

MSC.Working Model[®] 2D

ユーザーマニュアル

目 次

はじめに xv

MSC Working Model 2D とは xv

本マニュアルについて xx

第 1 章

ガイドツアー 1-1

1.1	Working Model 2D の起動	1-1
1.2	新規シミュレーションを作成する手順	1-3
1.3	サンプルシミュレーションの実行	1-3
1.4	簡単なシミュレーションの設定	1-5
	新しいドキュメントを開く	1-5
	円の作成	1-5
	円の大きさの変更	1-7
	円を開始位置に移動	1-8
	初期速度の指定	1-9
	シミュレーションの実行	1-10
1.5	シミュレーションのプロパティの測定	1-11
	速度メーターの作成	1-11
	メーターの表示方法の変更	1-13
	ベクトルの表示	1-14
1.6	追跡	1-15
1.7	シミュレーションの保存	1-16
1.8	スマートエディタ	1-16
	リンク形状の修正	1-20
	結合と分離	1-21
	高精度数値アセンブリ	1-24
1.9	コントロールボタンとメニューボタンのついた簡単なシミュレーション	1-25
	モデルの構築	1-25
	コントロールの作成	1-27
	メニューボタンの作成	1-28
	プレイアドキュメント	1-29
1.10	まとめ	1-30

第 2 章

ツールとメニューのガイド 2-1

2.1	Working Model 2D のツールバー	2-1
-----	-------------------------	-----

	ツールバー	2-1
	ツールの使用	2-5
	Working Model 2D のツール	2-5
	標準ツールバー	2-5
	編集ツール	2-6
	実行コントロール	2-6
	ボディツール	2-6
	結合 / 分離コントロール	2-7
	ポイントツールとスロットツール	2-8
	ジョイントツール	2-9
	拘束ツール	2-10
2.2	Working Model 2D のメニュー	2-12
	ファイルメニュー	2-12
	編集メニュー	2-13
	ワールドメニュー	2-14
	ビューメニュー	2-15
	オブジェクトメニュー	2-17
	定義メニュー	2-19
	測定メニュー	2-19
	スクリプトメニュー	2-20
	ウィンドウメニュー	2-20

第 3 章

	ボディ	3-1
3.1	ボディの作成	3-1
	長方形と正方形の作成	3-2
	円の作成	3-4
	多角形や曲線多角形の作成	3-6
3.2	ボディのプロパティ	3-8
	初期位置と方向	3-10
	初期速度	3-11
	弾性と摩擦	3-12
	密度、モーメント、材料、電荷	3-13
	複数のオブジェクトのプロパティを同時に変更	3-15
	オブジェクトのプロパティを連続して変更	3-16
	式を使ったボディのプロパティの参照	3-18
	式を使ったボディの動きのコントロール	3-18
3.3	ボディの表示設定	3-18
3.4	ボディの形状	3-21
	式を使ったボディの形状の参照	3-23
	式を使ったボディの形状の定義	3-24
	多角形と曲線多角形の座標	3-25
	多角形や曲線多角形の数値的な形状変更	3-25
	多角形または曲線多角形の形状を他のアプリケーションとの間でコピー	3-28

3.5	ボディのアンカー	3-30
3.6	ボディ同士の衝突のコントロール	3-31

第 4 章 拘束 4-1

4.1	拘束とは？	4-1
4.2	拘束のタイプ	4-1
	線形拘束	4-2
	回転拘束	4-2
	力およびトルク	4-2
	ジョイント	4-2
4.3	拘束の一般プロパティ	4-3
	プロパティウィンドウ	4-3
	拘束の表示 / 非表示	4-7
	拘束に名前をつける	4-7
	拘束ポイント要素の座標	4-8
	拘束の正確な配置	4-11
	拘束の配置のコントロール	4-16
	拘束の分離および取りはずし	4-18
	拘束のオン / オフ	4-18
	極性の定義	4-19
4.4	ロープ	4-21
	ロープの作成方法	4-21
	ロープのプロパティ	4-22
4.5	ばね	4-24
	ばねの作成方法	4-25
	ばねのプロパティ	4-25
4.6	ダンパー	4-27
	ダンパーの作成方法	4-27
	ダンパーのプロパティ	4-28
4.7	ばね / ダンパー	4-29
	ばね / ダンパーの作成方法	4-29
	ばね / ダンパーのプロパティ	4-30
4.8	回転ばね	4-30
	回転ばねの作成方法	4-31
	回転ばねのプロパティ	4-31
4.9	回転ダンパー	4-32
	回転ダンパーの作成方法	4-33
	回転ダンパーのプロパティ	4-33
4.10	ブリー	4-34
	ブリーシステムの作成方法	4-34
	ブリーシステムのプロパティ	4-35
4.11	ギア	4-36
	ギアの作成方法	4-37

	ギアプロパティ	4-42
4.12	ロッド	4-44
	ロッドの作成方法	4-44
	ロッドのプロパティ	4-44
4.13	セパレータ	4-45
	セパレータの作成方法	4-45
	セパレータのプロパティ	4-46
4.14	力	4-47
	力の作成方法	4-47
	力のプロパティ	4-49
4.15	トルク	4-50
	トルクの作成方法	4-50
	トルクのプロパティ	4-51
4.16	アクチュエータ	4-52
	アンカーの作成方法	4-52
	アクチュエータのプロパティ	4-53
4.17	モーター	4-55
	モーターの作成方法	4-55
	モーターのプロパティ	4-56
4.18	ジョイント	4-57
	ジョイントの作成方法	4-57
	ジョイントのプロパティ	4-60
	ジョイントでの反力の測定	4-62
4.19	スロットジョイント	4-64
	直線スロットジョイントの作成方法	4-64
	曲線スロットジョイントの作成方法	4-65
	個々の要素からスロットジョイントを作成する方法	4-68
	スロット要素の接続と取りはずし	4-71
	スロットジョイントのプロパティ	4-72
	スロットジョイントで反力を測定する方法	4-73
	曲線スロットの形状を定義する方法	4-74
	数値入力による曲線スロットの形状変更	4-75
	他のアプリケーションとの間で曲線スロットをコピーする方法	4-78

第 5 章

スマートエディタ..... 5-1

5.1	要素の結合や拘束の分離	5-1
	オブジェクトの運動をコントロールしながら結合	5-3
	オブジェクトの運動をコントロールする	5-4
5.2	結合したボディのドラッグや回転	5-5
	クリックとドラッグ	5-7
	ポイントのロックとコントロールのロック	5-7
5.3	スマートエディタの理解	5-8
	ロボットの脚の例	5-9

リンクの例.....	5-11
ボディの回転.....	5-12
スマートエディタを使用するとき.....	5-14
ロープでスマートエディタを使用.....	5-16
スマートエディタが機能しない場合.....	5-16
編集の精度のコントロール.....	5-17

第 6 章

ワークスペース..... 6-1

6.1	物理オブジェクトとインターフェースオブジェクト	6-1
6.2	ビューオプション	6-2
	ワールド内でビューを移動.....	6-3
	ズーム.....	6-4
	ワークスペースツールとコントロールの表示.....	6-6
	X 軸と Y 軸の表示.....	6-8
	ルーラーの表示.....	6-8
	グリッド線の表示.....	6-9
	オブジェクトをグリッドに揃える.....	6-9
	オブジェクトをボディに揃える.....	6-10
	座標バーの表示.....	6-10
	ステータスバー.....	6-12
6.3	数値および単位	6-13
	式と単位.....	6-15
6.4	ワールドパラメータの定義	6-16
	重力.....	6-16
	空気抵抗.....	6-17
	静電場.....	6-18
	力場.....	6-19
6.5	オブジェクトの修正	6-21
	複数のオブジェクトの選択.....	6-21
	非表示のオブジェクトをすべて表示.....	6-22
	切り取り、コピー、貼り付け、消去.....	6-22
	最後のアクションを元に戻す.....	6-24
	オブジェクトの移動.....	6-24
	オブジェクトの回転.....	6-25
	オブジェクトを前面または背面に移動.....	6-27
6.6	ウィンドウを使ってオブジェクトのプロパティを変更	6-28

第 7 章

シミュレーションインターフェース..... 7-1

7.1	メーター	7-1
	メーターが測定するもの.....	7-1
	2つのオブジェクト間の相互作用の測定.....	7-3
	メーターの作成.....	7-3

	デジタル、グラフ、棒グラフ表示の切り替え.....	7-3
	メーターを修正してカスタマイズされたプロパティを表示.....	7-4
	メーターの位置とサイズの修正.....	7-5
	プロパティを選択的に表示 / 非表示にする.....	7-5
	グラフのスケールを変更する方法 (最小および最大).....	7-6
	グラフの線の色を変える方法.....	7-8
	複数のシミュレーションの結果を比較.....	7-8
7.2	コントロール.....	7-10
	コントロールの作成.....	7-12
	コントロールの位置とサイズの変更.....	7-13
	コントロールのタイプとプロパティ.....	7-14
7.3	メニューボタン.....	7-18
	複数のドキュメントをメニューボタンにリンク.....	7-18
7.4	ベクトル.....	7-19
	ベクトルの表示.....	7-20
	ベクトルの長さを調整.....	7-21
	ベクトルのプロットオプションの調整.....	7-22
	ジョイント反力のベクトル表示.....	7-22
7.5	テキスト.....	7-23
	テキストツールの使用.....	7-23
	テキストオブジェクトの選択.....	7-24
	テキストオブジェクトの削除.....	7-24
	新しいテキストの挿入.....	7-24
	テキストのフォント、サイズ、スタイルの変更.....	7-25
	オブジェクトに名前をつける.....	7-25
7.6	画像.....	7-26
	画像オブジェクトの作成.....	7-26
	画像オブジェクトをボディに配置.....	7-26

第 8 章

	シミュレーションの実行.....	8-1
8.1	シミュレーションの実行.....	8-1
8.2	シミュレーションの停止.....	8-2
8.3	テークプレイヤコントロールの使用.....	8-2
	フレームのコマ送り.....	8-3
	フレームのスキップ.....	8-3
	シミュレーションを逆再生.....	8-4
	指定したフレームに移動.....	8-5
	再生の速度を上げる.....	8-5
	一時停止.....	8-6
8.4	プリファレンス.....	8-7
	アウトラインまたはオブジェクトとしてオブジェクトを編集.....	8-8
	速度ベクトルのドラッグを許可.....	8-8
	初期条件の自動計算.....	8-8

	初期条件以外での編集を防止.....	8-9
	実行中はカーソルが停止表示に変更.....	8-9
	テーププレイヤーを使い切った時には繰り返し.....	8-9
	オブジェクトスナップで自動ポイント式を利用.....	8-10
	プリファレンスの保存.....	8-10
8.5	シミュレーションの記録.....	8-10
	記録時のメモリ要求事項.....	8-11
	記録できる範囲を超えてシミュレーションを実行.....	8-11
	既存のシミュレーションの設定を新しいシミュレーションに使用.....	8-12
8.6	スクリプトの実行.....	8-13
	Working Model 2D メニューにスクリプトやツールを追加.....	8-13
	スクリプトの作成と編集.....	8-14
8.7	シミュレーションのモード.....	8-14
	編集モード.....	8-14
	実行モード.....	8-15
8.8	参照フレーム.....	8-16
	参照フレームの使用.....	8-16
	参照フレームの削除.....	8-18
	系の重心からシミュレーションを表示.....	8-19
8.9	追跡.....	8-19
	選択されたオブジェクトだけを追跡.....	8-20
	複数の軌跡を表示してシミュレーションを実行.....	8-20
8.10	シミュレーションの保存.....	8-23
8.11	シミュレーションの印刷.....	8-24
	印刷.....	8-24
8.12	追跡されたフレームの印刷.....	8-26
8.13	内部処理についての簡単な説明.....	8-26
	タイムステップ.....	8-26
	シミュレーションの精度.....	8-28
	ワーニングとその対応策.....	8-28
8.14	シミュレーションの便利なヒント.....	8-30
	シミュレーションをより速く実行する.....	8-30
	矛盾する初期速度を回避.....	8-30
	特定のフレームでスピードが低下するシミュレーション.....	8-30
	シミュレーションの時間をコントロール.....	8-31
	監視なしでシミュレーションを実行.....	8-31
	衝突を最小限にする.....	8-33
	オブジェクトの食い込みの防止.....	8-33
	非弾性衝突の後で離れるオブジェクト.....	8-34
	頑強な衝突のために固定ジョイントを使用.....	8-34

第 9 章

ファイルとデータのインポートとエクスポート..... 9-1

9.1	使用できるエクスポート / インポートのオプション.....	9-1
-----	--------------------------------	-----

	エクスポート.....	9-1
	インポート.....	9-2
9.2	エクスポートするデータ形式を選択	9-2
9.3	エクスポートの操作手順	9-3
9.4	CAD 形状を DXF ファイルでインポート	9-4
	DXF ファイルを Working Model 2D に取り込む	9-4
	DXF ファイルのインポート.....	9-7
	DXF ファイルのインポートについての重要事項	9-7
	ラインを物理的オブジェクトに変換.....	9-8
	ボディにポイントとスロットを配置.....	9-10
9.5	DXF ファイルのエクスポート	9-13
9.6	メーターデータをファイルにエクスポート	9-14
	メーターからデータをコピーして貼り付け.....	9-15
	メーターデータをコントロールオブジェクトに読み込ませる	9-16
9.7	Video for Windows をエクスポート.....	9-16
	エクスポートオプション.....	9-17
	ビデオ圧縮オプションの変更.....	9-19
9.8	別のアプリケーションから Working Model 2D を制御.....	9-19
9.9	外部アプリケーションとリアルタイムでデータ交換	9-20
	DDE を使ったデータ交換	9-21

第 10 章

式の使用..... 10-1

10.1	式の単位	10-1
	Working Model 2D の単位変換方法	10-2
10.2	コントロールをオブジェクトにリンク	10-4
10.3	オブジェクトのカスタマイズ	10-6
	算術式.....	10-6
	条件式.....	10-7
	拘束のオンとオフの設定	10-7
	ボディの形状を基準に拘束を配置.....	10-8
	モーターとアクチュエータのカスタマイズ.....	10-8
10.4	力場の定義	10-9
	ボディ依存力場の定義.....	10-10
	ボディのペアに作用するフィールド.....	10-11
10.5	メーターのカスタマイズ	10-11
10.6	位置によってボディの経路を指定	10-12
10.7	ボディの経路を速度で指定	10-13
10.8	参照ポイントの定義	10-14
10.9	メーターを式の変数として使用	10-17

追記 A

技術情報..... A-1

A.1	メモリを最大限に活用	A-1
	Working Model 2D に利用できるメモリの増加	A-1

A.2	速度性能の最適化	A-1
A.3	数値解法	A-3
A.4	タイムステップと性能	A-5
	適正なタイムステップの選択	A-5
	可変タイムステップ	A-6
A.5	Working Model 2D の誤差制限方法	A-7
	相対許容誤差	A-7
	絶対許容誤差	A-8
	許容誤差	A-9
	シミュレーションの許容誤差の選択	A-9
A.6	シミュレーション精度ダイアログとシミュレーションパラメータ	A-11
	積分プログラム	A-12
	アニメーションステップ	A-14
	積分誤差	A-14
	積分タイムステップ	A-14
	シミュレーション誤差許容値	A-15
	ワーニング	A-16
A.7	衝突のシミュレーション	A-17
	Working Model 2D の衝突のシミュレーションの方法	A-17
	衝突力の計算	A-18
	メーターの衝突力	A-20
A.8	シミュレーションの精度	A-20
	シミュレーションの不安定動作を防止	A-20
	高精度シミュレーションのために	A-21
	エネルギーを取得する系	A-22
	精度と系の特性	A-22
	位置フィールドに $1e-19$ のような数値が現われる理由	A-22
	SI 系以外でのメーターデータの精度	A-22
A.9	技術情報	A-23
	数値解法について	A-23
	機構について	A-24

追記 B

	式言語リファレンス	B-1
B.1	式について	B-1
B.2	数値表記法	B-1
	指数	B-2
	角度測定単位	B-2
B.3	識別子	B-2
B.4	フィールド	B-3
	ベクトルフィールド	B-5
	ボディフィールド	B-6
	ポイントフィールド	B-7
	拘束フィールド	B-8
	出力フィールド	B-9

B.5	演算子	B-9
	数値演算子	B-9
	演算子優先度	B-12
	ベクトル演算子	B-13
B.6	関数	B-15
	関数一覧	B-15
	シミュレーション関数	B-20
B.7	予約値	B-22
	変数	B-22
	定数	B-23

追記 C

実用的な情報およびショートカット..... C-1

C.1	修正キーの使い方	C-1
C.2	キーボードのショートカット	C-2
C.3	Working Model 2D の実用的な使用法	C-3
	完璧なモデルの構築とデバッグ	C-3
	特性の自動化の利点	C-3
	接続されている要素の選択	C-4
	複雑な要素を構築する固定ジョイントの使用	C-4
	要素の設定	C-4
	ボディの端へのポイントの直接配置	C-5
C.4	トラブルシューティング	C-5
	固定ジョイントに掛かっている力が 0 を測定する	C-5
	DXF ファイルのポイントがすべて背景に配置される	C-5
	インポートした図面が奇妙に見える	C-5
	ボディ要素の内側のポイントを選べない	C-6
	ポイント、拘束、コントロールまたはメーターがドラッグ不可能	C-6
	選んでいるのに強調して表示されないポイント	C-6

追記 D

スクリプト..... D-1

D.1	Flexbeam スクリプト	D-1
D.2	Shear Force and Bending Moment スクリプト	D-8
D.3	Optimize スクリプト	D-13
D.4	Create Constraint スクリプト	D-13
D.5	Document Model スクリプト	D-13
D.6	Zoom to Extent スクリプト	D-13
D.7	Measure Between Points スクリプト	D-14
D.8	Flip Polygon スクリプト	D-14
D.9	Pin Friction スクリプト	D-14
D.10	Slot Friction スクリプト	D-14
D.11	Slot Damping スクリプト	D-14

追記 E

新しい機能..... E-1

E.1	スクリプトボタン	E-1
-----	----------------	-----

E.2	回転する画像	E-2
E.3	透明または長方形以外の画像	E-5
E.4	テキストオブジェクトの明示と隠蔽	E-6
索引		I

はじめに

MSC.Working Model 2D とは

MSC.Working Model 2D (以下、Working Model) は高度な運動シミュレーション技術と洗練された編集機能を組み合わせた、工学およびアニメーションシミュレーションのための優れたプロフェッショナルツールです。ダイナミックシミュレーションエンジンがコンピュータ上で実世界ニュートン力学をモデル化し、シンプルでパワフルなグラフィックスによるユーザーインターフェースを使ってさまざまな工学デザインやシナリオを簡単に試行することができます。

操作の概念

シミュレーションを行うには、Working Model の描画ツールを使用するか、.DXF ファイルから CAD 形状をインポートして、本体を拘束（モータ、ばね、ジョイントなど）で連結します。「実行」をクリックするとシミュレーションが開始します。

Working Model ではスライダや Excel、MATLAB を使って機械的設計を改良したり、オブジェクトのプロパティを制御することができます。メーターはグラフや横棒図表、数値によって表示することができます。

シミュレーションエンジン

Working Model のシミュレーションエンジンは、最新の数値解析技術を使って、インタラクトする物体の動きを正確に高速に計算します。このエンジンは複雑なシステムも構築することができ、さまざまな制約条件や力学条件下における運動を計算することが可能です。ばねやプーリー、ジョイントといったユーザー設定の制約条件以外にも、衝撃、重力、空気抵抗、静電気といった実世界レベルのインタラクションもシミュレートできる機能があります。積分タイムステップから摩擦係数、反発係数まで、ユーザーがシミュレーションのあらゆる側面を調節できるようになっています。

Working Model Basic による 実行スクリプト

Working Model には Working Model Basic というスクリプトシステムが搭載されています。WM Basic は Microsoft Visual Basic によく似たプログラミング言語で、Working Model の機能を拡張するのに使用します。

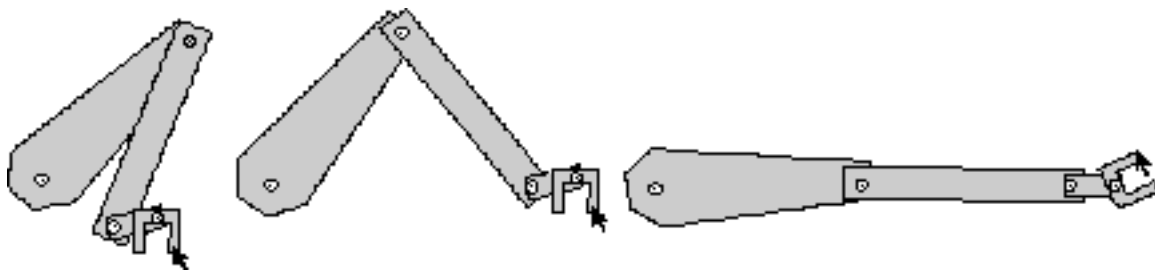
たとえば、本体と拘束を作成し、修正し、接続するというスクリプトを作成すると、夜中に反復シミュレーションを実行しておき、後でデータファイルをエクスポートしてチェックするといったことができます。またカスタムダイアログボックスを作って新規のシミュレーション環境を作成したり、サードパーティのベンダーが供給するスクリプトを実行して Working Model のメニューに追加したりすることもできます。

スクリプトを実行するには、スクリプトメニューを選択して、その中から実行するスクリプトを選択します。付録 D に各種の便利なスクリプトについての情報を記載しました。

操作方法と言語については『Working Model Basic User's Manual』を参照してください。

スマートエディタ

スマートエディタは、ユーザーインターフェースの中核となる部分で、オブジェクト間の結合と拘束の変化を記録します。何らかの仕組みを作る場合、ユーザーは、画面上に部品を描き、各部品がどこでどのように結合されるかを示します。スマートエディタは、この仕組みの各部品の基本的な結合やそのジョイント部を維持したままの状態、回転させたりドラッグすることができます。通常のクリックとドラッグの操作でオブジェクトの位置を決めることや、ダイアログボックスで正確な座標位置を使って決めることも可能です。いずれの場合でも、スマートエディタを使用すれば結合部が崩れたりボディが伸びたりすることは一切ありません。



スマートエディタを使って、ピボットジョイント（車軸関節）で結合した部品で構成されるロボットアームの位置決めを正確に行うことができます。ハンドをクリック／ドラッグすれば、アームを好きな位置へ伸ばせます。

ポイント／形状を基本とする パラメトリック

Working Model は、ポイントベースのパラメトリックモデリングとジオメトリベースのパラメトリックモデリングを統合することで、さらに柔軟性を高めています。ボディの形状に基づいて拘束の位置を指定できる

ため、ボディに変更を加えてもその相対的な位置を固定させておくことができます。たとえば、多角形体の 1 つの頂点にピンジョイントを配置させた場合を考えます。配置した後でこの多角形体の形状やサイズを変更しても、ピンジョイントは最初に配置した頂点に留まります。

また、あるボディの形状を利用して、別のボディの形状寸法を指定することができます。この特性を利用すれば、たとえば 4 本のバーのリンクを設計する際に、クランクの結合部の長さをカブラーの結合部の寸法をベースにして設計することができます。カブラーの結合部のサイズを変更すると、設計仕様に基づいてクランクの結合部も自動的にサイズが変更されます。

オブジェクトスナップ機能

Working Model には、CAD のアプリケーションに通常備わっている自動スナップ機能があります。本体と拘束を作成する際に、マウスポインタが本体のジオメトリ上にある、設定された特定の位置に正確にはまるため（スナップ機能）オブジェクトの作成時に正確な配置が可能となります。

オブジェクトの即時変更機能

Working Model のさまざまなオブジェクトの形状や位置は、希望するプロパティを直接スクリーンに入力することで、即座に変更することができます。変更したいオブジェクトを選択するだけで、Working Model がパラメータリスト（本体の幅、高さ、位置など）を表示するので、その場で正確な数値を入れて修正することができ、すぐにその変更が反映されます。

アプリケーション間の通信機能

Working Model は、シミュレーション時に他のアプリケーションとの通信に DDE を使っています。ユーザーは、実物の機械設計モデルを指定し、それを外部から他のプログラムを通じて制御することができます。たとえば、Microsoft Excel のワークシートを使って外部の制御システムを設計することができます。Working Model は、シミュレーションの進行中にデータをワークシートへ送信したり、ワークシートから制御シグナルを受信することができます。

さらに、他のアプリケーションがスクリプトコマンドを（WM Basic を使って）Working Model へ送信することもできます。外部のアプリケーションは、DDE のいくつかの基本的な特徴をサポートしているかぎり、Working Model へコマンドを送信したり、Working Model の全プログラムを呼び出すことができます。

Working Model は膨大な数の数値演算機能を備えていますが、他のアプリケーションのさらに高度な機能を実行して Working Model のシミュレーションにリンクさせることができます。

静データ/動データのエクスポート

Working Model は、DXF ファイル形式でよく使われているほとんどの CAD プログラムと形状データを交換できます。シミュレーションの数値データを計量データとしてファイルにエクスポートすることが可能です。また、Video for Windows (AVI ファイル) エクスポートをサポートしています。

Working Model は、現実の動力学に従って動く物体間の相互作用を高精度でモデル化するので、従来にない現実感のある動画を作成するツールとして選ばれています。

入出力ツール

リアルタイムの入力ツールとしては、スライダ、ボタン、テキストフィールドなど、出力ツールとしては、グラフ、デジタル表示、棒グラフ表示などがあります。

メニューボタン

Working Model のメニューコマンドを実行するために、実行やリセット、停止などのボタンを作成することができます。初めて使用する人のために、ボタンを使用することで作成済みのシミュレーションを簡便化できます。また、Working Model の文書を作成するときにも利用でき、クリック 1 つで次の文書に移ることができます。

テキストツール

ユーザーのコンピュータにあるフォント、サイズ、テキストスタイルを使ってシミュレーションの注釈を直接、作業域に書き込むことができます。

動グラフィック

ペイントや描画プログラムを使って作成した図を、作業域に直接貼り付けたり、オブジェクトにリンクさせることができます。たとえば、円形オブジェクトを作成して野球ボールの絵をそこに貼り付けることができます。

独自仕様のグローバルフォース

計算式を準備すれば、惑星の重力、地球の重力、静電気、空気抵抗 (速度や平方速度に対するもの)、あるいはユーザー独自に特別設計したグローバルフォースをシミュレートすることができます。たとえば、磁場、風、ブラウン管電子銃場を作成することができます。

広範なグラフィック特性	オブジェクトの表示や非表示、様々なパターンやカラーによるオブジェクトの色柄付け、静電気表示（+または-）、オブジェクトの外枠の太さの選択、オブジェクト名の表示、ベクトル表示などが可能です。
多参照フレーム	ボディ本体やポイントを参照フレームとして、複数のシミュレーションを表示することができます。
各種単位に対応	キログラムやメートル、ラジアンなどの標準メートル法、ヤードやフィート、インチ、度、秒、ポンドなどの標準英国単位、その他の単位（光年など）から選択することができます。
式言語	Working Model では、演算表現（条件文を含む）を作成する言語システムが Microsoft Excel や Lotus 1-2-3 で使用されている式言語と非常によく似ています。値はすべて数字ではなく式で表されます。ロケットをシミュレートする場合、その質量に対する公式を書くと、燃料が消費されるとともにその質量が減少します。三角関数を使えば、振動を誘発する作動装置が作り出す力をシミュレートする式を書くことができます。
メニューの少ないプレイアドキュメント	プレイヤモードにすると、メニューバーが少ないウィンドウとなり、ツールバーもないので、シミュレーションを表示するスペースが広くなります。メニューコマンドでプレイヤモードか通常のエディットモードかの選択、切り替えが可能です。プレイアドキュメントは Working Model のモデリングに慣れていない人に役立つ機能です。
カスタムトラッキング	すべてのオブジェクトをトラッキング（履歴の記録）したり、指定したオブジェクトのみに限定してトラッキングを行うことができます。個々のオブジェクトは、アウトライン、質量中心、あるいはベクトル表示で記録しておくことができます。また、記録をラインと結びつけることも可能です。
オブジェクトレイヤリング	シミュレーションは2つのレイヤ（層）で構成されます。1つはメーターなどのユーザーオブジェクトで、もう1つはボディ本体や拘束などの物理的オブジェクトです。どのオブジェクトが衝突するかを完全にコントロールすることができます。
ベクトル表示	Working Model は、速度、加速度、力を示すためのあらゆるベクトル表示が可能です。ベクトルでは、2つのオブジェクトが衝突する際の静電気力や惑星の力を多接点で表示することが可能です。ベクトルは、様々な色と書式で表示できます。

時間節約の履歴ファイル

複雑な、あるいは時間のかかるシミュレーションを終夜計算して記録し、再生を行うことができます。またシミュレーション全体をディスクに保存することもできます。

一時停止制御

シミュレーションを自動的に停止、一時停止させることができます。たとえば、一時停止条件で、「time > 2.」という式を入力すれば、2 秒経過したときにシミュレーションを一時停止させる設定となります。また、シミュレーションをループにしたりリセットすることも可能です。

コントロール

あらゆる時点で力や拘束を加えることができます。たとえば、オブジェクトに 1 秒間の拘束力を加える、オブジェクトの速度が 10 を越えたときに力を加える、などの指定が可能です。

オブジェクト数は無制限

ユーザーのコンピュータのメモリの限度までオブジェクト(ボディ本体、拘束、メーターなど)を作成することができます。

本マニュアルについて

本マニュアルには、Working Model プログラムを使用し、Windows システムで独自のシミュレーションを作成、実行するために必要なすべての情報が記載されています。

本ガイドの各章と付録の内容は、以下のとおりです。

- 第 1 章「ガイドツアー」では、シミュレーションの作成と実行を説明します。
- 第 2 章「ツールとメニューのガイド」では、各ツールとメニューについて説明します。
- 第 3 章「ボディ」では、本体の作成と変更の方法について説明します。
- 第 4 章「拘束」では、ボディ間の相互作用を決定する拘束の作成と変更の方法について説明します。
- 第 5 章「スマートエディタ」では、スマートエディタを使ってボディと拘束の複雑なアセンブリを作成、変更する方法について説明します。
- 第 6 章「ワークスペース」では、Workspace のオプションについて説明します。
- 第 7 章「シミュレーションインターフェース」では、シミュレーションで利用できる各種のコントロールやメーターについて説明します。
- 第 8 章「シミュレーションの実行」では、シミュレーションの実行と再生の方法、オブジェクトのトラッキング(履歴記録)、シミュレーションの印刷について説明します。

- 第9章「ファイルとデータのインポートとエクスポート」では、Working Model で他のアプリケーションと対話する方法について説明します。
- 第10章「式の使用」では、式の使用方法を説明します。
- 付録A「技術情報」では、Working Model の基本的な動作原理について説明します。
- 付録B「式言語リファレンス」では Working Model の式言語について記述します。
- 付録C「実用的な情報およびショートカット」では、キーボードコマンドやショートカットを紹介します。
- 付録D「スクリプト」
- 付録E「新しい機能」

第 1 章

ガイドツアー

この章では次のことがらを学びます。

- Working Model 2D の起動
- プログラムに添付されたサンプルシミュレーションドキュメントを開いて実行
- 新しいシミュレーションドキュメントの作成
- 円を作成して初期速度を設定
- シミュレーションの実行
- 速度メーターの表示
- ベクトルの表示
- シミュレーションを実行しながら円を追跡
- 複雑なリンクを作成して編集
- コントロールとアクションボタンの作成
- シミュレーションの保存

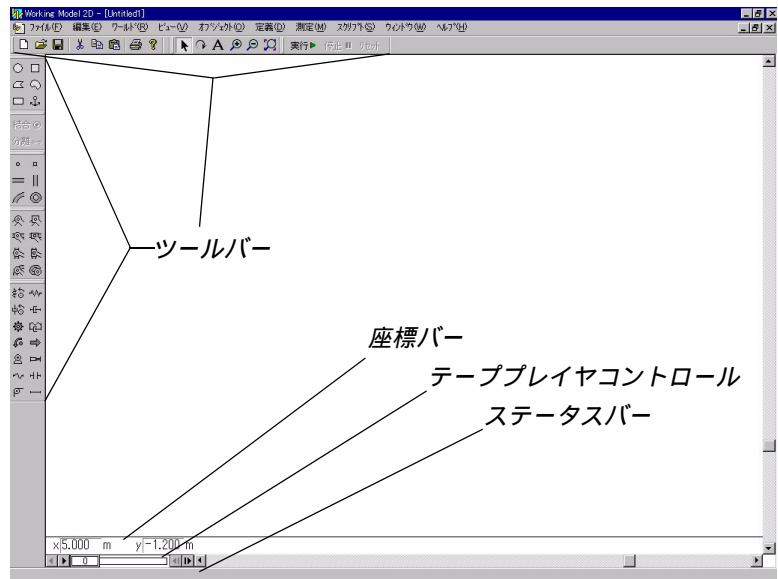
1.1 Working Model 2D の起動

システムにまだ Working Model 2D をインストールしていない場合は、このマニュアルに添付された「基本的な事項」に記載されたインストールの手順を参照してください。

1. Working Model 2D アイコンをダブルクリックしてプログラムを開始します。

Working Model 2D がスタートして、新しい名称未設定のウィンドウが開きます。このときの画面は図 1-1 のようになっています。

図 1-1
名称未設定の Working Model
2D ウィンドウ



ウィンドウ内に新しい名称未設定のシミュレーションドキュメントが表示されます。ウィンドウの下側には座標バーとテーププレイヤーコントロールが表示されます。

ツールバーにはシミュレーションを作成するためのツールがあります。ツールは、ボディ、ばね、ロープ、力などのさまざまなオブジェクトを作成するのに使用します。ツールバーにはまた、シミュレーションを実行したり、リセットするためのボタンもあります。

座標バーにはマウスカーソルの位置やオブジェクトの配置や寸法など、便利な情報が表示されます。表示モードはその状況に応じて変わり、Working Model 2D を操作している間、ニーズに合わせてすばやく変化します。座標バーに直接情報を入力してオブジェクトのパラメータを編集することもできます。

テーププレイヤーを使用するとシミュレーションの実行や表示をよりフレキシブルに行うことができます。テーププレイヤーコントロールを使うと、シミュレーションをステップごとに再生したり、逆方向に再生したり、シミュレーション中の特定の時間に移動して再生することができます。

ステータスバーはマウスカーソルの位置にあるツールやオブジェクトの簡潔な説明を表示します。説明は一番下に表示されます。

1.2 新規シミュレーションを作成する手順

このクイックステップでは、Working Model 2D を使ってシミュレーションを作成し、実行する方法をおおまかに説明します。設定するシミュレーションのタイプによってステップは異なります。シミュレーションを作成して実行するための基本的なステップは次のとおりです。

1. ファイルメニューから新規作成を選択して、新しいドキュメントを開きます。
2. ボディと拘束を描いて配置します。

ペイントや描画プログラムと同じように、ツールバーを使ってオブジェクトを描きます。
3. オブジェクトをダブルクリックして、初期設定（速度、摩擦係数、弾性など）を表示・編集します。
4. 測定メニューから、シミュレーション中にシミュレーション情報を表示するメーターやグラフを選択します。
5. ツールバーの実行ボタンをクリックします。
6. ファイルメニューの保存を選択してシミュレーションを保存します。

1.3 サンプルシミュレーションの実行

この練習では、プログラムに入っているサンプルのシミュレーションドキュメントを開いて実行します。

1. ファイルメニューから開く ... を選択します。

開くダイアログが表示されます。
2. 開くダイアログで、いずれかのサンプルフォルダ（Working Model 2D フォルダにある）をダブルクリックします。

デモンストレーションフォルダの内容が表示されます。
3. いずれかのデモンストレーションを選択してクリックします。その後、開くボタンをクリックします。
4. ツールバーの実行ボタンをクリックします。

シミュレーションが実行されます。

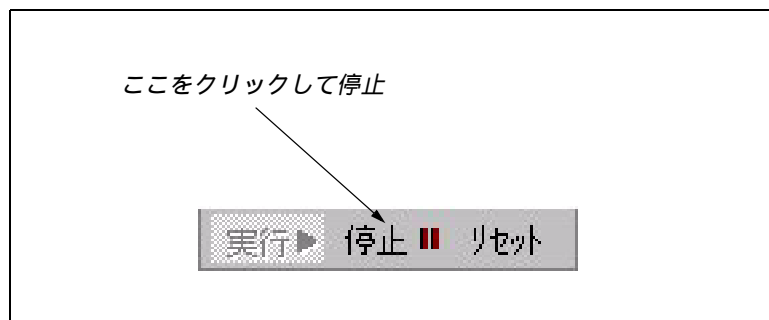
図 1-2
実行ボタン



5. シミュレーションを停止するには、ウィンドウの背景でマウスボタンをクリックするか、ツールバーの停止をクリックします。

シミュレーションを見終わったら、他のシミュレーションにメモリを割り当てるため、終了したシミュレーションを閉じてください。

図 1-3
シミュレーションの停止



6. ファイルメニューから閉じるを選択して、シミュレーションウィンドウを閉じます。

閉じる前に変更を保存するかどうかをたずねるダイアログが表示されません。

7. ダイアログボックスでいいえをクリックします。

他のデモンストレーションシミュレーションを表示するには、上のステップ 1 から 7 までを繰り返してください。Working Model 2D のセッションを終了するには、ファイルメニューから終了を選択してください。

1.4 簡単なシミュレーションの設定

この練習では、ツールバーのツールを使って簡単なシミュレーションを作成します。弾丸をあらわす円を描き、初期速度を設定し、シミュレーションを実行して弾丸が動くのを見ます。

新しいドキュメントを開く

現在開いているシミュレーションドキュメントがある場合は、新しいドキュメントを作成する前に閉じてください。

1. ファイルメニューから新規作成を選択します。

ウィンドウに新しい名称未設定のドキュメントが表示されます。

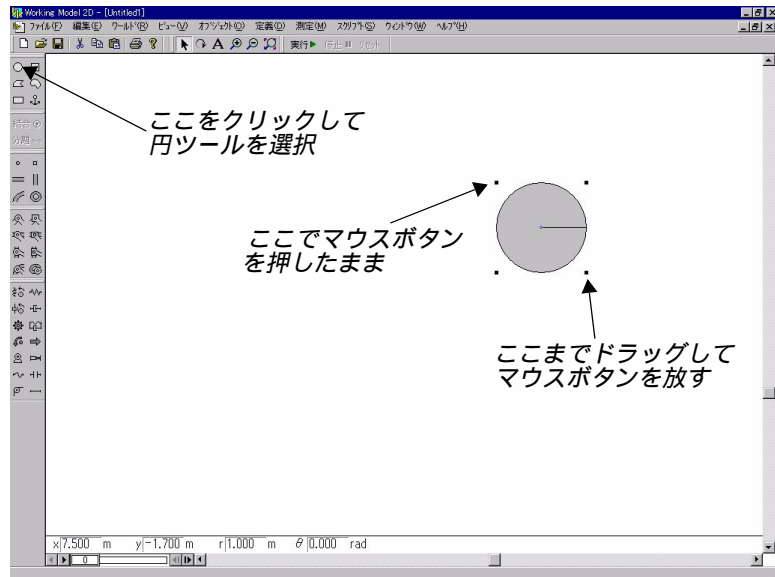
次にボディとなる円を作成します。

円の作成

ツールバーにはシミュレーションを設定するためのさまざまなツールがあります。ツールを選択するには、ツールバーのアイコンをクリックしてください。

次のようにして円を作成します（図 1-4 を参照）。

図 1-4
円の作成



1. 円ツールをクリックします。
2. 画面の空白部分で、開始ポイントにポイントを合わせます。

ポイントが矢印からクロスカーソルに変わります。これでオブジェクトを作成することができます。

3. マウスボタンをクリックして押したままにし、ドラッグして円の大きさを決めます。マウスボタンを放します。

円の内側にラインが表示されます。アニメーションのシーケンス中、このラインが円の回転方向を表示します。

別の円の作成方法

別の方法でも円を作成することができます。CAD アプリケーションに慣れている場合、次のような方法で円を作成することもできます。



1. 円ツールをクリックします。
2. 画面の空白部分で、開始ポイントにポイントを合わせます。
3. マウスボタンをクリックして放します。マウスをドラッグします。

円の大きさが変わります。

4. マウスをドラッグして、円の大きさを決めます。
5. マウスボタンをクリックします。

円の大きさの変更

円の大きさを変えるには、次の2つの方法があります。

- コーナーを1つ選択して、ドラッグします。
- 座標バーに直接半径を入力します。

マウスを使ってオブジェクトの大きさを変更

次のようにして、ドラッグして円の大きさを変えます。

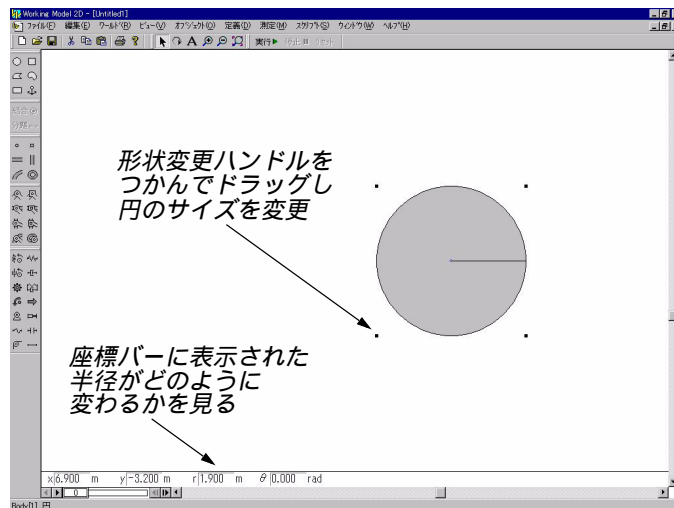
1. 円をクリックして選択します。

図 1-4 のような4つの形状変更ハンドル(小さな黒い四角)が円の周りに表示されます。

2. マウスボタンで形状変更ハンドルの1つをつかんでドラッグします。

マウスをドラッグすると円の大きさが変わります。座標バーに円の半径(と位置)の変化が表示されます(図 1-5 を参照)。

図 1-5
円の大きさの変更



3. 円の大きさが決まったら、マウスボタンを放します。

座標バーの使用

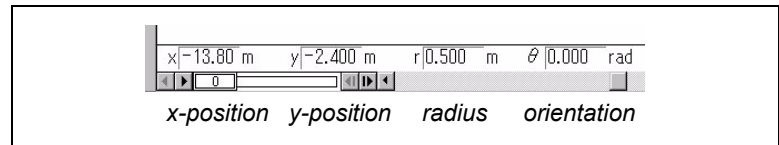
次のようにして、座標バーを使ってオブジェクトの大きさを変えます。

1. 円をクリックして選択します。

座標バーに円の位置（円の中心の位置）と半径および方向が表示されます（図 1-6 を参照）。

2. 座標バーの半径フィールド（「r」と表示）に半径を入力します。

図 1-6
円の座標バー表示

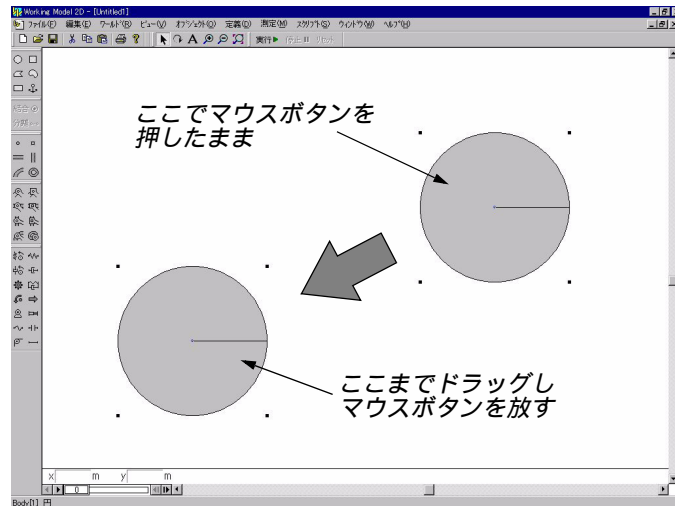


円を開始位置に移動

次のようにして、円をシミュレーションの開始位置に配置します。

1. まだ選択していない場合は、矢印ツールを選択します。
2. 円の内側にポインタを合わせます。
3. マウスボタンを押したまま、図 1-7 のように円を画面の左下にドラッグします。

図 1-7
円のドラッグ



座標バーを使って開始位置を正確に指定することもできます。座標バーの x フィールドと y フィールドに希望の数値を入力してください(図 1-6 を参照)。

初期速度の指定

次のようにして、円の中心の初期速度を指定します。

1. 円をクリックして選択します。

円の周りに四角い点が 4 つ表示されます。

2. ワールドメニューからプリファレンス ... を選択します。

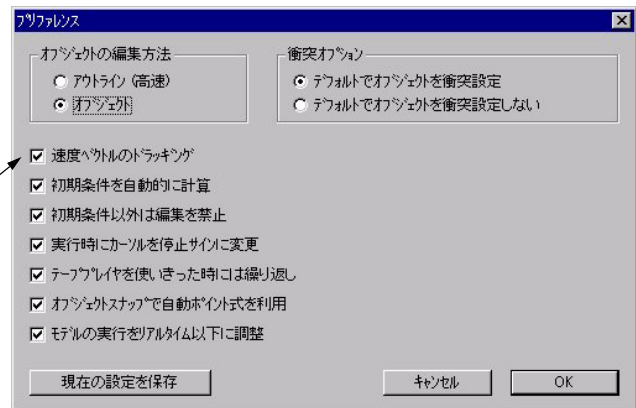
プリファレンスダイアログが表示されます(図 1-8 を参照)。このダイアログを使ってプリファレンスを修正し、すべての新規ドキュメントに適用されるように保存します。

3. 「速度ベクトルのドラッキング」を選択し、OK をクリックします。

円の中心に新しく丸い点が表示されます。

図 1-8
プリファレンスダイアログ

ここをクリックして
チェックマークが
付いていることを
確認



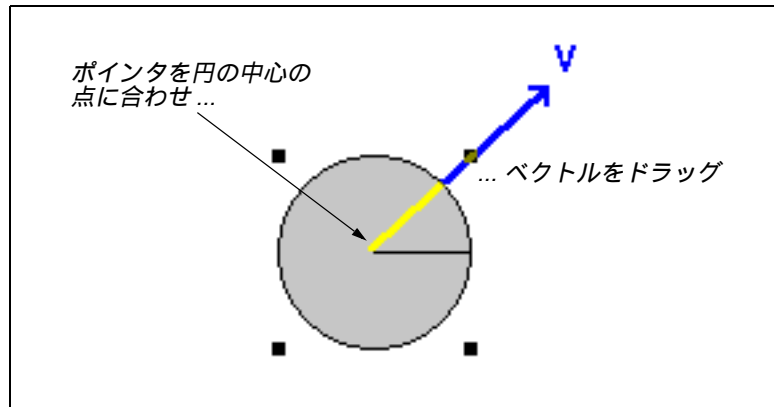
4. ポインタを円の中心の点に合わせ、中心から遠ざかる方向にドラッグして、弾丸の初期速度を指定します(図 1-9 を参照)。

ドラッグするときは、図 1-9 のように矢印を合わせてください。

5. 希望する初期速度になったらマウスボタンを放します。

図 1-9
弾丸の重心の初期速度の指定

矢印は弾丸の重心の初期速度を表します。



6. 矢印の先端をドラッグして速度ベクトルを調節します。

シミュレーションの実行

これでシミュレーションを実行する準備ができました。次のような手順でシミュレーションを実行してください。

実行 ▶

1. ツールバーの実行をクリックします。

初めてのシミュレーションが実行されるのを見てください。新しいドキュメントにはデフォルト設定で地球の重力がかかっているため、円は典型的な弾丸の軌道で移動します。

停止 ||

2. ツールバーの停止ボタンをクリックして、シミュレーションを停止します。

背景を1回クリックしてもシミュレーションを停止することができません。

リセット

3. ツールバーのリセットをクリックして、シミュレーションを初期条件にリセットします。
4. 「初期速度の指定」のステップ3に戻り、別の速度でシミュレーションを実行します。

1.5 シミュレーションのプロパティの測定

Working Model 2D では、速度、加速度、エネルギーなど、さまざまな物理的プロパティをメーターやベクトルを使って測定することができます。

メーターやベクトルは測定する量を視覚的に表示します。メーターには以下のような表示方法があります。

- 数字（デジタル）
- グラフ（プロット）
- レベルインジケータ（棒グラフ）

ベクトルは速度、加速度、および力のプロパティを矢印で表示します。矢印の方向がベクトルの方向を、長さが速度の大きさを表します。

次の練習問題では、弾丸の速度を測定して、さまざまな方法で表示します。最初にデジタルメーターで表示します。次にメーターをグラフに変えてみます。最後に弾丸の速度をアニメーション化されたベクトルで表示します。

速度メーターの作成

次のようにして、弾丸の重心の速度を測定するデジタルメーターを作成します。

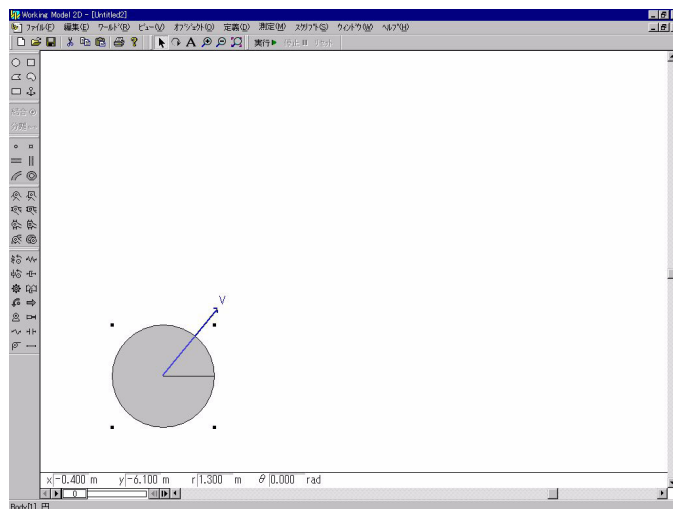
リセット

1. ツールバーのリセットをクリックします。
2. ワークスペースの左下に円をドラッグします。円を選択します。

このとき画面は図 1-10 のようになっているはずです。円を選択すると、4 つの小さな点と速度を表す矢印が表示されます。画面が図 1-10 のようになっていない場合は、前のセクションの手順をもう一度繰り返してください。オブジェクトの作成と初期速度の設定方法がわかっている場合は、円形ボディを 1 個作成して、図 1-10 と同じように初期速度を設定してください。

