 MapleSim におけるカスタムコンポーネントの操作 104

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 105
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 105
カスタムコンポーネントの編集 105
3.5 例 : 非線形ばねダンパカスタムコンポーネントの作成 106
カスタムコンポーネントテンプレートを開く 107
コンポーネントの名前と 方程式の定義 107
コンポーネントのポートの定義 108
次元のチェック 111
カスタムコンポーネントの生成 112
4 モデルのシミュレーションと可視化 115
4.1 MapleSim によるモデルのシミュレーションのしくみ 115
Modelica 記述 115
モデルの記述 115
システム方程式 116
方程式の簡略化 116
積分とイベント処理 116
シミュレーション結果 117
4.2 モデルのシミュレーション 118
シミュレーションの実行 120
パラメータブロックを使用したシミュレーションの再実行 120
シミュレーション設定とシミュレーションのオプション設定 126
プローブ値の編集 133
シミュレーション結果の比較のためのパラメータセットの保存 134
4.3 シミュレーションの進捗状況メッセージ 134
4.4 シミュレーション結果とスナップショットの管理 135
保存結果 136
スナップショットの保存と使用 136
4.5 プロットウィンドウ構成のカスタマイズ 137
例 : 複数の物理量を個別のグラフにプロットする 138
例 : 1 つの物理量を別の物理量に対してプロットする 141
4.6 マルチボディモデルの可視化 145
3-D 可視化とマルチボディ設定 146
3-D ワークスペース 147
3-D モデルの表示と閲覧 149

3-D モデルへの形状の追加 151
3-D ワークスペースでモデルを作成する 156
例:3-D ワークスペースで二重振り子のモデルを構築してアニメーションを再生する 160
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 169
シミュレーション時間が長いモデルでは外部 C コンパイラを使用する 169
モデルの一部の結果を比較する 169
5 モデルの解析と操作 171
5.1 概要 171
MapleSim Apps 171
Apps の操作 173
テンプレートとスクリプトワークシートの操作 174
サブシステムの使用 175
5.2 モデルから方程式とプロパティを取得 176
5.3 線形システムの解析 177
線形システム解析 177
5.4 パラメータの最適化 178
5.5 モデルからの C コードの生成とエクスポート 179
MapleSim でエクスポートする場合のモデルの準備 181
コード生成 App を開く 183
サブシステムの読み込み 183
ポートとパラメータの管理 183
コード生成オプションの選択 185
C コードの生成と保存 187
5.6 外部 C コード/ライブラリ定義からカスタムコンポーネントを生成 188
外部 C コード/ライブラリ定義 App を開く 189
C/ライブラリコードの場所とオプションの指定 189
C/ライブラリコードの保存場所とオプションの定義 191
コンポーネント生成 192
5.7 MapleSim API と Maple コマンドの操作 192
5.8 Maple の埋め込みコンポーネントを扱う 193
6 MapleSim チュートリアル 195
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 195

DC Motor のモデルにギアボックスを追加 196
ギアボックス付き DC Motor モデルのシミュレーション 197
DC Motor コンポーネント群をグループ化してサブシステムを作成 198
グローバルパラメータを定義しモデルに代入する 199
異なるパラメータ値でシミュレーションを再実行 201
入力値と出力値の変更 203
6.2 チュートリアル 1 : ギアボックス付き DC Motor のモデリング 205
ケーブル張力コントローラのモデルを作成する 205
コンポーネントプロパティの指定 208
再コンパイルせずにシミュレーションを再実行 208
ケーブル張力コントローラのシミュレーション 209
6.3 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
バネダンパカスタムコンポーネントの生成 210
減衰係数値の定義 211
非線形ダンパモデルの作成 211
サブシステムにパラメータを代入 215
線形バネ付き非線形ダンパモデルのシミュレーション 217
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 219
平面リンクサブシステムの作成 220
パラメータの定義と代入 222
クランクとコネクティングロッドの作成 223
固定フレーム、スライダ質量、ジョイント要素を追加 225
初期条件の指定 226
平面スライダクランク機構のシミュレーション 227
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 228
例 : 温度依存抵抗のモデリング 229
例 : コンプライアント接地と区分関数 235
例 : カスタムポート 241
高度なカスタムコンポーネントの利用方法 247
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 App の使用 254
6.7 チュートリアル 7 : 方程式の抽出 App の使用 260
App の説明 261
方程式の生成 263

6.8 チュートリアル 8 : 油圧システムのモデリング 266
計算上の問題 266
基本的な油圧ライブラリコンポーネント 267
基本的な油圧方程式 269
シンプルな油圧ネットワークの解析 271
油圧流路の制御の概要 275
機械-油圧システム 276
作動油の圧縮性の概要 284
流体慣性モデルの概要 286
ウォーターハンマーモデルの概要 288
7 リファレンス : MapleSim のキーボードショートカット 297
用語集 305
索引 307

図目次

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: シンプルな通過変数と介在変数のモデル 4
図 1.4: シンプルな通過変数と介在変数の電気モデル 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 13
図 1.8: 電圧応答のプロット 25
図 1.9: Rotational EMF と Inertia の結線 26
図 1.10: DC モータのトルクと角速度 28
図 2.1: モデルツリー内のコンポーネントビュー 32
図 2.2: モデルツリーを使用したコンポーネントの選択 34
図 2.3: サブシステムの調査 35
図 2.4: モデルナビゲーションコントロール 35
図 2.5: Conversion Block ブロックを使用した単位の指定 39
図 2.6: 初期条件 40
図 2.7: サブシステムグループ 41
図 2.8: サブシステムの作成 42
図 2.9: 複数のサブシステムの作成 45
図 2.10: サブシステム定義 46
図 2.11: 共有サブシステムを複数追加 47
図 2.12: DC Motor サブシステム 49
図 2.13: サブシステムのコピーダイアログ 55
図 2.14: 添付 75
図 2.15: 力の矢印の確認 89
図 2.16: 重心配置のベストプラクティス 89
図 2.17: 油圧モデル 90
図 3.1: コンポーネント作成 Apps 94
図 3.2: カスタムコンポーネントを定義する方程式 97
図 3.3: ポートマッピング 98
図 3.4: 変数とポートのマッピング 99
図 3.5: 生成されたカスタムコンポーネント 100

図 3.6: 完成したカスタムコンポーネントモデル 101
図 3.7: 二重質量ばねダンパ系の方程式 102
図 3.8: 二重質量ばねダンパ系のポートマッピング 102
図 3.9: 抵抗のポートマッピング 104
図 3.10: 非線形ばねダンパカスタムコンポーネント 106
図 4.1: シミュレーションプロセス 118
図 4.2: 進捗状況メッセージ 135
図 4.3: シミュレーションのオプション設定のスナップショット 137
図 4.4: 保存結果パレットとスナップショット 137
図 4.5: シミュレーショングラフ 139
図 4.6: カスタムプロットウィンドウ 141
図 4.7: ある物理量に対して別の物理量をプロットする 144
図 4.8: 3-D ワークスペース 148
図 4.9: 3-D 表示のコントロール 150
図 4.10: 二重振り子の遠近表示 150
図 4.11: 二重振り子の直交表示 151
図 4.12: 二重振り子のインプリシットジオメトリ 152
図 4.13: 添付形状 153
図 6.1: ケーブル張力コントローラ 209
図 6.2: 非線形ダンパモデル 213
図 6.3: 平面スライダクランク機構 219
図 6.4: 温度依存抵抗 234
図 6.5: 落下するボール 235
図 6.6: 跳ねるボールの力学 236
図 6.7: バウンドするボール 239
図 6.8: バウンドするボールの結果 241
図 6.9: カスタムポート 243
図 6.10: カスタムポートの使用 244
図 6.11: 遠心ポンプの揚程-流量曲線 248
図 6.12: 遠心ポンプカスタムコンポーネント 251
図 6.13: Windows 用の外部 C コードの定義 255
図 6.14: Unix 用の外部 C コードの定義 256
図 6.15: パイプを通る流れ 272
図 6.16: 流路の制御 276

図 6.17: 固定流量源による並進運動 277
図 6.18: 固定圧力源による並進運動 279
図 6.19: 固定圧力源の結果 281
図 6.20: 並進固定フランジと油圧コンポーネント 282
図 6.21: 回転固定フランジと油圧コンポーネント 282
図 6.22: パスカルの原理の例 284
図 6.23: 作動油の圧縮性 285
図 6.24: 流体慣性を使用しないシステム 287
図 6.25: 流体慣性を使用したシステム 287
図 6.26: 流体の慣性がある場合とない場合のシステム 288
図 6.27: ウォーターハンマー 290
図 6.28: 離散化されたパイプラインのセグメント 291
図 6.29: ウォーターハンマーの圧力と流量 294

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 13
表 2.1: MapleSim コンポーネントライブラリ 29
表 2.2: モデルナビゲーションコントロール 36
表 2.3: ドメイン固有の結線の色 37
表 2.4: 2-D Math 表記のキーの組み合わせ 81
表 3.1: ポートのマッピング 99
表 3.2: 信号フローコンポーネント 100
表 3.3: 通過変数と介在変数の特徴 103
表 3.4: 通過変数と介在変数の数学的関係 103
表 3.5: 抵抗の変数とパラメータ 104
表 4.1: シミュレーション設定 127
表 4.2: シミュレーションオプション設定 130
表 4.3: マルチボディ設定のパラメータ値 146
表 4.4: 3-D 可視化のパラメータ値 147
表 4.5: 3-D ワークスペースのコントロール 149
表 5.1: MapleSim Apps 172
表 5.2: MapleSim テンプレート 174
表 6.1: 温度依存抵抗コンポーネント 233
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 240
表 6.3: 遠心ポンプのデータ 248
表 6.4: 円形パイプのパラメータ 249
表 6.5: 遠心ポンプのコンポーネント 250
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 258
表 6.7: 基本的な油圧ライブラリコンポーネント 268
表 6.8: ベルヌーイの式とダルシーの式の表記 270
表 6.9: 円形パイプのパラメータ 271
表 6.10: 油圧コンポーネント 273
表 6.11: スプール弁 276
表 6.12: 固定流量源を使用した並進運動 278
表 6.13: 固定圧力源を使用した並進運動 280
表 6.14: マルチボディコンポーネントの駆動 282

表 6.15: 作動油の圧縮性に関するコンポーネント 285
表 6.16: 密閉式油圧システムコンポーネント 286
表 6.17: 流体慣性 286
表 6.18: Fluid System Properties の設定値 291
表 6.19: ウォーターハンマープロパティ 292
表 7.1: モデルの開閉と保存 297
表 7.2: ブロックダイアグラムでのモデルの作成 297
表 7.3: モデルへのアノテーションの追加 298
表 7.4: ブロックダイアグラムでのモデルの表示 298
表 7.5: 3-D 表示でのモデルの表示 300
表 7.6: モデルのシミュレーション 302
表 7.7: コンソールペインのナビゲーション 303
表 7.8: プロットウィンドウのレイアウト変更 303
表 7.9: Modelica カスタムコンポーネントの編集 303
表 7.10: その他 304

はじめに

MapleSim の概要

MapleSim™ 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、精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、700 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、Maple™ 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 Apps と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 2026.2 を使用するには、Maple 2026.2 が必要です。

また、Maplesoft™ 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。 • **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。**[ヘルプ]** メニューから **[例題]** を選択してこれらの例題にアクセスします。
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。これらの例題にアクセスするには、**[ヘルプ]** メニューから **[例題]** > **[ユーザガイドの例題]** を選択してください。例題は章ごとにリストされており、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** を参照してください。
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/** を参照してください。

追加情報については、**http://www.maplesoft.com/site_resources**を参照してください。

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** を参照してください。

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 のモデリング基本チュートリアル : RLC 回路と DC Motor のモデリング [18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記述します。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 (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

トポロジ表現は、容易に数学表現に対応付けられ、MapleSim のシンボリック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取り除かれます。これらの簡略化ツールはさらに式を結合および簡約し、忠実度を損なうことなくシステムを表現するために必要な最小限の方程式系を得ます。

拡張微分代数方程式ソルバ

トポロジアプローチでは、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 を解くための、最先端の記号技術と数値技術を結集した高度な DAE ソルバを採用しています。

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実際の機械は、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 (または信号フロー) 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。

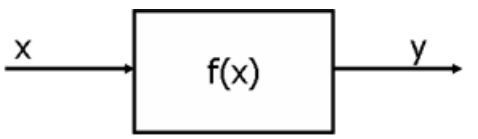


図1.1 因果的モデルブロックダイアグラム

このアプローチは代入に似ており、右辺で既知変数または変数集合に関する計算が行われ、結果が左辺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双方向に流れます。これはプログラミングにおける単純な等式に似ています。

$$y = f(x)$$

信号には、どの物理量 (エネルギー、電流、トルク、熱流量、質量流量など) が保存量であるかといった情報が含まれます。そしてブロックには、従うべき物理法則 (方程式) などの情報が含まれます。

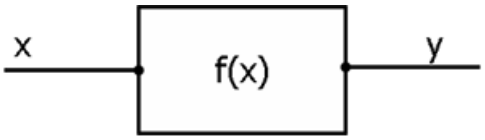


図1.2 非因果的モデルブロックダイアグラム

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 (スルー変数) と介在変数 (アクロス変数) の確認が有効です。一般的に、介在変数はシステム内の駆動力を表し、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 シンプルな通過変数と介在変数のモデル

符号規約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、**[ヘルプ]** メニューの **[例題] > [ユーザガイドの例題] > [第 1 章]** 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。

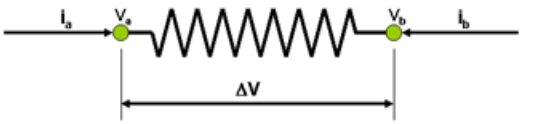


図1.4 シンプルな通過変数と介在変数の電気モデル

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。

表1.1 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)	起磁力 (A)
メカニカル (並進)	力 (N)	位置 (m)
メカニカル (回転)	トルク (N·m)	角度 (rad)
油圧	流量 $\left(\frac{m^3}{s}\right)$	圧力 $\left(\frac{N}{m^2}\right)$
伝熱	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 (インダクタ) 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。

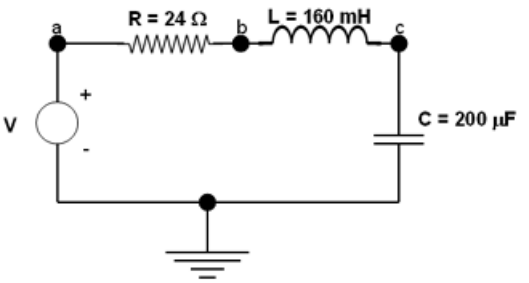


図1.5 RLC 回路

この回路を手動でモデリングする場合、抵抗、インダクタ、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。

$$i_V - i_R = 0$$

$$i_R - i_L = 0$$

$$i_L - i_C = 0$$

これらの方程式に加え、入力電圧を以下のように定義します。(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)

$$V_a = \begin{cases} 0.0 & 0.0 \le t < 1.0 \\ 1.0 & \mathrm{t} \ge 1.0 \end{cases}$$

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 のモデリング基本チュートリアル : RLC 回路と DC Motor のモデリング [18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。

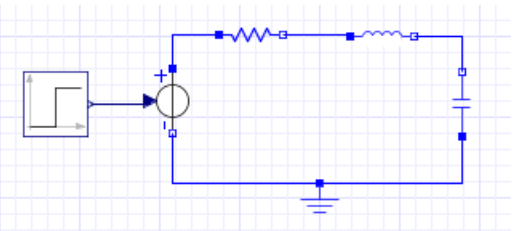


図1.6 RLC MapleSim 回路

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、**[ヘルプ]** メニューの **[例題]** > **[ユーザガイドの例題]** > **[第 1 章]** から 「**Double Mass Spring Damper**」の例題を参照してください。

1.2. MapleSim ウィンドウ

MapleSim を起動すると、以下のようなウェルカム画面が表示されます。この画面はアプリケーションの入口として機能し、モデル作成時によく使用する主要なタスクを表示します。必要な機能を探すためにメニューをたどる代わりに、すぐに作業を開始できる 4 つのアクションカードが表示されます。

ウェルカム画面の内容

ウェルカム画面には、整理されたシンプルなインターフェースと、クリック可能な 4 つの大きなアクションカードが表示されます。

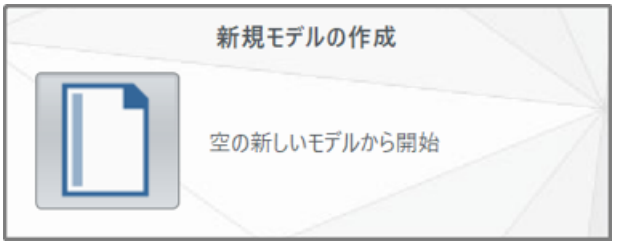
1. **新規モデルの作成** - 新しいモデルの作成を開始します。
2. **保存済みモデルを開く** - 以前作成して保存したモデルを読み込みます。
3. **例題モデルを見る** - 学習用として用意されたサンプルモデルを参照して開きます。
4. **検索** - ドキュメント、サンプルモデル、および学習リソースを検索します。



アクションカード概要

ウェルカム画面の各アクションカードを選択すると、それぞれ異なるワークフローが開始されます。各オプションをいつ使用すべきかを理解しておくことで、MapleSim のセッションを効率的に開始することができます。

新規モデルの作成



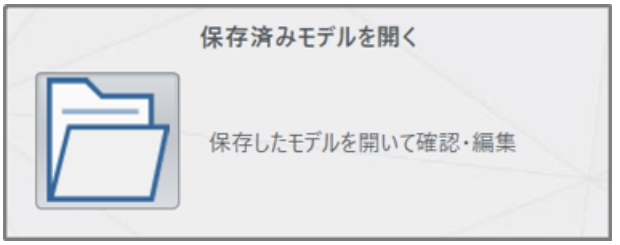
新しいモデルを作成するには、ウェルカム画面の **[新規モデルの作成]** アイコンをクリックしてください。ワークスペースに空白のモデルが開きます。

同様の操作は、

- **[ファイル] > [新規作成] > [モデル]** を選択
- **ファイルツールバー**の **[新規モデル]** アイコン をクリック
- 既にモデルを開いている場合は、タブの右隣の **+** マークをクリック

でも行うことができます。

保存済みモデルを開く



以前に作成したモデルの作業を再開したい場合は、

1. ウェルカム画面で **[保存済みモデルを開く]** のアイコンをクリックします。
2. ファイル選択ダイアログで、保存したモデルのファイルの保存場所を指定します。
3. モデルを選択し、**[開く]** をクリックします。

同様の操作は、

- **[ファイル] > [開く]** を選択
- **ファイルツールバー**の **[ファイルを開く]** アイコン をクリック

でも行うことができます。

最近開いたモデルの一覧

ウェルカム画面には、最近開いたモデルにすばやくアクセスできる機能があります。

最近モデルを開いたことがある場合、ウェルカム画面の **[最近開いた項目]** にそれらのモデルが表示されます。

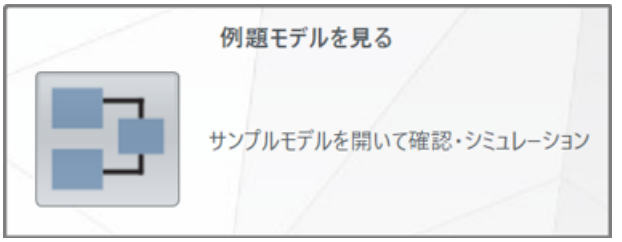
このリスト内のモデルをクリックすると、ファイルブラウザを使わずにすぐにそのモデルを開くことができます。



ヒント :

- 最近開いた項目を表示したくない場合は、**[最近開いた項目を表示]** のチェックを外すと非表示にできます。
- 頻繁に開くモデルは、ピンのアイコンをクリックすることで表示を固定/解除することができます。(固定したモデルは水色にハイライトされます)
- 表示される履歴を消去する場合は、消しゴムアイコン **[履歴の消去]** ( ) をクリックします。(固定したモデルの履歴は消去されません)

例題モデルを見る



[例題モデルを見る] をクリックすると、カテゴリ別に分類された例題モデルのメニューが表示されます。これらのサンプルモデルは、MapleSim の機能を紹介するとともに、学習リソースとしても役立ちます。

ダイアログを即座に開く他のアクションカードとは異なり、**[例題モデルを見る]** カードはサブメニューが展開表示されます。



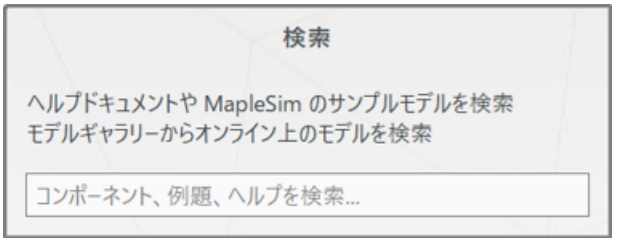
カテゴリをクリックするとそのカテゴリが展開されます。各カテゴリには、テーマやドメイン毎に分類されたモデルが含まれています。

同様の操作は、

- **[ヘルプ] > [例題]** を選択
- **ファイルツールバー**の **[例題モデルを開く]** アイコン をクリック

でも行うことができます。

検索



ウェルカム画面の **[検索]** 機能により、ヘルプドキュメント、例題モデル、モデルギャラリーのモデルを検索することができます。



同様の操作は、**ファイルツールバー**の **[検索]** フィールドでも行うことができます。



MapleSim ウィンドウの概要

ワークスペースのレイアウトを理解しておくと、作業を効率的に進めることができます。

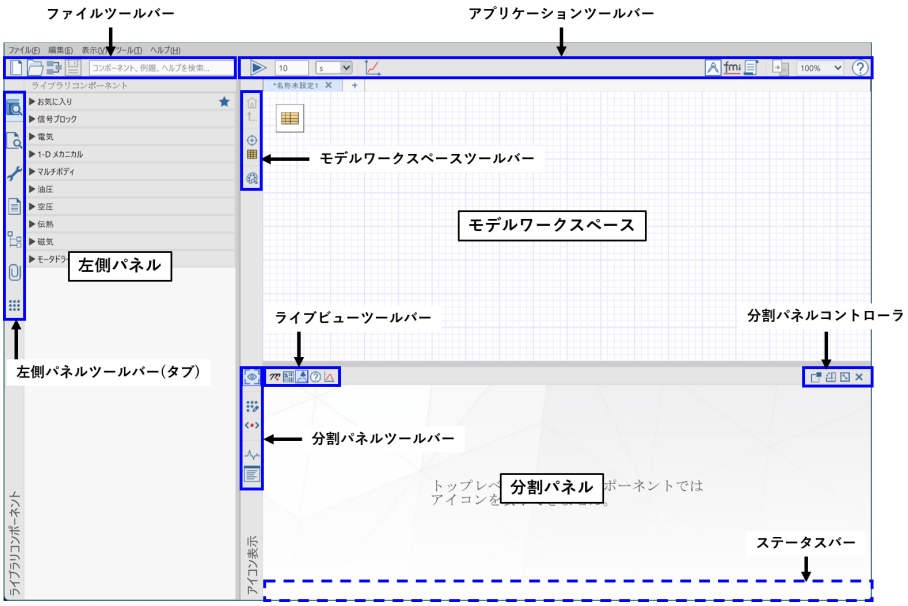


図1.7 MapleSim ウィンドウ

表1.2 MapleSim ウィンドウコンポーネント

コンポーネント	説明
ファイルツールバー	新規モデルの作成、既存ファイルを開く、例題モデルの参照、モデルの保存のための各種アイコン、および検索ウィンドウが含まれます。
アプリケーションツールバー	シミュレーションの実行 ( )、シミュレーション結果の表示( )、ワークシートの読み込み( )、ズーム倍率の変更、MapleSim のヘルプシステムの表示 ( )、およびその他の操作を行うためのツールが含まれています。
モデルワークスペース	モデリング作業領域です。ここにコンポーネントを配置し、コンポーネント間の結線を行います。キャンバスの背景には、コンポーネントの位置合わせを容易にするグリッドを表示できます。

コンポーネント	説明
モデルワークスペースツールバー	Main()や親コンポーネントに戻る()ためのアイコン、プローブの追加()やパラメータブロックの追加()、モデルワークスペースに文字や図形を描画するための描画ツール()が含まれています。

コンポーネント	説明
左側パネル	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。このパネルは**左側パネルツールバー**にある 7 つのタブで構成されています。 • **ライブラリコンポーネント** (): 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。 • **ローカルコンポーネント** (): 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。 • **シミュレーションの設定** (): シミュレーション時間や、ソルバおよびシミュレーションエンジンの任意のパラメータ値などのシミュレーションのオプションを指定できます。 **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**でマルチボディコンポーネントを可視化するためのオプションもここで指定できます。 • **プロパティ** ():名前やパラメータ値、初期条件、プローブ設定などの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することができます。コンポーネントやサブシステムをクリックすると、自動的にこのタブに切り替わり、プロパティが表示されます。 • **モデルツリー** (): モデル内のナビゲーション用のモデルツリーが配置されています。 • **添付ファイル** (): ドキュメント、パラメータセット、CAD 図面などを含むモデルの添付ファイルが配置されています。 • **Apps** (): モデルの構築と解析用のアプリケーションが配置されています。

コンポーネント	説明
分割パネル	**分割パネルツールバー**のアイコンをクリックすることで表示可能なパネルです。**分割パネルコントローラ**を利用することで、分割パネルのポップアウト、縦/横表示切り替え、最大化/元に戻す、非表示を制御できます。分割パネルに表示可能な 5 つの機能は、**分割パネルツールバー**のアイコンで切り替え可能です。 **セカンダリビュー** (): ワークスペースで選択されているコンポーネントに合わせた 5 つの項目を表示できます。これらは、*セカンダリビュー選択時*に表示される**ライブビューツールバー**で切り替えることが可能です。 • **App ビューワ** (): 左側パネルの **Apps** から開いたアプリケーションを表示し、モデルの構築や解析を行うことができます。 • **Modelica コードエディタ** (): Modelica コードエディタを表示します。Modelica コードを記述・編集し、Modelica カスタムコンポーネントの作成ができます。左側パネルの**ローカルコンポーネント**のライブラリテンプレートを開くことで、既存の Modelica コードをひな形として編集を行うことができます。 • **診断情報** (): シミュレーション実行時のエラーや警告を表示します。モデルの構築時に問題のあるサブシステムを特定し、デバッグのために診断メッセージを利用できます。 • **コンソール出力** (): 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の出力内容を消去することができます。

コンポーネント	説明
ライブビューツールバー	**分割パネルツールバー**で*セカンダリビュー選択時*に表示されるツールバーです。ワークスペースで選択されているコンポーネントに合わせた以下の5つの項目を表示できます。 • **コード表示** (): ワークスペースで選択されているコンポーネント、サブシステム、またはMain(モデル全体)のModelicaコードを表示します。複数のコンポーネントが選択されている場合はコードの表示はできません。 • **パラメータ表示**():ワークスペースで選択されているコンポーネントまたはサブシステムのパラメータを表示します。パラメータブロックとサブシステムのパラメータの追加/編集はここで行うことができます。Main や複数のコンポーネントが選択されている場合はパラメータの表示はできません。 • **アイコン表示**():ワークスペースで選択されているコンポーネントまたはサブシステムのアイコンを表示します。サブシステムのアイコンの編集はここで行うことができます。Mainや複数のコンポーネントが選択されている場合はアイコンの表示はできません。 • **ヘルプ**():利用できるヘルプがある場合、ワークスペースで選択されているコンポーネントのヘルプを表示します。Mainや複数のコンポーネントが選択されている場合はヘルプの表示はできません。 • **プロットビュー**():シミュレーション結果が存在する場合、ワークスペースで選択したコンポーネントについて、変数の時刻歴プロットや周波数スペクトルを表示し、比較することができます。
ステータスバー	シミュレーションの実行時に進捗状況を表示します。

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、シンプルな DC モータモデルを作成します。
6. さまざまなパラメータ値で DC モータモデルをシミュレートします。

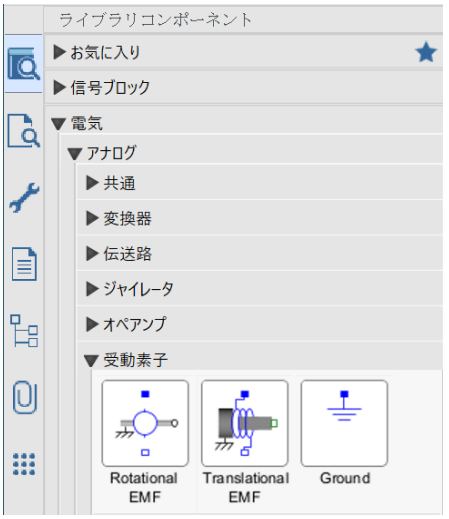
RLC 回路モデルの例は、**[ヘルプ]** メニューの **[例題]** > **[ユーザガイドの例題]** > **[第 1 章]** から「**RLC Circuit**」の例題を参照してください。作成するモデルは**RLC 回路**モデルと同じです。

RLC 回路モデルの作成

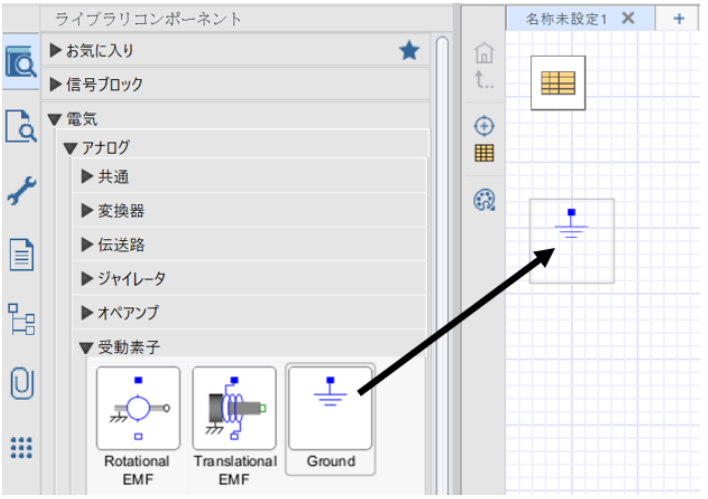
RLC 回路を作成するには、コンポーネントを**モデルワークスペース**に追加し、システム内の各コンポーネントを接続してダイアグラムを形成します。このRLC回路モデルの例では、電気コンポーネントライブラリの **Ground**、**Resistor**、**Inductor**、**Capacitor**、**Signal Voltage** ソースコンポーネントを使用します。また、**Step** 入力ソースも使用しますが、これは回路内で入力電圧レベルを動かす信号発生器です。

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 **[ライブラリコンポーネント]** 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。



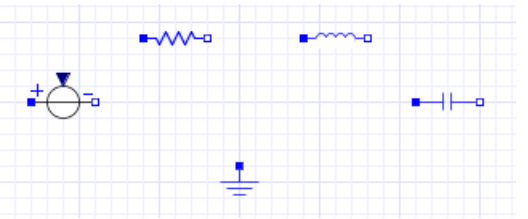
2. **[電気]** > **[アナログ]** > **[受動素子]** メニューから、**Ground** コンポーネントを**モデルワークスペース**にドラッグします。



3. **モデルワークスペース**に以下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 (Mac® では **[Control]** 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 (Mac® では **[Control]** 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 (Mac® では **[Control]** 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。

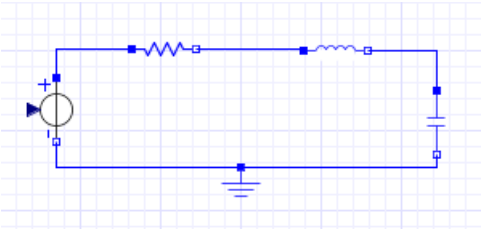


9. **Ground** 入力ポートをクリックし、結線を引きはじめます。

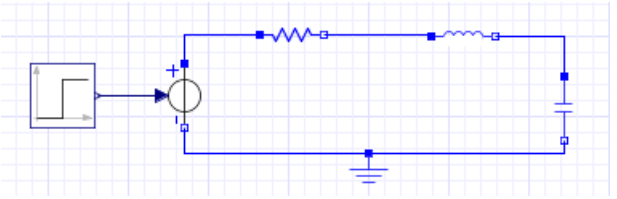
10. マウスポインタを **Signal Voltage** コンポーネントのマイナスポート上に移動させます。



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以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。

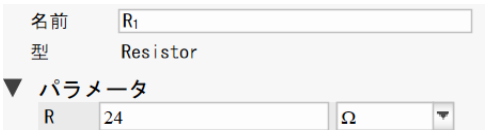


コンポーネントプロパティの指定

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**の左側にある**[プロパティ]**タブ()に、抵抗の名前とパラメータ値が表示されます。
2. 抵抗値 **[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 24 Ω 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 **160** mH を指定します。
- **Capacitor** のキャパシタンスに **200** $\mu\mathrm{F}$ を指定します。
- **Step** ソースの $\mathbf{T_0}$ の値に **0.1** s を指定します。

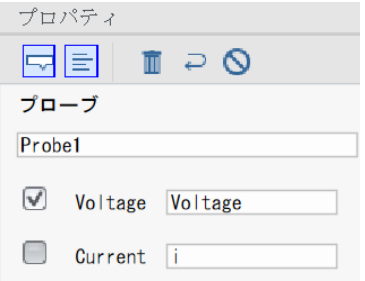
プローブの追加

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 回路の電圧を測定します。

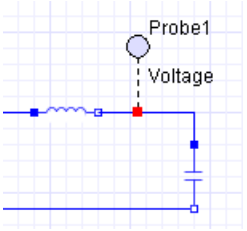
プローブを追加するには

1. **モデルワークスペースツールバー**の**プローブを追加**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移動し、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**の左側にある**[プロパティ]**タブ() にプローブのプロパティが表示されます。
6. 適宜プローブの名前を変更します。ここでは「**Probe1**」としています。**[プロパティ]** 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、**[ヘルプ]** メニューの **[例題] > [ユーザガイドの例題] > [第 1 章]** から 「**Sensors and Probes**」の例題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. **[シミュレーションの設定]**タブ()をクリックします。**[シミュレーションの設定]**がモデルワークスペースの左側に表示されます。**[シミュレーション設定]**セクションでシミュレーション時間 ($\mathbf{t_d}$) を **0.5** s に設定します。
2. **[オプション設定]** セクションで **[コンパイラ]** チェックボックスをオフにします。
3. **アプリケーションツールバー**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、電圧応答がグラフ上にプロットされます。

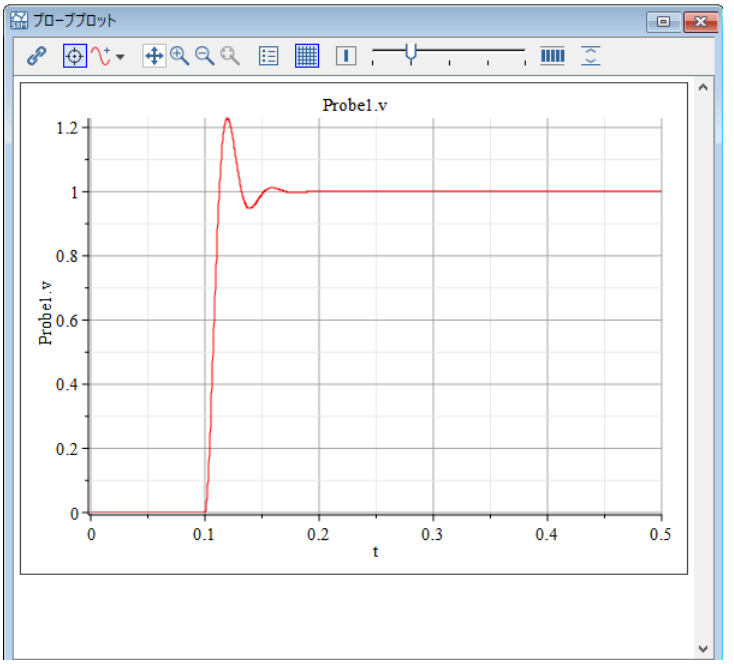


図1.8 電圧応答のプロット

4. モデルを「**RLC_Circuit1.msim**」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。

シンプルな DC モータモデルの作成

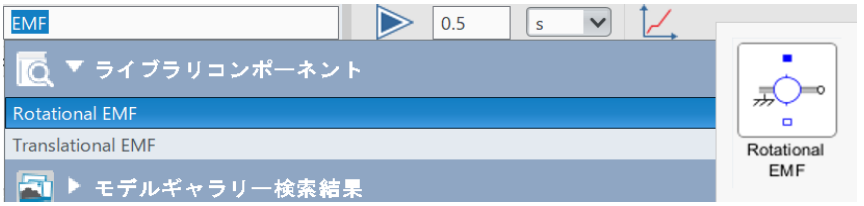
次に、起電力 (EMF) とメカニカル Inertia コンポーネントを RLC 回路モデルに追加し、DC モータモデルを作成します。この例では、検索機能を使用して RLC 回路モデルにコンポーネントを追加します。

シンプルな DC モータモデルを作成するには

1. **メインツールバー**の検索バーに、「**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の **[ライブラリコンポーネント]** セクション内にある **[Rotational EMF]** の上にカーソルを合わせます。**Rotational EMF** コンポーネントが検索フィールド横の四角形のツール領域内に表示されます。



3. **Rotational EMF** をクリックするか、表示されたコンポーネントアイコンをモデルワークスペースにドラッグして追加し、**Capacitor** コンポーネントの右側に配置します。
4. 検索バーに「**Inertia**」と入力します。
5. **モデルワークスペース**に **Inertia** コンポーネントをドラッグして **Rotational 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。

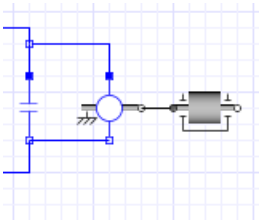


図1.9 Rotational EMF と Inertia の結線

注 : Rotational 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** (インダクタ) 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 **Rotational EMF** コンポーネントをクリックします。
8. **[プロパティ]** タブ( )に表示されたプロパティで変換係数 **[k]** の値を **10** $\frac{\mathrm{N\cdot m}}{\mathrm{A}}$ 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 **[T_0]** の値を **1** s に変更します。

DC モータモデルのシミュレーション

DC モータ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ツールバー**の**プローブを追加**アイコン ( ) をクリックします。
3. マウスポインタを **Rotational 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、**[プロパティ]** タブ( ) を表示し、**[AngularVelocity]** チェックボックスと **[Torque]** チェックボックスにチェックを付け、**[Angle]** チェックボックスのチェックを外します。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 **[プロパティ]** 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. プローブ名を「**Output**」に変更します。
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. **[シミュレーションの設定]** タブ ( ) で、シミュレーション時間 **[t_d]** を **5** s に設定します。

9. **アプリケーションツールバー**で **[シミュレーションの実行]** ( ) をクリックします。

10. **[シミュレーション結果を表示]** ( ) をクリックします。次のグラフが表示されます

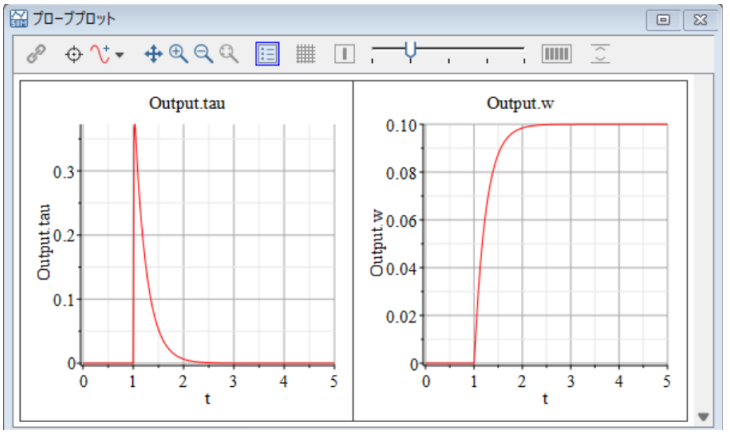


図1.10 DC モータのトルクと角速度

11. 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 [29ページ]*
- *モデルの閲覧 [31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 [36ページ]*
- *コンポーネントプロパティの指定 [38ページ]*
- *サブシステムの作成と管理 [41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 [56ページ]*
- *モデルへのファイルの添付 [74ページ]*
- *カスタムライブラリの作成と管理 [75ページ]*
- *モデルへの注釈の追加 [78ページ]*
- *2-D Math 表記によるテキスト入力 [80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 [82ページ]*
- *ベストプラクティス : モデルの構築 [83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数百も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 (信号ブロック、電気、1-D メカニカル、マルチボディ、油圧、空圧、伝熱、磁気、モータドライブ) 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 4.0.0 をベースとしています。

表2.1 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
空圧	シリンダ、方向制御弁、オリフィス、アクチュエータによって空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
モータドライブ	電気モータ、ドライバ、およびコントローラをモデル化するためのコンポーネント

ライブラリには、完成した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 [93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 ヘルプシステムでヘルプトピックを表示するには、以下のいずれかの操作を実行します。

- 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 (Mac では **[Control]** 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。
- メインツールバーのヘルプ検索ボックスを使用して任意のトピックを検索します。入力したキーワードに関連するヘルプトピックが **[ヘルプ検索結果]** セクションに表示されます。
- 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。

旧バージョンの MapleSim で作成したモデルの更新

MapleSim 2024.1 では、Modelica Standard Library 3.2.3 が Modelica Standard Library 4.0.0 に置き換えられました。以前のバージョンの MapleSim で作成したモデルは、MapleSim 2024.1 以降でも開くことができます。モデルは自動的に更新され、Modelica Standard Library 4.0.0 の対応するコンポーネントが使用されます。詳細については、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。

2.2. モデルの閲覧

[モデルツリー] 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] タブ () はパレットペインに配置されています。**[モデルツリー]** を使用して、モデル内の要素を閲覧したり、検索したり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、コネクタ、コンポーネント、コンポーネントタイプ、パラメータ、プローブ、添付を表示します。モデルツリービューを変更するには、**[検索]** ボックスの下にあるリストからビューの種類を選択します。以下の図は、*5 DoF Robot* のマルチボディの例題モデルで利用可能なドロップダウンメニューを示しています。

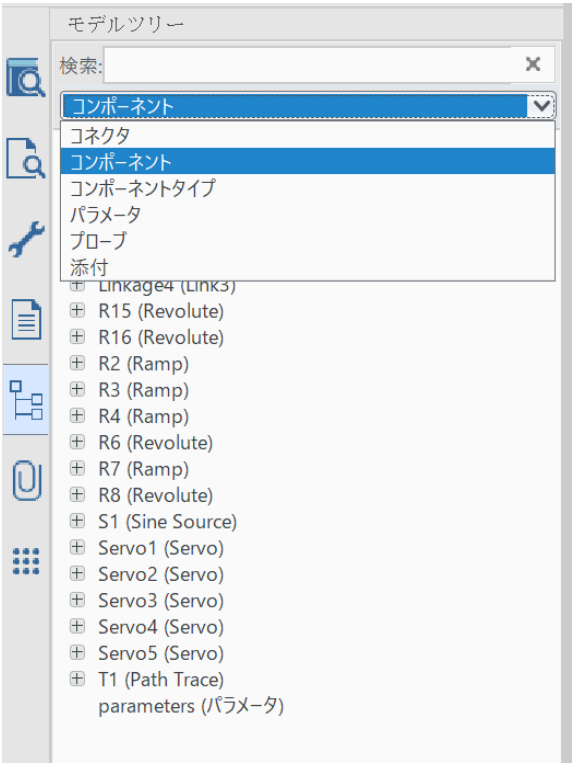


図2.1 モデルツリー内のコンポーネントビュー

以下のモデルツリービューから選択できます。

- **コネクタ :** このビューには、現在のモデルにあるすべてのコネクタが表示されます。
- **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を*名前順*に表示します。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。**[検索]** 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ことができます。(コンポーネントタイプは無視されます) デフォルトのモデルツリービューとなります。
- **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を型順に表示します。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]** 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ことができます。(コンポーネント名は無視されます)

- **パラメータ :** このビューは、モデルのパラメータ定義を表示します。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To Variableコンポーネントから取得されます。**[検索]** ボックスにキーワードを入力して、一致する名前のパラメータを探すことができます。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]** 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すことができます。
- **添付 :** このビューは、モデルに添付されているファイルを表示します。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。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]** 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を探すことができます。

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、モデルツリーで該当するコンポーネントノードまで移動し、そのノードを選択します。その状態で **[プロパティ]** タブ () をクリックすることで対象のコンポーネントのパラメータを表示できます。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。

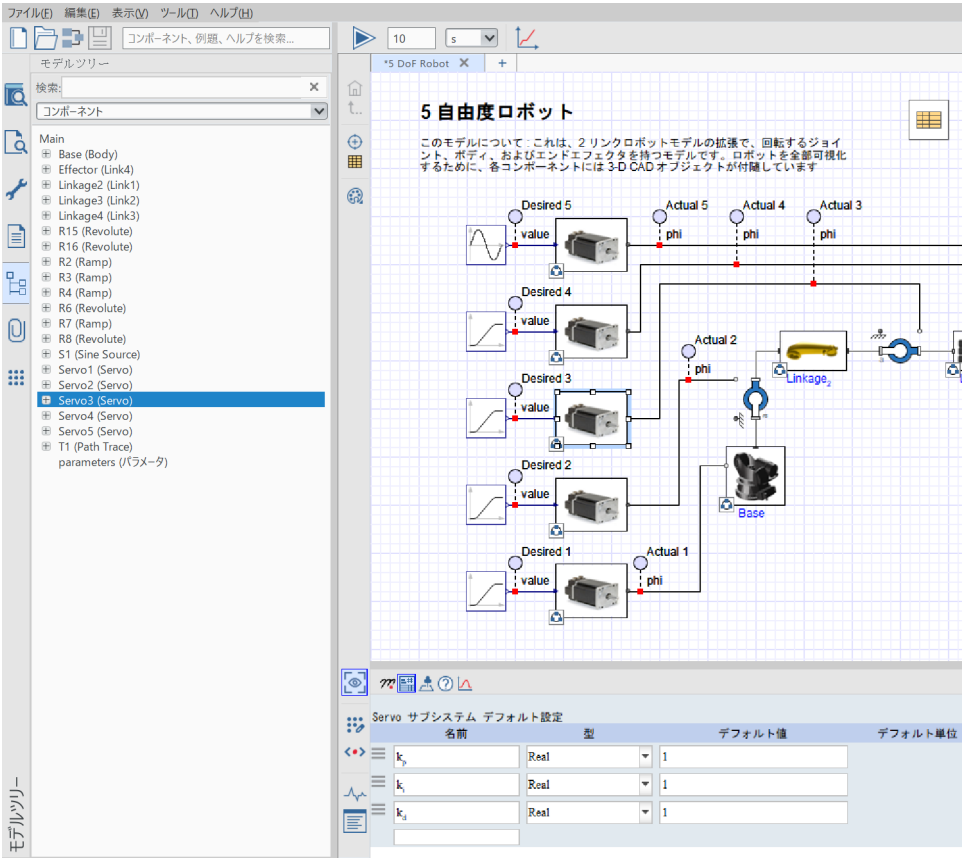


図2.2 モデルツリーを使用したコンポーネントの選択

複数のコンポーネントをモデルツリーで選択してから **[パラメータ]** タブをクリックすると、それらの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表示されます。共通の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て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。

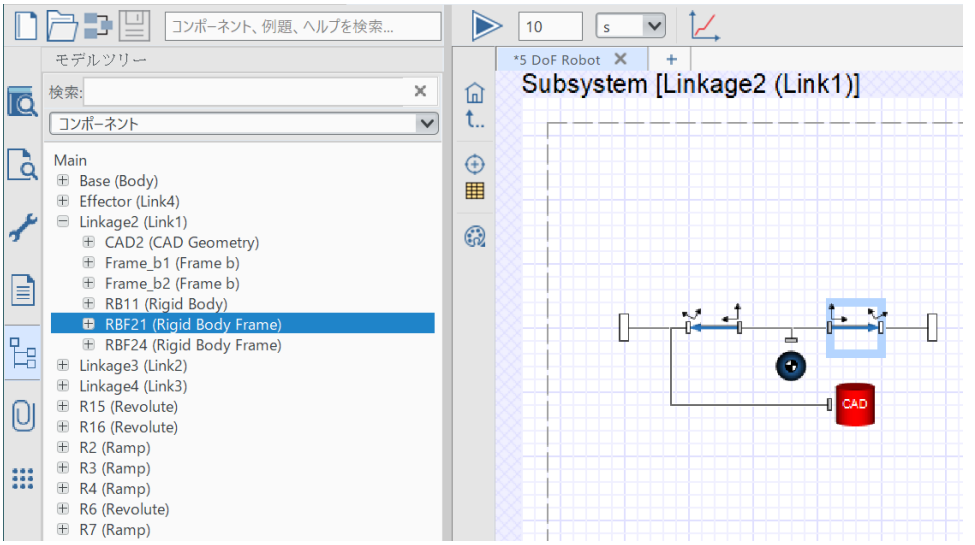


図2.3 サブシステムの調査

[モデルツリー] および複雑なモデル管理の詳細については、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ツールバーや、サブシステムをクリックすると表示される**ホバーメニュー**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内の、モデリングコンポーネントやサブシステム、階層レベル間を移動することもできます。



図2.4 モデルナビゲーションコントロール

以下の表ではこれらのコントロールの機能を説明し、関連するキーボードショートカットを示しています。

表2.2 モデルナビゲーションコントロール

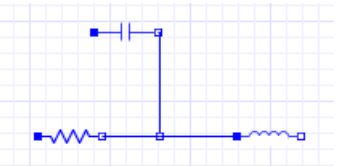
コントロール	キーボードショートカット	説明
	**[Home]**	モデルワークスペースツールバーに配置 モデルの Main レベルに戻る
	**[Ctrl] + 上矢印** **[Command] + 上矢印** (Mac)	モデルワークスペースツールバーに配置 上位階層に移動
	**[Ctrl] + 下矢印** **[Command] + 下矢印** (Mac)	サブシステムをクリックして表示される**ホバーメニュー**に配置  選択したコンポーネントの内部 (または子) を表示

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

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

表2.3 ドメイン固有の結線の色

ドメイン	ライン色
実数信号	濃紺
ブール信号	ピンク
整数信号	オレンジ
アナログ電気	青
デジタル電気	紫
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	濃灰色
油圧	赤
空圧	水色
伝熱	濃赤色
磁気	オレンジ

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複数の値 (または信号数) を関連付けることができます。信号数の異なるポート間の接続の場合、物理的に接続されている値が**モデルワークスペース**で明らかでない場合があるため管理が困難です。**接続マネージャ**はこのような接続の管理を容易にし、接続されているポートの確認や変更を行えるようにします。**接続マネージャ**にアクセスするには、**モデルワークスペース**で結線を選択してから、**[プロパティ]** タブ () を選択します。詳細については、MapleSim ヘルプシステムで、**MapleSim 操作方法 > モデルの構築 > 接続マネージャの使用**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 ウィンドウ左側の **[プロパティ]** タブ () に表示されます。

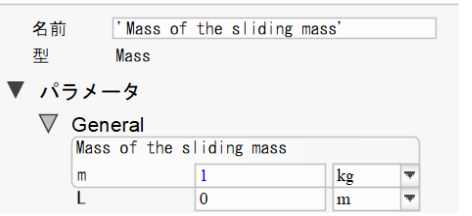
注 : すべてのコンポーネントに編集可能なパラメータ値があるわけではありません。

パラメータ値の入力には 2-D Math 表記を使用できます。これは、上付き文字や下付き文字、ギリシャ文字などの数式テキストを追加できる書式オプションです。詳細については、*2-D Math 表記によるテキスト入力 [80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。ただし、一部のパラメータについては、これらの値は単なるプレースホルダーであり、シミュレーションで使用する現実的な値を表していない場合があります。こうしたプレースホルダー値は、他のパラメータ値と区別できるよう青色のフォントで表示されます。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、slug、長さには m、cm、mm、ft、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 **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、体積などの単位を変換することができます。以下の例では、出力信号の単位を変換する **Conversion Block** コンポーネントが並進用の **Position Sensor** と **Feedback** コンポーネントのあいだに接続されています。

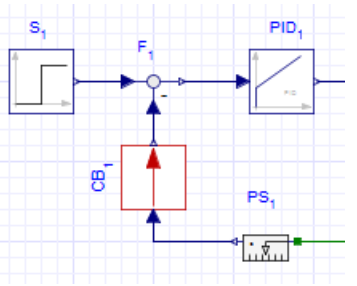


図2.5 Conversion Block ブロックを使用した単位の指定

モデルに電気、1-D メカニカル、油圧や熱のセンサ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 **[パラメータ]** タブに表示されます。