図 1-10

初期速度を設定した円形弾丸

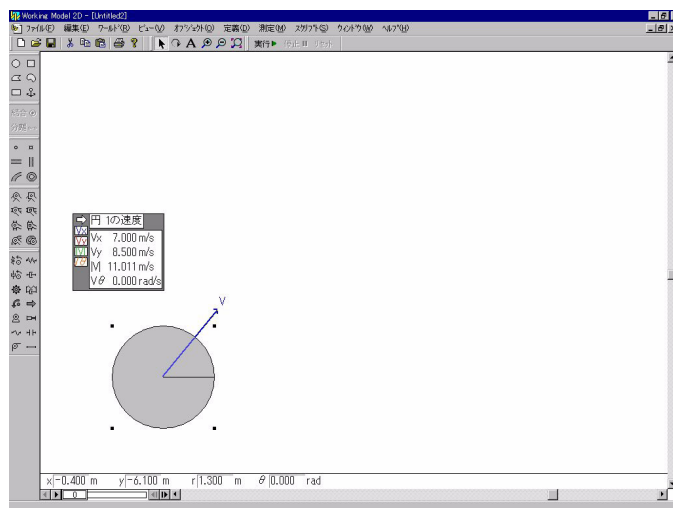


3. 測定メニューから速度を選択し、速度サブメニューからすべてを選択します。

デジタル速度メーターが表示されます (図 1-11)。

図 1-11

速度メーター



4. ツールバーの実行をクリックします。

弾丸が動くのに合わせて、速度メーターで重心の速度をモニタすることができます。

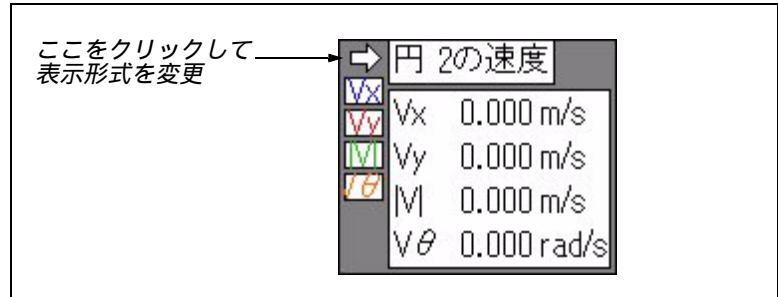
5. ツールバーの停止ボタンをクリックして、シミュレーションを停止します。

メーターの表示方法の変更

デジタルメーターをグラフに変更します。

1. ツールバーのリセットをクリックして、シミュレーションをリセットします。

図 1-12
デジタル表示をグラフ表示に変更



2. メーターの左上にある矢印ボタンをクリックします。

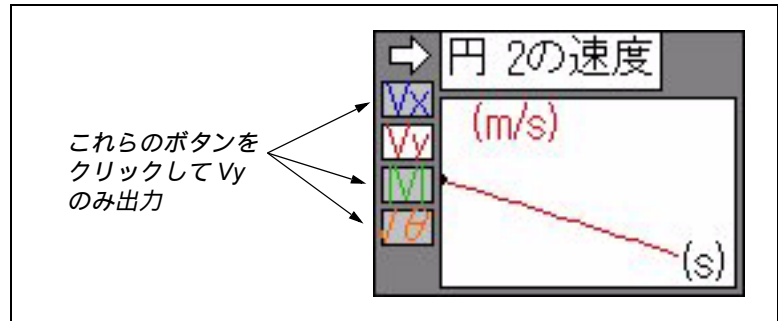
マウスをクリックするたびに、メーターの表示形式がデジタル、グラフ、棒グラフ、デジタル... の順序で変わります。

3. 表示形式をグラフに変えます。
4. メーターの横にあるボタンをクリックして、プロットするプロパティとして「Vy」だけを選択します。

メーターの横にあるボタンをクリックすると、個々のプロパティのプロットングをオンにしたりオフにすることができます。

メーターは図 1-13 のようになっているはずです。

図 1-13
グラフの表示



5. ツールバーの実行をクリックします。

メーターの出力は v_y だけになっています。

6. 停止をクリックしてシミュレーションを停止します。

測定メニューに表示されたすべての量を測定するようにメーターを設定することができます。メーターについて、詳しくは「7.1 メーター」を参照してください。

ベクトルの表示

次のようにして、アニメーション化されたベクトルで弾丸の速度を表示します。

1. 円を選択します。
2. 定義メニューからベクトルを選択します。

ベクトルサブメニューが表示されます。

3. ベクトルメニューから速度を選択します。

ここからは、速度メニューの速度の横にチェックマークが表示され、速度ベクトルが表示されていることを示します。

4. ツールバーの実行をクリックします。

シミュレーションを実行すると、円にベクトルが表示され、重心の速度を表示します。

5. 停止ボタンをクリックして、シミュレーションを停止します。

1.6 追跡

追跡はオブジェクトの位置を一定間隔で記録してオブジェクトの軌道を表示します。

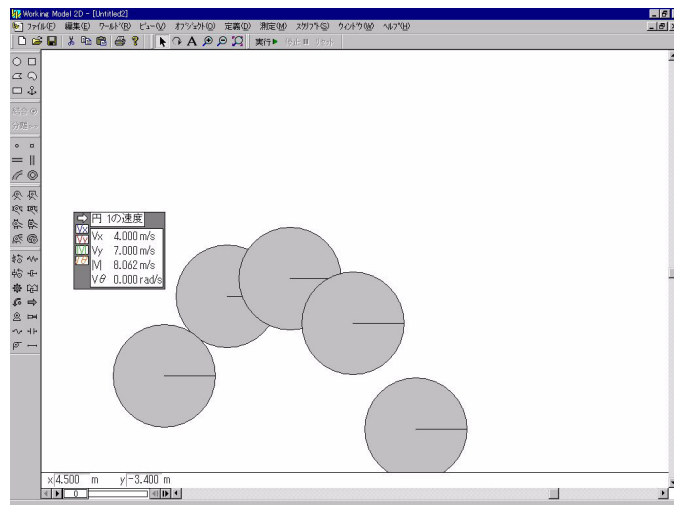
1. シミュレーションを実行した後、まだリセットしていない場合は、ツールバーのリセットをクリックします。
2. ワールドメニューから追跡を選択し、サブメニューから 8 フレームごとを選択します。

シミュレーションを実行すると、8 フレームごとの円の位置が表示されます。

3. ツールバーの実行をクリックします。

弾丸が移動するときの軌道を追跡します (図 1-14 を参照)。

図 1-14
追跡



4. 停止をクリックして、シミュレーションを停止します。

オブジェクトを作成したり編集すると軌跡は削除されます。

ベクトルについて、詳しくは「8.9 追跡」を参照してください。

1.7 シミュレーションの保存

シミュレーションが完了したら、後で再実行したり編集するために保存することができます。

次のようにして、シミュレーションをディスクに保存します。

1. ファイルメニューから上書き保存を選択します。

まだシミュレーションに名前をつけていない場合は、名前を付けて保存 ... ダイアログが表示されます。

2. シミュレーションドキュメントの名前を入力します。その後、保存をクリックします。

シミュレーションドキュメントを保存すると、すべてのダイアログボックスで行った変更が保存されます。

すでにシミュレーションの名前を選択して入力してある場合は、作業を中断せずに、逐次保存することができます。

別の名前でシミュレーションのコピーを保存する場合は、名前を付けて保存 ... コマンドを使ってください。

1.8 スマートエディタ

このチュートリアルでは、Working Model 2D スマートエディタ を使ってメカニズムを作成し、編集します。メカニズムをマウスでドラッグすると、実物のメカニズムのように動かすことができます。スマートエディタは、編集集中に拘束を強化します。

次のようにして、3本のバーで構成されたリンクを構築します。

1. ファイルメニューから新規作成を選択して、新しい Working Model 2D ドキュメントを作成します。

この練習問題を始める前に、すべてのドキュメントを閉じておいてください。

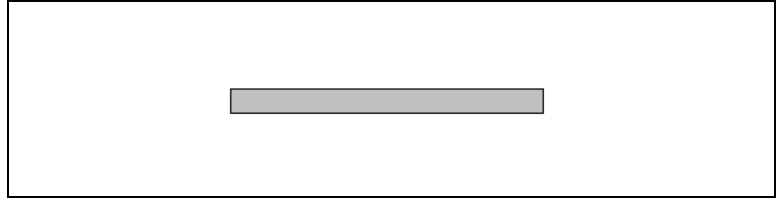
2. ツールバーの長方形ツールをダブルクリックします。

ダブルクリックすると、毎回選択し直さなくても、連続してそのツールを使用することができます。



3. 図 1-15 のような長方形をスケッチします。

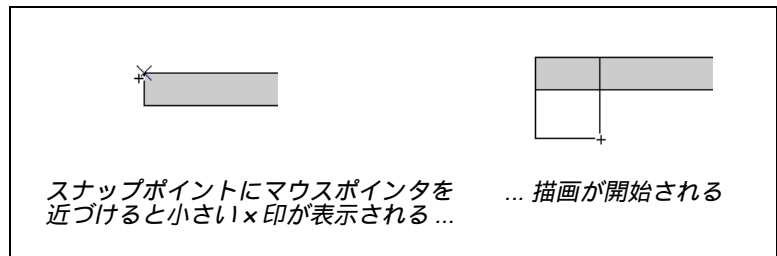
図 1-15
1 個の長方形



4. 横長の長方形の下に縦長の長方形を 2 個スケッチします。

追加の長方形を描いているときに、前の長方形の中心点とコーナーにマウスポインタを近づけると、小さい X 印が表示されます。この印はオブジェクトにスナップ機能がアクティブになっていることを意味します（図 1-16 を参照）。

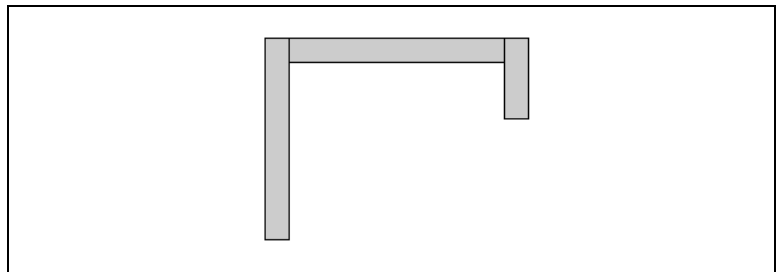
図 1-16
スナップポイントを使った長方形の位置合わせ



スナップポイント記号が表示された状態で長方形を作成すると、描画した図形が自動的にスナップポイントに揃います。図 1-16 のように、既存の長方形にコーナーを合わせて長方形を作成することができます。

縦長の長方形リンクを 2 個描き終わると、画面は図 1-17 のようになります。

図 1-17
4 本バーリンクのレイアウト



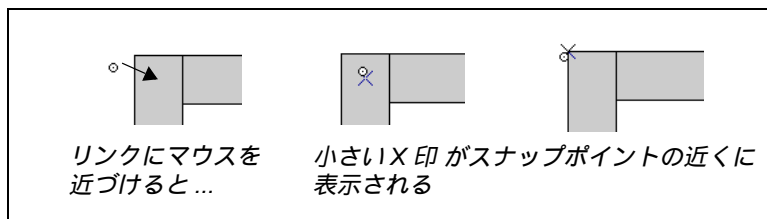
ここでピンジョイントを作成します。ピンジョイントは2個のボディの間のちょうつがいとして機能します。スマートエディタはドラッグ操作中に結合が壊れないようにします。



1. ピンジョイントツールをダブルクリックします。
2. それぞれの結合でマウスを1回ずつクリックして、2個のピンジョイントをスケッチします。可能であれば、いつもスナップポイント（小さいX印で表示）に配置します。

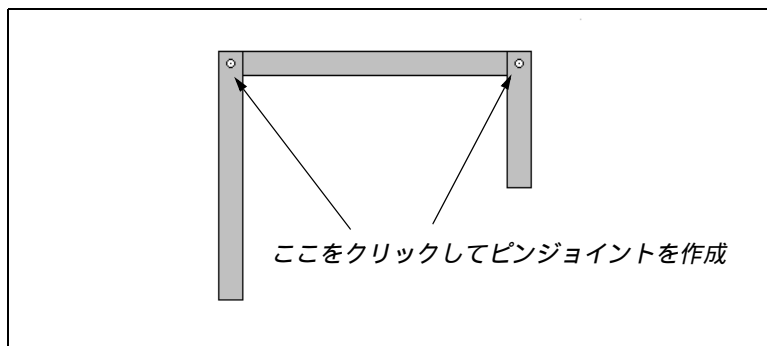
ピンジョイントなどの拘束を配置する場合、オブジェクトをスナップがアクティブになっているのを確認してください。図 1-18 のように、スナップポイントにはリンクの中心やコーナーなどがあります。

図 1-18
スナップポイントを使ったピン
ジョイントの位置合わせ



2つのピンジョイントを作成し終わったとき、画面は図 1-19 のようになっているはずですが。

図 1-19
メカニズムのピンジョイント



ピンジョイントにすると自動的に一番上の2つのボディが結合されます。ピンジョイントの下にボディが1個しかない場合は、ピンジョイントはボディを背景に結合しています。

3. ツールバーの矢印ツールをクリックして選択します。

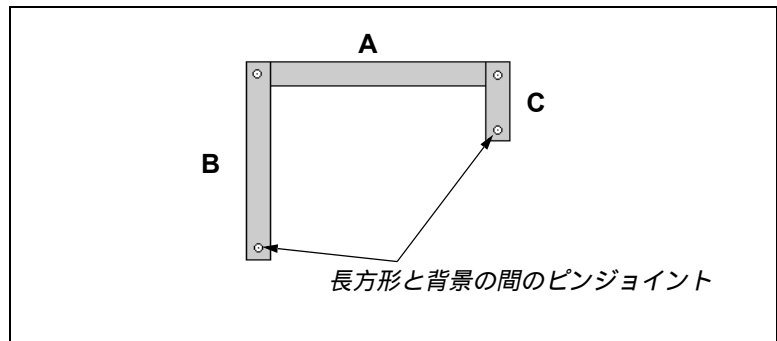
4. いずれかの長方形をドラッグしてみます。

ピンジョイントされているため、3 個の長方形すべてがマウスの動きに合わせて移動します。スマートエディタは結合が分離しないようにします。この場合だと、スマートエディタは 3 個の長方形を一緒にして移動します。

5. 図 1-20 のように、長方形 B と C の底部に新しいピンジョイントを 2 つ追加します。

この 2 つのピンジョイントは長方形を背景に結合します。必要ならスナップポイントを使ってください。

図 1-20
メカニズムを背景にピンジョイント



6. 矢印ツールをクリックします。

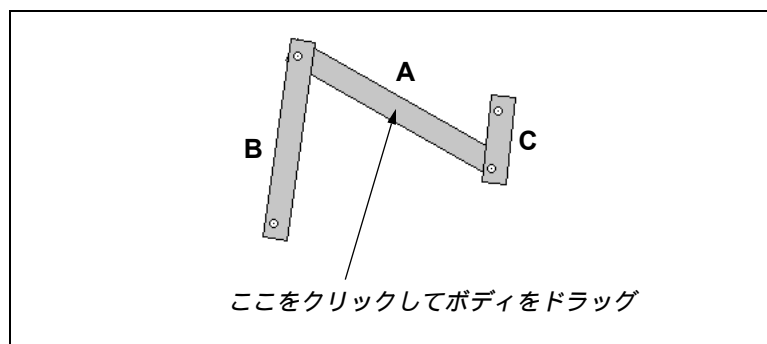
するとピンジョイントツールの選択が解除されます。解除しないと、マウスをクリックするたびにピンジョイントが作成されます。

7. 長方形 A をドラッグします。

結合がピボットして、バーが相互関係を維持しながら一緒に移動します。スマートエディタはピンジョイントが分離しないように確認しながらメカニズムを動かします。



図 1-21
メカニズムのドラッグ



リンク形状の修正

マウスでリンク形状を修正することができます（例、個々のリンクの長さなど）。たとえば左側の垂直リンクのサイズの変更は、次のような手順で行います。

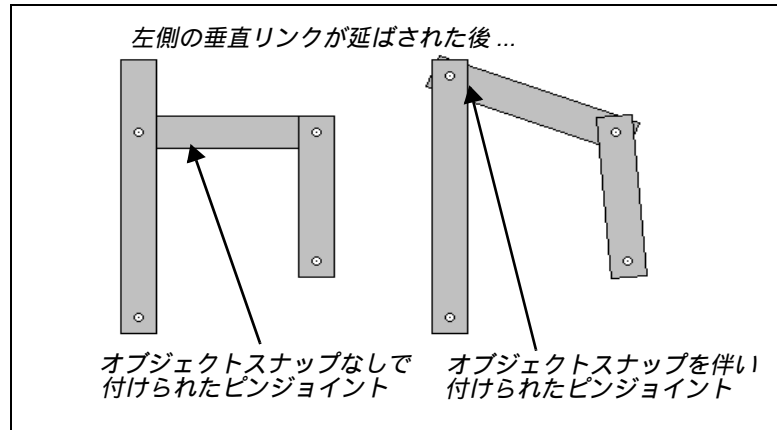
1. 左側の垂直リンクをクリックして選択します。

長方形の四隅に4個の形状変更ハンドルが表示されます。

2. マウスポインタを一番上の形状変更ハンドルに移動して、マウスボタンを押したままにします。マウスボタンをドラッグしてリンクのサイズを変更します。

すべてのピンジョイントをスナップポイントに配置した場合、Working Model 2D は自動的に配置を修正して、垂直リンクの端との相対的位置関係を同じに保ちます。ポイントのスナップポイントに配置しなかった場合、修正は行われません。この2つの場合の比較を図 1-22 に示します。

図 1-22
リンクのサイズとピンジョイント
の位置の変更結果



この違いは Working Model 2D のポイントベースパラメトリックと呼ばれる機能によります。簡単にいうと、オブジェクトをスナップ機能はジョイント配置に関連したボディの形状に基づいてポイントの位置を自動的に設定するという機能にリンクしています。この機能はワールドメニューのプリファレンスダイアログを使ってオン / オフを切り替えることができます。詳しくは「8.4 プリファレンス」を参照してください。

結合と分離

スマートエディタは自動的にメカニズムを組み立てたり分解することができます。各ボディに分離ポイントを残したまま、ピンジョイントを一時的に「分離」することもできます。これらのポイントは別々に編集して、結合コマンドでピンジョイントを再組み立てすることもできます。

1. メカニズムを元の形に復元します。

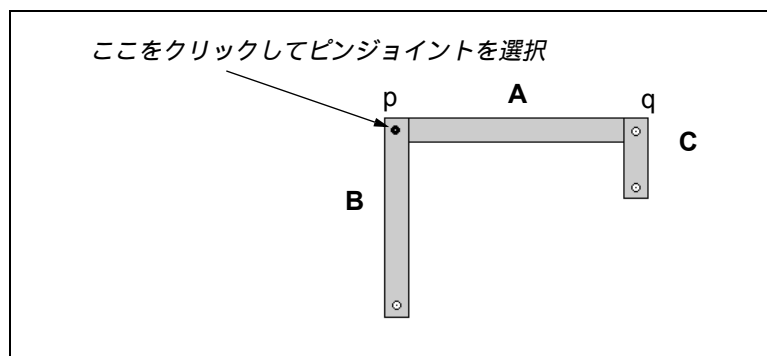
画面は図 1-23 のようになっているはずですが、メカニズムを 1 回だけ形状変更した場合は、編集メニューから元に戻すを選択してください。それ以外の場合は、形状変更ハンドルを使って元の形に戻るまでメカニズムの形状を変えてください。



2. ツールバーの矢印ツールをクリックします。
3. 図 1-23 のように、ピンジョイント p をクリックして選択します。

ピンジョイントは選択すると黒く表示されます。

図 1-23
ピン固定の選択



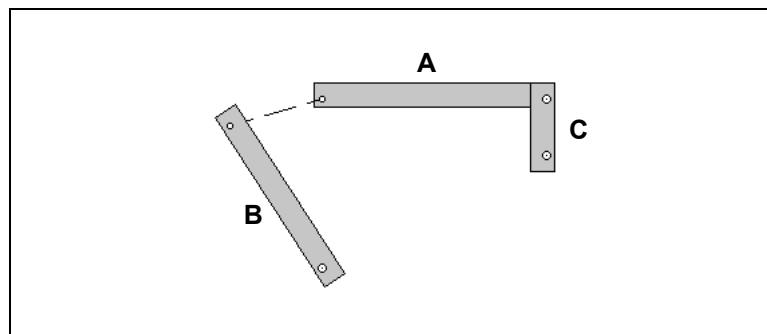
分離 ○○○

4. ツールバーの分離ボタンをクリックします。

ピンジョイントが一時的に「分離」します。この時点では、長方形 B は長方形 A に接続されていないので、マウスで長方形 B をドラッグしても長方形 A は移動しません。

片方の長方形をドラッグしてもう片方の長方形から離すと、ピンジョイント p を構成していた 2 つのポイントは点線でつながって表示されます（一時的に分離していることを示します）。

図 1-24
分離されたピンジョイント



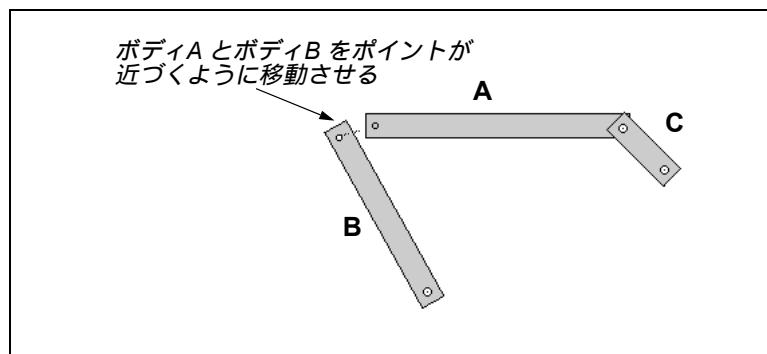
5. その他の長方形をドラッグしてみます。

ピンジョイントは関連する長方形から解除される可能性があるので、ドラッグしないでください。

6. ピンジョイントがほとんど結合された場所に長方形 A と B を移動します。

異なるボディをそれぞれドラッグしてみましょう。画面は図 1-25 のようになっているはずです。

図 1-25
結合の準備



7. 長方形 B をクリックします。

結合ボタンがアクティブになっているのを確認してください。結合ボタンは次のアイテムを選択するとアクティブになります。

- 2つのポイント
- ピンジョイントから分離された2つのポイントのうちの1つ
- ピンジョイントから分離されたポイントを持つボディ

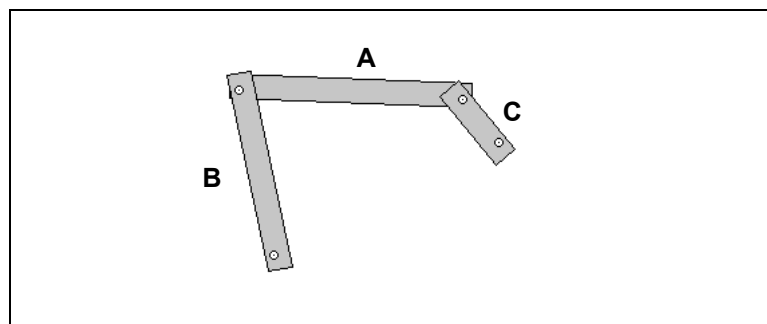
今は、上の一番下の条件に一致するため、結合ボタンがアクティブになっています。



8. ツールバーの結合ボタンをクリックします。

リンクは、必要に応じてコンポーネント部品を移動して重複し、再度組み立てられます。

図 1-26
再結合されたメカニズム



ピンジョイントを構成するポイント間の距離が非常に長い場合、スマートエディタは結合する前にポイントの間の距離を短くするかどうかをたずねます。

高精度数値アセンブリ

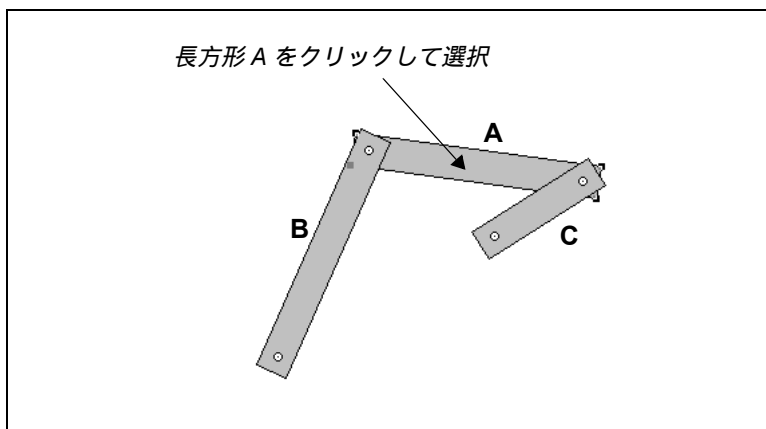
スマートエディタは数値に基づいてメカニズムを組み立てます。ボディやポイント、ジョイントの位置を入力すると、スマートエディタは結合が壊れないかどうかを確認します。スマートエディタは必要に応じて他のボディを移動して、メカニズム中のすべてのジョイントの完全性を維持します。

初期構成の修正

スマートエディタを使ってシミュレーションの初期条件を設定することができます。次の例では、スマートエディタを使ってメカニズムを最初の位置に正確に戻します。

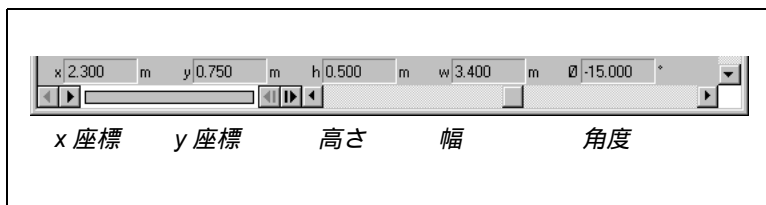
1. 図 1-27 に示すように長方形 A をクリックします。

図 1-27
長方形の選択



座標バーにはすぐに編集できるパラメータが表示されます。

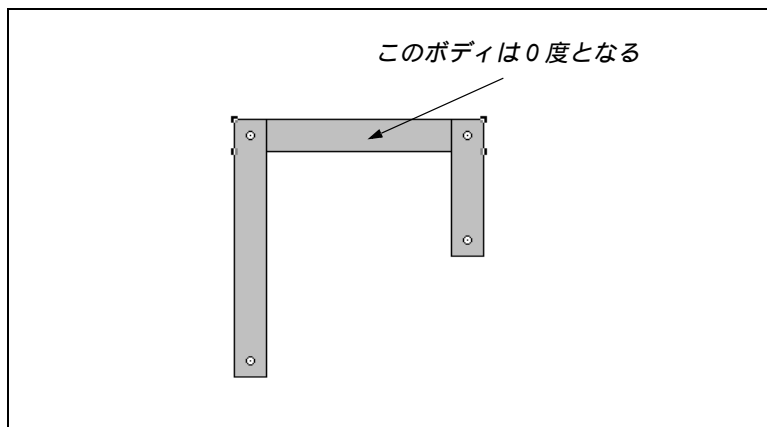
図 1-28
ボディの座標バー



2. 座標バーの角度 () フィールドに値 0 を入力します。
3. Tab キーまたは Enter キーを押します。

長方形は角度が 0.00 の位置に移動します。メカニズムの他のボディも、この条件を満たすように移動します。

図 1-29
数値編集を使った正確な位置合わせ



1.9 コントロールボタンとメニューボタンのついた簡単なシミュレーション

このチュートリアルでは、コントロールとスライドバーでボールをバウンドさせる簡単なシミュレーションを作成します。画面のスライドバーを使って、ボールの速度をコントロールすることができます。またボタンを使って、Working Model 2D を使ったことがない人でも簡単に使えるような簡単なスタンドアロンのシミュレーションを作成します。

モデルの構築

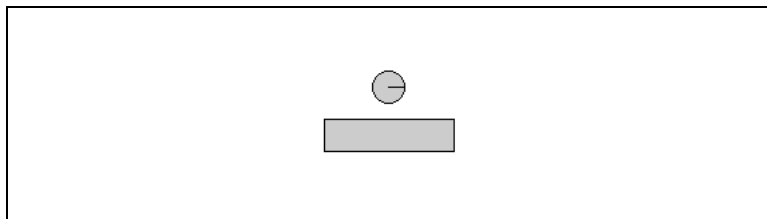
このモデルはボールとテーブルで構成されます。長方形で表されたテーブルは背景に固定されており、円で表されたボールはテーブルの上でバウンドします。

1. ファイルメニューから新規作成を選択して、新しい Working Model 2D ドキュメントを作成します。
2. 円ツールを選択して、ワークスペースの中央に小さい円を作成します。



図 1-30

小さい円と小さい長方形



3. 長方形ツールを選択して、図 1-30 と同じような長方形を作成します。

ツールバーの長方形ツールをクリックして、画面上で長方形を描きます。円と長方形を図 1-30 のように配置してください。



4. ツールバーのアンカーツールを選択します。

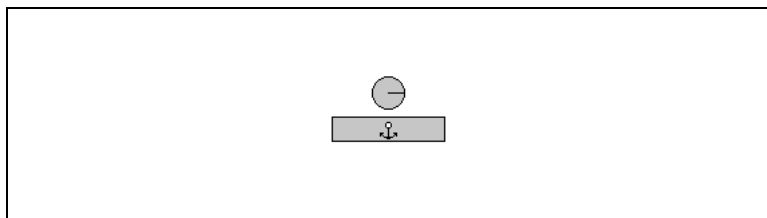
ポインタがアンカーになります。

5. 長方形の上で 1 回クリックします。

長方形の上にアンカーが表示され、長方形がアンカーされて（図 1-31 を参照）シミュレーションを実行しても移動しないことを示します。

図 1-31

アンカーされた長方形



実行 ▶

6. ツールバーの実行をクリックします。

ボールが数回バウンドして、長方形の上で止まります。

リセット

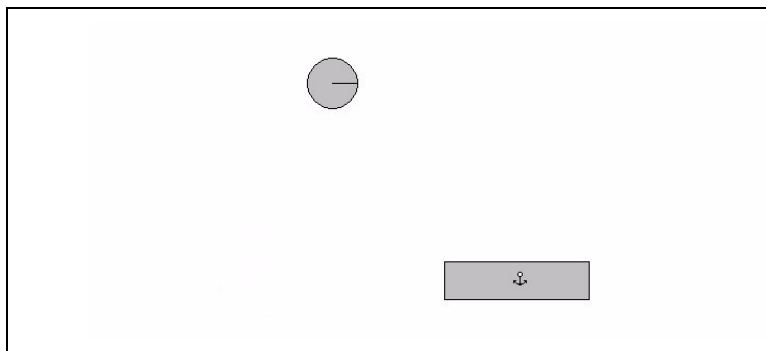
7. ツールバーのリセットをクリックします。

ボールは元の位置に戻ります。

コントロールの作成

初期速度コントロールのついたシミュレーションを作成します。このシミュレーションでは、円が左側から水平に発射された弾丸を表します。スライダーコントロールを使って、円の中心の初期速度を変更します。

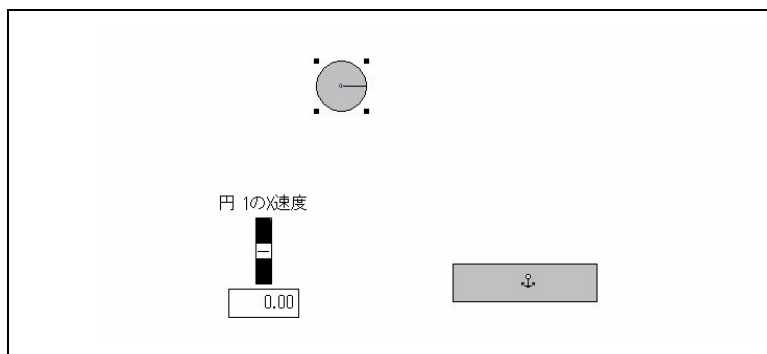
図 1-32
円と長方形



1. 円と長方形をドラッグして、画面を図 1-32 のように配置します。
2. 円を選択します。
3. 定義メニューから新規コントロールを選択します。マウスボタンを押したまま、サブメニューから初期 X 速度を選択します。

新規コントロールが表示されます。このコントロールは円の中心の x (水平) 方向への初期速度を設定します。

図 1-33
速度のコントロール



4. スライダーを使って値を上げたり下げたりして、円の中心の初期 X 速度を決定します。

5. シミュレーションを実行します。

初期速度を調整してボールがテーブルに当たるようにします。やり直すときはシミュレーションをリセットしてください。

メニューボタンの作成

メニューボタンを追加して、Working Model 2D を使ったことがない人でも使えるようなデモンストレーションを作成します。

1. 定義メニューから新規ボタンを選択し、サブメニューからメニューボタン ... を選択します。

表示されるダイアログボックスで、新しいボタンに割り当てるメニューコマンドを選択します。すべてのメニューコマンドとアクションのアルファベット順のリストが表示されます。

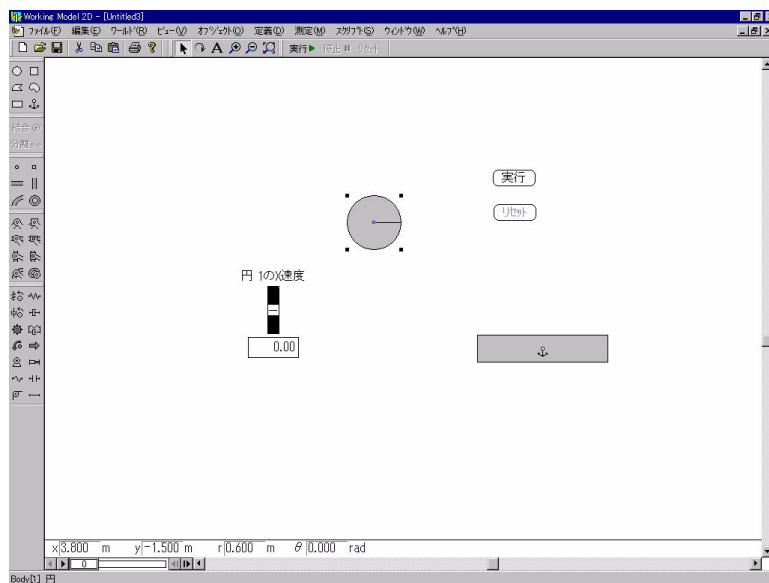
2. リストから実行を選択します。

「実行」という名前のボタンが表示されます。このボタンをクリックすると、ワールドメニューから実行を選択したのと同じになります。

3. 実行ボタンをクリックしてシミュレーションを表示します。
4. シミュレーションをリセットします。
5. 定義メニューから新規ボタンを選択し、サブメニューからメニューボタン ... を選択します。
6. リストからリセットを選択します。

これで2つのメニューボタンがついたドキュメントができました。メニューボタンと速度コントロールをドラッグして、画面を図1-34のようになしてください。

図 1-34
メニューボタン



次のようにして、メニューボタンを移動します。

1. ボタンの枠の近くをクリックするか、選択長方形をボタンの周囲にドラッグして選択します。
2. ポインタがクロスカーソルに変わるまで、ポインタを選択したボタンに近づけます。
3. ボタンを希望の位置にドラッグします。

メニューボタンについて、詳しくは「7.3 メニューボタン」を参照してください。

プレイアドキュメント

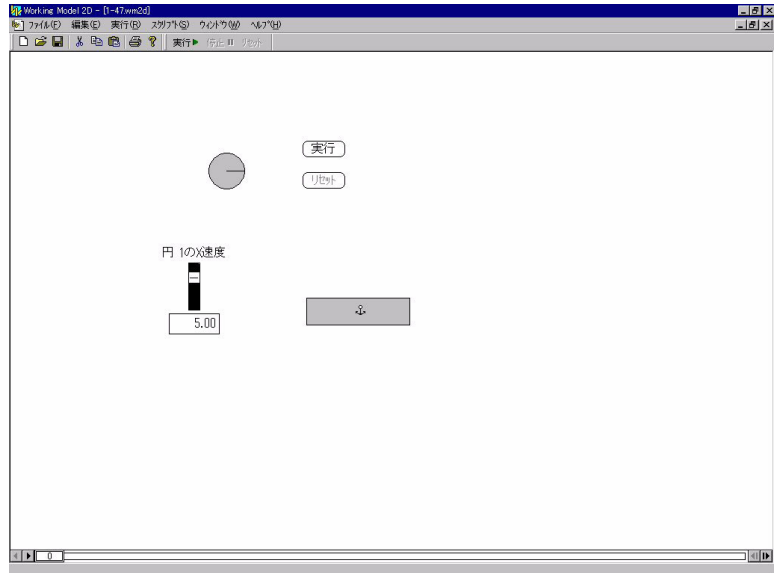
最後にこのドキュメントをプレイヤシミュレーションに変更します。プレイヤシミュレーションは、デモンストレーションや Working Model 2D を使ったことがない人のための簡略化されたドキュメントです。

プレイヤシミュレーションはいくつかの点で簡略化されています。たとえば、ツールバーがなかったり、オブジェクトのドラッグやサイズ変更ができなかったり、メニューが大きく簡略化されています。

4. 編集メニューから実行モードを選択します。

ツールバーが表示されて、ドキュメントがプレイヤシミュレーションになります。

図 1-35
プレイヤドキュメント



1.10 まとめ

このガイドツアーでは、ツールバーのツールを使ってオブジェクトを作成したり操作する方法を学びました。次にサンプルのシミュレーションを実行し、自分でも簡単なシミュレーションを作成しました。

簡単なシミュレーションを作成するときに、オブジェクトを描いて、初期速度を設定し、ボタンをクリックしてシミュレーションを実行することを覚えました。

スマートエディタを使ってボディの複雑なリンクを作成したり編集しました。

また物理的な量を測定するメーターやベクトルの表示方法や、オブジェクトの追跡方法、簡単なコントロールを追加してシミュレーションの間のデータ入力を調整する方法、またメニューボタンを作成する方法も覚えました。

第 2 章

ツールとメニューのガイド

この章では、Working Model 2D の主なツールとメニューについて説明します。

2.1 Working Model 2D のツールバー

Working Model 2D のツールはツールバーから簡単にアクセスすることができます。描画プログラムと同じように、ツールを選択してシミュレーションモデルを構築することができます。

ツールバー

Working Model 2D のツールバーを自由に固定したり移動したりできます(図 2-2、図 2-3、図 2-4 を参照)。初めてプログラムを起動したとき、ツールバーはアプリケーションウィンドウの上側と左側に表示されます。

注：お使いのモニターの解像度が 640x480 ピクセルの場合、デフォルト設定では、シンプルツールバー (図 2-1 を参照) と標準ツールバーしか表示されません。シンプルツールバーには最もよく使用するツールが組み込まれています。それ以外のツールバーをアクティブにするには、ビューメニューからワークスペースを選択して、個々のツールバーをアクティブにしてください (2-15 ページの「ビューメニュー」を参照)。

ツールバーの端をクリックしてドラッグすると、ツールバーを固定された位置から切り離して、アプリケーションウィンドウ内の好きな位置に移動させることができます。切り離したツールバーは再びウィンドウの縁に固定することができます。ツールバーは固定されていても切り離されていても、開いているすべてのドキュメントで 사용할 ことができます。

図 2-1
シンプルツールバー
すべてのツールのサブセット



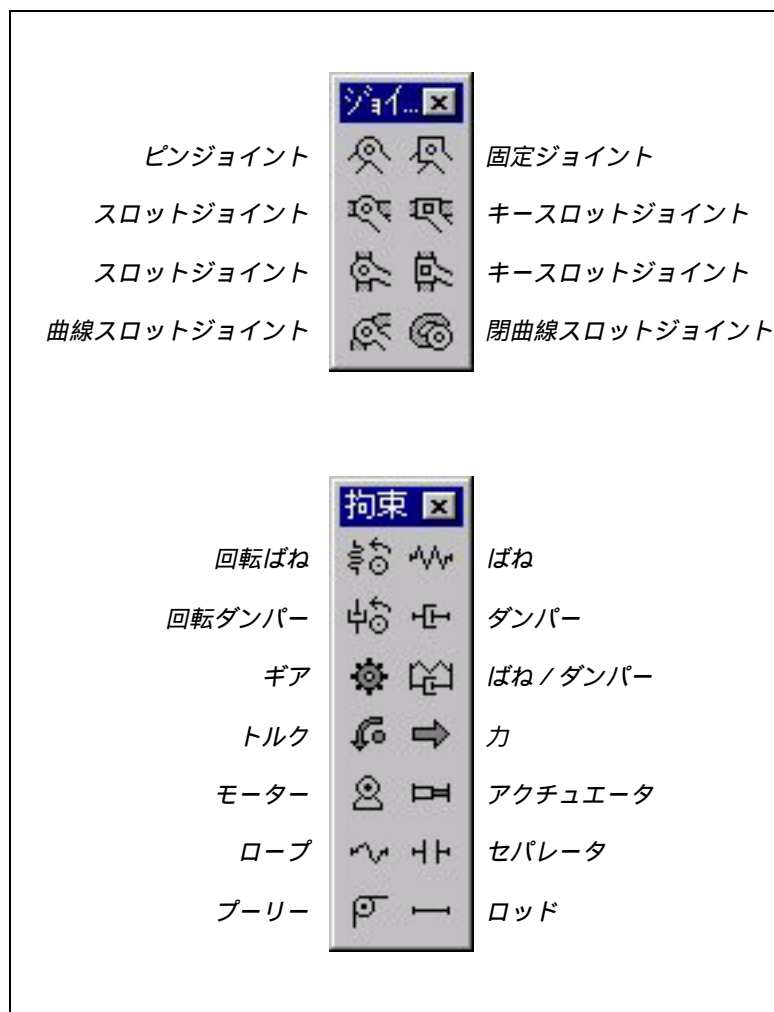
図 2-2
標準、編集、実行コントロール
ツールバー



図 2-3

ボディ、結合 / 分離、ポイント
ツールバー

図 2-4
結合ツールバーと拘束ツール
バー



ツールバーは右上の閉じるボックスをクリックすると非表示にすることができます。非表示になったツールバーは、ビューメニューのワークスペース ... を選択して、該当するチェックボックスをクリックすることで再び表示することができます(詳しくは 6-6 ページの「ワークスペースツールとコントロールの表示」を参照)。

ツールの使用

ツールは1回クリックすると、選択されて、次の操作に使用することができます。その操作の後、再び矢印ツールが選択されます。ツールを連続して使用するには、ツールをダブルクリックしてください。

矢印ツールをすばやく選択するには、スペースバーを押します。回転ツールをすばやく選択するには、r キーを押してください。

Working Model 2D のツール

Working Model 2D でシミュレーションを構築するとき、次のようなツールを使用することができます。

標準ツールバー

標準ツールバーは Windows のインターフェースガイドラインの一部で、新規作成、開く、上書き保存、切り取り、コピー、貼り付け、印刷、ヘルプの内容ボタンがあります。これらのコマンドはファイル、編集、ヘルプメニューからもアクセスすることができます。



新規作成ボタンを押すと、現在のデフォルト設定で、未使用の名称未設定ドキュメントを作成することができます。



開くボタンを押すと、以前に作成したドキュメントを開くことができます。一度に複数のドキュメントを開いておくことができます。



上書き保存ボタンを押すと、現在のドキュメントをディスクに保存することができます。アクティブのドキュメントがすでに保存されている場合は、更新します。



切り取りボタンを押すと、選択したオブジェクトをドキュメントから取り除き、クリップボードに貼り付けることができます。



コピーボタンを押すと、選択したオブジェクトをコピーして、クリップボードに貼り付けることができます。



貼り付けボタンを押すと、クリップボード上のオブジェクトのコピーをアクティブのドキュメントに貼り付けることができます。



印刷ボタンを押すと、印刷ダイアログが表示されて、シミュレーションを印刷することができます。



ヘルプボタンを押すと、メインのヘルプオプションのリストが表示されます。ヘルプの中を見ていくと、さらに詳しい情報が得られます。

編集ツール



矢印ツールを使うと、1 つまたは複数のオブジェクトを選択したり、選択した複数のオブジェクトを画面上でドラッグすることができます。スペースバーを押すと、自動的に矢印ツールが選択されます。



回転ツールを使うと、1 つまたは複数のオブジェクトを回転することができます。オブジェクトは重心または測定ポイントを中心に回転させることができます。回転ツールの使用中は、オブジェクトの回転の中心となるポイントの上にラインが表示されます。r キーを押すと、自動的に回転ツールが選択されます。



テキストツールを使うと、シミュレーションのワークスペースに直接テキストを入力することができます。

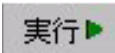


ズームインツールを使うと、ワークスペースの表示倍率を2倍にすることができます。拡大表示すると、ポインタが表示の中心になります。Shift キーを押すと、このツールはズームアウトツールに切り替わります。

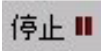


ズームアウトツールを使うと、ワークスペースの表示倍率を2分の1にすることができます。Shift キーを押すと、このツールはズームインツールに切り替わります。

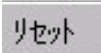
実行コントロール



実行ボタンを押すと、シミュレーションが開始します。



停止ボタンを押すと、進行中のシミュレーションを停止することができます。



リセットボタンを押すと、シミュレーションを初期状態（第1フレーム）に戻すことができます。

ボディツール



円ツールを使うと、円形ボディを作成することができます。



正方形ツールを使うと、正方形ボディを作成することができます。



長方形ツールを使うと、長方形ボディを作成することができます。



多角形ツールを使うと、正方形と長方形以外の多角形を作成することができます。1 回ずつクリックして頂点を定義します。多角形は、最初の頂点と最後の頂点を結んで自動的に閉じるようになっています。スペースバーを押しても、最後の頂点と最初の頂点を結合して、多角形を閉じることができます。

多角形は、形状ウィンドウで「カーブしたボディ」を選択することで、指定した曲線多角形に変換することができます。すると多角形の頂点が新しい曲線多角形のコントロールポイントになります。



曲線多角形ツールを使うと、スムーズに補間された（スプラインされた）一連のコントロールポイントから指定の曲線多角形を作成することができます。曲線カーブのコントロールポイントをクリックして定義し、最後のポイントでダブルクリックするかスペースバーを押して、曲線多角形を閉じます。

曲線多角形は、形状ウィンドウの「カーブしたボディ」のチェックを解除することで多角形に変換できます。すると曲線多角形のコントロールポイントは新しい多角形の頂点になります。



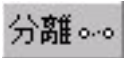
アンカーツールを使うと、ボディの動きをロックすることができます。アンカーされたボディは位置を定義する式を入力しない限り、動きません。

結合 / 分離コントロール



結合ボタンは 2 つの要素からジョイントを作成します。たとえば、2 つのポイント要素（以下のようにポイントツールを使って作成します）を選択して、結合ボタンをクリックすると、ピンジョイントを作成することができます。またポイント要素とスロット要素を結合すると、スロットジョイントを作成することができます。詳しくは第 5 章「スマートエディタ」を参照してください。

結合ボタンを使うと、分離ボタンで分離した要素を再結合することもできます。



分離ボタンを使うと、ジョイントをコンポーネント要素に分離することができます。この意味で、分離ボタンは結合ボタンと反対の機能を持つボタンだといえます。たとえば、ピンジョイントを選択してから分離ボタンをクリックすると、ジョイントが 2 つのポイント要素に分離されます。詳しくは、第 5 章「スマートエディタ」を参照してください。

ポイントツールとスロットツール

○

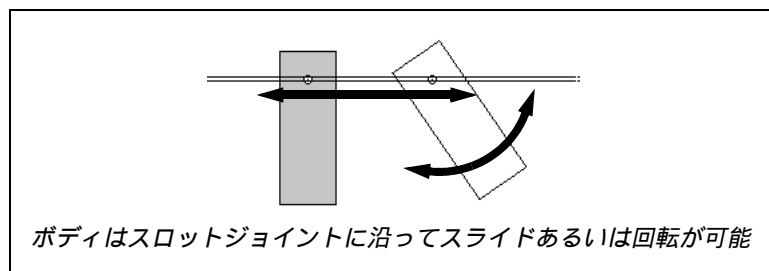
ポイントツールを使うと、ポイント要素を作成することができます。ポイント要素はボディや背景に配置して、ジョイント拘束を作成するためのベースとして使用します。たとえば、2つのポイント要素を別々のボディに配置して、2つの要素を結合し、ピンジョイントを作成することができます。ピンジョイントで結合した2つのボディは、相互に自由に回転することができます。詳しくは、第5章「スマートエディタ」を参照してください。

□

四角ポイントツールを使用すると、四角ポイント要素を作成することができます。四角ポイントはポイント要素のようにボディや背景に配置することができます。たとえば、2つの四角ポイントを別々のボディに配置して、2つの要素をつないで、2つのボディを相互にロックするような固定ジョイントを作成することができます。詳しくは第5章「スマートエディタ」を参照してください。

スロット要素ツールはポイント要素と合わせて使用して、スロットジョイントを作成します。たとえばスロット要素を背景に配置し、ボディにポイント要素を配置して、2つの要素を結合してスロットジョイントを作成することができます。スロットジョイントを使うと、ジョイントに沿ってボディを「スライドして回転する」ことができます（図2-5を参照）。

図 2-5
スロットジョイントの例



Working Model 2D には、次のように決まった方向と形状を持つスロット要素ツールがいくつかあります。プロパティウィンドウを使うと、作成したスロット要素の形状を修正することができます。



水平スロットツールを使うと、水平方向のスロット要素を作成することができます。



垂直スロットツールを使うと、垂直方向のスロット要素を作成することができます。



曲線スロットツールを使うと、一連のスムーズに補間された（スプラインされた）コントロールポイントから、開いた曲線スロット要素を作成することができます。クリックしてコントロールポイントを定義し、ダブルクリックして最後のポイントを定義してください。またスペースバーを押しても、最後に定義したポイントと最初のコントロールポイントを結んで、曲線スロットを完成することができます。



閉じた曲線スロットツールを使うと、一連のスプラインされたコントロールポイントから閉じた曲線スロット要素を作成することができます。1 回ずつクリックして曲線のコントロールポイントを定義してください。最後のポイントでダブルクリックするか、スペースバーを押すと、スロットを閉じることができます。

ジョイントツール

ジョイントツールは、Working Model 2D でさまざまなタイプのジョイントを作成するツールを集めたものです。それぞれのジョイントについて、詳しくは第 4 章「拘束」を参照してください。



ピンジョイントツールを使うと、ピンジョイントを作成することができます。ピンジョイントを使うと、1 自由度の回転とゼロ自由度の平行運動が可能になります。ピンジョイントで結合した 1 組のボディ（またはボディと背景）は、回転させることはできますが、相互に平行運動することはできません。



固定ジョイントツールを使うと、固定ジョイントを作成することができます。固定ジョイントは 2 つのボディをロックして、まったく動かすことができないようにします（ゼロ自由度の動き）。

スロットジョイントツールを使うと、さまざまなタイプのスロットジョイントを作成することができます。



ピン固定スロットジョイントツールを使うと、ポイント要素を 1 つのボディに拘束して、別のボディ（または背景）上のスロット要素に合わせて、最初のボディをポイント要素を中心に回転させることができます。Working Model 2D には、垂直、水平、および閉じた曲線スロットのピン固定スロットジョイントがあります。ジョイントを作成した後、スロットの形状を変更することができます。



キースロットジョイントツールを使うと、ポイント要素を 1 つのボディに拘束して、別のボディ（または背景）上のスロット要素に合わせ、最初のボディが回転しないようにすることができます。たとえば、キースロットジョイントで内燃機関内で一方向に動くピストンの動きを拘束することができます。

Working Model 2D には、垂直および水平スロットがついたキースロットジョイントがあります。ジョイントを作成した後、スロットの形状を変更することができます。

拘束ツール

拘束ツールは、Working Model 2D でさまざまなタイプの拘束を作成するツールを集めたものです。それぞれのジョイントについて、詳しくは第4章「拘束」を参照してください。



ダンパーツールは圧縮や伸縮時の変化に抵抗するリンクを作成します。たとえば、ダンパーで自動車のサスペンションのショックアブソーバをシミュレートすることができます。ダンパーは、1つのボディと背景の間や、2つのボディの間に配置することができます（ダンパーの端点が配置ポイントになります）。



回転ダンパーは回転時の変化に抵抗するピンジョイントを作成します。ダンパーと同じように、回転ダンパーは1つのボディと背景の間や、2つのボディの間に配置することができます（ダンパーの端点が配置ポイントになります）。たとえば、回転ダンパーは粘性のある物質内を回転するときのプロペラにかかる抵抗をシミュレートすることができます。



ばねツールを使うと、圧縮や伸縮に抵抗するリンクを作成することができます。ばねは、2つのボディの間、または1つのボディと背景の間をつなぐことができます（ばねの端点が配置ポイントになります）。



回転ばねツールを使うと、回転に抵抗するピンジョイントを作成することができます。たとえば、回転ばねでコイルスプリングをシミュレートすることができます。ばねと同じように、回転ばねは2つのボディの間、または1つのボディと背景の間をつなぎます（ばねの端点が配置ポイントになります）。



ばね / ダンパーツールを使うと、ばねとダンパーを組合せたものを作成することができます。たとえば、ばね / ダンパーは McPherson ストラット（ショックアブソーバの周りにコイルスプリングを巻いたもの）をシミュレートすることができます。ダンパーやスプリングと同じように、ばね / ダンパーは1つのボディと背景の間、または2つのボディの間に配置することができます（ばね / ダンパーの端点が配置ポイントになります）。



ギアツールを使うと、あらゆる2つのボディをギア拘束で結合することができます。2つのオブジェクトをクリックして、1組のギアを定義してください。



Working Model 2D は、デフォルトではギア拘束を外部（スパー）ギアとして定義します。内部ギア（ギアがもう 1 つのギアの内側にある）を定義するには、プロパティウィンドウのオプションを選択してください。片方のボディのギアアイコンが内部歯を持つギアに変わります。詳しくは、4-42 ページの「ギアプロパティ」を参照してください。