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

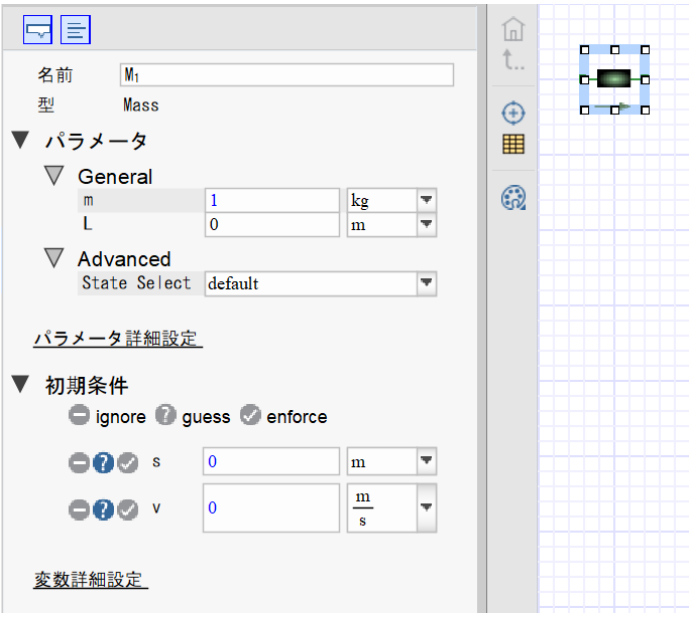


図2.6 初期条件

初期条件の適用方法の指定

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した値は無視され、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した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 [91ページ]* を参照してください。

初期条件の適用方法の例は、**[ヘルプ]** メニューの **[例題]** > **[ユーザガイドの例題]** > **[第 2 章]** から「**Relative Positions**」の例題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) とは、複数のモデリングコンポーネントをひとつのブロックコンポーネントとしてグループ化したものです。シンプルな DC モータのサブシステムを下図に示します。

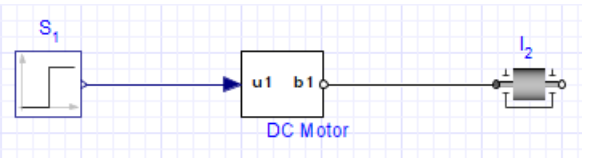
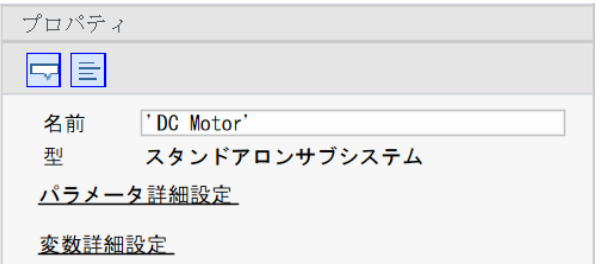


図2.7 サブシステムグループ

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**でダイアグラムのレイアウトを改善したり、モデルにシステムの複製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、**[プロパティ]** 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、サブシステム内のすべての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 [83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. **[ヘルプ]** メニューの **[例題] > [ユーザガイドの例題] > [第 2 章]** から、「**Simple DC Motor**」の例題を選択します。
2. マウスをドラッグして、下図のようにすべての電気コンポーネントを矩形選択します。

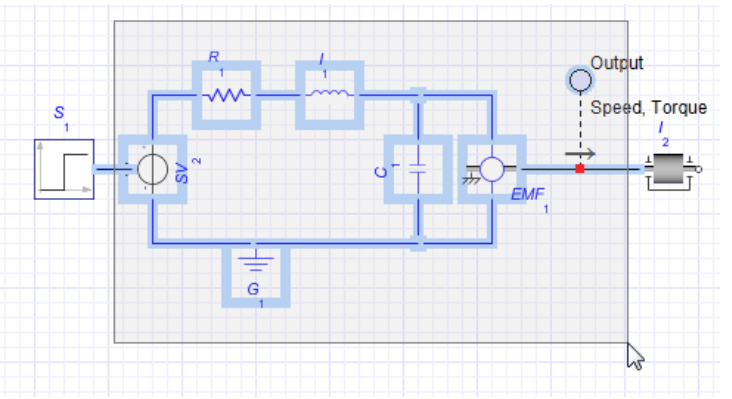


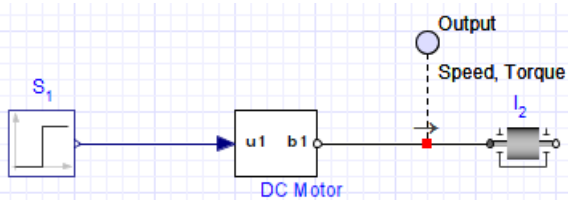
図2.8 サブシステムの作成

3. マウスクリックを離すと表示される**ホバーメニュー**から **[選択したコンポーネントをサブシステム化]** () を選択、または **[編集]** メニューから **[サブシステ**

ムの作成] を選択します。右クリック (Mac では **[Control]** クリック) のコンテキストメニューからも **[サブシステムの作成]** を選択できます。



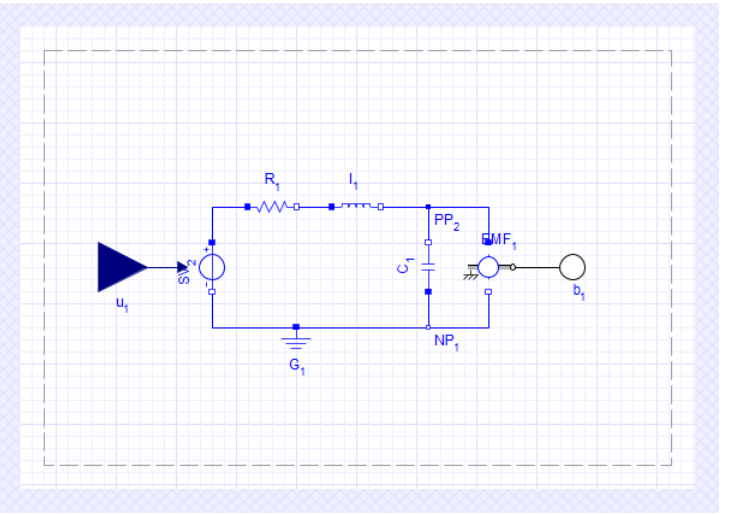
4. ダイアログボックスで、「**DC Motor**」とサブシステムの名前を入力します。
5. **[OK]** をクリックします。DC モータを表す白いブロックが**モデルワークスペース**に表示されます。



この例では、モデル内の他のサブシステムとは独立して編集や操作が可能な「*スタンドアロンサブシステム (stand-alone subsystem)*」を作成しています。モデルに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。詳細については、*モデルにサブシステムのコピーを複数追加 [44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、破線はサブシステムの境界を示しています。境界内の接続線やコンポーネントを編集したり、サブシステムを他のコンポーネントに接続するためのサブシステムポートを追加したりすることができます。

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、**モデルワークスペースツールバー**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。モデルナビゲーションコントロールの詳細については、*ベストプラクティス : サブシステムの作成と配置 [83ページ]* を参照してください。



モデルにサブシステムのコピーを複数追加

同一の設定を持つサブシステムをモデル内で複数使用する場合、*「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通に使用する属性や構成を定義する基本となるサブシステムです。

たとえば、モデル内に同一のコンポーネント構成と抵抗値を持つ **DC Motor** を 3 つ追加したい場合は、次の手順を実行します。

1. **モデルワークスペース**で、目的の構成を持つ DC Motor サブシステムを作成します。
2. 作成したサブシステム構成を元にサブシステム定義を作成し、**[ローカルコンポーネント]** タブの **[コンポーネント]** パレットに追加します。
3. サブシステム定義を元として、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、**[ローカルコンポーネント]** タブ( )の **[コンポーネント]** パレットから**モデルワークスペース**にドラッグして配置します。**モデルワークスペース**に追加されたコピーは、**[ローカルコンポーネント]** タブ内のサブシステム定義と構成を共有します。これらのコピーは、対応するサブシステム定義で指定された構成を共有して参照するため、*「共有サブシステム (shared subsystem)」*と呼ばれます。

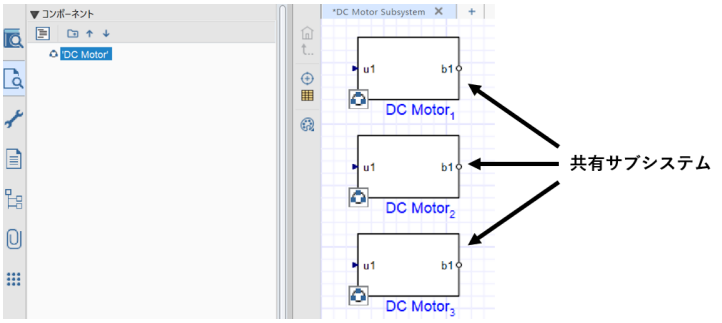


図2.9 複数のサブシステムの作成

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、**[ローカルコンポーネント]** 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 **24** Ω から **10** Ω に変更すると、**DC Motor1** および **DC Motor3** 共有サブシステムだけでなく、**[ローカルコンポーネント]** 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 **10** Ω に変わります。

詳細については、*サブシステム定義と共有サブシステムの編集 [48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。

ローカルコンポーネント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 (Mac では **[Control]** 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 **[ローカルコンポーネント]** タブ ( ) の **[コンポーネント]** パレットに追加されます。

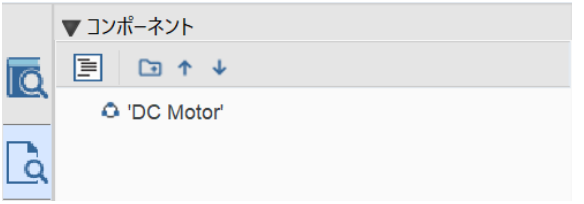


図2.10 サブシステム定義

[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、**DC Motor**$_1$ 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、**DC Motor** 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の編集 [48ページ]* で使用します。

このサブシステム定義を使用することで、MapleSim モデルに DC Motor 共有サブシステムを複数追加できるようになりました。

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。詳細については、*カスタムライブラリの作成と管理 [75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 **[ローカルコンポーネント]** タブの **[コンポーネント]** パレットからドラッグし、**モデルワークスペース**に配置します。

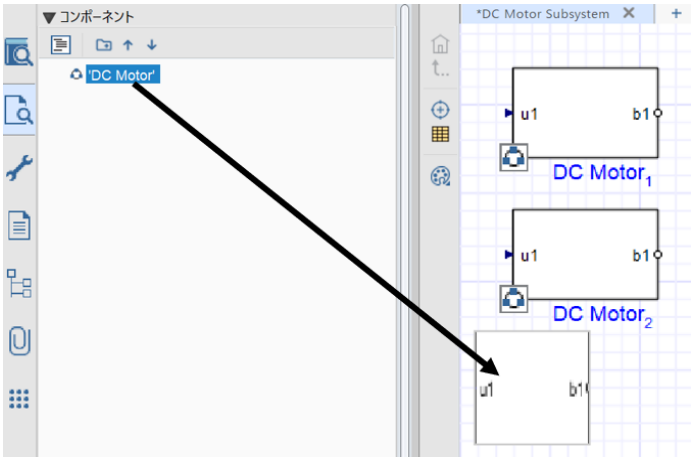


図2.11 共有サブシステムを複数追加

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一意の下付き番号が付与されます。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番号が付与されています。これらの番号は、モデル内の複数のサブシステムのコピーを識別するのに役立ちます。

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だけでなく、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。

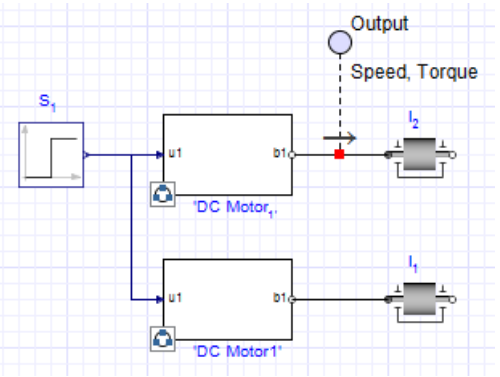
例 : 同一サブシステム定義にリンクしている共有サブシステムの編集

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 [46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 : この例題に取り組む前に、*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 [46ページ]* を完了済みで、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 [46ページ]* で作成した **DCMotorSubsystem.msim** ファイルを MapleSim で開きます。
2. **[ローカルコンポーネント]** タブ () で **[コンポーネント]** パレットから、2 つ目の **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配置します。
3. **[ライブラリコンポーネント]** タブ () で **[1-D メカニカル]** > **[回転]** > **[共通]** メニューを展開し、2つ目の **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配置します。
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。

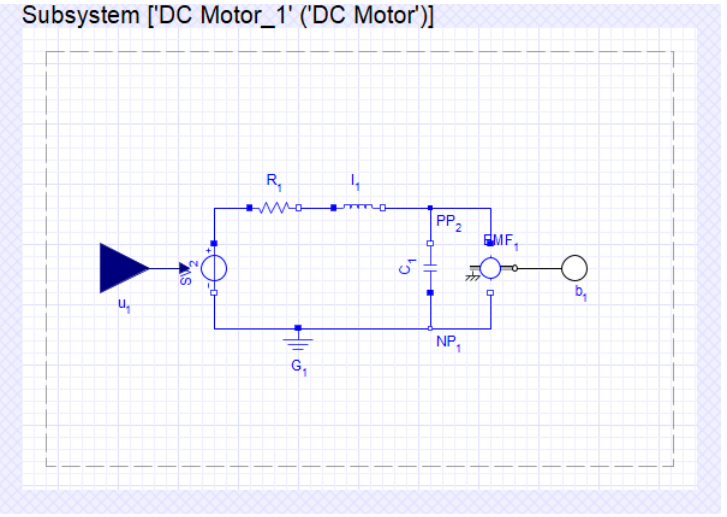
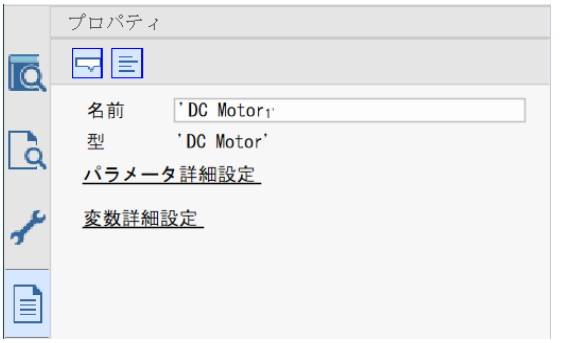
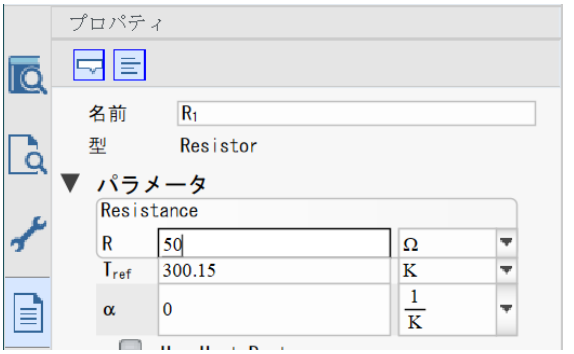


図2.12 DC Motor サブシステム

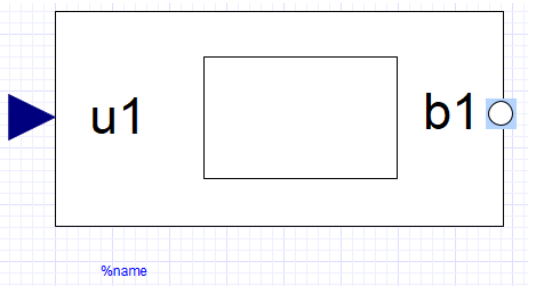
共有サブシステム名(**DC Motor_1**)と、それに続くサブシステム定義名(**DC Motor**)から成る見出しが**モデルワークスペース**の上部に表示されます。すべての共有サブシステムの詳細表示には、モデルにおける共有サブシステムの複数のコピーを識別できるように、この見出しが表示されます。また、共有サブシステムを選択すると、そのサブシステム定義の名前が **[プロパティ]** タブ ( ) の **[型]** フィールドに表示されます。



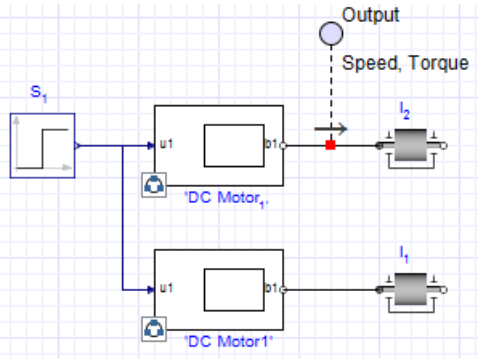
6. **Resistor** コンポーネント (**R_1**) を選択し、**[プロパティ]** タブで **[パラメータ]** を表示します。抵抗値を **50** Ω に変更します。



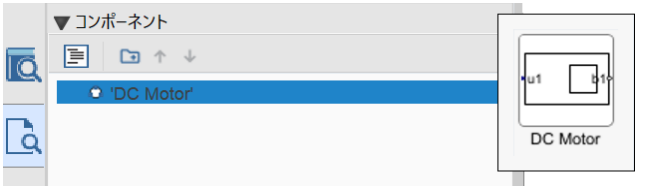
7. **分割パネルツールバー**の **[セカンダリビュー]** アイコン ( ) をクリックし、**ライブビューツールバー**から **[アイコン表示]** ( ) をクリックします。**分割パネル**にサブシステムのアイコンが表示されます。
8. サブシステムのアイコン表示はカスタマイズ可能です。アイコンの境界線の端をクリックして、幅を広げてください。必要に応じて、ポートをサブシステムの境界線の各辺の中央までドラッグしてください。
9. **ツールバー**にある**長方形ツール** ( ) を使用して、マウスのクリックとドラッグでサブシステムのアイコンの中に四角形を描きます。



10. **モデルワークスペースツールバー**の **Main** (🏠) をクリックし、モデルのトップレベルを表示します。両方の **DC Motor** 共有サブシステムのアイコン表示に、ユーザによって描かれた四角形が追加されています。



11. MapleSim ウィンドウ左側の **[ローカルコンポーネント]** タブで、**[コンポーネント]** パレットを表示し、共有サブシステム名にマウスオーバーします。下図のように、表示されるツールチップにも、変更したアイコンが反映されています。



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て開き、サブシステムを構成している **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. **[ローカルコンポーネント]** 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。新しいコピーのアイコンに、ユーザが描いた四角形が表示され、その抵抗値も50 Ω 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.msim**」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 [52ページ]* で使用します。

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 : この例題に取り組む前に、*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の編集 [48ページ]* を完了済みで、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の編集 [48ページ]* で作成した **DCMotorSharedSubsystem.msim** モデルを開きます。
2. **モデルワークスペース**で、**DC Motor1** 共有サブシステムを右クリック (Mac では **[Control]** 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 Motor1** サブシステムと **[ローカルコンポーネント]** 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、名称が「**DC Motor のコピー**」となります。
4. 共有サブシステム **DC Motor**$_1$ をクリックして選択します。
5. アイコンを編集するために、先ほどと同じように、**分割パネルツールバー**の **[セカンダリビュー]** () アイコンをクリックし、**ライブビューツールバー**から **[アイコン表示]** () 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、ドラッグして任意の四角形を描きアイコンに変更を加えます。

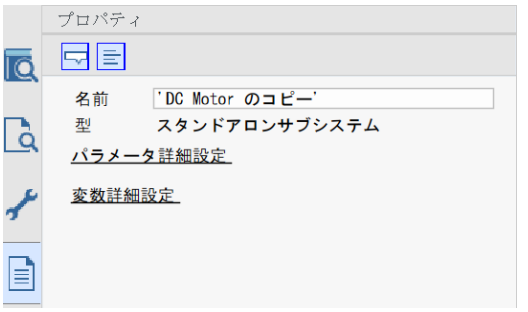
7. **Main に戻る** ( ) をクリックし、モデルのトップレベルを表示します。変更は、**モデルワークスペース**に配置されている **DC Motor**$_1$ 共有サブシステムと、**[ローカルコンポーネント]** タブの **DC Motor** サブシステム定義に反映されます。**DC Motor** サブシステム定義とのリンクが解除されたため、**DC Motor のコピー** サブシステムには変更が反映されないことに注意してください。

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、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 : サブシステムの作成 [42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 : 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 [52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、**[プロパティ]** 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。



スタンドアロンサブ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。

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。詳細については、*例:スタンドアロンサブシステムのコピーと貼り付け [55ページ]* を参照してください。

例 : 診断情報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し**診断テストの実行**を行うと、**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 [52ページ]* の延長です。

警告メッセージを処理するには

1. **分割パネルツールバー**で **[診断情報]** ( ) をクリックし、**分割パネル**に **[診断情報]** を表示します。**診断情報ツールバー**で **[診断テストの実行]** ( ) をクリックし、診断テストを実行します。次のメッセージが表示されます。



2. **DC Motor のコピー**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 (Mac では **[Control]** クリック) し、**['DC Motor のコピー' に対する重複警告を無視する]** を選択し、**[診断情報]** で警告メッセージが非表示となるようにします。

ヒント : [診断情報] で非表示にした警告メッセージを再度表示したい場合は、**診断情報ツールバー**で **[無視された警告をリセット]** ( ) をクリックします。非表示にしたすべての警告メッセージが **[診断情報]** に再び表示されます。

代わりに、**DC Motor のコピー**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 (Mac で

は **Control** クリック) し、**[共有サブシステム 'DC Motor' を使用するために 'DC Motor のコピー' 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 [52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して貼り付けるには

1. **モデルワークスペース**で **DC Motor のコピー**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「サブシステムのコピーダイアログ」** 参照)
2. ダイアログから **[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。**SharedSubsystem_1** という名前の新しいサブシステム定義が **[ローカルコンポーネント]** タブの **[コンポーネント]** パレットに追加されます。

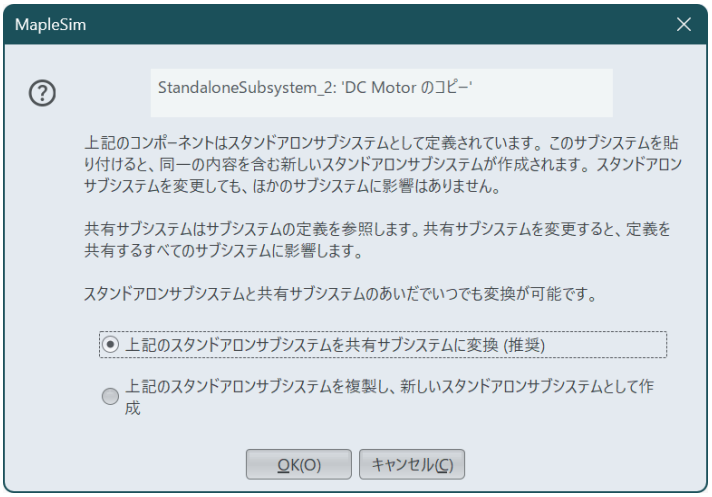


図2.13 サブシステムのコピーダイアログ

モデルワークスペースで、**DC Motor のコピー** スタンドアロンサブシステムは、**DC Motor のコピー** 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 **DC Motor のコピー**$_1$ 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**DC Motorのコピー**と**DC Motorのコピー**$_1$は、両方とも新しい**SharedSubsystem_1**サブシステム定義にリンクしています。そのため、**DC Motor のコピー** または **DC Motor のコピー**$_1$ 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: あるいは、**[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を追加することもできます。

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**分割パネル**の**[セカンダリビュー]>[パラメータ表示]、パラメータブロック、パラメータセット、[プロパティ]**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とパラメータブロック

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 1 か所で定義し、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。

グローバルパラメータを定義・保存する最良の方法は、パラメータブロックを使用することです。

パラメータブロックを使用すると、以下のことが簡単に行えます。

- 重要なパラメータが一目でわかるようにモデルを整理・構成する
- モデル内の複数のコンポーネントでグローバルパラメータを利用できるようにする
- シミュレーションの再実行時にパラメータを利用できるようにする (tasks,simulating,rerunningSimulation 参照)

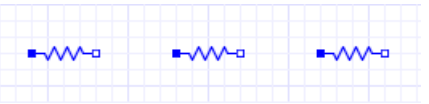
以下の例は、グローバルパラメータを定義して代入する方法です。より詳細な例については、本ガイドの第6章の *チュートリアル 1 : ギアボックス付き DC Motor のモデリング [195ページ]* を参照してください。

例 : グローバルパラメータの定義と代入

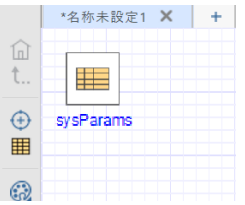
モデルに共通の抵抗値を持つ **Resistor** コンポーネントが複数含まれている場合、**分割パネル**の **[セカンダリビュー]** ( ) > **[パラメータ表示]** ( ) で抵抗値のグローバルパラメータを定義することができます。これはパラメータブロックを使って行います。

グローバルパラメータを定義および代入するには

1. 新規モデルを作成し、**[ライブラリコンポーネント]** タブ ( ) で **[電気]** パレット > **[アナログ]** メニュー > **[受動素子]** メニューを開き、続いて **[抵抗]** メニューを開きます。
2. パレットから、**Resistor** コンポーネントを 3 つ、**モデルワークスペース**にドラッグして配置します。



3. モデルワークスペースには、「*sysParams*」という名前の既存のパラメータブロック ( ) があります。新規モデルの作成の際は、この *sysParams* がデフォルトで追加されます。

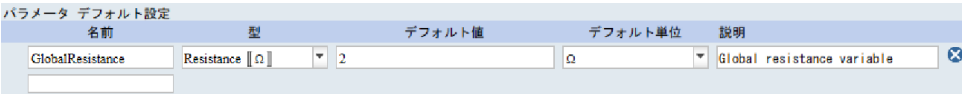


モデルにパラメータブロックがない場合は、**モデルワークスペースツールバー**から **[パラメータブロックを追加]** ( ) をクリックし、モデルワークスペースの任意の空白部分をクリックしてパラメータブロックを追加してください。

4. モデルワークスペース内のパラメータブロックをダブルクリックします。**分割パネル**に **[パラメータ デフォルト設定]** が表示されます。この画面を使用してグローバルパラメータを定義し、モデル内の **Resistor** 抵抗コンポーネントに割り当てます。



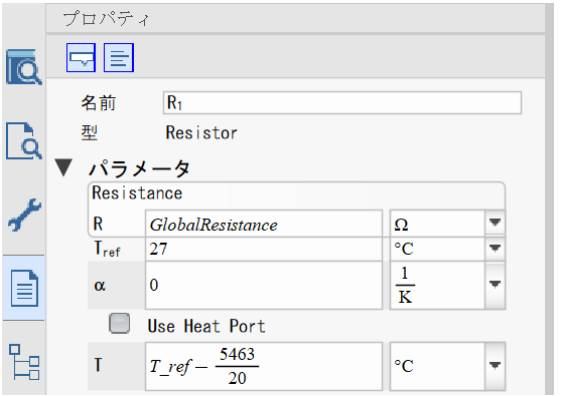
5. **[パラメータ デフォルト設定]** テーブルで、**[名前]** 列の 1 つ目のフィールドをクリックします。
6. パラメータの **[名前]** に「**GlobalResistance**」と入力し、**[Enter]** キーを押します。
7. **[型]** で **Resistance [[Ω]]** を選択し、**[デフォルト値]** として **2** を入力します。
8. **[説明]** に「**Global resistance variable**」と入力し、**[Enter]** キーを押します。



ヒント : 抵抗値 (**Resistance [[Ω]]**)を **[型]** から選択するためには、手順 2 のように、その型を使用するドメインのコンポーネントを、あらかじめ**モデルワークスペース**に配置しておく必要があります。

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。

9. **モデルワークスペース**で **R_1 コンポーネント**をクリックします。**左側パネル**にプロパティが表示されるので、抵抗値(R)として先ほど定義したシンボリックパラメータ「**GlobalResistance**」を入力します。



10. **R_2 コンポーネント**についても同様の操作を行います。

これで **GlobalResistance** パラメータの抵抗値 (**[パラメータ デフォルト設定]** テーブルで **2** と定義) が **R_1** および **R_2** コンポーネントの抵抗値に代入されました。

R_1 および **R_2** コンポーネントはこれ以降、パラメータブロック「*sysParams*」の **[パラメータ デフォルト設定]** テーブルの **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、**[パラメータ デフォルト設定]** 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、**R_1** および **R_2** 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、**GlobalResistance** パラメータ値の変更は適用されません。

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表示画面で定義し、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**分割パネルツールバー**の **[セカンダリビュー]** () > **[パラメータ表示]** () をクリックする方法で、もうひとつは **[プロパティ]** () 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**[パラメータ表示]**( ) 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そこに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 *[210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このサブシステムパラメータのスコープ外のため、パラメータの値を受け継ぐことができません。

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でも、モデル内の他のパラメータ値に影響を与えることなく、各共有サブシステムのサブシステムパラメータ値を個別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

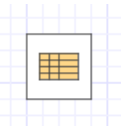
1. **[ヘルプ]** メニューの **[例題] > [ドメイン別例題] > [マルチボディ]** から「**Double Pendulum**」モデルを選択します。このモデルには、**L** という名前のサブシステム定義とリンクしている 2 つの共有サブシステム、$\mathbf{L_1}$ と $\mathbf{L_2}$ が含まれています。
2. 共有サブシステム $\mathbf{L_1}$ をクリックします。
3. **分割パネルツールバー**の **[セカンダリビュー]**( ) > **[パラメータ表示]**( ) をクリックします。
4. **[L サブシステムデフォルト設定]** 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]** キーを押します。

6. 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 **[プロパティ]** タブ ( ) に表示されます。
7. **モデルワークスペース**で L_2 共有サブシステムをクリックして **[プロパティ]** タブを確認します。新しいサブシステムパラメータ**c**は、L_2 共有システムに対しても表示されています。
8. L_2 サブシステムのパラメータ **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、**[プロパティ]** 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。

サブシステムパラメータに対するパラメータブロックの使用

上記の方法でサブシステムパラメータを定義する代わりに、パラメータブロックを作成して一連のサブシステムパラメータを定義し、それらをモデル内のコンポーネントに割り当てることもできます。

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



このブロックをクリックすると、**分割パネル**の**[セカンダリビュー]>[パラメータ表示]** にパラメータテーブルが表示されます。この画面から、パラメータブロックのパラメータ値が定義できます。



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 [75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と同じサブシステム内に配置する必要があります。(パラメータのスコープ範囲)
- モデル内で同一階層レベルにあるパラメータブロックは、同じパラメータ名を持つことはできません。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。

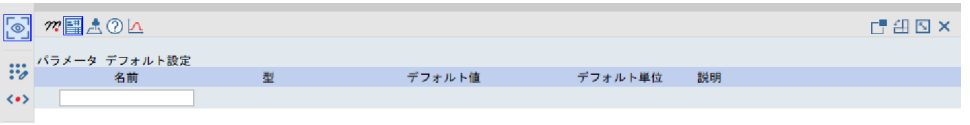
例 : パラメータブロックの作成と使用

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ー式を作成します。パラメータブロックを作成しておけば、複数のシミュレーションを実行して結果を比較する際、パラメータ値を 1 か所で編集するだけで済みます。

パラメータブロックを作成して使用するには

1. **[ヘルプ]** メニューの **[例題] > [ドメイン別例題]** > **[1-D メカニカル]** から「**PreLoad**」の例題を選択します。
2. **左側パネル**の **[シミュレーションの設定]** タブ ( ) で、**[t_d]** (シミュレーション時間) に **0.012** s を設定します。
3. モデルワークスペースで **SM_1** という Mass コンポーネントをクリックし、**[プロパティ]** タブ ( ) でコンポーネントのパラメータと初期条件を確認します。ここから、パラメータ *m*、*L* と、初期条件 *s*、*v* の値を、パラメータブロックを使用して設定してゆきます。
4. **モデルワークスペースツールバー**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任意の空白部分をクリックしてパラメータブロックを追加します。
5. パラメータブロックをクリックし、**[プロパティ]** タブでパラメータブロックの名前を「**SlidingMassParams**」と入力し、デフォルト名から変更します。

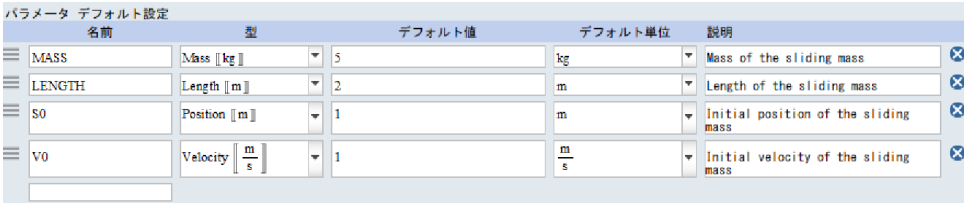
6. **モデルワークスペース**で、パラメータブロック**SlidingMassParams**をダブルクリックします。**[パラメータ表示]** が**分割パネル**に表示されます。



7. テーブルの最初のフィールドをクリックし、「**MASS**」という名前のシンボリックパラメータを定義します。
8. **[Enter]** キーを押します。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]** に **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 **[パラメータ デフォルト設定]** テーブルに定義します

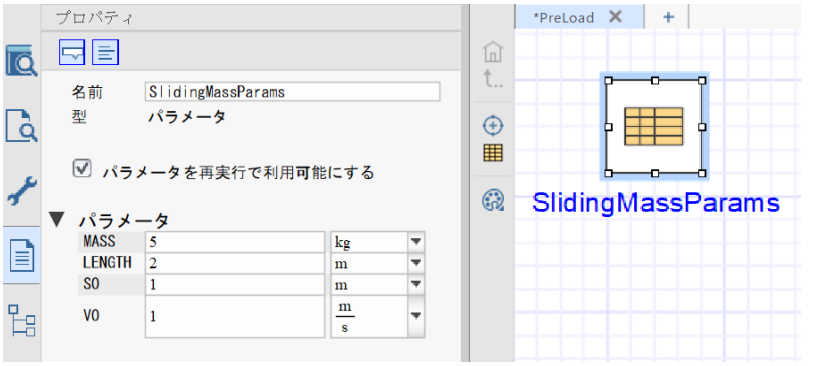
名前	型	デフォルト値	デフォルト単位	説明
LENGTH	Length [[m]]	2	m	Length of the sliding mass
S0	Position [[m]]	1	m	Initial position of the sliding mass
V0	Velocity $\left[\left[\frac{m}{s}\right]\right]$	1	$\frac{m}{s}$	Initial velocity of the sliding mass

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す。



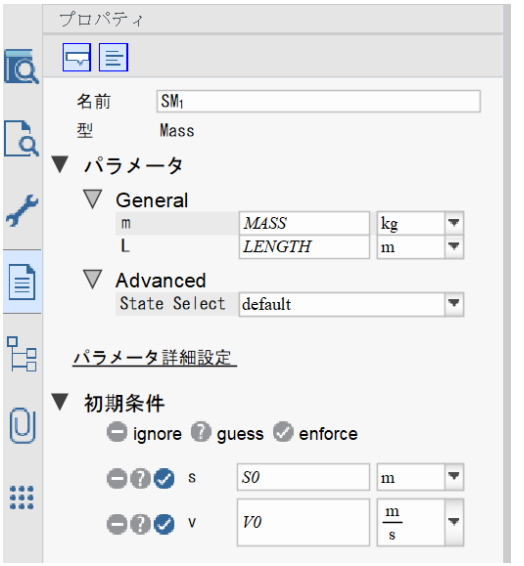
ヒント: パラメータを削除するには右端のアイコン ( ) をクリック、パラメータの順番を入れ替える場合は左端のアイコン( ) をクリックし、ドラッグします。

14. 定義したパラメータが **[プロパティ]** タブに表示されます。



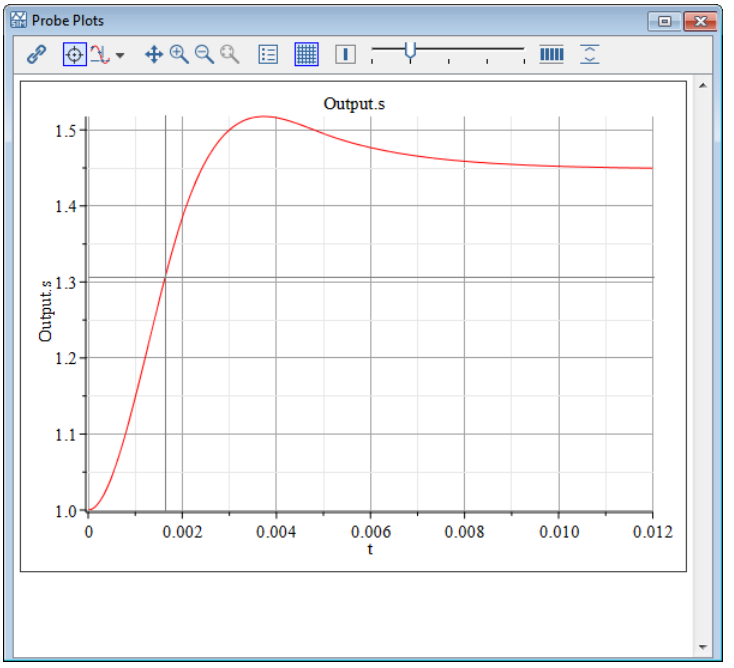
15. **モデルワークスペース**で、ダイアグラム内の **SM_1** Mass コンポーネントを選択します。

16. **[プロパティ]** タブで以下の値を代入し、**[Enter]** キーを押します。



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 **SM_2** および **SM_3** 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ブを削除します
19. **Output** というラベルのプローブを選択します。
20. **[プロパティ]** タブで、**[Velocity]** の横にあるチェックボックスのチェックを外します
21. モデルをシミュレーションするために、**アプリケーションツールバー**の**[シミュレーションの実行]** ( ) をクリックします。
22. **[シミュレーション結果を表示]** ( ) をクリックします。**解析ウィンドウ**に以下のグラフが表示されます。

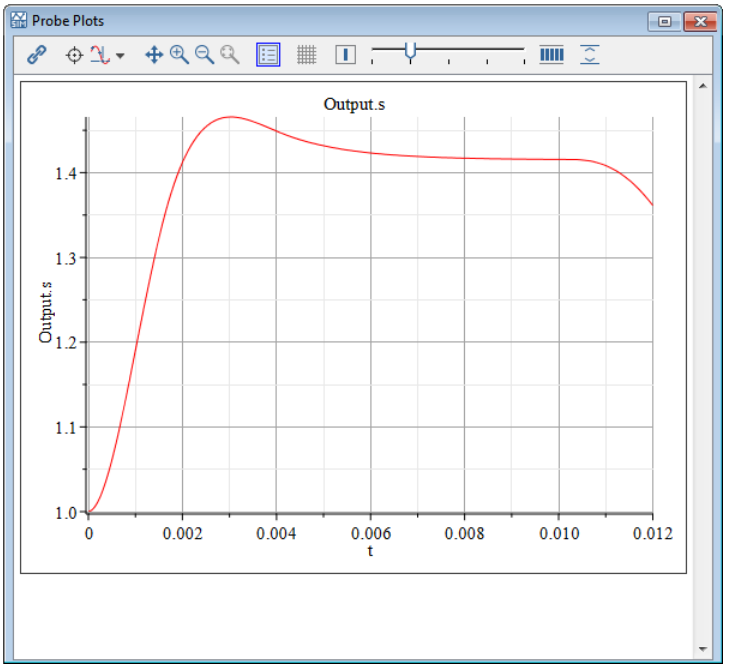


23. **モデルワークスペース**で、パラメータブロックをクリックします

24. **[プロパティ]** タブで、質量 (MASS) を **3.5**、初期速度 (V0) を **5** に変更し、**[Enter]** キーを押します。これらの変更は、シンボリック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。

注 : パラメータの値を変更するのは、**左側パネル**に表示されるパラメータブロックの **[プロパティ]** 上です。**分割パネル**の **[パラメータ デフォルト設定]** は、作成したパラメータの入力値を削除した際に戻されるデフォルト値であり、この作業では変更する必要はありません。

25. モデルのシミュレーションを再度実行し、**解析ウィンドウ**を最前面に移動します。新しいシミュレーション結果のグラフが表示され、最初のグラフと比較できます。



パラメータセットの作成

モデル用に作成したパラメータは、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使用すると、ワークスペースに表示されている同じモデルに対して、異なるパラメータのセットを保存、再利用、比較することができます。いつでも簡単に異なるシミュレーションを適用・実行し、各モデルごと

に新しい値を保存することができます。パラメータセットは、**モデルワークスペース**内のすべての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、**[添付ファイル]** 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 (Mac では **[Control]** 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。詳細については、**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。

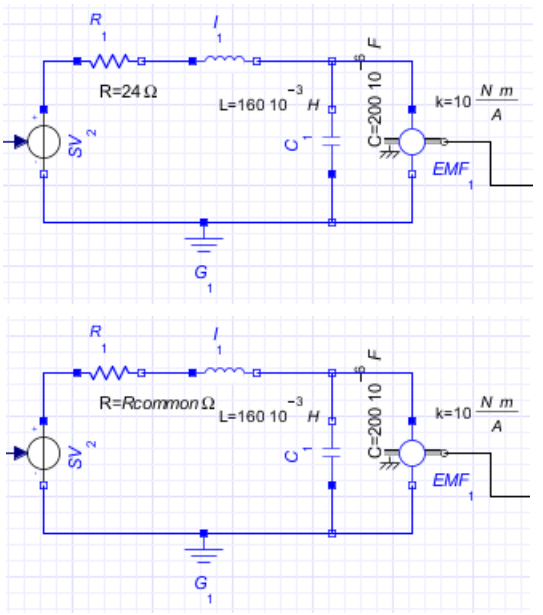
パラメータと変数の詳細設定の利用

先ほどの手順では、サブシステムにパラメータブロックを追加し、サブシステムのパラメータを定義しました。別の方法として、**[プロパティ]** タブの **[パラメータ詳細設定]** と **[変数詳細設定]** ツールを利用して、サブシステムのパラメータ、変数、および初期条件をサブシステム内のコンポーネントに直接割り当てることもできます。詳細設定では、1つまたは複数のデフォルト値をオーバーライド (上書き) することができます。

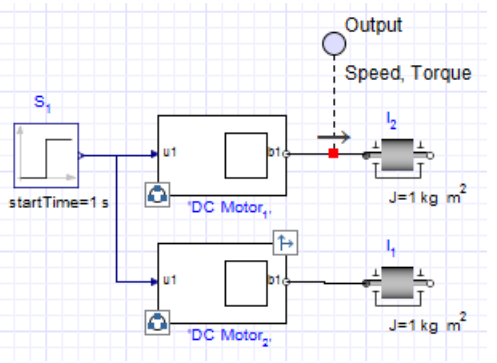
パラメータ詳細設定

[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上書き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におけるコンポーネントのオーバーライドは、他のすべてのサブシステムで参照可能なパラメータに変換することができます。

次のモデルでは、抵抗値 **R** の値にオーバーライドが適用され、シンボリックパラメータ **Rcommon** に変換されています。



モデルワークスペースでは、パラメータオーバーライドを持つコンポーネントがオーバーライドアイコン () により識別されます。以下のモデルの **DC Motor**$_2$ サブシステムにはパラメータオーバーライドが含まれます。



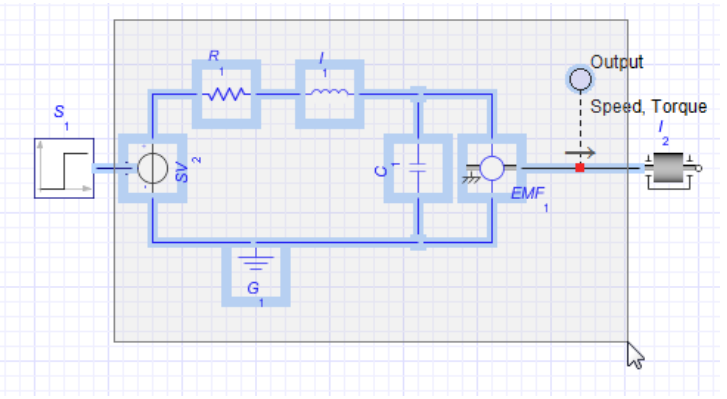
変数詳細設定

[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

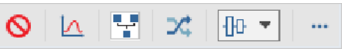
パラメータオーバーライドを作成するには

1. **[ヘルプ]** メニューの **[例題] > [ユーザガイドの例題] > [第 2 章]** から「**Simple DC Motor**」の例題を選択します。
2. マウスをドラッグして、すべての電気コンポーネントを矩形選択します。

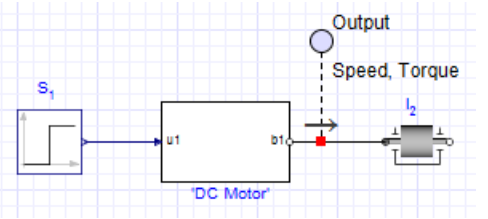


3. マウスクリックを離すと表示される**ホバーメニュー**から **[選択したコンポーネントをサブシステム化]** () を選択、または **[編集]** メニューから **[サブシステ**

ムの作成] を選択します。右クリック (Mac では **[Control]** クリック) のコンテキストメニューからも **[サブシステムの作成]** を選択できます。

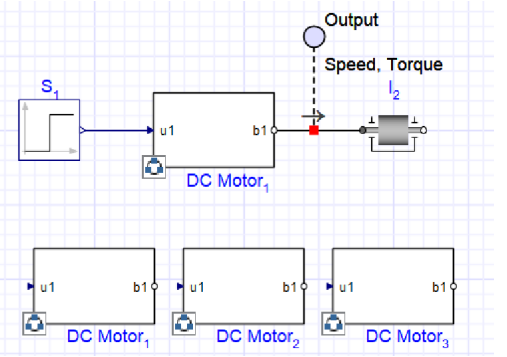


4. ダイアログボックスに「**DC Motor**」と入力し、**[OK]** をクリックします。DC Motor サブシステムが表示されます。

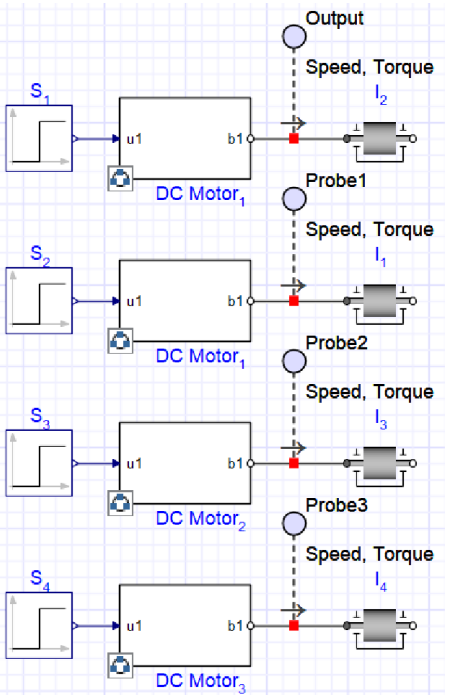


5. **DC Motor** サブシステムを右クリック (Mac では **[Control]** クリック) し、**[共有サブシステムに変換]** を選択して **[OK]** をクリックします。これにより作成した共有サブシステム定義が、**[ローカルコンポーネント]** タブの **[コンポーネント]** パレットに追加されます。

6. **[ローカルコンポーネント]** タブ () で **[コンポーネント]** パレットを展開し、DC Motor の共有サブシステムの 3 つのコピーを**モデルワークスペース**内にドラッグして配置します。

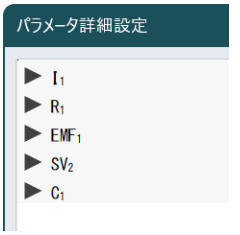


7. 追加した DC Motor サブシステムを 3 つ、下図のようにモデリングします。

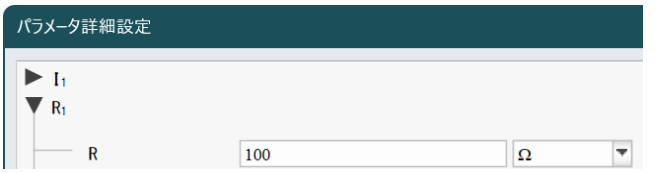


8. **S_2** をクリックし、**[プロパティ]** タブ ( ) で **[T_0]** の値を **1** に設定します。**S_3** と **S_4** も同様に設定します

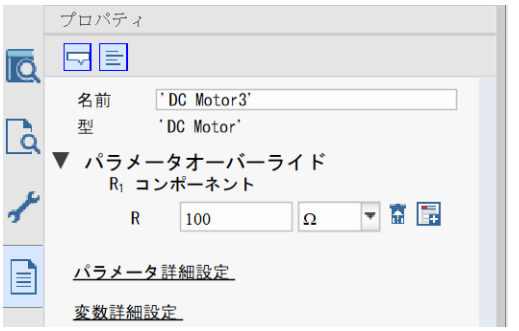
9. **DC Motor3** サブシステムをクリックし、**[プロパティ]** タブ ( ) で **[パラメータ詳細設定]**をクリックします。**[パラメータ詳細設定]**ウィンドウが表示され、サブシステムコンポーネントすべてが表示されます。



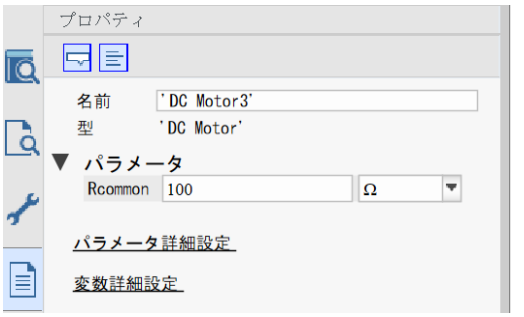
10. **R_1** を開き、抵抗パラメータ **[R]** に値 **100** を入力します。



11. **[OK]** をクリックします。新しいパラメータが **[プロパティ]** タブにオーバーライドとして表示されます。



12. 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、ダイアログに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** は他のサブシステムでも再利用できるパラメータとして **[プロパティ]** 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。



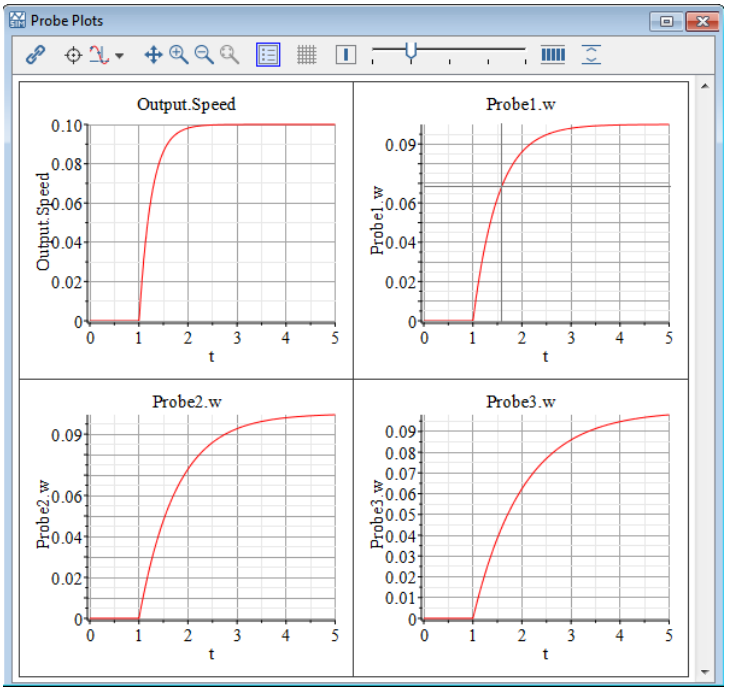
13. その他のサブシステムで、各サブシステムをクリックし、**[プロパティ]** タブで表示されるパラメータ **Rcommon** に以下の値を入力します。

- 元の共有サブシステム **DC Motor_1** では **[Rcommon]** を **25** Ω に設定
- **DC Motor1** では **[Rcommon]** を **50** Ω に設定

- **DC Motor2** では **[Rcommon]** を **75** Ω に設定

14. 各サブシステムでプローブを選択し、**[プロパティ]** タブで **AngularVelocity [Speed]** チェックボックスにチェックを付けて、ほかのすべてのチェックボックスのチェックを外します

15. **アプリケーションツールバー**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、既存の初期条件を上書き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、**[プロパティ]** 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

[添付ファイル] タブ () 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、さまざまな形式のファイルをモデルに添付することができます。**[添付ファイル]** タブ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、現在の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、添付ファイルを保存するカテゴリを右クリック (Mac では **Control** クリック) し、**[ファイルを添付]** を選択します。