プーリーツールを使うと、ロープでつながれたプーリーを作成することができます。1 回クリックしてプーリーを定義してください。最後のプーリーはダブルクリックします。リンク内のプーリーはすべて背景かボディに配置することができます。

Working Model 2D は、ロープを通す「ねじ穴」としてプーリーを近似するため、プーリーには質量も寸法もありません。



トルクツールを使うと、ボディにトルクをかけることができます。



力ツールを使うと、ボディに力をかけることができます。力はボディのどのポイントにもかけることができます。力の方向は背景またはボディに対して固定することができます。



モーターツールを使うと、2 つのボディの間にひねりを加えるピンジョイントを作成することができます。モーターは 1 つのボディの上に配置することもできます。この場合、モーターはボディと背景の間をつなぎます。モーターを 2 つの重複するボディの上に配置した場合、モーターは 2 つのボディに接続されます。



アクチュエータツールを使うと、端点と端点の間に力をかけるオブジェクトを作成することができます。たとえば、アクチュエータで油圧リフトに使われるピストンをシミュレートすることができます。アクチュエータは、2 つのボディの間、または 1 つのボディと背景の間に配置することができます。アクチュエータの端点が配置ポイントになります。

ロープ / セパレータポップアップパレットには 2 つのツールがあります。



ロープツールを使うと、オブジェクト同士が一定の距離以上離れないようにすることができます。ロープは、つないでいるオブジェクト同士を近づけると、（影響がなくなるように）たるませることができます。ロープは、1 つのボディと背景の間、または 2 つのボディの間に配置することができます（ロープの端点が配置ポイントになります）。

H

セパレータツールを使うと、オブジェクト同士が一定の距離以上近づかないようにすることができます。セパレータは、つないであるオブジェクト同士が離れている場合は影響を持ちません。セパレータは、1つのボディと背景の間、または2つのボディの間に配置することができます（セパレータの端点が配置ポイントになります）。

I

ロッドツールを使うと、2つのボディの間を質量なしに非柔軟に接続するリンクを作成することができます。ロッドは圧縮したり伸縮したりすることができません。ロッドは、1つのボディと背景の間、または2つのボディの間に配置することができます（ロッドの端点が配置ポイントになります）。

2.2 Working Model 2D のメニュー

Working Model 2D には、プルダウンメニューがついた標準メニューバーがあります。

ファイルメニュー

新規作成を選択すると、現在のデフォルト設定で、未使用の名称未設定ドキュメントを作成することができます。

開くを選択すると、以前に作成したドキュメントを開くことができます。一度に複数のドキュメントを開いておくことができます。

閉じるを選択すると、現在アクティブになっているドキュメントを閉じることができます。変更がある場合は、保存するかどうかをたずねるプロンプトが表示されます。

上書き保存を選択すると、現在のドキュメントをディスクに保存することができます。アクティブのドキュメントがすでに保存されている場合は、更新します。

名前をつけて保存を選択すると、現在アクティブになっているドキュメントに名前をつけて、新しい名前で保存することができます。

印刷を選択すると、印刷ダイアログが表示されて、シミュレーションを印刷することができます。

インポートを選択すると、外部ファイルをワークスペースにインポートするためのダイアログが表示されます。インポートできるファイルのタイプについては、第9章「ファイルとデータのインポートとエクスポート」を参照してください。



エクスポートを選択すると、Working Model 2D のデータをエクスポートするためのダイアログが表示されます。エクスポートできるデータ形式については、第 9 章「ファイルとデータのインポートとエクスポート」を参照してください。

終了を選択すると、Working Model 2D を終了することができます。

[最近使ったファイルのリスト] Working Model 2D で最近開いたファイルを、最高 4 つまで表示します。いったん Working Model 2D を終了しても、後で起動したときに、まだこのリストは保持されています。

編集メニュー

編集(E)	
⏮ ドラッグを元に戻す	Ctrl+Z
✂ 切り取り(C)	Ctrl+X
📄 コピー(C)	Ctrl+C
📄 貼り付け(P)	Ctrl+V
✕ 削除(D)	Del
👉 すべて選択(S)	Ctrl+A
📄 複製(L)	Ctrl+D
📐 形状変更(R)	Ctrl+Y
🏠 実行モード(M)	

元に戻すを選択すると、シミュレーションで一番最後に行った操作を元に戻すことができます。メニューは、行われた操作を表示する（図の左側のように）か、操作が元に戻せない場合、「元に戻せません」と表示します。

切り取りを選択すると、選択したオブジェクトをドキュメントから取り除き、クリップボードに貼り付けることができます。

コピーを選択すると、選択したオブジェクトをコピーして、クリップボードに貼り付けることができます。

貼り付けを選択すると、クリップボード上のオブジェクトのコピーをアクティブのドキュメントに貼り付けることができます。

削除を選択すると、選択したオブジェクトをクリップボードに貼り付けずに削除することができます。

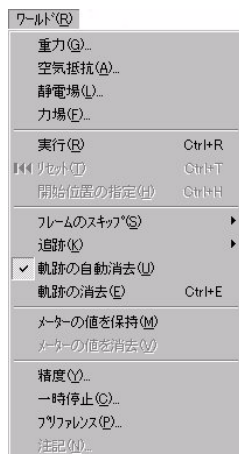
すべて選択を選択すると、アクティブのシミュレーションウィンドウにあるすべてのオブジェクトを選択することができます。

複製を選択すると、選択したオブジェクトのコピーを作成することができます。

形状変更をアクティブにすると、多角形や曲線多角形、曲線スロットなどをクリックアンドドラッグして形状変更することができます。このアイテムがアクティブになっている場合、メニューのアイテムの前にチェックマークが表示されます。

実行モードは、Working Model 2D のメニュー構造を拡張したり縮小したりするコマンドです。実行モードについて、詳しくは「8.7 シミュレーションのモード」を参照してください。

ワールドメニュー



重力 ... を選択すると、重力ダイアログが表示されて、アクティブのシミュレーションの重力のタイプを選択したりコントロールしたりすることができます。

空気抵抗 ... を選択すると、空気抵抗ダイアログが表示されて、アクティブのシミュレーションの空気抵抗をコントロールすることができます。

静電場 ... を選択すると、静電場ダイアログが表示されて、アクティブのシミュレーションの静電場をコントロールすることができます。

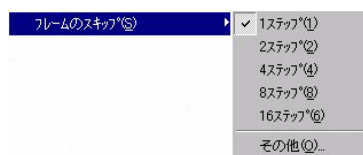
力場 ... を選択すると、力場ダイアログが表示されて、アクティブのシミュレーションですべてのボディに作用するカスタムの力場フィールドを作成することができます。

実行を選択すると、シミュレーションを開始することができます。

リセットを選択すると、シミュレーションを初期状態（第1フレーム）に戻すことができます。

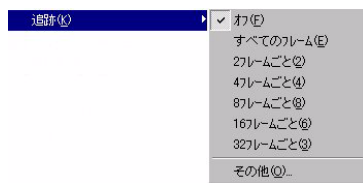
開始位置の指定を選択すると、現在の状態からシミュレーションを開始することができます。すべてのオブジェクトの現在の位置と速度に基づいて、新しい初期状態のセットが作成されます。

注：開始位置の指定を選択すると、以前に設定した初期状態など、シミュレーションの履歴が削除されます。



フレームのスキップを選択すると、シミュレーションの再生速度を指定するためのサブメニューが表示されます。スキップするフレーム数を大きくすると、計算したシミュレーションを速く再生します。フレームのスキップサブメニューを開くと、現在のフレームのスキップ数を表示したチェックマークが表示されます。

サブメニューのオプションには、1ステップ、2ステップ、4ステップ、8ステップ、16ステップ、その他があります。その他ダイアログではスキップするフレーム数を指定することができます。フレームのスキップ数を1ステップにすると、シミュレーションのすべてのフレームが再生されます。



追跡を選択すると、さまざまな時間間隔でシミュレーションの軌跡を表示することができます。追跡サブメニューを開くと、現在の追跡レートを示すチェックマークが表示されます。

選択できるオプションには、オフ、すべてのフレーム、2 フレームごと、4 フレームごと、8 フレームごと、16 フレームごと、32 フレームごと、その他があります。その他ダイアログボックスではカスタムの追跡レートを設定することができます。

軌跡の自動消去をアクティブにすると、シミュレーションの履歴を消去するたびに軌跡が消去されます。このメニューアイテムがアクティブのとき、メニューアイテムの前にチェックマークが表示されます。

軌跡の消去を選択すると、シミュレーションの軌跡が直ちに消去されます。

メーターの値を保持をアクティブにすると、複数のシミュレーションの実行から得られたメーターの値をすべて保持します。このメニューアイテムがアクティブのとき、メニューアイテムの前にチェックマークが表示されます。

メーターの値を消去をアクティブにすると、最も最近実行したシミュレーションのメーターの値を除いて、すべてのメーターの値を消去します。メーターの値を保持がアクティブになっていると、Working Model 2D はその後も引き続きメーターの値の履歴を保存します。

精度 ... を選択すると、精度ダイアログが表示されて、シミュレーションを速度優先で表示するか、精度優先で表示するかを選択することができます。

一時停止 ... を選択すると、一時停止ダイアログが表示されて、シミュレーションの状態をループ、リセット、または一時停止することができます。

プリファレンス ... を選択すると、プリファレンスダイアログが表示されて、Working Model 2D の設定を自由に変えることができます。

ビューメニュー

ワークスペースを選択すると、Working Model 2D のワークスペースの表示方法をコントロールすることができます。

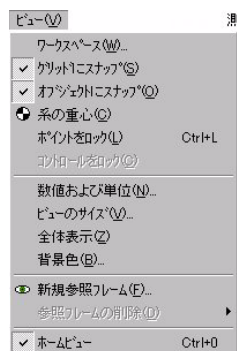
ワークスペースダイアログには、次のようなオプションがあります。

ルーラーは、ルーラーを表示または非表示にします。

グリッド線は、グリッド線を表示または非表示にします。

X、Y 軸は、X 軸、Y 軸を表示または非表示にします。

座標は、アクティブのウィンドウの一番下にある座標バーを表示または非表示にします。





ステータスバーは、シミュレーションウィンドウの一番下にステータスバーを表示または非表示にします。

スクロールバーは、スクロールバーを表示または非表示にします。

テーパープレイヤーコントロールは、アクティブのシミュレーションウィンドウでテーパープレイヤーコントロールを表示または非表示にします。

ツールバーチェックボックスは、図 2-3、図 2-3、図 2-4 に示すツールバーを、それぞれ表示または非表示にします。さらに最もよく使用するツールを組み込んだシンプルツールバーを表示または非表示にします。

グリッドにスナップをアクティブにすると、すべてのオブジェクトをワークスペース内の定義したグリッド線に自動的に「スナップ」させることができます。このアイテムがアクティブのとき、メニューアイテムの前にチェックマークが表示されます。

オブジェクトにスナップをアクティブにすると、すべてのポイント要素（拘束の端点も含む）があらかじめ定義したボディのスナップポイント（参照ポイントや頂点など）に近づいたとき、自動的に「スナップ」するように設定することができます。このアイテムがアクティブのとき、メニューアイテムの前にチェックマークが表示されます。

系の重心をアクティブにすると、シミュレーションウィンドウ内のすべてのボディの重心を X 印で表示することができます。このアイテムがアクティブのとき、メニューアイテムの前にチェックマークが表示されます。

ポイントをロックをアクティブにすると、編集時にポイントがボディ上で移動しないようにすることができます。ポイントをロックについて、詳しくは 5-7 ページの「ポイントをロックとコントロールをロック」を参照してください。このアイテムがアクティブのとき、メニューアイテムの前にチェックマークが表示されます。

コントロールをロックをアクティブにすると、すべてのコントロールオブジェクト（ボタン、スライダー、メーター）を背景にロックします。コントロールを選択したり、サイズ変更したり、移動することができなくなります。このアイテムがアクティブのとき、メニューアイテムの前にチェックマークが表示されます。

数値および単位 ... を選択すると、数値および単位ダイアログが表示されて、シミュレーションの測定系を指定することができます。単位形式には、SI /メートル法、English、天体単位、CGS 単位があります。

ビューのサイズ ... を選択すると、ビューのサイズダイアログボックスが表示されて、シミュレーションのビューやスケールを好きな値に設定することができます。

背景色 ... を選択すると、Working Model 2D ウィンドウの背景の色を選択することができます。

新規参照フレーム ... を選択すると、選択したボディに参照フレームを配置することができます。シミュレーションは以前に作成したどの参照フレームからでも表示することができます。

参照フレームの削除 を選択すると、ホームビュー以外のすべての参照フレームを含んだサブメニューを表示することができます。サブメニューのアイテムを選択すると、その参照ポイントが削除されます。

[**参照フレームのリスト**] 定義した参照フレームの名前がこのメニューに追加されます。参照フレームを選択するときは、ここから名前を選択することもできますし、キーボードのショートカットを使って選択することもできます。

注：ホームビュー参照フレームはすでに定義されており、いつでも参照フレームリストに表示されます。

オブジェクトメニュー

結合 を選択すると、選択した 2 つの要素（ポイントやスロット）を組み合わせてジョイントを作成することができます。

分離 を選択すると、ジョイントやその他の拘束を分離してコンポーネント要素にすることができます。

前面に移動 を選択すると、選択したオブジェクトを他のオブジェクトの前面に移動します。

背面に移動 を選択すると、選択したオブジェクトを他のオブジェクトの背面に移動します。

衝突 を選択すると、選択したオブジェクト同士をシミュレーション中に衝突させることができます。

衝突なし を選択すると、選択したオブジェクト同士をシミュレーション中に衝突させないことができます。



フォントを選択すると、フォントダイアログが表示されて、選択したオブジェクトのフォントタイプを選択することができます。使用できるフォント、フォントスタイル、およびサイズはシステムにインストールされているフォントを含みます。

[次のメニューアイテム、画像の配置および画像の取りはずしは、選択したオブジェクトに応じて切り替えて表示されます。詳しくは 7-26 ページの「画像オブジェクトをボディに配置」を参照してください。]

画像を配置を選択すると、1 つのボディに画像の配置することができます。画像はワークスペースでボディの標準表現に置き換わって表示されます。

画像を取りはずすを選択すると、画像が表現するボディから画像を取りはずすことができます。ボディの標準表現が再び表示されて、画像はワークスペースで別のオブジェクトになります。

[次のメニューアイテム、ボディに配置およびボディから取りはずしは、選択したオブジェクトに応じて切り替えて表示されます。詳しくは 4-71 ページの「スロット要素の接続と取りはずし」を参照してください。]

ボディに配置を選択すると、ポイントやスロットのセットをワークスペース内での現在の位置を保ったまま、ボディに配置することができます。

このコマンドは DXF ファイルをインポートするときに便利です。詳しくは第 9 章「ファイルとデータのインポートとエクスポート」を参照してください。

ボディから取りはずしを選択すると、現在配置されているボディからポイントやスロットのセットを取りはずすことができます。取りはずされたポイントやスロットはすぐに背景に配置されます。



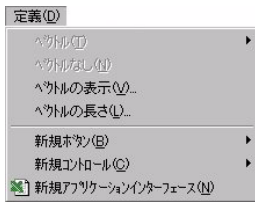
オブジェクトの変換を選択すると、次のオプションのサブメニューが表示されます。

ラインに変換は選択した多角形をラインセグメントに変換します。

多角形に変換は選択したラインセグメントを多角形に変換します。

曲線スロットに変換は選択したラインセグメントを曲線スロットに変換します。ラインセグメントの端点は曲線のコントロールポイントに変換されます。

定義メニュー



ベクトルを選択すると、選択したオブジェクトのベクトルを表示するためのサブメニューが表示されます。リストにあるベクトルはどの組み合わせでも選択することができます。選択されたベクトルは画面に表示され、Working Model 2D のシミュレーションを実行すると、それに応じてダイナミックに更新されます（たとえば左のメニューにはボディに使用できるベクトルが表示されています）。

ベクトルなしを選択すると、選択したボディのどのベクトルも表示しないようにすることができます。

ベクトルの表示 ... を選択すると、ベクトルの表示ダイアログを表示して、ベクトルの色やスタイルを変更することができます。

ベクトルの長さ ... を選択すると、ベクトルの長さダイアログを表示して、速度、力、および加速度ベクトルの長さを全体的に変更することができます。

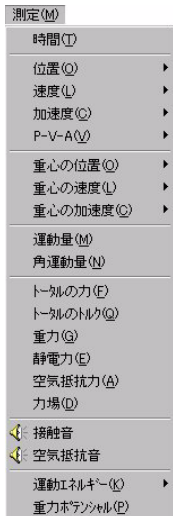
新規メニューボタン ... を選択すると、新規メニューボタンダイアログを表示して、メニューコマンドを実行するボタンを作成することができます。

新規コントロールを選択すると、グラフィックデータ入力ツールでインタラクティブにコントロールできるオブジェクトのプロパティのサブメニューを表示することができます。このメニューに表示されるプロパティは選択されたオブジェクトによって変わります。

デフォルトでは、新規コントロールを選択すると、データ入力ツールとしてスライダーが作成されます。Working Model 2D には、テキスト、ボタン、外部ファイル入力など、他にもさまざまな入力ツールがあります。詳しくは「7.2 コントロール」を参照してください。

新規アプリケーションインターフェースを選択すると、Working Model 2D から他のアプリケーションプログラムへのデータ出力をリンクすることができます。使用できるアプリケーションには MATLAB (Windows のみ) と Excel などがあります。詳しくは「9.9 外部アプリケーションとリアルタイムでデータ交換」を参照してください。

測定メニュー



時間を選択すると、シミュレーション中の時間を測定するメーターを作成することができます。

[**その他プロパティのリスト**] – 測定メニューは選択したボディで測定可能なプロパティをリスト表示します。左の画面には、1 つのボディで測定可能なプロパティが示されています。

これらのパラメータには、位置、速度、加速度、P-V-A（位置、速度、加速度を1つのメーターで表示）、重心の位置/速度/加速度、運動量、角運動量、トータルの力、トータルのトルク、重力、静電場、空気抵抗、力場、運動エネルギー、および重力ポテンシャルがあります。その他のオブジェクトを選択すると、別の測定オプションが選択できます。

ボディを2つ選択すると、測定メニューには1組のオブジェクトの間で発生する力を測定するための別のリストが表示されます。たとえば、接触力、摩擦、およびベア重力などです。

スクリプトメニュー

スクリプトメニューを選択すると、Working Model Basic で作成したスクリプトを実行することができます。

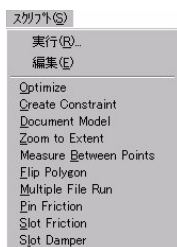
実行を選択すると、スクリプト/ツールファイルを選択して実行するためのプロンプトが表示されます。

編集を選択すると、Script Editor が起動します。Script Editor を使用すると、スクリプトやツールを作成、編集、デバッグすることができます。Script Editor がすでに開いていて他のウィンドウの後ろに隠れている場合、このメニューアイテムを選択すると、Script Editor は前面に表示されます。

[**スクリプト/ツールのリスト**] – このリストから、使用できるスクリプトにすぐにアクセスすることができます。このリストは修正できるようになっています（修正方法は、8-13 ページの「Working Model 2D メニューにスクリプトやツールを追加」を参照してください）。

ウィンドウメニュー

ウィンドウメニューには3つのユーティリティウィンドウがあります。ここではオブジェクトのプロパティを正確な値で設定することができます。ユーティリティウィンドウに表示されるフィールドは選択されたオブジェクトのタイプによって変わります。



ユーティリティウィンドウの一番上にはポップアップメニューがあります。選択ポップアップメニューには、現在選択されているオブジェクトの ID (ボディ [3] など) と名前 (例 長方形) が表示されます。名前は表示設定ウィンドウを使ってカスタマイズすることができます。このウィンドウの使用方法については、第 3 章「ボディ」と第 4 章「拘束」を参照してください。

プロパティウィンドウ (図 2-6) からは、現在選択しているオブジェクトの物理的プロパティに直接アクセスすることができます。選択されているオブジェクトのタイプによって、表示されるフィールドが異なります。選択した複数のオブジェクトのプロパティを一度に変更することができます。複数のオブジェクトを選択して、このウィンドウでプロパティを変更してください。

図 2-6
プロパティウィンドウ



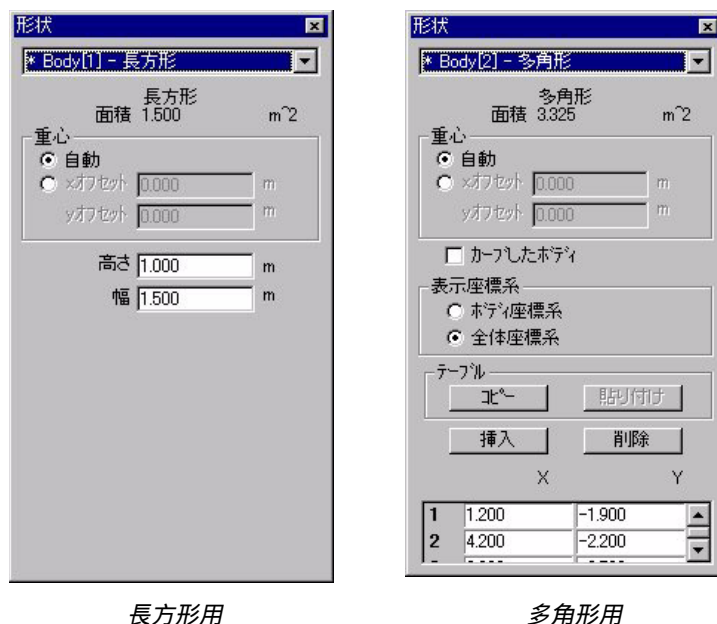
表示設定ウィンドウ (図 2-7) で選択したオブジェクトの表示設定をコントロールすることができます。このウィンドウでは、色、塗りつぶし、追跡、重心の表示をコントロールすることができます。

図 2-7
表示設定ウィンドウ



形状ウィンドウ（図 2-8）では選択したボディの形状をコントロールすることができます。このウィンドウに表示されるプロパティは選択したオブジェクトによって変わります。長方形の形状は幅と高さによって設定されます。多角形の頂点は、このウィンドウで値を編集することで修正することができます。

図 2-8
形状ウィンドウ



長方形用

多角形用

重ねて表示を選択すると、現在開いているドキュメントウィンドウをすべて重ねて表示することができます（それぞれのウィンドウのタイトルバーだけが見えます）。

並べて表示を選択すると、現在開いているドキュメントウィンドウをすべて並べて表示することができます（すべてのウィンドウを並べて表示することができますが、サイズは縮小されます）。

アイコンの整列を選択すると、アイコン化された Working Model 2D ドキュメントを整列して表示します。

[現在開いているドキュメントのリスト] - 複数のドキュメントを開いているとき、開いているドキュメントのリストがウィンドウメニューの一番下に表示されます。

Tab キーとユーティリティウィンドウ

ユーティリティウィンドウでは、Tab キーを使ってテキストフィールド間を移動することができます。Tab キーを使ってユーティリティウィンドウを選択することもできます。ワークスペース内に選択したオブジェクトがある場合、Tab キーを押すと、自動的にそのオブジェクトに関連して一番最後に選択したユーティリティウィンドウが表示されます。

第3章

ボディ

この章では次のことがらを説明します。

- ボディの作成、編集、操作
- ボディのプロパティとパラメータの定義
- ボディの表示設定の定義
- ボディの形状の定義

3.1 ボディの作成

ボディには、円、長方形、正方形、多角形、曲線多角形があります（図 3-1 を参照）。図 3-2 に示したツールを使ってさまざまな形状のボディを作成することができます。

図 3-1
ボディには正方形、多角形、
円、長方形、曲線多角形がある

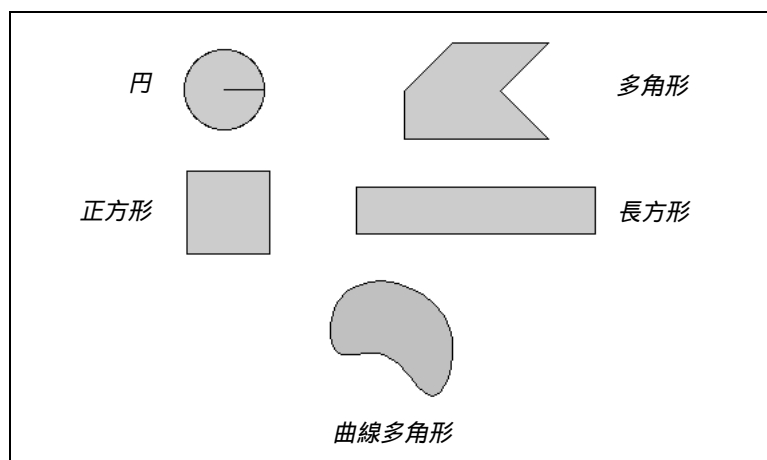


図 3-2
ボディのツール



ボディにはそれぞれシミュレーションを実行したときの挙動を定義するパラメータがあります。このパラメータは最初はデフォルト値に設定されています。たとえば、すべてのボディの密度は最初 1.000 kg/m^2 に設定されています。詳しくは、「3.2 ボディのプロパティ」を参照してください。

ボディを作成すると、ボディ上の正確な位置に拘束を配置することができます。詳しくは、4-11 ページの「拘束の正確な配置」を参照してください。

長方形と正方形の作成

次のようにして長方形や正方形を作成します。



1. ツールバーの長方形または正方形ツールをクリックして選択します。
2. ポインタを背景の空白部分に合わせます。

ポインタが矢印ポインタからクロスカーソルに変わります。これで作図を開始することができます。

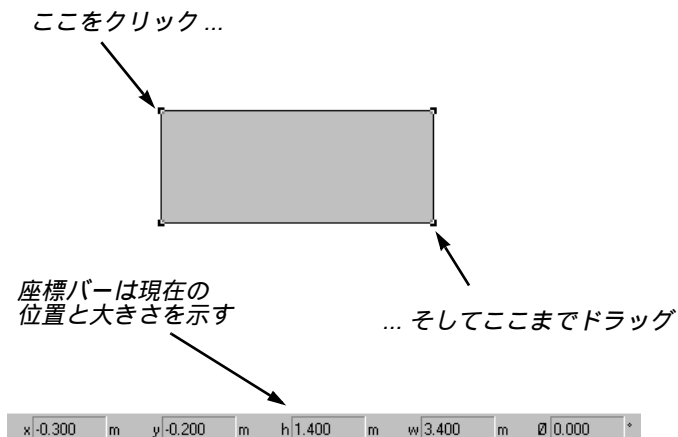
3. マウスボタンを押してドラッグし、長方形または正方形を希望の大きさにします。

座標バーにはオブジェクトの現在の寸法と位置が表示されます（図 3-3 参照）。この値は後で編集することができます。

正方形ツールを選択した場合、ボディの4辺はいつも同じ長さになります。

図 3-3
長方形の作成

4. マウスボタンを放します。



別の方法で長方形または正方形を作成

次のようにしても長方形や正方形を作成することができます。

1. 長方形または正方形ツールをクリックして選択します。
2. ポインタを背景の空白部分に合わせます。
3. マウスボタンを 1 回クリックしてから、ドラッグします。

マウスの動きに合わせて、長方形または正方形が対角線方向に描かれます。

4. ボディが希望の大きさになったら、マウスボタンをもう一度クリックします。

オプションやプリファレンスを変更しなくても、この方法で作図することができます。Working Model 2D がマウスの動きを自動的に認識して、作図方法を切り替えます。

位置や形状のクイック編集

次のようにして、作成した長方形や正方形の位置、方向、寸法（幅および高さ）をすばやく編集することができます。

1. まだ選択していない場合は、長方形または正方形を選択します。

オブジェクトを作成したばかりであれば、すでに選択されています。

2. 座標バーで編集したいフィールドをクリックして、数値を入力します（使用できるパラメータは、図 3-4 を参照）。Enter キーを押します。

入力した変更がすぐにオブジェクトに反映されます。

図 3-4
長方形に対する座標バーの表示



「3.2 ボディのプロパティ」、「3.3 ボディの表示設定」、「3.4 ボディの形状」にも変更可能なボディのパラメータについての説明があります。座標バーについて詳しくは、6-10 ページの「座標バーの表示」も参照してください。

円の作成

次のようにして円を作成します。



1. 円ツールをクリックして選択します。
2. ポインタを背景の空白部分に合わせます。

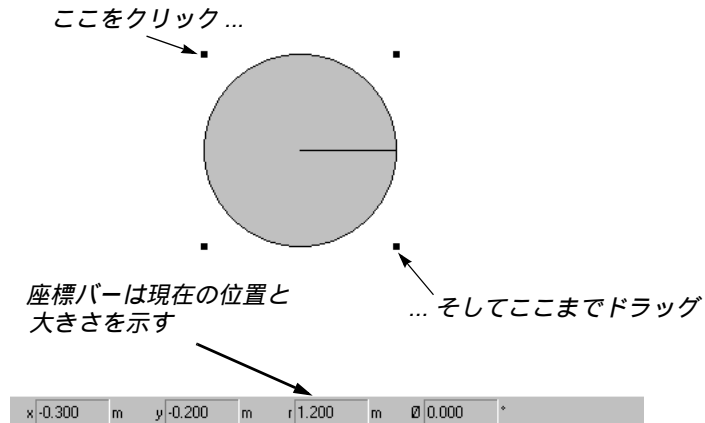
ポインタが矢印ポインタからクロスカーソルに変わります。これで作図を開始することができます。

3. マウスボタンを押して対角線方向にドラッグし、希望の大きさの円を作成します。

座標バーにはオブジェクトの現在の寸法と位置が表示されます（図 3-5 参照）。この値は後で編集することができます。

4. マウスボタンを放します。

図 3-5
円の作成



別の方法で円を作成

次のようにしても円を作成することができます。

1. 円ツールをクリックして選択します。
2. ポインタを背景の空白部分に合わせます。
3. マウスボタンを1回クリックしてから、ドラッグします。

マウスの動きに合わせて、円が対角線方向に描かれます。

4. ボディが希望の大きさになったら、マウスボタンをもう一度クリックします。

オプションやプリファレンスを変更しなくても、この方法で作図することができます。Working Model 2D がマウスのアクションを自動的に認識して、作図方法を切り替えます。

設定や半径のクイック編集

次のようにして、円の位置、方向、半径をすばやく編集することができます。

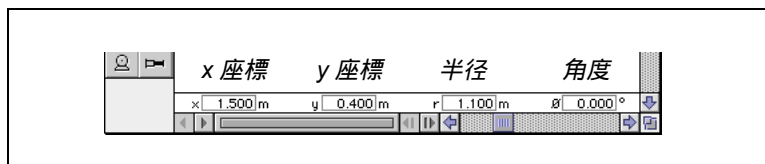
1. まだ選択していない場合は、円を選択します。

オブジェクトを作成したばかりであれば、すでに選択されています。

2. 座標バーで編集したいフィールドをクリックして、数値を入力します (使用できるパラメータは、図 3-6 を参照)。Enter キーを押します。

入力した変更がすぐにオブジェクトに反映されます。

図 3-6
円に対する座標バーの表示



多角形や曲線多角形の作成

多角形も曲線多角形も背景に複数のポイントを定義して作成します。多角形の場合、これらのポイントがオブジェクトの頂点（コーナー）を形成し、曲線多角形の場合は曲線の形状をコントロールします。

曲線多角形について

曲線多角形はコントロールポイントによって定義します。この定義方法は多角形を頂点によって定義する方法に似ているため、この2種類のオブジェクトは基本的に関連しています。Working Model 2D では曲線多角形を多角形のサブクラスとして取り扱い、追加で「曲線」形状パラメータを選択するようになっています（3-23 ページの「多角形と曲線多角形の間の変換」を参照）。このように似ているため、曲線多角形はステータスバーやその他の選択メニューで多角形としてリストされています。

次のようにして多角形や曲線多角形を作成します。



1. 多角形が曲線多角形ツールをクリックして選択します。
2. ポインタを背景の空白部分に合わせます。

ポインタが矢印ポインタからクロスカーソルに変わります。これで作図を開始することができます。

3. 1 回クリックしてボディの頂点を設定します。

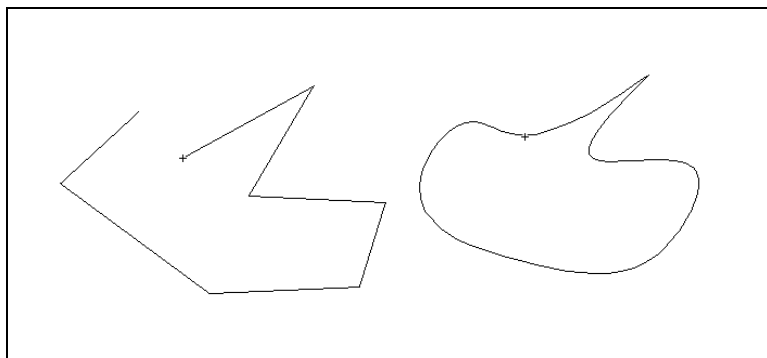
座標バーに表示された数値を使って、ポイントの全体座標を調べることができます。曲線多角形の場合、1 番目の頂点が 1 番目のコントロールポイントになります。

4. ポインタを移動させて、残りの頂点を作成します。座標バーには、1 つ前の頂点からのマウスポインタの移動量が表示されます（図 3-7）。

頂点を設定するだけで、Working Model 2D が自動的に多角形や曲線多角形を作成します。

図 3-7

多角形や曲線多角形の作成



5. 最初の頂点をクリックするか、最後のポイントをダブルクリックして、多角形または曲線多角形を完成します。または最後の頂点をクリックした後、スペースバーを押す方法もあります。

形状ウィンドウが開いている場合、多角形や曲線多角形には基準枠を示す「参照ポイント」という名前がついたクロスカーソルが表示されています。詳しくは、3-10 ページの「参照ポイント」を参照してください。

交差するラインを使って多角形や曲線多角形を作成した場合、*Working Model 2D* は、他のオブジェクトと衝突しないように、ボディのモーメント、質量、重心が近似するという警告メッセージを表示します。

多角形や曲線多角形の図形的な形状変更

マウスを使ったり形状ウィンドウからの操作で多角形や曲線多角形の形状を変更することができます。このセクションではマウスを使った形状変更について説明します。この章の 3-25 ページの「多角形や曲線多角形の数値的な形状変更」では後の方法について説明します。

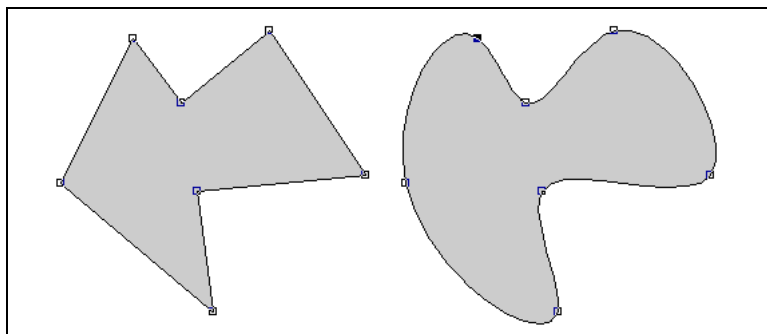
次のようにして、多角形や曲線多角形の形状を図形的に変更することができます。

1. 多角形または曲線多角形を選択し、編集メニューから形状変更を選択します。

メニューアイテムは形状変更可能なオブジェクト（多角形、曲線多角形、または曲線スロット）がある場合にだけ表示されます。形状変更が可能なオブジェクトを選択すると、頂点に四角い形状変更ハンドルが表示されます（図 3-8 を参照）。

2. 形状変更ハンドルをクリックしてドラッグします。

図 3-8
形状変更モード



3. 形状変更モードでオブジェクトをドラッグするには、オブジェクトのボディの内側（頂点や辺から離れた部分）をクリックします。
4. 形状変更モードを終了するには、編集メニューで形状変更の選択を解除するか、ツールバーで他のツールを選択します。

次のようにして頂点を追加します。

1. 編集メニューから形状変更を選択します。メニューアイテムは形状変更モードを切り替えます。
2. 頂点を追加する辺の上でクリックし（すでにある頂点から離れた部分）、新しい頂点を希望の位置にドラッグします。

次のようにして頂点を削除します。

1. 形状変更モードになっていることを確認します（編集メニューで形状変更メニューにチェックマークが表示されます）。
2. 削除する頂点の形状変更ハンドルを選択します。

ハンドルがハイライトされます。

3. 編集メニューから切り取りを選択するか、Delete キーを押します。

頂点が削除されます。

3.2 ボディのプロパティ

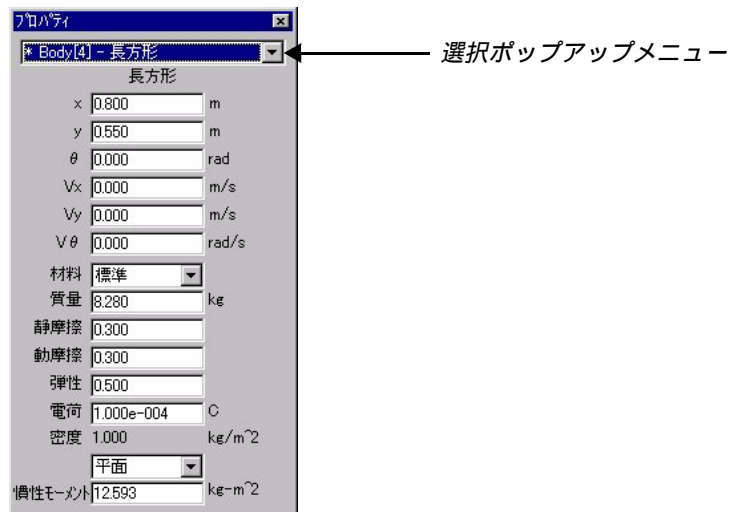
Working Model 2D のワークスペースにあるオブジェクトは、それぞれ定義された特性とプロパティによって挙動します。オブジェクトのプロパティは次のいずれかの方法で変更することができます。

- プロパティウィンドウで数値を変更
- 座標バーで数値を変更

プロパティウィンドウ

プロパティウィンドウ（図 3-9）からはボディのすべてのプロパティにアクセスすることができます。形状や表示設定の情報は、形状ウィンドウ（「3.4 ボディの形状」）および表示設定ウィンドウ（「3.3 ボディの表示設定」）から表示することができます。

図 3-9
ボディに対するプロパティウィンドウ



次のようにしてプロパティウィンドウを開きます。

1. (1) ボディ上でダブルクリックしてプロパティウィンドウを表示するか、(2) ボディを選択して、ウィンドウメニューからプロパティを選択します。

別のボディの上でクリックするだけでボディを変えることができます。選択ポップアップメニューからオブジェクトを選択することもできます（図 3-9 を参照）。

座標バー

ドキュメントウィンドウの一番下にある座標バーには、よく編集するパラメータが表示されます。それぞれのオブジェクトごとに、すばやく修正できるパラメータセットが設定されています。たとえば長方形の座標バーには、X 位置、Y 位置、角度、幅、および高さが表示されます。

「3.1 ボディの作成」には座標バーの効率的な使い方が説明されています。座標バーが表示されていない場合、ワークスペースサブメニュー（ビューメニューから選択）から座標値を選択してください。

初期位置と方向

ボディの初期位置と方向は数値的にも図形的にも設定することができます。

初期位置および方向の変更

ボディの初期位置と方向を変えるには、画面上でボディをドラッグしたり回転します。ボディを回転するには、ツールバーにある回転ツールを使用します。

構成フィールド（x、y、 ）に直接数値を入力して、初期構成を指定することもできます。角度（「 」と表示）はボディの方向を指定します。「 」の値を変更すると、ボディはワールドフレームに固定された幾何学的中心を中心として回転します。

参照ポイント

プロパティウィンドウの X 座標と Y 座標は、ワールドフレームの原点を基準として、ボディの参照ポイントの位置を指定します。多角形と曲線多角形以外のすべてのボディで、参照ポイントはオブジェクトの形状中心になります。多角形と曲線多角形では、ボディを作成したとき、参照ポイントがボディの形状中心になっています。

多角形の頂点や曲線多角形のコントロールポイントは参照ポイントを基準として測定します。後でこれらのボディの形状を変更すると、形状中心は移動しますが、参照ポイントは移動しません。このように 1 個の頂点を移動しても他の座標に影響することはありません。3-25 ページの「多角形と 曲線多角形の座標」を参照してください。

重心

ボディの重心は任意に設定することができます。設定方法は「3.4 ボディの形状」を参照してください。

寸法の測定

メーターを使って、ボディで重心や参照ポイントの位置、速度、加速度を測定することができます。メーターについての詳しい説明は「7.1 メーター」を参照してください。

初期速度

プロパティウィンドウで、ボディの重心の初期速度を数値的に設定することができます。

次のようにして、マウスを使ってボディの重心の初期並進速度を設定することができます。

1. ワールドメニューからプリファレンスを選択します。プリファレンスダイアログの「速度ベクトルのドラッグング」というアイテムをチェックします。
2. OK をクリックして、プリファレンスウィンドウを閉じます。
3. 初期速度を設定するボディをクリックします。
4. 重心に表示された青い点をドラッグして初期並進速度を設定します。

速度の速さは速度ベクトルの長さに比例します。速度ベクトルの長さと対応する速度の関係については、ベクトル表示ダイアログ（定義メニューからベクトルの表示を選択）で調整することができます。

プロパティウィンドウの V_x と V_y 座標はボディの初期速度を指定します。 V_θ 座標はオブジェクトの初期角速度（重心を中心とする）を示します。この値はプロパティウィンドウからしか設定できません。

拘束が設定されているボディ（ピンジョイント、固定ジョイントなど）がある場合、指定した初期速度がこれらの拘束と整合していることを確認してください。詳しくは 8-30 ページの「矛盾する初期速度を回避」を参照してください。

Working Model 2D では、コントロールオブジェクトを使ってボディの初期位置を設定することもできます。詳しくは「7.2 コントロール」を参照してください。

弾性と摩擦

弾性と摩擦は、2つのオブジェクトが接触したときに示す挙動をコントロールします。

弾性

Working Model 2D では、弾性¹は、衝突のシミュレーションで使用される反発係数に対応しています。

機械工学や物理学では、反発係数は衝突のプロパティであって、実際にはボディのプロパティではありません。反発係数は、衝突するオブジェクトの衝突の直前と直後の相対速度率に等しくなります。

たとえば、反発係数が 0.0 のとき、2つのボディの衝突後の速度差はゼロになります。つまり2つのオブジェクト同士がくっついてしまいます。弾性が 1.0 (完全に弾性) のとき、衝突後の速度は衝突前と同じで方向だけが反対になります。詳しくは「A.7 衝突のシミュレーション」を参照してください。

Working Model 2D では、それぞれのボディに「弾性」係数が与えられています。衝突時の反発係数は、衝突する2つのボディの低い方の定数であると定義することができます。つまり、1つのボディの弾性が 0.2 で、もう1つのボディの弾性が 0.8 のとき、衝突時の反発係数は 0.2 となります。

プロパティウィンドウに値を直接入力すると、1つまたは複数のボディの弾性係数を変えることができます。

摩擦

Working Model 2D は静止および運動クーロン摩擦¹を両方とも正確にモデル化します。静止摩擦は2つのオブジェクト同士が接触して、相対的に動いていない状態のときに発生します。運動摩擦は、2つのオブジェクトが接触して、相対的に動いている状態のときに発生します。

摩擦係数は2つのオブジェクトの間で発生する相互作用のプロパティです。Working Model 2D では、それぞれのボディに静止および運動摩擦定数が与えられています。2つのオブジェクトの間の静止および運動摩擦係数は、相互作用に関わるオブジェクトのそれぞれの低い方の値で定義されます。このため、運動摩擦係数が 0.05 のオブジェクトと 0.3 のオブジェクトでは、運動摩擦係数は 0.05 になります。

プロパティウィンドウに直接値を入力すると、1つまたは複数のボディの摩擦係数を変えることができます。

¹. クーロン摩擦は接触面にかけられた通常の力に比例するものとしてモデルされる。例 $F = -\mu N$

密度、モーメント、材料、電荷

密度

Working Model 2D では、どの単位系を使用する場合でも、最初はすべての固体の厚さが 1 mm に設定されます。たとえば、縦横が 1 フィート x 1 フィートの正方形のオブジェクトを作成したとき、デフォルトの厚さは 1 mm または 3.28×10^{-3} フィートになります。オブジェクトの材料を鉄にすると、密度は 500 lb/ft^3 、オブジェクトの重さは 500 倍、つまり 3.28×10^{-3} すなわち 1.639 lb になります。

すべてのオブジェクトは、密度が最初は 1.0 g/cm^3 （水の密度と同じ）に設定されています。

同じ密度に設定されているため、最初は大きなオブジェクトは小さなオブジェクトよりも重くなります。

ボディの密度はプロパティウィンドウで表示することができます。ボディの密度を変えるには、別の材料を選択するしかありません。新しいボディを指定するとボディの密度を間接的に変更することになります。

質量の慣性モーメント

デフォルトでは、ボディが平面で質量分布が均一であるものとして、慣性モーメントが設定されています。

ボディの慣性モーメントは調整することができます。円形ボディの慣性モーメントを変えて、シェルのように辺縁部に質量が分布しているような挙動や、球体のような質量分布を持つような挙動をさせることもできます。慣性のモーメントは次のように数値的に指定することもできます。

次のようにして、ボディの慣性モーメントをシェルや球体の質量分布を持つもののように設定することができます。

1. ボディを選択して、ウィンドウメニューからプロパティを選択し、ボディのプロパティウィンドウを表示します。
2. ポップアップモーメントメニューから設定するモーメントを選択します。

設定し直した慣性のモーメントに合わせて、オブジェクトのモーメントの値が変更されます。

電荷

電荷はボディが静電界で示す挙動を規定します。ボディには最初、人間のスケール程度（1メートル程度）のオブジェクトの間に運動を起こすことができるほど大きな初期電荷が付与されます。電荷は静電場機能をオンにしたときだけ、シミュレーションに影響します。静電場機能をオンにするには、ワールドメニューから静電場を選択してください。

Working Model 2D では、すべてのボディの電荷が中心に固まっているものとして設定します。電荷はボディ全体に分布しているわけではないので、ボディの形状には依存しません。

材料

特定の材料を選択することで、ボディのプロパティの多くをすばやく設定することができます。設定には近似値のものもあります。材料には、ゴム、プラスチック、氷、土、木材、鉄があります。

次の表は Working Model 2D に設定された値を示したものです。静止および動摩擦係数はそれぞれ μ_s と μ_k と表記されてきます。

材料	密度 (g/cm ³) [(lb/ft ³)]	μ_s	μ_k	弾性 ^a	電荷 (C)
標準	1.0 [62.9]	0.3	0.3	0.5	0.0001
鉄	8.0 [503.4]	0.4	0.3	0.95	0.0001
氷	0.9 [56.6]	0.02	0.01	0.5	(none)
木材	0.5 [31.5]	0.2	0.2	0.5	(none)
プラスチック	0.5 [31.5]	0.2	0.2	0.7	0.0001
粘土	2.0 [125.9]	0.9	0.8	0.02	(none)
ゴム	0.5 [31.5]	0.9	0.8	0.95	0.0001
石材	4.0 [251.7]	0.4	0.3	0.2	(none)

^a. Working Model 2D では、弾性は衝突時の反発係数に対応

次のようにして、ボディのプロパティを特定の材料に設定します。

1. ボディの上でダブルクリックするか、ボディを選択してウィンドウメニューからプロパティを選択し、ボディのプロパティウィンドウを表示します。
2. ポップアップ材料メニューから材料を選択します。

材料を選択すると、ボディの密度、質量、慣性モーメント、弾性、摩擦係数、および電荷が設定されます。

複数のオブジェクトのプロパティを同時に変更

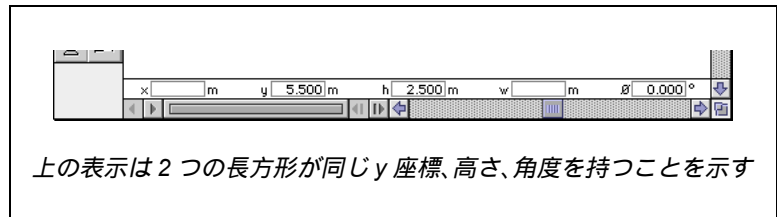
同時に複数のオブジェクトを選択すると、多くのオブジェクトに同時に同じプロパティを設定することができます。すばやく編集するには座標バーから、完全なコントロールを行うにはプロパティウィンドウを使って設定してください。

座標バー

座標バーは、選択されたオブジェクトでよく使われるプロパティを自動的に決定し、それらを表示します。たとえば、X 位置、Y 位置、角度は、すべてのボディに対して表示します。複数のオブジェクトを選択した場合、これらのフィールドが座標バーに表示されます。

選択した複数のボディの間で特定のプロパティが異なる場合、座標バーはそのプロパティをブランクで表示します（図 3-10 を参照）。

図 3-10
2 つの長方形が選択されたときの座標バー



次のようにして、複数のボディのプロパティを同時に設定することができます。

1. 変更したいプロパティを持つすべてのボディを選択します。

複数のオブジェクトを選択するときは、Shift キー選択を行います。Shift キーを押したまま、オブジェクトを順に選択してください。

2. 座標バーの該当するフィールドに新しい値を入力します。

選択したすべてのボディのプロパティが同時に変更されます。

プロパティウィンドウ

プロパティウィンドウのフィールドには自動的によく使われるパラメータが表示されます。選択したボディの間で特定のプロパティが異なる場合、プロパティウィンドウはそのプロパティを空白で表示します（図 3-11 を参照）。

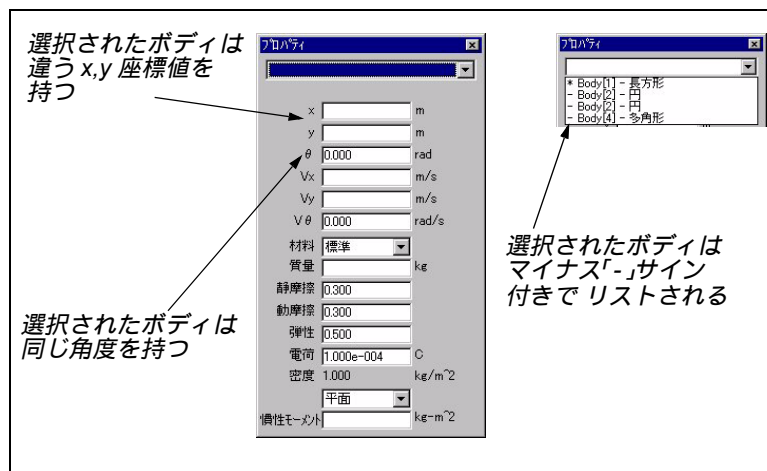
次のようにして、複数のボディのプロパティを一度に設定することができます。

1. 変更したいプロパティを持つすべてのボディを選択します。

複数のオブジェクトを選択するときは、**Shift** キー選択を行います。**Shift** キーを押したまま、オブジェクトを順に選択してください。

選択ポップアップには「複数の選択」と表示されます。選択ポップアップを表示すると、関連する項目がオブジェクト ID の横にマイナス記号（「-」）で表示されます（図 3-11）。

図 3-11
複数のボディを選択した場合の
プロパティウィンドウ



2. プロパティウィンドウの該当する欄に新しい値を入力します。

選択したすべてのボディが、一度に新しい値になります。

オブジェクトのプロパティを連続して変更

選択ポップアップメニューの使用

ユーティリティウィンドウの一番上にある選択ポップアップメニューには、現在選択されているオブジェクトの ID と名前が表示されます。Working Model 2D では、すべてのオブジェクトにデフォルトの名前（「円」や「ばね」）

など)がつけられます。この名前は表示設定ウィンドウで簡単に変更することができます(方法は「3.3 ボディの表示設定」を参照)。わかりやすい名前をつけておくと、後でオブジェクトを選択するときに便利です。

次のようにして、ワークスペースにある別のオブジェクトを選択します。

1. ポップアップメニューを表示して、選択したいオブジェクトの名前を選択します。

ユーティリティウィンドウには選択したオブジェクトのプロパティが表示されます。デフォルト設定では、曲線多角形は選択メニュー内で多角形としてリストされているので、注意してください。