また、**[編集]** メニュー **> [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。添付ファイルを移動するには、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。ただし、移動可能なカテゴリには制限があるため、特定のカテゴリへのファイル添付については、カテゴリを右クリックから直接添付するか、適切なアプリ、テンプレート、またはツールを使用して、これらのパレットにファイルを追加する必要があります。

下図は、*CustomComponent.mw*、*NonLinearMSD.mw*、および *DamperCurve.xlsx* という名前の添付ファイルを含む **[添付ファイル]** タブを示しています。

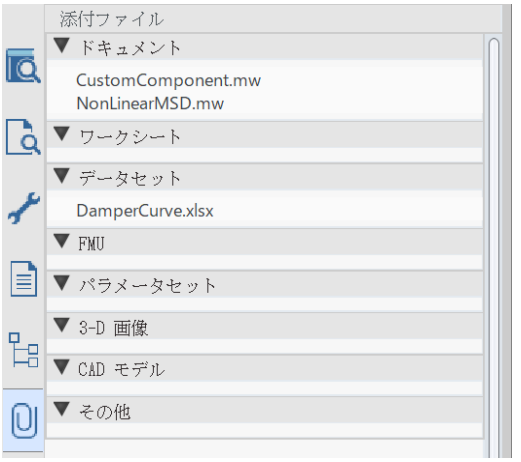


図2.14 添付

アプリケーションツールバーの **[Maple ワークシートを読み込む]** ( ) を使用してワークシートのテンプレートを開き、モデルで使用するカスタムコンポーネントを作成することもできます。 詳細については、本ガイドの *モデルの解析と操作 [171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

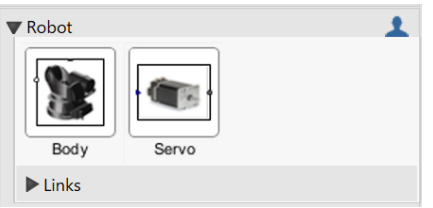
複数のファイルや MapleSim セッションで再利用したいサブシステム、およびカスタムコンポーネントを保存するためのカスタムライブラリを作成することができます。作成したカスタムライブラリは、MapleSim ウィンドウの左側にある **[ライブラリコンポーネント]** タブ( )のカスタムライブラリパレットに表示され、ユーザのコンピュータに.msimlib ファイルとして保存されます。以降の MapleSim セッションでこれらのカスタムライブラリパレットは MapleSim ウィンドウに表示されます。

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す。

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、**[ライブラリコンポーネント]** タブ ( ) の上部にアイコン ( ) が表示されます。カスタムライブラリ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 ヘルプシステムの **MapleSim 操作方法 > モデルの構築 > カスタムライブラリの作成と管理 > カスタムライブラリの作成**を参照してください。

Modelica言語に基づいてサードパーティ製のツールを使用してモデルやモデルライブラリを作成した場合、それらのモデルやモデルライブラリの.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。インポートしたモデルやライブラリは、他のモデリングコンポーネントと同様に、MapleSimのモデル内で使用することができます。詳細については、**MapleSim 操作方法 > モデルの構築 > Modelica のモデルとライブラリのインポート > Modelica ライブラリのインポート**を参照してください。

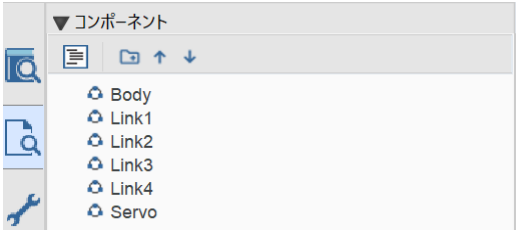
例 : 既存モデルからカスタムライブラリを作成

この例では、既存の MapleSim モデルの共有サブシステム定義からカスタムライブラリを作成します。カスタムライブラリに追加されたコンポーネントは、今後の MapleSim セッションで利用できます。

モデルからカスタムライブラリを作成するには

1. **[ヘルプ]** メニューの **[例題] > [ドメイン別例題] > [マルチボディ]** から「**5 DoF Robot**」の例題を選択します。

このモデルには、**[ローカルコンポーネント]**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。



2. モデルを保存します。
3. **[ツール]** メニューから、**[MapleSim ライブラリにエクスポート]** を選択します。
4. ダイアログで**[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ライブラリパレットの名前になります
5. **[OK]** をクリックします。
6. ライブラリをエクスポートすると「**Robot(ライブラリ)**」タブが新しく作成されます。元のモデルの「**5 DoF Robot**」を閉じます。

*ライブラリ編集モード*になります。(モデル名のタブに「ライブラリ名 (ライブラリ)」と表示され、ワークスペース左上にもライブラリ名が表示され、パラメータペインの**[プロパティ]**タブにライブラリプロパティが表示される) MapleSim ウィンドウ左側の **[ライブラリコンポーネント]** タブ ( ) に、新しいカスタムライブラリのパレット **Robot** 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 (<empty>) の状態になっています。

7. **[ローカルコンポーネント]**タブ( )に切り替え、コンポーネントパレットで、ルート名 (**Robot**) のグループの中にコンポーネントをドラッグします。必要に応じてサブグループを作成して階層化し、コンポーネントを整理します。この例では、下図のようなサブグループをもつ階層構造を作成しています。



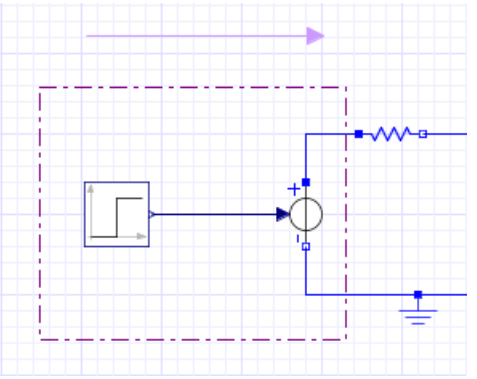
ヒント : グループの作成は **[グループを作成]** ( ) アイコンで行います。並び替えや階層移動は要素のドラッグで行います。並び替えは上下矢印アイコンでも行うことができます。

8. **[ツール]** メニュー **> [ライブラリのリロード]** ( ) を選択し、変更の保存とライブラリ作成を行います。**[ライブラリコンポーネント]** 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。

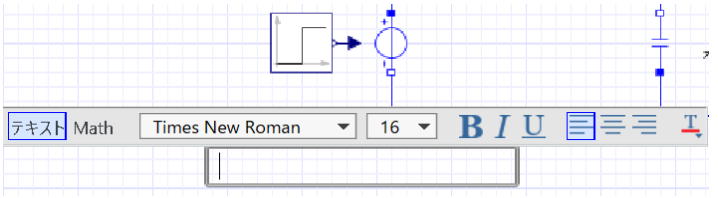


モデルワークスペースツールバーに配置されているテキストツール( )を使用すると、モデルにテキスト注釈を追加することができます。テキスト注釈では、2-DMath表記で数式を入力し、テキストのスタイル、色、フォントをフォーマットすることができます。2-D Math 表記についての詳細は、*2-D Math 表記によるテキスト入力 [80ページ]* を参照してください。

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. **[ヘルプ]** メニューの **[例題] > [ユーザガイドの例題] > [第 2 章]** から、「**Simple DC Motor**」の例題を選択します。
2. **モデルワークスペースツールバー**から **[描画ツール]** ( ) を選択し、一覧から **[テキストツール]** ( ) を選択します。
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クリックして配置します。



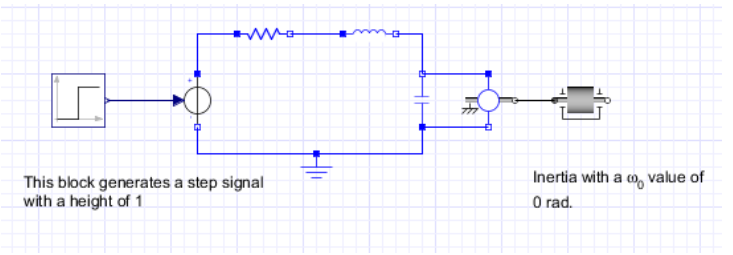
テキストボックスの上に書式設定のホバーメニューが表示されます。



4. 次の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の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配置します。
8. 次のテキストを入力します。「**Inertia with a ω_0 value of 0 rad.**」

ヒント: ギリシャ文字のオメガ (ω) を入力するには、ホバーメニューで Math アイコン (テキスト Math) をクリックして 2-D Math モードに切り替え、「**omega**」と入力し、**[Esc]** キーを押します。下付き文字を入力するには、**[Ctrl] + [Shift] + [下線 (_)]** キー (Windows および Linux) または **[Command] + [Shift] + [下線 (_)]** キー (Mac) 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。ホバーメニューのテキストアイコン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の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式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

には、挿入可能な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。

テキスト注釈で 2-D Math 表記を入力する場合は、書式設定ツールバーで **Math** (Math) を選択します。

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。

表2.4 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
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)	1. 記号名、ギリシャ文字、または Maple コマンドの先頭数文字を入力します。 2. 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。 • **[Esc]** キー : Windows、Mac、Linux • **[Ctrl] + [Space]** キー : Windows • **[Ctrl] + [Shift] + [Space]** キー : Mac、Linux 3. 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]** (Mac は **[Command]**) **+ [Shift] + [下線 (_)]** キー	x_a
上付き文字の入力	**キャレット** (^)	x^2
分数の入力	**スラッシュ** (/)	$\frac{1}{8}$

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

モデル内の補間テーブルコンポーネントに値を指定するために、データセットを作成することができます。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値ファイル (.csv) を添付するか、データ生成 App または乱数データの生成 App を使用してデータセットを作成します。

これらの Apps は **[Apps]** タブ ( ) の **[Apps]** パレットから利用できます。

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 App を使用して MapleSim の **Lookup Table 1D** 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 App 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 モデルを開きます。
2. **左側パネル**の**[ライブラリコンポーネント]** 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 **Lookup Table 1D** コンポーネントを配置します。
4. **左側パネル**の **[Apps]** タブ ( ) をクリックします。
5. **[Apps]** パレットで、**[ユーティリティ]** カテゴリにある**データ生成**をダブルクリックします。データ生成 App が**分割パネル**の **[App ビューワ]** タブ ( ) に開かれます。
6. App 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。

7. MapleSim でデータセットを使用するために、**[モデルへのデータ添付]** ボタンをクリックします。

8. MapleSim の **[添付ファイル]** タブ () で **[データセット]** パレットを展開します。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。

9. **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。

10. **[プロパティ]** タブ () に表示されるコンポーネントのパラメータで、**datasourcemode** のドロップダウンリストから **[attachment]** を選択します。

11. **data** のドロップダウンリストから **TestDataSet.csv** を選択します。これで、データセットは **Lookup Table 1D** コンポーネントに割り当てられます。

12. モデルを MapleSim で保存します。

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

モデルを構築する場合は、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。コンポーネントを**モデルワークスペース**内で希望する位置にドラッグし、必要に応じて、コンポーネントが希望する方向を向くように向きを変更します。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にグループ化する際は、1 画面内で全体を確認できる規模で構成することを推奨します。これにより、サブシステム内のすべてのコンポーネントをスクロールせずに確認できます。

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

ダイアグラム内や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については、サブシステムを作成してください。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、リンクのサブシステムを作成することで、そのコンポーネントグループの複数のコピーを追加できるようになります。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、別のファイルでもそのサブシステムを利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

より詳細に解析したり、テストを行ったり、ソースコードに変換したりする予定のコンポーネントグループについては、必ずサブシステムを作成してください。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、MapleSim Appが利用できます。コード生成Appでは、サブシステムからのみソースコードを生成することができます。

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 [171ページ]* を参照してください。

アイコン表示を使用してサブシステムのポート配置を制御しアイコンをカスタマイズ

サブシステムを作成すると、そのサブシステムとサブシステム外のコンポーネントとを接続するすべての結線に対して、サブシステムポートが自動的に作成されます。ポートは、サブシステムの 4 辺（上、下、左、右）のいずれかに配置されます。

サブシステムには、サブシステムポートを追加することもできます。サブシステムを選択し、**分割パネルツールバー**の**[セカンダリビュー]**アイコン()をクリックし、**ライブビューツールバー**から **[アイコン表示]** () をクリックします。**分割パネル**の**アイコン表示**では、サブシステムポートのレイアウトを管理できます。

アイコン表示では、コンポーネントパレットおよびモデル内でのサブシステムの表示方法をカスタマイズできます。

- ポートの移動
- **[ポートラベルの表示/非表示]** () を使用して、ポートラベルの表示/非表示を切り替え

- サブシステムのアイコンサイズを自動的に更新する () か、手動でサイズを変更
- 画像を追加するには、長方形または円を描画し、**[塗りつぶしツール]** () から **[参照]** をクリックして画像を選択
- テキストの追加のほか、ツールバーにある各種描画ツールを使用

診断情報を使用してサブシステムの重複や未接続の結線を特定

分割パネルツールバーの **[診断情報]** アイコン () をクリックすることで、**分割パネル**に **[診断情報]** を表示できます。

シミュレーションを実行すると、**[診断情報]** に診断メッセージが表示されます。これらは、モデルを構築する際に発生しうるエラーのトラブルシューティングに役立ちます。診断情報ツールバーから **[診断テストの実行]** () を選択するか、**[編集]** メニュー**>[モデルのチェック]** を選択します。MapleSim は、モデル内の未接続の結線や、内容が同一であるにもかかわらずサブシステム定義にリンクされていないサブシステムが含まれていないかを確認します。これらの問題のいずれかが検出されると、問題が発生しているサブシステムを特定するメッセージが診断情報に表示されます。診断情報内のそのメッセージを右クリック (Mac の場合は **[Control]** クリック) すると、問題の解決に役立つオプションが表示されます。

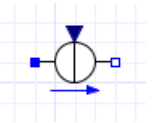
ベストプラクティス : 電気モデルの構築

電気回路に Ground コンポーネントを配置

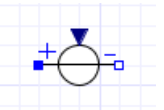
すべての電気回路モデルには、電圧の基準となる **Ground** コンポーネントを配置して接続する必要があります。

電流源および電圧源の接続を確認

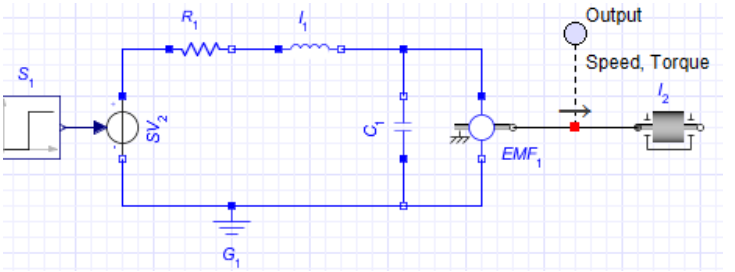
シミュレーションの結果は、電流源や電圧源がモデルでどのように接続されているかによって変わります。シミュレーション結果が予期しないものであった場合は、モデルに配置されているほかのコンポーネントと電源のあいだの接続を確認してください。MapleSim コンポーネントライブラリに用意されている電流源では、正の電流の方向が矢印で示されます。



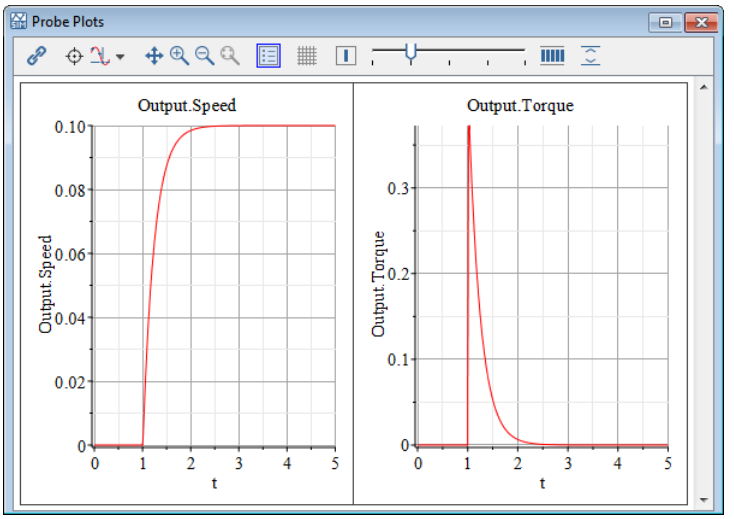
また、すべての電圧源には、正の電圧の位置を示すプラス記号と、負の電圧の位置を示すマイナス記号が表示されています。



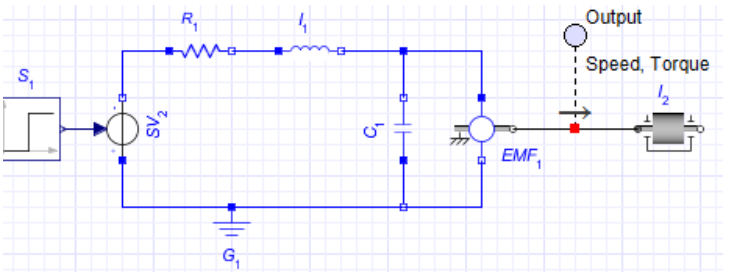
たとえば、下図の **Simple DC Motor** モデルでは、ダイアグラム左側に配置されている **Signal Voltage** コンポーネントのプラス (+) のポートは、**Resistor** コンポーネントのプラスのポートに接続されています。



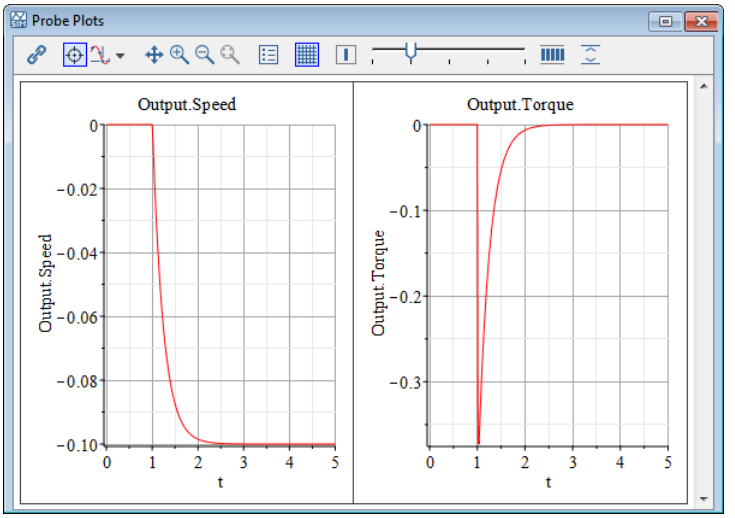
このモデルをシミュレーションした場合、MapleSim は下に示すトルクと速度の結果を返します。



逆に、下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。



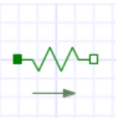
その場合、MapleSim は異なる速度とトルク量の結果を返します。



ベストプラクティス : 1-D 並進モデルの構築

力を示す矢印の向きがすべて同じであることを確認

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。



モデルに作用する正の力は、コンポーネントを矢印の向きに移動させます。そのため、モデル内の 1-D 並進メカニカルコンポーネントに表示される力の矢印がすべて同じ方向を向いていることを確認してください。例として、以下のモデルでは、すべての力の矢印が右向きになっています。

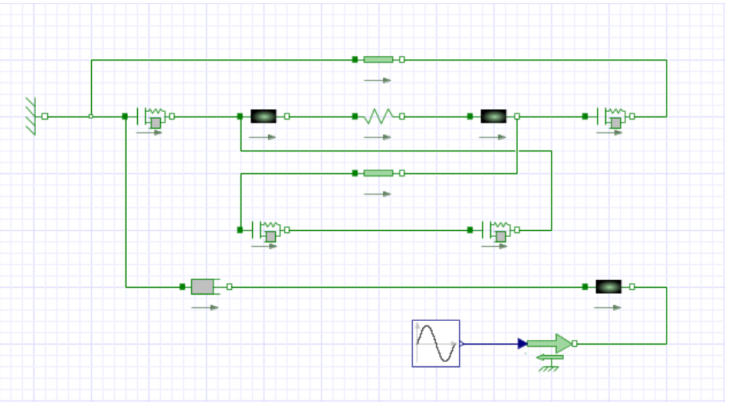


図2.15 力の矢印の確認

符号規約および矢印の向きがモデルに作用する力をどのように表すかについての例は、**[ヘルプ]** メニューの **[例題] > [ユーザガイドの例題] > [第 2 章]** から「**Constant Acceleration**」、「**Sign Convention**」、または 「**Arrow Convention**」のいずれかの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構築

Rigid Body Frame の内側のポートを重心フレームに接続

モデル内の **Rigid Body Frame** コンポーネントの内側ポート (inboard port) は、必ず **Rigid Body** コンポーネントの重心フレームに接続してください。これにより、**Rigid Body Frame** コンポーネントの変位や回転を記述するローカル座標系と、**Rigid Body** コンポーネントで定義された重心座標系との整合性が保たれます。

下図の平面リンクの例では、**Rigid Body Frame** の内側ポート (アイコンを持つポート) の両方が **Rigid Body** コンポーネントに接続されています。

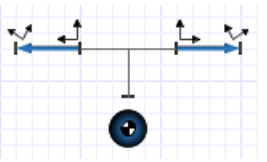


図2.16 重心配置のベストプラクティス

ベストプラクティス: 油圧モデルの構築

流体特性を定義

油圧モデルを構築する場合は、**Hydraulic System Properties** コンポーネントをモデルのトップレベル、または油圧サブシステムと同じ階層に配置して、使用する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、モデル内のすべての油圧コンポーネントおよび油圧サブシステムは、そのコンポーネント インスタンスで定義された流体特性を継承します。一方、**Hydraulic System Properties** コンポーネントをサブシステムと同じ階層に配置した場合は、そのサブシステムおよび配下のネストされたサブシステム内のすべての油圧コンポーネントが、そのコンポーネントインスタンスで定義された流体特性を継承します。

以下の例では、モデル内のすべての油圧コンポーネントが、図の右上に配置された **Hydraulic System Properties** コンポーネントで定義された流体特性を継承しています。

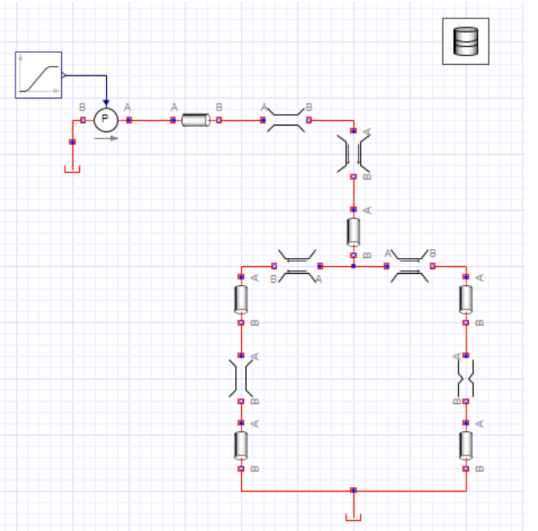


図2.17 油圧モデル

油圧システムのモデリング方法に関する詳細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 [266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、すべての初期条件が互いに独立しているとは限りません。初期条件を厳密に強制するには **enforce** () オプションを使用します。一方、指定した初期条件に対して **guess** () オプションを使用すると、ソルバーがシステムの望ましい初期構成をより迅速に決定するのに役立ちます。

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 [93ページ]*
- *信号フロー動作を持つカスタムコンポーネントの作成 [96ページ]*
- *物理接続を備えたカスタムコンポーネントの作成 [103ページ]*
- *MapleSim におけるカスタムコンポーネントの操作 [104ページ]*
- *例 : 非線形ばねダンパカスタムコンポーネントの作成 [106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。

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[228ページ]* を参照してください。

MapleSim には、Apps またはテンプレートのいずれかを使用してカスタムコンポーネントを作成するための専用ツールが付属しています。

- Apps を利用するには、**左側パネル**の **[Apps]** タブ ( ) をクリックし、**[コンポーネント作成]** パレット (**図3.1「コンポーネント作成 Apps」** 参照) から App 名をダブルクリックして開きます。App が**分割パネル**の **App ビューワ**に開きます。
- テンプレートを利用するには、**アプリケーションツールバー**で、**[Maple ワークシートを読み込む]** ( ) をクリックし、ダイアログから利用可能なテンプレートを選択します。テンプレートが Maple で開きます。

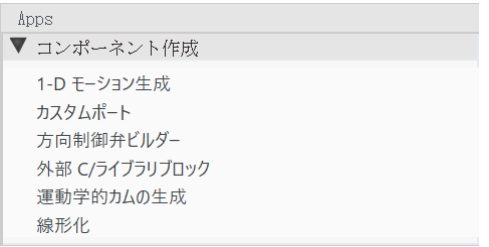


図3.1 コンポーネント作成 Apps

シンプルなカスタムコンポーネントの作成

MapleSim モデル用のカスタムコンポーネントを作成する一般的な手順は、カスタムコンポーネントの方程式およびパラメータを定義し、ポートのタイプおよびポートに割り当てる変数を指定した後、コンポーネントを生成することです。

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、**アプリケーションツールバー**で **[Maple ワークシートを読み込む]** ( ) をクリックします。
2. **[Maple ワークシートの読み込み]** ダイアログの **[テンプレートから]** リストから **[カスタムコンポーネント]** を選択し、**[OK]** ボタンをクリックします。
3. **[添付を作成]** ダイアログウィンドウにテンプレート名を入力し( )をクリックします。Mapleが起動し、**DAEカスタムコンポーネントテンプレート**が開きます。
4. **[方程式の定義]** 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。入力が完了したら行の最後で **[Enter]** キーを押し、変数 eq に方程式のリストを割り当てます。

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

5. **[設定]** セクションで **[パラメータ]** を選択し、**[すべて更新]** をクリックしてから、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]** を選択し、**[すべて更新]** をクリックしてから、モデル変数に初期値とタイプを割り当てます。
7. **[ポート]** を選択し、**[ポートを追加]** をクリックしてカスタムコンポーネントにポートを追加します。カスタムコンポーネントで使用するポートのレイアウトやアイコンも設定できます。
   カスタムポートを定義することもできます。この場合、あらかじめカスタムポート Apps 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、作成した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詳細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 [241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、およびポート変数についての詳細を入力します。
9. **[コンポーネントの生成]** セクションで、**[名前]** フィールドにコンポーネント名を入力します。この名前は、MapleSim の **[ローカルコンポーネント]** タブ( )の **[コンポーネント]** パレットで、カスタムコンポーネント名として表示されます。
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。カスタムコンポーネントは、**[ローカルコンポーネント]** タブの **[コンポーネント]** パレットに表示されます。



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あり、代数方程式、微分方程式、または微分代数方程式 (DAE) 系からカスタムコンポーネントを作成できるよう特別に設計されています。カスタムコンポーネントテンプレートは、特定の Maple コマンドに関連付けられたあらかじめ構築済みのコントロールおよびプロシージャの集合であり、新しい MapleSim コンポーネントを容易に作成できます。カスタムコンポーネントに加えて、**Modelica カスタムコン**

ポーネントでは、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することもできます。

カスタムコンポーネントテンプレートは、単に方程式を格納するためのコンテナではありません。カスタムコンポーネントを生成する前に、Mapleのあらゆる機能を利用して方程式をさらに発展させることもできます。これには、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作成ツールへのアクセスが含まれ、コンポーネントの挙動を即座に解析および検証できます。

カスタムコンポーネントテンプレートを使用すると、以下のタスクを実行してMaple でカスタムコンポーネントを作成できます

- モデルにカスタムコンポーネントテンプレートを添付
- 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 (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
- 関連するポート変数のマッピングを定義
- 方程式の変数をポートにマッピング
- コンポーネントを生成し、MapleSim で利用可能にする
- ユーザの数理モデルをテストおよび解析

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様の検証機能を利用してこれらのタスクを実行できる、用意されたコントロールが含まれており、無効な接続やパラメータ値の発生を防ぐことができます。

カスタムコンポーネントテンプレートの使用

テンプレートの使用方法の詳細については、ヘルプページ Using the MapleSim DAE Custom Component Template を参照してください。

3.2. 信号フロー動作を持つ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を使用すると、多数の信号フローコンポーネントを相互に接続する必要がなくなるため、モデルの構築が簡素化されます。この例では、

単純な信号フロー方程式を実装するカスタムコンポーネントを作成する方法を示します。

シンプル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、**アプリケーションツールバー**で **[Maple ワークシートを読み込む]** ( ) をクリックします。
2. **[Maple ワークシートの読み込み]** ダイアログの **[テンプレートから]** リストから **[カスタムコンポーネント]** を選択し、**[OK]** ボタンをクリックします。
3. **[添付を作成]** ダイアログウィンドウにテンプレート名を入力し( )をクリックします。Mapleが起動し、**DAE カスタムコンポーネントテンプレート**が開きます。
4. **[方程式の定義]** 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*を割り当てる必要があるため、この方程式は角括弧 [ ] で囲まれています。

5. **[Enter]** キーを押し、方程式を登録します。

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

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

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陽的な式に変形する必要はありません。たとえば、次のような陰的な式で定義することもできます。

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

この場合、出力 $x(t)$ は陽的な形では与えられていませんが、MapleSim は $x(t)$ の解を自動的に求めます。

6. **[設定]** セクションで **[ポート]** を選択し、**[すべて更新]** をクリックしてデータテーブルを更新します。
7. **[全ポートを削除]**をクリックし、テンプレートとして定義されているポートをすべて削除します。
8. **[ポートを追加]** を 3 回クリックして新しいポートを 3 つ追加し、それぞれを以下の位置にドラッグします。

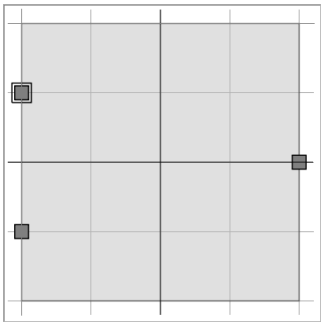


図3.3 ポートマッピング

9. 左側の上にあるポートをクリックして選択します。
10. **[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。
11. 次に、変数をポート信号に関連付けます。**図3.4「変数とポートのマッピング」** 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



図3.4 変数とポートのマッピング

12. 同様の手順で、**表3.1「ポートのマッピング」**の設定になるように、残りのポートの設定を完了させます。

表3.1 ポートのマッピング

ポートの名前	ポートの位置	ポートのタイプ	ポートのスタイル	ポートの変数
real_i	左上	Real Signal	in	$y(t)$
real1_i	左下	Real Signal	in	$z(t)$
real_o	右	Real Signal	out	$x(t)$

13. **[アイコン]** リストから、**[Use default]** を選択します。

14. **[コンポーネントの生成]** セクションで、**[名前]** フィールドに「**custom**」と入力します。

15. **[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、モデルに追加されます。カスタムコンポーネントのア

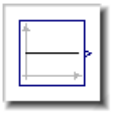
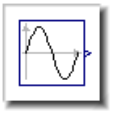
イコンが、MapleSimの**[ローカルコンポーネント]**タブの**[コンポーネント]**パレットに表示されます。



図3.5 生成されたカスタムコンポーネント

16. **表3.2「信号フローコンポーネント」**に示すように、作成したカスタムコンポーネントとライブラリコンポーネントをパレットからモデルワークスペースにドラッグします。

表3.2 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	アイコン	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	**1**		ローカルコンポーネント () > [コンポーネント]	カスタム設定
Constant	**1**		ライブラリコンポーネント () > [信号ブロック] > [ソース] > [実数]	デフォルト設定を使用
Sine	**1**		ライブラリコンポーネント () > [信号ブロック] > [ソース] > [実数]	デフォルト設定を使用

17. 下図のように、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。

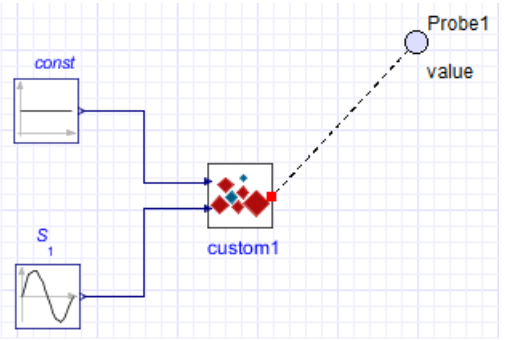
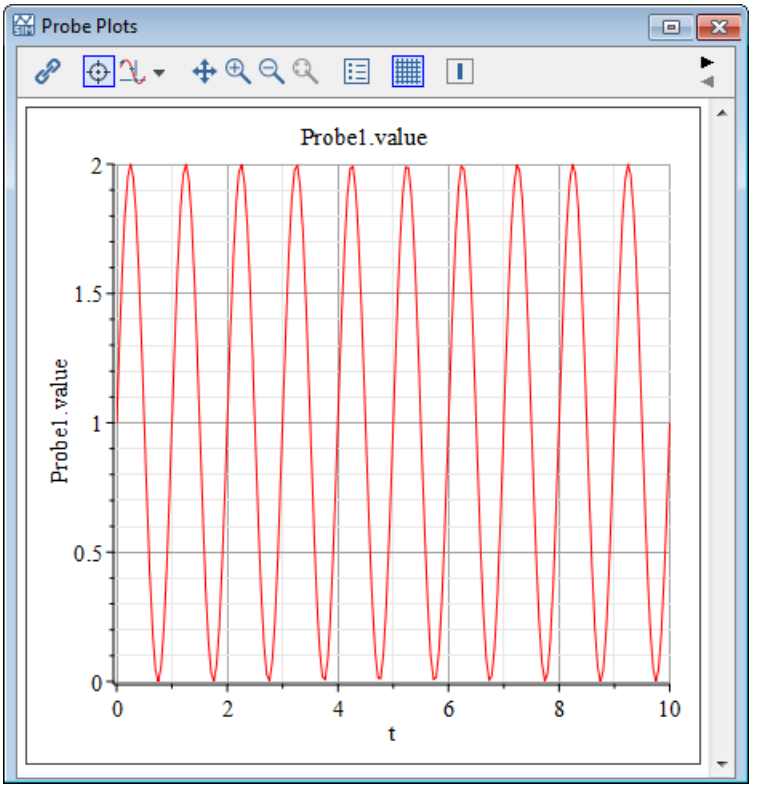


図3.6 完成したカスタムコンポーネントモデル

18. **アプリケーションツールバー**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として扱うことができます。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 $y(t) = x(t) - z(t)$ 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「因果化」されるためであり、MapleSimが入力を期待し、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コンポーネントを使用する代わりに、微分方程式を用いて独自の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「二重質量ばねダンパ系の方程式」** では、駆動力を受ける2つの結合された質量・ばね・ダンパー系の運動を表す方程式が示されています。

$$eq := \left[m1 \cdot \frac{d^2}{dt^2} x1(t) = -K1\,x1(t) - B1 \frac{d}{dt} x1(t) - K2\,(x1(t) - x2(t)) - B2 \left(\frac{d}{dt} x1(t) - \frac{d}{dt} x2(t) \right), m2 \frac{d^2}{dt^2} x2(t) = -K2\,(x2(t) - x1(t)) - B2 \left(\frac{d}{dt} x2(t) - \frac{d}{dt} x1(t) \right) + F(t) \right]:$$

$$params := [K1 = 1, B1 = 1, K2 = 1, B2 = 1, m1 = 1, m2 = 1]:$$

$$initialconditions := [x1(0) = 0, x2(0) = 0, D(x1)(0) = 0, D(x2)(0) = 0]:$$

図3.7 二重質量ばねダンパ系の方程式

図3.8「二重質量ばねダンパ系のポートマッピング」 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。

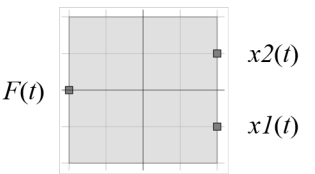


図3.8 二重質量ばねダンパ系のポートマッピング

3.3. 物理接続を備えたカスタムコンポーネントの作成

物理接続を備えたカスタムコンポーネントを作成する場合、各接続ポートには*介在変数*と*通過変数*の 2 つの変数が関連付けられます。介在変数はシステム内のポテンシャル量 (温度、圧力、電圧、位置、角度など) を表し、通過変数は保存量の流れ (熱流量、質量流量、電流、力、トルクなど) を表します。

表3.3 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 (力、トルク、電流、熱流量や質量流量など) 流れの方向がある 「入力＝出力＋蓄積」という関係式を満たす	保存量の流れに影響を与える スカラー量である 物理ドメイン内の 2 点間の差として定義される

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と通過変数の間の数学的関係を示します。

表3.4 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・ポアズイユの式 油圧ドメイン	$\frac{\mathrm{d}m}{\mathrm{d}t} = \frac{\pi D^4 \rho}{128 L \mu} \cdot P$	$\frac{\mathrm{d}m}{\mathrm{d}t}$	P
フーリエの法則 伝熱ドメイン	$\frac{\mathrm{d}Q}{\mathrm{d}t} = h A T$	$\frac{\mathrm{d}Q}{\mathrm{d}t}$	T

抵抗のシステム方程式の導出

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電気抵抗のモデルを示します。

表3.5 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)		電圧差
vLeft(t)		左ポートの電圧
vRight(t)		右ポートの電圧
	R	抵抗値

オームの法則により、電圧差と電流の関係は次のように表されます。

$$v(t) = v_{Left(t)} - v_{Right(t)}$$

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

図3.9「抵抗のポートマッピング」 に、カスタムコンポーネントのポートに対応する変数を示します。



図3.9 抵抗のポートマッピング

右側のポートの電流 $i(t)$ は負の符号を持つため、電流が抵抗から流出していることを表します。一方、左側のポートの電流は正の符号を持つため、電流が抵抗へ流入していることを表します。抵抗値 **R** は **[プロパティ]** タブ ( ) で設定できるパラメータとして定義されています。

3.4. MapleSim におけるカスタムコンポーネントの操作

MapleSim では、カスタムコンポーネントをサブシステムと同様の方法で操作できます。次の操作を実行できます。

- 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
- 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を開く

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、カスタムコンポーネントもモデルの一部として保存されます。**[編集]** メニューから **[モデルの整理...]** を選択すると、使用されていないカスタムコンポーネントの定義はモデルから削除されます。モデルの整理機能によってカスタムコンポーネントが削除されないようにするには、次のいずれかを実行します。

- **[ローカルコンポーネント]** タブの **[コンポーネント]** パレットで**グループ**を作成し、その中にカスタムコンポーネントを格納する。
- モデル内でカスタムコンポーネントを使用する。**[コンポーネント]** パレットからモデルワークスペースへカスタムコンポーネントをドラッグする。

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

現在のモデル以外のファイルでカスタムコンポーネントを使用する場合は、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。詳細については、*カスタムライブラリの作成と管理 [75ページ]* を参照してください。

カスタムコンポーネントの編集

生成済みのカスタムコンポーネントを編集する場合は、対応する Maple ワークシートで変更を行い、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 の**モデルワークスペース**で編集するカスタムコンポーネントをダブルクリックします。対応するカスタムコンポーネントテンプレートがMapleで開きます。
2. Mapleワークシートで、方程式、プロパティ、またはポート値を編集します。

3. ワークシート下部の **[MapleSim コンポーネントを生成]** をクリックします。
   変更内容が反映されたカスタムコンポーネントがMapleSimに生成されます。
4. Maple ワークシート (.mw) およびモデルファイル (.msim) を保存します。

3.5. 例 : 非線形ばね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、非線形ばねダンパのカスタムコンポーネントを作成します。この例に定義する方程式は、MapleSim の **Translational Spring Damper** コンポーネントに基づいています。ばね剛性と減衰係数は、コンポーネントへの入力関数に置き換えます。

支配法則を導出するために、まず自由物体図 (free-body diagram) を描きます。ばねダンパ系の自由物体図を以下の図に示します。

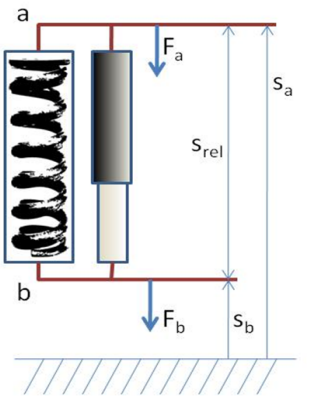


図3.10 非線形ばねダンパカスタムコンポーネント

コンポーネントの端点 *a* および *b* は、このコンポーネントのポートとして定義できます。方程式はこれらのポートを基準として導出されます。したがって、一般的な運動方程式は次のようになります。

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

ここで、*d* は減衰係数、*c* はばねの剛性、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、系に作用する合力を調べると、$F(t) = F_b(t)$ となり、次の等式が成り立つことがわかります。

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

以上のすべての関係式が、システムの挙動を定義するために必要です。

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、**アプリケーションツールバー**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. **アプリケーションツールバー**で**[Maple ワークシートを読み込む]**( ) をクリックします。
3. **[Maple ワークシートの読み込み]** ダイアログの **[テンプレートから]** リストから **[カスタムコンポーネント]** を選択し、**[OK]** ボタンをクリックします。
4. **[添付を作成]** ダイアログウィンドウにテンプレート名を「**Nonlinear Spring-Damper**」と入力し ( ) 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

MapleSim インターフェース内でコンポーネントに表示される名前を指定し、方程式を定義できます。

カスタムコンポーネントを定義するには

1. **[方程式の定義]** セクションで、以下の方程式を入力して非線形システムを定義します。

```
>
```

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

;

方程式は、Maple リストとして入力されることにご注意ください。ここでは、定数の *d* (減衰) と *c* (剛性) はシステムへの入力として定義するために、時間の関数として *d*(*t*) と *c*(*t*) に置き換えられています。

2. 方程式にカーソルを置いて、**[Enter]** キーを押し、*eq* に方程式の *リスト* を割り当てます。
3. **[設定]** セクションで **[変数]** を選択し、**[すべて更新]** をクリックして変数のリストを更新します。

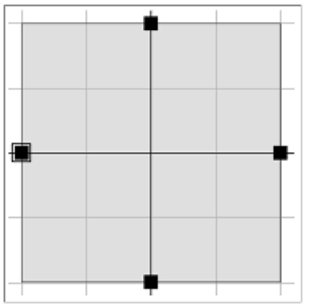
これで、生成するカスタムコンポーネントに追加するポートへ、これらの入力変数および出力変数を割り当てることができます。

コンポーネントのポートの定義

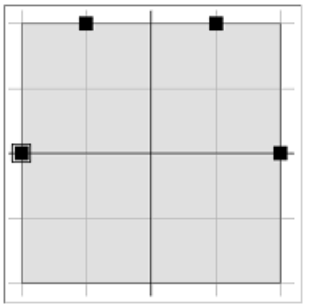
テンプレートの **[ポート]** セクションでは、生成されるコンポーネントに表示されるポートへ入力変数および出力変数を割り当て、さらにそれらのポートのレイアウトを指定します。

ポートを定義するには

1. **[設定]** セクションで **[ポート]** を選択します。
2. **[全ポートを削除]** をクリックします。
3. **[ポートを追加]** を 4 回クリックします。ダイアグラムに 4 つの四角形が表示されます。これらは、ユーザが配置し、定義するポートです。



4. ポートをドラッグして、左右に 1 つずつ、上側に 2 つ配置します。

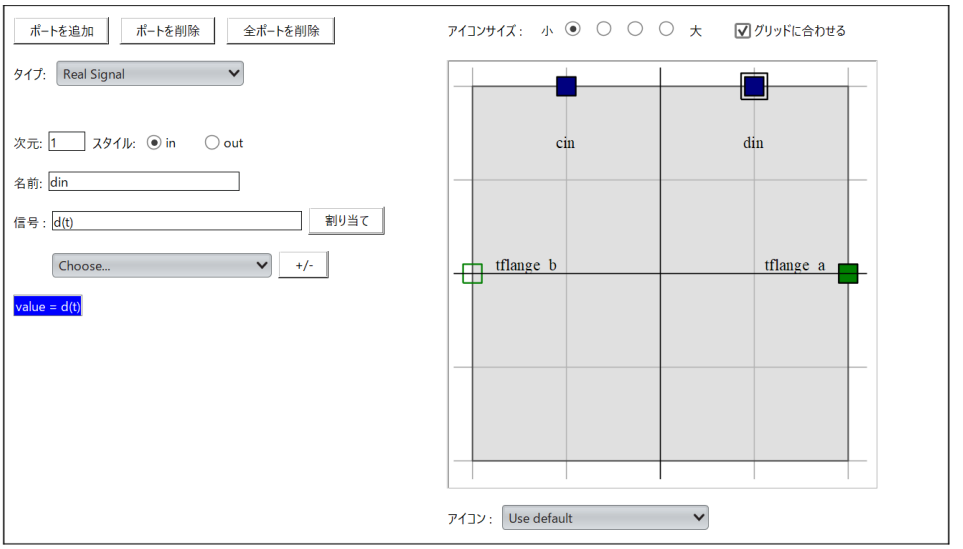


5. ダイアグラムで左側のポートを選択します。
6. **[タイプ]** ドロップダウンメニューから、**[Translational]** を選択します。
7. ポートのスタイルには、**[b]** を選択します。ポートの名前はデフォルトで **tflange_b** になります。
8. 最初に、*位置*信号を定義します。**[信号]** の下のリストで **[Position = unassigned]** が選択されていることを確認します。**[信号]** の下のドロップダウンリストから **[s_b(t)]** を選択します。
9. 次に、*力*信号を定義します。**[信号]** の下のリストで **[Force = unassigned]** を選択します。**[信号]** 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)** が関連付けられた並進フランジとして定義されたことになります。
10. ダイアグラムで右側のポートを選択します。
11. **[タイプ]** ドロップダウンメニューから、**[Translational]** を選択します。

12. 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。
13. 最初に、*位置*信号を定義します。**[信号]** の下のリストで **[Position = unassigned]** が選択されていることを確認します。**[信号]** の下のドロップダウンリストから **[s_a(t)]** を選択します。
14. 次に、*力*信号を定義します。**[信号]** の下のリストで **[Force = unassigned]** を選択します。**[信号]** 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、右側のポートは位置変数 **s_a(t)** と力変数 **F_a(t)** が関連付けられた並進フランジとして定義されたことになります。
15. ダイアグラム上部左側のポートを選択し、以下の手順に従います。
    - **[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]** で、**[in]** を選択します。
    - **[名前]** を「**cin**」に変更します。
    - **[信号]** の下のドロップダウンリストから **[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. ダイアグラム上部右側のポートを選択し、以下の手順に従います。
    - **[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]** で、**[in]** を選択します。
    - **[名前]** を「**din**」に変更します。
    - **[信号]** の下のドロップダウンリストから **[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。
17. **[アイコン]** リストから、**[Use default]** を選択します。



MapleSim でカスタムコンポーネントを生成すると、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. **[設定]** セクションで **[次元解析]** を選択し、**[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が、数式コンポーネントに表示されます。
2. 単位系を修正するために、**[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_rel(t) には、「**Length**」を入力します。
   - v_rel(t) には、「**Velocity**」を入力します。
3. **[すべて更新]** 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。直接これらのタイプ名を入力することも可能です。Modelica のタイプ名が不明な場合は、**[タイプの参照]** ドロップダウンリストから、対応する **[ドメイン]** と **[タイプ]** を選択し、テキストエリアに表示されたタイプをテーブルにコピーアンドペーストします。

4. **[次元解析]** を選択し、**[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。

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

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

これは、実際の入力信号 cin(t) および din(t) が暗黙的な単位を持っていることを示す、問題のない不整合です。

カスタムコンポーネントの生成

カスタムコンポーネントを生成し、**[ローカルコンポーネント]** タブの **[コンポーネント]** パレットに追加します。

1. **[コンポーネントの生成]** セクションで、**[名前]** テキストボックスに「**NonLinearMSD**」と入力します。
2. **[{PRODUCT} コンポーネントを生成]** をクリックします。生成されたカスタムコンポーネントは、MapleSim 内の **[ローカルコンポーネント]** タブ( )の **[コンポーネント]** パレットに表示されます。



ほかのコンポーネントと同様に、**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。

3. MapleSim モデルを「**NonlinearSpringDamper.msim**」として保存します。第6章の *[210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 [115ページ]*
- *モデルのシミュレーション [118ページ]*
- *シミュレーションの進捗状況メッセージ [134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 [135ページ]*
- *プロットウィンドウ構成のカスタマイズ [137ページ]*
- *マルチボディモデルの可視化 [145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 [169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

次に、トポロジ方程式 (コンポーネント間の相互作用を表す方程式) と端子 (コンポーネント) 方程式が収集され、1 つの大規模な方程式系にまとめられます。また、パラメータ値も代入されます。これにより、MapleSim のシミュレーションエンジンは、場合によっては大規模なハイブリッド微分代数方程式 (DAE) 系を扱うことになります。この方程式系には、代数拘束を伴う微分方程式に加え、離散イベントも含まれています。

方程式の簡略化

*「index reduction (インデックス低減)」*と呼ばれる処理により、代数拘束は可能な限り削減されます。この処理の中核となるのは、インデックス 1 の微分代数方程式 (DAE) 系を構築するアルゴリズムであり、さらに他の記号的簡略化手法を適用することで、方程式数および変数数を削減します。これらの手法の多くは、ハイブリッドシステムの取り扱いに関連しています。

変数には、MapleSim ウィンドウの左側パネルの **[プロパティ]** タブで特定のコンポーネントのパラメータ値を指定することにより、一部の変数の初期値を設定できます。指定した初期条件に矛盾がある場合は、シミュレーション中にエラーが検出されます。この問題の解決を支援するために、初期化診断 App を使用します。

積分とイベント処理

すべての前処理ステップが完了すると、積分およびイベント処理が開始されます。選択したソルバーの種類に応じて、高度な DAE ソルバが方程式系を数値積分します。可変ステップソルバでは、拘束ドリフト（constraint drift）による解の精度低下を防ぐため、代数拘束が継続的に監視されます。固定ステップソルバでは、各固定時間ステップごとに代数拘束が監視されます。

積分中は、モデルの一部である不等式条件が監視され、それらの条件の 1 つ以上が変化するとイベントが発生します。このようなイベントが検出されると、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方程式系の新しい構成を計算します。この処理には、新しいシステム構成に対する初期条件の再計算も含まれます。その後、ソルバが再起動され、別のイベントが発生す

るかシミュレーション終了時刻に到達するまで、方程式系の数値求解が継続されます。

注 : イベント処理は、可変ステップソルバと固定ステップソルバの両方で実行されます。違いは、固定ステップソルバではイベントが固定時間ステップでのみ処理されるのに対し、可変ステップソルバでは、積分中にイベントが発生した時刻と正確に一致するようにソルバが時間ステップを調整する点です。

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、対象となる物理量を示すグラフで表示されます。また、マルチボディシステムの場合は、オプションで指定されていると、3-D アニメーションが表示されます。

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。

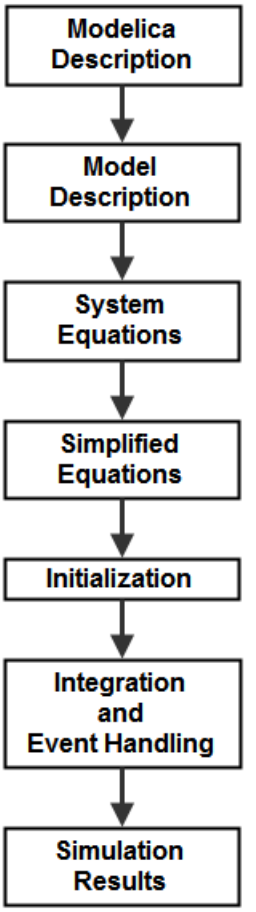


図4.1 シミュレーションプロセス

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ソルバの詳細については、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

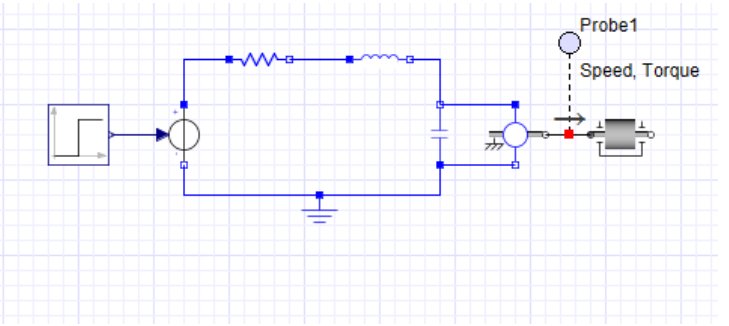
物理特性 (電流や電圧など) の挙動や応答を確認するには、2-D または 3-D モデル内の結線、ポート、またはコンポーネントにプローブを追加します。MapleSim では、プローブを使用することで、接続ポートに関連付けられた対象の変数を特

定することができます。シミュレーションを実行すると、指定した各量についてグラフが表示されます。

プローブを追加するには

1. **モデルワークスペースツールバー**から、**[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、プローブを取り付けたい結線またはコンポーネントのポートにマウスカーソルを合わせます。結線またはポートがハイライトされたら、1 回クリックしてプローブの「センサ」を取り付けます。
3. プローブの「インジケータ」を適切な位置までドラッグし、ワークスペースをクリックしてプローブを配置します。
4. **モデルワークスペース**内のプローブの「インジケータ」をクリックします。
5. **モデルワークスペース**左の **[プロパティ]** タブ ( ) で、シミュレーショングラフに表示したい状態量を選択します。