図 3-12
選択ポップアップメニューを
使ってオブジェクトを選択



オブジェクトにまだわかりやすい名前を付けていない場合、ステータスバーでオブジェクト ID (ボディ [2] など) を調べることができます。オブジェクトにマウスを近づけると、そのオブジェクトの名前がステータスバーに表示されます。オブジェクト名を調べる場合はステータスバーをオンにしておくと便利です。

次のようにしてステータスバーをオンにします。

1. ビューメニューからワークスペースを選択して、ワークスペースサブメニューまたはダイアログからステータスバーを選択します。

式を使ったボディのプロパティの参照

Working Model 2D の強力な式言語を使って、あらゆるボディの運動プロパティ（位置、速度、加速度）にアクセスすることができます。付録 B「式言語リファレンス」（特に、B-6 ページの「ボディフィールド」）を参照してください。

式を使ったボディの動きのコントロール

式を使ってボディの位置や速度をコントロールすることができます。アンカーツールを配置したり、式言語を使用することで、他のシミュレーションモデルとは独立して、ボディの動きをコントロールすることができます。

詳しくは「10.6 位置によってボディの経路を指定」と「10.7 ボディの経路を速度で指定」を参照してください。

3.3 ボディの表示設定

表示設定ウィンドウを使ってオブジェクトの表示設定をコントロールすることができます。

図 3-13
ボディに対する表示設定ウィンドウ



次のようにして表示設定ウィンドウを表示します。

1. 表示設定を変えるボディを選択します。
2. ウィンドウメニューから表示設定を選択します。

そのオブジェクトの表示設定ウィンドウが表示されます（図 3-13）。

選択ポップアップメニューの使用

表示設定ウィンドウがすでに表示されている場合は、ユーティリティウィンドウの一番上にある選択ポップアップメニューから、表示設定を変更するオブジェクトを選択することができます。このメニューにはドキュメントにあるすべてのオブジェクトの ID 番号と名前が表示されます。名前フィールド（選択ポップアップメニューのすぐ下）にわかりやすい名前を入力しておく、リストを探索するときに便利です。

色とパターンの変更

オブジェクトの内側と外側の色とパターンを変更するには、ボディの表示設定ウィンドウにある塗りつぶしとフレームの横のポップアップメニューをクリックしてください。

塗りつぶし

ボディの中心は、透明、ソリッドカラー、白と黒を含むあらゆる 2 色のパターンで塗りつぶすことができます。

表示設定ウィンドウの塗りつぶしの横にある 2 つのポップアップメニューをクリックすると、色とパターンを変更することができます。

フレーム

オブジェクトのアウトラインの幅と色を変更することができます。細い線のアウトラインの場合、パターンを変えてもよくわからないことがあります。

重心を追跡、接続を追跡、アウトラインを追跡

この 3 つのオプションは、ワールドメニューの追跡をオンにしたとき、ボディのどの部分を追跡するかを選択するものです。

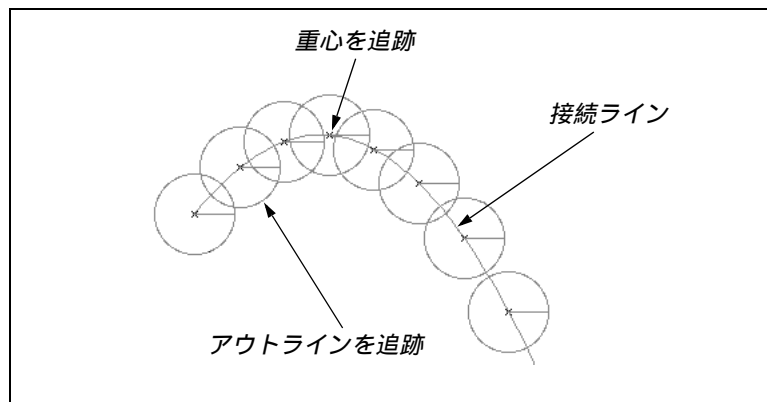
重心を追跡を選択すると、ボディの中心のポイントが軌跡として表示されます。重心を表示をオンにすると、軌跡をさらに強調して表示することができます。

接続を追跡を選択すると、ボディの重心とその後の位置との間を結ぶラインが表示されます。

アウトラインを追跡を選択すると、ボディのアウトラインが軌跡として表示されます。

図 3-14

重心を追跡、接続を追跡、アウトラインを追跡の例



表示

表示フィールドを1回クリックしてチェックマークを解除すると、ボディを非表示にすることができます。非表示のボディは表示されたボディとまったく同じように挙動します。最初は、ボディはすべて表示に設定されています。

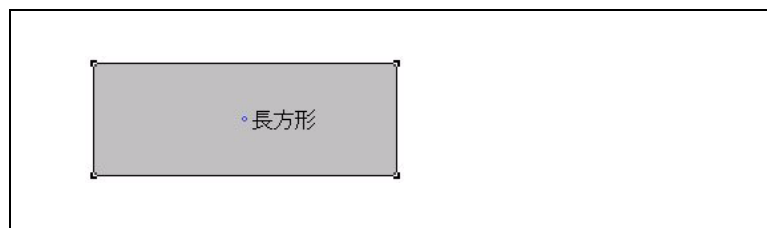
名前を表示

ボディの名前は自動的にそのタイプ（円、長方形、正方形、または多角形）に合わせて設定されます。デフォルトの設定では、曲線多角形オブジェクトには多角形という名前がつけられます。この名前を変更するには、表示設定ウィンドウの名前フィールドに新しい名前を直接入力してください。

ボディの名前を表示するには、名前を表示を選択します。図 3-15 に名前が表示された長方形があります。

図 3-15

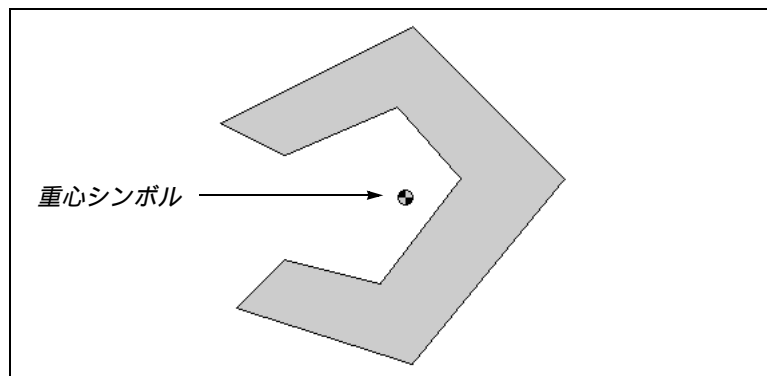
名前を表示したボディ



重心を表示

重心を表示ボックスを選択すると、ボディの重心を表示することができます。重心は白黒の円板の形をしたインジケータで表示されます。アウトラインを追跡をオンにすると、このインジケータの軌跡も表示されます。

図 3-16
重心を表す記号



電荷を表示

電荷を表示を選択すると、正の電荷を帯びたボディには大きなプラス記号 (+) が、負の電荷を帯びたボディには大きなマイナス記号 (-) が表示されます。

円の方向を表示

最初、それぞれの円には幾何学的中心を通り、ワールドフレームの X 軸に平行なラインが表示されます。円の方向は、このラインとワールドフレームの X 軸との角度によって定義されます。

円の方向を選択すると、円の現在の方向を表示するラインが表示されます。

表示設定ウィンドウを閉じるには、閉じるボックスをクリックしてください。

3.4 ボディの形状

Working Model 2D では、次のような形状パラメータを簡単に変更することができます。

- 長方形の幅と高さ
- 円の半径
- 多角形の頂点の位置
- 曲線多角形のコントロールポイントの位置

ボディの形状を変更するには、座標バーか形状ウィンドウを使用します。座標バーから形状パラメータに簡単にすばやくアクセスすることができます。形状ウィンドウでは、他のアプリケーションとの間で多角形の形状データをインポートしたりエクスポートするなど、すべてのコントロールを行うことが可能です。形状ウィンドウでは多角形の頂点や曲線多角形のコントロールポイントの位置を変更することもできます。

このセクションでは形状ウィンドウの使い方を説明します。座標バーの使い方については、「3.1 ボディの作成」を参照してください。

次のようにして形状ウィンドウを表示します。

1. 形状を変更するボディを選択します。
2. ウィンドウメニューから形状を選択します。

選択ポップアップメニューの使用

形状ウィンドウがすでに表示されている場合、選択するオブジェクトをウィンドウの一番上にある選択ポップアップメニューから直接選択することができます（図 3-17）。このメニューにはドキュメントにあるすべてのオブジェクトの ID 番号と名前のリストが表示されます。表示設定ウィンドウにある名前フィールドに直接名前を入力して、ボディにわかりやすい名前をつけることもできます（「3.3 ボディの表示設定」を参照）。オブジェクトにわかりやすい名前をつけておくと、オブジェクトリストで探すときに便利です。

図 3-17
長方形に対する形状ウィンドウ



面積

Working Model 2D のボディは体積ではなく面積で定義されています。ボディの面積を変えるには、マウスを使ってボディのサイズを変えるか、形状ウィンドウで値を変更してください。

重心オフセット

デフォルトでは、すべてのボディはオブジェクトの幾何学的重心を重心として作成されます。重心を移動するには、図 3-17 のように、X および Y オフセットフィールドの値を変えます。

この値は、オブジェクトの参照ポイント（詳しくは 3-10 ページの「参照ポイント」を参照）を基準にしています。自動モード（図 3-17 にあるラジオボタンによって表示される）では、多角形の形状を変更するたびに自動的に重心が再計算されて、重心が幾何学的中心と一致するようにします。

メーターを使うと、重心や参照ポイントにおけるボディの運動測定値（位置、速度、加速度など）を測定することができます。詳しくは「7.1 メーター」を参照してください。

式言語には重心や参照ポイントに対する明示的参照もあります。たとえば、`body[n].cofm.p` は重心を参照し、`body[n].p` は参照ポイントを参照します。詳しくは、付録 B「式言語リファレンス」を参照してください。

半径

円形ボディを選択しているとき、半径は形状ウィンドウから選択することができます。円形ボディのサイズは半径を入力すると正確に設定することができます。

半径の編集は座標バーでも行うことができます。3-4 ページの「円の作成」を参照してください。

高さと幅

長方形を選択しているとき、形状ウィンドウから高さと幅を選択することができます。

この 2 つのパラメータの編集は座標バーでも行うことができます。3-2 ページの「長方形と正方形の作成」を参照してください。

多角形の頂点と曲線多角形のコントロールポイント

形状ウィンドウで、多角形の頂点と曲線多角形のコントロールポイントを完全にコントロールすることができます。デフォルトでは、座標はワールドを基準にして設定されています（全体座標など）。形状ウィンドウでは、頂点 / コントロールポイントの追加、頂点 / コントロールポイントの削除、多角形 / 曲線多角形の形状変更を行うことができます。

多角形と曲線多角形の間の変換

形状ウィンドウでは、「曲線多角形」チェックボックスをチェックすることで、多角形を曲線多角形に変換したり、曲線多角形を多角形に変換することができます。多角形では、このボックスはチェックされておらず、ポイントの座標は多角形の頂点を示します。このチェックボックスをクリックすると、多角形が曲線多角形に変換されて、前の多角形の頂点の座標がコントロールポイントに変換されます。

式を使ったボディの形状の参照

Working Model 2D に搭載されたパワフルな式言語を使って、あらゆるボディの形状プロパティ（幅、高さ、頂点の座標など）を参照することができます。たとえば、次のような場合にオブジェクトの形状を使うことができます。

- オブジェクトの形状を基準にして拘束の配置位置を指定（4-11 ページの「拘束の正確な配置」を参照）

- 異なるボディの形状同士の関係を定義（例、ボディ 5 の幅はボディ 1 の高さの 2 倍に等しい、など）

すべての式言語のリストについては、付録 B「式言語リファレンス」を参照してください。

式を使ったボディの形状の定義

式を使ってボディの形状を定義することができます。たとえば、body[1] のサイズが body[3] のサイズによって規定されるような、4 本のバーのリンケージ機構を定義するとします。また body[1] の幅と高さを body[3] の幅と高さの半分にするとします。このとき body[1] の幅と高さのフィールドはそれぞれ次のように指定することができます。

幅：`body[3].width / 2`

高さ：`body[3].height / 2`

これで、body[3] のサイズを変更すると、body[1] のサイズを自動的に変えることができます。

注：ボディの形状を表すために式を使用している場合、式の値は最初フレーム（ $t=0$ ）でだけしか計算されません。この計算の結果がシミュレーションの残りのフレームでも使用されます。

たとえば式 $\cos(t)$ を使って長方形の幅を指定した場合、長方形の幅は次のようになります。

$\cos(0) = 1.0$

長方形の幅は、 t や $\cos(t)$ の値には関係なく、シミュレーションの残りのフレームのすべてでこの値になります。

多角形と曲線多角形の座標

多角形の頂点と曲線多角形のコントロールポイントは形状ウィンドウでテーブルとして表示されます。これらの座標は形状座標またはワールド座標で表示することができます。

ワールド座標

ワールド座標はワークスペース内での頂点の実際の位置を「全体座標」として表示します。多角形と曲線多角形オブジェクトでは、ワールド座標は常に直角座標（デカルト座標）で表示されます。

形状座標

形状座標はオブジェクトの参照ポイント（3-10 ページの「参照ポイント」を参照）を基準にした座標の位置を、「ローカルな」座標として表示します。頂点の形状座標は、オブジェクトの形状がその位置で変更されたり、オブジェクト全体のサイズが変更されたりしない限り変わりません。参照ポイントのワールド座標は、プロパティウィンドウで X、Y、 ϕ として表示されます（3-10 ページの「初期位置と方向」を参照）。

形状座標に使用される座標系のタイプは、オブジェクトが多角形か曲線多角形かによって決まります。多角形の形状座標はデカルト座標系によって、曲線多角形の形状座標は局所座標系によって表示されます。

コピー／貼り付け

頂点の座標を、スプレッドシートやテキストエディタなど、他のアプリケーションとの間でコピーしたり貼り付けたりすることができます。詳しくは 3-28 ページの「多角形または曲線多角形の形状を他のアプリケーションとの間でコピー」を参照してください。

多角形や曲線多角形の数値的な形状変更

形状ウィンドウで各頂点の座標を定義することによって、多角形や曲線多角形の形状を正確に変更することができます。マウスでドラッグして多角形や曲線多角形の形状を変更する場合には、3-7 ページの「多角形や曲線多角形の図形的な形状変更」を参照してください。

形状ウィンドウでは次の操作も行うことができます。

- 頂点の追加および削除
- クリップボードを使った座標テーブルのコピーと、他のアプリケーションとの間での正確な形状データの交換

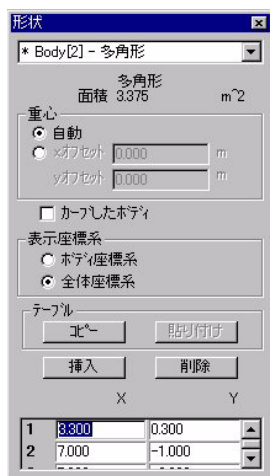
形状ウィンドウを使った形状変更

次のようにして、形状ウィンドウを使って多角形や曲線多角形の形状を変更することができます。

1. 多角形や曲線多角形をクリックして選択します。
2. ウィンドウメニューから形状を選択します。

図 3-18 のような形状ウィンドウが表示されます。ボディの上または近くに「参照ポイント」と表示されたクロスカーソルが表示され、参照ポイントを示します。

図 3-18
形状ウィンドウ



3. 頂点の座標を入力し直します。

新しい座標を入力するとオブジェクトの形状が変わります。Tab キーで頂点テーブルをスキャンすると、オブジェクトの上で頂点がハイライトして表示されることに注意してください。

頂点の追加

次のようにして頂点を追加します。

1. 多角形または曲線多角形を選択します。
2. ウィンドウメニューから形状を選択します。

図 3-19 のように形状ウィンドウが表示されます。

3. 新しいポイントの近くで頂点を選択します。

点滅するカーソルで頂点の座標をクリックするか、座標の 1 つをハイライトします。

図 3-19
頂点の追加

この頂点を選択



挿入

- 形状ウィンドウで挿入ボタンをクリックします。

頂点リストに頂点の複製が作成されます。この複製を編集するまで、オブジェクトの形状は変わりません。図 3-20 を参照してください。

図 3-20
同じ頂点を 2 つ持つ新しいオブジェクト

これら 2 つの頂点は同じ座標値を持ち、多角形はもう 1 つ多くの頂点を持つ



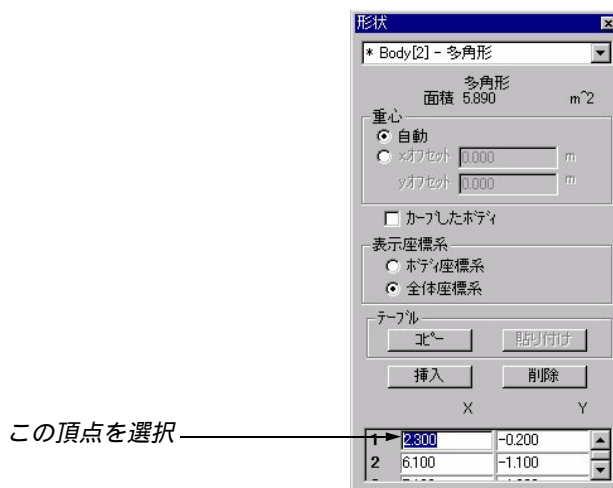
- 新しい頂点の座標を編集して、幾何学的に異なるポイントを作成します。

頂点の削除

次のようにして頂点を削除します。

1. オブジェクトをクリックして選択します。
2. ウィンドウメニューから形状を選択します。
形状ウィンドウが表示されます。
3. 形状ウィンドウで削除したい頂点を選択します。

図 3-21
頂点の削除



削除

4. 削除ボタンをクリックします。

リストから頂点が削除され、それに合わせて多角形または曲線多角形の形状が変更されます。

多角形または曲線多角形の形状を他のアプリケーションとの間でコピー

Working Model 2D では、多角形または曲線多角形オブジェクトを頂点の集合としてコピーしたり貼り付けることができます。この座標を、表計算プログラムや CNC マシニングプログラム、テキストエディタなどとの間でやり取りすることができます。

データの表現方法

形状データはクリップボードを介して頂点の座標のリストとして転送されます。データは、タブで区切られた数字の組 (x, y) のリストを持つテキストです。それぞれの数字の組が 1 本のラインを表します。

クリップボードからデータをコピーして貼り付けることで、ほとんどの表計算プログラムやテキストエディタにデータをインポートすることができます。CAD プログラムの場合は、テキスト / ASCII データ入力のような別の方法が必要になることがあります。

別のアプリケーションに
多角形または曲線多角形
をコピー

次のようにして Working Model 2D から別のプログラムに多角形または曲線多角形のデータを送ることができます。

1. 多角形または曲線多角形を選択して、ウィンドウメニューから形状を選択します。

形状ウィンドウが表示され、頂点が示されます。

2. データのポイントを表現する座標系を選択します。

ボディ座標系またはワールド座標系のいずれかを選択します。

3. 形状ウィンドウでコピーボタンをクリックします。

ポイントの座標がクリップボードにコピーされます。

4. コピー先のアプリケーションに切り替えて、そのアプリケーションの編集メニューから貼り付けを選択し、データポイントを貼り付けます。

データの 1 列が 1 組のポイントの座標を表します (ポイントとポイントの間はタブ区切り)。

別のアプリケーションから
多角形または曲線多角形
を貼り付ける

次のようにして別のアプリケーションから Working Model 2D に多角形または曲線多角形のデータを貼り付けることができます。

1. コピー元のアプリケーションでポイントのテーブルを選択します。

データは、1 列が 1 組のポイントの座標を示し、データの間がタブで区切られているような、2 列の表形式になっていなければなりません。データがこの形式でない場合、Working Model 2D は数字のリストを連続した 1 組のポイント座標であると解釈します。

図 3-22 に、6 個のコントロールポイントのデータが入った Microsoft Excel ワークシートのサンプルがあります。

図 3-22
ポイントの座標が入った
Microsoft Excel のスプレッド
シート

	A	B	C	D	E	F	G	H	I
1									
2									
3									
4									
5									
6				1.7	0.2				
7				7.4	-1.7				
8				5.9	-2.6				
9				3.5	-9.1				
10				2.6	-6.3				
11				3.2	-3				
12									
13									
14									
15									

2. コピー元のアプリケーションのコピー機能を使ってクリップボードに選択したデータをコピーします。
3. Working Model 2D に切り替えて、多角形または曲線多角形を作成する。ウィンドウメニューから形状を選択します。

多角形の頂点は、新しいデータを貼り付けると上書きされるので、インポートされていません。

4. 形状ウィンドウのラジオボタンをクリックして、コピーするデータの座標形式をワールド座標系とボディ座標系のどちらにするかを指定します。

このステップは非常に重要です。誤った座標系を指定すると、オブジェクトが正しくレンダリングされません。

5. 形状ウィンドウの貼り付けボタンをクリックします。

データのポイントは新しい多角形または曲線多角形の頂点として処理されます。

3.5 ボディのアンカー



アンカーツールを使うとボディの動きを制限することができます。アンカーツールを選択して、固定するボディの内側でクリックしてください。アンカーは非表示にすることもできます(4-7 ページの「拘束の表示・非表示」を参照)。

オブジェクトを結合するときにもアンカーツールは便利です。オブジェクトを結合するとき、動かしたくないボディにはアンカーを配置しておいてください。

アンカーを取り外すには、アンカーを選択して削除します。

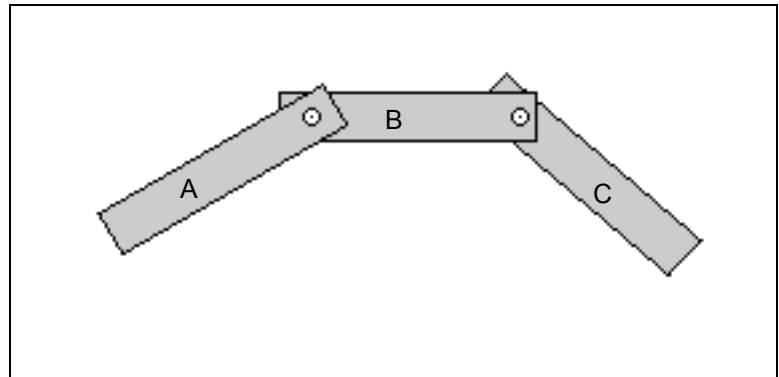
アンカーツールを使って、ボディの動きをコントロールすることもできます。「10.6 位置によってボディの経路を指定」および「10.7 ボディの経路を速度で指定」を参照してください。

3.6 ボディ同士の衝突のコントロール

Working Model 2D では、最初、すべてのボディ同士が衝突するものとして処理します。Working Model 2D は 2 つのボディが直接ピンジョイント、スロットジョイント、またはギアで結合されている場合、自動的に例外として、2 つのボディは衝突しないものとみなします（第 4 章「拘束」を参照）。

2 つのボディが直接結合されていない場合、Working Model 2D はその 2 つを衝突するものとみなします。たとえば図 3-23 のように、A、B、C の 3 つのボディがピンジョイントで結合されている場合、デフォルト設定ではボディ A と B は衝突しませんが、ボディ A と C は直接結合されていないため、衝突します。

図 3-23
鎖状に結合されたオブジェクト



衝突のプロパティは 1 組のボディのプロパティになります。2 つ以上のボディを選択して衝突プロパティを設定すると、選択されたボディセットのすべての組み合わせにその設定が適用されます。

たとえば、次のようにして複数のオブジェクト同士がすべて衝突するように（あるいはまったく衝突しないように）設定することができます。

1. 衝突させる（あるいはさせない）ボディのセットを選択します。

Shift キーまたはボックス選択を使って選択してください。

- オブジェクトメニューで、衝突または衝突なしを選択します。

衝突メニューに、選択されたボディ間の現在の衝突設定が表示されます (図 3-24)。

図 3-24
2 つの場合の衝突サブメニュー



2 つのメニューアイテムの横に表示されるチェックマーク (選択した場合) が、選択したオブジェクトが衝突するかしないかを示します。次の 2 つの場合があります。

- 衝突の横にチェックマークが表示されている場合、選択した 1 組のボディは衝突します。選択したボディの間にある 2 つのボディも、このとき一緒に衝突します。
- 衝突なしの隣にチェックマークが表示されている場合、選択した 1 組のボディは衝突しません (お互いに貫通します)。選択したボディの間にある 2 つのボディも、このとき一緒に貫通します。

シミュレーションの性能を最適化するには、8-33 ページの「衝突を最小限にする」を参照してください。Working Model 2D が衝突をシミュレートする方法については、「A.7 衝突のシミュレート」に詳しい説明があります。

第 4 章

拘束

4.1 拘束とは？

Working Model 2D では、拘束は、指定された一定の条件に基づいてボディに力やトルクをかけるオブジェクトです。拘束の中には、ジョイントのように並進方向や回転の自由度を制限して、ボディの動きを明示的に拘束するものもありますが、ばねのようにボディの構成（相対速度、変位、角加速度など）に基づいて力やトルクを作用させるものもあります。ボディとは異なり、拘束には質量や体積はありません。したがって拘束は他の拘束やボディと衝突することはありません。

拘束はボディや背景に固定された端点にのみ力やトルクをかけます。¹ たとえば線形ばねはその長さに比例する力を端点に作用させます（ $F = -kx$ ）。

すべての拘束には 1 つまたは 2 つのポイント要素が埋め込まれています。拘束オブジェクトは、これらの 1 点またはそれ以上の点に作用する力やトルクを支配するような状態を持ったポイント要素のセットであると考えることができます。

4.2 拘束のタイプ

Working Model 2D には 4 種類の拘束があります。

- 線形拘束
- 回転拘束
- 力およびトルク
- ジョイント

¹ ブーリーシステムは、端点以外に節点があるため例外です。詳しくは「4.10 ブーリー」を参照してください。

線形拘束

線形拘束には2つの端点があり、この2つの端点を結ぶラインに沿って力を作用させます。線形拘束には、ばね、ダンパー、ロープ、ロッド、セパレータ、アクチュエータ、およびプーリーがあります。

これらの拘束が生み出す力は同じ大きさで、それぞれの端点でボディに反対方向に力を作用させます。

回転拘束

回転拘束は2つのオブジェクトの間にねじり力（トルク）を作用させます。回転拘束には、モーター、ギア、回転ばね、および回転ダンパーがあります。すべての回転拘束（ギアを除く）にピンジョイントが組み込まれています。

回転拘束はそれぞれの回転拘束ツールを使って直接作成しなければなりません。プリミティブな要素を接続して回転拘束を作成することはできません。一度作成された回転拘束を別のポイントに分離したり編集したりすることはできません。

力およびトルク

力は1つのポイントでボディに線形の力を作用させます。トルクはボディにねじり力を作用させます。

ジョイント

ジョイントは2つのボディを接続し、2つのボディが相互にどのように動くかを拘束します。Working Model 2D には、ピンジョイント、固定ジョイント、スロットジョイントがあります。詳しくは「4.18 ジョイント」および「4.19 スロットジョイント」を参照してください。

ジョイントは下のいずれかの方法で作成することができます。

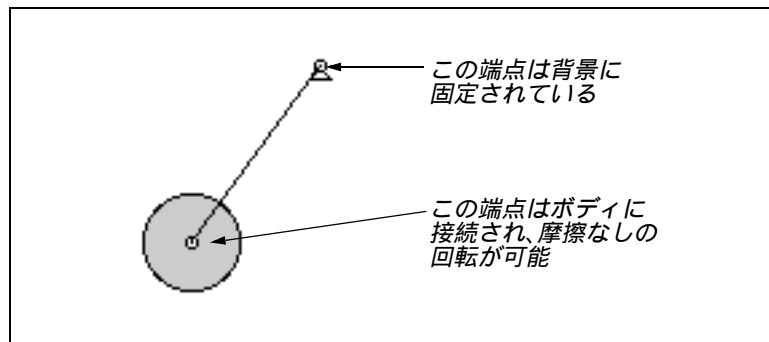
- ツールバーの該当するジョイントツールをクリックします。または、
- プリミティブな構成要素を結合コマンドで配置します。たとえば2つのポイント要素を結合してピンジョイントを作成します。

4.3 拘束の一般プロパティ

このセクションでは、ほとんどのタイプの拘束に使用することができるヒントやテクニックを説明します。次に示すのは拘束の一般プロパティの一部です。

- 拘束はそれぞれ定義された特性やパラメータにしたがって挙動します。
- 拘束プロパティの多くは該当するコントロールを使ってダイナミックにコントロールすることができます（詳しくは「7.2 コントロール」を参照）。
- 力とトルク以外のすべての拘束には端点が2つあります。この端点の位置は回転拘束と一致します。
- 拘束を作成したとき、端点はそれぞれ自動的にボディか背景に固定されます。
- 各拘束の端にある配置記号は拘束が背景とボディのどちらに配置されているかを示します（図 4-1 を参照）。

図 4-1
円形ボディに配置されたロープ
の端点



プロパティウィンドウ

Working Model 2D では、ワークスペースにある他のオブジェクトと同じように、拘束をダブルクリックしてプロパティウィンドウを表示することができます。このプロパティウィンドウから拘束のパラメータを調整したり定義したりすることができます。

拘束を選択して、ウィンドウメニューからプロパティを選択しても、プロパティウィンドウを表示することができます。

選択した拘束のタイプに応じて、プロパティウィンドウにはさまざまなパラメータが表示されます。くわしくはそれぞれの拘束についてのセクション（この章の後半にあります）を参照してください。

拘束成分と選択ポップアップ

プロパティウィンドウは、拘束、ポイント要素、ボディの間の配置を調べるのに便利です。たとえば次のようなことができます。

- 拘束の場合、拘束がどのボディに配置されており、どのポイント要素が拘束の一部であるかを調べることができます。
- ポイント要素の場合、ポイントがどのボディに配置されており、どの拘束に属するかを調べることができます。
- ボディの場合、どのポイント要素がそのボディに配置されているかを調べることができます。

次のようにして、拘束、ポイント要素、ボディの間の配置を調べることができます。

1. 配置や関係を調べたいオブジェクトを選択します。

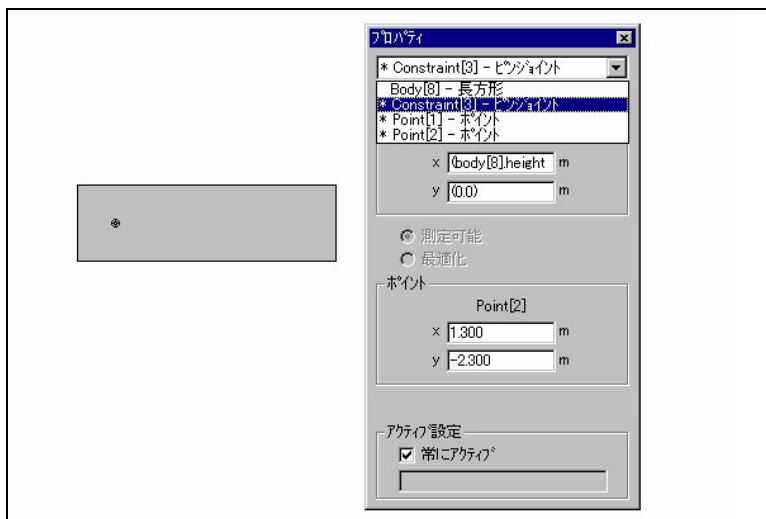
この場合、ピンジョイントを選択します。

2. ウィンドウメニューからプロパティを選択します。

プロパティウィンドウが表示されます。

3. 選択ポップアップメニューでマウスボタンを押します（図 4-2）。

図 4-2
ピンジョイントと他のオブジェクトの関係を
示した選択ポップアップメニュー

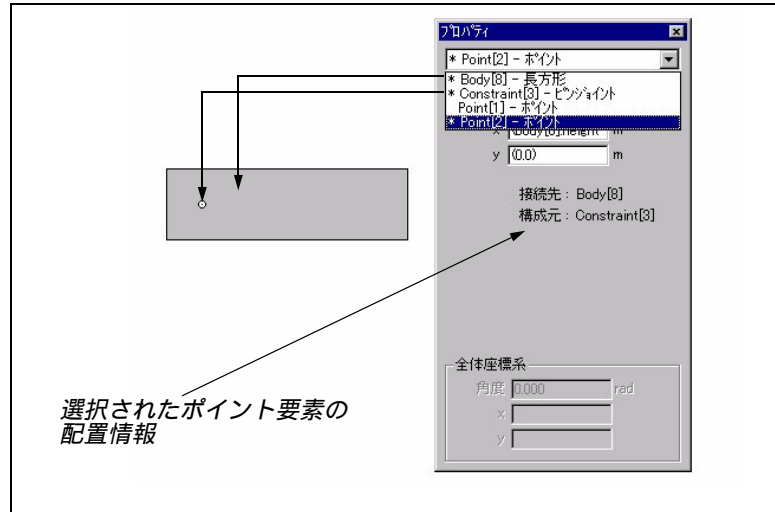


選択ポップアップメニューに示されたオブジェクトのうち、アスタリスク(*)がついているものは、選択されたオブジェクトに関連していることを示します。図 4-2 では Point[1] と Point[2] が Constraint[3] で関連付けられています。実際には、Constraint[3]はPoint[1]とPoint[2]で構成されたピンジョイントです。

図 4-3 はまた別の例です。図の Point[2] が選択ポップアップで選択されています。Constraint[3] と Body[8] には配置を示すアスタリスクがついています。プロパティウィンドウの中央部分にもこの関係を示す表示があることに注意してください。

図 4-3

選択ポップアップはポイントと他のオブジェクトとの関係を表示する



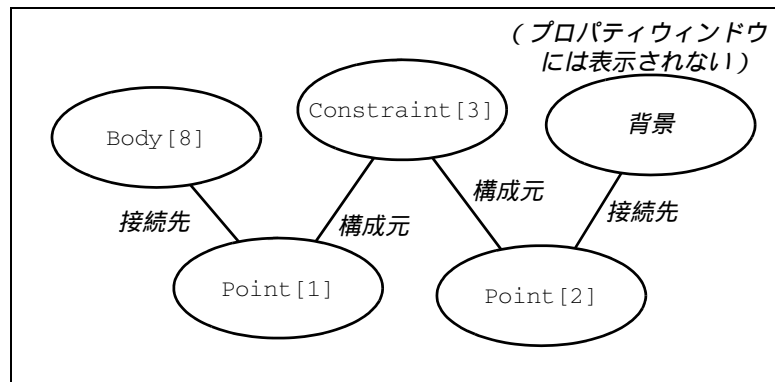
ポイント要素では、プロパティウィンドウに次の項目も表示されます。

- そのポイントが端点となる拘束
- そのポイントが配置されているボディ

上の例は、モデルのオブジェクトに図に示すような関連があることを表しています（図 4-4）。

図 4-4

図 4-2 のオブジェクト間の関係



選択ポップアップ内のオブジェクト名

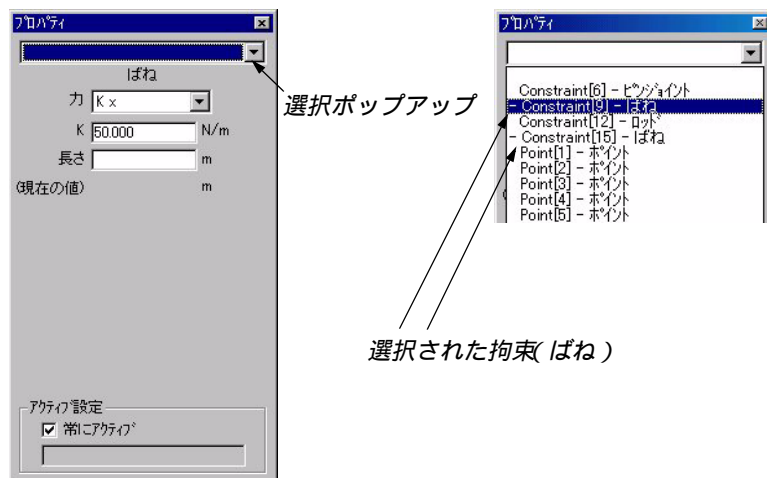
拘束にはすべて最初に作成したときにデフォルトの名前がつけられています。しかし拘束（および Working Model 2D の他のすべてのオブジェクト）には好きな名前を付けることができます。選択ポップアップにはこの名前が表示されるため、目的のオブジェクトをすばやく見つけることができます。

拘束に別の名前をつけるには、4-7 ページの「拘束に名前をつける」を参照してください。

複数のオブジェクトの選択

複数のオブジェクトを選択した場合、プロパティウィンドウの選択ポップアップにはアイテム名として「複数の選択」と表示されます。どのオブジェクトが選択されているかを調べるには、ポップアップ選択をクリックします（図 4-5）。選択されているボディにはリストの左側にマイナス記号（-）が表示されます。

図 4-5
複数のばねが選択されているときのプロパティウィンドウ



プロパティウィンドウには、選択されたすべての拘束について同じであるプロパティしか表示されません。たとえば図 4-5 ではバネ定数は 50 と表示されていますが、長さのフィールドは空白です。これはすべてのバネのバネ定数が同じで、長さはそれぞれ異なることを意味します。

プロパティウィンドウで複数の選択のプロパティを変更すると、選択されているすべての拘束が同じ値になります。たとえば図 4-5 にあるプロパティウィンドウで、長さフィールドに 2.0 と入力すると、2 つのバネの静止長はいずれも 2.0 メートルになります。

拘束の表示 / 非表示

表示設定ウィンドウを使って、拘束を選択的に表示にしたり非表示にすることができます。拘束は表示でも非表示でも機能します。拘束を非表示にするのは次のような場合です。

- スロット要素を非表示にして、長いスロットによってシミュレーション画面が大きく分割されるのを避けます。
- 自動車ではね / ダンパーサスペンションを非表示にして、モデルがよりリアルにみえるようにします。

次のようにして拘束を表示にしたり非表示にすることができます。

1. 表示または非表示にする拘束を選択します。
2. ウィンドウメニューから表示設定を選択します。

表示設定ウィンドウが表示されます。

3. 必要に応じて「表示」チェックボックスをクリックします (図 4-6)。

拘束に名前をつける

拘束に名前をつけると、ポイントや拘束をすばやく見つけることができます。またシミュレーションウィンドウで、拘束の中心近くに名前を表示することができます。

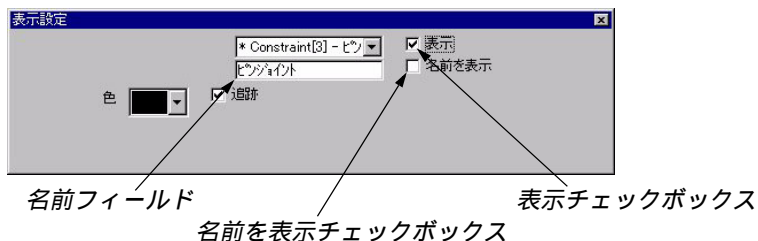
次のようにして、拘束に自由に名前をつけることができます。

1. 名前をつける拘束を選択します。
2. ウィンドウメニューから表示を選択します。

表示設定ウィンドウが表示されます。

3. 表示設定ウィンドウの名前フィールドに名前を入力します (図 4-6)。

図 4-6
表示設定ウィンドウ



シミュレーション中にこれらの名前を表示するには、表示設定ウィンドウの「名前を表示」をクリックします（図 4-6）。

拘束ポイント要素の座標

すべての拘束には 1 つまたは 2 つのポイント要素が埋め込まれています。Working Model 2D では、これらのポイントを全体座標（ワールドを基準とする）とローカル座標（ポイントが配置されたボディの中心を基準とする座標）¹ のいずれかで表示することができます。これらの座標は座標バーかプロパティウィンドウで表示したり編集することができます。式言語を使ってこれらの値を参照することもできます。

線形拘束

線形拘束には 2 つの端点があります。それぞれのポイントの座標値 (x, y) は、ポイントが配置されたボディのローカル座標系で表されます。

回転拘束

回転拘束にも 2 つのポイントがあります。そのうち 1 つを基準点と呼びます。線形拘束と同じように、各ポイントの座標値 (x, y) はポイントが配置されたボディのローカル座標系で表されます。

座標バーの編集

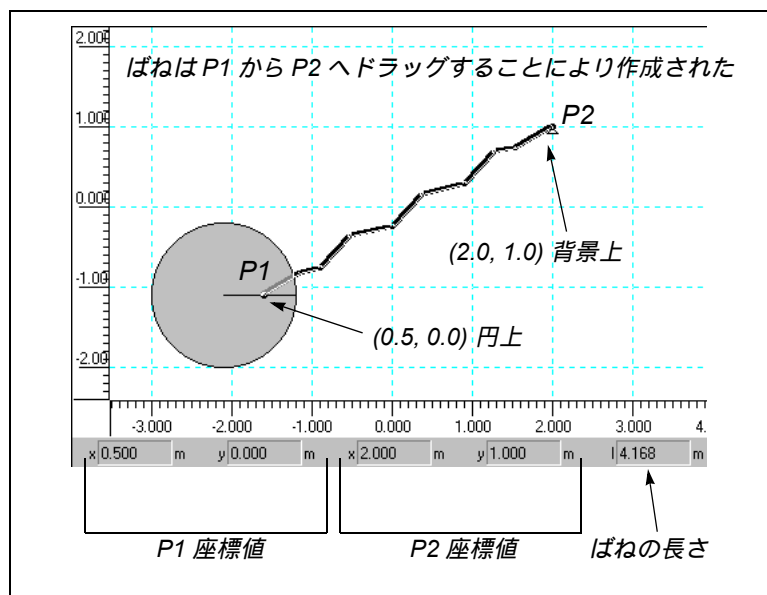
ドキュメントウィンドウの一番下にある座標バーには、現在選択されたオブジェクトに関する情報が表示されます。この座標を「その場で」編集して、モデルをすばやく簡単に変更することができます。

座標バーに表示される値は、拘束のタイプに応じて変わります。たとえばばねが選択されているときは、座標バーに 2 つの端点（図 4-7）と静止長さが表示されます。 (x, y) は端点が配置されているボディの座標系で表示されます。

この後のセクションでは、拘束のタイプによって座標バーで編集できるパラメーターについて説明します。6-10 ページの「座標バーの表示」には、座標バーを使うときに便利なヒントが説明されています。

¹ ポイントが背景に固定されている場合、ローカル座標系は全体座標系と同じになります。

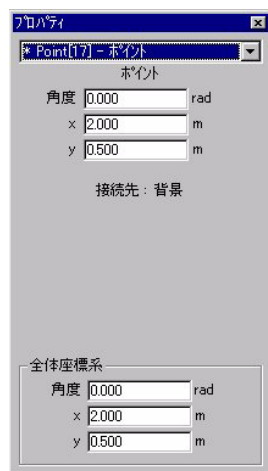
図 4-7
ばねの座標バー



プロパティウィンドウで
の編集

プロパティウィンドウでは、拘束の端点の位置をローカル座標系または全体座標系で指定することができます（図 4-8）。

図 4-8
拘束端点のプロパティウィンドウ



ローカル座標系
(常に編集可能)

全体座標系

一番上のセットはローカル座標系で表記されています。値はポイントが配置されたボディを基準にします。この値はいつでも編集することができます。

一番下のセットは全体座標系で表記されています。ローカル座標系が形状ベースの式で定義されている場合、式は全体座標系の定義より優先して計算されるため、全体座標系は編集することができません。

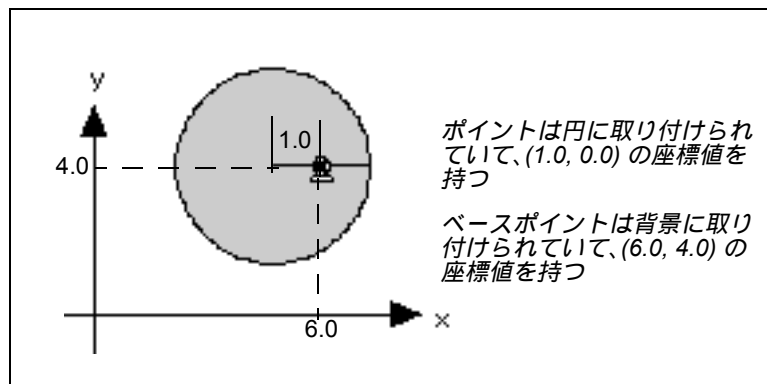
円形ボディを背景に固定しているモーターの場合、モーターの基準点の座標はワールドフレームで表示されますが、ポイントの座標値は円の中心を基準にして表示されます。

これらの値を直接編集して拘束の位置を正確に指定することができます。たとえば次のような場合が考えられます。

- 基準点の座標値を変更して、背景を基準にしたモーターの配置ポイントを正確に指定する（ディスクとモーターと一緒に移動する）。
- ポイント座標値を変更して、モーターのディスクへの配置位置を正確に指定する（ディスクだけが単独で移動する）。

図 4-9 はモーターを使用した例を示しています。

図 4-9
回転拘束の基準点とポイント



次のようにして、プロパティウィンドウで拘束の位置を正確に指定することができます。

1. 回転拘束を選択し、ウィンドウメニューからプロパティを選択します。

プロパティウィンドウには基準点とポイントの名前が、ポイント [14] とポイント [15] のように表示されます。

2. プロパティウィンドウの一番上の拘束の名前をクリックします。

ポップアップリストには現在のモデルにあるすべてのオブジェクトが表示されます。

3. 変更する基準点やポイントを選択します。

4. 座標値を入力して、ポイントの位置を正確に指定します。

式言語による座標表記

Working Model 2D には、全体座標系とローカル座標系を参照するための 2 つの異なる式セットがあります。

<code>point[i].p</code>	全体座標系
<code>point[i].offset</code>	ローカル座標系

このため、`Point[i].offset.y` は、ポイントが配置されたボディを基準にして `Point[i]` の Y 座標を参照します。

ポイントが配置されたボディは次の式で参照します。

<code>point[i].body</code>	(ボディを返す)
----------------------------	----------

詳しくは付録 B「式言語リファレンス」を参照してください。

拘束の正確な配置

次のいずれかの方法で拘束を正確に配置することができます。

- オブジェクトにスナップを使うと、拘束を作成したときに自動的に正確な位置に配置することができます。
- グリッドにスナップを使うと、自動的に背景のグリッド線に合わせて拘束を作成することができます。
- 座標バーを使うと、拘束の形状をすばやく数値で表示して変更することができます。
- プロパティウィンドウを使うと、端点の座標を数値入力で編集することができます。

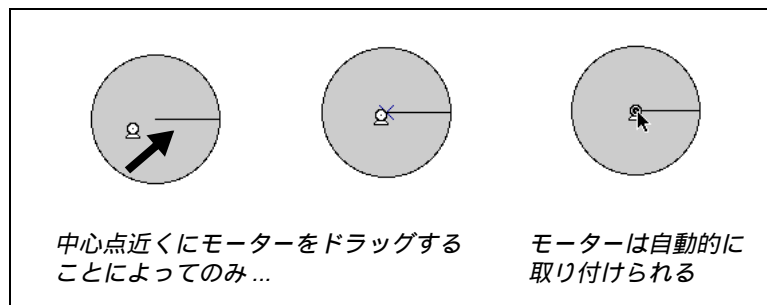
拘束の座標値を数値入力で編集する場合、数値だけではなく形状ベースの式を使うこともできます。形状ベースの式はボディの形状を基準にして拘束の位置を指定するものです。

オブジェクトにスナップを使用

オブジェクトにスナップがアクティブのとき、マウスボタンを放すと、拘束の端点は自動的に一番近いボディのスナップポイントか一番近いポイント要素にスナップされます。スナップはスナップ記号 (X 印) が表示されているときだけ行われます (下の図を参照)。オブジェクトにスナップ機能は拘束を最初から正確に配置したいときに便利です。たとえばモーターを円の幾何学的中心に簡単に配置することができます。

マウスポインタを画面上で移動させるとすると、一番近いスナップポイントが X 印で表示されます。図 4-10 はモーターが円の中心に配置されるようすを示した例です。

図 4-10
オブジェクトにスナップでモーターを配置



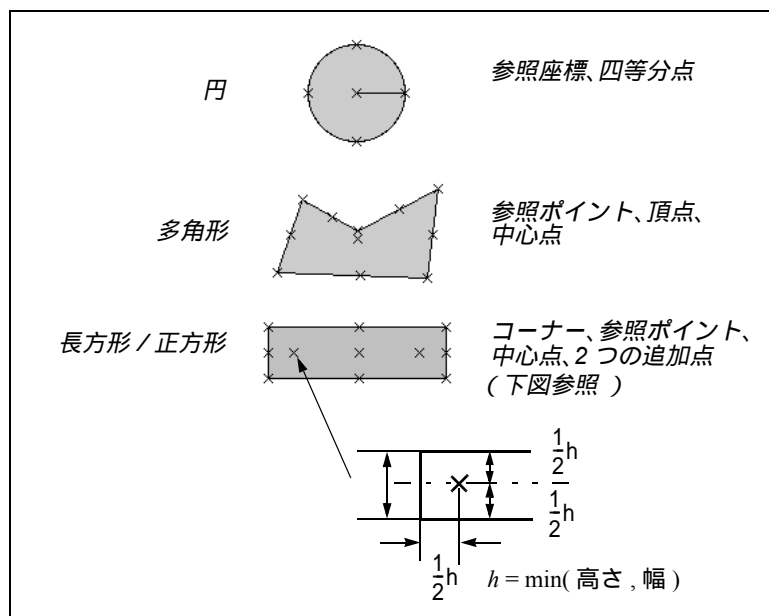
オブジェクトにスナップ機能はいつでもオン / オフを切り替えることができます。次のようにしてオブジェクトにスナップのモードを切り替えます。

1. ビューメニューからオブジェクトにスナップを選択します。

メニューアイテムの横にチェックマークが表示されていれば、オブジェクトにスナップはすでに選択されています。

各タイプのボディには図4-11のように特定のスナップポイントのセットがあります。曲線多角形には、参照ポイントに1つだけスナップポイントがあります。コントロールポイントやその中点でスナップポイントを使用するには、曲線多角形を多角形に変換して拘束を配置し、再び多角形を曲線多角形に変換し直します（3-23 ページの「多角形と曲線多角形の間の変換」を参照）。

図 4-11
ボディのスナップポイント



拘束がボディ上のスナップポイントに配置されている場合、Working Model 2D は端点を定義する形状ベースの式を自動的に生成します。この機能について詳しくは、4-15 ページの「形状ベースの式の使用 (ポイントベースのパラメトリック)」を参照してください。

この自動式生成機能はプリファレンスダイアログでオフにすることができます。自動式生成機能をオフにすると、オブジェクトにスナップはアクティブのまま、配置ポイントの座標が形状ベースの式ではなく数値で表示されます。詳しくは「8.4 プリファレンス」を参照してください。

グリッドにスナップの使用

グリッドにスナップ機能をアクティブにしておくと、拘束の端点を背景に配置して、グリッド線の通常の間隔に自動的に揃えることができます。グリッドにスナップを使ってもボディの位置を揃えることができます。

次のようにしてグリッドにスナップをアクティブにします。

1. ビューメニューからグリッドにスナップを選択します。

メニューアイテムの横にチェックマークが表示されていれば、グリッドにスナップはすでに選択されています。

詳しくは、6-9 ページの「オブジェクトをグリッドに揃える」を参照してください。

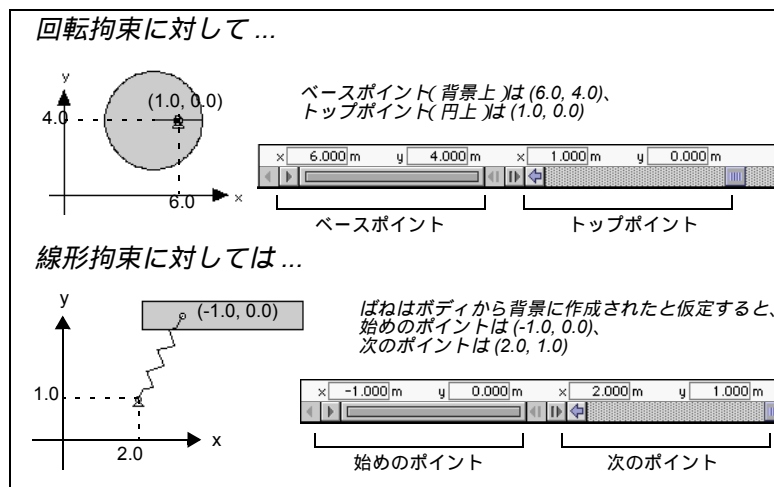
座標バーの使用

座標バー（図 4-12）には、端点の座標のようによく編集する拘束のパラメータが表示されます。

回転拘束では、第 1 の (X, Y) 値のセットは基準点の座標を示します（第 2 レイヤー上のボディに配置されたポイント要素。図 4-12 を参照）。この値はローカル座標系で表示されます。