通過変数 (スルー変数) を測定するためのプローブを追加すると、モデルワークスペースに正の方向の流れを示す矢印が表示されます。



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、**[ヘルプ]** メニュー > **[例題]** > **[ユーザガイドの例題] > [第 4 章]** から「**Constant Acceleration**」、「**Sign Convention**」、または 「**Arrow Convention**」のいずれかの例題を参照してください。

シミュレーションの実行

シミュレーションを実行するには、**アプリケーションツールバー**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したら、**[シミュレーション結果を表示]**( )をクリックしてください。**解析ウィンドウ**が開き、シミュレーションのグラフが表示されます。

注 : シミュレーション時間、使用するソルバの種類、およびソルバ、シミュレーションエンジン、マルチボディ、可視化設定に関するその他のパラメータ値を指定できます。これらの設定は、ワークスペースの左にある **[シミュレーション設定]**タブ( )をクリックして表示します。詳細については、*シミュレーション設定とシミュレーションのオプション設定 [126ページ]*と *3-D可視化とマルチボディ設定 [146ページ]*を参照してください。

パラメータブロックを使用したシミュレーションの再実行

元のプローブやパラメータの値を変更して別のシミュレーションを実行し、結果を比較することもできます。あるいは**シミュレーション再実行**機能を利用して、モデル全体を再コンパイルすることなくシミュレーションを再実行できます。

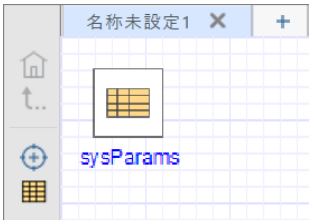
この手順の詳細については、**コンパイルなしでシミュレーションを再実行する**を参照してください。ここではその一例を紹介します。別の例については、このガイドの第 6 章の *チュートリアル 1 : ギアボックス付き DC Motor のモデリング [195ページ]* を参照してください。

例

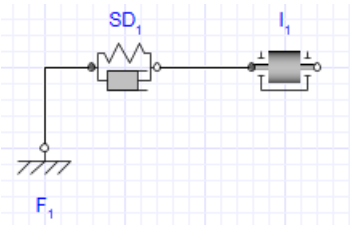
以下の例では、単純なモデルに対して**シミュレーション再実行**機能を使用する方法を示しています。この例では、モデル全体を再コンパイルすることなく、特定

のパラメータや初期条件などを迅速に更新できるモデルを作成する手順を示します。

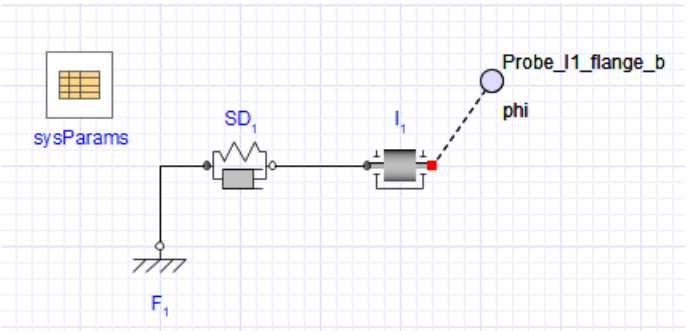
1. **[ファイル]** メニューから **[新規作成]** > **[モデル]** を選択します。または、**[CTRL]** + **[N]** キー（Mac の場合、**[Command]** + **[N]** キー）を押します。
2. 新しく作成されたモデルワークスペースには、パラメータブロックが自動的に配置されていることに注意してください。デフォルトでは、パラメータブロックの名前は「sysParams」です。



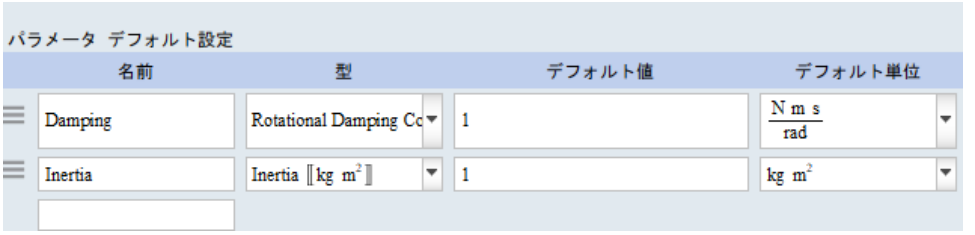
3. **[ライブラリコンポーネント]** タブから、以下のコンポーネントを**モデルワークスペース**に追加します。
   - **[1-D メカニカル]** > **[回転]** > **[共通]** から **Inertia** コンポーネントを追加します。
   - **[1-D メカニカル]** > **[回転]** > **[共通]** から **Rotational Spring Damper** コンポーネントを追加します。
   - **[1-D メカニカル]** > **[回転]** > **[共通]** から **Rotational Fixed** コンポーネントを追加します。
4. 以下のようにコンポーネントを結線します。



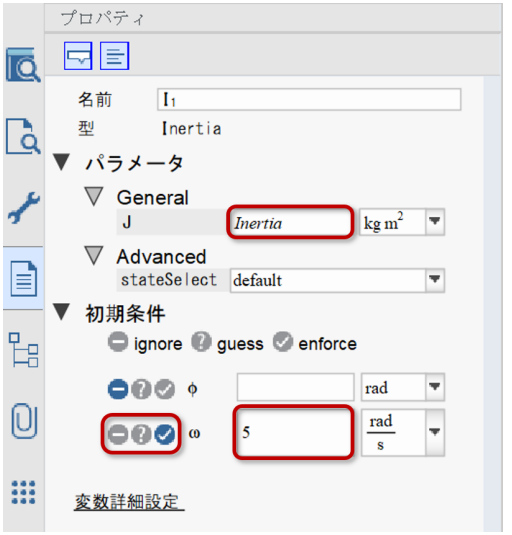
5. **[プローブ]** を **Inertia** コンポーネントに追加します。



6. パラメータブロック「sysParams」をダブルクリックします。**[パラメータ デフォルト設定]** 画面が**分割パネル**に表示されます。
7. **[名前]** に「**Damping**」と入力し、**[型]** に **Rotational Damping Constant** [[$\frac{\mathbf{N\,m\,s}}{\mathbf{rad}}$]]を選択、**[デフォルト値]** に **1** を入力し、**[デフォルト単位]** に $\frac{\mathbf{N\,m\,s}}{\mathbf{rad}}$ を選択します。**[Enter]** キーを押します。別のパラメータを追加する行が作成されます。
8. 新しく作成された行で、**[名前]** に「**Inertia**」、**[型]** に **Inertia** [[$\mathbf{kg\,m^2}$]] を選択、**[デフォルト値]** に **1** を入力し、**[デフォルト単位]** に $\mathbf{kg\,m^2}$ を選択します。

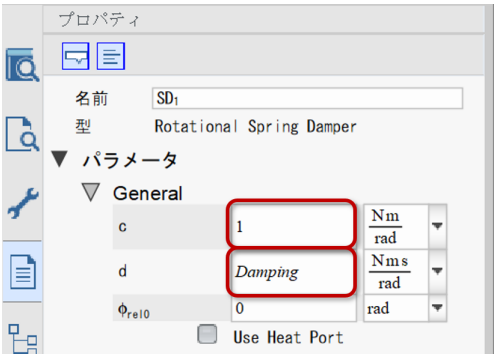


9. **モデルワークスペース**で **Inertia** コンポーネントをクリックします。**左側パネル**に **[プロパティ]** タブ ( ) が表示されます。
10. **[パラメータ]** > **[General]** にある慣性モーメント **[J]** の値を、デフォルトからステップ 8 の **[名前]** で定義した「**Inertia**」に変更します。
11. **[初期条件]** にある絶対角速度 **[ω]** に **5** を入力し、初期条件のオプションが **enforce** ( ) に変更されたことを確認します。

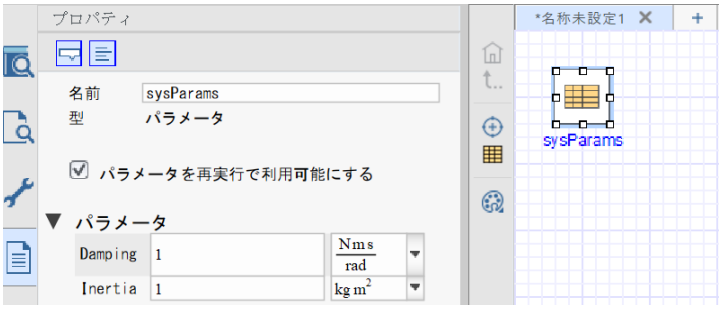


12. 同様に、モデルワークスペースで「**Rotational Spring Damper**」コンポーネントをクリックし **[プロパティ]** タブ ( ) を表示します。

13. **[パラメータ]** > **[General]** にあるバネ定数 **[c]** の値をデフォルトから **1** に、ダンパ定数 **[d]** の値を、デフォルトからステップ 7 の **[名前]** で定義した「**Damping**」に変更します。



これで、パラメータブロックで定義された値がモデル内で自動的に使われるようになります。



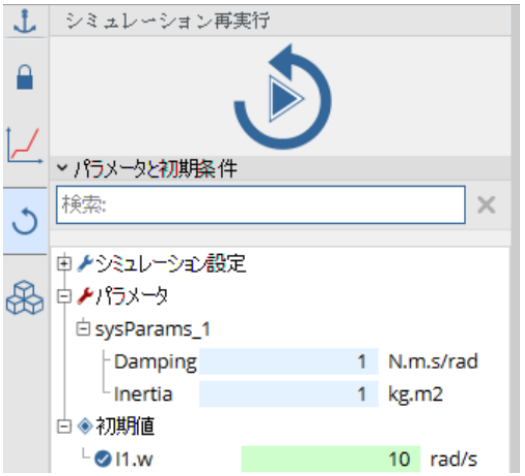
[パラメータを再実行で利用可能にする] オプションが選択されていることに注意してください。これは、モデルが 1 回完全なシミュレーションを実行した後、モデル全体を再コンパイルすることなくパラメータブロックに定義されたパラメータを再調整して、その後の再シミュレーションで使用できることを意味します。

[パラメータを再実行で利用可能にする] のチェックボックスの選択を解除することで、このオプションをオフにすることができます。

14. **[シミュレーションの実行]** ( ) ボタンを押し、シミュレーションを実行します。

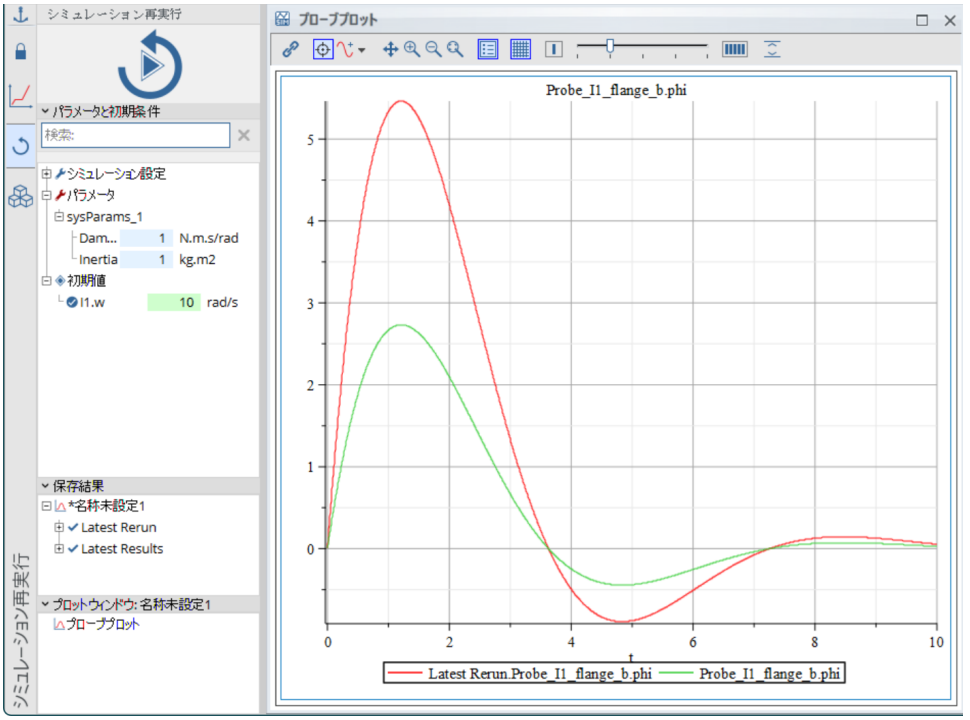
15. シミュレーションが完了したら、**解析ウィンドウ**の **[再実行パネルを表示]** ( ) ボタンをクリックし、**[シミュレーション再実行]** パネルを開きます。

16. **[シミュレーション再実行]** パネルで、初期速度 **[I1.w]** を **10** rad/s に変更します。

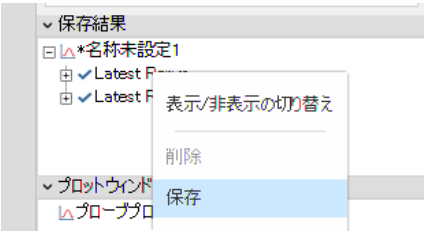


17. **[再実行]** ( ) ボタンをクリックします。

18. シミュレーションが終了したら、**解析ウィンドウ**で結果を調べることができます。



19. **シミュレーション再実行**パネルでは、パラメータブロックで定義されたパラメータや初期条件に加え、シミュレーションの時間や許容誤差などのシミュレーション設定を変更することもできます。
20. **[保存結果]** セクションで「**Latest Rerun**」を右クリックします。
21. コンテキストメニューから **[保存]** を選択し、シミュレーション再実行結果に名前を付け保存します。



（これらの作業は、**[シミュレーション結果]** タブを選択して表示される **[シミュレーション結果]** パネル上の **[保存結果]** セクションでも、同様に行うことができます。）

22. **[シミュレーション再実行]** パネルに戻り、**[Damping]** の値を **2** N.m.s/radに変更します。
23. シミュレーションを再実行します。
24. 先ほど名前を付けて保存したシミュレーション結果と一緒にプロットされた、新しい再実行シミュレーション結果を確認してください。

シミュレーション設定とシミュレーションのオプション設定

シミュレーションに使用されるパラメータは、左側パネルの **[シミュレーション設定]** タブ () に表示されます。ここから、**[シミュレーション設定]** および **[オプション設定]** にアクセスできます。

[マルチボディ設定] および **[可視化設定]** に関する詳細については、*3-D 可視化とマルチボディ設定 [146ページ]* を参照してください。

シミュレーション設定

シミュレーション設定セクションでは、シミュレーションの実行時間、プロットポイントの数、ソルバ、およびソルバ固有のその他のパラメータを指定できます。シミュレー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4.1「シミュレーション設定」** を参照してください。

表4.1 シミュレーション設定

パラメータ	デフォルト	説明
t_d	10 s	シミュレーションの実行時間。浮動小数点数を含む、任意の正の値を指定できます。 **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)
ソルバタイプ	Variable	シミュレーションに使用するソルバの種類。 • **Variable**: 可変時間ステップを使用し、許容誤差を維持します。 • **Fixed**: 固定時間ステップを使用し、積分誤差を考慮しません。 **注 :** Fixed (固定ステップソルバ) は、MapleSim のエクスポートされたコードで使用されるソルバと同一です。

パラメータ	デフォルト	説明
ソルバ	Variable: CK45 (semi-stiff) Fixed: Euler	シミュレーションに使用する DAE ソルバを指定します。 **ソルバタイプを Variable** にした場合は、以下の選択肢を使用できます。 • **CK45 (semi-stiff):** semi-stiff DAE ソルバ (ck45 法) を使用 • **RKF45 (non-stiff):** non-stiff DAE ソルバ (rkf45 法) を使用 • **Rosenbrock (stiff):** stiff DAE ソルバ (Rosenbrock 法) を使用 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。 **ソルバタイプ**を **Fixed** にした場合は、以下の選択肢を使用できます。 • **Euler**: 前進オイラー法ソルバを使用 • **Implicit Euler**: 後退 (陰的) オイラー法ソルバを使用 (stiff なシステムに適する) • **RK2**: 2 次ルンゲクッタソルバを使用 • **RK3**: 3 次ルンゲクッタソルバを使用 • **RK4**: 4 次ルンゲクッタソルバを使用
ϵ_{abs}	0.00001	**可変ステップソルバ**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}	0.00001	**可変ステップソルバ**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
ステップサイズ	0.001	**固定ステップソルバ**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す。
プロットポイント数	2000	シミュレーションで描画するプロット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。正の整数を指定することができます。イベントによっては追加ポイントが加算される場合があります。(イベント点のプロットについては**表4.2「シミュレーションオプション設定」**を参照) **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。

シミュレーションオプション設定

オプション設定セクションでは、シミュレーションの開始時刻、使用する状態スナップショット、コンパイルオプション、その他の設定を指定できます。これらの設定の一部は、**シミュレーション設定**で選択されたソルバの種類 (Variable またはFixed) によって異なります。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。

表4.2 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	ソルバタイプ	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、任意の浮動小数値を指定できます。 **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。
スナップショット	-	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上書きし、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 [135ページ]* を参照してください。
ヤコビアン	Symbolic	Variable: Rosenbrock Fixed: Implicit Euler	システムのヤコビアンを Symbolic (シンボリック) または Numeric (数値)で近似する方法を選択します。シンボリック定式化は、より高速かつ高精度なシミュレーションを実現できますが、定式化に時間がかかる場合があります。 **注 :** 数値定式化は、stiff ソルバ (Rosenbrock または Implicit Euler) でのみ使用できます。
バウムガルテ	☐	すべて	モデルにバウムガルテの拘束安定化を適用します。選択した場合は、モデルに適した微分ゲイン (α) および比例ゲイン (β) の値を入力します。
射影法	☑	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、射影法の最大計算回数に到達した場合、または射影法の許容誤差を下回った場合に終了します。

パラメータ	デフォルト	ソルバタイプ	説明
射影法の最大計算回数	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**射影法**が選択されている場合にのみ使用できます。
射影法の許容誤差	0.00001	Fixed	射影法の収束計算が終了する許容値。任意の正の浮動小数値を指定できます。
イベント処理中の射影法	☑	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。
イベント処理最大計算回数	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。
イベント処理ヒステリシス	$1. \times 10^{-7}$	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。
初期ヒステリシス	$1. \times 10^{-10}$	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。 **注 :** 可変ステップソルバで使用されます。
Index-1 エラーコントロール	☐	Variable	選択すると、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。
Index-1 許容誤差	1	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、値が 10 の場合、代数変数の誤差は微分変数の誤差の 10 倍になることを意味します。

パラメータ	デフォルト	ソルバタイプ	説明
最小ステップサイズ	0	Variable	最小ステップサイズを設定します。このオプションは注意して使用してください。ソルバがこの最小値で要求された誤差許容値を達成できない場合でも、そのステップは実行されます。
最大ステップサイズ	0 (no limit)	Variable	最大ステップサイズを設定します。(0は制限なしを意味します)
スケーリング	Minimum	Variable	システムに適用する変数のスケー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。 • None: スケーリングを適用しない • Minimum: 公称値の最小値を使用 • Maximum: 公称値の最大値を使用 • Geometric: 公称値の幾何平均を使用
イベント数の最小化	☐	Variable	このオプションは、シミュレーションの実行中にヒューリスティックスを使用し、発生するイベント数を減らす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。
イベント点のプロット	☑	すべて	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。
ソルバ診断	☐	すべて	このオプションを選択すると、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に関する診断情報を生成します。シミュレーション完了後、結果は**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。投影オプションを無効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。 システムの方程式系に不整合がある場合や実行時エラーが発生した場合、このオプションを選択すると、問題の原因となっている変数、方程式、およびコンポーネントの詳細を表示します。

パラメータ	デフォルト	ソルバタイプ	説明
コンパイラ	☑	Variable	シミュレーション中にネイティブ C コンパイラを使用するかどうかを指定します。このオプションを選択すると、シミュレーションエンジンによって生成された Maple プロシージャが C コードに変換され、外部 C コンパイラによってコンパイルされます。 モデルが複雑な場合は、シミュレーション実行時間を短縮するために、このオプションを選択することを推奨します。
コンパイラ最適化	☑	すべて	コンパイル時にコードの最適化を行います。このパラメータを選択しない場合、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時間は長くなります。

プローブ値の編集

[モデルツリー] タブ ( ) をクリックし、ドロップダウンリストから **[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の Main に「**Probe1**」、そして「**Main.Nonlinear Damper_1**」という名前のサブシステム (つまり、「**Main**」にある「**Nonlinear Damper_1**」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、**[プロパティ]**タブ()からプローブ値の閲覧や編集ができます。また、パレットの項目を右クリック (Mac では **[Control]** 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。

詳細については、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の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。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。

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の進捗状況は、**分割パネル**の **[コンソール出力]** および、MapleSim ウィンドウ下部に表示されるステータスバーに表示されます。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、コンソール出力を操作します。

コンソール出力を**分割パネル**に表示するには、**分割パネルツールバー**の**[コンソール出力]** アイコン () をクリックします。

- 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

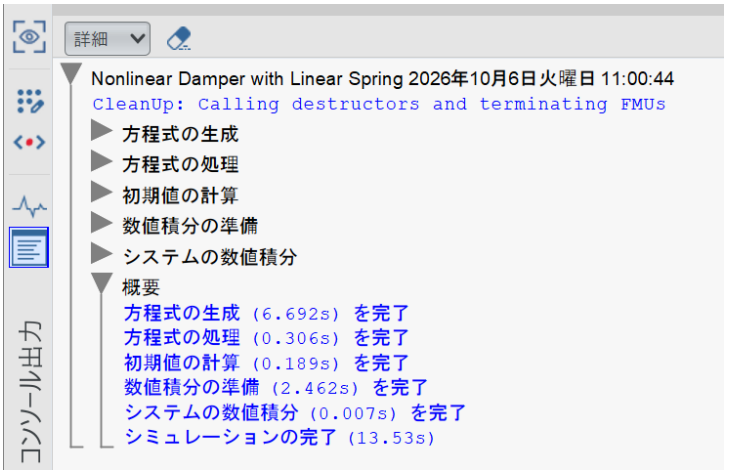


図4.2 進捗状況メッセージ

オプションとして、シミュレーションを実行する前に、**[コンソール出力]**のドロップダウンメニューでレベル (**[標準]** または **[詳細]**) を選択することで、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。

保存結果

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、シミュレーションから生成されたすべてのグラフ、進捗状況メッセージ、および 3-D アニメーション (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**」のエントリを右クリック (Mac では **[Control]** 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と、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と、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回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、スナップショットを管理するには、シミュレーションの**[オプション設定]**を参照してください。(**表4.2「シミュレーションオプション設定」** 参照)

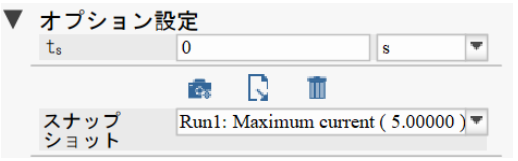


図4.3 シミュレーションのオプション設定のスナップショット

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条件を設定します。

シミュレーションに使用するスナップショットが選択されていない場合、アプリケーションツールバーの **[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ると、**[シミュレーションの実行]** アイコンが に変わります。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。

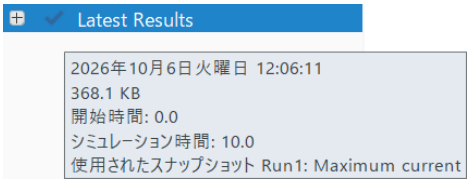


図4.4 保存結果パレットとスナップショット

詳細については、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構成のカスタマイズ

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。

必要に応じて、プロットウィンドウの構成をカスタマイズすることができます。たとえば、同じグラフ上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したり、またはほかのプローブの値を編集せずに特定の物理量

に対するシミュレーショングラフを表示したいときなどに、カスタムプロットウィンドウを作成すると便利です。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構成の生成**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しなくても、データが自動的に表示されます。

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「データがありません」といったメッセージを表示する場合があります。この場合、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構成を作成します。

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. **[ヘルプ]** メニューの **[例題]** > **[ドメイン別例題]** > **[マルチボディ]** から「**Double Pendulum**」の例題を選択します。
2. **アプリケーションツールバー**で **[シミュレーションの実行]** ( ) をクリックします。

3. **[シミュレーション結果を表示]** ( ) 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**解析ウィンドウ**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。

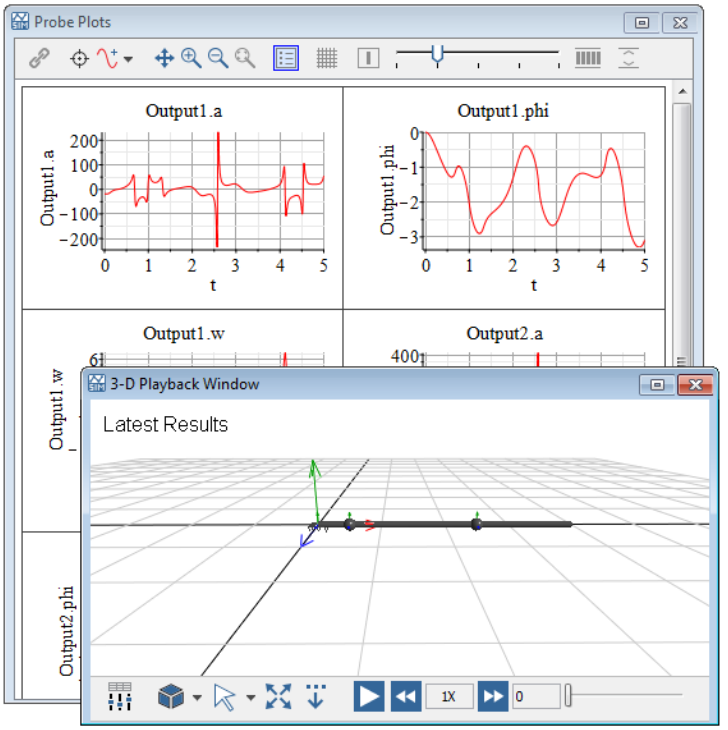


図4.5 シミュレーショングラフ

カスタムプロットウィンドウ構成を作成するには

1. **[プロットウィンドウ]** パレットで、**[プローブプロット]** 配下の **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 つのプロットのみが表示されます。
2. **[現在のプロットウィンドウを複製]** 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、「**Acceleration and Angle Comparison**」と名前を入力し、**[OK]** をクリックします。現在表示さ

れているプロットを含んだ新しい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、プロットウィンドウ **[Acceleration and Angle Comparison]** からプロット **[Output1.a]** を選択します。
5. **[変数]** パレットで **[Output2]** を展開し、配下にある **[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。プロットには **Output1.a** と **Output2.a** の 2 つの曲線が表示されます。
7. **[プロットウィンドウ]** で、プロットウィンドウ **[Acceleration and Angle Comparison]** からプロット **[Output1.phi]** を選択します。
8. **[変数]** パレットで **[Output2]** の配下にある **[phi]** を選択し、**[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。 (または、**[phi]** をプロット上にドラッグします。) プロットに両方の曲線が表示されます。
9. **[プロットウィンドウ]** パレットの **[Acceleration and Angle Comparison]** の配下にある **[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。
10. 新しい名前として「**Acceleration (a)**」と入力します。これでプロットのタイトルが変更されます。
11. **[プロットウィンドウ]** パレットの **[Acceleration and Angle Comparison]** の配下にある **[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。
12. 「**Angle (phi)**」と入力して名前を付けます。

結果として得られるプロットを **図4.6「カスタムプロットウィンドウ」** に示します。

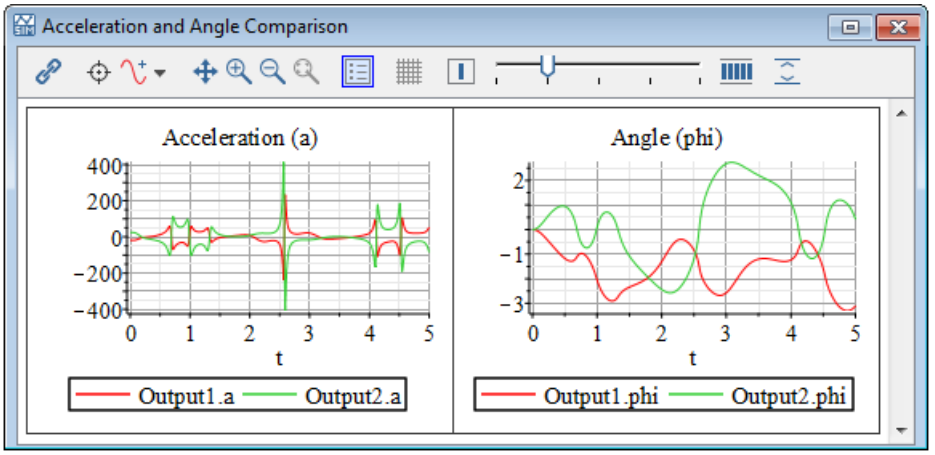


図4.6 カスタムプロットウィンドウ

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. **[ヘルプ]** メニューの **[例題]** > **[ドメイン別例題]** > **[マルチボディ]** から「**Double Pendulum**」の例題を選択します。
2. **モデルワークスペースツールバー**の **[プローブを追加]** アイコン ( ) をクリックします。
3. 共有サブシステム **L_1** の右側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. **[プロパティ]** タブ ( ) でこのプローブの名前を「**FirstLink**」に変更し、測定する物理量として **Length [r_0]** の要素 **1** と **2** を選択します。
6. 同様に、共有サブシステム **L_2** の右側ポートにプローブを追加します。プローブの名前を「**SecondLink**」に変更して、測定する物理量として **Length [r_0]** の要素 **1** と **2** を選択します。

7. **アプリケーションツールバー**で **[シミュレーションの実行]** ( ) をクリックします。

8. **[シミュレーション結果を表示]** ( ) をクリックします。**解析ウィンドウ**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。

9. 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、**[プローブプロット]** 配下にある、表示させない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。

10. **[現在のプロットウィンドウを複製]** ボタン ( ) をクリックします。

11. **[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**[OK]**をクリックします。現在表示されている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。

12. **[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。

13. 「**Top Link**」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されます。

14. 同様に、プロット名 **[SecondLink.r_0[2]]** を「**Bottom Link**」に変更します。

15. **[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。

16. **[変数]** パレットで、**[FirstLink]** 配下の **[r_0[1]]** を選択します。

17. **[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。X 軸が選択した変数に変わります。

18. **[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。

19. **[変数]** パレットで、**[SecondLink]** 配下の **[r_0[1]]** を選択します。

20. **[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。X 軸が選択した変数に変わります。

21. **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。
    結果として得られたグラフを **図4.7「ある物理量に対して別の物理量をプロットする」** に示します。

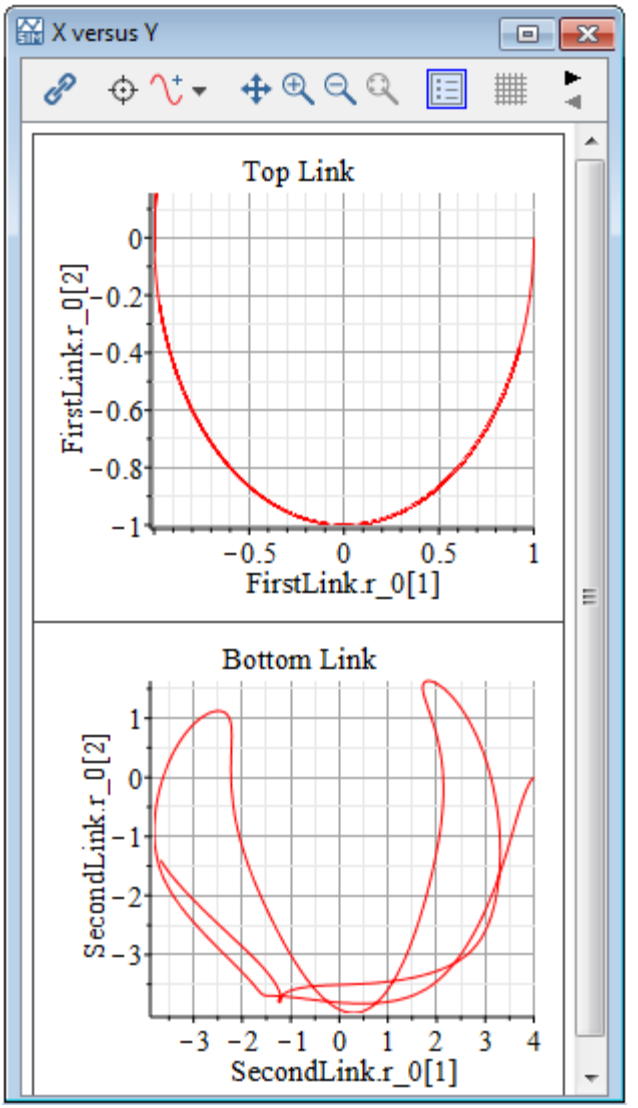


図4.7 ある物理量に対して別の物理量をプロットする

上のプロットは、振り子の各リンクの端点の運動を示しています。下側のリンクは上側のリンクとの相互作用により、より複雑な軌跡を描きます。

4.6. マルチボディモデルの可視化

MapleSim では、3-D 可視化環境を使用して、マルチボディシステムの 3-D 表現を構築および解析できます。モデルを構築したりパラメータを変更したりしながら、モデルの 3-D 構成を確認し、シミュレーション結果を視覚的に解析できます。3-D モデルは、**3-D ワークスペース**でオブジェクトをドラッグして接続することで構築でき、シミュレーション結果は、オブジェクトの動きを表すアニメーションを再生することで可視化できます。

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、その変更内容は自動的に **3-D ワークスペース**内の 3-D 表現に反映されます。同様に、**3-D ワークスペース**でモデルを構築すると、その変更内容は自動的にモデルワークスペース内のブロックダイアグラムに反映されます。また、いずれかのワークスペースで行った変更は、もう一方のワークスペースにも自動的に反映されます。

3-D ワークスペースでは、モデルを任意の方向から表示できます。また、モデルをより現実的に表現するために、モデルの各部品に 3-D 形状を関連付けることもできます。これらの形状は、外部 CAD ファイルからインポートすることも、**[ライブラリコンポーネント]** タブの **[マルチボディ]** > **[可視化]** パレットから選択することもできます。

モデルをシミュレーションした後は、**3-D アニメーションウィンドウ**で 3-D モデルをアニメーション表示できます。再生オプションを設定することで、特定のコンポーネントやその動きに注目して表示することもできます。たとえば、カメラ追跡オプションを設定すると、アニメーション再生中に **3-D アニメーションウィンドウ**内で特定のオブジェクトが中央に表示されるように設定できます。また、トレース線を追加して、アニメーション中のコンポーネントの移動軌跡を表示することもできます。

ヒント : 3-D アニメーションウィンドウの背後にプロットウィンドウが開いている場合、可視化品質に影響することがあります。アニメーションの再生で問題が発生する場合は、**3-D アニメーションウィンドウ**を移動してプロットウィンドウと重ならないようにしてください。あるいは、開いているプロットウィンドウを最小化するか閉じてください。

CAD ジオメトリおよび可視化用の形状は、3-D ワークスペースでは透明に描画され、**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 形状の追加と **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 可視化とマルチボディ設定

マルチボディコンポーネントの 3-D アニメーションに必要な設定パラメータは、**[シミュレーション設定]** タブの **[アニメーション設定]**、**[マルチボディ設定]**、**[可視化設定]** にあります。

シミュレーション設定にアクセスするには、左側パネルの **[シミュレーション設定]** タブ () をクリックします。

アニメーション設定

シミュレーションのアニメーションを表示したい場合は、アニメーション設定で **[3-D アニメーション]** のチェックボックスがオンになっていることを確認してください。

マルチボディ設定

マルチボディ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できます。

表4.3 マルチボディ設定のパラメータ値

パラメータ	デフォルト	説明
g	9.81	地球の表面における重力加速度。デフォルトの単位は $\frac{m}{s^2}$
$\hat{e}_g$	$[0,-1,0]$	重力の方向を指定します。

可視化設定

マルチボディコンポーネントを含むモデルでは、次の 3-D 可視化の値を指定できます。

表4.4 3-D 可視化のパラメータ値

パラメータ	デフォルト	説明
並進位置スナップ適用	☐	選択時、コンポーネントは並進スナップ間隔に基づいて、3-D ワークスペース内で最も近い位置に配置されます。
並進位置スナップ間隔	1	並進スナップ間隔を指定します。
回転位置スナップ適用	☐	選択時、コンポーネントは回転スナップ間隔に基づいて、3-D ワークスペース内で最も近い位置に配置されます。
回転位置スナップ間隔	Pi/2	回転スナップ間隔を指定します。
遠近表示のグリッド範囲	10	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各方向に、この範囲まで広がります。
グリッド間隔	1	グリッド線の間隔を指定します。
ベース半径	0.02	**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の半径。円柱はベース半径を使用して描画され、球(剛体とジョイント)はベース半径 × 2 を使用して描画されます。
アニメーションの表示切替の適用	☑	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]** や **[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。

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。このワークスペースは、**解析ウィンドウ**の **[3-D ワークスペース]** 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 ワークスペースを表示]** を選択します。**解析ウィンドウ**が開いて 3-D ワークスペースが表示されます。

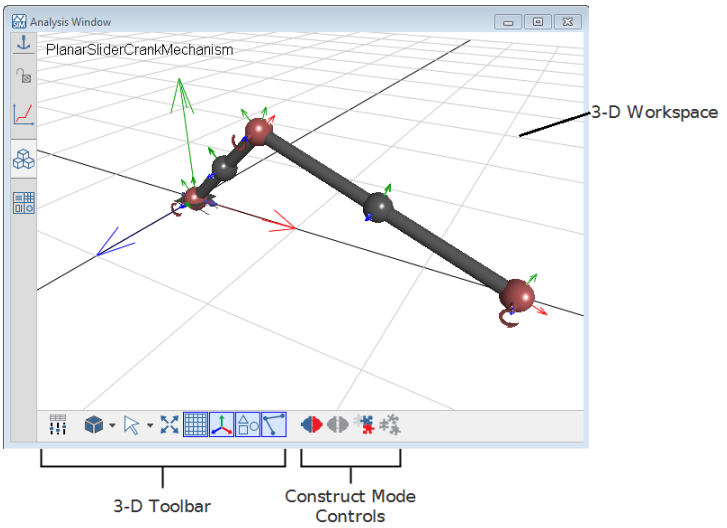
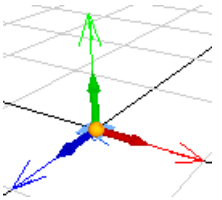


図4.8 3-D ワークスペース

表4.5 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	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。  **X** - 赤 **Y** - 緑 **Z** - 青 3-D モデル内の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。
3-D ツールバー	**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
構築モードコントロール	3-Dツールバーの一部で、3-D モデルの構築とアセンブリ、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

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、3-D モデルを*遠近表示 (透視図)*、または各種の*直交表示 (正投影図)* で表示および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 空間的関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

下図は、二重振り子のモデルを遠近法を使用して表示した場合のイメージです。

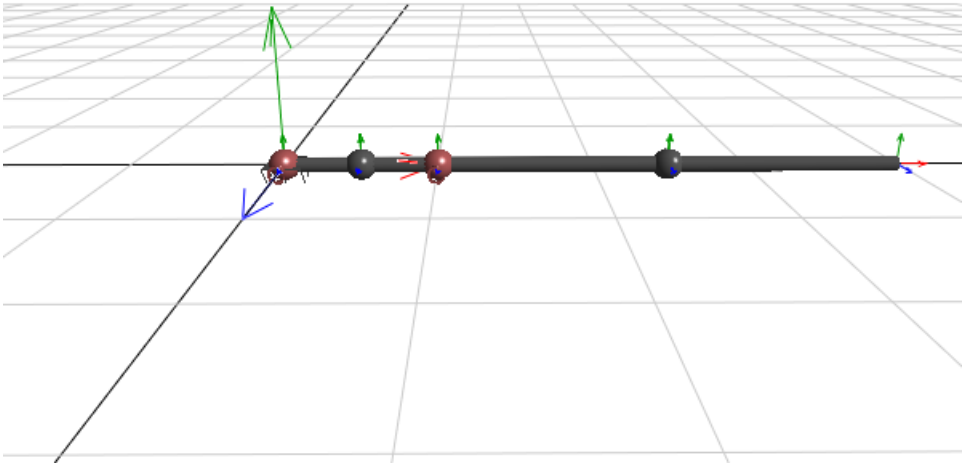


図4.10 二重振り子の遠近表示

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、奥行き情報が表示されないため、3-D モデルは平ら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関係や隙間を解析するのに便利です。

下図は、二重振り子のモデルを上からの直交表示を使用して表示した場合のイメージです。

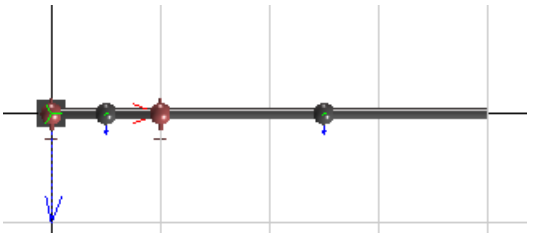


図4.11 二重振り子の直交表示

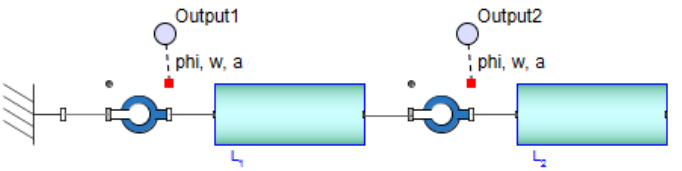
アニメーションが静止表示中でも再生中でも、モデルを閲覧したり、モデルの表示を変更することができます。また、どの表示でもパンしたり、拡大/縮小することができます。遠近表示ではさらに、カメラを移動させ、上から、下からと、あらゆる方向からモデルを表示することができます。

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 モデルへの形状の追加

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、アセンブリ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。

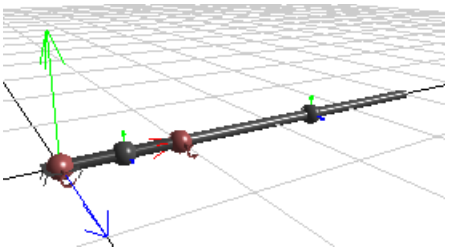


図4.12 二重振り子のインプリシットジオメトリ

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、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(図中の曲線) を設定することで、シミュレーション中にモデルの特定の部分がたどる軌跡を描画することができます。

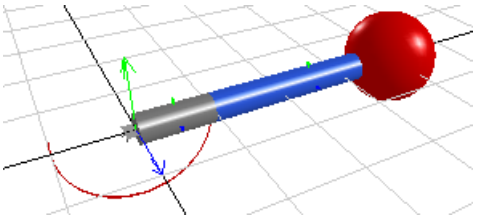


図4.13 添付形状

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、**[プロパティ]** 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 **[添付形状の表示/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。

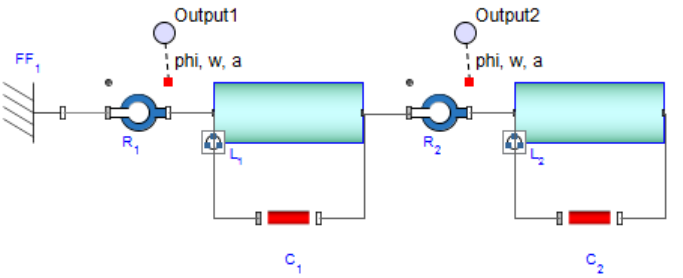
注 : マルチボディモデルに **Flexible Beam** コンポーネントが含まれている場合、梁のたわみは 3-D モデルのインプリシットジオメトリでは描画されません。

例 : 二重振り子のモデルへの添付形状の追加

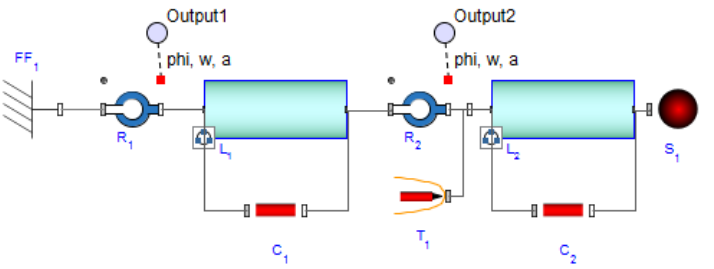
次の例では、振り子のロッドを表す円柱コンポーネントと振り子のおもりを表す球コンポーネントを追加します。 また、アニメーション再生時に回転ジョイントが移動する軌跡を示す **Path Trace**コンポーネントも追加します。

添付形状を追加するには

1. **[ヘルプ]** メニューの **[例題]** > **[ドメイン別例題]** > **[マルチボディ]** から「**Double Pendulum**」の例題を選択します。
2. **[マルチボディ]** ライブラリパレットを展開し、**[可視化]** パレットを開きます。
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の図のように接続します。



5. 同じパレットから、**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 (Mac では **[Control]** 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 (図の $\mathbf{C}_1$) を選択します。

10. MapleSim ウィンドウ左側の **[プロパティ]** タブ ( ) で、円柱の外半径 **[outer radius]** 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 (図の $\mathbf{C}_2$) を選択します。

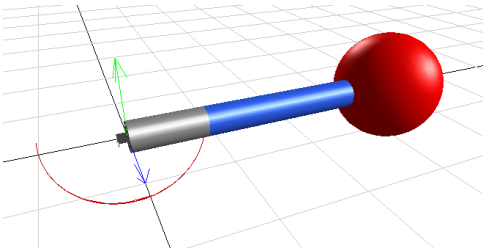
13. この円柱の外半径 **[outer radius]** を **0.2** に変更し、色も変更します。

14. **Spherical Geometry** コンポーネント (図の $\mathbf{S}_1$) を選択します。

15. この球の半径 **[radius]** を **0.8** に変更し、色も変更します。

16. モデルをシミュレーションするために、**アプリケーションツールバー**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**解析ウィンドウ**が開きます。**3-D アニメーションウィンドウ**には、添付形状を含むモデルが表示されます。



17. モデルのアニメーションを再生するには、**[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、**[ヘルプ]** メニューの **[例題] > [ユーザガイドの例題] > [第 4 章]** から、「**Lorenz Attractor**」の例題を参照してください。

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 ワークスペース**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 **[ライブラリコンポーネント]** 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。

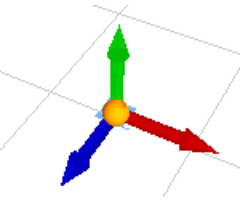
3-D モデルに変更が加えられると、それは自動的に**モデルワークスペース**に表示されているブロックダイアグラムに反映され、逆に、ブロックダイアグラムに変更が加えられると、それは自動的に 3-D ワークスペースの 3-D モデルに反映されます。たとえば、**3-D ワークスペース**で **Flexible Beam** コンポーネントを追加して接続すると、**モデルワークスペース**には、**Flexible Beam** のブロックダイアグラムと追加された結線が同時に表示されます。

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]** パレット内のコンポーネントを **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。

接続され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。
- **Fixed Frame** 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 **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 **Rigid Body** 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 **Fixed Frame** コンポーネント、または、初期条件が **[Strictly Enforce]** に設定された **Rigid Body** コンポーネントのどちらも含まれていない場合は、3-D モデル内のいずれかのオブジェクトをクリックして、3-D 操作ツールを表示します。接続されたオブジェクト群を移動すると、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、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 モデルのアセンブリ

アニメーションを再生する前に、3-D モデルを *アセンブリ*する必要があります。3-D モデルのアセンブリとは、**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リします。**3-D ワークスペース**では、アセンブリさ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、ジョイントオブジェクトは赤で描画されます。

注 : 有効な構成と有効な結線を持つ 3-D モデルのみをアセンブリすることができます。たとえば、結線が不足している 3-D モデルのアセンブリを試みると、コンソール出力にエラーメッセージが表示され、アニメーションは生成されません。

詳細については、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、 **[運動学的制約を強制しない]** () 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。運動学的拘束が解除されたジョイントは、**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。

[運動学的制約を強制しない] () 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、**[プロパティ]** 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与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リする必要があります。

モデル作成時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**の両方に対応する添付形状が表示されます。添付の形状は、モデルワークスペース内のマルチボディコンポーネントの互換性のあるポートに、そのすべてのポートを接続すると、**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**の両方に表示されます。**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 イメージが **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、モデル内のほかのコンポーネントに接続されている、いないにかかわらず、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、接続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イメージ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、接続した後で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、**[プロパティ]**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構築してアニメーションを再生する

この例では、二重振り子のモデルを構築し、アニメーションを再生します。ここでは、以下のタスクを実行します。

二重振り子を構築してアニメーション動画を再生するには

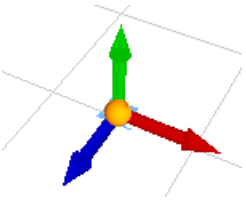
1. **3-D ワークスペース**にオブジェクトを追加し、移動します。
2. 3-D オブジェクトを接続します。
3. モデル内のジョイントに初期条件を設定します。
4. 3-D モデルのアニメーションを再生します。

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

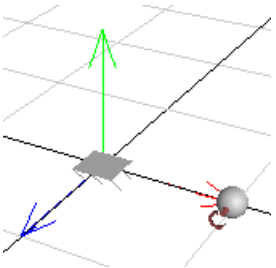
1. 新しい MapleSim ドキュメントを開きます。
2. **[表示]**メニューから**[3-D ワークスペースを表示]**をクリックし、表示された**解析ウィンドウ**を MapleSim のメインウィンドウの横に配置します。
3. ウィンドウ左上の**[常に最前面に表示]** () をクリックします。これにより、MapleSim ウィンドウで作業する間も、**解析ウィンドウ**を常に最前面に表示できます。
   (**3-D ワークスペース**の背景色が白ではなく濃灰色の場合は、3-D操作ツールを有効するために、**[3-D 設定の変更]** () をクリックし**[自動アップデート]**にチェックを入れます。背景色が白に変わります。)
4. **[ライブラリコンポーネント]**タブで**[マルチボディ]**パレットを展開し、**[ボディ・フレーム]** > **[基本]**パレットを開きます。

5. 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。

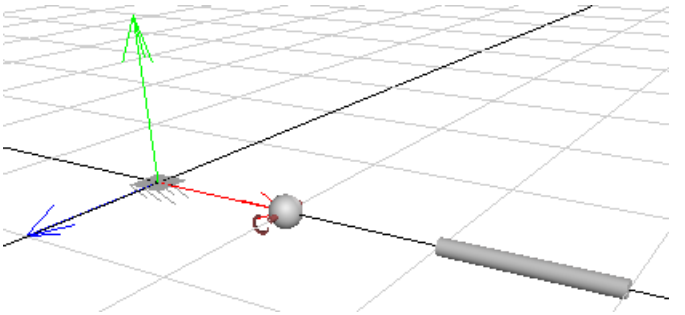


この操作ツールを使用すると、**3-D ワークスペース**でオブジェクトを配置することができます。

6. 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。
7. **[マルチボディ]**>**[ジョイント・モーション]** パレットから、**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。



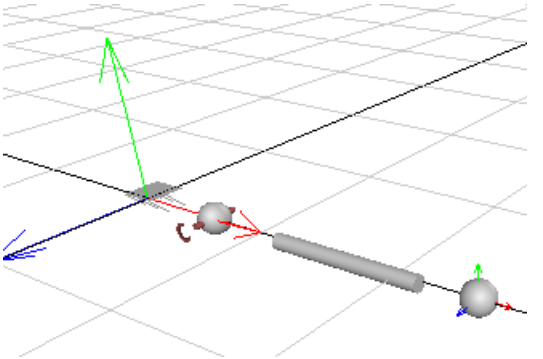
8. **[マルチボディ]** > **[ボディ・フレーム]** パレットから、**Rigid Body Frame** コンポーネントを **3-D ワークスペース**にドラッグし、**Revolute** の右側に配置します。



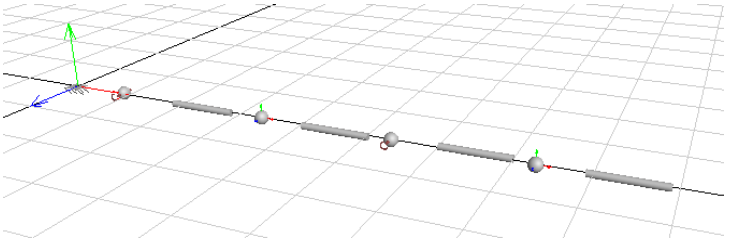
9. 同じメニューから、**Rigid Body** コンポーネントを **3-D ワークスペース**にドラッグし、**Rigid Body Frame** の右側に配置します。