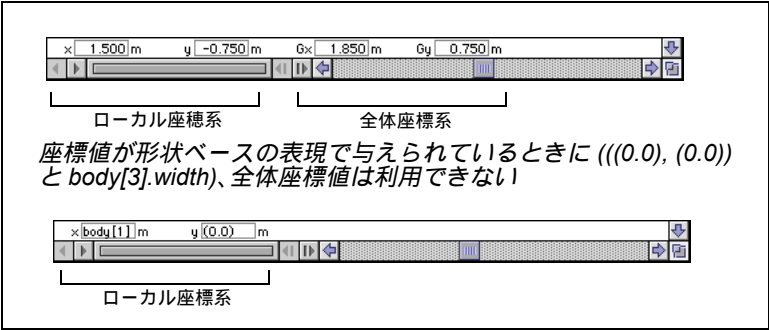
線形拘束では、第 1 の (X, Y) 値のセットは最初に作成したポイントの座標値を示します（図 4-12 を参照）。

図 4-12
座標バー



さらに 1 つの端点を選択すると、座標バーにはローカル座標系と全体座標系の両方の値が表示されます。ローカル座標系は (X, Y) で、全体座標系は (Gx, Gy) で表示されます。

図 4-13
ポイント要素のローカル座標系
と全体座標系



注：端点の位置が式で定義されている場合（4-15 ページの「形状ベースの式の使用（ポイントベースのパラメトリック）」を参照）端点の全体座標値は座標バーには表示されません。

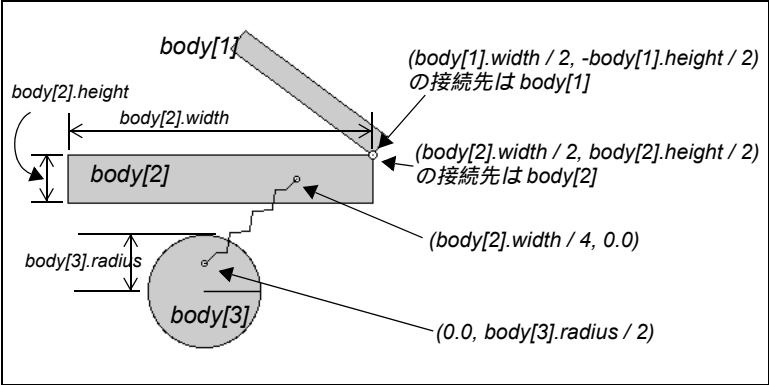
座標バーには数値または式を入力することができます。式を入力した場合でも、変更は即座に反映されます。

この章のこの後のセクションには、それぞれの拘束で座標バーを使って編集できるパラメータについての説明があります。

形状ベースの式の使用
(ポイントベースのパラメトリック)

Working Model 2D には形状ベースと拘束ベースのパラメトリックがあります。これらの式を使って数値ではなく記号でオブジェクトの位置を定義することができます。たとえば図 4-14 にはパラメトリック式を使って長方形や円上のポイントの位置を表す方法が示してあります。

図 4-14
形式ベースの式の使用



次のようにしてパラメトリック式を使って拘束の端点の位置を指定することができます。

1. 変更したい拘束の端点を選択します。
2. ウィンドウメニューからプロパティを選択します。

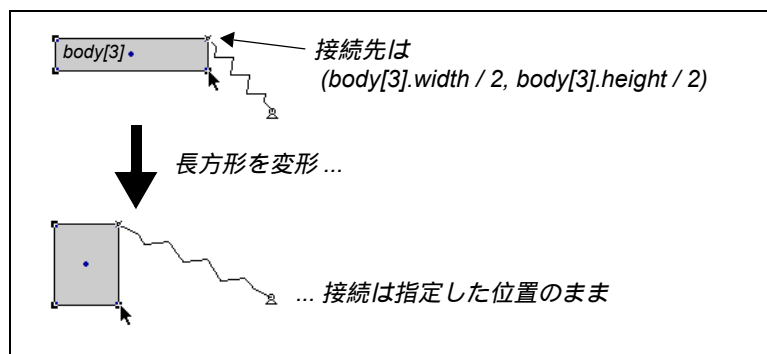
プロパティウィンドウが表示されます。

3. 位置フィールドに形状ベースの式を入力します。

または、座標バーに直接式を入力することもできます。しかし長い式を入力するにはフィールドが狭すぎるかもしれません。

形状式を使うと拘束の端点の位置を正確に指定できるだけでなく、これらの端点の配置のサイズや形状を変更できないようにします。図 4-15 のように長方形を引き伸ばしても、ばねの端点はいずれかの辺の midpoint に配置されたままです。

図 4-15
形式ベースの式は拘束の配置を維持する



詳しくは付録 B「式言語リファレンス」を参照してください。

拘束の配置のコントロール

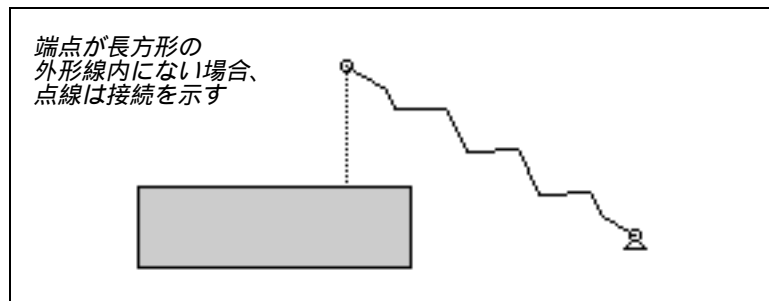
自動拘束配置

拘束は自動的にその下側にあるボディに配置されます。線形拘束の場合、それぞれの端点はその下にある一番上のボディに配置されます。回転拘束の場合、2つの端点は拘束の下の上から2つのボディに配置されます。オブジェクトメニューの前面に移動と背面に移動を使って、どのボディが一番上（前面）かをコントロールすることができます。

自動配置のオーバーライド

拘束は自動的にその下側にあるボディに配置されます。線形拘束の場合、それぞれの端点はその下にある一番上のボディに配置されます。回転拘束の場合、2つの端点は拘束の下の上から2つのボディに配置されます。オブジェクトメニューの前面に移動と背面に移動を使って、どのボディが一番上（前面）かをコントロールすることができます。

図 4-16
オーバーライドされた配置を持つ拘束



次のようにして拘束の端点のボディへの自動配置をオーバーライドします。

1. 端点を目的のボディに配置したい位置に拘束をドラッグします。
2. Control キーを押したまま、拘束または端点の1つをドラッグします。

拘束はドラッグされる間も現在の配置を維持します。拘束の端点がボディの上になく場合、どのボディが拘束に配置されているかを示す点線が表示されます。

または、プロパティウィンドウや座標バーで端点の位置を変更することもできます。ポイントの座標は配置されたボディの参照ポイントからのオフセットで表示されます。このためポイントがボディに配置されていて、その境界線内に位置するとき、ポイントの座標を指定してポイントをボディの境界線の外側に位置させることもできます。

ボディに配置コマンド

ポイントがボディの中に位置するしないに関わらず、複数のポイントを任意のボディに配置することができます。次のようにしてポイントをボディに配置します。

1. ポイントとボディを選択します（Shift 選択またはボックス選択を使用）。
2. オブジェクトメニューからボディに配置を選択する。

ポイントがその位置のままでボディに配置されます。

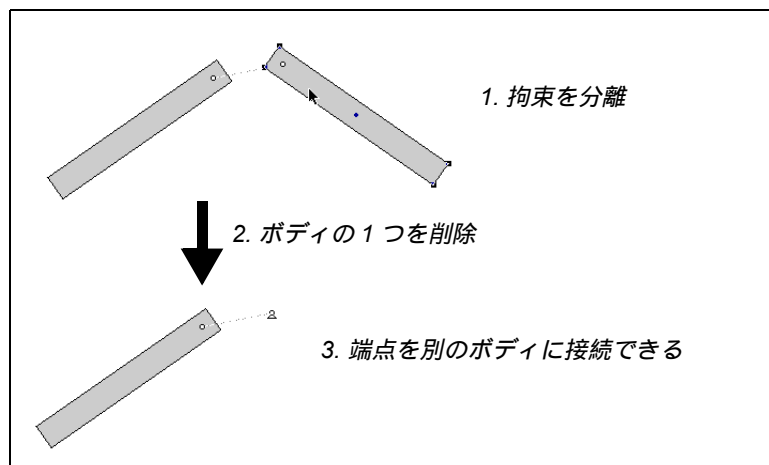
拘束の分離および取りはずし

回転拘束の分離

モデルを編集するとき、ボディを自由に移動させることができるように、回転拘束を一次的にオフにすることができます。回転拘束で結合された2つのボディを分離して、そのうちの1つを削除します。削除されたボディに配置されていたポイントは残り、別のボディに配置することができます。

回転拘束を分離して、端点の1つを削除した場合は、残りの1つの端点も削除されます。

図 4-17
拘束を分離した後、端点を削除する



拘束を分離したり配置する機能はスマートエディタの機能の一部です。スマートエディタについて詳しくは、第5章を参照してください。

拘束の取りはずし

拘束を選択して、Delete キーや Backspace キーを押したり、削除または編集メニューの切り取りを選択すると、どの拘束も削除することができます。

拘束のオン / オフ

拘束はそれぞれシミュレーションの途中でオン / オフを切り替えることができます。拘束オブジェクトのプロパティウィンドウにはすべて、一番下にアクティブ設定というフィールドがあります。このフィールドはデフォルト設定では常にアクティブに設定されています。これは拘束がシミュレーションの間、常にアクティブであることを意味します。

図 4-18
アクティブ設定フィールド



アクティブ設定フィールド
(「常にアクティブ」ボックスの
チェックマークを解除して
フィールドを編集)

いつ拘束をアクティブにするかをコントロールする方法は2つあります。

1. 拘束のプロパティウィンドウのアクティブ設定フィールドに式を直接入力します。

アクティブ設定フィールドの値または式が0より大きいときは、常に拘束がアクティブになります。Working Model 2D の式言語の完全な記述については、第10章「式の使用」を参照してください。

または次のような方法もあります。

1. 拘束を選択し、定義メニューから新規コントロールを選択します。
2. 新規コントロールの次に表示されるサブメニューからオン/オフを選択します。

拘束をオン/オフする新規コントロールが作成されます。コントロールについて詳しくは「7.2 コントロール」を参照してください。

極性の定義

拘束の長さ

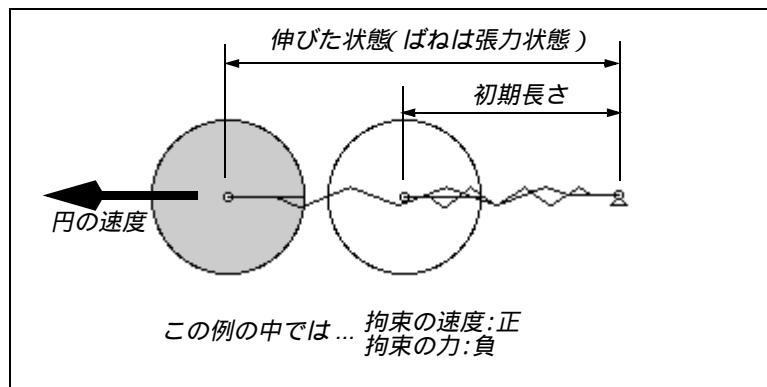
拘束の長さは拘束の2つの端点間がどれだけ離れているかを表します。拘束の長さはいつも正の値です。

拘束の速度

拘束の速度は、拘束の長さが増加しているときは正です。拘束の長さが減少しているときは、拘束の速度は負です。

たとえば図4-19は運動中の円形ボディによって伸ばされているばねを表しています。この場合、拘束の速度は正になります。

図 4-19
拘束の正方向の速度と力



拘束力

拘束力は拘束の長さを増加傾向のとき（外側に押しているとき）正と定義されます。

拘束力はいつも圧縮力であるとは限りません。たとえば図 4-19 ではばねに伸長力（負の圧縮力と考えられる）が作用されています。この場合、Working Model 2D は拘束力を負として計算します。

拘束の回転

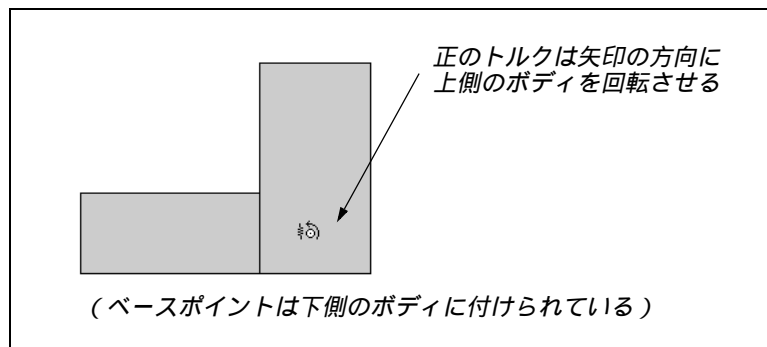
拘束の回転は、拘束の端点に接続されたボディの間の回転の差です。拘束の回転は、常に基準点が配置されたオブジェクトを基準にして反時計方向に測定します。

線形拘束の基準点は、拘束を作成するときに最初に作成したポイントです。

回転拘束の基準点は、拘束を作成したときに拘束の一番下にあったポイントです。回転拘束の基準点の位置は座標バーで変更することができます。

拘束を分離したとき、基準点は拘束アイコン（例、図 4-20 のように回転ばねの拘束アイコンはばねと巻き矢印）に含まれます。

図 4-20
正の方向の拘束トルク



拘束のトルク

拘束のトルクは、拘束の回転が増加傾向のとき（ベースポイントに配置されていないボディの上で反時計周りに押す）、正であると定義されます。図 4-20 を参照してください。



4.4 ロープ

その名前が示すとおり、ロープは端点間つまりロープの長さが一定以上にならないように力を加えます。ロープは端点間の長さがロープの長さ以下の場合、いかなる力も作用しません。

ロープの作成方法

次のようにしてロープを作成します。

1. ツールバーのロープツールをクリックします。
2. マウスポインタを第 1 の端点の位置に合わせます。

ポインタが矢印ポインタからクロスカーソルに変わります。これで作図を開始することができます。

3. マウスボタンを押し下げたまま、第 1 の端点を作成します。
4. マウスボタンを第 2 の端点の位置にドラッグします。マウスボタンを放して第 2 の端点を作成します。

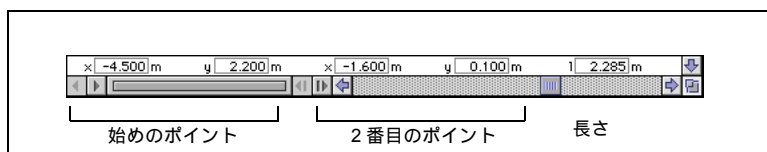
端点はそのすぐ下にある一番上のボディに自動的に配置されます。端点の下にボディがない場合、端点は背景に配置されます。



ロープの2つの端点間の距離はロープの長さを変えずに変更することができます。4-23 ページの「ゆるんだロープ」を参照してください。

図 4-21 のように、座標バーにはロープの2つの端点の座標とその間の長さが表示されます。いずれの座標値もそれぞれのポイントが配置されたボディを基準にして表されます。

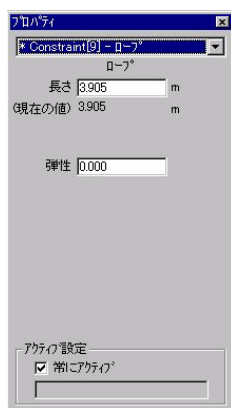
図 4-21
ロープの座標バー



ロープのプロパティ

ロープのプロパティを表示したり変更したりするには、ウィンドウメニューからプロパティを選択します。図 4-22 にはロープのプロパティウィンドウが表示されています。

図 4-22
ロープのプロパティウィンドウ



ロープ拘束では、長さで弾性の2つのパラメータを定義することができます。

長さ

ロープの2つの端点間の距離はロープの長さ以上にすることはできません。ロープがたるんでいるときも、ロープの長さは変わりません。

現在長

ロープの現在長は2つの端点間の最短距離です。このためロープがぴんと張っているときは、ロープの固定長と現在長が同じになります。

ロープを作成したとき、ロープはゆるんでいません。つまり 2 つの端点間はいんと張っています。端点を動かすと、ロープはいんと張ったまま、長さが自動的に更新されます。

ロープの長さはロープのプロパティウィンドウか座標バーで数値を入力して設定することもできます。

長さを数値の定数で指定すると、ロープの長さは即座に変更されます。指定した長さが現在長よりも長い場合、ロープはゆるみます。指定した長さが現在長よりも短い場合、ロープの長さは即座に短くなり、スマートエディタ(第 5 章「スマートエディタ」を参照)が自動的にモデルの他の部分をそれに合わせて修正します。

式を使って長さを指定した場合、式は $t=0$ で即座に計算されて、ロープの長さがそれに合わせて変更されます。この場合も、スマートエディタが自動的にモデルの他の部分をそれに合わせて変更します。

弾性

ロープ拘束はゆるんだ状態からいんと張った状態に変化するときに、張力を作用させ、エネルギーを吸収します。ロープの弾性係数はこの転移の間にどれだけのエネルギーを保存するかを決定します。

弾性係数はロープがいんと張った状態になる前と後で、ロープを配置したボディの相対速度がどれだけ変わるかを決定します。弾性係数が 1.0 のとき、完全な弾性を持ったロープとなります。つまりロープを配置したボディは、反対方向に遠ざかった後、ロープの張力によって同じ運動エネルギーで「戻って」きます。一方、弾性係数がゼロのロープは完全に非弾性です。配置されたボディの運動エネルギーは、ロープがいんと張ったときにロープに完全に吸収されます。

ゆるんだロープ

最初はいんと張ったロープを作成し、その後で長さを現在長より大きく設定します。ロープの端点の位置はそのまま変わらず、ロープがゆるみます。

次のようにすると、2 つの端点間の長さを変えないで、ロープの長さを変えることができます。

1. ロープが希望の長さになるまで、端点を移動します。

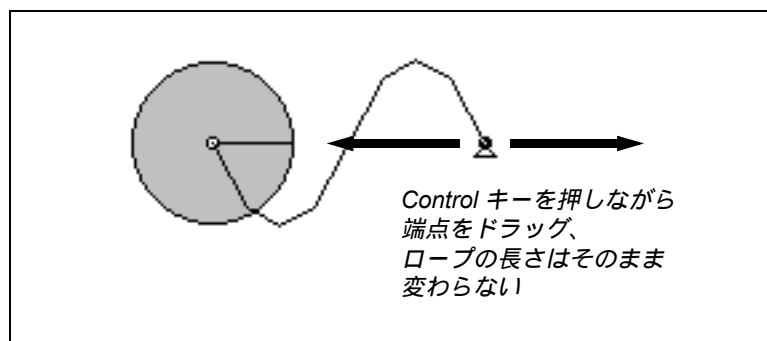
ロープの長さが自動的に 2 つの端点間の距離と同じになります。

2. Control キーを押したまま、端点またはロープを移動します。

端点をどのように動かすかによってロープがゆるんだりいんと張ったりします。

図 4-23

ロープの長さはそのまま、
ロープのサイズを変更



切れるロープのシミュレーション

シミュレーションの途中で「切れる」ロープをシミュレーションすることができます。Working Model 2D で、ロープを「オフ」に設定してください。アクティブでないロープは点線で表示されて、力を及ぼしません。

ロープがいつ切断するかを選択しなければなりません。たとえば、時間が 1.0 を超えたとき ($\text{time} > 1.0$) にロープを「切断」するとします。

次のようにしてロープを切断します。

1. ロープを選択します。
2. ウィンドウメニューからプロパティを選択します。
プロパティウィンドウが表示されます。
3. アクティブ設定フィールドにロープがアクティブのときの条件を入力します。この条件が満たされなくなるとロープは「切れます」。

たとえば「 $\text{time} < 1.0$ 」と入力すると、ロープは時間が (現在の単位系で) 1.0 未満のときだけアクティブになります。

また「 $|\text{body}[5].a| < 50$ 」のような条件を指定することもできます。これは $\text{body}[5]$ の加速度が 50 以上になったときにロープが切断するということを意味します。

詳しくは 4-18 ページの「拘束のオン / オフ」を参照してください。



4.5 ばね

ばねは 2 つの端点間の距離によって決定する力を作用します。ばねは 2 つの端点間の距離がばねの静止長さに等しいときには力を及ぼしません。

ばねの作成方法

次のようにしてばねを作成します。

1. ツールバーのばねツールをクリックします。
2. 第1の端点を定義する位置にマウスポインタを合わせます。
3. マウスポインタを押して、第1の端点を作成します。
4. 第2番目の端点を作成する位置にマウスポインタをドラッグします。
マウスボタンを放して、第2の端点を作成します。

端点はその下にある一番上のボディに自動的に配置されます。端点の下にボディがない場合、端点は背景に固定されます。

図 4-24 のように、座標バーにはロープの2つの端点の座標と静止長が表示されます。いずれの座標値もそれぞれのポイントが配置されたボディを基準にして表されます。

図 4-24
ばねの座標



ばねのプロパティ

ばねのプロパティを表示したり変更したりするには、ウィンドウメニューからプロパティを選択します。

ばね定数やばねの静止長を変更することができます。ばね長さの逆2乗に比例する力を作用させるようなばねを作成することもできます。

ばね定数

ばね定数はばねのかたさを決定します。ばね定数の大きなばねは、ばね定数の小さなばねほどは伸びません。線形ばねは、静止長さから伸びた長さにはばね定数を乗じたものに等しい力を作用させます。

ばね定数はプロパティウィンドウで変更することができます。ばねをダブルクリックするか、ばねを選択してウィンドウメニューからプロパティを選択します。

静止長さ

静止長さとは、ばねが伸びたり縮んだりしていないときの長さを指します。

ばねを作成したりドラッグするとき、静止長さは自動的に現在長と同じになります。つまりばねは伸び縮みしていない状態です。静止長さを自動値（現在長）以外にすればねを作成するには次の2つの方法があります。

次のようにすればねの静止長さを数値で設定することができます。

1. ばねをダブルクリックします。

プロパティウィンドウが表示されます。

2. 設定したい静止長さを入力します。
3. OK をクリックします。

マウスを使ってばねの静止長さをグラフィックに設定することもできます。

1. 希望の長さでばねを作成するかサイズ変更します。

ばねの静止長さは自動的に2つの端点間の距離に設定されます。

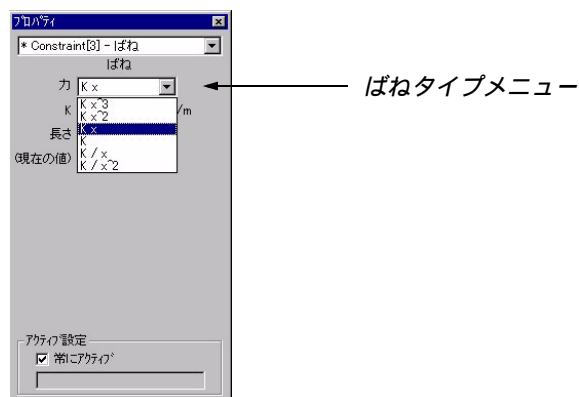
2. Control キーを押したまま、ばねのサイズを変えます。

ばねのサイズを変えても、静止長さは変わりません。

ばねのタイプ

伸びの逆2乗に比例するばねや、伸長の2乗、3乗、または逆数に比例するばねを作成することができます。線形ばねはばね定数に静止時からの伸びを乗じた値に等しい力を作用させます。ばねのタイプはばねタイプポップアップメニューの「-Kx」で選択することができます。

図 4-25
ばねのタイプの選択



次のようにすればねのタイプを変更することができます。

1. ばねを選択し、ウィンドウメニューからプロパティを選択します。

プロパティウィンドウが表示されます。

2. 「力 =」の横のポップアップメニューをクリックしてばねのタイプを選択します。

ばねは、選択した力と距離 (x) の関係によって決定される力を作用させます。

4.6 ダンパー

ダンパーは 2 つの端点間の速度差によって決定される力を作用させます。2 つの端点間に速度差がない場合 (つまり力の大きさと方向が同じ場合) ダンパーはいかなる力も作用させません。

たとえばダンパーを使って自動車のサスペンションのショックアブソーバのシミュレーションができます。

ダンパーの作成方法

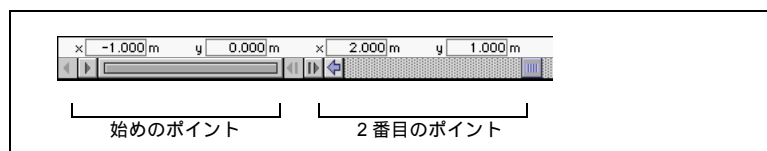
次のようにしてダンパーを作成します。

1. ツールバーのダンパーをクリックします。
2. 第 1 の端点を定義する位置にマウスポインタを合わせます。
3. マウスポインタを押して、第 1 の端点を作成します。
4. 第 2 の端点を作成する位置にマウスポインタをドラッグします。マウスボタンを放して、第 2 の端点を作成します。

端点はその下にある一番上のボディに自動的に配置されます。端点の下にボディがない場合、端点は背景に固定されます。

図 4-26 のように、座標バーにはダンパーの 2 つの端点の座標が表示されます。いずれの座標値もそれぞれのポイントが配置されたボディを基準にして表されます。

図 4-26
ダンパーの座標バー



ダンパーのプロパティ

ダンパーのプロパティを表示したり変更したりするには、ウィンドウメニューからプロパティを選択します。

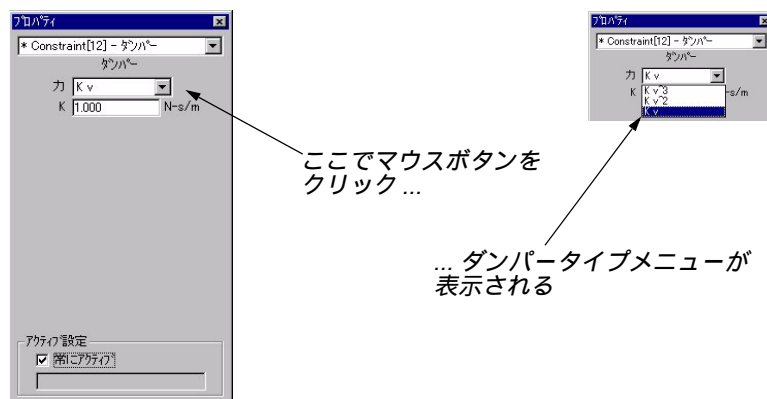
ダンパー定数

ダンパー定数が大きいダンパーは小さいダンパーよりも運動を妨げる力が大きくなります。

ダンパーのタイプ

2つの端点間の速度差の逆2乗に比例するばねや、2つの端点間の速度差の2乗または3乗に比例する力を作用させるダンパーを作成することができます。線形ダンパーは2つの端点間の速度差に比例する力を加えます。ダンパーのタイプはダンパータイプポップアップメニューの「- Kv」で選択することができます。

図 4-27
ダンパーのタイプの選択



次のようにしてダンパーのタイプを変更することができます。

1. ダンパーを選択し、ウィンドウメニューからプロパティを選択します。
プロパティウィンドウが表示されます。
2. 「力=」の横のポップアップメニューをクリックして、希望するダンパーのタイプを選択します。

ダンパーは、選択した力と距離 (x) の関係によって決定される力を作用させます。「 $-Kv^3$ 」を選択した場合、ダンパーはダンパー定数 (K) に端点間の速度差 (v) の 3 乗を乗じた値に等しい力を作用させます。



4.7 ばね / ダンパー

ばね / ダンパーはばねとダンパーの組み合わせです (詳しくは「4.5 ばね」と「4.6 ダンパー」を参照)。ばね / ダンパーが作用させる力はばね成分とダンパー成分が作用させる力の総和と同じです。

たとえば、ばね / ダンパーを使って、マクファーソンストラット (外側にコイルスプリングが巻かれたショックアブソーバ) のシミュレーションができます。

ばね / ダンパーの作成方法

次のようにしてばね / ダンパーを作成することができます。

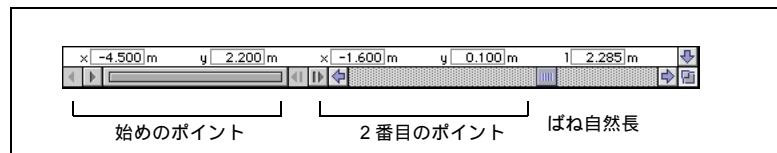


1. ツールバーのばね / ダンパーツールをクリックします。
2. マウスポインタを第 1 の端点の位置に合わせます。
3. マウスボタンを押して、第 1 の端点を設定します。
4. マウスボタンを第 2 の端点の位置にドラッグします。マウスボタンを放して第 2 の端点を設定します。

端点は一番上のボディの上に自動的に配置されます。端点の下側にボディがない場合、端点は背景に固定されます。

座標バーには、図 4-28 のように減衰したばねの 2 つの端点の座標と (ばね成分の) 静止長が表示されます。いずれの座標値も端点が配置されたボディを基準とするローカル座標で表されます。

図 4-28
ばね / ダンパーの座標バー





ばね / ダンパーのプロパティ

ばね成分とダンパー成分のそれぞれの定数がばね / ダンパーの挙動を決定します。

図 4-29
ばね / ダンパーのプロパティ
ウィンドウ



次のようにしてばね / ダンパーのプロパティを変更します。

1. ばね / ダンパーを選択して、ウィンドウメニューからプロパティを選択します。

プロパティウィンドウが表示されます。

2. 変更するばねのプロパティを選択します。

ばね定数、ばねの静止長さ、およびダンパー定数を変更することができます。



4.8 回転ばね

回転ばねは重なった2つのポイントで構成されており、ピンジョイントが組み込まれています。1つのボディの上に回転ばねを作成した場合、ボディはその下の背景に固定されます。回転ばねを背景の上に作成した場合、その回転ばねは何もしません。回転ばねを2つのボディの上に作成した場合、2つのボディを組み込みピンジョイントによって結合します。

回転ばねは、端点に結合された2つのボディの回転差によって決まるトルクを作用させます。たとえば回転ばねを使ってコイルばねのシミュレーションができます。

2 つの要素を結合して回転ばねを作成することはできませんが、回転ばねを分割して成分のポイント要素を編集することはできます。

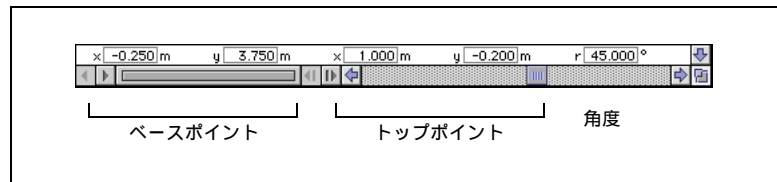
回転ばねの作成方法

次のようにして回転ばねを作成します。

1. ツールバーの回転ばねツールをクリックします。
2. ばねを作成する位置にマウスポインタを合わせ、1 回クリックします。

座標バーには基準点（第 2 レイヤ上の点）と上層点（第 1 レイヤ上の点）の座標と（静止時）回転が表示されます（図 4-30）。どちらの座標もそれぞれのポイントが配置されたボディを基準に表されます。

図 4-30
回転ばねの座標バー



回転ばねのプロパティ

次のようにして回転ばねのプロパティを変更します。

1. 回転ばねを選択し、ウィンドウメニューからプロパティを選択します。

図 4-31
回転ばねを選択した時のプロパティウィンドウ



回転ばねのタイプ

巻きの回転の 2 乗、3 乗、または逆 2 乗のトルクを作用させる回転ばねを作成することができます。

回転ばねのタイプを変えるには、プロパティウィンドウの中のトルクの横にあるポップアップメニューから選択してください。

回転ばねの定数

同じ回転では、ばね定数が大きい回転ばねは小さいものよりも作用させるトルクが大きくなります。

回転ばね定数の値はプロパティウィンドウの K に入力します。

回転ダンパー定数

回転ばねと線形回転ダンパーを組み合わせた回転ばねダンパーを作成することができます（説明は「4.9 回転ダンパー」）。回転ばねダンパーが作用させるトルクはばね成分とダンパー成分が作用させるトルクの総和と同じです。ダンパー成分はダンパー定数と端点に接続された 2 つのボディの間の相対角速度の積によって決定されるトルクを作用させます。ダンパー定数のデフォルト値はゼロです。つまり減衰成分はありません。

プロパティウィンドウの C の横に回転ダンパー定数の値を入力してください。

注：接続されたボディの相対角速度の大きい方の積に比例する回転ばねの減衰はモデルすることができません。別々の回転ばねと回転ダンパー拘束を使ってこれをモデルしようとした場合、予測できない結果が生じることになります。



4.9 回転ダンパー

回転ダンパーは重なりあう 2 つのポイントで構成されており、ピンジョイントが組み込まれています。1 つのボディの上に回転ダンパーを作成した場合、ボディはその下の背景に固定されます。回転ダンパーを背景の上に作成した場合、その回転ダンパーは何もしません。回転ダンパーを 2 つのボディの上に作成した場合、2 つのボディを組み込まれたピンジョイントで結合します。

回転ダンパーは端点に接続された 2 つのボディの角速度差によって決定されるトルクを作用させます。たとえば回転ダンパーを使って摩擦を起こすピンジョイントのシミュレーションができます。

2 つの要素を結合して回転ダンパーを作成することはできませんが、回転ダンパーを分割して個々のポイント要素を編集することはできます。

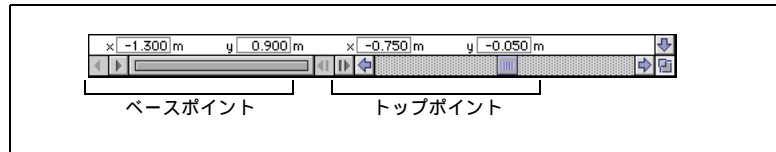
回転ダンパーの作成方法

次のようにして回転ダンパーを作成することができます。

1. ツールバーの回転ダンパーツールをクリックします。
2. ダンパーを作成する位置にマウスポインタを合わせて、1回クリックします。

座標バーには基準点（第2レイヤ上の点）と上層点（第1レイヤ上の点）の座標と（静止時）回転が表示されます（図 4-32）。どちらの座標もそれぞれのポイントが配置されたボディを基準に表されます。

図 4-32
回転ダンパーの座標バー

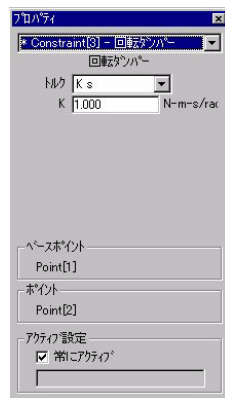


回転ダンパーのプロパティ

次のようにして回転ダンパーのプロパティを変更します。

1. ダンパーを選択し、ウィンドウメニューからプロパティを選択します。

図 4-33
回転ダンパーが選択されたプロ
パティウィンドウ



回転ダンパーは、端点が接続された2つのボディの間の角速度差に比例したトルクを作用させます。

回転ダンパーのタイプ

配置された2つのボディ間の角速度差の2乗または3乗に比例したトルクを作用させる回転ダンパーを作成することができます。

回転ダンパーのタイプは、プロパティウィンドウにあるトルクの横のメニューを使って変更することができます。

回転ダンパー定数

減衰定数大きい回転ダンパーは小さい回転ダンパーよりも作用させるトルクが大きくなります。回転ダンパーが作用させるトルクは、端点に接続された2つのボディ間の相対角速度に定数を乗じたものに等しくなります。

プロパティウィンドウの K の横に回転ダンパー定数の値を入力してください。



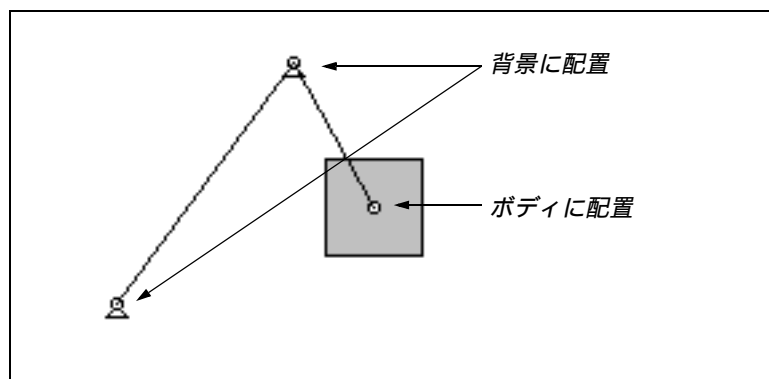
4.10 プーリー

プーリーは固定された複数のポイントを通して動く1本のロープのように動作します。ロープの全長は固定ですが、隣接したポイント間の距離は変更することができます。

プーリーシステムの作成方法

プーリーシステムには複数のポイントと2つの端点があります。1組のポイント間で作用する力はそれぞれ同じです。プーリーシステムの各ポイントは、図4-34のように背景またはボディに配置されています。

図 4-34
プーリーには複数のポイントがある



次のようにしてプーリーシステムを作成することができます。



1. ツールバーのプーリーツールをクリックします。

2. 画面の空白部分にポインターを合わせます。

ポインタが矢印ポインタからクロスカーソルに変わります。これで作図を開始することができます。

3. 1回クリックして、開始点を設定します。

4. もう一度クリックしてプーリーの最初のジョイントを作成します。

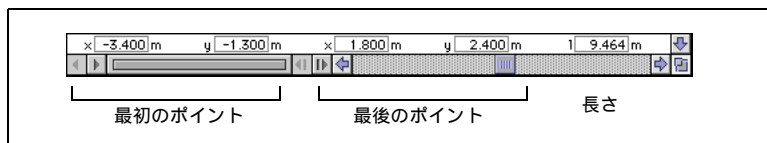
クリックするたびに、小さい「穴」を持つ新しいロープのセグメントが作成されます。この穴がジョイントとして機能します。

5. 最後のポイントをダブルクリックするか、いずれかのキーを押してプーリーを完成します。

座標バーには最初と最後のポイントの座標が表示されます（図 4-35）。いずれの座標値もそれぞれのポイントが配置されたボディを基準にして表されます。

図 4-35

プーリーシステムの座標バー

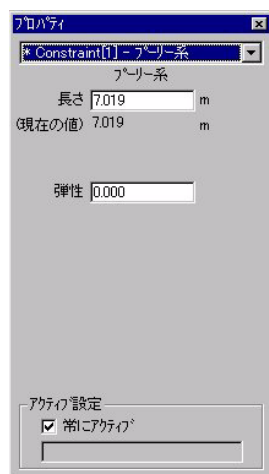


プーリーシステムのプロパティ

次のようにしてプーリーシステムのプロパティを変更することができます。

1. プーリーシステムを選択し、ウィンドウメニューからプロパティを選択します。

図 4-36
プーリーシステムを選択したプロパティウィンドウ



長さ

これはプーリーシステムの実際の長さです。

現在長

これはプーリーシステムの各ポイントを接続するラインの長さです。プーリーがたるんでいる場合、現在長はプーリーの長さよりも短くなります。

弾性

弾性は、プーリーシステムがすばやくたるんだ状態からぴんと張った状態に移行したときに、オブジェクトがどのように挙動するかを定義したものです。弾性について詳しくは、4-22 ページの「ロープのプロパティ」を参照してください。



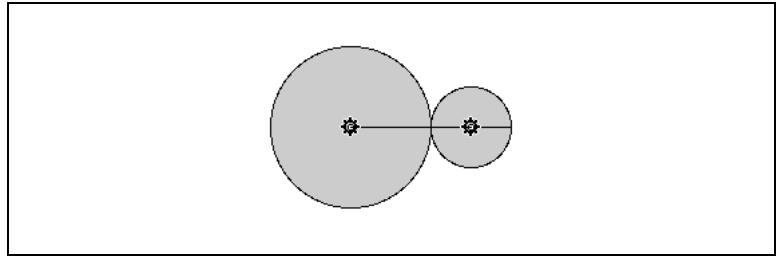
4.11 ギア

ギアツールは 2 つのボディがお互いに回転を依存し合うように拘束を作成します。ギアには遊星歯車装置（このロッドはデフォルトではアクティブですが、オフにもできます）のシミュレーションに便利な組み込み式のロッドもあります。4-40 ページの「ギアのシミュレーションの原理」のセクションには、Working Model 2D でギアがどのようにシミュレートされるかが説明してあります。

図 4-37 は Working Model 2D における 2 つのギアの代表的な使用例で、半径が異なる 2 つのディスク（円盤）が接しています。ディスクの 1 つをモーターで駆動し、もう一方はピンジョイントで背景に結合してあります。この場合、ギア比は 2 つの半径の比率として計算されます（ギア比やその他のプロパティについては、4-42 ページの「ギアプロパティ」を参照してください）。

図 4-37

ギアは2つのボディの挙動を
関連させる



ギアの作成方法

次のようにしてギアを作成します。

1. ギアで拘束する2つのボディを作成します。
2. ツールバーのギアツールをクリックします。
3. 第1のボディをクリックしてマウスボタンを押したままにします。

ボディに接続すると、ギアアイコンは自動的にボディの重心に揃います。

4. マウスを第2のボディにドラッグする。マウスボタンを放して第2のギアを作成します。

ボディに接続すると、第2のギアアイコンは自動的に第2のボディの重心に揃います。

ギアの座標バーには2つの端点の位置が表示されます。端点はいつも重心に揃うようになっているため、ほとんどの場合、座標バーには最初は(0, 0)と表示されています。これらの値を編集すると、ギアの組み込みロッドの端点を移動することができます。

外部ギア

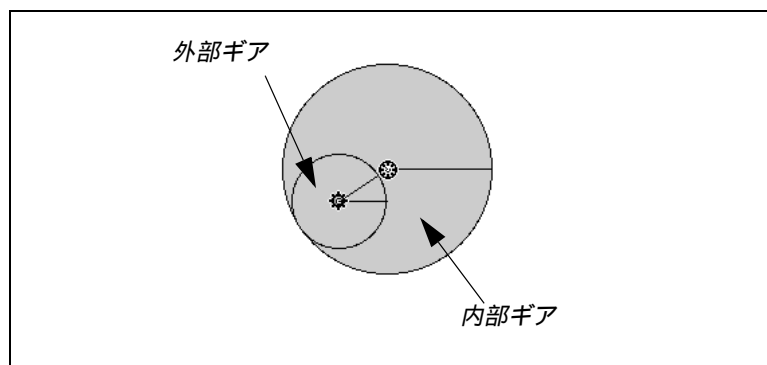
ギア拘束を定義したとき、Working Model 2D はデフォルトでは1組の外部ギア(またはスパーギアとも呼ぶ)を作成します。このギアは外周に歯を持ち、相互にかみ合っているように挙動します。通常、重なっていないお互いに接近した2つのボディからは外部ギアが作成されます。



内部ギア

ギア拘束に配置されたボディの1つを内部ギアとして機能するように定義することができます。このギアは円周の内側に歯車を持ちます。典型的な例としては、2つのボディが重なっている場合（通常片方がもう片方の内側に完全に隠れている）、大きい方のボディが内部ギアとして定義されます（図 4-38 を参照）。

図 4-38
内部ギア



Working Model 2D は、デフォルトでは、2つのボディが完全に重なっているときも外部ギアを定義します。次のようにして内部ギアを作成することができます。

1. ギア拘束を作成して選択します。
2. プロパティウィンドウを開き、内部ギアチェックボックスをクリックします。



ギアアイコンの1つが内部ギアアイコンに変わります。これでギアは内部ギアのように挙動します。

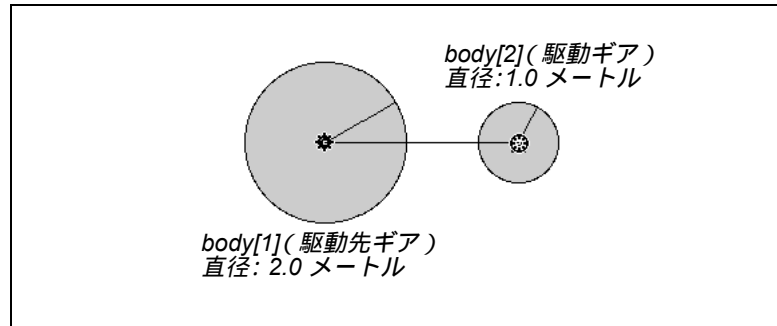
3. プロパティウィンドウのラジオボタンをクリックして、どちら側のギアを内側にするかを指定します（円の内側に歯）。

チェーン駆動機構

内部ギアを使ってチェーン駆動機構のシミュレーションができます。スパーギアと同じように、ギア比を指定することもできます（詳しくは 4-42 ページの「ギアプロパティ」を参照してください）。チェーン駆動機構の例を図 4-39 に示しました。

図 4-39

内部ギアを使ったチェーン駆動機構



上のようなチェーン駆動機構は次のようにして作成します。

1. 図 4-39 のように少し離れた 2 枚のディスクを作成します。
2. ギア拘束を使って 2 枚のギアを配置します。
3. ピンジョイントかモーターの適当な方をディスクに配置します。

たとえばモーターを 1 枚のディスクの重心に配置してから、ピンジョイントを別のディスクの中心に配置します。これで第 2 のディスクはピンを基準にして自由に回転します。

4. ギア拘束のプロパティウィンドウを開き、一番上に表示されるボディ (つまり最初にギアとして選択されたボディ) を内部ギアとして選択します (次の図 4-40 を参照)。

図 4-40

チェーン駆動をシミュレーションするギアのプロパティウィンドウ

自動計算モードでは、ギア比は $\text{radius}(\text{body}[2])/\text{radius}(\text{body}[1])$ として計算される

これはギアのペアを作成するときに最初に選択されたボディ



このステップで自動計算されたギア比が正しいことを確認してください。下側に表示されたボディを内部ギアにすることもできます。しかしこの場合にはギア比を反対にする必要があります。

5. 実行をクリックします。

2つのディスクがチェーンで駆動されているように回転します。

注：ギアツールは2つのディスクの回転に対する拘束を使ってチェーン駆動をシミュレーションします。このためチェーンの質量や張力といった物理的プロパティはシミュレーションには組み込まれていません。

ギアのシミュレーション の原理

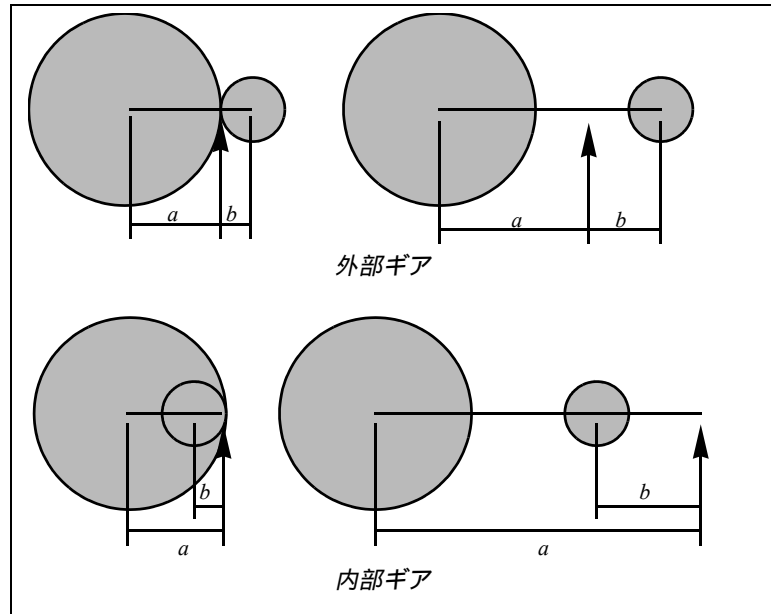
ギア拘束では2つの固定ボディが1つの接点でお互いに力を作用し合います。この接点は2つのボディの重心を通るライン上に位置し、ギア比によってその位置が決まります。円形ギアの場合、ギア比は2つのボディの半径の比率として計算されます。

図 4-37 のように2つの円形ギアが接触している場合、接点はギアが接触するポイントになります。2つのギアが離れている場合は、2つのギアの間どこかに（仮想）接点があることになります。

次の図 4-41 は、外部ギアと内部ギアのいくつかの組み合わせで、接点（矢印で表示）がどのように位置するか例を示したものです。たとえば、3対1のギア比を持つ2つのギアの場合、Working Model 2D はデフォルトではギア比を3.0と計算します。その後、図 4-41 に示すように、ギアの各組み合わせにおいてギア比 a/b が常に3.0になるように接点が配置されます。

図 4-41

さまざまなギアの組み合わせに
おける接点の計算例



駆動ギアは2つのギアを結ぶラインに垂直方向に受けギアにギア力を作用させます。Working Model 2D は接点で両方のディスクに比例する回転、角速度、および角加速度をかけ続けるのに必要な力を計算します。

すべてのギアをこの原理に基づいてシミュレーションするため、物理学の世界で予想されるよりも一般化されたギアを作成することもできます。たとえば次のようなものがあります。

- お互いに接触させなくてもよいギア、または
- 円盤形状でないギア

ギアについての注記

- ギアにはすべて衝突なしが指定されています。ギアボディはその間にあるギア拘束を取り除かない限り、衝突させることはできません。
- 非円形のギアボディの場合、デフォルトのギア比は1.0です。このシミュレーションの間、Working Model 2D は指定されたギア比に従って、ボディの回転、角速度、および角加速度を維持することしか行いません。Working Model 2D はボディの形状を計算に組み込むことはありません。
- 片方のボディが内部ギアに設定されている場合、ギアボディの重心が一致しない限り、ギア比を1.0にすることはできません。そうしないと接点が無限大に位置し、シミュレーションを行うことができなくなります(図4-41の右下の図のようなときに、 $a = b = 1.0$ の場合)。内部ギアのギ

ア比が 1.0 のとき、警告ダイアログが表示されます。ギア比の式定義は実行時まで計算されませんので、シミュレーション中に式が内部ギアのギア比として 1.0 を返してこないかどうか確認しておかなければなりません。



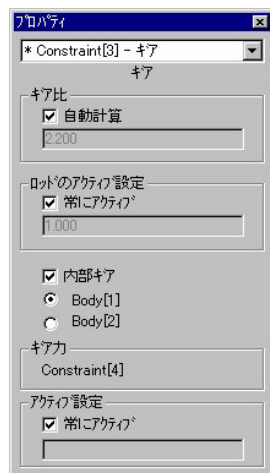
ギアプロパティ

次のようにしてギア拘束のプロパティを定義したり変更します。

1. ギア同士を結合しているロッドをクリックします（またはボックスで選択します）。ウィンドウメニューからプロパティを選択します。

または、1 組のギアを結合するライン（ロッド）をダブルクリックしてもかまいません。

図 4-42
ギアのプロパティウィンドウ



ギア比

両方のボディが円形の場合、ギア比はデフォルトでは自動的に $r1/r2$ で計算されます。このとき $r1$ は第 1 のディスクの半径、 $r2$ は第 2 のディスクの半径を表します。どちらかのギアボディが円盤でない場合（たとえば多角形など）、デフォルトではギア比は 1.0 に設定されます。

ギア比を変えると接点の位置が変わり、ギア拘束で配置されたボディの挙動も変わります。詳しくは 4-40 ページの「ギアのシミュレーションの原理」を参照してください。

デフォルト設定のギア比を任意の正の浮動小数点数や式で設定することができます。こうするとさらに一般化されたギアを作成することができます。たとえば、Working Model 2D のシミュレーションでは、同じ半径の 2 枚のギアに 1.0 以外のギア比を設定することもできます。