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、その位置で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。

10. 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。



11. 手順 7 から 9 を繰り返して、10 で追加した **Rigid Body Frame** コンポーネントの右側に振り子の 2 つ目のリンク用のコンポーネントを追加します。

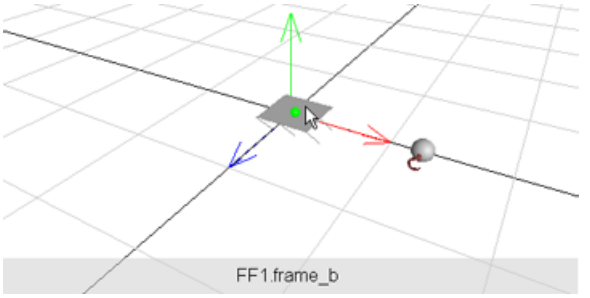


3-D オブジェクトの接続

次に、前のタスクで追加したオブジェクトを接続します。

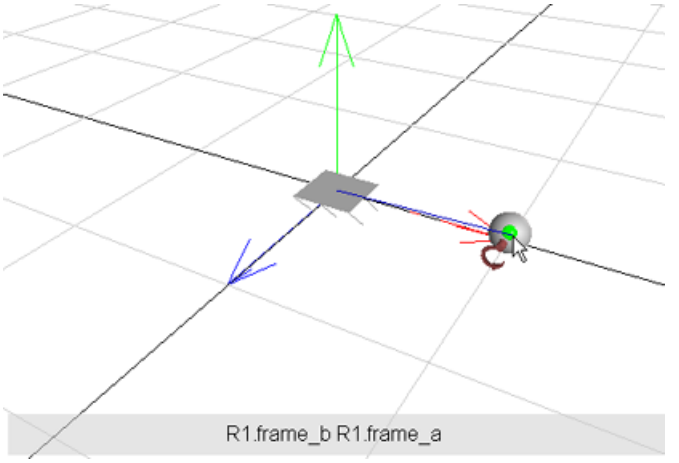
オブジェクトを接続するには

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。

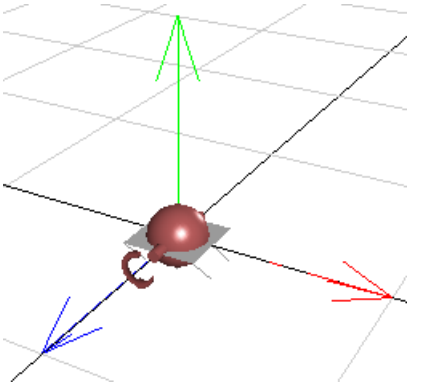


3. 緑色の点を 1 回クリックし、結線を引きはじめます。

4. マウスポインタを最初の **Revolute** ジョイントコンポーネン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。



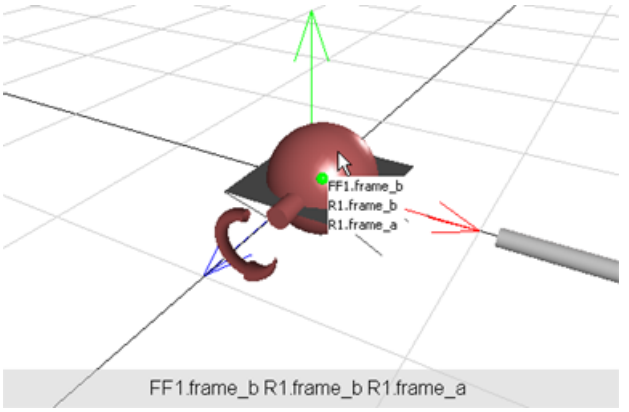
5. **Revolute** ジョイントコンポーネントを 1 回クリックします。ラインを接続することができるフレーム名を表示するコンテキストメニューが表示されます。
6. コンテキストメニューから **[R1.Frame_a]** を選択します。**3-D ワークスペース**でコンポーネントが接続されます。



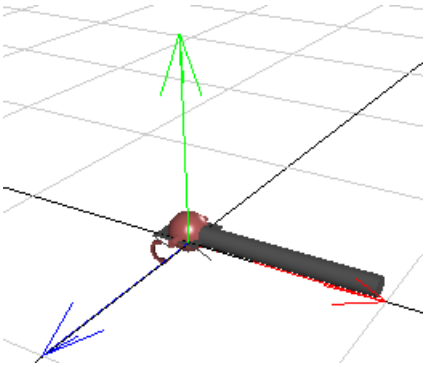
接続されると、ジョイントコンポーネントは赤で表示されることにご注目ください。

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。



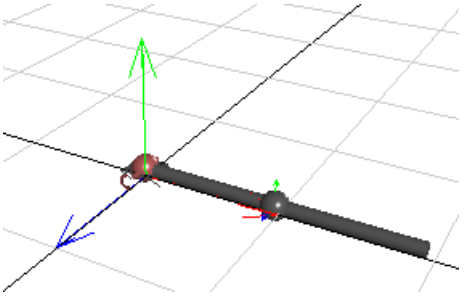
これで、1 つ目の回転ジョイント (**R_1**) の **frame_b** は、1 つ目の剛体フレーム (**RBF_1**) の **frame_a** に接続されます。

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。

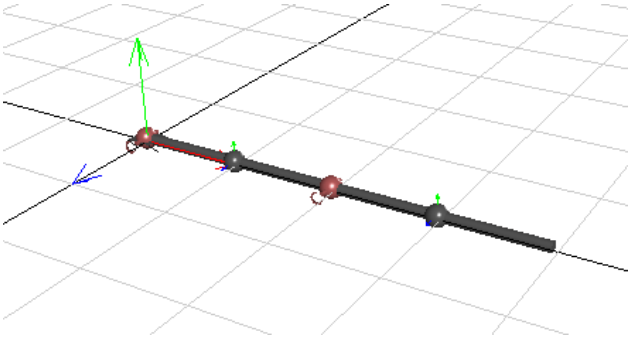
注 : 各結線を引き始めるときは、接続ボタンをクリックしてください。



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、結線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、定期的にブロックダイアグラム表示に切り替え、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。

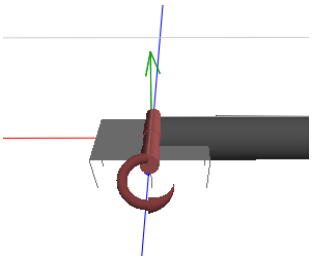
ジョイントコンポーネントに初期条件を設定する

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やサブシステムパラメータ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、**[プロパティ]** タブのフィールドから初期条件を設定してください。

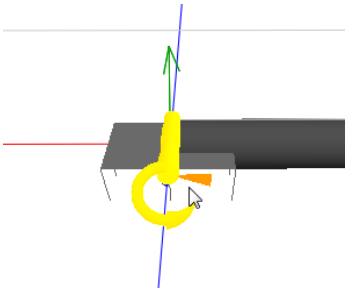
初期条件を設定するには

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。(ツールチップが表示された場合は、候補の中から回転ジョイント **R1 (Revolute)** を選択します。) 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**から一時的に非表示にされ、ジョイントの操作ツールが表示されます。



2. マウスポインタをマニピュレータの上に移動します。操作ツール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。**[プロパティ]** タブ ( ) の θ_0 パラメータに選択した値が表示されます。この値が **3-D ワークスペース**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、**[プロパティ]** タブの **[θ_0]** パラメータに値を入力して設定することもできます。**[プロパティ]** 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、**[シミュレーション設定]** タブ ( ) の **[可視化設定]** で **[回転位置スナップ適用]** にチェックを入れます。

3-D モデルのアニメーションを再生する

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

3-D モデルのアニメーションを再生するには

1. **アプリケーションツールバー**の [**シミュレーションの実行**] ( ) 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、**解析**

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**の両方が表示されます。

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ていない場合は、**解析ウィンドウ**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

動画のエクスポート機能を使用すると、記録されたシミュレーションを動画ファイル (AVI など) としてエクスポートして、MapleSim を使用せずに再生したり、MapleSim を持っていない可能性のあるユーザと共有することができます。詳細は、MapleSim ヘルプシステムの **{PRODUCT} 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および可視化を行う際に考慮すべきベストプラクティスについて説明します。

シミュレーション時間が長いモデルでは外部 C コンパイラを使用する

[シミュレーション設定] タブ () で **[コンパイラ]** パラメータにチェックを入れると、シミュレーションエンジンによって生成された Maple プロシージャが C コードに変換され、外部 C コンパイラによってコンパイルされます。その結果、シミュレーションの実行時間を短縮できる場合があります。一般に、C コンパイラを使用してモデルをシミュレーションする場合、シミュレーション時間が長いモデルほどコンパイルによる効果が大きくなります。

モデルの一部の結果を比較する

デバッグを行う際に、モデル内の特定のセクションやサブシステムのシミュレーション結果だけを確認したい場合があります。コンポーネント単体をダブルク

リックしたとき、結線、プローブ、パラメータブロック、またはサブシステムをクリックしたとき、あるいはコンポーネントや結線をまとめて矩形選択したときには、**ホバーメニュー**が表示されます。**ホバーメニュー**から **[選択されたコンポーネントと結線を有効化または無効化]** (🚫) を選択するか、対象のコンポーネントや結線を選択した状態で **[Ctrl]** + **[E]** キー (Mac では **[Command]** + **[E]** キー) を押すことで、コンポーネントの有効/無効状態を切り替えることができるため、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。モデルをシミュレーションすると、除外されていない部分についてのみ結果が表示されます。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したりすることなく、モデル内の特定のセクションで生成された結果を確認し、それらを比較できます。

詳細については、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 [171ページ]*
- *モデルから方程式とプロパティを取得 [176ページ]*
- *線形システムの解析 [177ページ]*
- *パラメータの最適化 [178ページ]*
- *モデルからの C コードの生成とエクスポート [179ページ]*
- *外部 C コード/ライブラリ定義からカスタムコンポーネントを生成 [188ページ]*
- *Maple の埋め込みコンポーネントを扱うMaple の埋め込みコンポーネントを扱う [193ページ]*

5.1. 概要

{PRODUCT} は Maple 環境に完全に統合されています。

- Maple ベースの **Apps** (アプリケーション) を MapleSim インターフェース内で使用できます。
- モデルに**テンプレート**を添付し、Maple インターフェースで開くことができます。
- MapleSim モデルに **Maple ワークシート**を添付することにより、Maple のコマンド、埋め込みコンポーネント、プロットツール、およびその他の多数の機能にアクセスすることができ、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 ワークシート内で 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**) を使用して、既存の MapleSim モデルをプログラムで操作、シミュレーション、および解析することができます。

MapleSim Apps

Maple で MapleSim のモデルを操作するには、**左側パネル**の **[Apps]** タブ () を選択し、**[Apps]** パレットから利用する App をダブルクリックします。Apps は、

モデルの作成や解析タスク用のプリビルトツールです。最初に MapleSim モデルを作成し、用意されている Apps のいずれかで開いて解析タスクを実行します。**Apps** は MapleSim の**分割パネル**の **[App ビューワ]** ( ) で開きます。たとえば、Apps を使用してパラメータスイープ、モンテカルロシミュレーション、またはコード生成を実行できます。

ヒント : [App ビューワ] を表示する**分割パネル**は、ワークスペースとの境界線をドラッグすることで幅の変更ができます。また、**分割パネルコントローラ**のアイコンを利用することで、分割パネルのポップアウト、分割パネルの最大化/最小化、分割パネルの方向 (横/縦) を切り替えて、レイアウトの変更ができます。

以下の表は、**[App ビューワ]** で利用可能な MapleSim の標準 Apps のリストです。

表5.1 MapleSim Apps

App 名	タスク
コンポーネント作成	
1-D モーション生成	指定した速度、加速度、および加加速度の制約を満たす 1-D モーションプロファイルを作成します。
カスタムポート	カスタムコンポーネント用のカスタムポートを作成します。詳細については、*カスタムコンポーネントの作成 [93ページ]* を参照してください。
方向制御弁ビルダー	カスタムの油圧または空圧ライブラリ用の方向制御弁を作成します。
外部 C/ライブラリブロック	外部 C コードまたは DLL から、MapleSim カスタムコンポーネントを定義および生成します。
運動学的カムの生成	カムとフォロワの運動学的挙動をモデル化します。
線形化	MapleSim の連続サブシステムを線形化します。また、ボード線図や根軌跡などの線形解析を線形システムオブジェクトに対して実行します。
モデル解析	
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。詳細については、*チュートリアル 7 : 方程式の抽出 App の使用 [260ページ]* を参照してください。
初期化診断	シミュレーション中に検出された初期条件の不整合やエラーを解決し、元のシステム構成に関する情報を提供します。

App 名	タスク
モーダル解析	マルチボディモデルの振動モードを可視化します。
モンテカルロシミュレーション	パラメータの確率分布を定義し、そ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	操作や解析に適した形式でマルチボディ方程式を取得します。
最適化	モデルのパラメータを最適化および解析し、想定されるシミュレーション結果を表示します。詳細については、*パラメータの最適化 [178ページ]* を参照してください。
パラメータスイープ	パラメータスイープを実行します。
ユーティリティ	
コード生成	モデルからコードを生成します。詳細については、*モデルからのCコードの生成とエクスポート [179ページ]*を参照してください。
データ生成	MapleSimで使用するデータセットを定義および生成します。たとえば、InterpolationTableコンポーネント用のデータセットを作成できます。詳細については、*補間テーブルコンポーネントのデータセットの作成 [82ページ]*を参照してください。
Excel 接続	MapleSimのパラメータセットをExcelスプレッドシートからインポート、またはExcelスプレッドシートへエクスポートします。
乱数データの生成	MapleSimで使用する乱数データセットを定義および生成します。たとえば、Interpolation Table コンポーネント用のデータセットを作成できます。

Apps の操作

App を閉じて再び開いた場合、App ビューワには、App の以前の状態が記憶されています。

分割パネルの **[App ビューワ]** ( ) のツールバーで、以下の 3 つの機能が利用できます。

- **更新** ( ): App をデフォルトの設定に戻します。
- **エクスポート** ( ): App の現在の設定を保存します。設定はデータファイルとして保存されます。

- **インポート** (): 保存済みの App 設定を読み込みます。

テンプレートとスクリプトワークシートの操作

テンプレートは、モデルに添付するMapleワークシートです。テンプレートを使用して、サブシステムの方程式を取得および操作したり、カスタムコンポーネントを構築したりすることができます。

テンプレートを開くには、**アプリケーションツールバー**から **[Maple ワークシートを読み込む]** () をクリックします。ダイアログから利用可能なテンプレートを選択し名前を設定します。テンプレートが Maple で開きます。

表5.2 MapleSim テンプレート

テンプレート名	タスク
カスタムコンポーネント	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します。詳細については、*カスタムコンポーネントの作成 [93ページ]* を参照してください。
ワークシート	埋め込みコンポーネントで MapleSim モデルを開いて、ワークシートを作成します。

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。

Mapleワークシートの読み込みダイアログから、空白のワークシートを開くこともできます。

モデルにテンプレートやワークシートがすでに添付されている場合、それらは**Mapleワークシートの読み込み**ダイアログの**[添付ワークシート]**というリストに表示されます。リストから選択して **[OK]** をクリックすると、そのワークシートを読み込むことができます。

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、特定のパラメータや変数、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は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

{PRODUCT} 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 ワークシートではアンダースコア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 $\mathbf{flange}_{\mathbf{a}}$ 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の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 $\mathbf{a}^{\mathbf{2}}$ 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際の基本構造は**サブシステム**です。App またはテンプレートを使用すると、解析および操作の対象とな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、調査したいモデリングコンポーネントセットをより簡単に特定したり、サブシステムの入出力を定義したり、ブロックコンポーネントとしてエクスポートしたいコンポーネントを指定したりすることが可能になります。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 [83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、**[ヘルプ]** メニューの **[例題] > [ユーザガイドの例題] > [第 5 章]** を選択し、「**Preparing a Model for Export**」の例題を選択します。

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信号の入力ポートか実数信号の出力ポートのいずれか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変換します。

5.2. モデルから方程式とプロパティを取得

*チュートリアル 7: 方程式の抽出 App の使用 [260ページ]***方程式の抽出 App** 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。このApp内のその他の機能は、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。

方程式の抽出 App のチュートリアルについては、*チュートリアル 7: 方程式の抽出 App の使用 [260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. **左側パネル**の **[Apps]** タブ ( ) をクリックします。
3. **[Apps]** パレットの **[モデル解析]** のカテゴリから **[方程式の抽出]** を選択します。
4. **分割パネル**に表示されたApp内で、**[サブシステムの選択]** の下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。
5. **[選択し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。**[方程式の表示]** セクションにある **[方程式の抽出]** をクリックします。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。

5.3. 線形システムの解析

線形化Appは、線形システムの方程式の取得、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。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 の線形システムモデルを解析するには

1. MapleSim で、解析する線形システムモデルを開きます。
2. **左側パネル**の **[Apps]** タブ () をクリックします。
3. **[Apps]** パレットの **[コンポーネント作成]** のカテゴリから **[線形化]** を選択します。**App** が**分割パネル**に開きます。
4. 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、線形化するサブシステムを選択します。
5. **[選択したサブシステムを読み込む]** をクリックします。
6. (オプション) **[設定]** セクションで変更を行います。
7. **[線形化]**をクリックします。線形システムオブジェクトが作成され、システムの方程式が表示されます。
8. (オプション)ボード線図、ナイキストプロット、根軌跡プロット、または応答プロットを作成します。詳細については、次の線形システムの解析のセクションを参照してください。
9. **[モデルの作成]**セクションでは、線形システムからカスタムコンポーネントを作成できます。作成後、そのコンポーネントは**[ローカルコンポーネント]**タブ () に表示されます。その後、このコンポーネントをモデルに追加することができます。

線形システム解析

[解析] セクションのツールを使用して、線形システムの解析やさまざまな入力がシステムの出力に与える影響を確認することができます。

解析では、以下のツールを利用できます。

- ボード線図
- ナイキストプロット
- 根軌跡プロット
- 応答プロット

[応答] セクションで、システムに適用する入力信号を選択し、シミュレーションを実行して出力への影響を確認することができます。

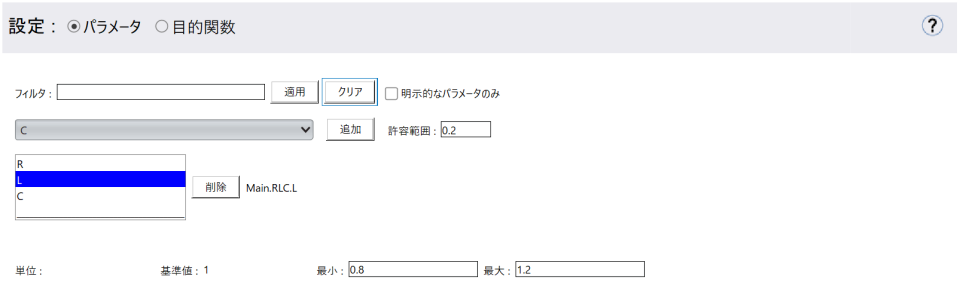
5.4. パラメータの最適化

最適化Appを使用して、モデルのパラメータの検証、シミュレーションのプロット表示、およびMapleプロシージャにパラメータを割り当ててパラメータスイープ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 のウェブサイト **http://www.maplesoft.com/products/toolboxes/globaloptimization/** を参照してください。

パラメータを最適化するには

1. MapleSim で、パラメータを最適化するモデルを開きます。
2. **左側パネル**の **[Apps]** タブ ( ) をクリックします。
3. **[Apps]** パレットの **[モデル解析]** のカテゴリから **[最適化]** を選択します。**App** が**分割パネル**に開きます。
4. **[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。
5. **[パラメータ]** セクションで、ドロップダウンリストから最適化したいパラメータを選択し、**[追加]** をクリックします。他のパラメータについても同様に追加します。追加したパラメーター一覧がリストボックスに表示されます。



注： パラメータを選択すると、現在の値 (基準値) が **[基準値]** に表示されます。

6. リストボックスからパラメータを選択し、パラメータが変化する範囲を、**[最小]** および **[最大]** の各フィールドに設定します。
7. 上記手順を繰り返し、最適化したいその他のパラメータの **[最小]** および **[最大]** の各フィールドを設定します。
8. すべてのパラメータを定義したら、**[目的関数]** を選択して目的関数の構築方法の詳細と、**[目的関数の最小化]** または **[目的関数の最大化]** を指定できます。目的関数は Maple プロシージャとして定義されます。

Maple のプロシージャに関する詳細は、Maple ヘルプシステムのプロシージャを参照してください。

9. これで、パラメータの最適化を実行できるようになります。Maplesoft Global Optimization Toolbox を保有している場合は、このステップで使用できます。**[パラメータ最適化を実行]** をクリックしてパラメータ最適化を実行します。**[結果]** セクションには、目的関数を最適化するパラメータ値が表示されます。

パラメータをテストするには、スライダを動かします。手順 9 で計算されたパラメータ値に戻すには、**[リストア]** をクリックします。

10. リンクされたモデルに、現在のスライダのパラメータ値を適用するには、**[モデルのパラメータを更新]** をクリックします。

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、**コード生成 App** 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。

コード生成Appを使用すると、システムの入出力を定義、コードの最適化レベルの設定、ソースコードの生成、および生成されるコンポーネントやライブラリコードの形式の選択ができます。解析タスクの実行、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 コード生成機能は、MapleSim でモデル化されたすべてのシステムに対応しており、信号入力 (RealInput) および信号出力 (RealOutput) ポートが定義されたハイブリッドシステムも含まれます。

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。**[プロパティ]** 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。

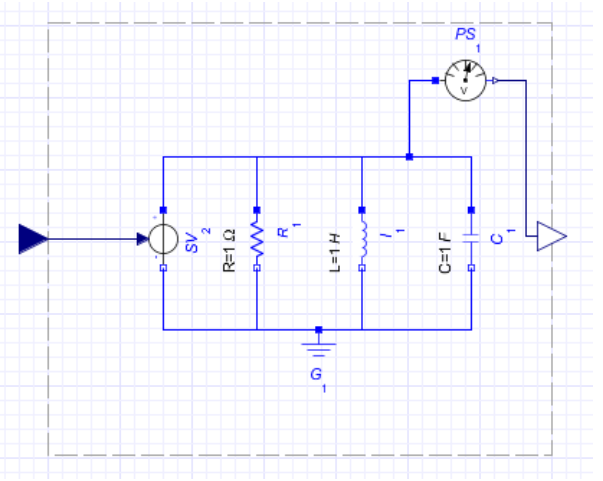
MapleSim モデルから C コードを生成するプロセスには次のステップが含まれています。

- MapleSim モデルの準備
- コード生成 App を開く
- サブシステムのロード

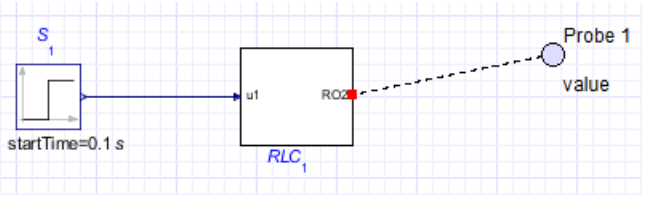
- 特定のポートに対するパラメータ値のカスタマイズ、定義、および割り当て
- コード生成オプションの選択
- C コードの生成と保存

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ための基本構造は、生成されたコードからの入力信号と出力信号を定義するサブシステムです。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できます。下図は、定義した入力 (紺色の矢印) と定義した出力 (白の矢印) を持つサブシステムを示しています。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信号の入力ポートと実数信号の出力ポートである必要があります。

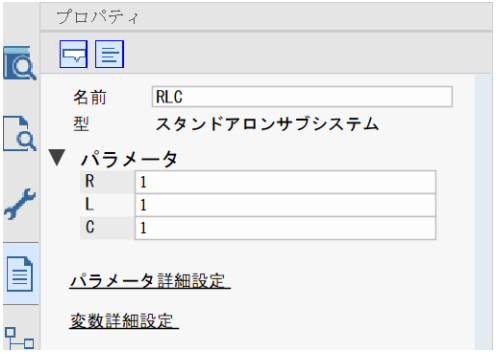


トップレベルのシステム用のコードを生成する場合、入力は存在しませんが、下図に示すように、すべてのプローブ値は出力として扱われます。



ヒント : モデル全体のコードを生成したい場合は、モデルの最上位にあるすべてのコンポーネントを 1 つのサブシステムにまとめます。

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を定義することができます。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設定されているわけではありません。一般的に、変更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くなります。デフォルトでは、エクスポートされるサブシステムで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、エクスポートされたコード内でデフォルトで変更可能となるのは、パラメータ R、L、C のみです。



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を変更するパラメータは、エクスポート可能なパラメータのリストから自動的に除外されます。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で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 モデルと同じ値で初期化されます。たとえば、MapleSim モデルでクラッチが「ロック」状態で初期化される場合、生成されるコードでは、クラッチは「ロック」状態で開始されると想定されます。連続変数およびその導関数についても同様です。

エクスポートされるコードは、初期化済みの 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を構成するサブシステムについてのみ、そのコードをエクスポートすることができます。

注 : MapleSim でモデルを実行または初期化できない場合、そのモデルや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 App を開く

コード生成を実行するには、まず**コード生成 App** を開きます

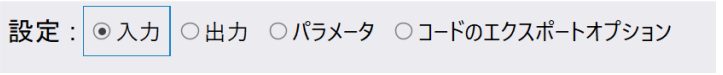
1. **左側パネル**の **[Apps]** タブ ( ) をクリックします。
2. **[Apps]** パレットの **[ユーティリティ]** のカテゴリから **[コード生成]** を選択します。**App** が**分割パネル**に開きます。

サブシステムの読み込み

App の **[サブシステムの選択]** セクションで、コードを生成およびエクスポートするサブシステムを選択します。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。

ポートとパラメータの管理

[設定] インターフェースを使用すると、ポート変数の設定やパラメータの設定をカスタマイズできます。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。

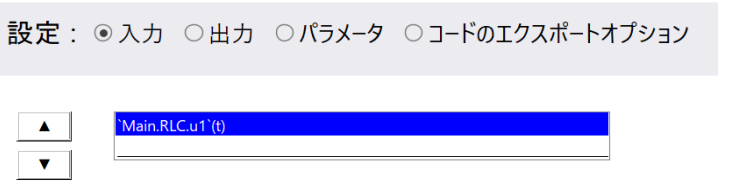


ヒント : App を閉じて再び開いた場合、App ビューワによって App の以前の状態が記憶されています。

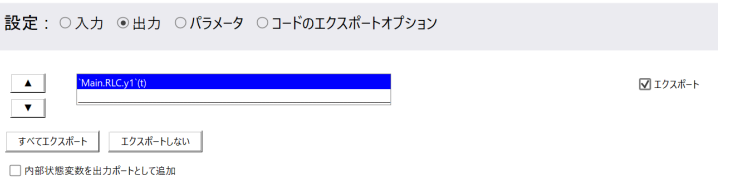
更新、エクスポート、およびインポートボタンを使用すると、App を閉じて再び開いた場合に設定を維持または取得することができます。

- **更新** ( ) : App をデフォルト設定に戻します。

- **エクスポート** ( ) : App の現在の設定を保存します。
- **インポート** ( ) : 保存された App 設定を取得します。

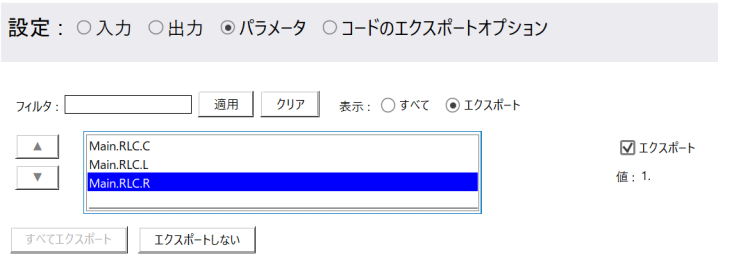


[入力] : モデルの入力変数の一覧を表示します。



[出力] : モデルの出力変数の一覧を表示します。

- **[エクスポート]** : 出力として生成コードに含める場合にチェックを入れます。
- **[すべてエクスポート]** / **[エクスポートしない]** : すべての出力変数のエクスポート設定を一括で有効または無効にします。
- **[内部状態変数を出力ポートとして追加]** : 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。



[パラメータ] : モデルのパラメーター一覧を表示します。

- **[フィルタ]** : パラメータ名で一覧をフィルタリングします。

- **[表示]**:エクスポートされたパラメータのみ表示するか、すべてのパラメータを表示するかを選択します。
- **[エクスポート]**:変更可能なパラメータとして生成コードに含める場合にチェックを入れます。
- **[すべてエクスポート] / [エクスポートしない]** : すべてのパラメータのエクスポート設定を一括で有効または無効にします。
- **[値]** : パラメータの値を表示します。

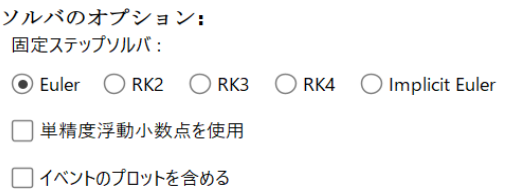
注 : エクスポートしないパラメータは数値で置換されます。

コード生成オプションの選択

[コードのエクスポートオプション] 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。

ソルバのオプション

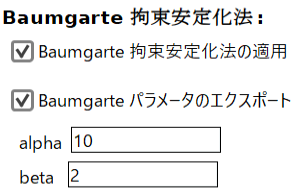
ソルバのオプションでは、ソルバの種類を指定できます。



注 : [現在の固定ステップシミュレーション設定に合わせる] というオプションがあります。これを選択すると、App の設定が、モデルの現在のシミュレーション設定 (ソルバ、Baumgarte 拘束安定化法、拘束条件の処理、イベント処理) に合わせられます。

Baumgarte 拘束安定化法

Baumgarte 拘束安定化法は、位置、速度、加速度の各拘束を単一式にまとめることで、位置拘束方程式を安定化します。加速度を用いて線形方程式を積分することにより、Baumgarte パラメータ alpha および beta が作用し、位置拘束を安定化させます。



[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に選択します。

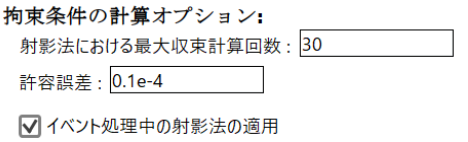
[Baumgarte パラメータのエクスポート] : 生成した C コードに alpha および beta を変更可能なパラメータとして生成コードに含めるときに選択します。これにより、ソースコードで alpha と beta の値を変更することができるようになります。コードを再コンパイルして実行すれば、モデルにどのような影響が出るかを確認できます。

[alpha] : モデルに適した微分ゲインの値を入力します。

[beta] : モデルに適した比例ゲインの値を入力します。

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、生成されたコードの拘束条件に対する射影法を使用することで、DAE システムにおいて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、拘束条件を含む DAE システムの精度を向上させることができます。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、誤差が指数関数的に増加する可能性があります。



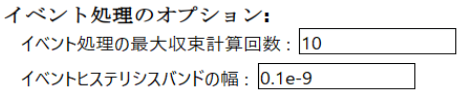
[射影法における最大収束計算回数] : より正確な解を得るために、射影を繰り返し実行できる最大回数を指定します。

[許容誤差] : 射影後に達成すべき望ましい許容誤差を指定します。

[イベント処理中の射影法の適用] : 選択すると、反復処理が補間されより正確な解が得られます。

イベント処理

イベント処理のオプションでは、イベント処理に関する設定を行います。イベントとは、システムの離散変数に変化を引き起こす可能性のある連続的な状態のことです。



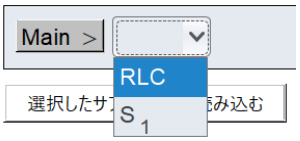
[イベント処理の最大収束計算回数]:イベント処理を繰り返し実行できる最大回数を指定します。

[イベントヒステリシスバンドの幅]:イベントに使用されるヒステリシスバンドの幅を制御します。

C コードの生成と保存

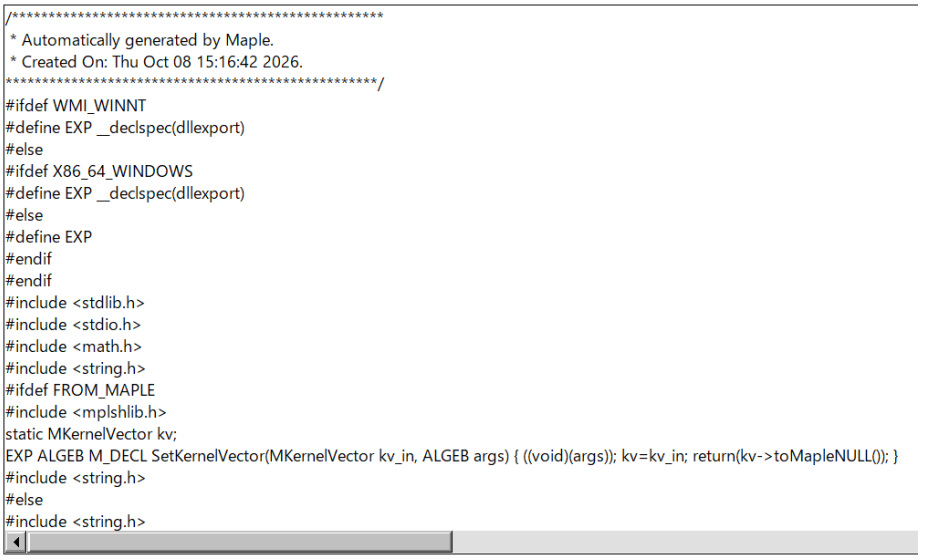
C コードを生成するには

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、コードを生成したいコンポーネントが、サブシステムにグループ化されていることを確認します。
3. **左側パネル**の **[Apps]** タブ ( ) をクリックします。
4. **[Apps]** パレットの **[ユーティリティ]** のカテゴリから **[コード生成]** を選択します。**App** が**分割パネル**に開きます。
5. Appの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。



6. **[選択したサブシステムを読み込む]**をクリックします。サブシステムのすべての入出力変数が App にロードされます。
7. 入力、出力、およびパラメータを確認、設定します

8. **[コードのエクスポートオプション]** でソルバを選択します。デフォルトでは **Euler** が選択されています。
9. **[エクスポート]** セクションで、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 コードは指定した場所に保存されます。C コードが生成されたら、App の下部にある **[コードの表示]** セクションでコードを表示できます。



```
/*************************************************
 * Automatically generated by Maple.
 * Created On: Thu Oct 08 15:16:42 2026.
*************************************************/
#ifdef WMI_WINNT
#define EXP __declspec(dllexport)
#else
#ifdef X86_64_WINDOWS
#define EXP __declspec(dllexport)
#else
#define EXP
#endif
#endif
#include <stdlib.h>
#include <stdio.h>
#include <math.h>
#include <string.h>
#ifdef FROM_MAPLE
#include <mplshlib.h>
static MKernelVector kv;
EXP ALGEB M_DECL SetKernelVector(MKernelVector kv_in, ALGEB args) { ((void)(args)); kv=kv_in; return(kv->toMapleNULL()); }
#include <string.h>
#else
#include <string.h>
```

5.6. 外部 C コード/ライブラリ定義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/ライブラリブロック** App 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、さまざまなソフトウェアツール向けの追加の Connector ツールボックスとして利用可能です。

このAppを使用すると、外部の入出力の定義、関数名と引数の指定、ソースコードの生成、生成されるコンポーネントおよびライブラリコードの形式を選択することができます。また、任意のMapleコマンドを使用して、タスク解析を実行したり、モデル方程式を変数に割り当てたり、入力と出力をグループ化したり、変数に対する追加の入力ポートや出力ポートを定義したりすることができます。

外部Cコード/ライブラリAppを使用してシステムを再読み込みしても、パラメータ、入力、出力の変更内容は保持されます。

{PRODUCT} 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、以下の手順が含まれています。

- 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 C/ライブラリコードオプションを定義
- 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/ライブラリ定義 App を開く

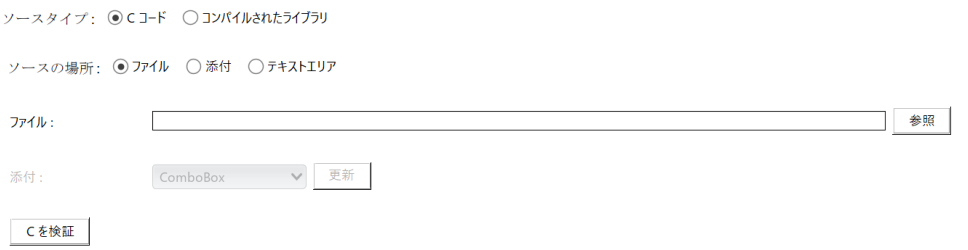
1. **左側パネル**の **[Apps]** タブ ( ) をクリックします。
2. **[Apps]** パレットの **[コンポーネント作成]** のカテゴリから **[外部 C/ライブラリブロック]** を選択します。**App** が**分割パネル**に開きます。

C/ライブラリコードの場所とオプションの指定

外部 C コード/ライブラリ定義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、またはテキストエリアを使用して新しい C ファイルを作成することができます。

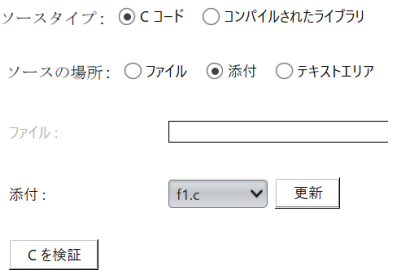
既存の C ファイルまたはライブラリファイルの使用

[ファイル] で既存の C コード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。



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 {PRODUCT} に添付されている場合、**[更新]** を押して添付ファイルのリストを更新し、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。



テキストエリアに外部コードを入力しファイルまたは添付ファイルとして保存する

コードをアプリに直接入力し、コンポーネントを生成する前にファイルまたは添付ファイルとして保存します。*チュートリアル 6: C コード/DLL カスタムコンポーネント App の使用 [254ページ]* でこの手順について詳しく解説しています。

添付ファイルとして MapleSim モデルに添付すると、ファイルは **[添付ファイル]** タブ ( ) の **[その他]** に保存されます。



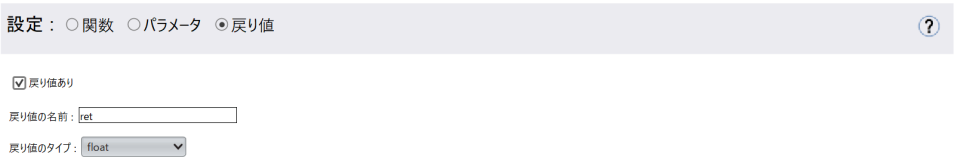
[C を検証] をクリックして、指定された C コードの有効性を確認できます。

C/ライブラリコードの保存場所とオプションの定義

[設定] セクションで、外部 C/ライブラリ関数名の定義、パラメータ名の選択、データ型や配列かどうかの指定、および入力を Modelica ブロックの出力にするかどうか (**[参照渡し]** にチェックを入れることで指定) を選択したりできます。

上矢印/下矢印ボタンを使用して、パラメータの順序を変更できます。順序はC関数の順序と一致している必要があります。必要に応じて、**[パラメータの削除]** をクリックしてパラメータを削除してください。





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詳細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 App の使用 [254ページ]* を参照してください。

コンポーネント生成

カスタムコンポーネントを生成するには

1. **[コンポーネントの生成]** で、**[ブロック名]** を入力します。
2. **[コンポーネントを生成]** をクリックします。生成されたカスタムコンポーネントが、MapleSim ウィンドウの左側にある **[ローカルコンポーネント]** タブ () の **[コンポーネント]** パレット内に表示されます。このコンポーネントの Modelica コードは、Modelica コードエディタで確認できます。

5.7. MapleSim API と Maple コマンドの操作

Apps とテンプレートを使用したモデルの操作と解析に加え、Maple ワークシートでは MapleSim アプリケーションプログラミングインターフェース (API) を使用することができます。まず、LinkModel コマンドを使用して MapleSim モデルへのリンクを作成します。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。MapleSim API の詳細は、MapleSim ヘルプページ、および **LinkModel** ヘルプページの例題セクションを参照してください。

Maple 内では、モデルを操作する Maple の機能を最大限に活用できます。**MapleSim** や **DynamicSystems** のコマンドを含む、あらゆる Maple パッケージのコマンドを使用して、プログラムによりモデルを操作することができます。

5.8. 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 モデルの表示、編集、アクションの作成、情報の表示、およびプロパティの分析を行うための、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、モデルのプロパティを、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ることで、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、Maple の **[コンポーネント]** パレットを使用して挿入します。

ヒント : テンプレートに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 ワークシートで埋め込みコンポーネントを右クリック (Macintosh では **[Control]** クリック) し、**[〜コードの編集]** 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。

高度な解析タスクについての詳細は、**[ヘルプ] > [例題]** > **[ユーザガイドの例題] > [第 5 章]** メニューから「**Sliding Table**」の例題を開いて、添付されている「**AdvancedAnalysis.mw**」ワークシートを開きます。(MapleSim の **[添付ファイル]** タブ () にある **[ドキュメント]** を展開)

第6章 MapleSim チュートリアル

MapleSim チュートリアルを利用し、説明用のタスク、問題、およびベストプラクティス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、**[ヘルプ] > [例題]** > **[ユーザガイドの例題]** メニューにあります。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 [195ページ]*
- *[205ページ]*
- *[210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 [219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 [228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 App の使用 [254ページ]*
- *チュートリアル 7 : 方程式の抽出 App の使用 [260ページ]*
- *チュートリアル 8 : 油圧システムのモデリング [266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。

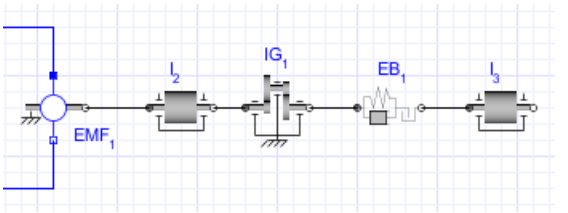
- DC Motor のモデルにギアボックスを追加
- ギアボックス付き DC Motor のモデルをシミュレーション
- DC Motor コンポーネントをグループ化してサブシステムを作成
- グローバルパラメータをコンポーネントに代入
- 信号ブロックコンポーネントと PI コントローラをモデルに追加
- 変更した DC Motor モデルにさまざまな条件を与えてシミュレーション

DC Motor のモデルにギアボックスを追加

この例では、1-D メカニカルライブラリから Ideal Gear 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。

ギアボックスを追加するには

1. **[ヘルプ]** メニューから **[例題] > [ユーザガイドの例題] > [第 1 章]** の順に選択し、「**Simple DC Motor**」 の例を選択します。
2. **モデルワークスペース**から、既存のプローブを削除します。
3. **[ライブラリコンポーネント]** タブ( )を選択し、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]** パレットから **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]** パレットから **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]** パレットから **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. **[プロパティ]** タブ ( ) で速度伝達比 **[r]** を **10** に設定し、**[Enter]** キーを押して値を確定します。
7. 同様に、ほかのコンポーネントに以下のパラメータ値を設定します。

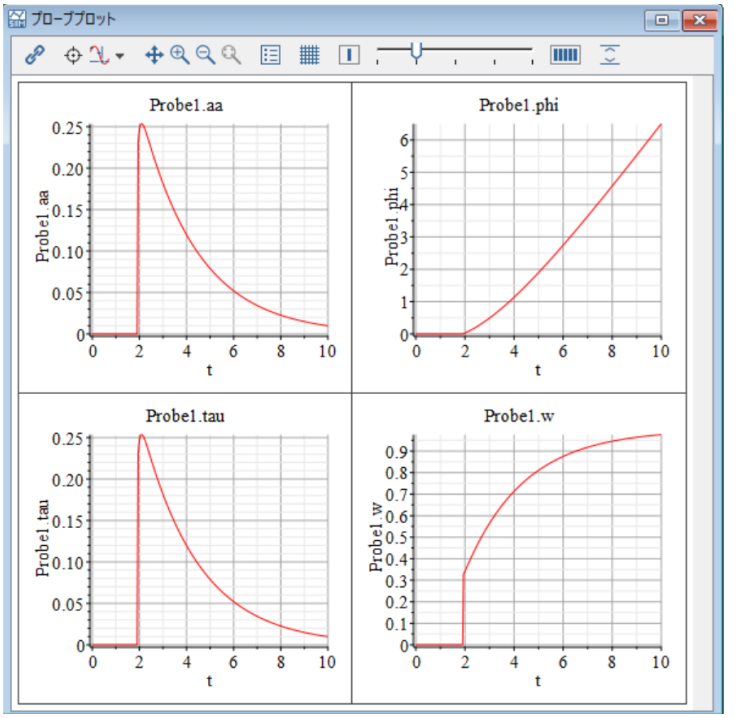
- **Elasto-Backlash** コンポーネントの **[b]** フィールドで、トータルバックラッシュの値を **0.3** rad に設定します。**[d]** フィールドで、減衰係数を **10^4** $\frac{\mathrm{N{\cdot}m{\cdot}s}}{\mathrm{rad}}$ に設定します。
- 1 つ目の **Inertia** コンポーネント (**I_2**) の **[J]** フィールドで、慣性モーメントの値を **10** $\mathrm{kg{\cdot}m^2}$ に設定します。
- 2 つ目の **Inertia** コンポーネント (**I_3**) の **[J]** フィールドで、慣性モーメントの値を **1** $\mathrm{kg{\cdot}m^2}$ に設定します。
- **Step** ソースの **[height]** で、ステップの高さの値を **100** に設定します。

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。ラインがハイライトされます。
3. ラインを 1 回クリックし、**モデルワークスペース**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 (phi)、角速度 (w)、角加速度 (aa)、トルク (tau) の値をシミュレーショングラフに含めるために、**[プロパティ]** タブ ( ) で、**[Angle]**、**[AngularVelocity]**、**[AngularAcceleration]**、**[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. **[シミュレーションの設定]** タブ ( )でシミュレーション時間 **[t_d]** を **10** s に設定し、**[Enter]** キーを押します。
8. **アプリケーションツールバー**で**シミュレーションの実行** ( ) をクリックします。

9. **シミュレーション結果を表示** ( ) をクリックします。**解析ウィンドウ**に以下のグラフが表示されます。

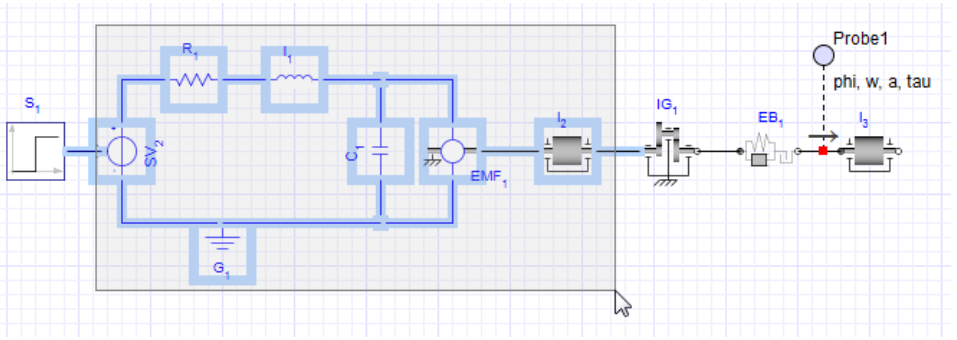


10. 結果を検証するには、**[ヘルプ]** メニューから **[例題] > [ユーザガイドの例題] > [第 6 章]** の順に展開し、「**DC Motor with Gearbox**」の例を選択します。

DC Motor コンポーネント群をグループ化してサブシステムを作成

DC Motor コンポーネント群をグループ化するには

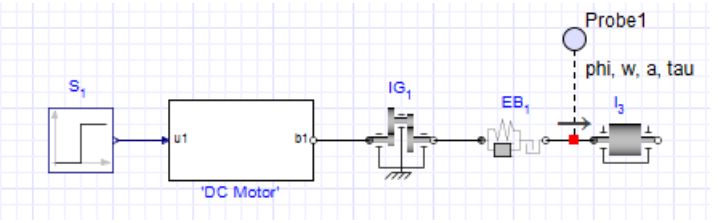
1. すべての電気コンポーネントと、1つ目のInertiaコンポーネントを囲むように矩形選択します。



2. **[編集]** メニューから、**[サブシステムの作成]** を選択します。

ヒント : [サブシステムの作成] は、矩形選択後に表示される**ホバーメニュー**の **[選択したコンポーネントをサブシステム化]** () アイコンから、または、右クリック (Mac の場合は **[Control]** クリック) のコンテキストメニューからも選択できます。

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** サブシステム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に戻るには、**モデルワークスペースツールバー**の **[Main に戻る]** () をクリックします。

グローバルパラメータを定義しモデルに代入する

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. **モデルワークスペースツールバー**の **[Main に戻る]** ( ) 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**で、パラメータブロック **sysParams** ( ) をダブルクリックします。**分割パネル**に **[パラメータ デフォルト設定]** が表示されます。

3. **[パラメータ デフォルト設定]** テーブルの 1 行目の **[名前]** フィールドに「**Rglobal**」と入力し、**[Enter]** キーを押します。

4. **[デフォルト値]** に **24** を指定し、**[説明]** として「**Global resistance value**」を入力します。

5. テーブルの 2 行目の **[名前]** フィールドに「**Jglobal**」と入力し、**[Enter]** キーを押します。

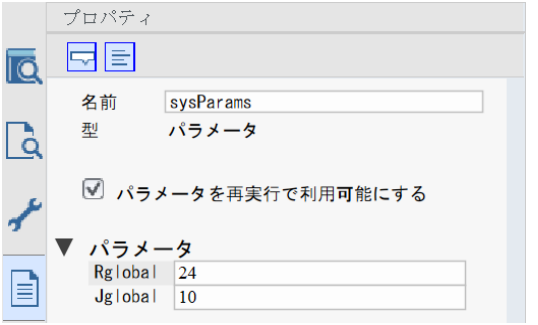
6. **[デフォルト値]** に **10** を指定し、**[説明]** として「**Global moment of inertia value**」を入力します。

パラメータ デフォルト設定

名前	型	デフォルト値	デフォルト単位	説明
Rglobal	Real	24		Global resistance value
Jglobal	Real	10		Global moment of inertia value

7. 新しいパラメータ **[Rglobal]** と **[Jglobal]** が **[プロパティ]** 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ほかのコンポーネントに代入することができます。

8. **[パラメータを再実行で利用可能にする]** にチェックが入っていることを確認します。



ヒント : [パラメータ デフォルト設定] で定義した数値は、パラメータのデフォルト*値*です。実際にシミュレーションで使用される値はプロパティで設定した値となります。

9. **モデルワークスペース**で **Inertia** コンポーネント **I_3** をクリックします。

10. **[プロパティ]** タブ ( ) で慣性モーメント **[J]** のフィールドに「**Jglobal**」と入力し、**[Enter]** キーを押します。これでパラメータ **[J]** は、グローバルパラメータ **Jglobal** の値 (この例では **10**) を受け継ぎます。

11. **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、サブシステム内のコンポーネントを表示します。

12. **モデルワークスペース**で **EMF_1** コンポーネントをクリックします。

13. **[プロパティ]** タブ ( ) で、変換係数 **[k]** のフィールドに「$\frac{\mathbf{Rglobal} \cdot \mathbf{Jglobal}}{\mathbf{10}}$」と入力し、**[Enter]** キーを押します。

14. 同様の手順で、**Resistor** コンポーネント **R_1** の抵抗値 **[R]** のフィールドに「**Rglobal**」を設定します。

15. **モデルワークスペースツールバー**の **[Main に戻る]** ( ) をクリックし、モデルのトップレベルを表示します。

16. モデルを「**DC_Motor2.msim**」として保存します。

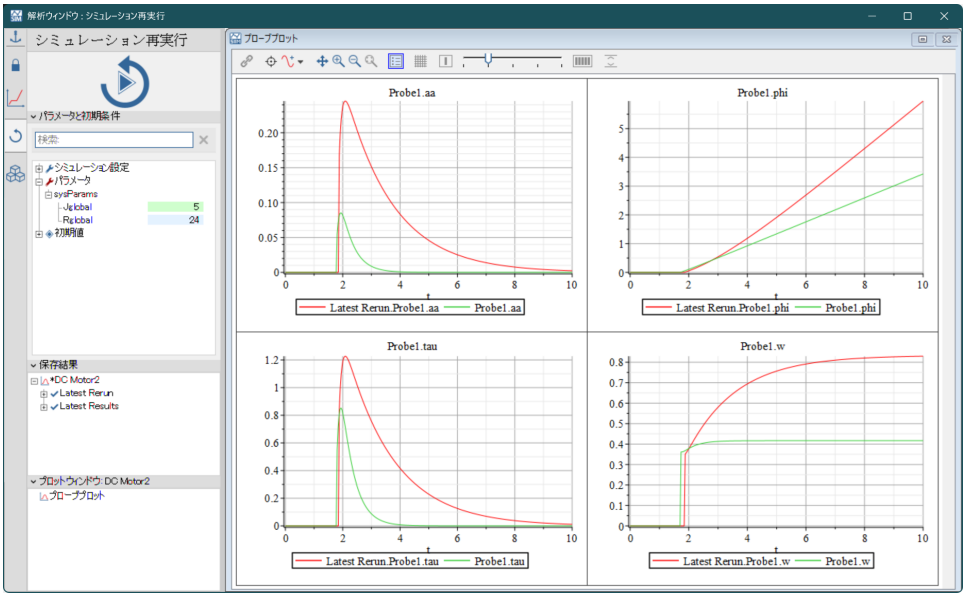
17. **[シミュレーションの実行]** ( ) をクリックしてシミュレーションを実行します。

異なるパラメータ値でシミュレーションを再実行

パラメータブロックを使用すると、特定のパラメータを調整可能にすることができ、シミュレーションを完全に再構築することなく再実行することができます。**[パラメータを再実行で利用可能にする]** にチェックを入れると、**シミュレーショ**

ン再実行パネルでこれらのパラメータを更新することができ、変更によるシミュレーション結果を確認・比較することができます。

1. **解析ウィンドウ**の左側にある **[シミュレーション再実行]** タブ ( ) をクリックすることで、**シミュレーション再実行**パネルを表示できます。
2. ウィンドウ左側のパネルで、パラメータ **Jglobal** の値を **5** に変更します。(値を変更したフィールド背景は緑色になります)
3. **[再実行]** ボタン ( ) をクリックし、新しい **Jglobal** の値を用いてシミュレーションの再実行を行います。
4. **[プローブプロット]** ウィンドウで、**Latest Results** (元のシミュレーション結果) と **Latest Rerun** (最新の再実行結果) を比較できます。



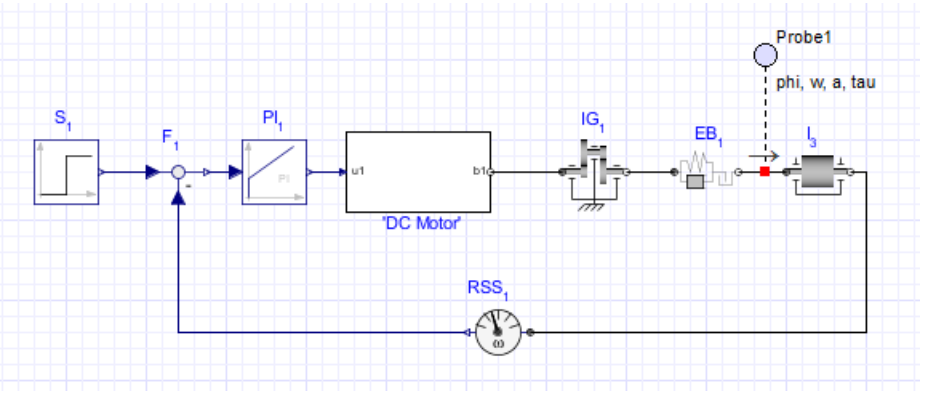
5. 再実行パラメータにパラメータ値のリストを追加することで、リスト中の各値を順に用いてモデルのシミュレーションを再実行できます。たとえば、**Jglobal** の値を **0.2、0.5、1、2** と順に設定してこのモデルのシミュレーションを再実行したい場合は、これらの値を角括弧で囲んだリストとして **[0.2, 0.5, 1, 2]** と入力し、**[再実行]** ボタン ( ) をクリックします。

入力値と出力値の変更

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

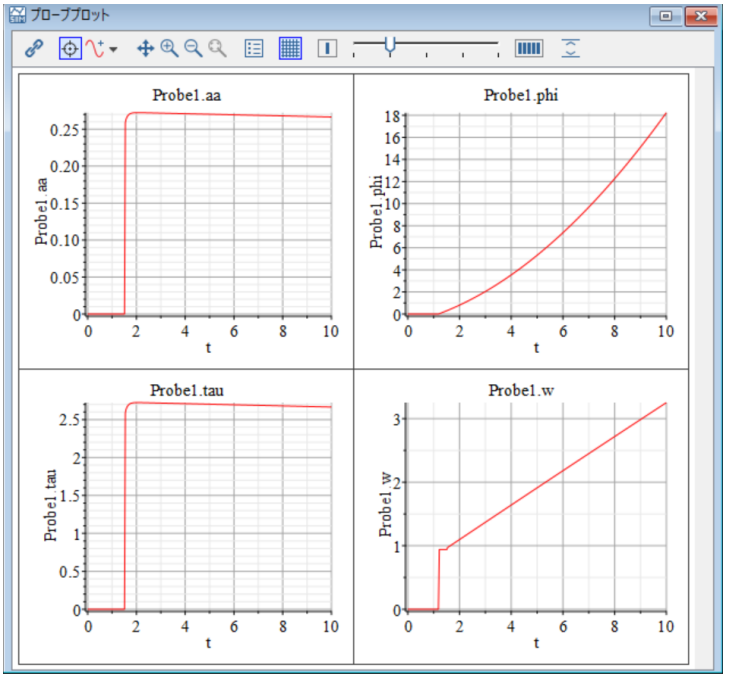
1. **[ライブラリコンポーネント]** タブ ( ) から、**[1-D メカニカル]** > **[回転]** > **[センサ]** パレットを展開し、**Rotational Speed Sensor** コンポーネントを**モデルワークスペース**に追加して **Gearbox** コンポーネント群の下に配置します。
2. **Rotational Speed Sensor** コンポーネントを右クリック (Mac の場合は **[Control]** クリック) し、**[水平方向に反転]** を選択します。
3. **Step** ソースと **DC Motor** サブシステムのあいだの結線を削除します。(結線をクリックまたは矩形選択して **[Delete]** キー)
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の図のように接続します。



ヒント : 結線を曲げるには、**モデルワークスペース**内の点をクリックして結線を固定し、マウスカーソルを別の方向に動かして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. **[プロパティ]** タブ ( ) で、ゲインの **[k]** フィールドに **20** を、時定数の **[T]** フィールドに **3** s を設定します。
9. **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、サブシステム内のコンポーネントを表示します。
10. **モデルワークスペース**で $\mathbf{EMF_1}$ コンポーネントをクリックします。
11. **[プロパティ]** タブ ( ) で、変換係数 **[k]** を **Rglobal** · **Jglobal** に変更し、**[Enter]** キーを押します。
12. **モデルワークスペースツールバー**の **[Main に戻る]** ( ) をクリックし、モデルのトップレベルを表示します。
13. 再度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、下のグラフが表示されます。



14. モデルを「**DC_Motor3.msim**」という名前で保存します。

15. 結果を検証するには、**[ヘルプ]** メニューから **[例題] > [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**」の例を選択します。

6.2. チュートリアル 1 : ギアボックス付き DC Motor のモデリング [195ページ]

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引っ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
- コンポーネントのプロパティを設定
- ケーブル張力コントローラのモデルをシミュレーション

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

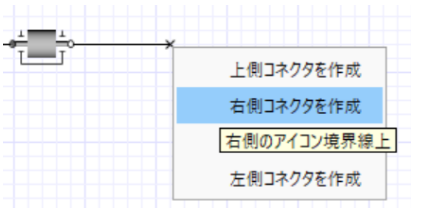
1. 前のチュートリアルで作成した「**DC_Motor3.msim** 」モデルを開き、「**Cable_Tension.msim**」という名前で保存します。
2. **Elasto-Backlash** コンポーネントと **Inertia** コンポーネントを接続するラインに追加されているプローブを削除します。
3. **Rotational Speed Sensor** コンポーネントとその結線を削除します。
4. **Ideal Gear**、**Elasto-Backlash**、**Inertia** コンポーネントとそれぞれの結線をまとめて矩形選択し、サブシステム「**Gear Components** 」を作成します。
5. **[ライブラリコンポーネント]** タブ( )から、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。

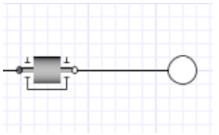
- **[1-D メカニカル]** > **[回転]** > **[ベアリング・ギア]** パレットから **Ideal Rotation to Translation Gear** コンポーネントを**モデルワークスペース**に追加し、**Gear Components** サブシステムの右側に配置します。
- **[1-D メカニカル]** > **[並進]** > **[センサ]** パレットから **Force Sensor** コンポーネントを**モデルワークスペース**に追加し、**Ideal Rotation to Translation Gear** コンポーネントの右側に配置します。
- **[1-D メカニカル]** > **[並進]** > **[バネ・ダンパ]** パレットから **Translational 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]** パレットから **Translational Fixed** コンポーネントを**モデルワークスペース**に追加し、**Translational 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 **Translational Fixed** コンポーネントを右クリック (Mac の場合は **[Control]** クリック) し、**[反時計回りに回転]** を選択します。
7. **Step** コンポーネントを削除し、**[ライブラリコンポーネント]** > **[信号ブロック]** > **[ソース]** > **[実数]** パレットにある **Constant** に置き換えます。

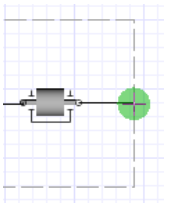
ヒント : Constant コンポーネントを、未接続のラインエンドにポートが重なるようにドラッグすると、そのまま接続することができます。

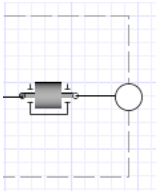
8. **'Gear Components'** サブシステムをダブルクリックして開きます。次に、このサブシステムを別のコンポーネントに接続するためのポートを追加します。
9. *[205ページ]***Inertia** コンポーネントのフランジ **flange_b** (白丸) をクリックし、結線を引き出した状態で右クリック (Mac の場合は **[Control]** クリック) し、コンテキストメニューから **[右側コネクタを作成]** を選択します。サブシステムのポートが追加されます。



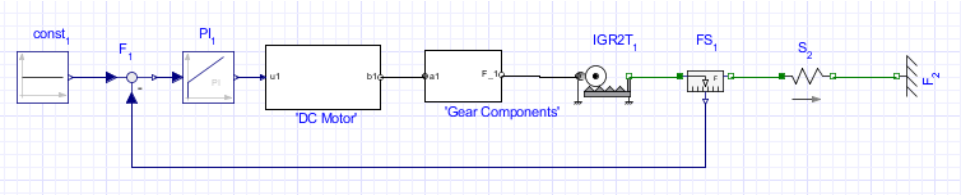


あるいは、マウスカーソルをサブシステムのコンポーネントを囲む境界線までドラッグし、ラインをクリックすることでも作成可能です。





10. **モデルワークスペースツールバー**の **[Main に戻る]** ( ) をクリックし、モデルのトップレベルを表示します。
11. 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. **[プロパティ]** タブ()で、サブシステム内のコンポーネントに以下のパラメータ値に設定します。
   - **Ideal Gear** コンポーネントで、**[r]** を **0.01** に変更します。
   - **Inertia** コンポーネントで、**[J]** を **0.1** $\mathrm{kg}\cdot\mathrm{m}^2$ に変更します。
3. **モデルワークスペースツールバー**の **[Main に戻る]** () 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。
   - **Translational Spring** コンポーネントのバネ定数 **[c]** の値を **2110**$\cdot$**10**$^{\mathbf{9}}$ $\frac{\mathrm{N}}{\mathrm{m}}$ に設定します。
   - **PI** コントローラで、時定数 **[T]** の値を **0.1** s に変更します。
   - **Constant** ソースの **[k]** の値を **77.448** に設定します。

再コンパイルせずにシミュレーションを再実行

*チュートリアル1:ギアボックス付きDCMotorのモデリング[195ページ]*で述べたように、パラメータブロックを使用することで、特定のパラメータを調整可能にすることができ、モデルの式をすべて再生成することなくシミュレーションを再実行することができます。

シミュレーションの再実行で調整したいパラメータは、**[パラメータを再実行で利用可能にする]** にチェックの入ったパラメータブロックで定義され、コンポーネントパラメータに代入されている必要があります。

必要に応じて、**モデルワークスペース**のパラメータブロック **sysParams** () でパラメータを定義してコンポーネントに代入し、**シミュレーションの再実行**を試してください。

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ションするには

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。**モデルワークスペース**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. **[プロパティ]** タブ ( ) で **[Real]** にチェックが入っていることを確認し、物理量の名前をデフォルトの **value** から「**Error**」に変更します。
5. 同様にプローブをもう 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。

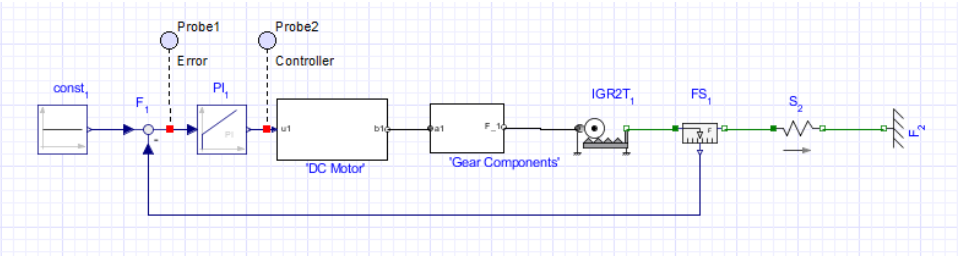
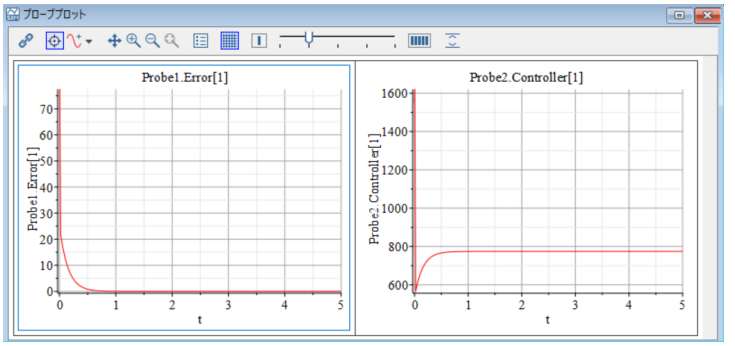


図6.1 ケーブル張力コントローラ

6. **[シミュレーションの設定]** タブ ( ) で以下のパラメータを指定します。
   - シミュレーション時間 **[t_d]** を **5** s に変更します。
   - **[ソルバタイプ]** のドロップダウンリストから **[Variable]** を選択します。
   - **[ソルバ]** ドロップダウンリストから **[Rosenbrock (stiff)]** を選択します。
7. **アプリケーションツールバー**で **[シミュレーションの実行]** ( ) をクリックします。
8. **[シミュレーション結果を表示]** ( ) をクリックします。**解析ウィンドウ**に以下のグラフが表示されます。



9. モデルを上書き保存します。

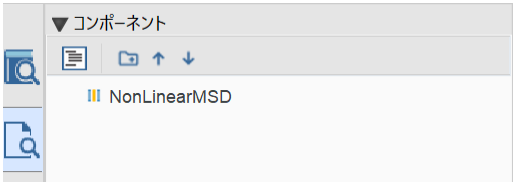
6.3. *チュートリアル5:カスタムコンポーネントテンプレートの使用 [228ページ]*

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
- 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
- 変数をサブシステムに代入
- 線形バネ付き非線形ダンパのモデルをシミュレーション

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 : 非線形ばねダンパカスタムコンポーネントの作成 [106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ます。



減衰係数値の定義

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 (.xlsx) またはカンマ区切り (CSV) 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

スプレッドシートの 1 列目にはダンパーの相対変位量が、2 列目には減衰係数が記載されています。

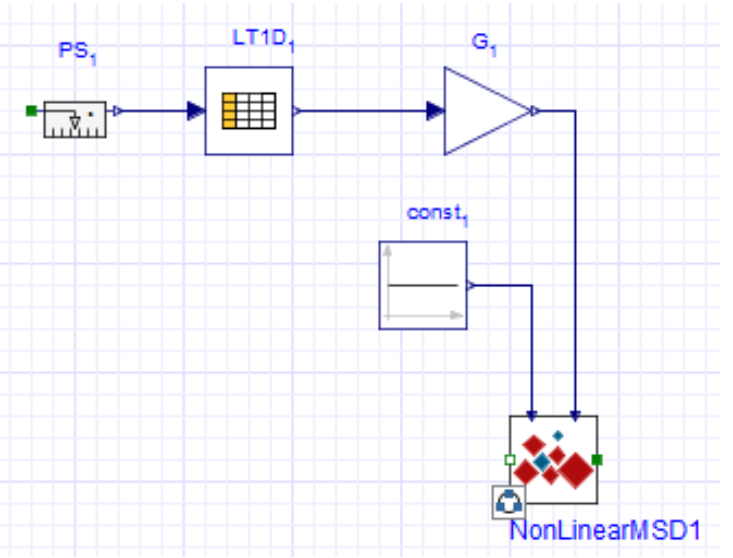
2. ファイルを「**DamperCurve.xlsx**」または「**DamperCurve.csv**」という名前で保存します。
3. 第3章の *例:非線形ばねダンパカスタムコンポーネントの作成 [106ページ]* で作成した「N**onlinearSpringDamper.msim**」モデルを MapleSim で開きます.
4. **[添付ファイル]** タブ () を選択します。
5. **[データセット]** を右クリック (Mac の場合は **[Control]** クリック) し、**[ファイルを添付]** を選択します。
6. ダイアログから作成した Excel スプレッドシートまたは 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、ライブラリコンポーネントのコンポーネントを使用して非線形ダンパのモデルを作成します。

非線形ダンパを作成するには

1. **[ローカルコンポーネント]** タブ ( ) を選択し、**NonLinearMSD** 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. **[ライブラリコンポーネント]** 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]** パレットから **Gain** コンポーネントを追加し、**NonLinearMSD** 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]** パレットから **Constant** コンポーネントを追加し、**NonLinearMSD** 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]** パレットから **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]** パレットから **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、**Translational Fixed** コンポーネントを**モデルワークスペース**に追加し、**NonLinearMSD** 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]** パレットから **Step** 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。

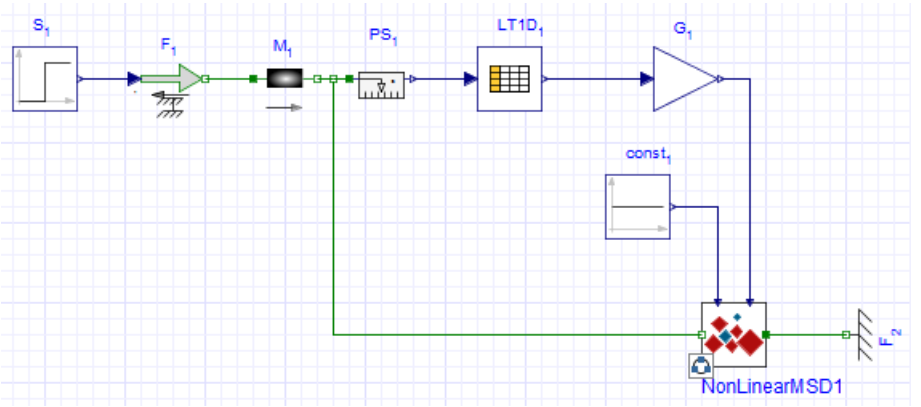
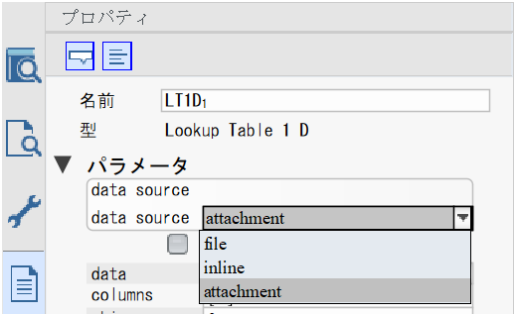
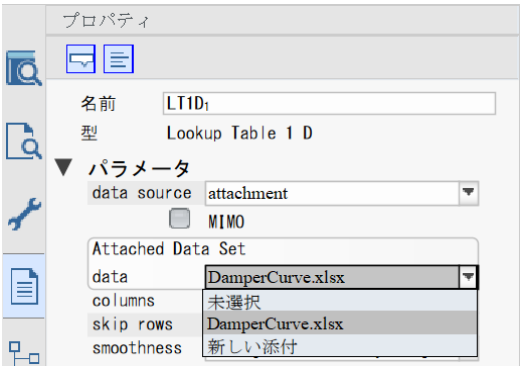


図6.2 非線形ダンパモデル

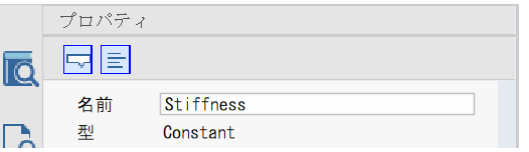
6. **モデルワークスペース**で、**Lookup Table 1D** コンポーネントを選択します。
7. **[プロパティ]** タブ ( ) で、データソース **[data source]** のリストから **[attachment]** を選択します。



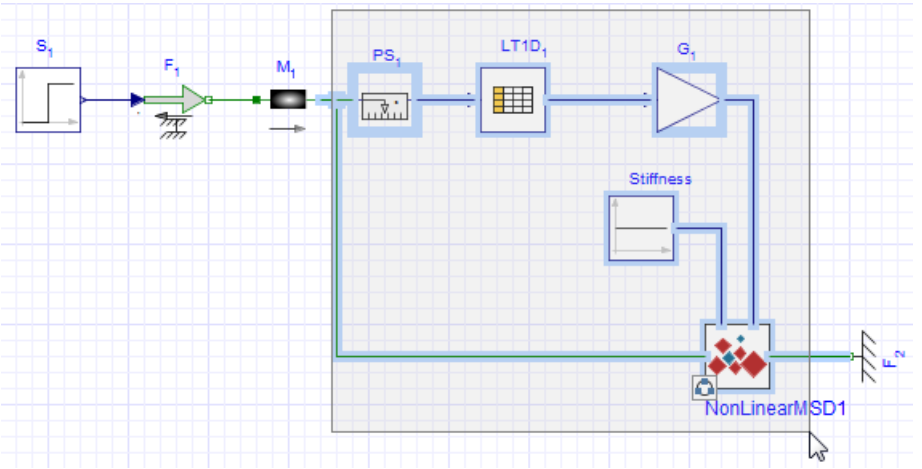
8. データ **[data]** のリストから、作成した添付ファイルを選択します。
(**DamperCurve.xlsx** または **DamperCurve.csv**)



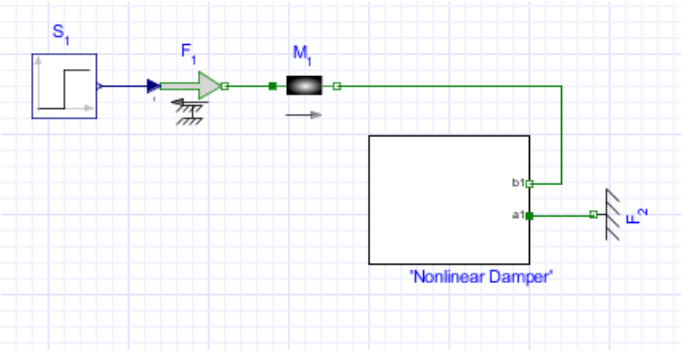
9. **モデルワークスペース**で、**Constant** コンポーネントを選択します。
10. **[プロパティ]** タブの **[名前]** フィールドで、コンポーネント名を「**Stiffness**」に変更します。



11. **Step** コンポーネントを選択し、ステップの高さ **[height]** を **100** に設定します。
12. **Mass** コンポーネントを選択し、質量 **[m]** を **100** kg に設定します。
13. 下図に示した非線形ダンパモデルのコンポーネント群と結線を矩形選択します。



14. 選択対象を「**Nonlinear Damper**」という名前のサブシステムにし、グループ化します。完成したモデルを下図に示します。

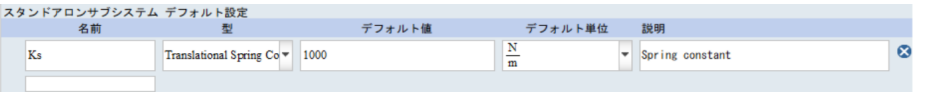


サブシステムにパラメータを代入

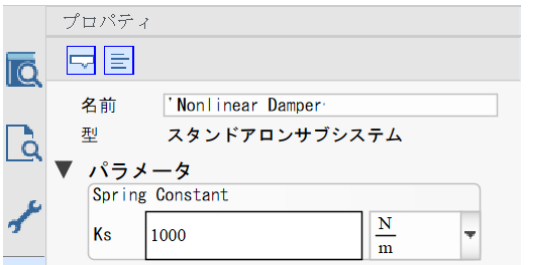
サブシステムにパラメータを代入するには

1. **モデルワークスペース**で、**'Nonlinear Damper'** サブシステムを選択します。
2. **分割パネルツールバー**の **[セカンダリビュー]** ( ) > **[パラメータ表示]** ( ) をクリックします。
3. **分割パネル**に表示された **[スタンドアロンサブシステム 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。

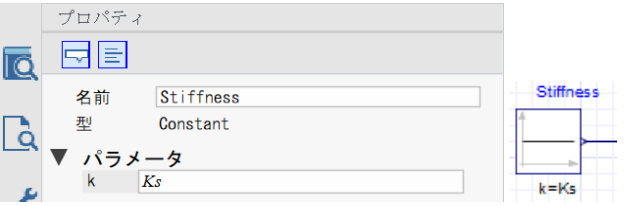
4. **[型]** を **Translational Spring Constant** [[$\frac{N}{m}$]] に設定し、**[デフォルト値]** に **1000** を設定し、**[説明] として「Spring constant**」を入力します。これでパラメータ値 **Ks** を **'Nonlinear Damper'** サブシステム内のコンポーネントに代入することができます。



5. **'Nonlinear Damper'** を選択して **[プロパティ]** タブ ( ) を表示し、**[Ks]** パラメータに設定してあるデフォルト値が入っていることを確認します。



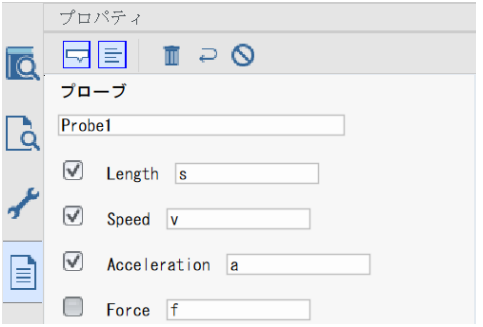
6. **モデルワークスペース**で **'Nonlinear Damper'** サブシステムをダブルクリックして開きます。**Stiffness** に名前を変更した **Constant** コンポーネントを選択し、**[プロパティ]** タブ ( ) で一定出力値 **[k]** の値を、先ほど作成した **Ks** に設定します。これで、このコンポーネントは、**Ks** の数値 (この例では、**1000**) を受け継ぎます。つまり、サブシステムのパラメータとして **Ks** の数値を編集した場合には、**k** パラメータにもその変更が受け継がれます。



線形バネ付き非線形ダンパモデルのシミュレーション

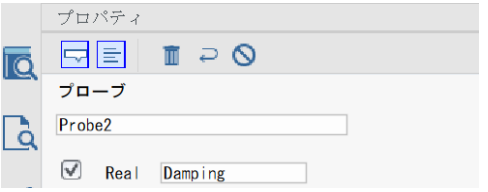
非線形ダンパのシミュレーションを実行するには

1. **モデルワークスペースツールバー**の **[Main に戻る]** ( ) 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。**モデルワークスペース**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変わります。
3. **Mass** と **'Nonlinear Damper'** サブシステム間を接続する結線をクリックし、**モデルワークスペース**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. **[プロパティ]** タブ ( ) で、**Length** (s)、**Speed** (v)、**Acceleration** (a) の物理量を選択します。



6. プローブの横に Length (変位)、Speed (速度)、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開きます。
8. **Gain** と **NonLinearMSD** カスタムコンポーネント間を接続する結線をクリックしてプローブを追加し、**モデルワークスペース**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。

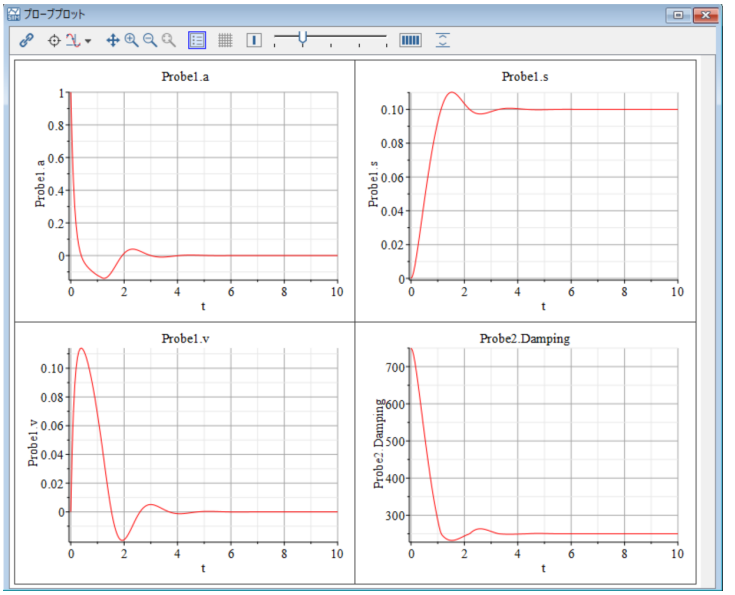
10. **[プロパティ]** タブ ( ) で、**[Real]** を選択し、名前を「**Damping**」に変更します。



11. **[シミュレーションの設定]** タブ ( ) で、**[t_d]** パラメータを **10** s に設定します。

12. **アプリケーションツールバー**で **[シミュレーションの実行]** ( ) をクリックします。

13. **[シミュレーション結果を表示]** ( ) をクリックします。**解析ウィンドウ**に以下のグラフが表示されます。



14. モデルを「**NonLinearMSD.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。

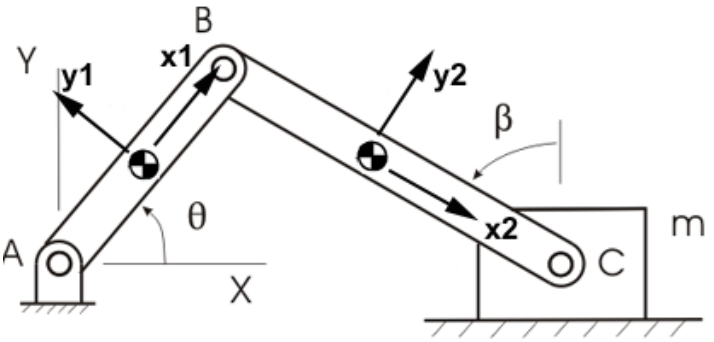


図6.3 平面スライダクランク機構

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 によってスライダ質量に接続されており、スライダ質量は、並進ジョイントによって地面に接続されています。このメカニズムは、クランクの回転運動をスライダ質量の並進運動に変換する、またはその逆の変換を行う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。

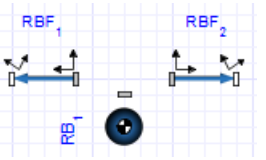
- 平面リンクサブシステムを作成
- サブシステムパラメータを定義し代入
- クランクを作成し、ロッド要素と接続する
- 固定フレーム、スライダ質量、ジョイント要素をモデルに追加
- 初期条件を指定
- 平面スライダクランク機構をシミュレーション

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、ローカルの x 軸(それぞれ**x1**、**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. **[ライブラリコンポーネント]** タブ () の **[マルチボディ]** > **[ボディ・フレーム]** パレットから、**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**モデルワークスペース**に追加します。
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 (Mac の場合は **[Control]** 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 (Mac の場合は **[Control]** 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。

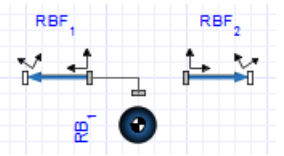


注 :

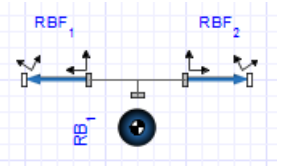
- コンポーネントのラベル (コンポーネント名) が表示されていない場合は、**[表示]** メニューから **[ラベルを表示]** を選択してください。

- コンポーネントのラベルが前の図のラベル(**RB_1**、**RBF_1**、**RBF_2**)と異なる場合があります。コンポーネントを選択し、**[プロパティ]**タブの**[名前]**フィールド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。

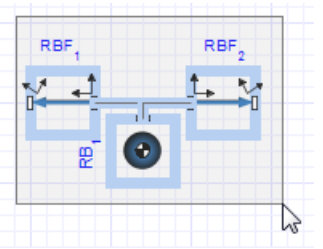
6. **RB_1** コンポーネントと **RBF_1** コンポーネントの右フレームのあいだに結線を引きます。



7. **RB_1** コンポーネントと **RBF_2** 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。



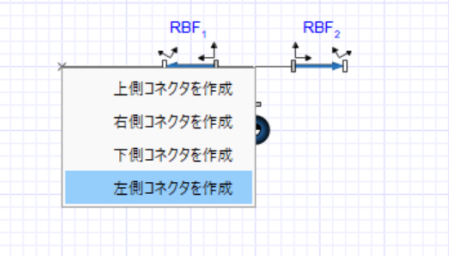
8. マウスをドラッグして、これらのコンポーネントと結線を矩形選択します。



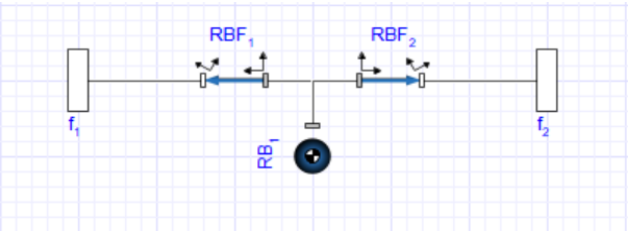
9. **[編集]** メニューから、**[サブシステムの作成]** を選択します。
10. **[サブシステムの作成]**ダイアログボックスで「**Link**」と入力し、**[OK]**をクリックします。

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** サブシステムをダブルクリックします。
12. **RBF$_1$** コンポーネントの左フレームをクリックし、結線を引き出した状態で右クリック (Mac の場合は **[Control]** クリック) します。



13. コンテキストメニューから **[左側コネクタを作成]** を選択します。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、もう 1 つのポートを作成します。(ここでは **[右側コネクタを作成]** を選択)



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。これにより **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

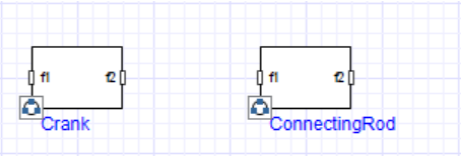
1. **Link** サブシステムにいない場合は、**モデルワークスペースツールバー**の **[Main に戻る]** ( ) をクリックしてから **Link** サブシステムをダブルクリックして開きます。
2. **分割パネルツールバー**の **[セカンダリビュー]** ( ) > **[パラメータ表示]** ( ) をクリックするか、**[プロパティ]** タブ ( ) の **[パラメータを追加または変更]** をクリックします。**分割パネル**に **[スタンドアロンサブシステム デフォルト設定]** が表示されます。
3. **[スタンドアロンサブシステム デフォルト設定]** テーブルの 1 行目の **[名前]** フィールドに「**L**」と入力し、**[Enter]** キーを押します。
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。これでサブシステムパラメータの定義は完了です。
5. サブシステム内の **RBF**$_1$ コンポーネントを選択します。
6. **[**$\bar{r}$**]** 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ます。
7. サブシステム内の **RBF**$_2$ コンポーネントを選択します。
8. **[**$\bar{r}$**]** 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ます。
9. 設定が完了したら、**[Main に戻る]** ( ) をクリックしてトップ階層に戻ります。

クランクとコネクティングロッドの作成

ここでは、クランクとコネクティングロッドを作成するために、**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に別の長さの値を代入します。

クランクとコネクティングロッドを作成するには

1. モデルのトップレベルにいない場合は、**モデルワークスペースツールバー**の **[Main に戻る]** ( ) をクリックします。**モデルワークスペース**に **Link** サブシステムが表示されていることを確認します。
2. **Link** サブシステムを右クリック (Mac の場合は **[Control]** 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るので「**Link**」と名前を設定し **[OK]** をクリックします。**[ローカルコンポーネント]** タブ ( ) の **[コンポーネント]** パレットに **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、変換された共有サブシステム **Link_1** を選択します。**[プロパティ]** 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. **[ローカルコンポーネント]** タブから共有サブシステム **Link** 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、追加した **Link** 共有サブシステムを選択します。
6. **[プロパティ]** タブ ( ) で、共有サブシステム名を「**ConnectingRod**」に変更します。下図を参照してください。



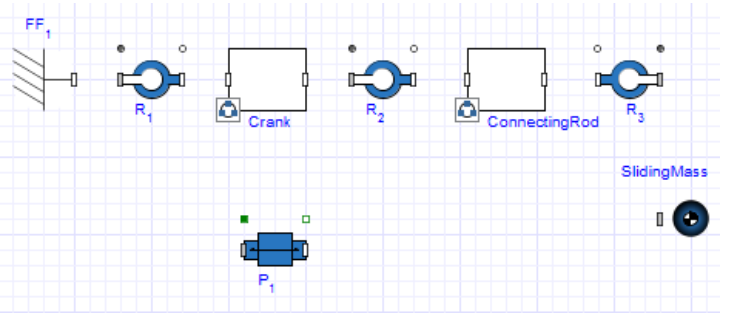
7. **ConnectingRod** サブシステムをクリックし、**[プロパティ]** タブ ( ) でサブシステムのパラメータ **[L]** (Length)を **2** に変更します。これにより、同じサブシステム定義 **Link** を参照しながらも、**Crank** と **ConnectingRod** では異なるパラメータ **L** の数値を持ちます。

固定フレーム、スライダ質量、ジョイント要素を追加

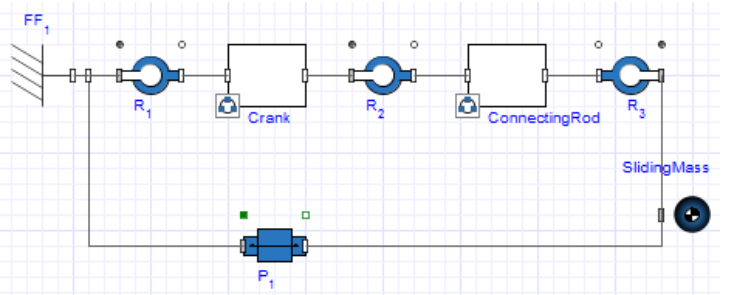
Fixed Frame コンポーネント、スライダ質量を表す **Rigid Body** コンポーネント、および **Revolute** ジョイントコンポーネントを追加します。

固定フレーム、スライダ質量、ジョイント要素を追加するには

1. **[ライブラリコンポーネント]** タブ ( ) の **[マルチボディ]** > **[ボディ・フレーム]** パレットから **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、**ConnectingRod** 共有サブシステムの右下に配置します。
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]** パレットから、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 **Rigid Body** のあいだに追加します。
   - 同じパレットから **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 (Mac の場合は **[Control]** クリック) し、**[水平方向に反転]** を選択します。
6. **ConnectingRod** と **SlidingMass** のあいだにある **Revolute** ジョイントを右クリック (Mac の場合は **[Control]** クリック) し、**[水平方向に反転]** を選択します。下図を参照してください。



7. 下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デフォルトの運動軸が、目的の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。XY 平面系の場合、この z 軸は常に慣性座標系の Z 軸と一致します。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生じる場合があります。

初期条件の指定

モデルのコンポーネントには、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 : 円周率を入力するには、「**Pi**」(大文字の **P** と小文字の **i**)と入力します。

2. **[$IC_{\theta,\omega}$]** のドロップダウンリストから、**[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。

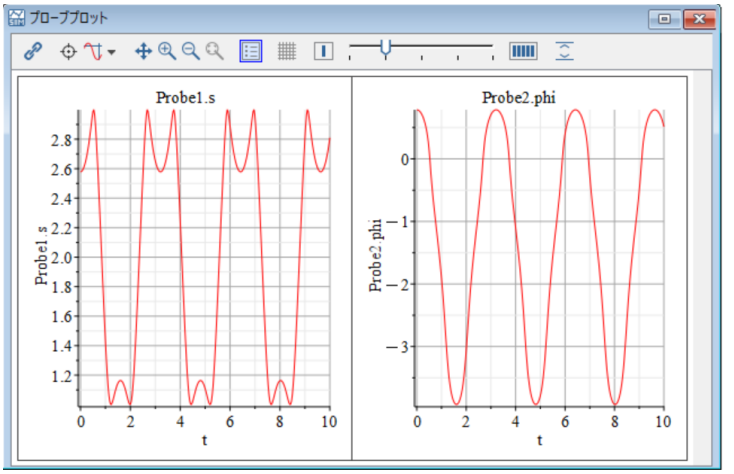
平面スライダクランク機構のシミュレーション

平面スライダクランク機構をシミュレーションするには

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抜きの緑の四角形の 1-D 並進フランジ **flange_b** をクリックします。次に**モデルワークスペース**の余白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、追加したプローブをクリックします。
4. **[プロパティ]** タブ ( ) で変位を測定するための物理量 **[Length (s)]** を選択します。
5. 同様に、プローブを $\mathbf{R_1}$ コンポーネント(**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) アイコンの右上にある白い丸型の 1-D 回転フランジ **flange_b** に追加し、物理量 **[Angle (phi)]** を測定するための設定を行います。



6. **[シミュレーションの設定]** タブ ( ) で、[$\mathbf{t_d}$] パラメータを **10** s に設定します。
7. **アプリケーションツールバー**で **[シミュレーションの実行]** ( ) をクリックします。
8. **[シミュレーション結果を表示]**( )をクリックします。**解析ウィンドウ**に以下のグラフが表示されます。



9. **3-D アニメーションウィンドウ**を選択し、**3-D ツールバー**の **[再生]** ( ) をクリックすると、アニメーションを再生できます。

ヒント : 3-D アニメーションウィンドウ の背後に開いているプロットウィンドウがある場合、可視化の質に影響します。アニメーションの再生で問題が発生する場合は、**3-D アニメーションウィンドウ**を移動してプロットウィンドウに重ならないようにしてください。あるいは、開いているプロットウィンドウを最小化するか閉じてください。

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、方程式の生成、および生成された方程式の解析を行うことができます。また、Maple コマンドを使用して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したりできます。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
- モデルにカスタムコンポーネントテンプレートを添付
- 支配方程式を入力
- 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
- パラメータおよび変数に新しい値を割り当て
- 方程式を表示、操作、再割り当て
- シミュレーションを実行して結果を確認
- 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 App を使用してカスタムポートを作成

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 [93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

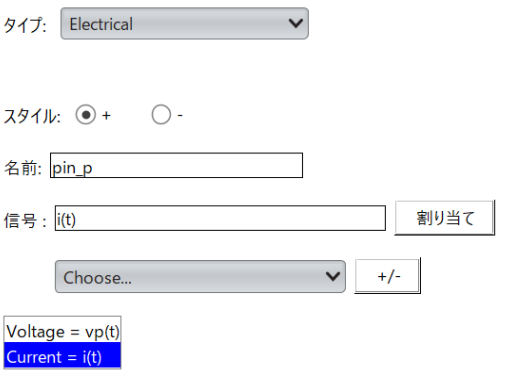
このチュートリアルの例では、抵抗が $r(t) = R0 \cdot \left(1 + \frac{(T(t) - T0)^2}{Tk^2}\right)$ の式に従って変化する温度依存抵抗のカスタムコンポーネントを使用して、回路のモデルを作成します。ここで $R0$、$T0$、および Tk はパラメータです。

カスタムコンポーネントを作成するには

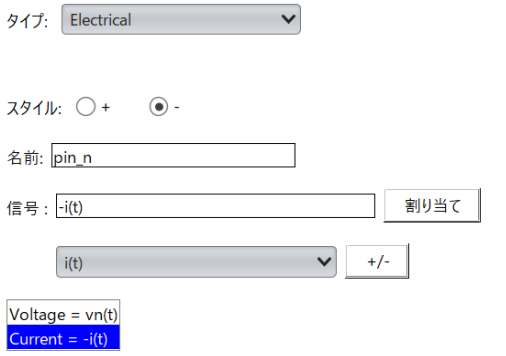
1. {PRODUCT}モデルを新規作成し、**アプリケーションツールバー**で**[Mapleワークシートを読み込む]** ( ) をクリックします。
2. **[Maple ワークシートの読み込み]** ダイアログの **[テンプレートから]** リストから **[カスタムコンポーネント]** を選択し、**[OK]** ボタンをクリックします。
3. **[添付を作成]** ダイアログウィンドウにテンプレート名を「**TempResistor**」と入力し( )をクリックします。Mapleが起動し、**カスタムコンポーネントテンプレート**が開きます。
4. **[方程式の定義]**セクションで、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。行の末尾で **[Enter]** キーを押します。

$$eq := \left[v(t) = vp(t) - vn(t),\ r(t) = R0 \cdot \left(1 + \frac{(T(t) - T0)^2}{Tk^2} \right),\ v(t) = i(t) \cdot r(t),\ qdot(t) = i(t) \cdot v(t) \right];$$

5. **[設定]**セクションで**[パラメータ]**を選択し、**[すべて更新]**をクリックします。
6. **[設定]** セクションで **[ポート]** を選択します。
7. **[全ポートを削除]** をクリックします。
8. **[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。
9. **[タイプ]** ドロップダウンリストから **[Electrical]** を選択します。
10. **[+]** 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。
11. リストボックスで **[Voltage = unassigned]** を選択し、**[信号]** の下のドロップダウンリストで**[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。
12. リストボックスで **[Current = unassigned]** を選択し、**[信号]** の下の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。



13. **[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。
14. **[タイプ]** ドロップダウンボックスから **[Electrical]** を選択します。
15. **[-]** 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の四角形に変わります。
16. リストボックスで **[Voltage = unassigned]** を選択し、**[信号]** の下のドロップダウンリストで **[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。
17. リストボックスで **[Current = unassigned]** を選択し、**[信号]** の下の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。



18. **[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。ポートを下辺の中央までドラッグします。

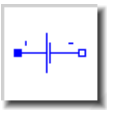
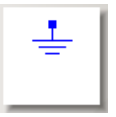
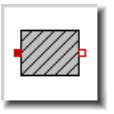
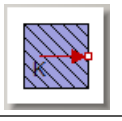
19. **[タイプ]** ドロップダウンボックスから **[Thermal]** を選択します。
20. **[a]** と表記されている **[スタイル]** ラジオボタンをクリックします。
21. **Temperature** 変数に対して **[T(t)]** を選択し、**Heat Flow Rate** 変数に対して **[qdot(t)]** を選択します。
22. **[アイコン]** リストから、**[Use default]** を選択します。
23. **[設定]** セクションで **[変数]** を選択し、**[すべて更新]** をクリックします。**[変数]** テーブルの **[タイプ]** 列の入力内容が更新されます。
24. **[変数]** テーブルをスクロールして、変数 **r(t)** と **v(t)** を確認します。**r(t)** と **v(t)** のタイプはまだ **real** としてリストされています。
25. **[r(t)]** と **[v(t)]** の **[タイプ]** 列の入力内容をそれぞれ「**Resistance**」と「**Voltage**」に変更し、**[すべて更新]** をクリックして確定します。(確定しない場合は **real** に戻ります)
26. **[設定]** セクションで **[パラメータ]** を選択します。
27. **[パラメータ]** テーブルで、R0 のタイプ列に「**Resistance**」と入力し、T0 および Tk の両方に「**ThermodynamicTemperature**」と入力します。T0 の **[デフォルト]** 列に **300** (単位は Kelvin) と代入します。**[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。

28. **[設定]** セクションで **[次元解析]** を選択し、**[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。
29. **[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。
30. **[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は、**[ローカルコンポーネント]** タブ () の **[コンポーネント]** パレットに表示されます。
31. 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
32. **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：モデルを構築する際は、電気的および熱的な量を測定するために、プローブをカスタムコンポーネント自体に接続するようにしてください。

表6.1 温度依存抵抗コンポーネント

コンポーネント	シンボル	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		[ローカルコンポーネント] > [コンポーネント]	デフォルト設定
Constant Voltage		[ライブラリコンポーネント] > [電気] > [アナログ] > [共通]	デフォルト設定
Ground		[ライブラリコンポーネント] > [電気] > [アナログ] > [共通]	デフォルト設定
Thermal Resistor		[ライブラリコンポーネント] > [伝熱] > [伝熱]	R = 10 K/W
Heat Capacitor		[ライブラリコンポーネント] > [伝熱] > [伝熱]	C = 0.1 J/K T_0 = 280 K
Fixed Temperature		[ライブラリコンポーネント] > [伝熱] > [ソース]	T = 298 K

33. カスタムコンポーネントを右クリック (Mac では **[Control]** クリック) して **[プローブを追加]** を選択し、次に**モデルワークスペース**内をクリックしてプローブを配置します。下図を参照してください。

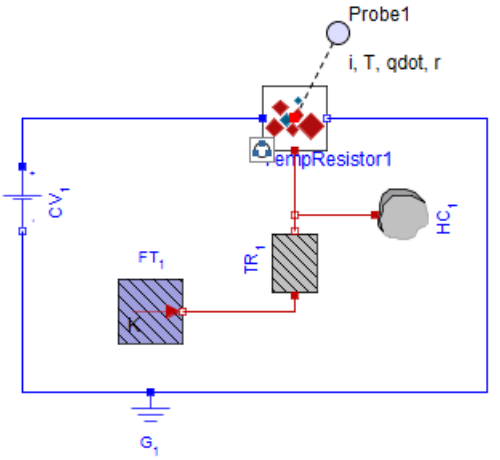
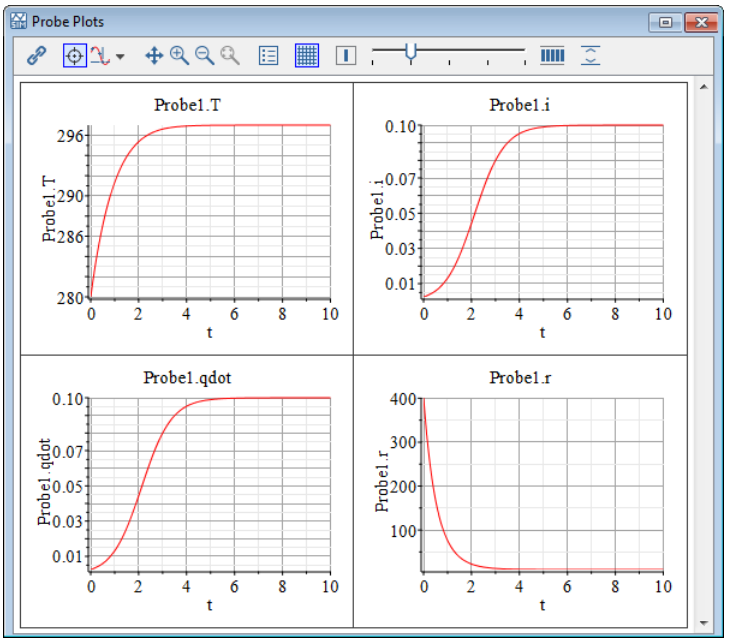


図6.4 温度依存抵抗

34. プローブを選択して **[プロパティ]** タブ ( ) を選択し、以下の数量を選択します。
    - Current (i)
    - ThermodynamicTemperature (T)
    - Power (qdot)
    - Resistance (r)
35. **アプリケーションツールバー**で **[シミュレーションの実行]** ( ) をクリックします。
36. **[シミュレーション結果を表示]** ( ) をクリックします。**解析ウィンドウ**に以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の例では、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。

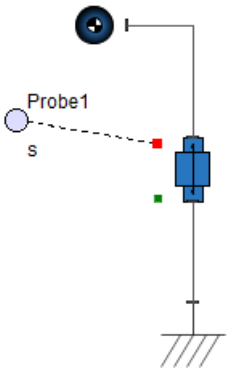


図6.5 落下するボール

図6.5「落下するボール」 モデルでは、並進ジョイントを用いて剛体が鉛直方向の y 軸に沿って移動できるようにし、落下するボールをモデル化します。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、バネダンパの組み合わせ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 1-D 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「跳ねるボールの力学」 にこのプロセスの図を示します。