アクティブロッド

デフォルトでは、ギアの各組には 2 つの重心の間に固定ロッド拘束があります。ロッド拘束はそれぞれの端点に接続されたボディ間の距離を一定に保ちます。このためロッドは 2 つのギアボディの重心がロッドの長さ分だけ距離を維持し、それぞれの重心が端点を中心として回転できるようにします。この機能は、たとえば一組の遊星歯車をシミュレーションするときなどに便利です。

ロッドをアクティブにするときをコントロールすることができます。他のすべての拘束と同じように式を使っていつロッドをアクティブにするかを定義することができます。詳しくは 4-18 ページの「拘束のオン/オフ」を参照してください。

内部ギア

Working Model 2D は、デフォルトではすべてのギアを外部ギアとして作成するようになっています。このオプションを使うと、片方のボディを内部ギアにすることができます。プロパティウィンドウにどちらのボディを内部ギアにするかを設定するラジオボタンがあります。

内部ギアを使用した場合、ギアボディの重心が一致しない限り、ギア比を 1.0 にすることはできません。

ギア力

このウィンドウにはギア力変数名が表示されます。Working Model 2D は 1 組のギアをギア力とロッドという 2 つの拘束として取り扱います。ギア力変数名はギア力拘束に対して与えられるもので、ロッド拘束はプロパティウィンドウの一番上に表示される変数名を持ちます。

これらの変数名を参照して、ギア力やロッド力の大きさを測定することができます。たとえば、図 4-42 に表示されたプロパティウィンドウのような場合があります。

```
Constraint[16].f.y
```

これは 1 つのギアから別のギアに作用される力を表します (X 座標成分は常にゼロ)。一方、

```
Constraint[15].f.x
```

はロッド力の X 座標成分を表します (Y 座標成分は常にゼロ)。詳しくは第 10 章「式の使用」を参照してください。

4.12 ロッド

ロッドはその端点で固定長 (ロッド長さ) を維持するように力を作用させます。

ロッドの作成方法

次のようにしてロッドを作成します。

1. ツールバーのロッドツールをクリックします。
2. 第 1 の端点を置きたいところにマウスポインタを合わせます。

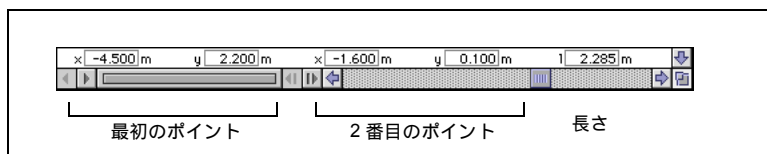
ポインタが矢印ポインタからクロスカーソルに変わります。これで作図を開始することができます。

3. マウスボタンを押して第 1 の端点を作成します。
4. 第 2 の端点を置きたいところにマウスをドラッグします。マウスボタンを放して、2 番目の端点を作成します。

端点はそのすぐ下にある一番上のボディに自動的に配置されます。端点の下にボディがない場合、端点は背景に固定されます。

図 4-43 のように、座標バーにはロッドの 2 つの端点の座標とその間の長さが表示されます。いずれの座標値もそれぞれのポイントが配置されたボディを基準にして表されます。

図 4-43
ロッドの座標バー



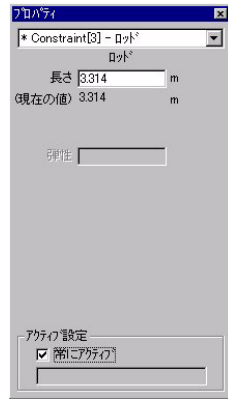
ロッドのプロパティ

ロッドはその端点で固定長を維持するのに必要な力を及ぼします。

次のようにしてロッドのプロパティを変更することができます。

1. ロッドを選択し、ウィンドウメニューからプロパティを選択します。

図 4-44
ロッドが選択されたプロパティ
ウィンドウ



長さ

これはロッドの現在長です。

長さを数値の定数で指定した場合、ロッドは即座に指定した長さに変更されます。スマートエディタ（第5章「スマートエディタ」を参照）が自動的にモデルの残り部分を指定に合わせて変更します。

式を使って長さを指定した場合、式は $t=0$ で即座に計算され、それに従ってロッドの長さを変更されます。この場合も、スマートエディタが自動的にモデルの残りの部分を指定に合わせて変更します。

HT

4.13 セパレータ

セパレータはその端点で力を作用させて端点間の距離が一定以下になるのを防ぎます。セパレータは端点間の距離が指定以上の場合、まったく力を作用させません。

セパレータの作成方法

次のようにしてセパレータを作成します。

1. ツールバーのセパレータツールをクリックします。
2. 第1の端点を定義する位置にマウスポインタを合わせます。

ポインタが矢印ポインタからクロスカーソルに変わります。これで作図を開始することができます。

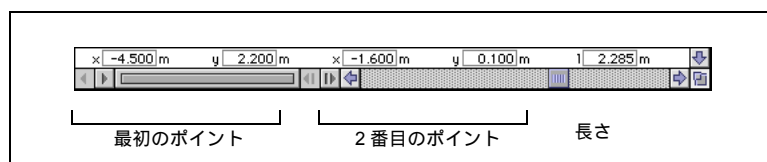
HT

3. マウスボタンを押して、第1の端点を作成します。
4. マウスを第2の端点の位置にドラッグします。マウスボタンを放して、第2の端点を作成します。

端点はそのすぐ下にある一番上のボディに自動的に配置されます。端点の下にボディがない場合、端点は背景に固定されます。

図4-45のように、座標バーにはセパレータの2つの端点の座標とその間の長さが表示されます。いずれの座標値もそれぞれのポイントが配置されたボディを基準にして表されます。

図4-45
セパレータの座標バー



セパレータのプロパティ

セパレータの動作はロープと似ていますが、ロープと反対方向に働く点異なります。ロープはその端点間の距離が一定以上になるのを防ぎますが、セパレータはその端点間の距離が一定以上になるのを防ぎます。

長さ

これはセパレータの端点が一番近づいた位置にあるときのセパレータの現在長です。セパレータの端点はこの距離以上に近づくことはできません。

長さを数字の定数で指定した場合、セパレータは即座に指定した長さに変更されます。スマートエディタ（第5章「スマートエディタ」を参照）が自動的にモデルの残り部分を指定に合わせて変更します。

式を使って長さを指定した場合、式は $t=0$ で即座に計算され、それによってセパレータの長さが変更されます。この場合も、スマートエディタが自動的にモデルの残りの部分を指定に合わせて変更します。

現在長

これはセパレータの現在の長さで、2つの端点間の最短距離で表されます。現在長は常にセパレータの長さよりも大きくなります。

弾性

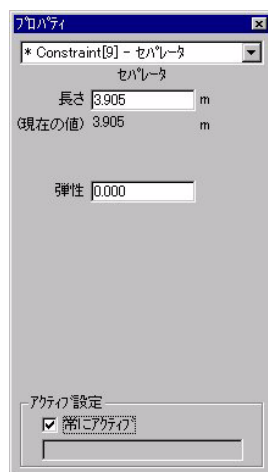
セパレータはゆるんだ状態から最短長に達するときに反力を作用させ、エネルギーを吸収します。セパレータの弾性係数はこの変位の間にどれだけのエネルギーが保存されるかを決定します。

弾性係数はセパレータが最短長に達する前と後で、接続されたボディの相対速度がどれだけ異なるかを決定します。係数が 1.0 の場合、完全な弾性を持つセパレータとなり、結合されたボディがお互いに近づいてくると、セパレータの相反力によって同じ運動エネルギーで「反対方向にバウンドして」離れます。反対に係数がゼロのセパレータは完全に非弾性で、接続されたボディの運動エネルギーはセパレータが最短長に達したときにセパレータによって吸収されます。

次のようにしてセパレータのプロパティを変更します。

1. セパレータを選択し、ウィンドウメニューからプロパティを選択します。

図 4-46
セパレータを選択したときの
プロパティウィンドウ



4.14 力

他の大部分の拘束とは異なり、力には 1 つの点（作用点）だけがあり、その点で指定された力を作用させます。シミュレーションで何かを作用させるためには、力をボディに付加する必要があります。

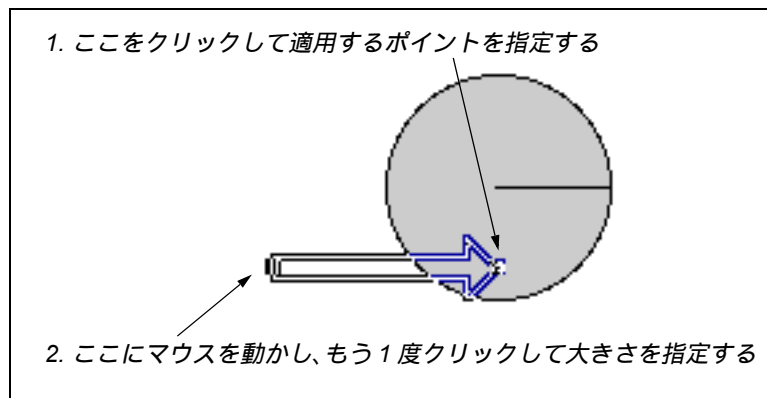
力の作成方法

力はクリックしたときにポインタの下にあるボディに配置されます。次のようにして力を作成します。

1. ツールバーのカツールをクリックします。

2. 力を作用させたい位置にポインタを移動します。

図 4-47
力の作成



3. ポインタをクリックして、力オブジェクトを作成します。

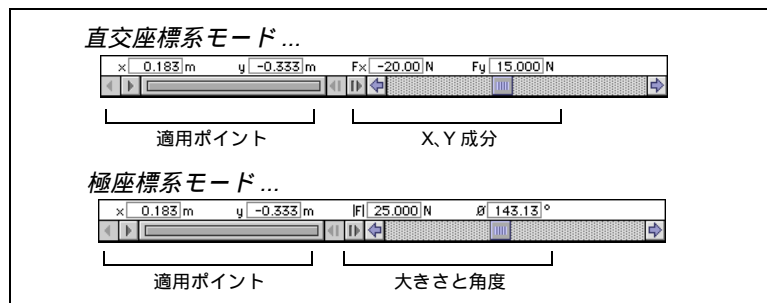
力は矢印をポインタでつかんでドラッグするか、プロパティウィンドウを使って変更します。

力を動かすには、端点（矢印の先端）以外をクリックして、目的の位置までドラッグします。

力の座標バーには作用点（ x, y ）と力成分（ F_x, F_y ）が表示されます（図 4-48）。これらの成分は全体座標系で表示されます。

力成分は極座標系でも表示することができます。プロパティウィンドウを開き、表示モードに極座標系を選択してください（図 4-48）。方向も全体座標系で表示されます。

図 4-48
力の座標バー





力のプロパティ

力には1つしか端点がありません。このポイントは力が作用される点を示します。力は直交座標系（x および y 力）または極座標系（回転と大きさ）のいずれかで定義することができます。

力の物理的な大きさを変えずにベクトルの画面上での長さを変えるには、ベクトル長さダイアログ（定義メニューにあります）を使用します。ダイアログボックスの表示スケールは、力拘束を含む、Working Model 2D のすべてのベクトル表示に適用されます。

力の方向はボディの回転または背景との関係で指定することができます。力の作用線がボディと一緒に変化する場合、力はボディと一緒に回転すると考えられます。

図 4-49

ボディと一緒に回転しない作用線を持つ力

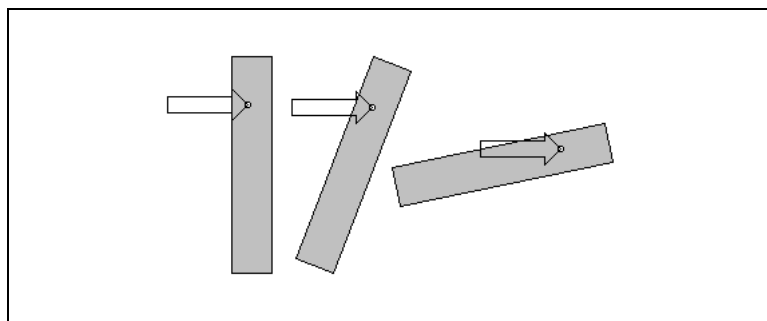
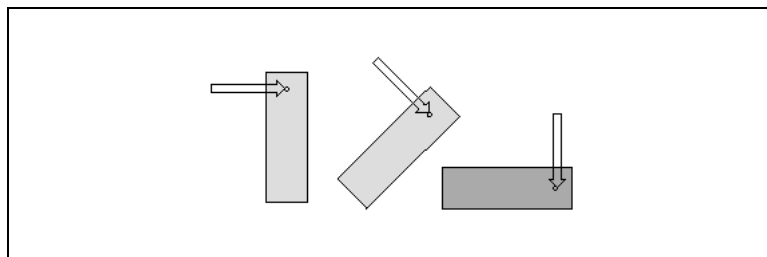


図 4-50

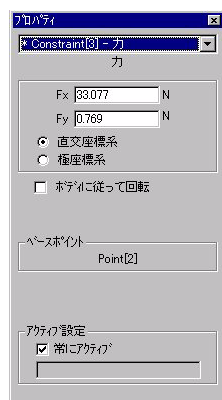
作用線がボディと一緒に回転する力



次のようにして力オブジェクトのプロパティを変更します。

1. 力オブジェクトを選択し、ウィンドウメニューからプロパティを選択します。

図 4-51
力を選択したときのプロパティ
ウィンドウ



直交座標系 / 極座標系

直交座標系モードでは力のベクトルの x 成分と y 成分を指定することができます。極座標系では力のベクトルの大きさ ($|F|$) と角度 () を指定することができます。

ボディと回転

ボディと一緒に回転する力は、ボディの参照ポイントに作用線が固定されています。

ボディと一緒に回転しない力は、ワールドフレームに作用線が固定されています。

ベースポイント

ベースポイントには力オブジェクトの端点のオブジェクト ID が表示されます。



4.15 トルク

他の大部分の拘束とは異なり、トルクは 1 つのボディにしか作用しません。

トルクの作成方法

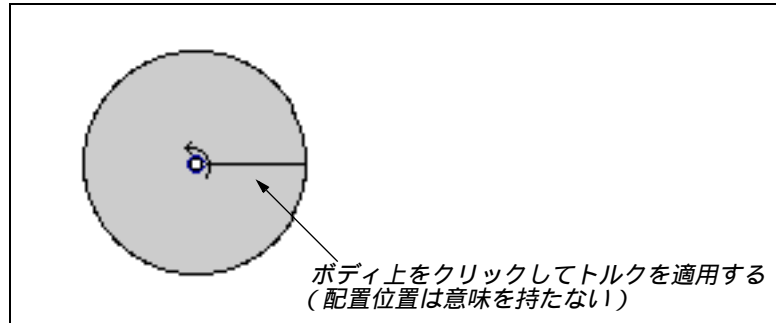
トルクオブジェクトはポイントをクリックしてトルクを付加したとき、ポイントの下にある一番上のボディに配置されます。次のようにしてトルクを作成します。

1. ツールバーのトルクツールをクリックします。
2. トルクを作用させたいボディの上をクリックします。



プロパティウィンドウでトルクを大きさを設定します。

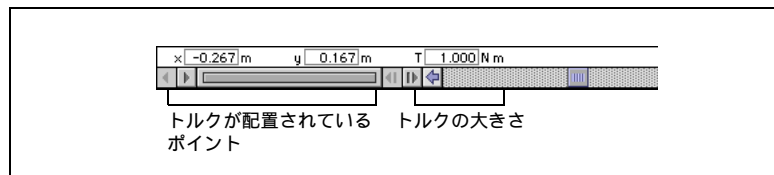
図 4-52
トルクの作成



トルクの座標バーには付加点 (x, y) とトルクの大きさ (T) が表示されます (図 4-53)。 (x, y) 値はローカル座標系で表示されます (トルクが付加されるボディを基準にした)。

トルクはボディのどこにでも付加することができます。動力学的にはどこに付加しても (x, y) 値には無関係です。

図 4-53
トルクの座標バー



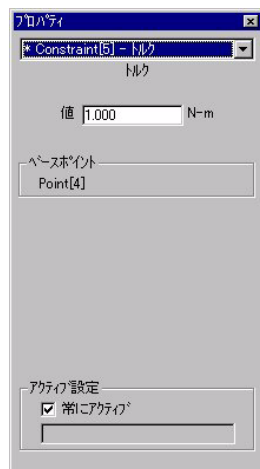
トルクのプロパティ

トルクオブジェクトは 1 つのボディにだけトルクを付加します。

次のようにしてトルクのプロパティを変更します。

1. トルクを選択して、ウィンドウメニューからプロパティを選択します。

図 4-54
トルクのプロパティウィンドウ



トルク

これはボディに作用されるトルクの値を示します。正のトルクは逆時計回りと定義されています。



4.16 アクチュエータ

アクチュエータは多用途の拘束で、拘束条件を維持するのに必要なあらゆる力を作用させます。アクチュエータのプロパティは、力、長さ、速度、または加速度の4つのいずれかで指定することができます。拘束の大きさは定数か式を使って設定することができます（式の例については第10章「式の使用」式について詳しくは付録B「式言語リファレンス」を参照してください）。

アクチュエータは指定された拘束条件を維持するように伸び縮みします。たとえばアクチュエータが水平キースロットをスライドするボディに一定の力を作用させているとき、ボディには一定の加速度を持つ直線運動が起こります。そのときアクチュエータは不定形に「伸びて」、運動するボディを追いかけて、力を作用しつづけます。

アンカーの作成方法

次のようにしてアンカーを作成します。

1. ツールバーのアクチュエータツールをクリックします。
2. 第1の端点を定義する位置にマウスポインタを合わせます。
3. マウスポイントを押して、第1の端点を作成します。



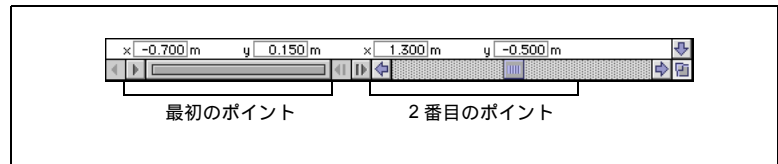
4. マウスを第2の端点の位置にドラッグします。マウスを放して、第2の端点を作成します。

端点はそのすぐ下にある一番上のボディに自動的に配置されます。端点の下にボディがない場合、端点は背景に固定されます。

アクチュエータの現在長は常に正でなければなりません。つまりアクチュエータの端点間の距離がゼロにならないように確認する必要があります。そうしないとシミュレーションの結果が解不定になります。

図 4-55 のように、座標バーにはアクチュエータの2つの端点の座標とその間の長が表示されます。いずれの座標値もそれぞれのポイントが配置されたボディを基準にして表されます。

図 4-55
アクチュエータの座標バー



アクチュエータのプロパティ

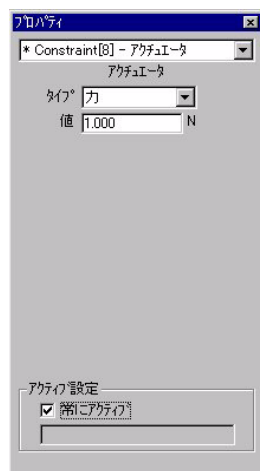
次のようにしてアクチュエータのプロパティを変更します。

1. アクチュエータを選択し、ウィンドウメニューからプロパティを選択します。

図 4-56 のようなプロパティウィンドウが表示されます。



図 4-56
アクチュエータのプロパティ
ウィンドウ



2. シミュレーションに合ったタイプとプロパティを選択します。

値フィールドに式を入力してドライバのように動くアクチュエータを作成することができます。式の使用について詳しくは、第10章「式の使用」を参照してください。

力

力アクチュエータは端点間に力を作用させます。

長さ

長さアクチュエータは端点間の距離を一定以上に維持するために必要な力を作用させます。ゼロまたはそれ以下の長さを指定することはできません。

長さを数字の定数で指定した場合、アクチュエータは即座に指定した長さに変更されます。スマートエディタ（第5章「スマートエディタ」を参照）が自動的にモデルの残り部分を指定に合わせて変更します。

式を使って長さを指定した場合、式は $t=0$ で即座に計算され、それに従ってアクチュエータの長さが変更されます。この場合も、スマートエディタが自動的にモデルの残りの部分を指定に合わせて変更します。

速度

速度アクチュエータは端点間の相対速度を指定の条件に維持するために必要なあらゆる力を作用させます。

加速度

加速度アクチュエータは端点間の相対加速度を指定の条件に維持するために必要なあらゆる力を作用させます。

注：関数を使ってアクチュエータの力、長さ、速度、または加速度を指定した場合、シミュレーションの間に関数の計算結果によってアクチュエータの長さがゼロまたはそれ以下にならないことを確認してください。



4.17 モーター

モーターには重なった2つのポイントがあり、ピンジョイントが組み込まれています。モーターを1つのボディの上に作成した場合、ボディはその下の背景に配置されます。モーターを背景の上に作成した場合、そのモーターは何もありません。回転拘束を2つのボディの上に作成した場合、モーターは2つのボディを組み込まれたピンジョイントで結合します。

2つの要素を結合してモーターを作成することはできませんが、モーターを分割して個々のポイント要素を編集することはできます。

モーターの作成方法

次のようにしてモーターを作成します。



1. ツールバーのモーターツールをクリックします。
2. モーターを作成する位置にマウスポイントを合わせて、1回クリックします。

座標バーには基準点の座標（第2レイヤ上の点）と上層点（第1レイヤ上の点）の座標が表示されます（図 4-57）。どちらの座標もそれぞれのポイントが配置されたボディを基準に表されます。

図 4-57
モーターの座標バー





モーターのプロパティ

モーターには2つのポイントで構成されたピンジョイントが組み込まれています。2つのボディがこれらの2つのポイント（または1つのボディと背景）に接続されているとき、モーターは指定された回転、角速度、または角加速度をボディ間で維持するのに必要なトルクを作用させる多用途の拘束として機能します。

モーターはアクチュエータに似ていますが、モーターが線形力ではなくトルクを発生する点が異なります。モーター拘束はトルク、回転、速度、加速度の4種類のうちの1種類を設定することができます。

トルク

トルクモーターはモーターに接続された複数のボディに反対方向の同じ大きさのトルクを作用させます。

回転量

回転モーターは、モーターに接続されたボディ間に一定の角度を維持するのに必要なあらゆるトルクを作用させます。

回転を数値の定数で指定すると、アクチュエータは即座にその指定に変更されます。スマートエディタ（第5章「スマートエディタ」を参照）が自動的にモデルの残り部分を指定に合わせて変更します。

式を使って長さを指定した場合、式は $t=0$ で即座に計算されて、モーターの回転がそれに合わせて変更されます。この場合も、スマートエディタが自動的にモデルの残り部分を指定に合わせて変更します。

速度

速度モーターは、モーターに接続された複数のボディ間で指定した相対角速度を維持するために必要なあらゆるトルクを作用させます。

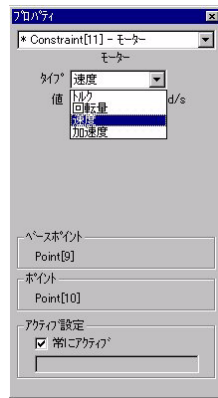
加速度

速度モーターは、モーターに接続された複数のボディ間で指定した相対加速度を維持するために必要なあらゆるトルクを作用させます。

次のようにしてモーターのプロパティを変更します。

1. モーターを選択して、ウィンドウメニューからプロパティを選択します。

図 4-58
モーターのプロパティウィンドウ



2. モーターのタイプを選択し、シミュレーションに合った拘束の大きさを入力します。

4.18 ジョイント

ピンジョイントと固定ジョイント

ピンジョイントは、2 つの異なるボディの上のポイントを重ねて、回転できるようにします。固定ジョイントは 2 つのボディを固定します。固定ジョイントは特に力を作用させるように設定しない限り、シミュレーションにおいて特別な力を作用させることはないため、シミュレーションの速度を大きく低下させることはありません。詳しくは 4-60 ページの「ジョイントのプロパティ」を参照してください。

ジョイントの作成方法

ジョイントの作成方法は 2 つあります。ジョイントを直接配置する方法と、プリミティブな要素を組み合わせて作成する方法です。

ツールバーで作成したいジョイントツールをクリックして、2 つの重なったボディにジョイントを直接接続します。ジョイントを配置したい位置をクリックしてください。ポインタの下の上から 2 つのボディが結合されます。スロットジョイントのスロット成分は上から 2 番目のボディ（または背景）に配置されます。

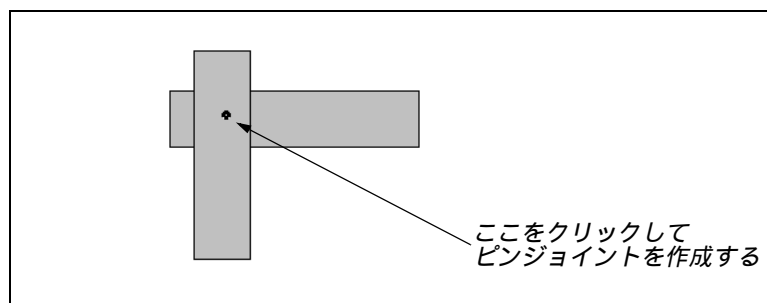
コントロールと精度を保つために、プリミティブな要素を組み合わせでジョイントを作成することもできます。ちょうど2つの穴を使って本物のピンジョイントを作るのと同じです。ポイント要素は本物のボディにドリルで開けた穴に対応します。配置コマンドによって2つのポイントを重ね合わせて配置し、ピンジョイントを作成します。

次のようにして完全なピンジョイントや固定ジョイントを作成します。

1. ピンジョイントまたは固定ジョイントで配置したいボディを合わせます。
2. ツールバーで作成したいジョイントのジョイント ツールをクリックします。



図 4-59
ピンジョイントの作成

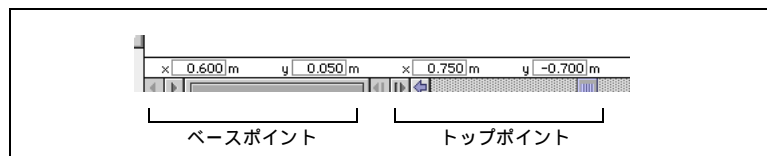


3. マウスをクリックして適当な位置にジョイントを作成します。

上から2つのボディが結合されます。

図 4-60 のように、座標バーは基準点 (第2レイヤまたは背景上の点) と上層点 (第1レイヤ上の点) の x-y 値を示します。いずれの座標値も端点が配置されたボディを基準とするローカル座標系として表されます。

図 4-60
ジョイントの座標バー



ジョイントの位置の調整

座標値を入力してピンジョイントの位置を正確に合わせることができます。方法は 4-60 ページの「ジョイントのプロパティ」を参照してください。

別々のボディに配置された2つのポイントを結合すると、ピンジョイントを作成することができます。別々のボディに配置された2つの四角ポイントを結合すると、固定ジョイントを作成することができます。

次のようにしてプリミティブな要素からピンジョイントや固定ジョイントを作成します。



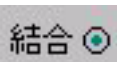
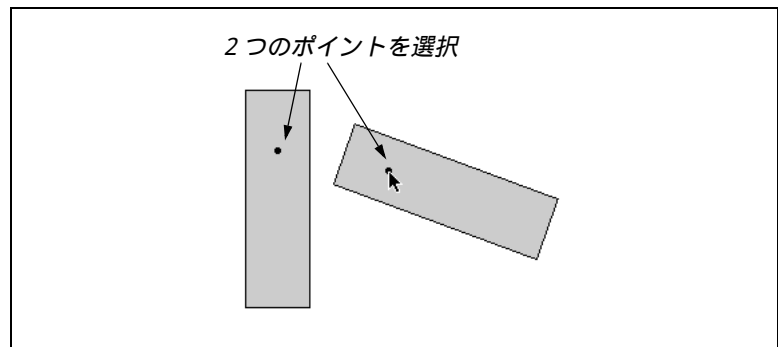
1. 2つのボディでジョイントを作成する位置にそれぞれポイントを作成します。

固定ジョイントを作成する場合は四角ポイントを、ピンジョイントを作成する場合は通常のパイントを使用します。

2. Shift キーを押して、両方のポイントを選択します。

Shift キーを押したまま各オブジェクトを順番にクリックすると、両方のオブジェクトを選択することができます。

図 4-61
2つのポイントを選択してジョイントを作成

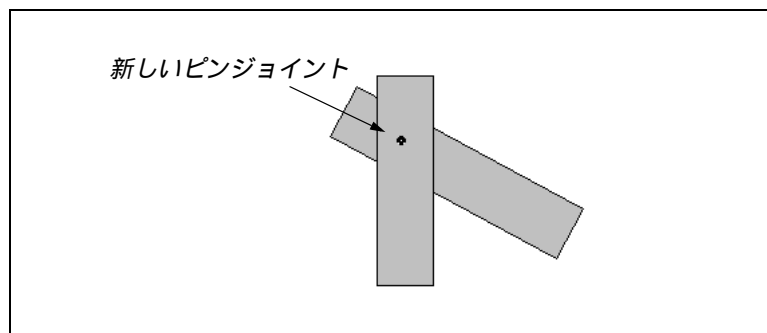


3. ツールバーの配置ボタンをクリックします。

これでピンジョイントが作成されました。ボディが移動してポイントを重ね合わせます。

図 4-62

2つのポイント要素を結合して
ピンジョイントを作成



2つ以上のボディを配置
してピンジョイントを作
成

すでにあるジョイントにポイントを1つ結合して、複数のボディを結合したジョイントを作成することもできます。この方法は1つのポイントに複数のボディが結合されたトラスや構造物を作成するときに便利です。

たとえば次のようにして3つのボディを1本のピンジョイントで結合します。

1. 前のセクションで説明した方法で、2つのボディを1つのピンジョイントで結合します。
2. 第3のボディにポイントを配置します。
3. ピンジョイントとポイントを選択します。

この時点では結合ボタンと分離ボタンの両方ともアクティブです。分離ボタンをクリックすると、*Working Model 2D* はピンジョイントを分離します。

4. ツールバーの結合ボタンをクリックします。

3つのボディが1本のピンジョイントで配置されます。

エレメントの配置や拘束の分離について詳しくは「5.1 要素の結合や拘束の分離」を参照してください。



ジョイントのプロパティ

ピンジョイントや固定ジョイントにはそれぞれ別々のボディに配置された2つのポイントがあります。このためプロパティウィンドウには2つのポイントの特性と位置が示されます。

測定できる固定ジョイントと最適化できる固定ジョイント

固定ジョイントのプロパティウィンドウには2つのラジオボタンが表示されます。ここにはジョイントが最適化されているかと測定可能であるかが表示されます。最適化された固定ジョイントには、シミュレーションで追加の力を加えたり、シミュレーション速度を変えたりすることはできません。最適化すると固定したジョイント（測定値は 0.0 となる）で力やトルクを測定することはできなくなります。正しい力やトルクの値を測定するには、ジョイントを測定可能にする必要があります。この場合、配置されたボディは別々に処理されるため、シミュレーション時間が多少長くなります。

固定ジョイントに対して力やトルクのメーターを作成すると、固定ジョイントは自動的に測定可能になります（最適化が解除されます）。

次のようにしてピンジョイントや固定ジョイントのプロパティを定義します。

1. ジョイントを選択し、ウィンドウメニューからプロパティを選択します。
2. 移動したいポイントの座標に対応するフィールドを編集します。

図 4-63
ピンジョイントや固定ジョイントのプロパティウィンドウ

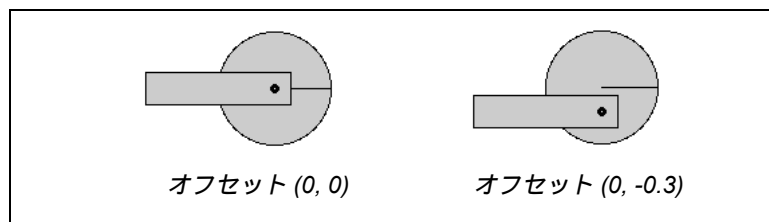


ピンジョイントの正確な配置

プロパティウィンドウにはピンジョイントを構成する2つのポイントの座標が表示されます。この座標はポイントが接続されたボディの参照ポイントを基準にして表されます（ポイントが背景に配置されている場合は、ウィンドウには全体座標が表示されます）。この値を修正することで、個々のポイントを正確に配置することができます。

ピンジョイントを構成するポイントのうち1つポイントの相対位置を変更すると、もう1つのポイントもそれに合わせて移動します。たとえば図 4-64 ではピンジョイントを構成するポイントの1つは円に接続されています。図の左側にはポイントのオフセットが $(0, 0)$ と表示されています。プロパティウィンドウでこのポイントの座標を $(0, -0.3)$ に変更すると、もう1つのボディ(長方形)もそれに合わせて移動します。

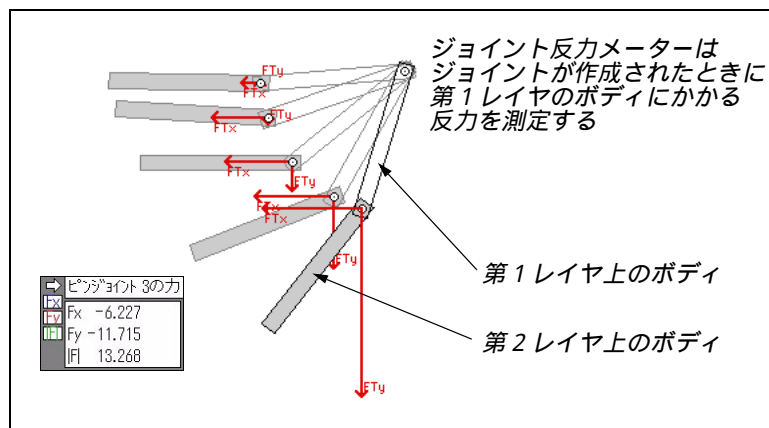
図 4-64
ピンジョイントの配置とポイントのオフセット



ジョイントでの反力の測定

ジョイントを選択して反力を測定するメーターを作成すると、メーターはジョイントを作成したときの第1レイヤにあるボディに作用する力を測定します。成分は全体座標系で表示されます。図 4-65 にこの原理が示してあります。

図 4-65
ジョイントの反力の測定



通常、ジョイントのメーターはプロパティウィンドウの x 成分、y 成分、力に次の式を表示します。

```
constraintforce(n).x
```

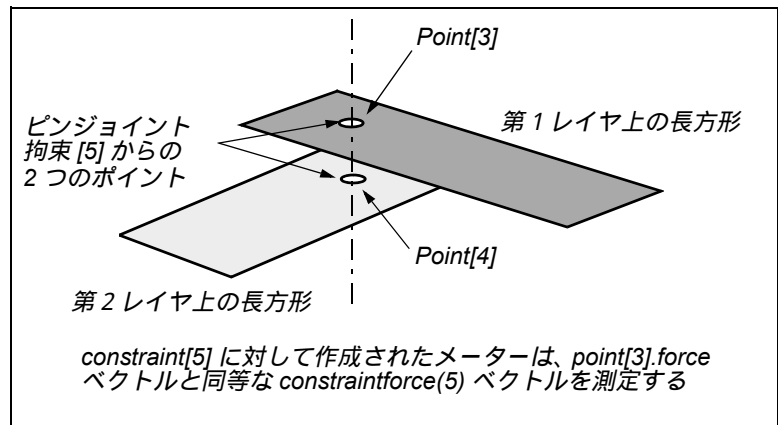
```
constraintforce(n).y
```

```
|constraintforce(n)|
```

(変数 n はモデル中のピンジョイントに割り当てられた ID 番号によって異なります)。Constraintforce(n) の式は第 1 レイヤ上にあるボディに作用する力のベクトルを参照します。

たとえば、ピンジョイント拘束 [5] がポイント [3] とポイント [4] で構成されている場合、拘束 [5] の力メーターはポイント [3] に作用する力を測定します。この場合も成分は全体座標の x 軸と y 軸に分解されます。

図 4-66
ジョイントの力メーターの概念



力メーターフィールドの式を次の式にすると、基準点に作用する力の x 、 y 成分と力の大きさを測定することができます。

```
point[4].force.x
```

```
point[4].force.y
```

```
|point[4].force|
```

詳しくは B-7 ページの「ポイントフィールド」を参照してください。

4.19 スロットジョイント

スロットジョイントは別のボディや背景の上にあるスロットを使ってポイントをボディに合わせます。スロットには直線スロットと曲線スロットがあります。

直線スロットジョイントの作成方法

直線スロットジョイントは次のいずれかの方法で作成することができます。

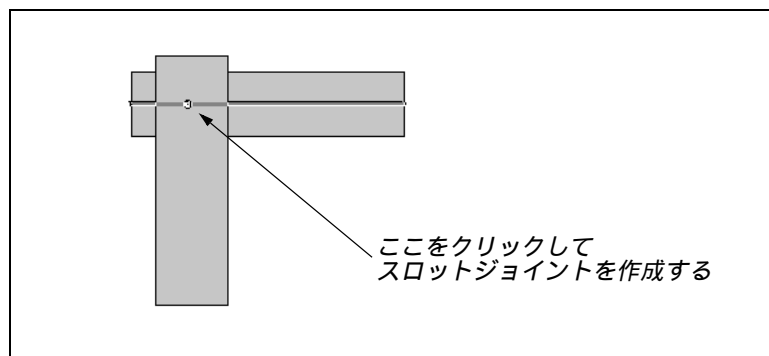
- ツールバーのいずれかの直線スロットジョイントツールを使用します。または
- 直線スロット要素を丸ポイントまたは四角ポイント要素で配置します（それぞれピンスロットジョイントとキースロットジョイントが作成されます）。この方法については4-68ページの「個々の要素からスロットジョイントを作成する方法」を参照してください。

次のようにして直線スロットジョイントツールを選択して直線スロットジョイントを作成することができます。

1. スロットジョイントまたはキージョイントで結合するボディを重ねます。
2. ツールバーで作成するスロットジョイントツールをクリックします。



図 4-67
直線スロットジョイントの作成

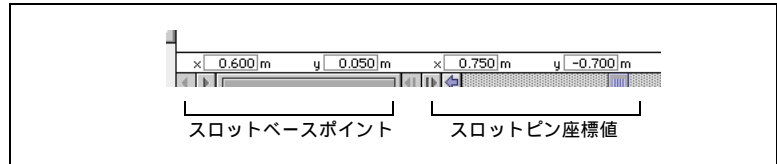


3. マウスボタンをクリックして適切な位置にジョイントを作成します。

上から2つのボディが結合されます。スロット要素は上から2番目のボディに配置されます。ポインタの下にボディが1つしかない場合、スロットは背景に配置されます。

直線スロットジョイントの座標バー（図 4-68）には基準点（第 2 レイヤまたは背景上の点）と上層点（第 1 レイヤ上の点）の x-y 値が表示されます

図 4-68
直線スロットジョイントの座標バー



曲線スロットジョイントの作成方法

次のいずれかの方法で曲線スロットジョイントを作成することができます。

- ツールバーから曲線スロットジョイントツールか閉曲線スロットジョイントツールを選択します。または、
- 曲線スロット要素か閉曲線スロット要素をポイント要素で結合します（ピンスロットジョイントを作成します）。この方法については、4-68 ページの「個々の要素からスロットジョイントを作成する方法」を参照してください。

次のようにして直接（閉）曲線スロットジョイントツールを選択して、（閉）曲線スロットジョイントを作成することができます。

1. スロットに沿って移動するボディを作成します。
2. 作成する曲線スロットジョイントツールを選択し、ボディの上でクリックします。

スロットピンがオブジェクトに接続されます。このポイントが曲線スロットの最初のコントロールポイントになります。

3. クリックして必要なだけコントロールポイントを作成します。最後のコントロールポイントはダブルクリックしてスロットを閉じます。または最後のコントロールポイントをクリックして作成した後、スペースバーを押す方法もあります。座標バーには前のコントロールポイントからの移動量が表示されます（図 4-70 を参照）。

図 4-69 には開曲線トラックに沿って移動するように設定されたボディの例が示してあります。



図 4-69

閉曲線トラックの上のボディ

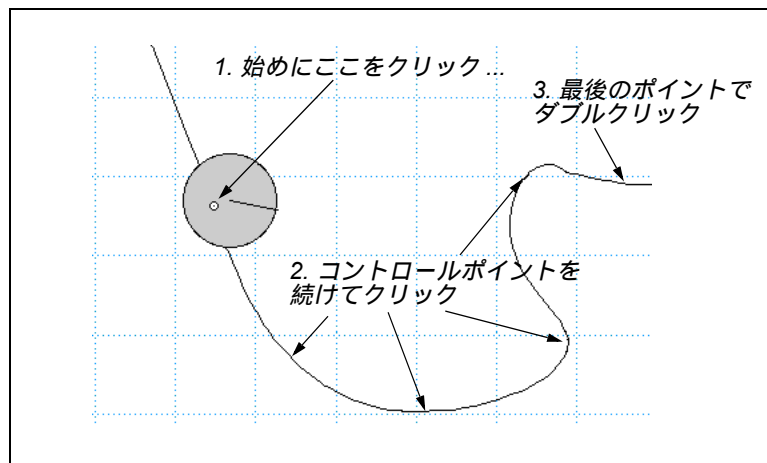
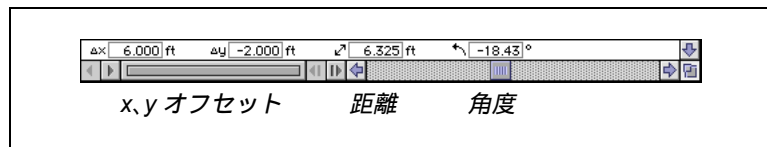


図 4-70

座標バーは前のコントロールポイントからのオフセットを表示する

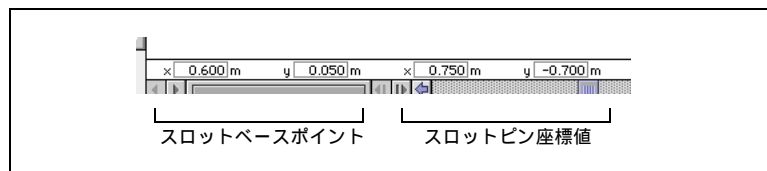


曲線スロットジョイントツールを選択すると、Working Model 2D は最後のコントロールポイントの後のスロット部分を直線外挿します。閉曲線スロットジョイントツールを選択すると、Working Model 2D は最初と最後のコントロールポイントの間の曲線を自動的に閉じます。

曲線スロットジョイントの座標バーにはスロットの基準点とスロットピンの座標（ボディがスロットに接続されている点）が表示されます。いずれの座標値もローカル座標で表示されます。

図 4-71

曲線スロットジョイントの座標バー



曲線スロットの形状変更

曲線スロットの形状はマウスや形状ウィンドウから変更することができます。このセクションではマウスを使って形状を変更する方法を説明します。形状ウィンドウを使って形状を変更する方法については、4-75 ページの「数値入力による曲線スロットの形状変更」を参照してください。

次のようにして曲線スロットの形状を変更します。

1. 編集メニューから形状変更を選択します。

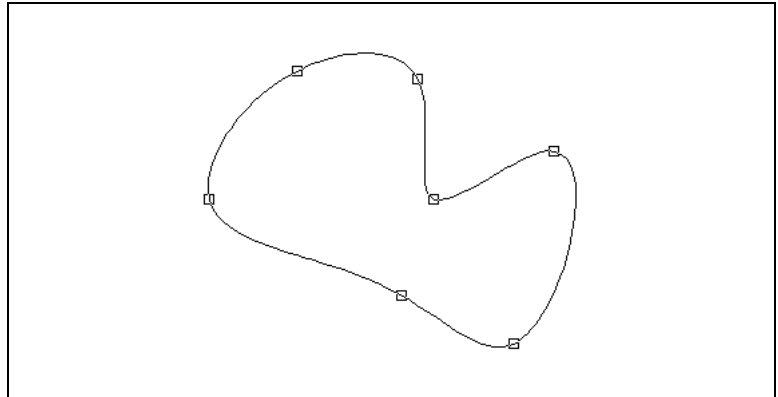
このメニューアイテムは、形状が変更できるオブジェクト、つまり多角形、曲線多角形、曲線スロットが選択されているときだけ表示されます。

2. 曲線スロットを選択します。

図 4-72 のように、曲線スロットのすべてのコントロールポイントに形状変更ハンドルが表示されます。

図 4-72

形状変更モードの曲線スロット



3. 形状変更ハンドルをクリックしてドラッグします。

するとコントロールポイントの 1 つが移動します。

4. 編集メニューから形状変更を選択解除するか、ツールバーの別のツールを選択して、形状変更モードを終了します。

曲線スロットをマウスでドラッグするには編集モードに戻らなければなりません。

次のようにしてコントロールポイントを追加します。

1. 形状変更モードになっていることを確認します（編集メニューの形状変更メニューの横にチェックマークが表示されます）。
2. スロットをクリックして（コントロールポイントの上はクリックしないこと）、新しいコントロールポイントを追加する位置にドラッグします。

次のようにしてコントロールポイントを削除します。

1. 編集メニューの形状変更オプションを使って、形状変更モードになっていることを確認します。
2. 曲線スロットを選択して、形状変更ハンドルを表示させます。
3. 削除したいコントロールポイントの形状変更ハンドルを選択します。
ハンドルがハイライトされます。
4. 編集メニューから切り取りを選択するか、Delete キーを押します。

個々の要素からスロットジョイントを作成する方法

結合ボタンを使ってポイント（または四角ポイント）を結合して、スロットジョイントを作成することができます。具体的には次の2つの方法があります。

- ポイントとスロットを結合してピンスロットジョイントを作成します。または、
- 四角ポイントとスロット（直線スロットのみ）を結合してキースロットジョイントを作成します。

注意：

- 四角ポイントと曲線スロットを結合しようとすると、ピン曲線スロットジョイントが作成されます。
- 1つのスロットには1つしかポイント（丸または角）を接続することができません。同じスロットに複数のポイントを接続したい場合、接続したいポイントの数だけスロットを複製します（たとえば、編集メニューの複製を使用します）。

要素の配置について詳しくは「5.1 要素の結合や拘束の分離」を参照してください。

次のようにしてプリミティブな要素からスロットジョイントを作成します。



1. 別々のボディの上にポイント要素とスロット要素を作成します。

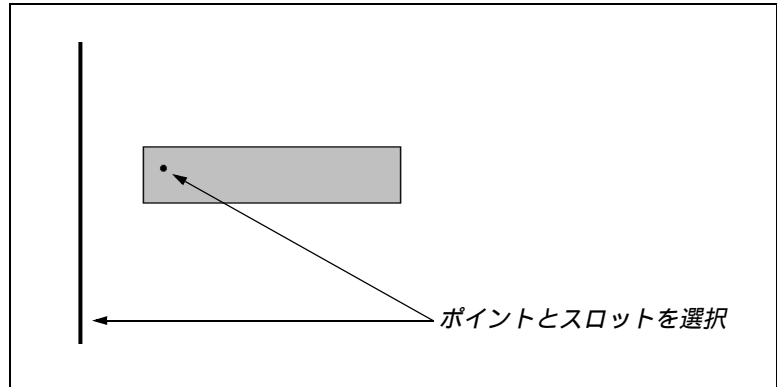
ツールバーのポイントツールを使ってポイントを作成してください。
キースロットジョイント（直線スロットのみ）を作成する場合は四角ポイントを使用してください。

2. ポイントとスロットを選択します。

Shift キーを押したまま順番にそれぞれのオブジェクトをクリックして、2つのオブジェクトを選択します。

図 4-73

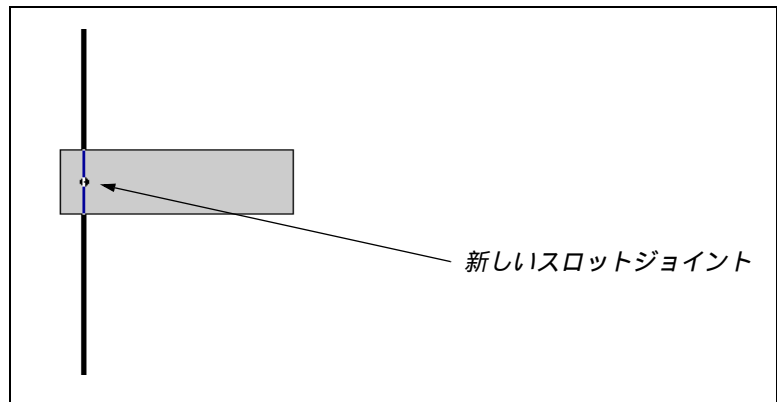
ポイントと直線スロットを選択



3. ツールバーの配置ボタンをクリックします。

スロットジョイントが作成されます。ポイントとスロットが重なるようにボディが移動します。

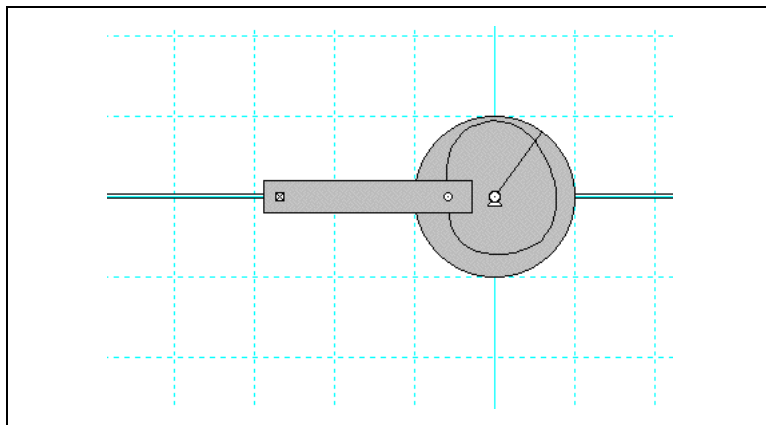
図 4-74

ポイントとスロットを配置して
スロットジョイントを作成

カム機構

プリミティブな要素からどのようにして曲線スロットジョイントが作成されるかを説明するため、図 4-75 に示すようなカム機構を作成してみましょう。

図 4-75
単純なカム機構



1. ディスクを作成し、その上に閉曲線スロットを作図します。

閉曲線スロットツールを使用します。ディスクの上に最初のコントロールポイントをクリックし、数回コントロールポイントをクリックした後、最後のコントロールポイントをダブルクリックするかスペースバーを押して終了します。

この場合のスロット形状は任意です。スロット形状の正確な調整方法については、4-75 ページの「数値入力による曲線スロットの形状変更」を参照してください。



2. ディスクの中心にモーターを配置します。

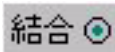
このモーターが後で機構を駆動します。



3. 長方形のボディ（カム従動子）を作成し、長方形のいずれかの端にポイント要素を配置します。これは後でスロットのピンになります。

上の図のようにオブジェクトの長さが十分であることを確認してください。

4. スロットを選択し、Shift キーを押してカム従動子の上のポイントを選択します。



5. 結合ボタンをクリックします。

カム従動子がスロットに結合されるのを見てください。

6. 駆動モーターの y 位置とほぼ同じ水平高さになるようにカム従動子を調整します。

カム従動子をドラッグするか、カム従動子のプロパティウィンドウで y 座標の値を入力して、位置と回転を正確に調整します。

7. 水平キースロットを使ってカム従動子の端を背景に接続します。
8. 実行をクリックします。

カムの回転に合わせてカム従動子がどのように動くかを観察してください。

スロット要素の接続と取りはずし

スロット要素は自由にボディに接続したり取りはずしたりすることができます。たとえば、背景に接続した閉スロット要素がある場合（例 DXF ファイルからの変換など）スロット要素を円形ボディに接続してカムを作成することができます。

スロットをボディに接続する方法

次のようにしてスロットをボディに接続します。

1. スロット要素をボディの上または近くの目的の位置に移動します。

Working Model 2D では、スロットとボディを接続しても、スロットやボディの位置は変更しません。スロットをまずボディの上の目的の位置に移動させてください。

ボディの色やパターンを透明にしておくと、オブジェクトの下に「隠れた」ときもスロット要素を見ることができます。

2. ボディとスロット要素の両方を選択します。

Shift キーを押しながら選択するか、ボックスを使って選択します。

3. オブジェクトメニューのボディに配置を選択します。

スロット要素の参照ポイントがボディの参照ポイントになります。コントロールポイントの座標はそれに合わせて調整されます。

ボディからスロットを取りはずす方法

次のようにしてボディからスロットを取りはずします。

1. スロット要素を選択します。



スロットが現在接続されているボディは選択しないでください。

- オブジェクトメニューのボディから取りはずしを選択します。

スロットはボディとの接続を失いますが、スロットの位置はそのままです。スロットの参照ポイントは背景の参照ポイントに移動し(座標原点)、コントロールポイントの座標はそれに合わせて調整されます。