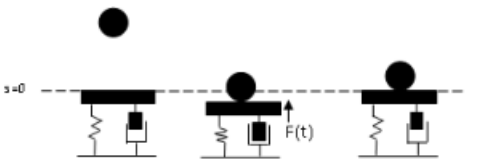


図6.6 跳ねるボールの力学

この方程式は以下のとおりです。

$$f(x) = K\,s(t) + B\frac{\mathrm{d}s(t)}{\mathrm{d}t}, \textbf{ if } s(t) < 0$$

$$f(x) = 0 \textbf{ if } s(t) \geq 0$$

カスタムコンポーネントを作成するには

1. {PRODUCT} モデルを新規作成し、**アプリケーションツールバー**で **[Maple ワークシートを読み込む]** ( ) をクリックします。
2. **[Maple ワークシートの読み込み]** ダイアログの **[テンプレートから]** リストから **[カスタムコンポーネント]** を選択し、**[OK]** ボタンをクリックします。
3. **[添付を作成]** ダイアログウィンドウにテンプレート名を「**contact**」と入力し ( )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。

4. **[方程式の定義]** 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。行の末尾で **[Enter]** キーを押します。

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

5. **[設定]** セクションで **[ポート]** を選択します。
6. **[すべて更新]** をクリックします。
7. **[全ポートを削除]** をクリックします。
8. **[ポートを追加]** をクリックします。
9. 左側のポートの **[タイプ]** 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。
10. **[ポートを追加]** をクリックして 2 つ目のポートを右側に追加します。
11. 右側のポートの **[タイプ]** 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。
12. **[アイコン]** リストから、**[Use default]** を選択します。
13. **[すべて更新]** をクリックします。
14. **[設定]** セクションで **[変数]** を選択します。
15. **[すべて更新]** をクリックします。
16. このテーブルで、**[s(t)]** の **[タイプ]** を「**Position**」に変更し、**[すべて更新]** をクリックします。
17. **[設定]** セクションで **[パラメータ]** を選択し、**[すべて更新]** をクリックします。
18. **[B]** の **[デフォルト]** 値を **10** に変更します。
19. **[K]** の **[デフォルト]** 値を **1000** に変更し、**[タイプ]** を **real** に変更します。
20. **[すべて更新]** をクリックします

21. **[設定]** セクションで **[次元解析]** を選択し、**[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。

$$B \frac{\mathrm{d}}{\mathrm{d}t} s(t)\ \frac{\mathrm{m}^3\,\mathrm{kg}}{\mathrm{s}^2\,\mathrm{A}} + K s(t)\ \mathrm{m}$$

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

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。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。

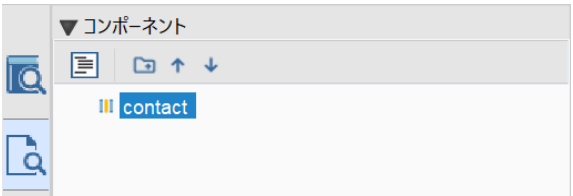
22. **[パラメータ]** を選択し、**[B]** と **[K]** の **[タイプ]** 列にそれぞれ「**Force/Velocity**」および「**Force/Distance**」を入力します。

23. **[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。

24. **[次元解析]** を選択し、**[次元のチェック]** をクリックします。「*No issues found*」が表示されます。

25. **コンポーネントの生成**セクションで、**名前**を「**contact**」に変更します。

26. **[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は、**[ローカルコンポーネント]** タブ () の **[コンポーネント]** パレットに表示されます。



27. 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、**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」**に示す指定されたコンポーネントと設定を使用して、**図6.7「バウンドするボール」** に示すモデルを作成します。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。

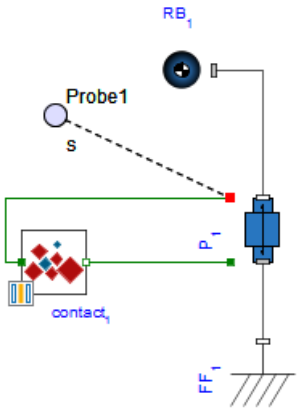
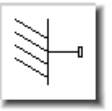
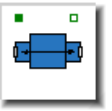


図6.7 バウンドするボール

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

コンポーネント	シンボル	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		[ローカルコンポーネント] > [コンポーネント]	デフォルト設定
Rigid Body		[ライブラリコンポーネント]>[マルチボディ]>[ボディ・フレーム]	デフォルト設定
Fixed Frame		[ライブラリコンポーネント]>[マルチボディ]>[ボディ・フレーム]	デフォルト設定
Prismatic		[ライブラリコンポーネント]>[マルチボディ]>[ジョイント・モーション]	並進ジョイントを y 方向に沿って移動させる設定 $\hat{\mathbf{e}}_1$ を $[0, 1, 0]$ 並進の初期条件 $IC_{s,v}$ を **[Treat as Guess]** 並進ジョイントは初期変位を 0 より大きい値に s_0 を $10\ \mathrm{m}$

28. **アプリケーションツールバー**で **[シミュレーションの実行]** ( ) をクリックします。

29. シミュレーションが完了したら **[シミュレーション結果を表示]** ( ) をクリックします。**解析ウィンドウ**に以下のグラフが表示されます。

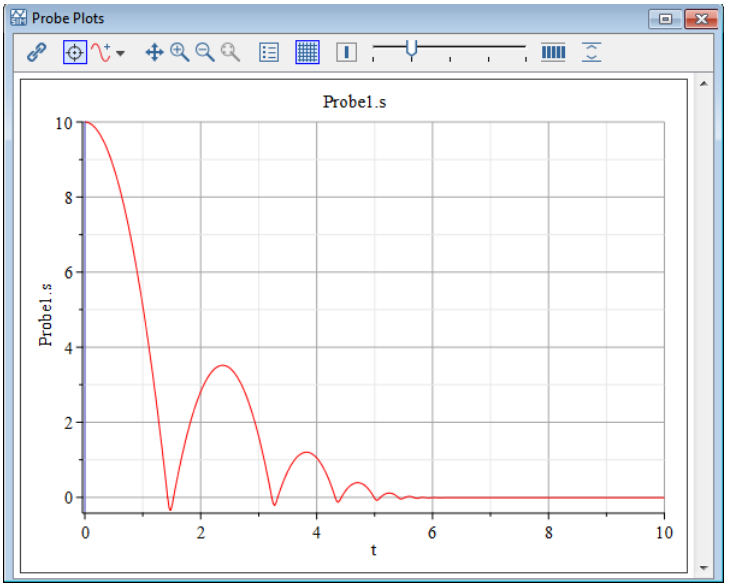


図6.8 バウンドするボールの結果

30. 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]** タブで **3-D アニメーションウィンドウ**を選択し、**3-D ツールバー**の **[再生]** ( ) をクリックします。

31. ツールバー上のナビゲーションコントロールを使用して、カメラをパン、ズーム、またはモデルの周囲を回るように移動し、最適な表示を探します。詳細は、3-D ツールバーを参照してください

32. より滑らかなアニメーションを生成するには、**[3-D設定の変更]** アイコン( ) をクリックし、ドロップダウンリストから **[フレーム補間]** を選択します。詳細は、フレーム補間を用いた 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、ダミーの車両モデルにより生成される因果的信号であるパワーと速度を持つ一対のカスタムポートを作成し、これらを関係式 $f(t) = \frac{p(t)}{v(t)}$ を使用して力を計算するモニターブロックによって統合します。ダ

ミーの車両モデルについて、ここではパワーが一定 $p(t) = P$ であると仮定し、速度は $v(t) = v0 + a \cdot t$ で与えられるものとします。ここで、P、$v0$ および a はパラメータです。

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 でモデルを新規作成し、**左側パネル**の **[Apps]** タブ ( ) をクリックします。
2. **[Apps]** パレットの **[コンポーネント作成]** のカテゴリから **[カスタムポート]** をダブルクリックします。**カスタムポート定義 App** が**分割パネル**に開きます
3. **[設定]** セクションで **[信号]** を選択し、**[信号を追加]** をクリックして信号を追加します。
4. 信号の **[名前]** に「**p**」、**[タイプ]** に「**Power**」と入力します。**[出力]** ラジオボタンを選択し、**[説明]** に「**Vehicle power**」と入力します。**[適用]** ボタンをクリックし変更を適用します。

ヒント : [タイプの参照] セクションからタイプを検索することもできます。ドメインを選びタイプをドロップダウンリストから選択すると、**[タイプ]** フィールドに挿入されます。

5. 2 つ目の信号を追加するには、**[信号を追加]** を再度クリックします。
6. 信号の **[名前]** に「**v**」、**[タイプ]** に「**Velocity**」と入力します。**[出力]** ラジオボタンを選択し、**[説明]** に「**Vehicle velocity**」と入力します。**[適用]** ボタンをクリックし変更を適用します。
7. **[ポートの生成]** セクションで、**[名前]** フィールドに「**bus_out**」を、**[説明]** フィールドに「**vehicle bus port**」を入力し、**[形状]** に▷、**[塗りつぶし]** に□ (白抜き) ラジオボタンを選択します。
8. **[ポートの生成]** をクリックして出力ポートを作成します。**[ローカルコンポーネント]** タブの **[コンポーネント]** パレットに作成したポートが追加されます。
9. 入力ポートを作成するため、同じ **App** に戻り修正を加えます。

10. **[設定]**セクションで、両方の信号について**[入力]**ラジオボタンを選択します。**[適用]** ボタンをクリックし変更を適用します。
11. **[ポートの生成]**セクションで、**[名前]**の「**bus_out**」を「**bus_in**」に変更し、**[形状]** に ▷、**[塗りつぶし]** に ■ (塗りつぶし) ラジオボタンを選択します。
12. **[ポートの生成]** をクリックして入力ポートを作成します。**[ローカルコンポーネント]** タブの **[コンポーネント]** パレットに作成したポートが追加されます。(**図6.9「カスタムポート」** 参照)

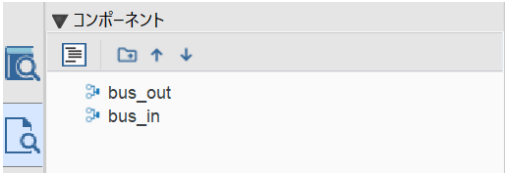


図6.9 カスタムポート

エンジンモデルの作成

最初にダミーの車両モデルを作成します

1. {PRODUCT} の**アプリケーションツールバー**で **[Maple ワークシートを読み込む]** ( ) をクリックします。
2. **[Maple ワークシートの読み込み]** ダイアログの **[テンプレートから]** リストから **[カスタムコンポーネント]** を選択し、**[OK]** ボタンをクリックします。
3. **[添付を作成]** ダイアログウィンドウにテンプレート名を「**engine**」と入力し( )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。
4. **[方程式の定義]**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、行の末尾で **[Enter]** キーを押します。

$$eq := [p(t) = P, v(t) = v0 + a \cdot t]$$

5. **[設定]**セクションで**[パラメータ]**を選択し、**[すべて更新]**をクリックします。
6. P、a、および $v0$ の **[タイプ]**をそれぞれ、「**Power**」、「**Acceleration**」、および「**Velocity**」に変更します。

7. **[設定]** セクションで **[ポート]** を選択します。
8. **[全ポートを削除]** をクリックします。
9. **[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。
10. **[タイプ]** ドロップダウンリストから、**[Custom]** (リストの一番最後の項目) を選択します。
11. **[タイプ]**ドロップダウンリスト下のテキストエリアに、「**bus_out**」と入力します。
12. スタイルのラジオボタン **[out]** を選択します。
13. **[カスタムを適用**] をクリックします。
14. **[アイコン]** リストから、**[Use default]** を選択します。
15. このセクションの下部にあるドロップダウンリストとリストボックスを使用して、**[Power]** 信号に [$\boldsymbol{p}(\boldsymbol{t})$] を、**[Velocity]** 信号に [$\boldsymbol{v}(\boldsymbol{t})$] を割り当てます。**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

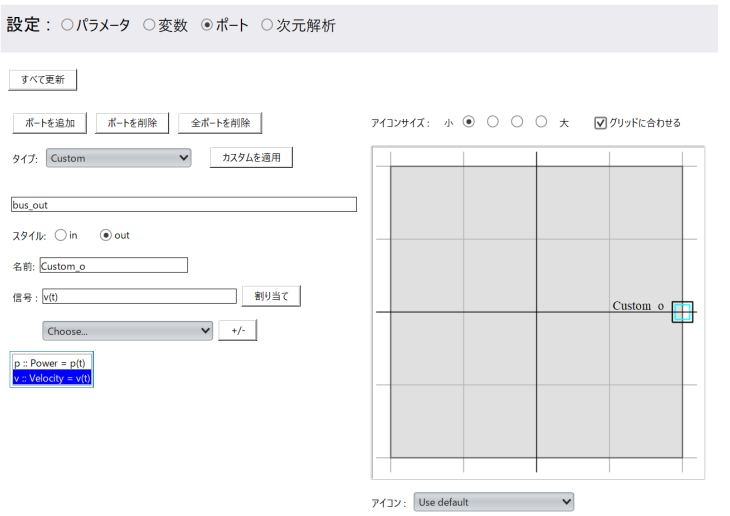


図6.10 カスタムポートの使用

16. **[設定]** セクションで **[次元解析]** を選択し、**[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。
17. **[コンポーネントの生成]** セクションで、名前を「**engine**」に変更してから **[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**[ローカルコンポーネント]**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. {PRODUCT} の**アプリケーションツールバー**で **[Maple ワークシートを読み込む]** () をクリックします。
2. **[Maple ワークシートの読み込み]** ダイアログの **[テンプレートから]** リストから **[カスタムコンポーネント]** を選択し、**[OK]** ボタンをクリックします。
3. **[添付を作成]** ダイアログウィンドウにテンプレート名を「**monitor**」と入力し () 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。
4. **[方程式の定義]** 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、行の末尾で **[Enter]** キーを押します

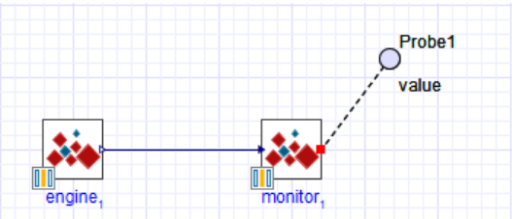
$$eq := \left[f(t) = \frac{p(t)}{v(t)} \right]$$

5. **[設定]** セクションで **[パラメータ]** を選択し、**[すべて更新]** をクリックします。このモデルにはパラメータはありません。
6. **[ポート]** を選択して、**[全ポートを削除]** をクリックします。
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、これがバス入力となります。
8. **[タイプ]** ドロップダウンリストから、**[Custom]** (リストの一番最後の項目) を選択します。
9. **[タイプ]** ドロップダウンリスト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、スタイルのラジオボタン **[in]** を選択します。
10. **[カスタムを適用]** をクリックします。

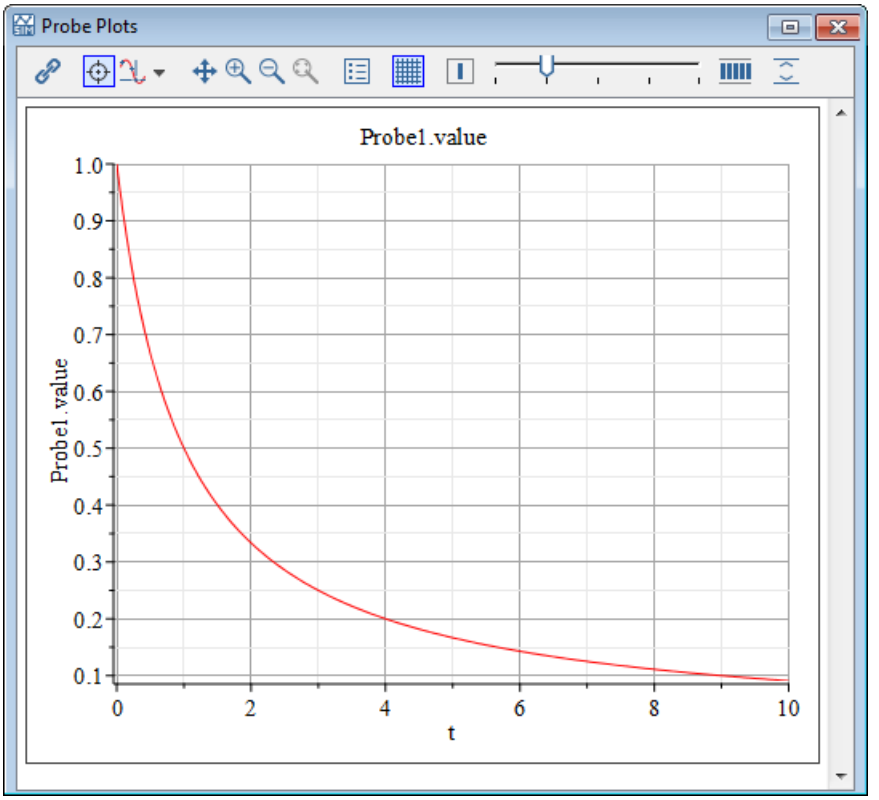
11. このセクションの下部にあるドロップダウンリストとリストボックスを使用して、**[Power]** 信号に **[$\boldsymbol{p}(\boldsymbol{t})$]** を、**[Velocity]** 信号に **[$\boldsymbol{v}(\boldsymbol{t})$]** を割り当てます。
12. **[ポートを追加]**をクリックします。右辺に新規ポートが表示され、これが計算された力の出力となります。
13. **[タイプ]** ドロップダウンリストから **[Real Signal]** を選択します。スタイルのラジオボタン **[out]** をクリックします。信号の値に **[$\boldsymbol{f}(\boldsymbol{t})$]** を割り当てます。
14. **[アイコン]** リストから、**[Use default]** を選択します。
15. **[すべて更新]** をクリックします。
16. **[設定]** セクションで **[変数]** を選択し、**[すべて更新]** をクリックします。
17. 信号 **[$\boldsymbol{f}(\boldsymbol{t})$]** の **[タイプ]** フィールドに「**Force**」と入力します。
18. **[次元解析]** を選択し、**[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 $\boldsymbol{real_o}(\boldsymbol{t})$ が、実信号であるものの、力 (N: ニュートン) の単位を持つ $\boldsymbol{f}(\boldsymbol{t})$ と等しいことを示しています。
19. **[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。
20. **[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** コンポーネントを **[ローカルコンポーネント]** タブ()の **[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。
2. **engine** ブロックの出力を **monitor** ブロックの入力に接続します。次に、下図のように **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。**解析ウィンドウ** 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。



高度なカスタムコンポーネントの利用方法

カスタムコンポーネントのテンプレートでは、システム方程式を導出するために、Maple のあらゆる機能を使用できます。このセクションでは、高度な応用例を紹介します。

例 : 揚程-流量曲線から遠心ポンプをモデル化する

以下の油圧の例では、遠心ポンプのデータを外挿して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

- データセットに最適な曲線を適用して方程式を生成
- 複数の引数を持つ演算子を取得
- 演算子を適用してカスタムコンポーネントを生成

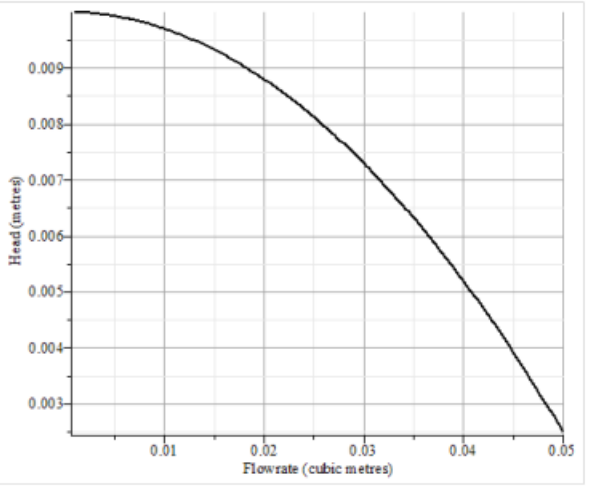


図6.11 遠心ポンプの揚程-流量曲線

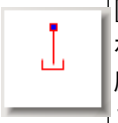
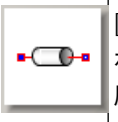
表6.3 遠心ポンプのデータ

流量 ($\frac{\mathrm{m}^3}{\mathrm{s}}$)	揚程 (m)
0.01	0.0098
0.02	0.00874
0.03	0.00725
0.04	0.005
0.05	0.0025

表6.4 円形パイプのパラメータ

記号	説明	値
D	パイプの水力直径	$0.01\ \mathrm{m}$
L	パイプの長さ	$5\ \mathrm{m}$
ϵ	パイプ内面の粗さ	$1.5{\cdot}10^{-5}\ \mathrm{m}$
ReL	層流領域の最大レイノルズ数	2000
ReT	乱流領域の最小レイノルズ数	4000

表6.5 遠心ポンプのコンポーネント

コンポーネント	シンボル	コンポーネントの場所	用途	値
Tank		[ライブラリコンポーネント] > [油圧] > [リファレンス]	このコンポーネントは基準圧力(電気回路におけるグラウンドに相当)を定義し、大気との接続を表します。	デフォルト設定
Hydraulic System Properties		[ライブラリコンポーネント] > [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。パラメータブロックと同様に、このコンポーネントは**モデルワークスペース**に配置され、次の油圧流体特性を定義します。 • **ρ**: 流体密度 • **K**: 流体の圧縮性を定義する体積弾性率 • **ν**: 動粘度 (粘度を流体密度で除した値)	デフォルト設定 : **ρ**: $850\,\frac{\mathrm{kg}}{\mathrm{m}^3}$ **K**: $8000\,\mathrm{bar}$ **ν**: $0.000018\,\frac{\mathrm{m}^2}{\mathrm{s}}$
Circular Pipe		[ライブラリコンポーネント] > [油圧] > [ライン]	この円形パイプコンポーネントは、油圧配管内の圧力損失を表します。圧力損失は Darcy の式によって与えられます。	デフォルト設定を使用 (**表6.4「円形パイプのパラメータ」** 参照)
カスタムコンポーネント		[ローカルコンポーネント] > [コンポーネント]	このカスタムコンポーネントは、油圧配管の圧力と流量の特性を定義します。	ユーザ定義

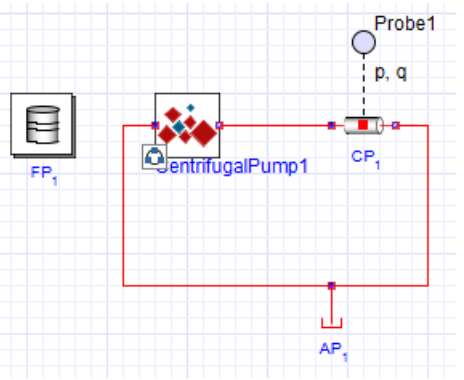


図6.12 遠心ポンプカスタムコンポーネント

カスタムコンポーネントを作成するには

1. {PRODUCT} モデルを新規作成し、**アプリケーションツールバー**で **[Maple ワークシートを読み込む]** ( ) をクリックします。
2. **[Maple ワークシートの読み込み]** ダイアログの **[テンプレートから]** リストから **[カスタムコンポーネント]** を選択し、**[OK]** ボタンをクリックします。
3. **[添付を作成]** ダイアログウィンドウにテンプレート名を「**CentrifugalPump**」と入力し( )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。
4. **[方程式の定義]** セクションで、最初の Maple コマンドライン (つまり、*eq* を含むもの) にカーソルをあて、Maple のリボンの **[挿入]** タブ > **[ドキュメントブロック]** ( ) を 2 回クリックします。
5. 最初のドキュメントブロックの中身を以下の Maple コマンドで置き換え、行の末尾で **[Enter]** キーを押します。このコマンドは、**表6.3「遠心ポンプのデータ」** からの値をリスト *L* に格納します。

$$L := [[0.01, 0.0098], [0.02, 0.00874], [0.03, 0.00725], [0.04, 0.005], [0.05, 0.0025]]$$

6. 以下の Maple コマンドを 2 番目のドキュメントブロックに入力し、行の末尾で **[Enter]** キーを押します。このコマンドは、データ点に二次関数をフィッティングします。

$$f := unapply(CurveFitting[LeastSquares](L, x, curve = a \cdot x^2 + b \cdot x + c), x)$$

7. 3 番目のドキュメントブロックに以下のシステム方程式、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、行の末尾で **[Enter]** キーを押します。このコマンドは、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内に多項式を実装します。

$$eq := [P(t) = f(Q(t)) \cdot \rho \cdot g, P(t) = Pr(t) - Pl(t), \rho = 1000, g = 9.81]$$

8. **[設定]** セクションで **[ポート]** を選択します。
9. **[全ポートを削除]** をクリックします。
10. **[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]** タイプを選択し、**[スタイル]** に **[a]** を選択し、**[Pressure]** 変数に **[** $Pl(t)$ **]** を、**[Volume Flow Rate]** 変数に **[** $Q(t)$ **]** を割り当てます。
11. **[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]** タイプを選択し、**[スタイル]** に **[b]** を選択し、**[Pressure]** 変数に **[** $Pr(t)$ **]** を、**[Volume Flow Rate]** 変数に **[** $-Q(t)$ **]** を割り当てます。変数の符号は **[+/-]** ボタンをクリックして変更します。
12. **[アイコン]** リストから、**[Use default]** を選択し、**[すべて更新]** をクリックします。
13. **[設定]** セクションで **[パラメータ]** を選択し、**[すべて更新]** をクリックします。
14. **[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。**[すべて更新]** をクリックします。
15. **[変数]** を選択して、**[すべて更新]** をクリックします。
16. **[** $P(t)$ **]** の **[タイプ]** を「**Pressure**」に変更します。
17. **[次元解析]** を選択し、**[次元のチェック]** をクリックします。式「$\frac{517}{50000} - \frac{13\ Q(t)^2}{5}\ \frac{\mathrm{m}^6}{\mathrm{s}^2} - \frac{137\ Q(t)}{5000}\ \frac{\mathrm{m}^3}{\mathrm{s}}$」が表示されます。これは次元の不整合を示しています。ただし、この不整合はモデルの動作には影響しないため、そのまま使用できます。(この不整合は、回帰曲線の係数が単位を

持たない数値として扱われるために発生します。回帰式は流量 $Q(t)$ の関数として表されますが、係数に単位情報が含まれないため、次元解析では各項の次元が一致しません。)

18. **[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。

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は、**[ローカルコンポーネント]** タブ () の **[コンポーネント]** パレットに表示されます。

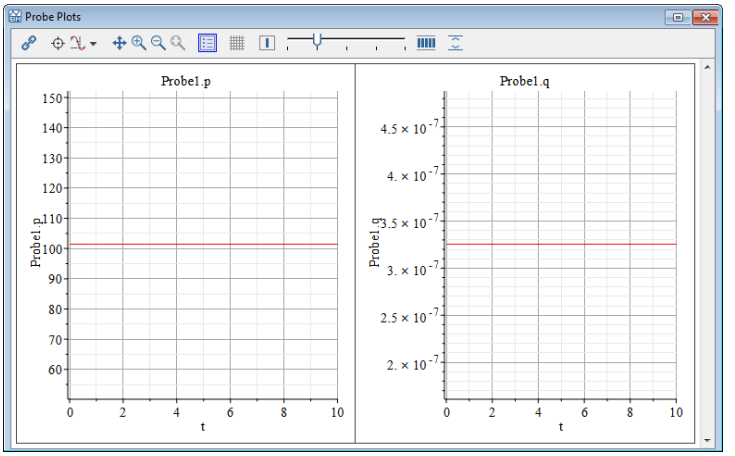
20. カスタムコンポーネントを**モデルワークスペース**にドラッグし、**表6.5「遠心ポンプのコンポーネント」** で指定されたコンポーネントと設定を使用して、**図6.12「遠心ポンプカスタムコンポーネント」** に示したモデルを作成します。

ヒント : Circular Pipe コンポーネントにプローブを追加するには、コンポーネントを右クリック (Mac の場合は **[Control]** クリック) し、**[プローブを追加]** を選択してから**モデルワークスペース**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、**[プロパティ]** タブで **[Pressure]** および **[VolumeFlowRate]** の物理量を選択します。

21. **アプリケーションツールバー**で **[シミュレーションの実行]** () をクリックします。

22. シミュレーションが完了したら **[シミュレーション結果を表示]** () をクリックします。**解析ウィンドウ**に以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 App の使用

このチュートリアルでは、外部 C コード/ライブラリブロック App 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
- 外部 C コード/ライブラリの場所を指定
- 外部 C コード/ライブラリコードオプションを定義
- 生成される Modelica コードのディレクトリを指定
- 外部コードカスタムコンポーネントを生成し、保存
- シンプルな外部関数モデルを作成

このモデルは、**Step** 関数、**Constant Vector**、および**外部 C コード/DLL** カスタムコンポーネントの 3 つのコンポーネントで構成されます。

外部 C コードのパラメータは、以下を入力として受け取る関数によって定義されます。

- double 型のスカラー入力
- 要素数 2 の double 型配列入力

- 要素数 3 の double 型配列*出力*

この関数は、double 型のスカラー値を返します。

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しい MapleSim モデルを作成します。
2. **左側パネル**の **[Apps]** タブ ( ) をクリックします。
3. **[Apps]** パレットの **[コンポーネント作成]** のカテゴリから **[外部 C/ライブラリブロック]** を選択します。**App** が**分割パネル**に開きます。
4. **[外部コード/ライブラリの場所]** セクションで、**[ソースの場所]** として **[テキストエリア]** を選択します。これにより、C コードを入力するためのテキストエリアが表示されます。Windows プラットフォームでは、初期状態で **図6.13「Windows 用の外部 C コードの定義」** に示すコードが表示されます。Unix プラットフォームでは、**図6.14「Unix 用の外部 C コードの定義」** に示すコードが表示されます。

```
#ifdef WMI_WINNT
#define EXP __declspec(dllexport)
#define M_DECL __stdcall
#else
#ifdef X86_64_WINDOWS
#define EXP __declspec(dllexport)
#define M_DECL
#endif
#endif

EXP double M_DECL f1(double a, double *b, double *c)
{
    c[0] = a*a;
    c[1] = b[0] + b[1];
    c[2] = c[0]*c[1];
    return c[1];
}
```

図6.13 Windows 用の外部 C コードの定義

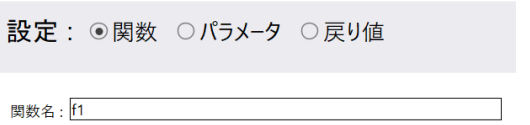
```
/*****************************************************************************/
double f1(double a, double *b, double *c)
```

図6.14 Unix 用の外部 C コードの定義

5. コードのテキストエリアのすぐ上にある **[添付]** ラジオボタンを選択します。
6. **[添付]** ラジオボタンの右側にあるテキストエリアに添付ファイルの名前 (たとえば「**f1.c**」) を入力し、**[添付]** ボタンをクリックして、テキスト領域のコードを MapleSim ファイルに添付します。
7. **[ソースの場所]** を **[テキストエリア]** から **[添付]** に切り替え、**[添付]** ドロップダウンリストから添付したファイル (たとえば **[f1.c]**) が選択されていることを確認してください。(ドロップダウンリストにない場合は、横にある **[更新]** ボタンをクリックします。)

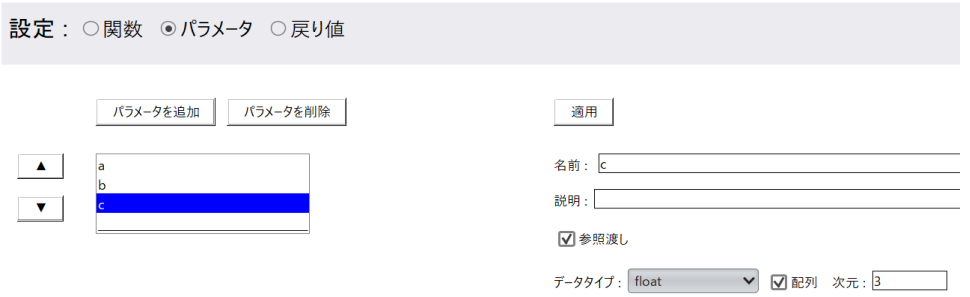


8. **[C を検証]** をクリックして、コードを検証します。
9. **[設定]** セクションで **[関数]** を選択し、**[関数名]** に「**f1**」と入力します。

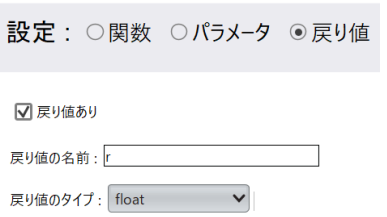


10. **[設定]** セクションで **[パラメータ]** を選択します。
11. **[パラメータの追加]** をクリックし、**[名前]** を「**a**」に設定して **[適用]** をクリックし、選択したパラメータに変更を適用します。

12. **[パラメータの追加]** をクリックし、**[名前]** を「**b**」に設定し、**[配列]** チェックボックスをオンにし、**[次元]** を **2** に設定して **[適用]** をクリックします。
13. **[パラメータの追加]** をクリックし、**[名前]** を「**c**」に設定し、**[参照渡し]** を選択し、**[配列]** チェックボックスをオンにし、**[次元]** を **3** に設定して **[適用]** をクリックします。



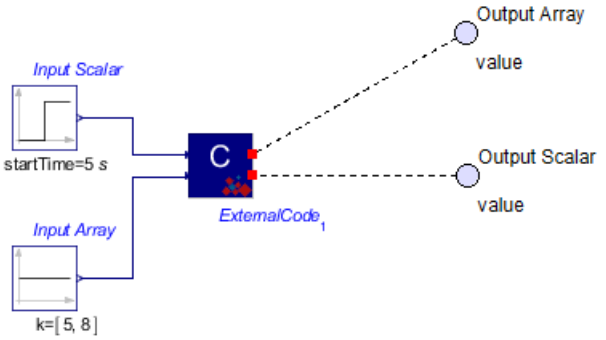
14. **[設定]** セクションで、**[戻り値]** を選択します。
15. **[戻り値あり]** にチェックを入れ、**[戻り値の名前]** に「**r**」を設定します。



16. **[コンポーネント生成]** セクションの **[ブロック名]** フィールドに「**ExternalCode**」と入力します。
17. **[コンポーネントの生成]** をクリックします。生成されたカスタムコンポーネントは、MapleSim ウィンドウの左側にある **[ローカルコンポーネント]** タブ( )内の **[コンポーネント]** パレット内に表示されます。

外部コードカスタムコンポーネントを使用するには

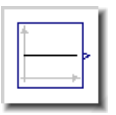
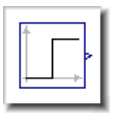
1. **表6.6「外部 C コード/DLL カスタムコンポーネントと必要な設定」** に示すコンポーネントとその設定を使用して、コンポーネントを**モデルワークスペース**にドラッグし、それぞれの値を設定します。



注 : モデル内のコンポーネントに必要なパラメータ値が設定されていることを確認してください。**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 ウィンドウ左側の **[プロパティ]** タブ ( ) に表示されます。

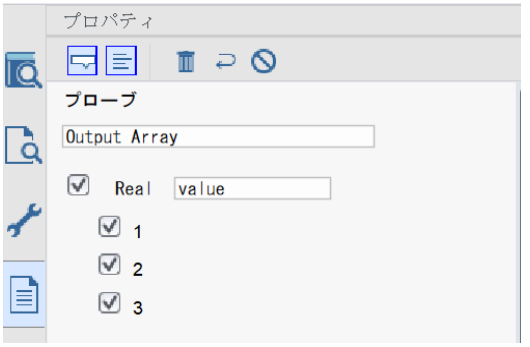
表6.6「外部 C コード/DLL カスタムコンポーネントと必要な設定」 に、必要なコンポーネントと設定を示します。

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

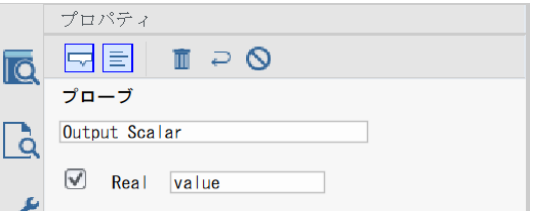
コンポーネント	シンボル	コンポーネントの場所	必要な設定
カスタムコンポーネント		[ローカルコンポーネント]>[コンポーネント]	デフォルト設定
Constant Vector		[ライブラリコンポーネント]>[信号ブロック] > [ソース] > [実数]	**Constant output value** $K = [5, 8]$
Step		[ライブラリコンポーネント]>[信号ブロック] > [ソース] > [実数]	**height** = 4 **offset** = 0 T_0 = 5

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。

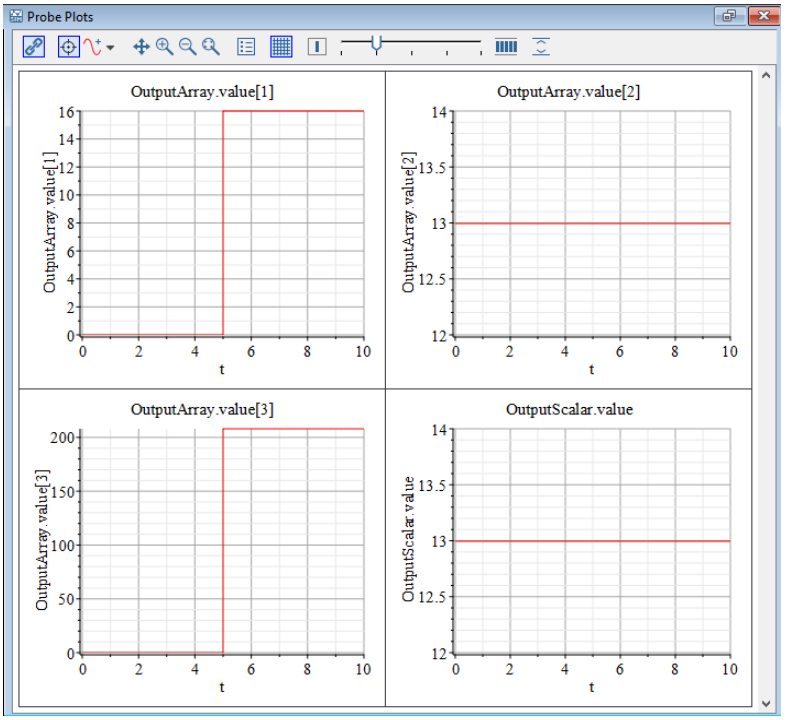
3. **Constant Vector** コンポーネントをカスタムコンポーネントの**入力ポート b[2]** に接続します。
4. カスタムコンポーネントの**出力ポート c[3]** にプローブを追加し、以下の設定を行います。



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、以下の設定を行います。



6. **アプリケーションツールバー**で **[シミュレーションの実行]** ( ) をクリックします。
7. シミュレーションが完了したら **[シミュレーション結果を表示]** ( ) をクリックします。**解析ウィンドウ**に以下のグラフが表示されます。



8. 結果を検証するには、**[ヘルプ]** メニューから **[例題] > [ユーザガイドの例題] > [第 6 章]** の順に展開し、「**Simple External C Code Function**」の例を選択します。

6.7. チュートリアル 7 : 方程式の抽出 App の使用

このチュートリアルでは、方程式の抽出Appを使用して以下のタスクを実行し、モデルの方程式を抽出します。

- モデルを開く
- 方程式の抽出 App を開く
- 方程式を表示、操作、再割り当て

方程式の抽出App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シンボリックなシステム方程式を抽出、操作、および解析できます。

任意の変数およびパラメータを選択し、それらにユーザ定義の名前を割り当てることができます。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。

App の説明

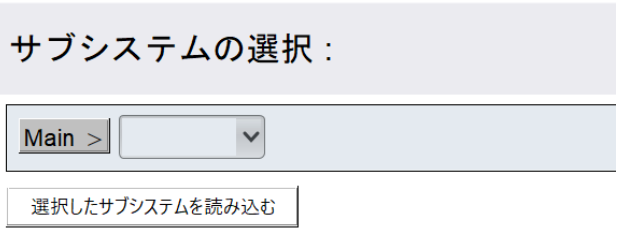
方程式の抽出 App は、MapleSim モデルから方程式を容易に生成するための、特定の Maple コマンドに関連するプリビルトのコントロールとプロシージャの集合です。

方程式の抽出 App は、**[方程式の詳細]** と **[方程式の表示]** の 2 つのセクションで構成されています。

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。ドロップダウンリスト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読み込みます。

[選択したサブシステムを読み込む] : 選択したサブシステムのパラメータと変数を読み込みます。サブシステムが選択されていない場合に **[選択し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読み込まれます。



方程式の詳細

このセクションでは、生成された方程式のポート、DAE 変数、およびパラメータをカスタマイズおよび設定できます。

ポート

非因果ポートの場合、通過変数または介在変数が (既知) の入力となるようにポートを設定することができます。

2 つの信号のうちのいずれかを入力として選択する必要があります。リストボックスからポートを選択し、入力信号として **[通過変数]** または **[介在変数]** のいずれかを選択します。

DAE 変数

DAE変数を選択し、名前を変更できます。モデルのDAE変数がリストボックスに一覧で表示されます。

[新しい名前] : 変数を選択し、**[新しい名前]** フィールドに新しい変数名を指定して、DAE 変数の名前を変更します。

[保持] : 任意の変数を選択して **[保持]** にチェックを付けると、変数にフラグを設定することができます。この機能を使用すると、**[方程式の抽出]** では、**[保持]** が設定された変数の方程式のみが表示されます。どの変数やパラメータにも **[保持]** が設定されていない場合すべての方程式が表示されます。

[下付き文字を使用] : 変数名に下付き文字を使用します。

[代入をリセット] : すべての変数を元の名前に戻します。

パラメータ

パラメータを選択し、名前を変更できます。モデルのパラメータがリストボックスに一覧で表示されます。

[新しい名前] : パラメータを選択し、**[新しい名前]** フィールドで新しい名前を指定して、モデルパラメータの名前を変更します。

[保持] : 任意のパラメータを選択して **[保持]** にチェックを付けると、パラメータにフラグを設定することができます。この機能を使用すると、**[方程式の抽出]** では、**[保持]** が設定されたパラメータの方程式のみが表示されます。どの変数やパラメータにも **[保持]** が設定されていない場合、すべての方程式が表示されます。

[シンボリック] : シンボリック(記号)形式で残すパラメータを指定します。デフォルトでは、パラメータは方程式内で評価されます。 または、**[記号/数値の切り替え]** ボタンを使用して、すべてのパラメータに対してこの設定を切り替えます。

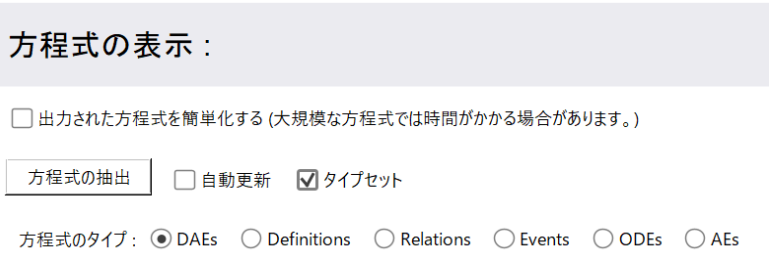
[下付き文字を使用] : パラメータ名に下付き文字を使用します。

[代入をリセット] : すべてのパラメータを元の名前に戻します。

方程式の表示

このセクションでは、割り当てられたパラメータを用いた方程式系がシンボリック形式で表示されます。表示する方程式は、**[方程式のタイプ]** (**DAEs**、**Definitions**、**Relations**、**Events**、**ODEs**、**AEs**) から、いずれかを選択して切り替えることができます。方程式の種類に関する詳細については、GetEquations を参照してください。

コードエディタには、方程式にアクセスするためにMapleのワークシートテンプレートで使用できる Maple コードが表示されます。



方程式の生成

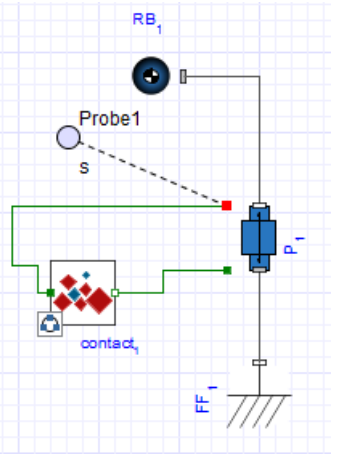
この例では、*チュートリアル 5 : カスタムコンポーネントテンプレートの使用 [228ページ]の例 : コンプライアント接地と区分関数 [235ページ]*で使用されているモデルを使用します。このモデルは、**[ヘルプ] > [例題] > [ユーザガイドの例題] > [第 6 章]** から開くこともできます。このモデルでは、落下するボールをモデリングするための並進ジョイントと、バネダンパ配置を使用したコンプライアントな地面との接地をモデリングするためのカスタムコンポーネントを使用して、バウンドするボールを解析します。

これらのコンポーネントをサブシステムにグループ化し、方程式の抽出Appで使用できるようにします。

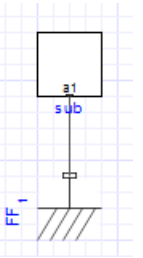
システム方程式の生成

システム方程式を生成するには

1. **[ヘルプ]** メニューの **[例題] > [ユーザガイドの例題] > [第 6 章]** から、「**Compliant Contact and Piecewise Functions**」を選択します。

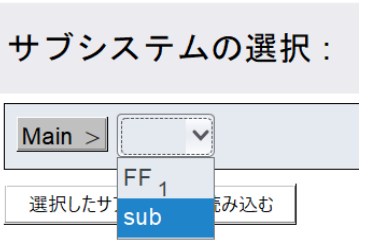


2. **Prismatic** ジョイント、**contact** カスタムコンポーネント、プローブ、および **Rigid Body** とその結線をまとめて選択し、「**sub**」というサブシステムに変換します。これにより、方程式の抽出テンプレートが選択したサブシステム固有の方程式を生成します。



3. **左側パネル**の **[Apps]** タブ ( ) をクリックします。
4. **[Apps]** パレットの **[モデル解析]** のカテゴリから **[方程式の抽出]** を選択します。**App** が**分割パネル**に開きます。

5. 開いた App の **[サブシステムの選択]** セクションで、ドロップダウンリストからサブシステム **[sub]** を選択します。



6. **[選択したサブシステムを読み込む]** をクリックします。サブシステムのコンポーネントのポート、DAE 変数、パラメータが、**[ポート]**、**[DAE 変数]**、および **[パラメータ]** セクションに自動的に読み込まれます。
7. **[方程式の表示]** セクションで **[方程式の抽出]** をクリックします。**[方程式の表示]** セクションにシステム方程式が表示されます。



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を説明するとともに、MapleSim でこれらのシステムをモデル化する方法を学びます。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、初期条件やコンポーネントのプロパティを設定します。また、パラメータや変数に新しい値を割り当てます。

油圧コンポーネントは主に、作動油の流れを機械的な運動へ変換するために設計されていますが、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
- シンプルな油圧ネットワークの解析
- 第一原理に基づくモデリング
- 機械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によるマルチボディシステムの駆動
- 作動油の圧縮性
- 流体慣性モデル
- ウォーターハンマモデル

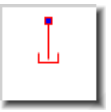
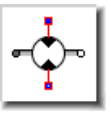
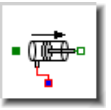
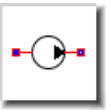
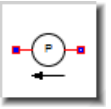
計算上の問題

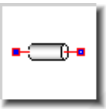
油圧ネットワークは、数値的に "stiff" になる傾向があります。一般的に、Rosenbrock 法の stiff ソルバの使用を推奨します。

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

表6.7 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	シンボル	コンポーネントの場所	用途
Tank		[ライブラリコンポーネント] > [油圧] > [リファレンス]	このコンポーネントは基準圧力 (電気回路におけるグラウンドに相当)を定義し、大気との接続を表します。
Hydraulic System Properties		[ライブラリコンポーネント] > [油圧] > [リファレンス]	すべての油圧モデルには、**Hydraulic System Properties** コンポーネントが必要です。パラメータブロックと同様に、このコンポーネントは**モデルワークスペース**に配置され、次の油圧流体特性を定義します。 • ρ: 流体密度 • **K**: 流体の圧縮性を定義する体積弾性率 • ν: 動粘度 (粘度を流体密度で除した値)
Hydraulic Motor		[ライブラリコンポーネント] > [油圧] > [アクチュエータ]>[ロータリアクチュエータ]	アクチュエータは作動油の流れ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		[ライブラリコンポーネント] > [油圧] > [アクチュエータ]>[リニアアクチュエータ]	
Fixed Flow Rate		[ライブラリコンポーネント] > [油圧] > [ソース]	ソースの流量または圧力のいずれかを指定できます。指定していない方の値は MapleSim が計算します。圧力源を使用すると、MapleSim は油圧システム内の負荷と圧力源とのつり合いに基づいて流量を計算します。逆に、流量を指定した場合は、必要な圧力を計算します。
Fixed Pressure			

コンポーネント	シンボル	コンポーネントの場所	用途
Circular Pipe		[ライブラリコンポーネント] > [油圧] > [ライン]	この円形パイプコンポーネントは、油圧配管内の圧力損失を表します。圧力損失はDarcyの式によって与えられ、摩擦係数はあらかじめ定義された式を用いて決定されます。

基本的な油圧方程式

ベルヌーイ (Bernoulli) の式およびダルシー (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体圧力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。

- ベルヌーイの式
- ダルシーの式
- 摩擦係数

ベルヌーイの式

ベルヌーイの式は、パイプ内の非圧縮性流体の流体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。

$$\frac{p}{\rho \cdot g} + \frac{V^2}{2 \cdot g} + z = \text{constant}$$

ダルシー の式

一定の直径を持つパイプ内を流れる非圧縮性流体の場合、管内摩擦による圧力損失はダルシーの式によって求められます。

$$\triangle P = f \cdot \frac{L \cdot V^2}{D \cdot 2 \cdot g}$$

したがって、次のようになります

$$\frac{p}{\rho \cdot g} + \frac{V^2}{2 \cdot g} + z + f \cdot \frac{L \cdot V^2}{D \cdot 2 \cdot g} = \text{constant}$$

表6.8 ベルヌーイの式とダルシーの式の表記

記号	説明	単位
P	圧力	Pa
ρ	密度	$\frac{\text{kg}}{\text{m}^3}$
g	重力定数	$\frac{\text{m}}{\text{s}^2}$
V	速度	$\frac{\text{m}}{\text{s}}$
z	高さ	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*

したがって、液体内部の摩擦効果 (層流の場合) や、パイプ表面の粗さの影響 (乱流の場合)を克服するために圧力を加える必要があります。流量を決定するには、摩擦損失 (およびシステム内のその他の負荷) と加えられた圧力とのつり合いを取る必要があります。

MapleSim の機械-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

$$f = \frac{64}{Re}$$

$$Re = \frac{D \cdot V}{v}$$

ここで、

- f は内部摩擦
- **Re** はレイノルズ数
- **D** はパイプの直径
- **V** は流体速度
- ν は動粘度

乱流では、パイプの表面粗さによる摩擦の影響は、**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か乱流か、あるいはその両者の遷移状態にあるかを示します。たとえば、**表6.9「円形パイプのパラメータ」** に示されている円形パイプのパラメータからは、層流（**ReL**）および乱流（**ReT**）のレイノルズ数が得られます。これら 2 つのパラメータのあいだでは、摩擦係数は線形補間によって求められます。

表6.9 円形パイプのパラメータ

記号	説明	値
L	パイプの長さ	5 m
ϵ	パイプ内面の粗さ	$1.5 \cdot 10^{-5}$ 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
D	パイプの水力直径	0.01 m

シンプルな油圧ネットワークの解析

このセクションでは、シンプルな油圧システムのシミュレーションを行い、第一原理に基づいて結果を解析するとともに、以下の方法について説明します。

- シンプルな層流パイプの油圧システムを作成

- さまざまな法則 (質量保存、ベルヌーイの式、ダルシーの式など) を適用して支配方程式を解析

パイプの流れ

図6.15「パイプを通る流れ」 では。内部摩擦の影響を打ち消すために圧力が加えられた場合の、パイプ内の圧力および層流流量の特性を解析する。

パイプからの流れを解析するには

1. **表6.10「油圧コンポーネント」** で指定されたコンポーネントと設定を使用して、以下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追加するには、コンポーネントを右クリック (Mac の場合は **[Control]** クリック) し、**[プローブを追加]** を選択してからモデルワークスペースをクリックし、プローブを配置します。