スロットジョイントのプロパティ

次のようにしてスロットジョイントのプロパティを変更します。

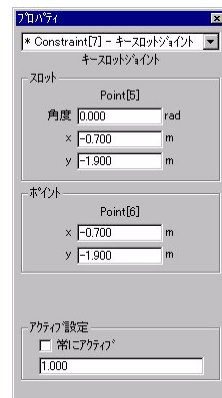
- スロットジョイントを選択し、ウィンドウメニューからプロパティを選択します。

図 4-76

スロットジョイントまたはキー
スロットジョイントを選択した
ときのプロパティウィンドウ



ピンスロット
ジョイント



キースロット
ジョイント

- プロパティウィンドウのスロットフィールドにはスロットジョイントのスロット要素が記述されます。スロット要素は、スロット要素を背景に接続するポイント(またはスロットがボディ上にある場合はボディに接続するポイント)とその回転(直線スロットの場合はスロットとX軸との角度、曲線スロットの場合、角度は最初はゼロ)によって記述されます。曲線スロットの場合、この配置ポイントは最初に作成したコントロールポイントです。
- ポイントフィールドにはピンジョイントのポイント要素の座標が表示されます。このポイントはスロットピンがボディ上で位置する点です。

スロットジョイントで反力を測定する方法

スロット要素を選択して、測定メニューから力を選択すると、スロットに作用する力を測定するメーターを作成することができます。このメーターには次の3つの成分があります（プロパティウィンドウで表示することができます）。

```
constraintforce(n).x
```

```
constraintforce(n).y
```

```
|constraintforce(n)|
```

（数字 n は拘束 ID によって変わります）

スロットの力成分は、スロットと交わる X 軸を持つ座標系（直線スロットの場合）またはスロットに接する接線を持つ座標系（曲線スロットの場合）によって表示されます。このためスロットジョイントの力メーターの X 成分は常にゼロです。

スロットに作用する反力を全体座標系で表示したい場合、スロットによって拘束されたボディに配置されているポイント要素を探してください。マウスポインタをポイント要素の上に合わせて、ステータスバーの表示を調べます。たとえばこのポイント要素がポイント [5] であるとします。このとき次のベクトルがスロットからボディに作用する反力を表しています。

```
point[5].force
```

プロパティウィンドウのメーターフィールドに次のような式を入れると、反力の x や y 成分や大きさを求めることもできます。

```
point[5].force.x
```

```
point[5].force.y
```

```
|point[5].force|
```

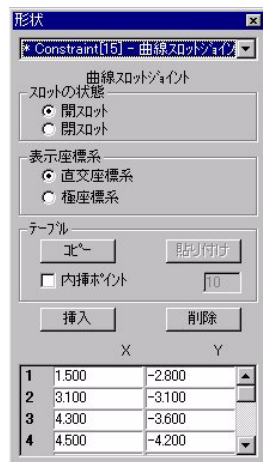
詳しくは、B-7 ページの「ポイントフィールド」を参照してください。



曲線スロットの形状を定義する方法

曲線スロットは一連のコントロールポイントを作成して生成します。コントロールポイントは3次のBスプライン内挿法によってスムーズなスロットに処理されます。コントロールポイントの位置は形状ウィンドウを使って表示したり、修正したり、クリップボードを使ってコピーすることができます(曲線形状はグラフィックに修正することもできます。詳しくは 4-66 ページの「曲線スロットの形状変更」を参照してください)。

図 4-77
曲線スロットジョイントの形状
ウィンドウ



次のようにして形状ウィンドウを表示します。

1. 曲線スロットを選択します。
2. ウィンドウメニューから形状を選択します。

または、形状ウィンドウがすでに表示されている場合、ウィンドウの一番上のポップアップメニューから形状を表示したい曲線スロットを選択するだけです。

開／閉スロット

ラジオボタンを選択して開曲線スロットと閉曲線スロットを変換することができます。曲線スロットが開のとき、両端のポイントからスプライン曲線スロープを使用して無限大まで直線外挿します。

表示座標

コントロールポイントは直交座標系か極座標系で表示することができます。閉曲線スロットはデフォルト設定では極座標系で表示されます。開曲線スロットはデフォルト設定では直交座標系で表示されます。

コピー / 貼り付けテーブル

コントロールポイントの座標をクリップボードからコピーしたりクリップボードへ貼り付けたりすることができます。この機能は他のアプリケーションとの間でコントロールポイントの数値データをインポートしたりエクスポートして曲線スロットを正確に定義するのに便利です（方法は、4-78 ページの「他のアプリケーションとの間で曲線スロットをコピーする方法」を参照してください）。

もちろんコピー / 貼り付け機能を使わなくても、Working Model 2D の他のオブジェクトと同じように、曲線スロットをグラフィックにコピーしたり貼り付けたりすることもできます。

Working Model 2D では、曲線スロットの無限個の内挿点をクリップボードにコピーすることもできます。隣接する 2 つのコントロールポイント間で何個のポイントをサンプルするかを指定できるようになっています。

コントロールポイントの座標

形状ウィンドウにはコントロールポイントの座標が参照ポイントで表示されます。

曲線スロットの参照ポイント

曲線スロットのプロパティウィンドウにはスロットの座標が表示されます。このポイントは参照ポイントとして定義されます。曲線スロットの参照ポイントは、スロットを最初に作成したときに配置されていたボディの参照ポイントです。曲線多角形を最初背景上に作成した場合、参照ポイントは全体座標の原点 (0, 0) になります。

グラフィックな方法を使って、または形状ウィンドウでコントロールポイントの 1 つを変更してスロットを編集した場合、スロットの参照ポイントは固定されたままです（そのためもう 1 つのコントロールポイントの座標は変更されません）。スロットを移動したりドラッグすると、参照ポイントも一緒に移動します。このように、スロットを移動しても参照ポイントからのオフセットによって表示されるコントロールポイントは変更されません。

数値入力による曲線スロットの形状変更

それぞれのコントロールポイントの座標を指定して、曲線スロットの形状を正確に変更することができます。座標の値は形状ウィンドウで入力します（曲線スロットの形状をグラフィックな方法で変更したい場合、マウスを使った形状変更の方法が説明してある 4-66 ページの「曲線スロットの形状変更」を参照してください）。

形状ウィンドウはコントロールポイントの追加や削除に使用します。クリップボードとの間で座標テーブルをコピーして、他のアプリケーションと正確な形状データを交換するのに使用することもできます。

形状ウィンドウの使用

形状ウィンドウを使って個々のコントロールポイントの位置を修正することができます。コントロールポイントを追加したり削除することもできます。他のアプリケーションとの間で形状テーブルをインポートしたりエクスポートする方法については、4-78 ページの「他のアプリケーションとの間で曲線スロットをコピーする方法」を参照してください。

次のようにして曲線スロットの形状を変更します。

1. スロットをクリックして選択します。
2. ウィンドウメニューから形状を選択します。

図 4-77 のような形状ウィンドウが表示されます。

3. 新しいコントロールポイントの位置を表す値を入力します。

新しい座標値を入力するとスロットの形状が変わります。現在編集している曲線スロット上のコントロールポイントがハイライトされているのに注意してください。

次のようにしてコントロールポイントを追加します。

1. スロットをクリックして選択します。
2. ウィンドウメニューから形状を選択します。

図 4-78 のような形状ウィンドウが表示されます。

3. 新しいコントロールポイントの隣になるコントロールポイントを選択します。

図 4-78
曲線スロットにコントロールポ
イントを追加

このコントロール
ポイントを選択



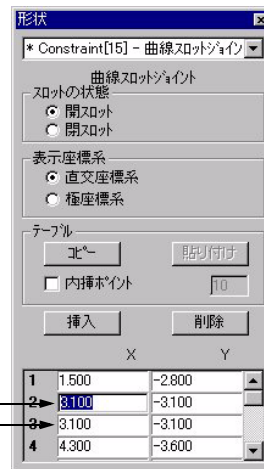
挿入

4. 形状ウィンドウで挿入ボタンをクリックします。

リストにコントロールポイントの複製が作成されます。複製のコントロールポイントを編集するまで、スロットの形状は変わりません。図 4-79 を参照してください。

図 4-79
同じコントロールポイントを持
つ新しい曲線スロット

これら 2 つの
コントロール
ポイントは同じ
座標値を持つ

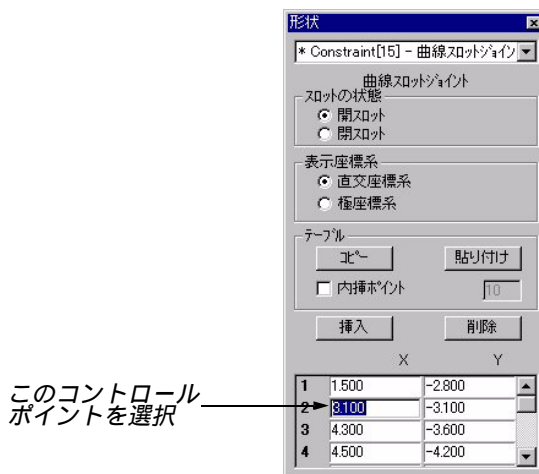


5. 新しいコントロールポイントの座標値を編集して、幾何学的に異なるポイントを作成します。

次のようにしてコントロールポイントを削除します。

1. オブジェクトをクリックして選択します。
2. ウィンドウメニューから形状を選択します。
形状ウィンドウが表示されます。
3. 形状ウィンドウで削除したいコントロールポイントを選択します。

図 4-80
曲線スロットからコントロール
ポイントを削除



4. ウィンドウで削除ボタンをクリックします。
コントロールポイントがリストから削除されます。

他のアプリケーションとの間で曲線スロットをコピーする方法

Working Model 2D では曲線スロットを点の集合としてコピーしたり貼り付けたりすることができます。このため表計算プログラムや CNC マシーニングプログラム、テキストエディタなどとの間でコントロールポイントをやり取りすることができます。

データの表記方法

曲線スロットはクリップボードを介してコントロールポイントの座標として転送されます（オプションとして内挿点を含めることができます）。データは、タブ区切りの (x, y) または (r,) 座標を表す数字の組合わせのリストを持った単純なテキストファイルです。それぞれの数字の組が各行に表示されています。

ほとんどすべてのスプレッドシートやテキストエディタではこのデータをクリップボードから即座にインポートすることができます。CAD プログラムの場合 CAD プログラムの場合は、テキスト / ASCII データ入力のような別の方法が必要になることがあります。

別のアプリケーションに 曲線スロットをコピー

次のようにして Working Model 2D から別のプログラムに曲線スロットのデータを送ることができます。

1. 曲線スロットを選択して、ウィンドウメニューから形状を選択します。

形状ウィンドウが表示され、コントロールポイントが示されます。

2. データのポイントを表現する座標系を選択します。

直交座標系または極座標系のいずれかを選択します。

3. 内挿点もエクスポートする場合、内挿ポイントチェックボックスをクリックして、隣接する 2 つのコントロールポイントの間で何個の点をエクスポートするかを指定します。

4. 形状ウィンドウでコピーボタンをクリックします。

ポイントの座標値がクリップボードにコピーされます。この場合、編集メニューのコピーは使用しないでください。この方法では選択した 1 個の数字しかコピーできません。

5. コピー先のアプリケーションに切り替えて、そのアプリケーションの編集メニューから貼り付けを選択し、データポイントを貼り付けます。

データの 1 列が 1 組のポイントの座標を表します (ポイントとポイントの間はタブ区切り)。

別のアプリケーションから 曲線スロットを貼り付ける

次のようにして別のアプリケーションから Working Model 2D に曲線スロットのデータを貼り付けることができます。

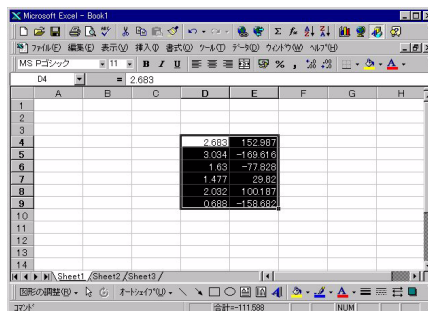
1. コピー元のアプリケーションでポイントのテーブルを選択します。

データは 1 列が 1 組のポイントの座標を示し、データの間がタブで区切られた 2 列の表形式になっていなければなりません。データがこの形式でない場合、Working Model 2D は数字のリストを、1 組のポイントを表す連続した座標であると解釈します。

図 4-81 に、6 個のコントロールポイントのデータが入った Microsoft Excel ワークシートのサンプルがあります。

図 4-81

コントロールポイントの座標が入った Microsoft Excel のスプレッドシート



2. コピー元のアプリケーションのコピー機能を使ってクリップボードに選択したデータをコピーします。
3. Working Model 2D に切り替えて、最初の曲線スロットを作成する。ウィンドウメニューから形状を選択します。

この最初のスロットのコントロールポイントは、新しいデータを貼り付けると上書きされるため、インポートされていません。

4. 形状ウィンドウのラジオボタンをクリックして、コピーするデータの座標形式を直交座標系と極座標系のどちらにするかを指定します。
5. 同じようにして、内挿された曲線を閉じるか開くかを選択します。
6. 形状ウィンドウの貼り付けボタンをクリックします。

曲線スロットのコントロールポイントとしてデータポイントは自動的に内挿されます。

内挿についての注意

Working Model 2D は 3 次の B スプライン内挿法を使って、一連のコントロールポイントからスムーズな曲線を作成します。これは最も広く使用されている内挿法の 1 つです。しかし CAD/CAM パッケージによっては別の方法でコントロールポイントを内挿するものもあるため、コントロールポイントが同じでも、生成される曲線（内挿の結果）がパッケージによってわずかに異なる場合があります。

コピーテーブルを使って Working Model 2D で設計した曲線スロットをエクスポートする場合、CAD パッケージによっては独自の方法でコントロールポイントを内挿することもあるため、表示された曲線が思ったとおりでないことがあります。

通常は、コピーテーブルを使用するときに Working Model 2D の内挿オプションをオンにすると、この問題を回避することができます。内挿点をコピーすると曲線 1 つにつき多くのデータをエクスポートしなければなりませんが、別の CAD/CAM プログラムでも同じような曲線を表示することができます。

第 5 章

スマートエディタ

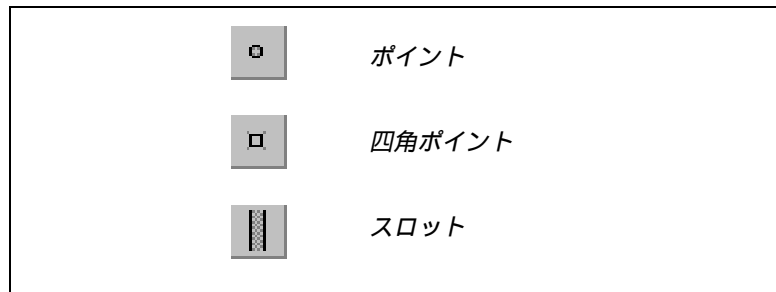
この章では次のことについて説明します。

- ・ ポイントやスロットからジョイントを作成する方法
- ・ ボディ間の拘束を残したままボディをドラッグしたり回転する方法
- ・ ポイントのロックやコントロールのロック機能を使って、機構に意図しない変更を加えてしまうのを防止する方法

5.1 要素の結合や拘束の分離

ピンジョイントや固定ジョイント、スロットジョイントはコンポーネント要素で作成されています。コンポーネントには、ポイント、四角ポイント、スロットなどがあります。

図 5-1
Working Model 2D の要素のタイプ



A **ピンジョイント**は2つのポイント要素で構成されています。ピンジョイントで結合された2つのボディはお互いに自由に回転させることができ、ドラッグしても分離できません。



A **固定ジョイント**は2つの四角ポイント要素で構成されています。固定ジョイントで結合された2つのボディは固定されており、ドラッグして分離することも、お互いに回転させることもできません。



ピンスロットジョイントはスロットとポイントで構成されています。スロットジョイントは1番目のボディの上のポイントを2番目のボディの上にあるスロットに重ねます。

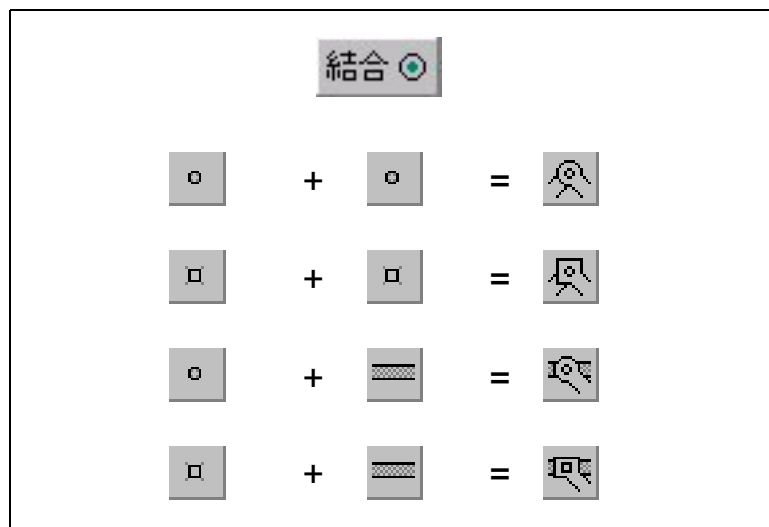


キースロットジョイントはスロット要素と四角ポイント要素で構成されています。キースロットジョイントは1つのボディの上のポイントを2番目のボディのスロットに重ねて、2つのボディが回転しないように固定します。



結合は要素を結合してジョイントにします。両方の要素を選択して、ツールバーの**結合**をクリックします。

図 5-2
Working Model 2D のジョイントのタイプ



結合ボタンを使ってピンジョイントやスロットジョイントを作成する方法については、「4.18 ジョイント」や「4.19 スロットジョイント」の例を参照してください。



分離ボタンは拘束を要素部分に分解します。ジョイントを選択し、ツールバーの**分離**をクリックしてください。分離された要素は結合されていたことを「覚えて」いますので、機構を分解しても簡単に組み立てなおすことができます。**分離**と**結合**は、ピン、ジョイント、固定ジョイント、スロットジョイント以外の拘束に使うことができます。

オブジェクトの運動をコントロールしながら結合

結合コマンドを受け取ると、スマートエディタは最適化アルゴリズムを使用して、結合する2つの要素間の距離を最小限にします。スマートエディタは他を維持しながら、オブジェクトを移動して2つの要素を指定どおりに結合させます。図 5-3 と図 5-4 に、拘束されていない長方形の上にある2つのピンを結合してピンジョイントを作成するとどうなるかが示されています（スマートエディタはどちらの長方形も移動できたことに注意してください。どちらが選択されるかは全くの任意です）。

図 5-3
拘束されていない2つの長方形

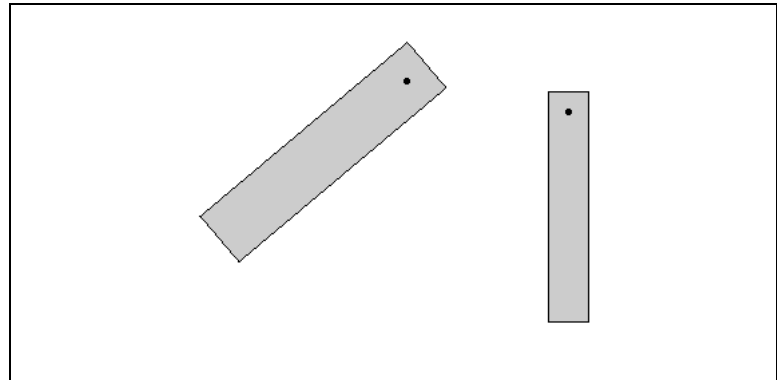


図 5-4
拘束されていない2つの長方形を結合する

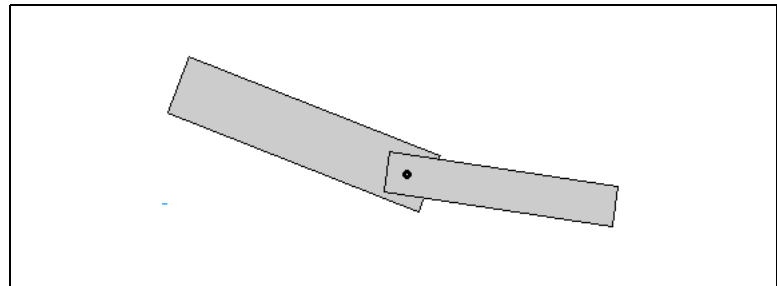


図 5-5 と図 5-6 には、ピンジョイントを中心に回転させることはできるが平行移動はできない2つの長方形を結合するとどうなるかが示されています。

図 5-5

拘束された2つの長方形

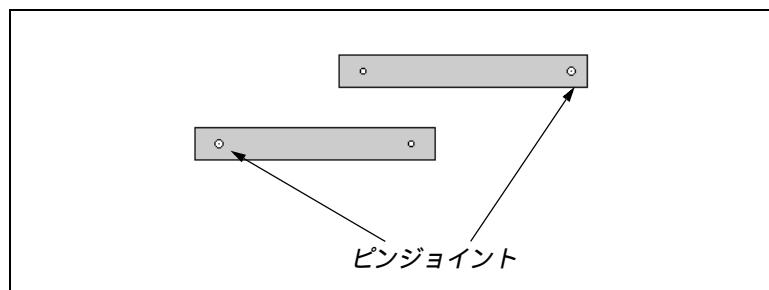
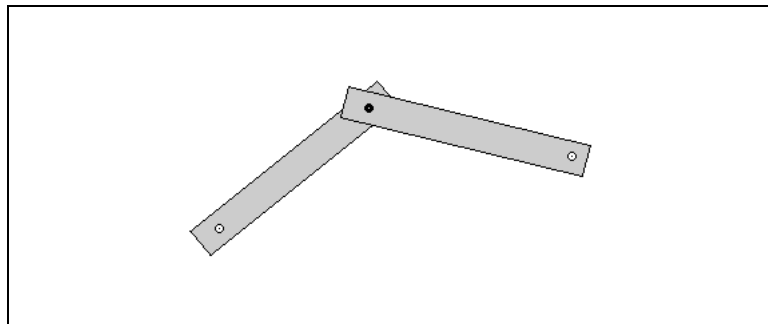


図 5-6

拘束された2つの長方形を結合する



オブジェクトの運動をコントロールする

1つまたはそれ以上のボディを動かさないでオブジェクトを結合するには、アンカーを使って動かしたくないオブジェクトをロックします。

複雑な機構をマウスで編集したり結合したりするとき、一時的に機構の一部のパーツを固定しておくと便利です。機構のパーツがまったく背景に固定されていないと、どのコンポーネントをドラッグしても機構全体が移動してしまいます。また結合すると、組み立てを完了するためにあらゆるオブジェクトが移動されてしまいます。アンカーツールを使うとオブジェクトを固定することができます。固定すると、マウスや結合ツールを使ったとき、固定されていないオブジェクトしか動かないようにすることができます。

編集中は「a」のキーとスペースバーでアンカーツールと矢印ツールを選択することができます。「a」のキーを押して、機構のパーツを固定してください。その後でスペースバーを押して矢印ツールに切り替えると、機構をドラッグすることができます。終了したら、もう一度「a」のキーを押して、固定されたボディの上をクリックしてください。アンカーが取り除かれます（1つのボディにアンカーを2つ設定すると、どちらも取り消されます）。



固定されたボディ同士を 回転する方法

2つの四角ポイントを使って固定ジョイントを作成すると、1つまたは両方のボディが回転することに気づくでしょう。これはスマートエディタが固定ジョイントを作成するときに、2つの四角ポイントの方向を揃えて重ねるためです。

たとえば2つの完全に水平な長方形オブジェクトの上にそれぞれ四角ポイントがあり、そのうち1つのポイントは長方形に対して30度傾いているとします。この2つの四角ポイントを結合すると、2つの長方形は30度ずれて結合されます。これはスマートエディタが2つの四角ポイントの方向を合わせて重ねるためです。その後、1つの四角ポイントの回転を変更すると、2つのボディは回転して揃います。

5.2 結合したボディのドラッグや回転

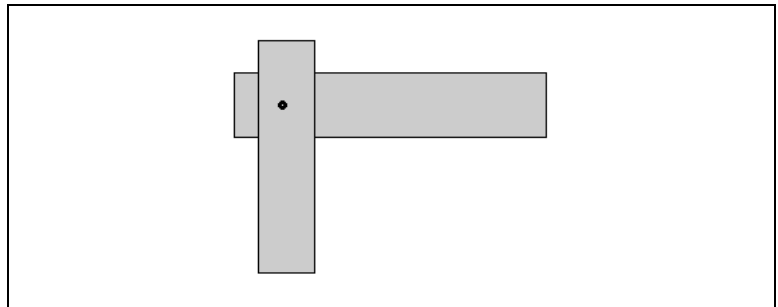
スマートエディタはインタラクティブなツールです。その便利さや機能を体験するには、実際に使ってみるのが一番です。Working Model 2D チュートリアルやユーザーマニュアルの第1章「ガイドツアー」には、スマートエディタの使い方を理解するのに役立つ例がたくさん紹介されています。このセクションではこの後、スマートエディタを使うためのアイデアやテクニックを紹介します。

以下の部分はそのまま読んでも、読みながらコンピュータを実際に操作してみてもかまいません。ボディや拘束の作成と編集方法を理解していることが前提となります。

Working Model 2D のドキュメントにはピンジョイントで接続された2つの長方形があります。

図 5-7

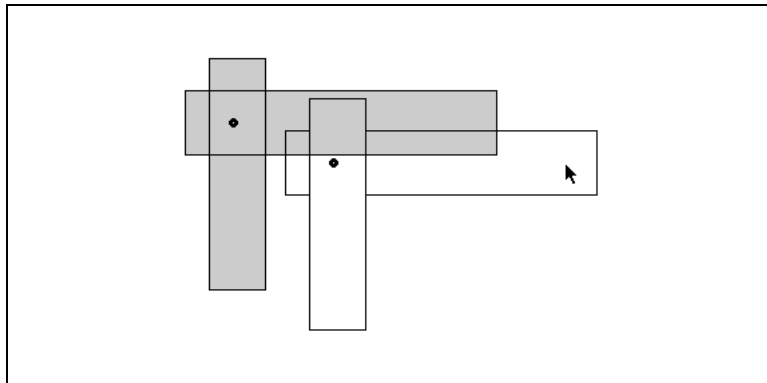
ピン結合された2つの長方形



1. 1つの長方形をつかんで、ワークスペースの中をあちこちドラッグします。

長方形はピンジョイントで結合されているので（図 5-8 のように）一緒に移動します。

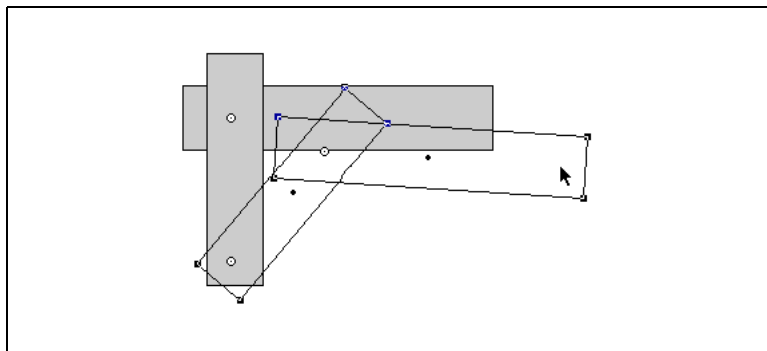
図 5-8
ピン結合された 2 つの長方形
をドラッグする



2. 縦長の長方形をピンジョイントで背景に固定します。

画面は図 5-9 のグレーの長方形のようになります。

図 5-9
ドラッグする前と後のピン結合
された長方形



3. 横長の長方形を右側にドラッグします。

このとき縦長の長方形は右側に動かされる横長の長方形にも接続されており、背景にも接続されているため、矛盾を解消しなければなりません。Working Model 2D のスマートエディタは横長の長方形を右側に引っ張り、縦長の長方形を右回りに傾けることによって両方の拘束を維持します。

The Working Model 2D のスマートエディタはオブジェクトや拘束間の基本的な関係を維持しながら、ユーザーが複数のオブジェクトや拘束を操作できるようにします。ここで「操作」というのは次のような 3 つの操作を意味します。

- ドラッグしたり回転させる
- 結合コマンドを使用する
- プロパティウィンドウに値を入力する

スマートエディタは機構のコンポーネントを移動したときに、機構が分解されないようにします。その代わりその他のコンポーネントを（それぞれの拘束に応じて）移動したり回転したりして、目的の動きを達成します。

ドラッグや回転を行なうと、組み込まれている拘束と非整合になる場合があります。たとえば図 5-9 の機構をどんどん右側にドラッグしていくと、どこかでポイントの動きを追いつづけることができなくなります。このような場合、拘束と動きの両方をうまく満足させようとしますが、常に拘束が優先されます。

クリックとドラッグ

スマートエディタはできるだけクリックとドラッグによる指示に従うように設計されています。機構をドラッグすると、スマートエディタはできるだけ拘束を破壊せずに、機構の上で最初にクリックしたポイントと現在のポイントの位置との間の距離を最小限に維持しようとします。

注：スマートエディタは衝突は考慮に入れません。

ポイントのロックとコントロールのロック

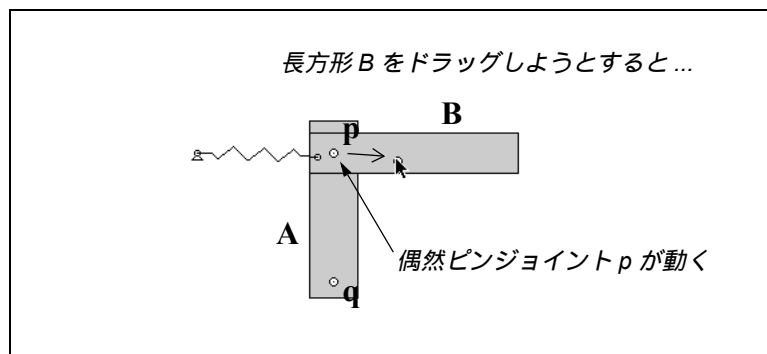
ビューメニューのポイントのロックは作成したモデルを編集するときの「安全」機能です。このオプションをアクティブにすると、Working Model 2D は、ピンジョイントや拘束の端点を含むすべてのポイントをマウスを動かしてもドラッグできないようにします。

次のような例があります。図 5-10 のように長方形 A または B の構成を変えてモデルを編集しているとき、偶然に 2 つの長方形を結合するジョイント p を選択してしまい、ドラッグしてしまうといった場合です。

このようなミスはポイントのロックをアクティブにしておけば防ぐことができます。ポイントのロック機能はアクティブにすると、ジョイント p を長方形 A と B を基準にして固定します。ピンジョイント p はまだピンジョイントとして機能しますが、ドラッグすることはできなくなります。

図 5-10

ピンジョイントをドラッグすると機構が変わってしまうことがある



ポイントのロックはポイントをマウスでドラッグすることだけを禁止します。プロパティウィンドウから座標値を入力してポイントの位置を変更することはできます。

コントロールのロック

同じくビューメニューにあるコントロールのロックは、ポイントのロックに似ていますが、ポイント（および拘束の端点）ではなくコントロール（メーター、入力、メニューボタン）に対して影響を及ぼす点が異なります。このオプションはマウスのドラッグによってコントロールの位置が変わるのを防ぎます。

5.3 スマートエディタの理解

スマートエディタがワークスペース内でオブジェクトを移動するときの規則は単純で一貫性を持ちます。スマートエディタを理解するのに一番よい方法は実際に使ってみることです。スマートエディタの規則は直感的で、ふだんの生活で行われている操作をコード化したものです。

規則 1 編集中にはどの拘束も破壊されません。

円に接続された長方形をドラッグすると、円は長方形について移動しません。

規則 2 編集中に、拘束の端点が接続されたオブジェクトの上にその端点を移動することはできません。

ジョイントを定義するポイントは、それが接続されたオブジェクトを基準にして動くことはありません。ジョイントはその位置から移動しません。

規則 3 複数のオブジェクトを同時に選択してドラッグや回転を行うと、オブジェクトは固定されたユニットとして処理されるため、オブジェクト同士の相対位置や回転は変わりません。

規則 4 編集中は、衝突は無視されます。

規則 5 編集中は、拘束力が作用しない限りジョイントが回転することはありません。

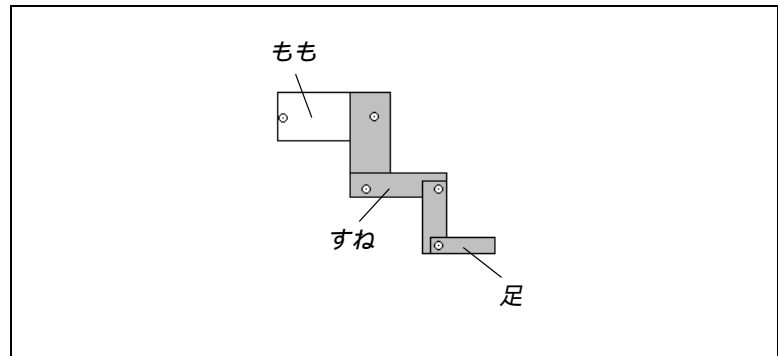
規則 6 ボディのサイズを変えると、そのボディに接続された拘束のすべての端点は背景を基準にして同じ位置に固定されたままとなります。

例外はパラメトリックを使用した場合だけです。

ロボットの脚の例

「ロボットの脚」を例に考えてみましょう。ロボットの脚にはいくつかの長方形がピンジョイントで結合され、1本のピンジョイントで背景に固定されています。図 5-11 を参照してください。脚の「もも」の部分が白いブロックになっており、このボディだけが背景に固定されています。

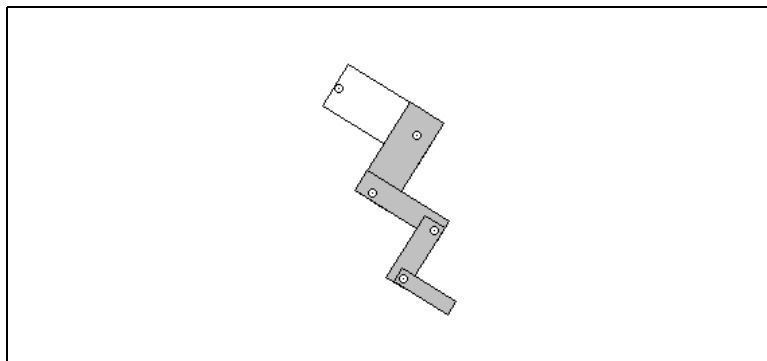
図 5-11
ロボットの脚



1. 「もも」をクリックしてドラッグします（白いブロック）。

「もも」(白いブロック)と背景の間のジョイントが回転して、グレーのブロックが固定されたユニットとして移動します。図 5-12 にこの状態が示されています。

図 5-12
「もも」をドラッグする



2. グレーのブロックをドラッグすると、ジョイントが軸となって回転し、脚の形が変わります。

「足」(図 5-13) や「すね」(図 5-14) をドラッグすると、ジョイントが関節運動をして、ブロック同士の位置関係が変わります。

図 5-13
「足」をドラッグする

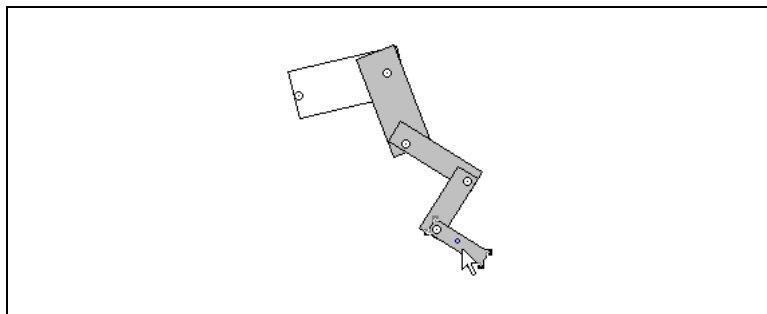
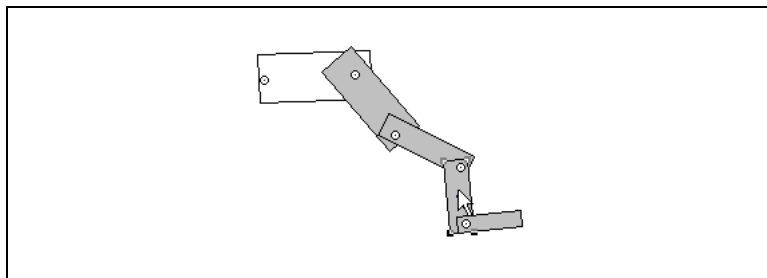


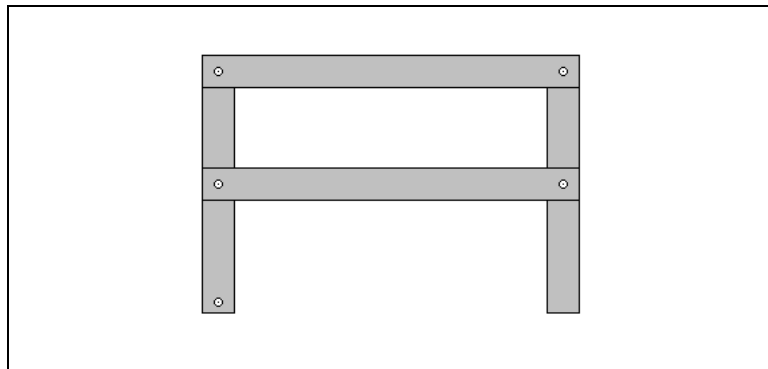
図 5-14
「すね」をドラッグする



リンクの例

図5-15はどの部分を移動しても自動的に他の部分もすべて移動するという機構の例です。

図 5-15
方形4 節リンク



どのピースを動かしてもリンクの形が変わります。たとえば上のバーをつかんでドラッグすると、図 5-16 や図 5-17 のように形が変わります。

図 5-16
上のバーを上側と右側にドラッグする

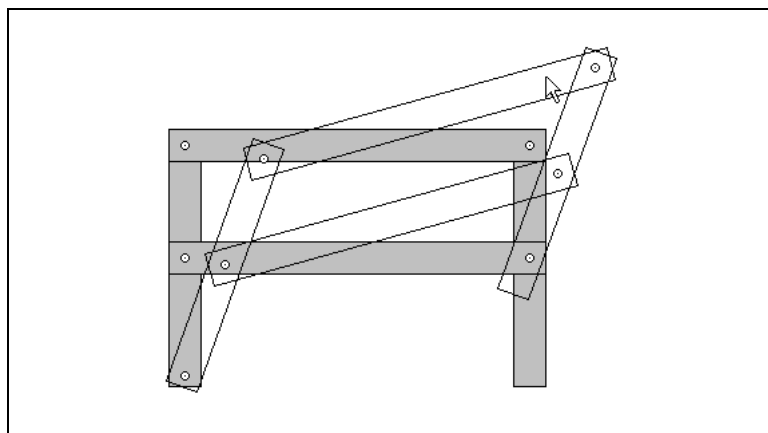
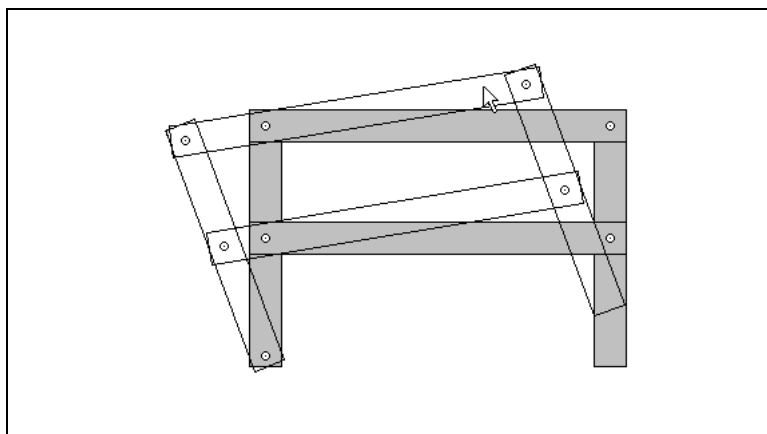


図 5-17

上のバーを上側と左側にドラッグする



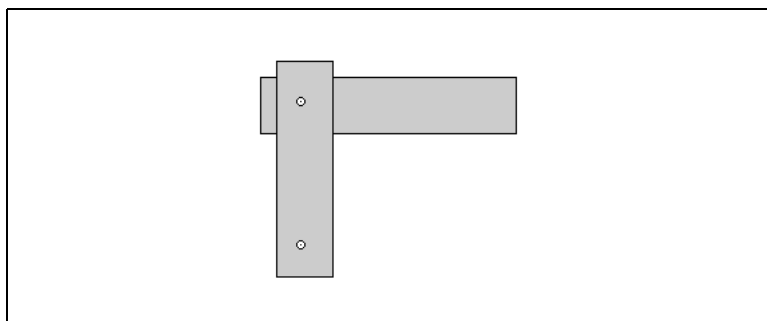
ボディの回転



回転ツールもスマートエディタを使って拘束による制約を解決します。図 5-18 には、2 つの長方形と 2 本のピンジョイントで構成された単純なリンクがあります。

図 5-18

2 つの長方形と 2 本のピンジョイントのリンク

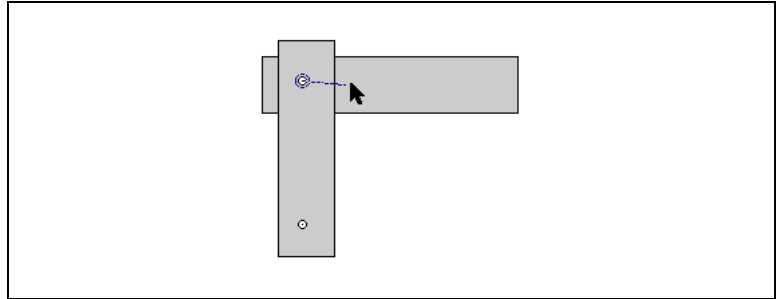


1. 回転ツールを選択します。

ポイントの位置とそこから一番近い「ピボットポイント」との間に点線が表示されます。ピボットポイントはそのポイントを中心にオブジェクトを回転できることを示します。ジョイントはピボットポイントとして使用することができます。各オブジェクトの重心もピボットポイントとして使用することができます。図 5-19 を参照してください。

図 5-19

ポインタと一番近いピボットポイントとの間に表示される点線

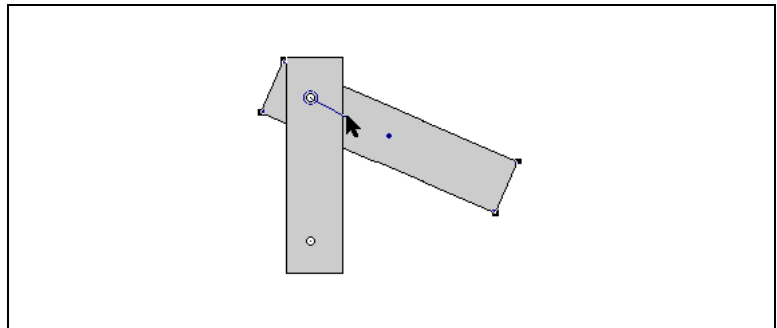


2. 横長の長方形を回転させます。図 5-20 のように、この長方形を縦長の長方形に接続しているジョイントを中心に回転します。

回転ツールは、選択したボディにピボットポイントで接続された「他のボディ」の位置は常に固定したままにします。ピボットポイントが背景に固定されている場合、背景を基準に回転が行われます。

図 5-20

横長の長方形を回転する

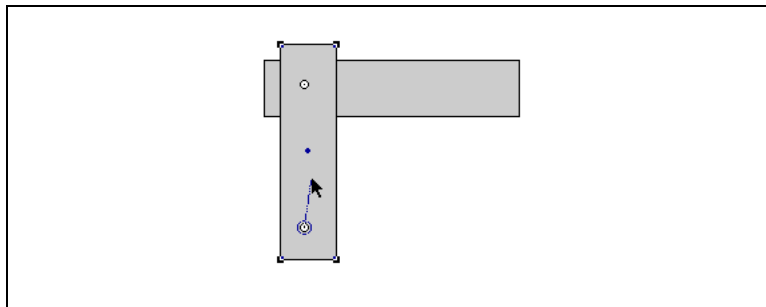


3. 縦長の長方形を回転させます。ポインタを一番下のピンジョイントに近づけてみます。

図 5-21 のように、一番下のピンジョイントとポインタとの間に点線が表示されます。

図 5-21

縦長の長方形を回転させる準備

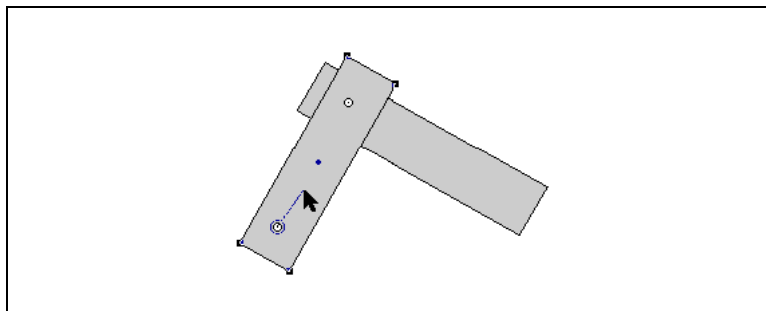


4. 縦長の長方形をドラッグします。

図 5-22 のようにアセンブリ全体が一番下のピンジョイントを中心に回転します。

図 5-22

縦長の長方形を回転する



スマートエディタはこのような回転を行うあいだ、すべての拘束を監視して、新しい構成が既存の拘束と整合しているかどうかをチェックします。

基準点の固定方法

一番近いピボットポイントを使用せずに、基準点を固定して回転することができます。ピボットポイントの近くに移動して、Control キーを押しながらマウスを動かすと、エディタは他のピボットポイントを探さずにユーザーが選択したピボットポイントを使用します (Control キーを押したときに一番近くにあったポイント)。操作方法については、6-25 ページの「オブジェクトの回転」を参照してください。

スマートエディタを使用するとき

以下のような場合、ユーザーコマンドと拘束の間の対立を解消するために、自動的にスマートエディタが使用されます。

- オブジェクトをドラッグしたり回転すると、スマートエディタはダイナミックにワークスペースを更新します。機構をドラッグしたり回転すると、マウスポインタの動きに合わせて機構の表示が移動します。
- 結合コマンドを使用すると、スマートエディタがどの拘束にも影響しないことを確認します。結合コマンドはワークスペース内でボディを移動するため、スマートエディタは拘束を満足させながらオブジェクトを移動します。
- プロパティウィンドウに新しい座標位置や形状寸法（長方形の幅やロッドの長さ）を入力した場合も、結合コマンドの場合と同じようにスマートエディタが新しい位置や形状が既存の拘束と整合するかどうかを確認します。

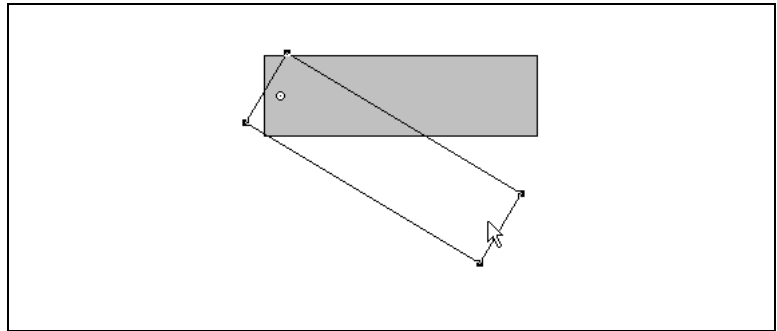
すべて選択ドラッグ

これらの規則に 1 つだけ大きな例外があります。すべて選択ドラッグです。

- 選択されたボディに接続された拘束もすべて選択した場合、ボディをドラッグするとスマートエディタは解除されます。たとえば長方形の左側のピンジョイントは選択されていないため、この長方形をドラッグすると図 5-23 のようにジョイントを中心に回転します。

図 5-23

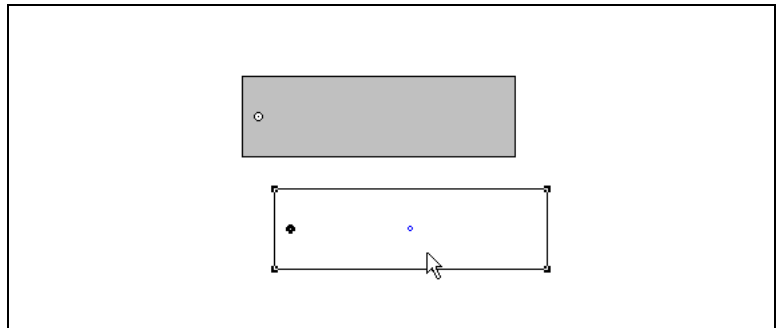
接続されたジョイントを選択せずに長方形をドラッグ



ピンジョイントを選択してもう一度ドラッグすると、今度は長方形は回転せずにドラッグされます。

図 5-24

接続されたジョイントを選択してから長方形をドラッグする



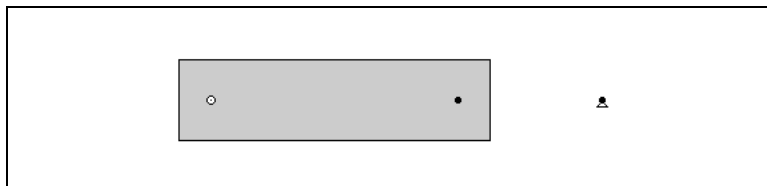
ロープでスマートエディタを使用

ロープオブジェクトはスマートエディタに非線形の式を導入します。たくさんのロープが組み込まれた機構をドラッグすると、スマートエディタはそれぞれのロープをピンと張った位置にロックすることがあります。ロープがたるまない場合、マウスボタンを放してから、ドラッグを続けてください。

スマートエディタが機能しない場合

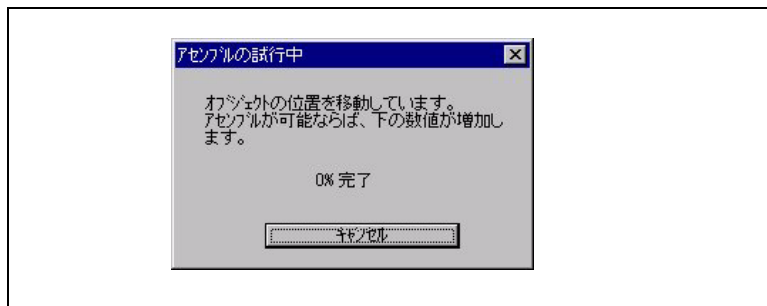
システムに付加されたすべての拘束を満足させられない場合があります。図 5-25 のような場合を考えてみましょう。長方形は左側のピンジョイントで背景に固定されており、他の 2 つのポイント要素がハイライトされています。このとき、左側のピンジョイントを破壊せずにこの 2 つのポイント要素を結合する方法はありません。

図 5-25
不可能な結合



これを結合しようとする、図 5-26 のような警告ウィンドウが表示されます。

図 5-26
「不可能な結合」警告ボックス



オブジェクトを拘束と非整合な位置にドラッグしようとする、エラーメッセージが表示されます。スマートエディタは、ポイントの位置とオブジェクト上でポイントを最初にクリックした位置との間の距離を最小限にするようにオブジェクトを移動させて、一番よい解決方法を見つけようとします。

スマートエディタを使っている試してみると、操作の要領がわかってくるでしょう。オブジェクトを移動しすぎると、オブジェクトはあるところまではマウスの動きについて移動しますが、ついていけなくなった時点で停止します。

スマートエディタの操作を覚えるには、実際に使って見るのが一番です。ワークスペースでアセンブリを組み立てて、動かしたり、結合や分離を使ったり、プロパティウィンドウで位置を固定したりしてみてください。Working Model 2D のチュートリアルでは、スマートエディタを使って次第に複雑な機構を作成する方法を例を使って説明してあります。