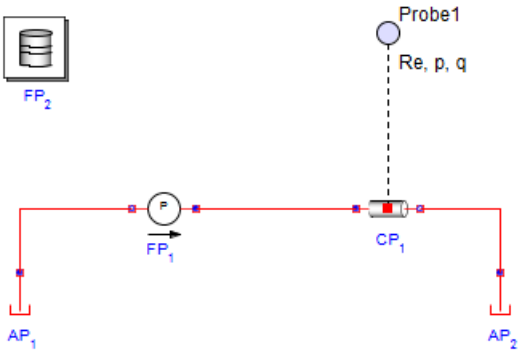
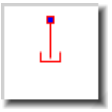
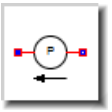
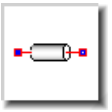
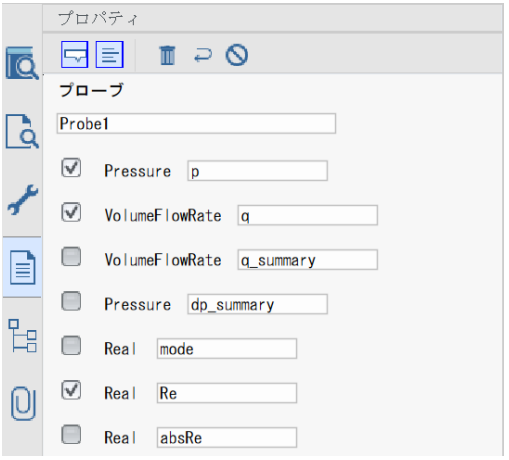


図6.15 パイプを通る流れ

表6.10 油圧コンポーネント

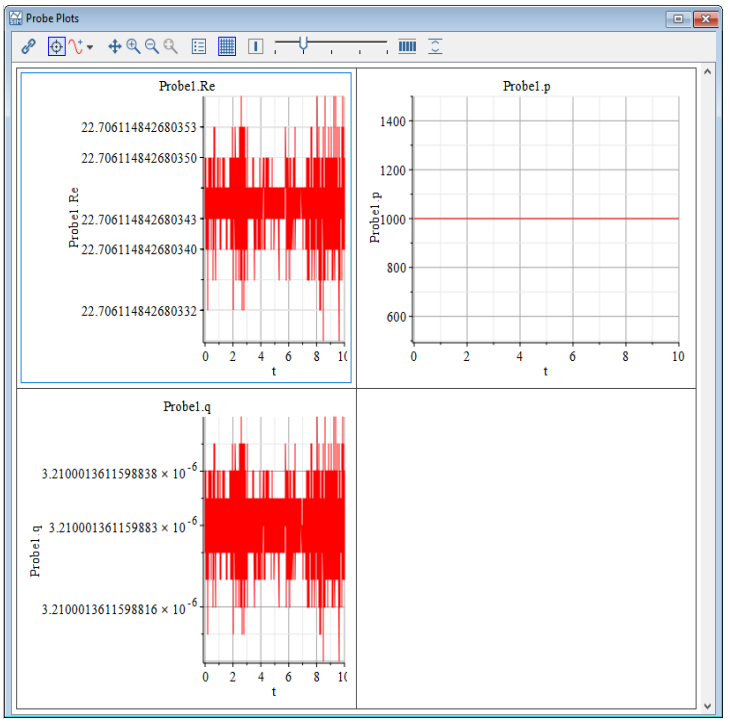
コンポーネント	シンボル	コンポーネントの場所	設定値
Tank		[油圧] > [リファレンス]	デフォルト設定
Hydraulic System Properties		[油圧] > [リファレンス]	デフォルト設定 : **ρ**: $850\,\frac{\mathrm{kg}}{\mathrm{m}^3}$ **K**: $8000\,\mathrm{bar}$ **ν**: $0.000018\,\frac{\mathrm{m}^2}{\mathrm{s}}$
Fixed Pressure		[油圧] > [ソース]	**P** = $1{\cdot}10^3\,\mathrm{Pa}$
Circular Pipe		[ライブラリコンポーネント] > [油圧] > [ライン]	デフォルト設定

2. プローブをクリックし、**[Pressure (p)]**、**[VolumeFlowRate (q)]** および **[Real (Re)]** (瞬時レイノルズ数) のプローブパラメータを選択します。



3. **アプリケーションツールバー**で **[シミュレーションの実行]** ( ) をクリックします。

4. **[シミュレーション結果を表示]** ( ) をクリックします。 $Q = 3.21 \cdot 10^{-6} \frac{m^3}{s}$ の予測流量を示す以下のようなグラフが表示されます。



第一原理に基づくモデリング結果の検証

図6.15「パイプを通る流れ」に示すシステムを解析する場合は、次のダルシーの式を適用します。

$$\frac{\Delta P}{\rho \cdot g} = f \cdot \frac{L \cdot V^2}{D\, 2\, g}$$

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。

$$f = \frac{64}{Re}$$

したがって、次のようになります。

$$\frac{1 \cdot 10^3}{850 \times 9.81} = \frac{64}{\frac{0.01 \times V}{0.000018}} \times \frac{5}{0.01} \times \frac{V^2}{2 \times 9.81}$$

$$0.1199256461 = 2.935779816 \cdot V$$

ゆえに、以下のようになります。

$$V = 0.0408 \ \frac{\mathrm{m}}{\mathrm{s}}$$

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。

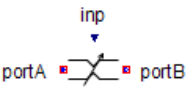
$$Q = \frac{1}{4} V \pi D^2 = 0.0408 \times \frac{\pi \times 0.01^{\,2}}{4} = 3.2 \times 10^{-6} \ \frac{\mathrm{m}^3}{\mathrm{s}}$$

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 = 22.7** になります。これは、臨界値 2000 よりかなり小さいため、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 3 つのポートがあります。スプール弁には、鋭いエッジを持つ可変断面積のオリフィスが設けられており、配管内の流れを可能にしたり、部分的に制限したりすることができ、油圧回路の特定の部分から別の部分へと流れを切り替えるのに役立ちます。スプール弁には 3 つのポートがあります。

表6.11 スプール弁

スプール弁	名前	説明	Modelica ID
	portA portB inp	上流ポート 下流ポート 入力信号 : オリフィスの面積 (選択単位)	portA portB Area

上部の実数信号入力ポート **inp** は、開弁面積と同じ信号入力を受け入れます。このバルブ面積を制限することで、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。

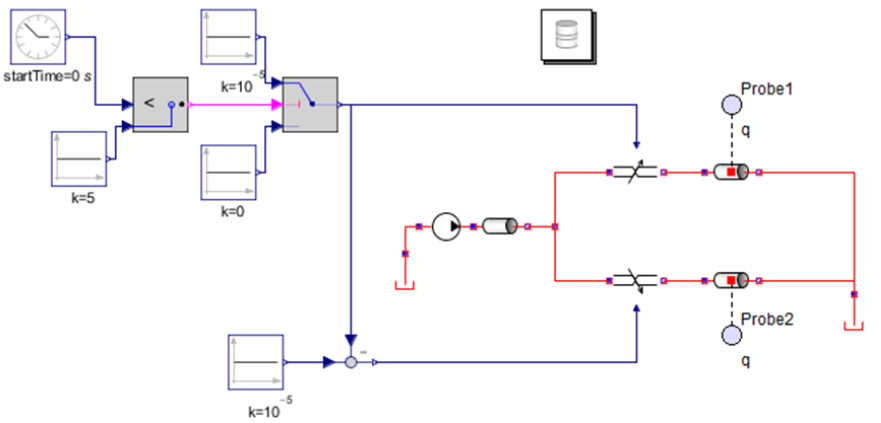


図6.16 流路の制御

機械-油圧システム

以下の例では、マルチドメインコンポーネントを使用して、以下のソースを持つ機械-油圧モデルにおける並進運動をシミュレーションします。

- 固定流量源 (**Fixed Flow Rate**)

- 固定圧力源 (**Fixed Pressure**)

固定流量源による並進運動のシミュレーション

次のモデルは、**表6.12「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。

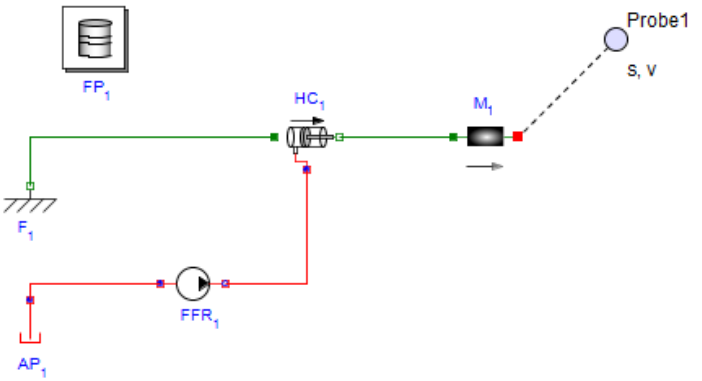
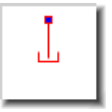
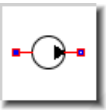
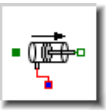
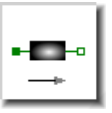
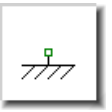


図6.17 固定流量源による並進運動

表6.12 固定流量源を使用した並進運動

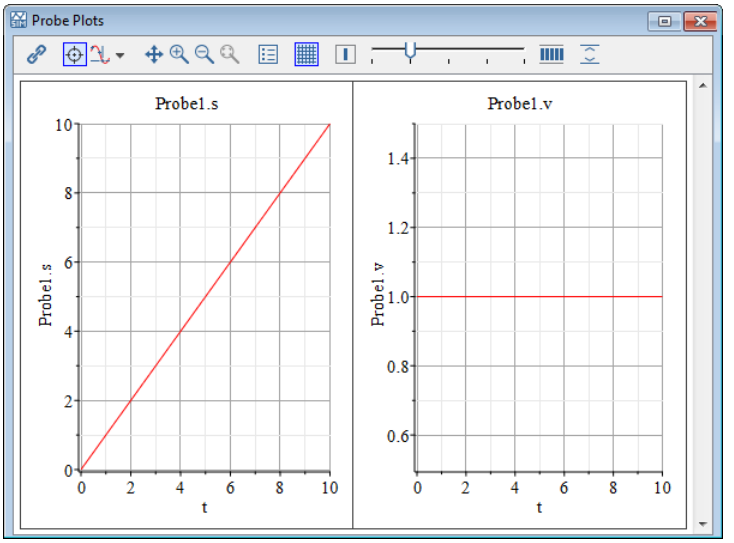
コンポーネント	シンボル	コンポーネントの場所	設定値
Tank		[油圧] > [リファレンス]	デフォルト設定
Hydraulic System Properties		[油圧] > [リファレンス]	デフォルト設定 : **ρ**: $850\frac{\mathrm{kg}}{\mathrm{m}^3}$ **K**: $8000\,\mathrm{bar}$ **ν**: $0.000018\frac{\mathrm{m}^2}{\mathrm{s}}$
Fixed Flow Rate		[油圧] > [ソース]	デフォルト設定
Hydraulic Cylinder		[油圧] > [アクチュエータ] > [リニアアクチュエータ]	デフォルト設定
Mass		[1-D メカニカル] > [並進] > [共通]	デフォルト設定
Translational Fixed		[1-D メカニカル] > [並進] > [共通]	デフォルト設定

注 : 油圧シリンダ (**Hydraulic Cylinder**) の断面積は **A** ($1\,\mathrm{m}^2$) です。一方で、固定流量源 (**Fixed Flow Rate**) の流量は **Q** ($1\frac{\mathrm{m}^3}{\mathrm{s}}$) です。

シリンダは以下の速度で質量 (**Mass**) を押します。

$$V = \frac{Q}{A} = \frac{1\,\mathrm{m}^3\mathrm{s}^{-1}}{1\,\mathrm{m}^2} = 1\frac{\mathrm{m}}{\mathrm{s}}$$

これは、シミュレーションを実行して **Mass** の速度を調べると確認できます。



固定圧力源による並進運動のシミュレーション

Fixed Flow Rate コンポーネントを **図6.18「固定圧力源による並進運動」** と **表6.13「固定圧力源を使用した並進運動」** に示した **Fixed Pressure** (固定圧力源) コンポーネントに置き換えます。以下のモデルは、固定圧力源からの流れを並進運動に変換します。

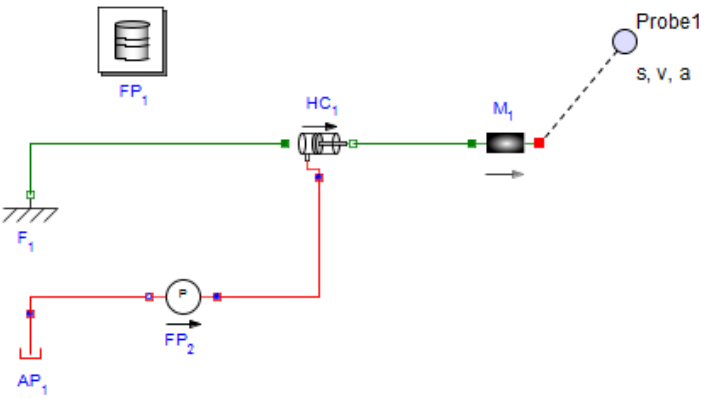
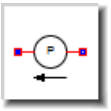


図6.18 固定圧力源による並進運動

表6.13 固定圧力源を使用した並進運動

コンポーネント	シンボル	コンポーネントの場所	設定値
Fixed Pressure		[油圧] > [ソース]	デフォルト設定

質量 (**Mass**) にかかる力は、油圧シリンダ (**Hydraulic Cylinder**) の断面積 **A** に油圧流体の圧力 **P** をかけた値と等しくなります。

$$F = A \cdot P = 1\ \mathrm{m}^2 \cdot 1\ \mathrm{Pa}\ = 1\ \mathrm{N}$$

Mass の加速度は次の式によって求められます。

$$F = m \cdot a = 1\ \mathrm{m}^2 \cdot 1\ \mathrm{Pa}\ = 1\ \mathrm{N}$$

$$1\ \mathrm{N} = 1\ \mathrm{kg} \cdot a$$

よって、次のようになります。

$$a = 1 \frac{\mathrm{m}}{\mathrm{s}^2}$$

Mass の加速度、速度、変位をプローブで測定することで **図6.19「固定圧力源の結果」** に示した結果が得られ、上記の計算結果と一致することが確認できます。

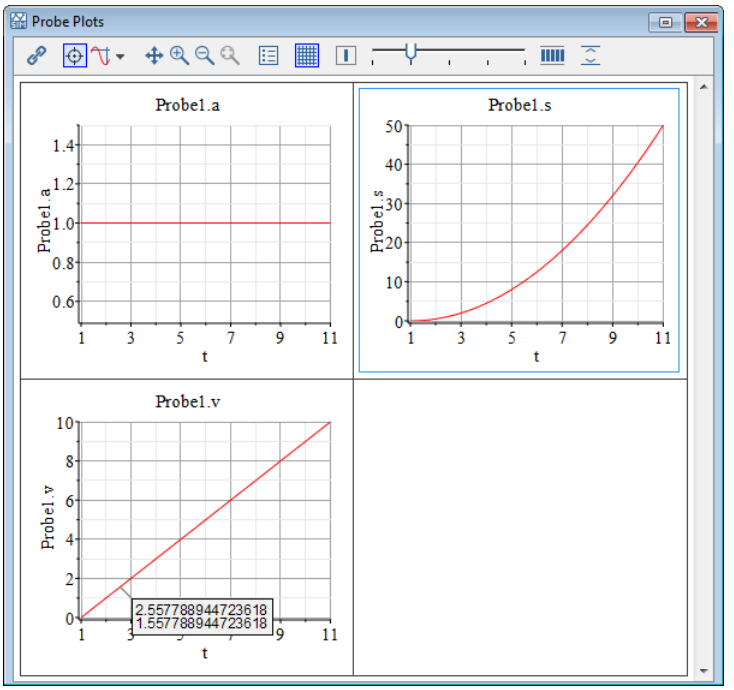


図6.19 固定圧力源の結果

油圧コンポーネントによるマルチボディシステムの駆動の概要

以下のモデルでは、油圧シリンダの 1-D 並進ポートを、並進固定フランジと **表 6.14「マルチボディコンポーネントの駆動」** に示した、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。並進ジョイントには、マルチボディの固定フレームと剛体質量を接続します。各コンポーネントには、デフォルトの設定を使用します。

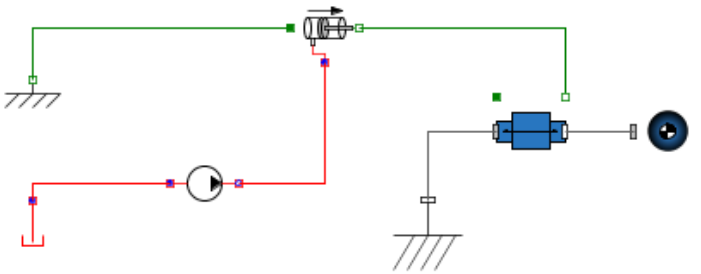


図6.20 並進固定フランジと油圧コンポーネント

同様に、以下のモデルでは、油圧シリンダの 1-D 回転ポートを、回転固定フランジと **表6.14「マルチボディコンポーネントの駆動」** に示した、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。回転ジョイントには、マルチボディの固定フレームと、剛体フレームを介して剛体質量を接続します。各コンポーネントには、デフォルトの設定を使用します

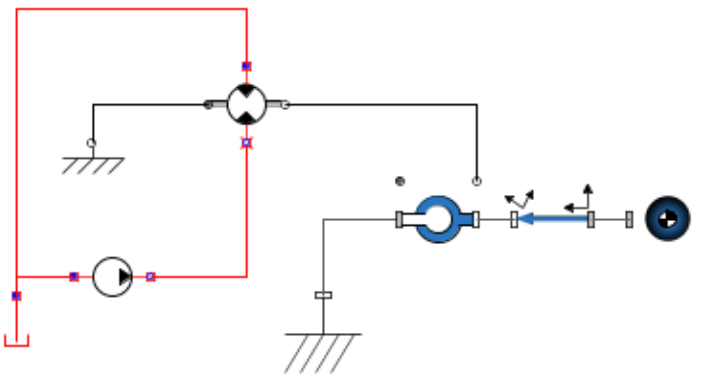
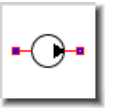
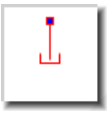
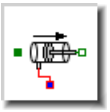
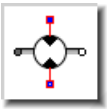
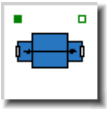
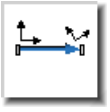
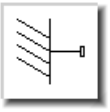


図6.21 回転固定フランジと油圧コンポーネント

表6.14 マルチボディコンポーネントの駆動

コンポーネント	シンボル	コンポーネントの場所
Fixed Flow Rate		[油圧] > [リファレンス]

コンポーネント	シンボル	コンポーネントの場所
Rotational Fixed		[1-D メカニカル] > [回転] > [共通]
Translational Fixed		[1-D メカニカル] > [並進] > [共通]
Tank		[油圧] > [リファレンス]
Hydraulic Cylinder		[油圧] > [アクチュエータ] > [リニアアクチュエータ]
Hydraulic Motor		[油圧]>[アクチュエータ]>[ロータリアクチュエータ]
Prismatic		[マルチボディ] > [ジョイント・モーション]
Rigid Body Frame		[マルチボディ] > [ボディ・フレーム]
Rigid Body		[マルチボディ] > [ボディ・フレーム]
Revolute		[マルチボディ] > [ジョイント・モーション]
Fixed Frame		[マルチボディ] > [ボディ・フレーム]

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内の流体に加えられた圧力変化は、システム全体に等しく伝達されます。この原理により、小さな力からより大きな力を発生させることができ、直接では移動できないような負荷を動かすことが可能になります。

図6.22「パスカルの原理の例」に示したモデルは、パスカルの原理の簡単な例を示しています。 0.1 m^2 の油圧シリンダに作用する 1 N の力によって発生した圧力が、1 m^2 の油圧シリンダーに伝達され、それによって1 kgの荷重が垂直方向に持ち上げられます。通常、1 kgの質量を支えるには 9.81 N の力が必要です。しかし、この単純な油圧システムでは、1 N の力がピストン面積比である $\frac{1\ \mathrm{m}^2}{0.1\ \mathrm{m}^2} = 10$ により10 N に増幅されます。そのため、9.81 N の重量を受ける 1 kg の荷重を持ち上げることができます。

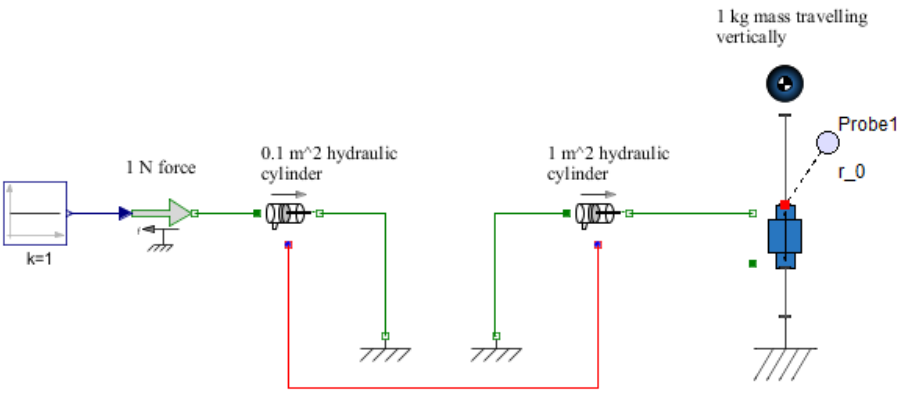


図6.22 パスカルの原理の例

作動油の圧縮性の概要

Compliant Cylinder と **Constant Volume** のチャンバコンポーネント (**表6.16「密閉式油圧システムコンポーネント」**) は、高圧時の作動油の圧縮性をモデリングします。CompliantCylinder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6.23「作動油の圧縮性」**に示すように、パイプや流体慣性間のノードに接続する必要があります。

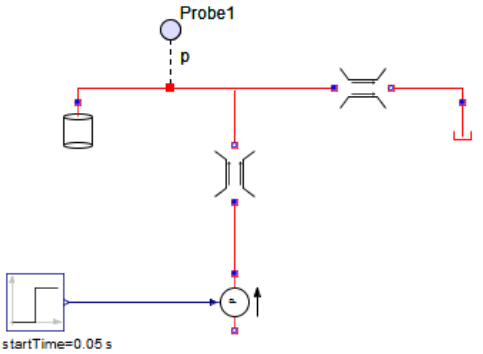


図6.23 作動油の圧縮性

表6.15 作動油の圧縮性に関するコンポーネント

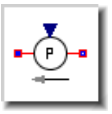
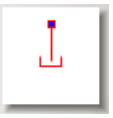
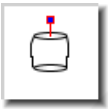
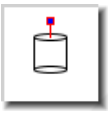
コンポーネント	シンボル	コンポーネントの場所	Value
Signal Pressure		[油圧] > [ソース]	デフォルト設定
Tank		[油圧] > [リファレンス]	デフォルト設定
Linear Resistance		[油圧] > [絞り]	デフォルト設定

表6.16 密閉式油圧システムコンポーネント

コンポーネント	シンボル	コンポーネントの場所	設定値
Compliant Cylinder		[油圧] > [チャンバ]	デフォルト設定
Constant Volume		[油圧] > [チャンバ]	デフォルト設定

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。これはメカニカルの 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。

表6.17 流体慣性

コンポーネント	シンボル	コンポーネントの場所	設定値
Fluid Inertia		[油圧] > [絞り]	デフォルト設定

流体慣性を使用しないシステム

図6.24「流体慣性を使用しないシステム」 は流体慣性を使用しないシステムです。

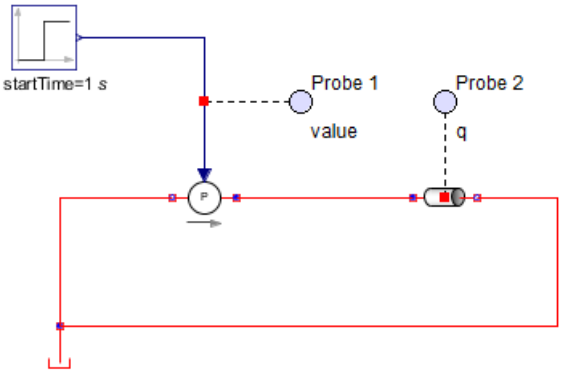


図6.24 流体慣性を使用しないシステム

流体慣性を使用したシステム

図6.24「流体慣性を使用しないシステム」は流体慣性を使用したシステムです。

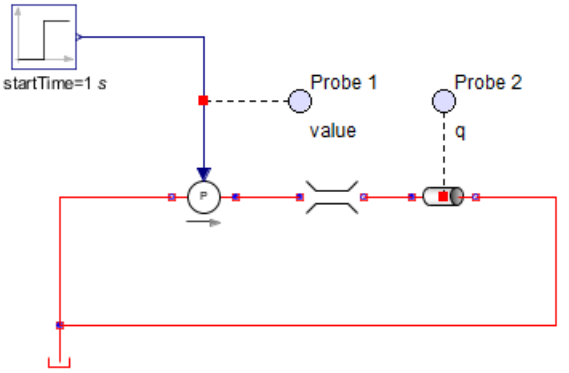


図6.25 流体慣性を使用したシステム

図6.26「流体の慣性がある場合と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、システムに遅延が発生します。

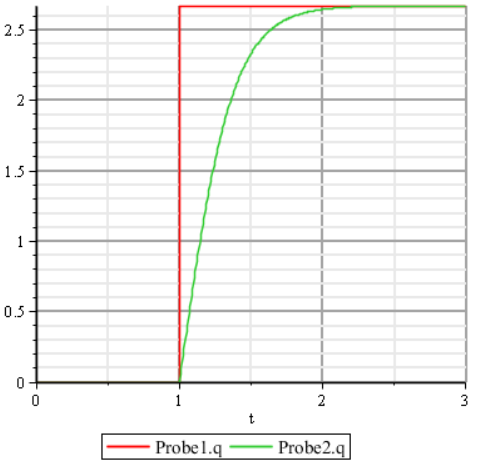


図6.26 流体の慣性がある場合とない場合のシステム

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。

$$\frac{\mathrm{d}V(x,t)}{\mathrm{d}t} + \frac{1}{\rho}\frac{(\mathrm{d}P(x,t))}{dt} + \frac{fV(x,t)|V(x,t)|}{2\,D}$$

$$\frac{\mathrm{d}V(x,t)}{\mathrm{d}x} + \frac{1}{Ks}\frac{\mathrm{d}P(x,t)}{\mathrm{d}t} = 0$$

$$Ks = \frac{1}{\frac{1}{K} + \frac{D}{E\,t}}$$

ここで、

- **V(x, t)** はパイプの速度
- **P(x, t)** はパイプの圧力

- **ρ** は液体の密度
- **D** はパイプの直径
- **t** はパイプの壁の厚さ。
- **K** は液体の体積弾性率
- **E** はパイプのヤング率
- f は摩擦係数。

これらの方程式は、適切な境界条件および初期条件とともに、通常は数値的に解かれます。そのため、特性曲線法を用いてこれらの方程式を解くための専用コードが必要となります。

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、流体慣性、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。

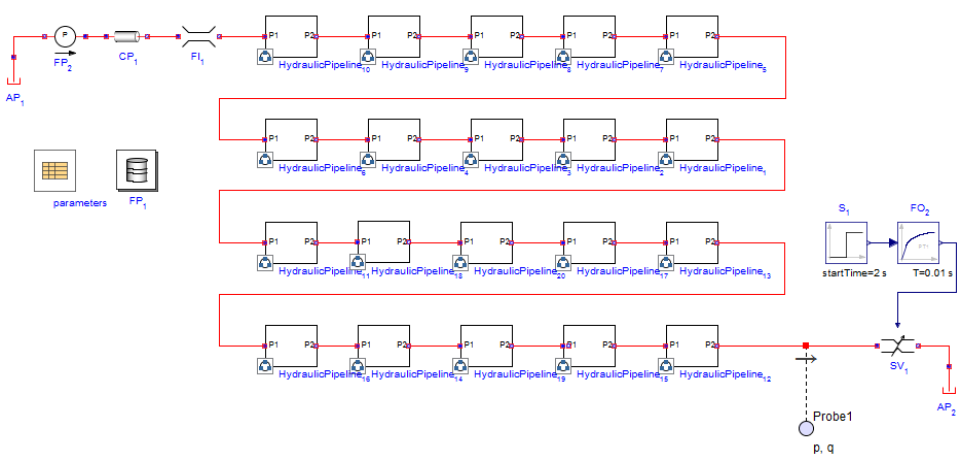


図6.27 ウォーターハンマー

図6.28「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。

長さ *L*、容量 *V* で *N* 個に分割されたパイプラインの、*N*+1 個の **Circular Pipe** のそれぞれの長さは以下のようになります。

$$\frac{L}{N+1}$$

N+1 個の **Fluid Inertia** のそれぞれの長さは以下のようになります。

$$\frac{L}{N+1}$$

N 個の **Constant Volume** チャンバのそれぞれの容量は以下のようになります。

$$\frac{V}{N}$$

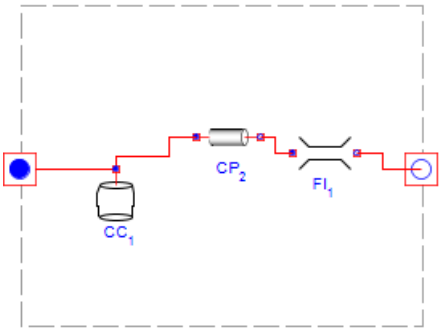


図6.28 離散化されたパイプラインのセグメント

ウォーターハンマーモデルを構築するには

1. **図6.27「ウォーターハンマー」** や **図6.28「離散化されたパイプラインのセグメント」** に示したコンポーネントと接続を用いてモデルを作成します。
2. **表6.18「Fluid System Properties の設定値」** で指定した値で **Fluid System Properties** コンポーネントを設定します。

表6.18 Fluid System Properties の設定値

パラメータ名	説明	設定値
ρ	流体密度	$1000\ \mathrm{kg\ m^{-3}}$
K	流体の体積弾性率	$200 \times 10^{6}\ \mathrm{Pa}$
ν	流体の動粘度	$\frac{10^{-3}}{rhoFluid}\ 1/\mathrm{sm^2}$

3. **表6.19「ウォーターハンマープロパティ」** に示したパラメータ名および値でパラメータブロックを設定します。

表6.19 ウォーターハンマープロパティ

パラメータ名	説明	設定値
N	パイプセグメントの数	20
Dia	パイプの水力直径 (D)	0.1 m
Len	パイプ長さ	25 m
Em	パイプのヤング率 (E)	70×10^9 Pa
ef	パイプ内面粗さ	0.0001 m
thickness	パイプの壁の厚さ (t)	0.001 m

4. **Fixed Pressure** コンポーネント(**図6.27「ウォーターハンマー」** の $\mathbf{FP_2}$) の圧力 (P) を **500** kPa に設定します。
5. **Main** (トップ階層) と **HydraulicPipeline** 共有サブシステム内の **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	設定値
L	$\frac{Len}{N+1}$
ϵ	*ef*
$\mathrm{Re_L}$	2000
$\mathrm{Re_T}$	4000
D	*Dia*

6. **Main** (トップ階層) と **HydraulicPipeline** 共有サブシステム内の **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	設定値
A	$\frac{1}{4} \cdot \mathrm{Pi} \cdot Dia^2$
L	$\frac{Len}{N+1}$

7. **HydraulicPipeline** 共有サブシステム内の **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	設定値
α	0
k	1.4
L	$\frac{Len}{N}$
D	Dia
D_o	$Dia + 2 \cdot thickness$
Em	Em

8. **First Order** コンポーネントの **[プロパティ]** タブ () で **[T]** を **0.01** *s* 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。
   - **[T_0]** には **2** s と入力します。
10. **[シミュレーションの設定]** タブで以下のシミュレーションパラメータを設定します。
    - シミュレーション時間 **[t_d]** には **3** s と入力します。
    - **[ソルバタイプ]** には **[Variable]** を選択します。
    - **[ソルバ]** には **[Rosenbrock (stiff)]** を選択します。

図6.29「ウォーターハンマーの圧力と流量」 に、2 秒後に急にバルブを閉じた場合の、パイプの端における圧力と流量を示します。

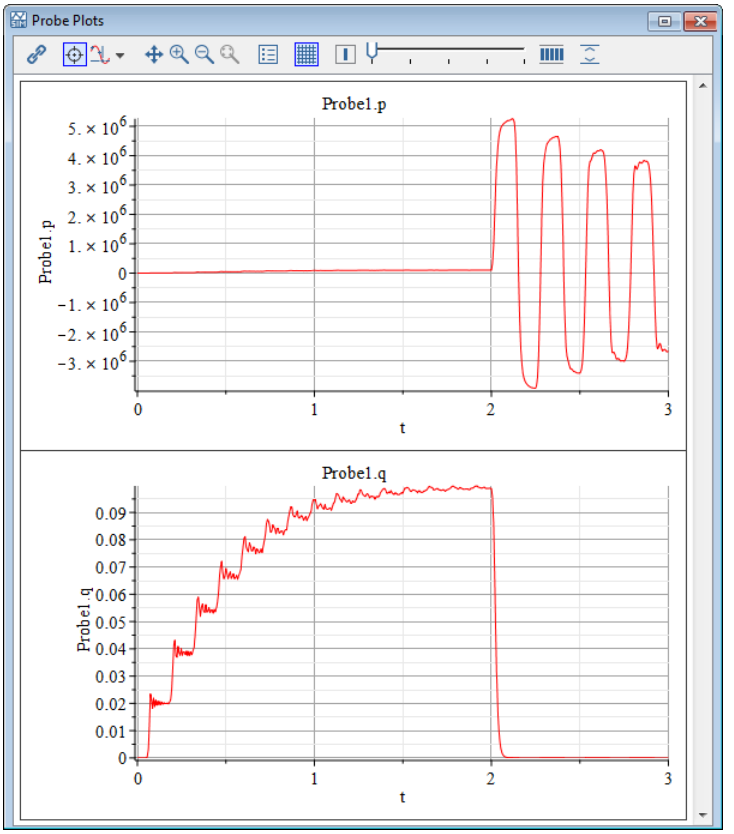


図6.29 ウォーターハンマーの圧力と流量

最大圧力は、約 5 x 10^6 Pa で、液体の流量は 0.099 $\frac{\mathrm{m}^3}{\mathrm{s}}$ に達します。 最大圧力は次の Joukowsky の式を使用して計算することもできます。

$$\Delta P = \rho c \frac{\Delta Q}{A}$$

$$c = \sqrt{\frac{Ke}{\rho}}$$

$$Ke = \frac{1}{\frac{1}{K} + \frac{D}{E\,t}}$$

表6.18「Fluid System Properties の設定値」 と **表6.19「ウォーターハンマープロパティ」** のパラメータを前式に代入した場合、以下のように仮定できます。

$$\Delta Q = 0.099 \frac{\mathrm{m}^3}{\mathrm{s}}$$

結果は以下のとおりです。

$$\Delta P \approx 5 \times 10^6 \ \mathrm{Pa}$$

この結果は MapleSim モデルと一致します。

第7章 リファレンス : MapleSim のキーボードショートカット

表7.1 モデルの開閉と保存

タスク	Windows と Linux	Mac
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]**
モデルの変更を保存	**[Ctrl]** + **[S]**	**[Command]** + **[S]**
モデルを .msim ファイルとして名前を付けて保存	**[Ctrl]** + **[Shift]** + **[S]**	**[Command]** + **[Shift]** + **[S]**
Maple ワークシートを読み込む	**[F10]**	**[F10]**
印刷	**[Ctrl]** + **[P]**	**[Command]** + **[P]**

表7.2 ブロックダイアグラムでのモデルの作成

タスク	Windows と Linux	Mac
結線の描画中に操作をキャンセル	**[Esc]**	**[Esc]**
選択した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]**
選択したコンポーネントを左右反転	**[Ctrl]** + **[H]**	**[Command]** + **[K]**
選択したコンポーネントを上下反転	**[Ctrl]** + **[F]**	**[Command]** + **[F]**
選択したコンポーネントをサブシステム化	**[Ctrl]** + **[G]**	**[Command]** + **[G]**
選択した結線を自動整形	**[Ctrl]** + **[D]**	**[Command]** + **[D]**

タスク	Windows と Linux	Mac
すべての結線を自動整形	**[Ctrl]** + **[A]** で全選択し、 **[Ctrl]** + **[D]**	**[Command]** + **[A]** で全選択し、 **[Command]** + **[D]**
選択したコンポーネントのヘルプページを表示	**[F2]**	**[F2]**

表7.3 モデルへのアノテーションの追加

タスク	Windows と Linux	Mac
選択したオブジェクトを最背面へ移動	**[Ctrl] + [Shift] + [B]**	**[Command] + [Shift] + [B]**
選択したオブジェクトを背面へ移動	**[Ctrl] + [Alt] + [B]**	**[Command] + [Option] + [B]**
選択したオブジェクトを前面へ移動	**[Ctrl] + [Alt] + [F]**	**[Command] + [Option] + [F]**
選択したオブジェクトを最前面へ移動	**Ctrl] + [Shift] + [F]**	**[Command] + [Shift] + [F]**

表7.4 ブロックダイアグラムでのモデルの表示

タスク	Windows と Linux	Mac
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]**、または **[Ctrl]** + **下矢印**	**[Command]** + **[M]**、または **[Command]** + **下矢印**
現在のサブシステムの親レベルを表示	**[Ctrl]** + **上矢印**	**[Command]** + **上矢印**
Main に戻る	**[Home]**	**[Home]**
上位階層に移動	**[Ctrl]** + **上矢印**	**[Command]** + **上矢印**
モデルワークスペースを拡大表示	**[Ctrl]** + 数値キーの **[+]** 、または **[Ctrl]** を押しながらマウスのホイールを前に回転	**[Command]** + 数値キーの **[+]** 、または **[Command]** を押しながらマウスのホイールを前に回転
モデルワークスペースを縮小表示	**[Ctrl]** + 数値キーの **[-]** 、または	**[Command]** + 数値キーの **[-]** 、または

タスク	Windows と Linux	Mac
	[Ctrl] を押しながらマウスのホイールを後ろに回転	**[Command]** を押しながらマウスのホイールを後ろに回転
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)

表7.5 3-D 表示でのモデルの表示

タスク	Windows と Linux	Mac
ポートを接続	**[Ctrl]** + **[Shift]** + **[C]**	**[Command]** + **[Shift]** + **[C]**
現在選択中のアイテムを削除	**[Backspace]** または **[Delete]**	**[Delete]**
表示ウィンドウに合わせて拡大 / 縮小	**[V]**	**[V]**
選択モード	**[Esc]**	**[Esc]**
パンモード	**[F2]**	**[F2]**
ズームモード	**[F3]**	**[F3]**
回転モード	**[F4]**	**[F4]**
遠近表示で、カメラを 3-D モデルの周囲に移動	マウスの左ボタンをクリックしたままドラッグ	マウスをクリックしたままドラッグ
3-D モデルをパン	マウスの右ボタンをクリックしたままドラッグ、または **[Shift]** + マウスの左ボタンをクリックしたままドラッグ	マウスを右クリックしたままドラッグ、または **[Shift]** + マウスをクリックしたままドラッグ
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たままドラッグ、または マウスホイールを前 (拡大) / 後 (縮小) に回転、または マウスの中ボタンをクリックしたままドラッグ	**[Option]** + マウスをクリックしたままドラッグ、または マウスホイールを前 (拡大) / 後 (縮小) に回転、または マウスの中ボタンをクリックしたままドラッグ
	[X]	**[X]**
	[Y]	**[Y]**

タスク	Windows と Linux	Mac
遠近表示を変更し、X/Y/Z 軸の負の方向を表示	**[Z]**	**[Z]**
遠近表示を変更し、X/Y/Z 軸の正の方向を表示	**[Shift]** + **[X]**	**[Shift]** + **[X]**
	[Shift] + **[Y]**	**[Shift]** + **[Y]**
	[Shift] + **[Z]**	**[Shift]** + **[Z]**
遠近表示を変更し、シーンの右側を表示	**[R]** または **[Ctrl]** + **[4]**	**[R]** または **[Command]** + **[4]**
遠近表示を変更し、シーンの左側を表示	**[L]** または **[Ctrl]** + **[3]**	**[L]** または **[Command]** + **[3]**
遠近表示を変更し、シーンの上部を表示	**[T]** または **[Ctrl]** + **[5]**	**[T]** または **[Command]** + **[5]**
遠近表示を変更し、シーンの下部を表示	**[M]** または **[Ctrl]** + **[6]**	**[M]** または **[Command]** + **[6]**
遠近表示を変更し、シーンの前面を表示	**[F]** または **[Ctrl]** + **[1]**	**[F]** または **[Command]** + **[1]**
遠近表示を変更し、シーンの背面を表示	**[B]** または **[Ctrl]** + **[2]**	**[B]** または **[Command]** + **[2]**
現在のカメラ設定を保存 (カメラ設定は 1 つのみ保存可能)	**[S]**	**[S]**
最後に保存したカメラ設定に戻る	**[H]**	**[H]**
3-D 表示をリフレッシュ	**[Shift]** + **[F5]**	**[Shift]** + **[F5]**

表7.6 モデルのシミュレーション

タスク	Windows と Linux	Mac
シミュレーションの実行	**[F5]**	**[F5]**
シミュレーション結果の表示 シミュレーション結果が現在アクティブな場合は MapleSim ウィンドウをアクティブにします。	**[F6]**	**[F6]**
シミュレーション再実行ウィンドウを表示 再実行ウィンドウが現在アクティブな場合は、MapleSim ウィンドウをアクティブにします。	**[Shift] + [F6]**	**[Shift] + [F6]**
3-D ワークスペースの表示 3-D ワークスペースが現在アクティブな場合は MapleSim ウィンドウをアクティブにします。	**[F7]**	**[F7]**
左側パネルに Apps 一覧を表示し、分割パネルに Apps を表示	**[F8]**	**[F8]**
選択したコンポーネントまたは結線の有効/無効を切り替えて、次のシミュレーションから除外	**[Ctrl]** + **[E]**	**[Command]** + **[E]**

表7.7 コンソールペインのナビゲーション

タスク	Windows と Linux	Mac
セクションを展開	**右矢印**	**右矢印**
セクションを折り畳む	**左矢印**	**左矢印**
前または次のセクションにカーソルを移動	**上矢印**、または**下矢印**	**上矢印**、または**下矢印**

表7.8 プロットウィンドウのレイアウト変更

タスク	Windows と Linux	Mac
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 プロットウィンドウ内のすべてのプロットが、ウィンドウ高さに収まるように、各プロットの高さを自動的に調整	**[Shift]** + **[F]**	**[Shift]** + **[F]**

表7.9 Modelica カスタムコンポーネントの編集

タスク	Windows と Linux	Mac
左側パネルにローカルコンポーネントを表示し、分割パネルに Modelica コードエディタを表示	**[F9]**	**[F9]**
新規Modelica カスタムコンポーネント	**[Ctrl]** + **[N]**	**[Command]** + **[N]**
Modelica カスタムコンポーネントを保存	**[Ctrl]** + **[S]**	**[Command]** + **[S]**
検索/置換	**[Ctrl]** + **[F]**	**[Command]** + **[F]**
行の移動	**[Ctrl]** + **[G]**	**[Command]** + **[G]**

タスク	Windows と Linux	Mac
部分的に入力したキーワードまたはコンポーネント名のオートコンプリート	**[Ctrl]** + **スペースキー**	**[Command]** + **スペースキー**
「*block*」、「*if*」、「*ife*」、または「*for*」などの用語入力後に Modelica 構文のテンプレートを挿入する。すべての用語の一覧については、**MapleSim 操作方法 > モデルの構築 > カスタムコンポーネント > Modelica コードエディタ > 構文のテンプレート**から参照。	**[Ctrl]** + **[Shift]** + **スペースキー**	**[Command]** + **[Shift]** + **スペースキー**

表7.10 その他

タスク	Windows と Linux	Mac
検索を実行	**[Alt] + [S]**	**[Option] + [S]**
ヘルプウィンドウを開く	**[F1]**	**[F1]**
モデルを比較	**[F12]**	**[F12]**

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, 80
3-D アニメーション, 168
  有効, 146
3-D アニメーションウィンドウ, 145
3-D モデル 構築, 156
3-D モデルのアニメーション, 168
3-D ワークスペース, 147
  軸の表記, 149
3-D 表示
  直交表示, 149
  遠近表示, 149
3-D 表示コントロール
  3-D 操作ツール, 157
  インプリシットジオメトリ, 151
  トレースの追加, 153
  初期条件, 167
  添付形状, 152, 159
3-D 表示ナビゲーション, 149
キーボードショートカット, 297
アクションカード, 8
  例題モデルを見る, 6, 10
  保存済みモデルを開く, 9
  新規モデルの作成, 8
  最近開いた項目を表示, 6, 9
  検索, 6, 11
アルファ, 130
イベント処理ヒステリシス, 131
イベント処理中の射影法, 131
イベント処理最大計算回数, 131
イベント数の最小化, 132
イベント点のプロット, 132
インプリシットジオメトリ, 151
オプション設定, 129
カスタムコンポーネント
  カスタムコンポーネントについて, 95
  テンプレート, 253
  ポートの定義, 108
  外挿データに基づくモデリング, 247
  外部 C コード/DLL, 191, 259
  方程式の定義, 107
  編集, 105
カスタムプロットウィンドウ, 137
カスタムライブラリ, 75
グリッド
  3-D グリッド, 159
  CAD ジオメトリの利用, 159
グローバルパラメータ, 199, 208
コンパイラ, 133
コンパイラ最適化, 133
コンポーネントプロパティの指定, 22
コード生成
  C コード, 179, 187
  オプション, 185
  サブシステム, 179, 181
  初期化, 182
サブシステム
  コード生成, 181
  サブシステム定義と共有サブシステムのモデルへの追加, 46
  スタンドアロン, 53
  パラメータ, 59
  ポートの追加, 206
  モデルにサブシステムのコピーを複数追加, 44

リンク, 45
作成と管理, 41, 198
共有, 45
定義, 45
複数のインスタンスの編集, 48
シミュレーション, 133
シミュレーション時間, 127
シミュレーション開始時間, 130
初期条件, 136
シミュレーションの再実行, 201
シミュレーショングラフ, 138, 143
シミュレーションパラメータ
コンパイラ, 133, 134
設定, 126
シミュレーション再実行, 120
シミュレーション結果
グラフデータのエクスポート, 138
スナップショット, 136
メッセージコンソールの消去, 135
保存, 136
比較, 136
管理, 135
進捗状況メッセージ, 134, 135
シミュレーション設定, 127
スケーリング, 132
スタンドアロンサブシステム, 53
ステップサイズ, 129
ステータスバー, 17
スナップショット, 136
使用, 130
セカンダリビュー, 17
ソルバ, 128
ソルバタイプ, 127
ソルバ診断, 132
チュートリアル, 195
基本チュートリアル : RLC 回路と DC Motor のモデリング, 27
テンプレート, 175
カスタムコンポーネント, 107
カスタムコンポーネントテンプレートの使用, 96
データセット
Maple で作成, 82
トレース線, 145, 152
例, 153, 155
バウムガルテ, 130
alpha, 130
beta, 130
アルファ, 130
ベータ, 130
パラメータ
グローバルパラメータ, 56
サブシステムパラメータ, 59
パラメータセット, 66, 67, 134
パラメータ値, 22, 38
パラメータ詳細設定, 59, 67
変数詳細設定, 67, 69
定義, 57
パラメータの最適化, 178
パラメータオーバーライド, 69
パラメータブロック
グローバルパラメータ, 57
サブシステムパラメータ, 61
パレット, 29
プロット
x 軸の変数を設定, 141
グラフに 2 つ目の変数を追加, 138
プロットウィンドウ, 143

プロットポイント数, 129
プローブ, 118
　矢印の表記規則, 88
　矢印の規則, 27, 119
　追加, 22
プローブの追加, 22
プローブパレット, 133
ヘルプペイン, 30
ベストプラクティス, 91
　1-D 並進モデルの構築, 88
　サブシステムの作成と配置, 83
　マルチボディモデルの構築, 89
　モデルのシミュレーションと可視化, 169
　初期条件の強制, 91
　油圧モデルの構築, 90
　電気モデルの構築, 85
ベータ, 130
ポートとパラメータの管理, 183
マルチボディ
　マルチボディモデル構築におけるベストプラクティス, 89
　設定, 146
マルチボディパラメータ値, 146
モデリングコンポーネント
　結線, 20
モデル
　モデル構築, 18
モデルの構築
　3-D モデルのアセンブリ, 158
　3-D モデルの構築時に添付形状を表示, 159
　3-D ワークスペースでオブジェクトを移動, 157
　3-D ワークスペースにオブジェクトを追加し移動, 160
　運動学的拘束を適用しない, 158
モデルの解析
　API の使用, 192
モデルへのファイルの添付, 74
モデルツリー, 31
モデルワークスペース, 13
モデル解析
　apps とテンプレート, 175
ヤコビアン, 130
ライブビューツールバー, 17
介在変数, 3
　カスタムコンポーネント, 103
例
　1 つの物理量を別の物理量に対してプロットする, 141
　3-D ワークスペースで二重振り子モデルを構築, 160
　Maple でのデータセットの作成, 82
　グローバルパラメータの定義と代入, 57
　サブシステムの作成, 42
　スタンドアロンサブシステムのコピーと貼り付け, 55
　パラメータオーバーライドの作成, 69
　パラメータブロックの作成と使用, 62
　モデルへのテキスト注釈の追加, 79
　二重振り子のモデルへの添付形状の追加, 153
　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, 52
　共有サブシステムへのサブシステムパラメータの代入, 60

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の編集, 48
既存モデルからカスタムライブラリを作成, 76
複数の物理量を個別のグラフにプロット, 138
診断情報に表示される警告メッセージを処理する, 54
非線形ばねダンパカスタムコンポーネント, 113
保存結果
シミュレーションから, 136
保存量の流れ
矢印の表記規則, 88
矢印の規則, 27, 119
信号フロー, 101
分割パネル, 16
初期ヒステリシス, 131
初期化, 182
初期条件, 69
オーバーライド, 73
初期条件の適用方法, 40
初期条件を強制するためのベストプラクティス, 91
指定, 39
単位
パラメータ単位の指定, 38
可変スケーリング, 132
可変時間ステップ, 127
可視化, 145
透明, 145
可視化パラメータ
設定, 146
因果的モデリング, 2, 6, 18
固定時間ステップ, 127
埋め込みコンポーネント, 193
外部 C コード/DLL
カスタムコンポーネント, 191, 259
射影法, 130, 186
射影法の最大計算回数, 131
射影法の許容誤差, 131
左側パネル, 15
微分代数方程式, 2
拘束安定化法, 130
拘束射影
イベント処理中, 131
拘束射影法, 130
最大計算回数, 131
許容誤差, 131
拘束条件の計算オプション, 185, 186
接続ポート, 36
描画, 78
方程式
app, 265
取得, 176
時間
シミュレーション時間, 127
シミュレーション終了時間, 130
シミュレーション開始時間, 130
時間ステップ, 127
構築モード, 156
油圧システム, 295
Joukowsky の式, 294
ウォーターハンマー, 288
スプール弁, 275
ダルシーの式, 269
パスカルの原理, 284
ベルヌーイの式, 269

マルチドメイン, 276
マルチボディと油圧, 281
並進運動, 279
圧縮性, 284
基本的な油圧ライブラリコンポーネント, 267, 271
基本的な油圧方程式, 269
摩擦係数, 270
流体慣性, 286
注釈, 79
流れ方向, 3
添付
Maple ワークシート, 174
物理コンポーネント, 103
物理モデル
ナビゲーション, 35
解析, 171
状態, 136
矢印の表記規則, 85, 88
符号規約, 2, 3
結線, 36
色, 36
線形システム
解析, 177
線形化, 177
補間テーブル, 211
設定
オプション設定, 129
シミュレーション設定, 127
許容誤差, 128
診断メッセージ, 85
診断情報, 54
通過変数, 3
カスタムコンポーネント, 103
矢印の表記規則, 88
矢印の規則, 27, 119
進捗状況メッセージ, 135
運動学的拘束, 158
非因果的マッピング, 102
非因果的モデリング, 1, 2, 3, 6, 18

A

alpha, 130
API, 192
app とテンプレート
モデル解析, 175
apps
コード生成, 179
パラメータの最適化, 178
方程式の抽出, 176

B

beta, 130

C

CAD ジオメトリ, 159

D

DAE 変数, 262
DLL
カスタムコンポーネント, 191
DynamicSystems パッケージ, 192

I

index 1 エラーコントロール, 131
index 1 許容誤差, 131

L

latest results
　シミュレーションから, 136
LinkModel, 192

M

Maple ワークシート
　添付, 174
Maple ワークシートを読み込む, 75
MapleSim ウィンドウ, 17
MapleSim ウィンドウの概要, 6, 12
MapleSim コンポーネントライブラリ,
6, 18, 29
MapleSim モデル
　埋め込みコンポーネント, 193
Modelica, 115
Modelica カスタムコンポーネント, 95