編集の精度のコントロール

Working Model 2D のスマートエディタは、精度ダイアログボックスの アセンブリ誤差条件を使って、オブジェクトを配置するときの精度を決定します。スマートエディタは、結合されたボディをドラッグしたり、結合したり、システムを数値入力で変更すると、いつでもアクティブにすることができます。

2 つのポイントを結合してピンジョイントを作成すると、2 つのポイント間の距離はアセンブリ誤差で指定した距離以下またはアセンブリの許容値以下になります。許容値を大きく設定すると、スマートエディタでの編集を速く行うことができ、特にオブジェクトをマウスで速くドラッグすることができます。許容値を小さく設定すると、さまざまなコンポーネントとの位置合わせをより正確に行うことができます。

最初に試しに操作してみるとときや、設計の最初の段階では、精度ダイアログのアセンブリ誤差やアニメーションステップの値の自動オプションを使用するとよいでしょう(「A.6 シミュレーション精度ダイアログとシミュレーションパラメータ」を参照)。設計の最終段階でより正確な位置合わせが必要になれば、アセンブリ誤差の値を小さく設定してください。自動値はモデル内のオブジェクトのサイズとオブジェクトの速度に基づいて計算されます。

第 6 章

ワークスペース

この章では次のことについて説明します。

- ビューオプションの設定
- ルーラーとグリッド線の使用
- ワールドパラメータの定義
- オブジェクトのプロパティとパラメータの定義
- ステータスバーでワークスペース内のオブジェクトとツールの情報をすばやく表示
- 測定単位の変更

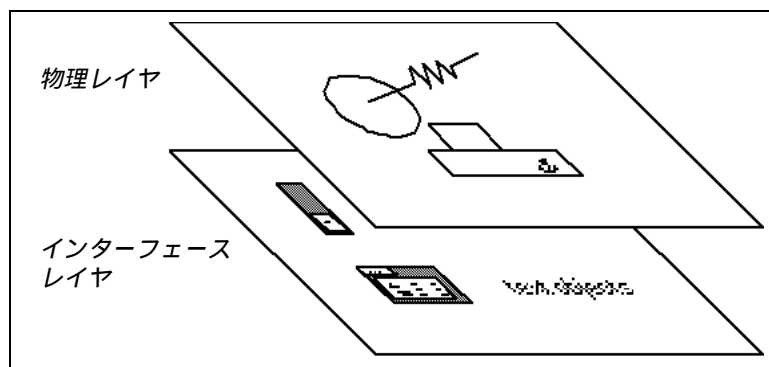
6.1 物理オブジェクトとインターフェースオブジェクト

シミュレーションのワールドは、背面レイヤと前面レイヤの 2 つのレイヤで構成されています。物理オブジェクトは前面レイヤに、インターフェースオブジェクトは背面レイヤに配置されます（図 6-1）。

物理オブジェクトにはボディ、ポイント、拘束があります。

インターフェースオブジェクトには、メーター、コントロール（スライダ、テキストボックス、ボタン）および物理オブジェクトに接続されていない絵があります。

図 6-1
インターフェースレイヤと物理
レイヤ



インターフェースオブジェクトは背面レイヤにあるため、その上に物理オブジェクトを配置して覆い隠すことができます。

物理レイヤで重なりあったボディの上に拘束を配置すると、一番上のボディに拘束が接続されます。

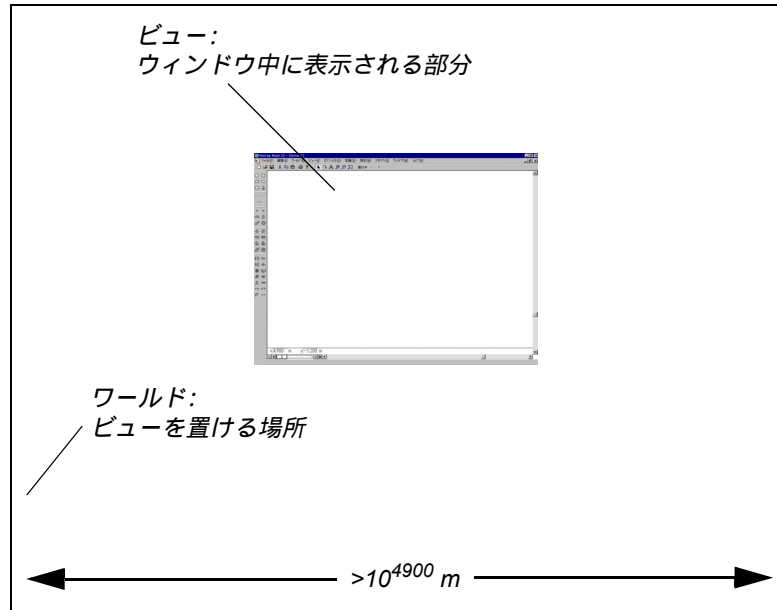
オブジェクトを一番上に配置するには、オブジェクトを選択して、オブジェクトメニューから前面に移動を選択してください。

6.2 ビューオプション

Working Model 2D には画面に一度に表示しきれない無限大のワークスペースがあります。ワークスペース内の領域をワールドと呼びます。画面に表示されるのはこのワールドの一部だけです。この部分をビューと呼びます。図 6-2 を参照してください。

図 6-2

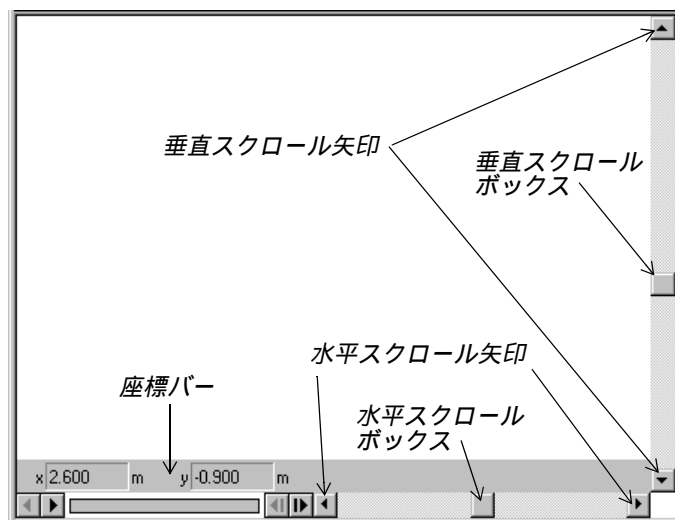
画面に表示される部分とワーク
スペース全体の比較



ワールド内でビューを移動

水平と垂直のスクロールバーを使って、ビューをワールド内のさまざまな部分に移動することができます。図 6-3 にウィンドウのコントロールが示してあります（スクロールボックスと矢印）。

図 6-3
ウィンドウのコントロール



4つのスクロール矢印の1つをクリックすると、好きな方向にビューを切り替えることができます。またスクロールボックスをドラッグすると、新しいビュー位置に移動することができます。

スクロールバーは自動的に調整されて、ワールド内で作成したオブジェクトをすべて表示します。スクロールバーを使ってオブジェクトが画面の外に出るまで画面を移動することができます。それ以上移動するには、まずズームツールを使ってズームアウトします。

ズーム

ズームツールの使用



ズームツールの1つを使ってワールド内のオブジェクトの倍率を拡大したり縮小することができます。

次のようにしてズームツールを使用します。

1. プラス(+)の表示がついたズームツールを選択すると、倍率を上げることができます(ズームイン)。マイナス(-)の表示がついたズームツールを選択すると、倍率を下げるすることができます(ズームアウト)。

マウスポインタが虫眼鏡の形に変わります。

2. ズームインまたはズームアウトする領域をクリックします。

ズームインを選択すると画面上のオブジェクトが大きくなり、ズームアウトを選択すると小さくなります。

倍率を変更すると、ズームツールをクリックした位置が中心となるように画面が調整されます（図 6-4 を参照）。

図 6-4
ズームする前

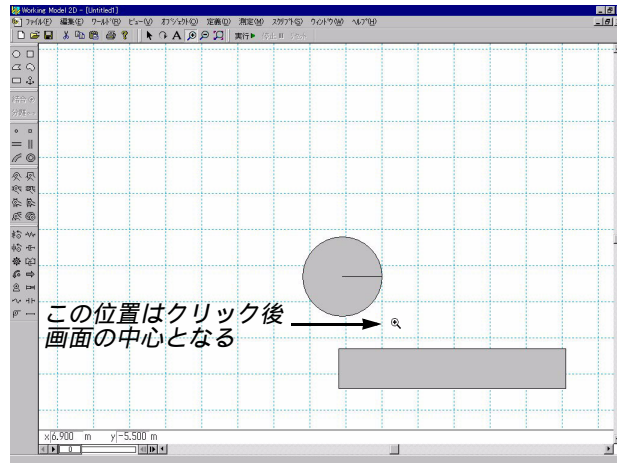
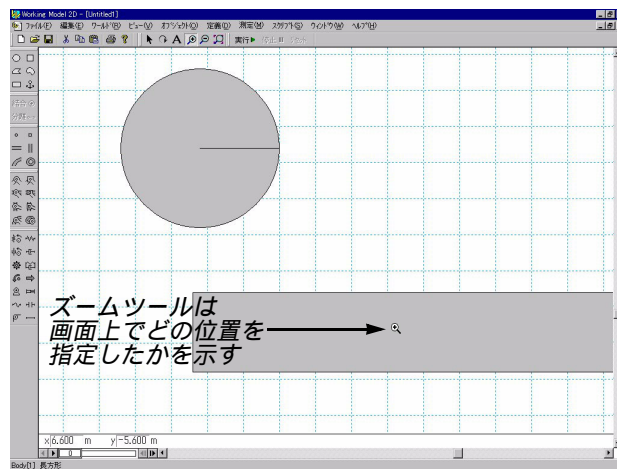


図 6-5
ズームした後



ズームインツール (+) を使用するたびに、倍率は 2 倍ずつ大きくなります。ズームアウトツール (-) を使用するたびに、倍率は 2 分の 1 ずつ小さくなります。

ビューのサイズダイアログの使用

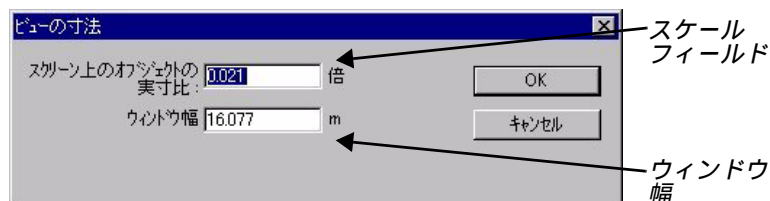
ビューのサイズダイアログのワークスペーススケールにはオブジェクトの実物の大きさに対するワークスペースのサイズが表示されます。スケール1はワークスペースのオブジェクトが実物と同じ大きさであることを意味します（ワークスペースの1メートルが実世界の1メートルに等しい）。スケールが1以下のときは、ワークスペース内のオブジェクトが実世界よりも小さいことを意味します。

次のようにしてビューのサイズやスケールを正確に指定することができます。

1. ビューメニューからビューのサイズを選択します。

次のようなダイアログボックスが表示されます（図 6-6）。

図 6-6
ビューのサイズダイアログ



2. スケールフィールドに値を入力して、ビューの正確なスケールを指定します。

OK をクリックすると、指定した値になるようにビューがズームされます。

3. ウィンドウ幅フィールドに値を入力して、ビューの正確なスケールを指定します。

OK をクリックすると、指定した値になるようにビューがズームされます。

4. OK をクリックします。

ワークスペースツールとコントロールの表示

ビューメニューのワークスペースコマンドを使用すると、次のワークスペースツールやコマンドを表示または非表示にすることができます。

- ツールバー
- スクロールバー

- 座標バー
- テープレイヤコントロール
- ルーラー
- ステータスバー

ワークスペース ... メニューアイテムから直接ダイアログボックスを表示して、一度の複数のオプションを設定することができます。

一度に複数のオプションを設定する場合は次のようにします。

1. ビューメニューからワークスペース ... を選択します。

ワークスペースダイアログが表示されます。

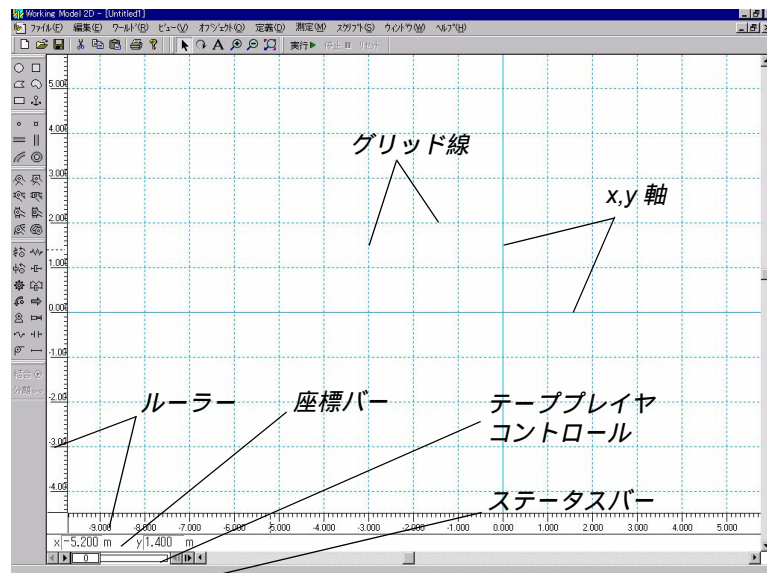
図 6-7
ワークスペースダイアログ



2. 選択したいオプションのチェックボックスをクリックします。
3. 閉じるをクリックします。

図 6-8

グリッド線、ルーラー、テープ
プレイヤーコントロール、座標
バーの表示



X 軸と Y 軸の表示

X 軸と Y 軸は実線で表示されています。X 軸と Y 軸の交点が原点 (0, 0) です。

X 軸と Y 軸を表示するには、ワークスペースサブメニューまたはダイアログから XY 軸を選択してください。X 軸と Y 軸が表示されると、このコマンドの横にチェックマークが表示されます。X 軸と Y 軸を非表示にするには、もう一度 XY 軸を選択してください。

ルーラーの表示

Working Model 2D には、オブジェクトを正確に配置したり測定するためのルーラーとグリッドがあります。図 6-8 を参照してください。

ルーラーを表示するには、ワークスペースサブメニューまたはダイアログからルーラーを選択します。ルーラーが表示されると、メニュー内のこのコマンドの横にチェックマークが表示されます。ルーラーを非表示にするにはもう一度ルーラーを選択してください。ルーラーの横のチェックマークが消えます。

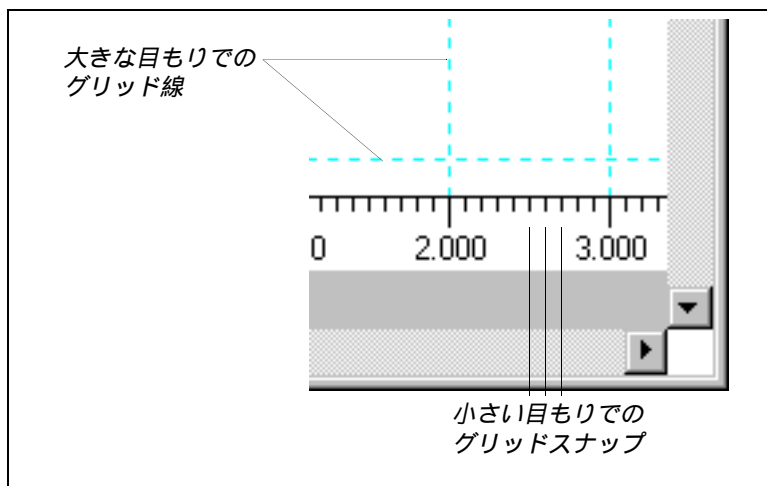
デフォルトでは、ルーラーは有効数字 3 桁の精度でメートル単位で測定します。ルーラーは他の距離系や有効数字桁数に変えることができます。単位や数値精度の変更については、この章の 6-13 ページにある「数値および単位」を参照してください。

グリッド線の表示

グリッド線を表示すると、オブジェクトを正確に配置したり測定することができます。ズームアウトやズームインすると、グリッド線の間隔は自動的に調整されます。

グリッド線を表示するには、ワークスペースサブメニューまたはダイアログからグリッドを選択します。グリッドが表示されるとグリッドコマンドの横にチェックマークが表示されます。グリッドを非表示にするには、もう一度グリッドを選択します。コマンドの横のチェックマークが消えます。

図 6-9
グリッド線とグリッドスナップ



オブジェクトをグリッドに揃える

グリッドにスナップを使うと、オブジェクトをグリッドに揃えることができます。グリッドにスナップはルーラーの小さい方のマークによって行われます (図 6-9 に表示)。

グリッドにスナップをオンにすると (グリッドの表示・非表示に関わりなく) ツールがグリッドポイントに移動します。

1. ビューメニューからグリッドにスナップを選択する。

「グリッドにスナップ」という名前のサブメニューの横にチェックマークが表示されているとき、グリッド線にスナップはオンになっています。

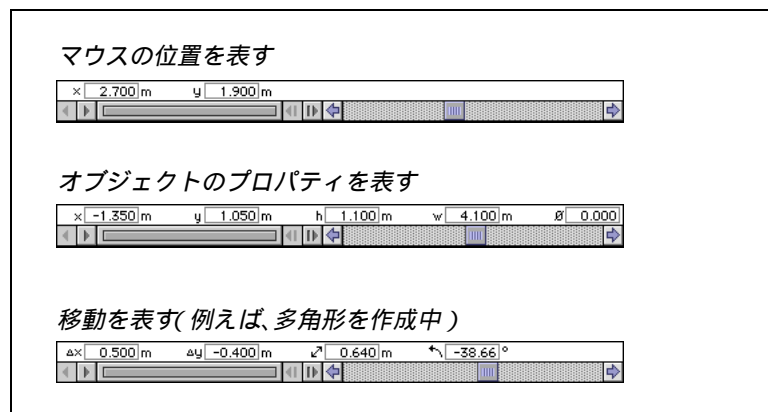
オブジェクトをボディに揃える

拘束をボディの頂点、中心、中点に接続したいとき、オブジェクトにスナップコマンドを使うと便利です。詳しくは 4-11 ページの「拘束の正確な配置」を参照してください。

座標バーの表示

座標バー（図 6-10）はモデルをすばやく作成するのを支援する便利なツールです。このバーにはマウスを動かすとマウスの位置が表示され、オブジェクトを選択するとそのオブジェクトのパラメータが表示され、オブジェクトをドラッグすると移動量が表示されます。さらにプロパティウィンドウや形状ウィンドウを開かずに、座標バーを使ってオブジェクトのパラメータを編集することができます。

図 6-10
座標バーとその機能



マウスの位置を表示

ドキュメントの一番下に表示される座標情報にはマウスの位置が表示されます。マウスの位置は、グリッドにスナップがオンのときは一番近いルーラーの最小分割によって表示され、グリッドにスナップがオフのときは一番近いピクセルで表示されます。

オブジェクトのパラメータの編集

ボディや拘束が選択されているとき、座標バーには最もよく編集されるパラメータが表示されます。これらの値は座標バーで直接編集することができます。変更した結果は即座に反映されます（座標バーの使用については「3.2 ボディのプロパティ」や「4.3 拘束の一般プロパティ」を参照）。

マウスや Tab キーを使ってフィールドを選択することができます。Tab キーを押すとフィールドを移動することができます。Shift キーを押しながら Tab キーを押すと、前のフィールドに戻ることができます。

オブジェクトを選択した後すぐにキーボードで入力を開始すると、Working Model 2D は自動的に座標バーの一番左のフィールドを選択して入力します。

座標値が長すぎて編集ボックスに入りきらない場合、キーボードの矢印キーを使ってテキストを横にスクロールすることができます。

移動量の表示

オブジェクトをドラッグすると、座標情報にはオブジェクトの最初の位置からの移動量（オブジェクトをどれだけ移動したかを示す）が表示されます。移動量は X 値と Y 値、および合計移動量（貸しポイントからの距離）と移動角度で表示されます。マウスボタンを放すと、再びマウスポインタの位置の X 軸と Y 軸の全体座標が表示されます。

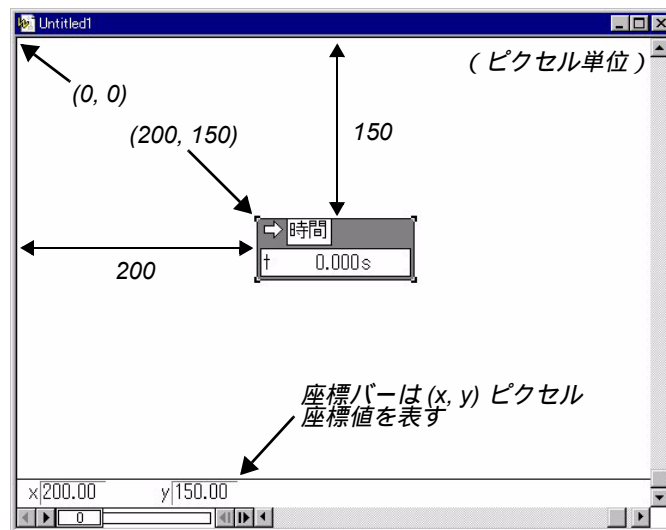
メーターとコントロールの座標

座標バーにはメーターとコントロールのピクセル座標値が表示されます。

この座標系はシミュレーションウィンドウの左上が $(x, y) = (0, 0)$ になります。X 座標はウィンドウの右方向に、Y 座標は下方向に向かって大きくなります。座標バーにはメーターやコントロールの位置が左上の原点を基準にして表示されます（図 6-11）。

注：ピクセル座標が使用されるのは、メーターとコントロールだけです。

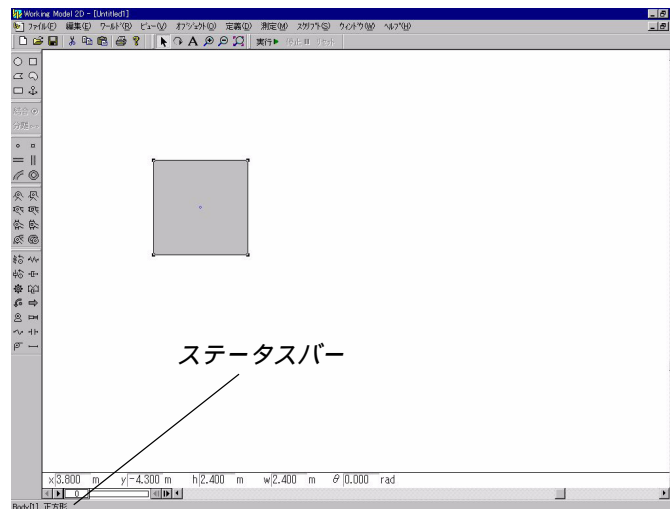
図 6-11
ピクセル座標系



ステータスバー

ステータスバーには現在ポインタの下にあるツールやオブジェクトの情報が表示されます。ウィンドウの一番下にあります。たとえばポインタが正方形ボディの上にあるとき、ステータスバーにはボディの番号とタイプが表示されます (図 6-12)。

図 6-12
正方形ボディの情報を表示した
ステータスバー



ポインタがツールバーの上にあるとき、ステータスバーにはその情報が表示されます。ポインタの下に小さい「ツールのヒント」ボックスが現れて、ツールについての簡単な説明を表示します。

6.3 数値および単位

新しいシミュレーションドキュメントを作成するとき、デフォルトでは SI /メートル法が使用されます。以下の単位がデフォルトの値です。

図 6-13
デフォルトの単位

量	初期測定単位
時間	秒
長さ	メートル
回転量	度
質量	キログラム
力	ニュートン
エネルギー	ジュール
仕事率	ワット
電荷	クーロン

Working Model 2D は計算を開始する前にすべての数値を内部でメートル系に変換します。しかし結果は他の単位系で表示させることもできます。シミュレーションに最も合った単位系を自由に選択して、その単位系で数値を入力したりモニターすることができます。

次のようにして数値の単位系を指定します。

1. ビューメニューから数値および単位を選択します。

数値および単位ダイアログが表示される (図 6-14)

図 6-14
数値および単位ダイアログ



2. 単位系メニューから一般単位系を選択します。

単位系メニューには、国際単位系 (SI)、フィートポンド法、天体単位、原子単位、および CGS 単位があります。

3. 数値の表示方法を、固定小数点、浮動小数点、自動の中から選択します。

固定小数点法は、小数点の右側に表示される桁数を変えずにすべての数値を表示します。

浮動小数点法は、すべての数値を $1.23e4$ 形式の指数形式で表示します。

自動を選択すると、Working Model 2D が固定小数点法で表示するか浮動小数点法で表示するかを決定します。数値はすばやく見るのに便利な方法で表示されます。

4. 特定の数値の単位系を固定するには、詳細設定ボタンをクリックしてください。

これで特定の数値の結果を表示するための単位系を設定することができます。図 6-15 を参照してください。

図 6-15
詳細設定を選択した数値および
単位ダイアログ



5. OK をクリックして、変更を保存します。

選択したオプション（固定、浮動、自動）によってどのように数値が表示されるかを次の表に示しました。

図 6-16
数値フォーマット

数字	固定小数点（1 桁）	浮動小数点（1 桁）	自動（1 桁）
0.000123	0.0	1.2e-4	1.2e-4
333.3333	333.3	3.3e2	333.3

式と単位

単位を変更すると、そのシステムのプロパティを定義するすべての定数や式に影響します。単位を変更したとき、どのように式が変換されるかについては第 10 章「式の使用」を参照してください。

6.4 ワールドパラメータの定義

新しいシミュレーションドキュメントを作成したとき、ワールドの初期設定は次のようになっています。

図 6-17
デフォルトの力

プロパティ	設定
重力	地球 (9.81 m/s ²)
空気抵抗	なし
静電場	なし
力場	なし

重力

重力のデフォルト設定は垂直重力です。

次のようにしてワールドの重力を変更することができます。

1. ワールドメニューから重力を選択します。

図 6-18 のような重力ダイアログが表示されます。

図 6-18
重力ダイアログ



2. 設定したい重力のタイプをクリックします。

なしを選択した場合、重力がアクティブでないことを意味します。垂直方向は地球の表面近くのように垂直場を作成します。惑星間引力は1組のオブジェクト間に重力相互作用を発生させます。

3. 数値を入力して重力の大きさを設定します。

垂直方向

垂直方向を設定すると、 g の値を変更することになります。この g の値に質量を乗じた力 $F = mg$ がオブジェクトの重心に作用します。

惑星間引力

惑星間引力はすべてのボディ間に存在する真の重力引力をシミュレートします。惑星間引力を調整すると、万有引力定数の「 G 」を変更することになります。

重力が人や本などのオブジェクトの間に作用する力は、オブジェクトが大きくないため非常にわずかです。このため惑星間引力の影響を見るには、シミュレーションの中に非常に大きなオブジェクトを 1 つか 2 つ入れなければなりません。大まかな目安として、太陽の質量は約 1.0×10^{30} kg です。

空気抵抗

空気抵抗はボディの運動方向と反対に作用する力としてモデルされます。この力はオブジェクトの進行方向のオブジェクトの断面積に比例します。Working Model 2D では、空気抵抗に各種形状のドラッグ係数を勘案せずに、オブジェクトの進行方向の断面積を使って計算します。このため必ずしも現実的ではありませんが、直径 1m の円は断面が 1 メートルの正方形と同じ空気抵抗を持つことになります。

次のようにして空気抵抗をアクティブにします。

1. ワールドメニューから空気抵抗を選択します。

図 6-19 のような空気抵抗ダイアログが表示されます。

図 6-19
空気抵抗ダイアログ



2. 空気抵抗のモデルを選択して標準が高いをクリックします。

標準の空気抵抗はオブジェクトの速度に比例する力を作用させます。高い空気抵抗はオブジェクトの速度の二乗に比例する空気抵抗を作用させます。通常、低速度のオブジェクトには標準の空気抵抗を使用します。

3. 数値を入力して空気抵抗の大きさを調整します。

標準ワークスペースサイズでは、デフォルトを選択するとよい結果が得られます。

静電場

Working Model 2D のボディにはそれぞれ静電場があります。デフォルトでは、それぞれのオブジェクトが 1.0×10^{-4} クーロンの正電荷を持つことになっています。この電荷は実際には非常に大きい電荷ですが、この電荷だとデフォルトの物理ワークスペースでオブジェクト間に面白い結果を生じさせることができます。

静電場をオンにするとオブジェクト間の静電力をモデルすることができます。静電力の影響を表示させるには、各ボディの静電場の値をゼロ以外に設定しなければなりません。

静電場はボディのすべての電荷が重心に集まっているかのように作用します。電荷はボディの表面には分布していません。

次のようにしてワールドの静電場を変更することができます。

1. ワールドメニューから静電場 ... を選択します。

図 6-20 のような静電場ダイアログが表示されます。

図 6-20
静電場ダイアログ



2. オンかオフをクリックして、静電場をオンまたはオフにします。
3. 数値を入力して $1/4 \ e_0$ に対する新しい値を設定します。
4. OK をクリックして変更を保存します。

力場

力場コマンドを使用して、1 個のオブジェクトや 1 組のオブジェクトに作用する力を定義することができます。たとえばすべてのオブジェクトに時間によってランダムに変化する水平の力を作用させて、風の力をモデルすることができます。距離の逆数に比例するような奇妙な挙動を示す重力システムをモデルすることもできます。カスタムの力場は Working Model 2D の式言語を使って作成します。式言語については、第 10 章「式の使用」と付録 B「式言語リファレンス」を参照してください。これらの式はコンピュータのスプレッドシートで使用する式に似ています。大きな違いは、スプレッドシートの式はスプレッドシート内の他のセルを参照するのにに対し、Working Model 2D の式はシミュレーション内のさまざまなオブジェクトの物理パラメータを参照するところです。

力場ダイアログボックスのサンプル力メニューをクリックすると、自分で設定することができるさまざまな力場の例とそれを定義する最適な式を表示することができます。

カスタムの全体力は個々のオブジェクトや 1 組のオブジェクトに作用させることができます。個々のオブジェクトに作用する力場のよい例は、地球の表面近くの重力です。

この力は物理の教科書では普通 $F = mg$ と定義されています。このとき、 $g = -9.81\text{m/sec}^2$ です。Working Model 2D もこの力を同じ式を使ってモデルします。この式を表示させるには、力場ダイアログボックスのサンプルメニューから「直線地球重力」を選択してください。次のような式が表示されます。

$$F_y = - \text{self.mass} * 9.81$$

この式はシミュレーション内の大きなオブジェクトすべてに作用します。「self.mass」という項は、各ボディに作用する力の大きさを計算するときは、各ボディの質量を使用しなければならないことを意味します。「Self」というのは「各ボディに順番に」ということを意味します。つまり全体力が各ボディに順番に作用するということです。

ペアに働く全体力は個々のボディではなく各ペアに作用します。つまりシミュレーションにおいてより多くの力が発生することを意味します。10 個のボディがあるシミュレーションには 50 通りのボディの組み合わせがあります。ボディのペアに作用する力のよい例は、惑星間の引力です。

次のようにしてワールドの力場を変更することができます。

1. ワールドメニューから力場を選択します。

図 6-21 のような力場ダイアログが表示されます。

図 6-21
力場ダイアログ



2. サンプルメニューをクリックして、全体力のサンプルをいくつか表示させてみます。

次の全体力のサンプル式を表示させることができます。

- 垂直重力
- 惑星間引力
- 磁界
- 静電場
- 風
- 空気抵抗

サンプルボタンを使うと、*Working Model 2D* で使うことができる式言語を一目で見ることができます。

3. 上の3つのボタンの1つをクリックして、カスタムの全体力のタイプを選択します。
4. 力の式を入力します。
5. OKをクリックして、変更を保存します。

力場ダイアログに入力した式は、すべてのオブジェクトに対して力およびトルクとして作用します。

式を使って力をカスタマイズする手順の詳細については、第10章「式の使用」を参照してください。

6.5 オブジェクトの修正

複数のオブジェクトの選択

複数のオブジェクトを選択すると、オブジェクトをグループで移動したり、多くのオブジェクトのプロパティを一度に変えることができ便利です。

複数のオブジェクトを選択するには 3 つの方法があります。Shift 選択、選択四角形、すべて選択です。

Shift 選択

通常、1 つのオブジェクトで選択ツールをクリックすると、他の選択はすべてキャンセルされます。

オブジェクトをクリックするときに Shift キーを押したままにすると、前に選択したオブジェクトは選択されたままで、新しいオブジェクトも選択されます。Shift キーを押したまま選択されたオブジェクトをクリックすると、そのオブジェクトの選択は解除されます。

選択四角形（ボックス選択）

隣り合ったオブジェクトは選択四角形で囲い込んで選択することができます。

1. 矢印ツールをクリックします。
2. ポインタを選択四角形の最初の角に置きます。その点から作成する選択四角形で選択したいすべてのオブジェクトを囲い込みます。
3. ポインタを対角線上にドラッグして、選択四角形を大きくします。

Working Model 2D は選択領域を示す点線の四角形を表示します。マウスボタンを放すと、この四角形に囲まれたオブジェクトはすべて選択されます。その他のオブジェクトはすべて選択が解除されます。

選択四角形をドラッグするときに Shift キーを押したままにすると、四角形で囲まれたオブジェクトの選択状態が切り替わります。前に選択されていなかったオブジェクトは選択され、前に選択されていたオブジェクトは選択が解除されます。

すべて選択

1 つのコマンドでシミュレーション内のすべてのオブジェクト（画面内に表示されていないものも）を選択することができます。編集メニューからすべて選択を選択してください。

すべてのオブジェクトが選択されます。すべてのオブジェクトの選択を解除するには、ワークスペース上のオブジェクトがない部分をクリックしてください。

非表示のオブジェクトをすべて表示

次のようにして非表示のオブジェクトをすべて表示することができます。

1. 編集メニューからすべて選択を選択します。

非表示のオブジェクトを含むすべてのオブジェクトが選択されます。

2. ウィンドウメニューから表示設定を選択します。

表示設定ウィンドウが表示されます。

3. クリックして、表示の横にチェックマークを表示します。

すべてのオブジェクトに影響が及ぼされ、その結果すべてのオブジェクトが表示されます。

切り取り、コピー、貼り付け、消去

選択されたオブジェクトは削除したり、一次保存したり、1つのシミュレーションから取り出して別のシミュレーションに入れたりすることができます。

オブジェクトをコピーすると、そのすべての属性（たとえば初期速度など）と表示特性（たとえばベクトルなど）が保存されます。

クリップボード

クリップボードは選択したものを一時的に保存しておくことができる領域です。

クリップボードビューアを実行すると、クリップボードの内容を表示することができます。クリップボードビューアはプログラムマネージャのメイングループにあります。クリップボードについて詳しくは、Windows のドキュメンテーションを参照してください。

切り取り	<p>切り取りは現在選択されたオブジェクトをシミュレーションから取りのぞき、クリップボードに配置します。</p> <ol style="list-style-type: none">1. 切り取りたい1つまたはそれ以上のオブジェクトを選択します。2. 編集メニューから切り取りを選択します。
コピー	<p>コピーは現在選択されたオブジェクトをドキュメントから削除せずに、複製をクリップボードに配置します。</p> <ol style="list-style-type: none">1. コピーしたい1つまたはそれ以上のオブジェクトを選択します。2. 編集メニューからコピーを選択します。
貼り付け	<p>貼り付けはクリップボードのコピーをドキュメントに配置します。</p> <ol style="list-style-type: none">1. 切り取りまたはコピーを使って選択したオブジェクトをクリップボードに保存します。2. オブジェクトを配置したいドキュメントのウィンドウをアクティブにします。 <p><i>選択したドキュメントは同じドキュメントにも別のドキュメントにも貼り付けることができます。</i></p> <ol style="list-style-type: none">3. 編集メニューから貼り付けを選択します。 <p>式を含むパラメータを持ったオブジェクトを貼り付ける場合、番号変更が必要なオブジェクトがあれば、Working Model 2D は式を更新します。貼り付けるオブジェクトの中にある番号と同じ番号を持つオブジェクトがドキュメントにすでにある場合、オブジェクトの番号を変更しなければなりません。</p>
消去 / 削除	<p>消去は現在選択されたオブジェクトをクリップボードに保存せずにドキュメントから取りのぞきます。</p> <ol style="list-style-type: none">1. 取りのぞく1つまたはそれ以上のオブジェクトを選択します。2. 編集メニューから消去を選択するか、Backspace キーまたは Delete キーを押します。 <p>消去コマンドはクリップボードには影響を与えません。</p>

最後のアクションを元に戻す

Working Model 2D のほとんどの操作は元に戻すことができます（たとえば画面から 1 つまたはそれ以上のオブジェクトをうっかり削除してしまったような場合）。

1. 編集メニューから元に戻すを選択します。

通常、メニューアイテムには元に戻すアクション（「切り取りを元に戻す」のように）が表示されています。

オブジェクトの移動

オブジェクトはすべて移動することができます。

次のようにしてオブジェクトを移動します。

1. 1 つまたはそれ以上のオブジェクトを選択します。

複数のオブジェクトを選択するには、6-21 ページの「複数のオブジェクトの選択」を参照してください。

2. 選択されたオブジェクトの 1 つにポインタを合わせます。

オブジェクトが拘束されている場合、端点にはポインタを合わせないでください。端点にポインタを合わせると、オブジェクトのサイズが変わってしまいます。オブジェクトが入力コントロールの場合、オブジェクトをドラッグする前にポインタがドラッグカーソルに変わったことを確認してください。

3. 選択された 1 つまたはそれ以上のオブジェクトを目的の位置にドラッグします。

選択されたオブジェクトはすべて移動し、ドラッグした後も選択されたままになっています。

編集メニューからすべて選択を選択すると、シミュレーション内のすべてのオブジェクトを選択することができます。

プロパティウィンドウの水平および垂直位置を変更すると、ボディやポイントをより正確に移動することができます。

シミュレーション内でオブジェクトを接続している拘束（ジョイント、ピン、スロット）の場合、1 つのオブジェクトを移動すると別のオブジェクトも移動したり、特性（ばねの長さなど）が変わる場合があります。接続されてい

る拘束とは無関係にオブジェクトを移動したい場合、それぞれの拘束に分離コマンドを適用します。詳しくは第5章「スマートエディタ」を参照してください。

オブジェクトの回転



回転ツールを使用すると、オブジェクトを背景に固定するポイントは動かさずに、選択されたオブジェクトを回転することができます。回転の中心として選択できるのは、ピンジョイントや重心など、ワークスペース内のすべてのポイントです。

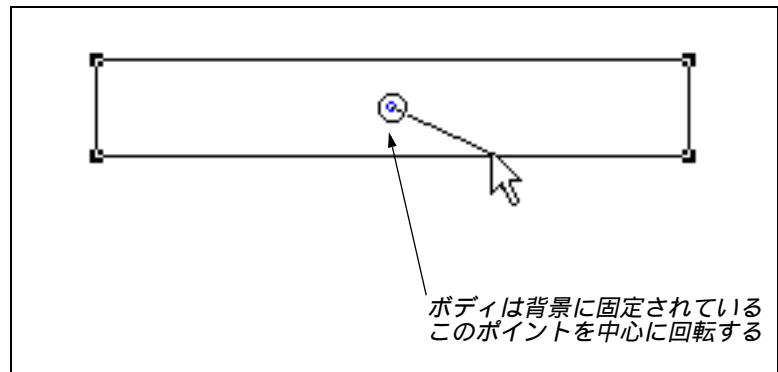
回転ツールは回転したいオブジェクトを選択するのと、実際に回転させる操作の両方に使用します。回転したいオブジェクトを選択すると、ポインタとワークスペース上でポインタに一番近いポイントとの間にラインが表示されます。このポイントが回転時に背景に固定されるポイントです。

次のようにしてオブジェクトを回転します。

1. 回転ツールを選択します。
2. 回転したいオブジェクトをクリックします。

オブジェクトが選択されます。ポインタから選択されたオブジェクトの中心にラインが表示されます。オブジェクトはこのポイントを中心に回転します。

図 6-22
オブジェクトを回転する



3. オブジェクトをドラッグして回転させます。

選択したボディのプロパティウィンドウで回転量を変更しても、ボディを回転することができます。

オブジェクトを移動する場合と同じく、拘束で他のオブジェクトに接続されているオブジェクトを回転すると、そのオブジェクトも一緒に回転します。この機能の使用方法について詳しくは、第5章「スマートエディタ」を参照してください。

複数のオブジェクトの回転

回転ツールを使うと複数のオブジェクトを一度に回転させることができます。

次のようにして複数のオブジェクトを回転します。

1. 回転したいオブジェクトを選択します。

回転ツールか矢印ツールでオブジェクトをクリックしてください。*Shift* キーを押したまま続けて選択します。

2. 回転ツールを選択します。

3. オブジェクトの1つまたはオブジェクトの間のスペースをドラッグします。

選択されたオブジェクトは点線で表示されたポイントを中心に回転します。

回転するための基準点を固定

ポイントに一番近いポイント以外のポイントを中心に選択したオブジェクトを回転したい場合は、*Control* キーを使って行います。

1. 回転させたいオブジェクトを選択します。

複数のオブジェクトを回転させたい場合は、*Shift* 選択またはボックス選択を使用します。

2. 回転ツールを選択します。

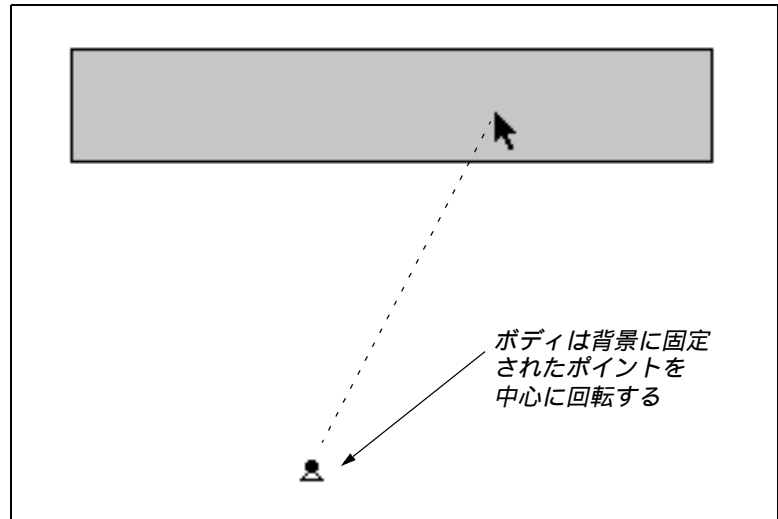
3. オブジェクトの回転中心となるポイントの上にポイントを移動します。

そのポイントの上に小さな円が表示されます。

4. ポイントの回りに円が表示された状態で *Control* キーを押します。マウスを動かすと、そのポイントとマウスポイントの間に破線が表示されず。

オプションキーまたは *Control* キーを押している間は、ラインはそのポイントに接続されたままとなり、他の近くのポイントには接続されません。下の図 6-23 では、ユーザーがポイントの上にポインタを動かしてから、*Control* キーを押したままで、回転させたいオブジェクトの上でポインタを動かしています。

図 6-23
ポイント要素の回りを回転させる



5. *Control* キーを押したままで、回転させたいオブジェクトの 1 つにマウスポインタを移動させます。
6. マウスボタンをクリックして押したまま、回転するようにオブジェクトを移動します。

選択したポイントは固定されたままで、選択したオブジェクトが回線します。

回転するボディの動きはそのボディに接続された拘束によって決まります。詳しくは、第 5 章「スマートエディタ」を参照してください。

オブジェクトを前面または背面に移動

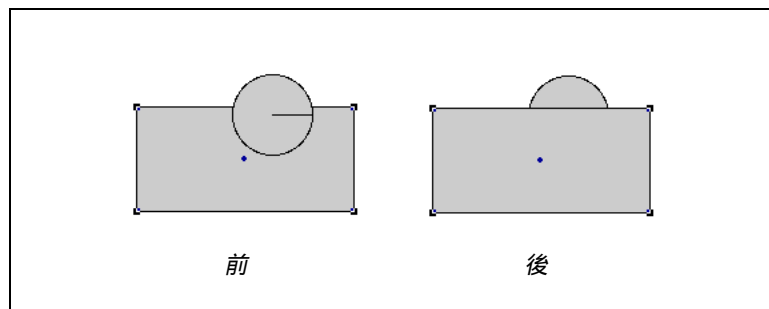
物理レイヤ上のオブジェクトはいずれも物理レイヤ上の他のオブジェクトの前面または背面に移動することができます。

次のようにして 1 つのオブジェクトを別のオブジェクトの前面に移動します。

1. オブジェクトを選択します。
2. オブジェクトメニューから前面に移動を選択して、選択したオブジェクトをそのレイヤの他のオブジェクトの前面に移動します。

図 6-24 に前面に移動を実行する前とした後の選択された長方形の状態を示しました。

図 6-24
長方形を円の前面に移動する



3. オブジェクトメニューから背面に移動を選択して、選択したオブジェクトをそのレイヤの他のすべてのオブジェクトの背面に移動します。

6.6 ウィンドウを使ってオブジェクトのプロパティを変更

プロパティウィンドウ

オブジェクトのプロパティやパラメータを変更したい場合は、まずオブジェクトを選択してからウィンドウメニューのプロパティを選択します。

図 6-25
長方形のプロパティウィンドウ



するとオブジェクトのプロパティを表示したプロパティウィンドウが表示されます(図 6-25)。このウィンドウで変更を行うことができます。プロパティウィンドウは「固定されていない」ウィンドウなので、画面上のどこにでも移動することができます。ウィンドウはシミュレーションの実行中も前面に表示されます。

ユーティリティウィンドウを移動するには、ポインタをタイトルバーの部分に合わせて別の場所にドラッグしてください。

プロパティウィンドウの右上にあるズームボックスをクリックするか、ウィンドウの右下をドラッグするとウィンドウを大きくすることができます。長い式を入力するときに便利です。

ユーティリティウィンドウを使うと多くのオブジェクトのパラメータを一度に変更することができます。同じタイプの複数のオブジェクトを同時に変更することができます。変更したいオブジェクトを選択して、ユーティリティウィンドウのフィールドに変更する値を入力してください。すべてのオブジェクトが同時に変更されます。

図 6-26
表示設定ウィンドウ



表示設定ウィンドウ

表示設定ウィンドウの設定を変更すると、塗りつぶしの色やパターンなどオブジェクトの表示を変更することができます（図 6-26）。

1つまたはそれ以上のオブジェクトの表示設定ウィンドウを表示するには、オブジェクトを選択して、ウィンドウメニューから表示設定ウィンドウを選択します。

すべてのユーティリティウィンドウに現在の設定のデータが表示されます。このウィンドウでデータを変更すると、現在選択された 1 つまたはそれ以上のオブジェクトのデータが変更されます。

形状ウィンドウ

形状ウィンドウ（図 6-27）には、大半がボディに関する情報が表示されます。形状ウィンドウを使ってボディの寸法を修正することができます。

多角形や曲線スロットに対しては、形状ウィンドウに頂点やコントロールポイントの編集のための便利なテーブルが表示されます。

図 6-27
多角形の形状ウィンドウ



第 7 章

シミュレーションインターフェース

この章では次のことについて説明します。

- 画像をオブジェクトに配置
- フォントサイズ、スタイル、色の変更
- 入力コントロールの作成
- メニューボタンの作成
- 解析のためのデータを表示

7.1 メーター

メーターを使うとシミュレーションの正確な数値データやグラフィックデータを求めることができます。Working Model 2D ではシミュレーションのほとんどの物理的プロパティを測定できるだけでなく、Working Model 2D の便利な式言語を使ってメーターの測定、表示、評価用の算術式や数学式をカスタマイズすることができます。

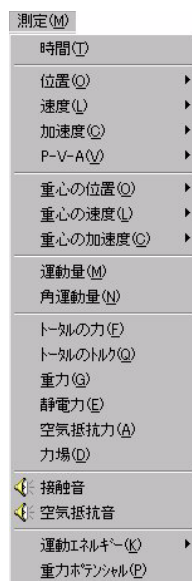
メーターが測定するもの

オブジェクトのセットを選択すると、Working Model 2D は自動的に測定メニューに測定可能な数値のメニューを表示します。このため、あるオブジェクトでどのプロパティを測定できるかを調べるには、測定プルダウンメニューを表示します。このメニューには特定のオブジェクトで測定できる数値が表示されます。図 7-1 にボディが選択されたときの例が示してあります。

測定メニューに表示されるメーターは既にあるメーターだけです。メーターはより複雑な数値や測定メニューにない数値も測定することができます。測定したい数値を単純な式で記述するだけで、どのメーターも簡単にカスタマイズすることができます。たとえば、2 つのオブジェクトのエネルギーを測定するには、メーターのデフォルトの式を書き換えて、希望する数値を測定する式に変更します。詳しくは「10.5 メーターのカスタマイズ」を参照してください。

図 7-1

1つのボディが選択されている
ときの測定メニュー



メーターを使うと次のような数値を測定することができます。

- ボディ
位置、速度、および加速度（参照ポイントまたは重心の）、線形運動量、角運動量、トータルの力、トータルのトルク、重力、静電力、空気抵抗、運動エネルギー（平行運動および/または回転運動）、重力ポテンシャル
- 線形拘束
張力、長さ、速度、加速度、仕事率
- 回転拘束
伝達トルク、回転量、角速度、角加速度、反力
- 力およびトルク
力、トルク（それぞれの）
- ジョイント
反力、トルク（固定ジョイントやキースロットジョイントの場合のみゼロでない）

またボディを2つ選択して、接触力、摩擦力、および静電ポテンシャルなどの相互作用に関するプロパティを測定することもできます（7-3 ページの「2つのオブジェクト間の相互作用の測定」を参照）。

さらに Working Model 2D は、メーターオブジェクトを介してデータを交換し、他のアプリケーションとリアルタイムで通信することが可能です。この機能について詳しくは「9.9 外部アプリケーションとリアルタイムでデータ交換」を参照してください。

2つのオブジェクト間の相互作用の測定

測定メニューの選択オプションには同時に2つのボディを選択しなければならないものもあります。これは論理的に2つのボディに適用されるメーターを選択した場合です。オブジェクトを2つ選択してから、測定メニューを選択すると、その2つのボディで測定可能な測定のセットが表示されます。

特に衝突力と摩擦力は特定のボディのペアに適用されます。衝突力や摩擦力メーターを追加するには、ボディを2つ選択しなければなりません。2番目に選択されたボディが力の作用を受ける側のボディになります。

接触力は衝突衝撃力と接触力の合計を測定します（接触力は2つのボディが接触しているときに、相互に作用する力です）。

拘束やポイントに対してもメーターを作成することができます。測定したいオブジェクトを選択して、測定メニューから測定したいプロパティを選択します。

メーターの作成

次のようにしてメーターを追加します。

1. 測定したいプロパティを持った1つのボディ、ポイント、または拘束オブジェクトを選択します。

ボディのペアに作用するプロパティを測定する場合は、ボディを2つ選択してください。

2. 測定メニューから測定したいプロパティを選択します。

数値表示を持つメーターが表示されます。

接触力や摩擦力メーターを追加するには、メーターを作成する前にボディを2つ選択しておかなければなりません。

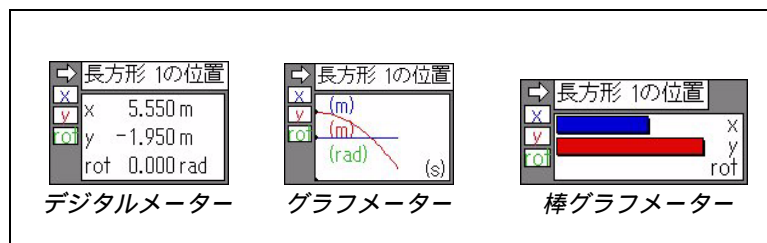
メーターは移動したり、サイズを変更したり、削除することができます。

デジタル、グラフ、棒グラフ表示の切り替え

Working Model 2D には、デジタル、グラフ、棒グラフの3種類のメーター表示があります（図 7-2 の下）。

図 7-2

デジタル、グラフ、棒グラフ表示のメーター



次のようにしてメーターの表示モードを設定します。

1. メーターを選択します。

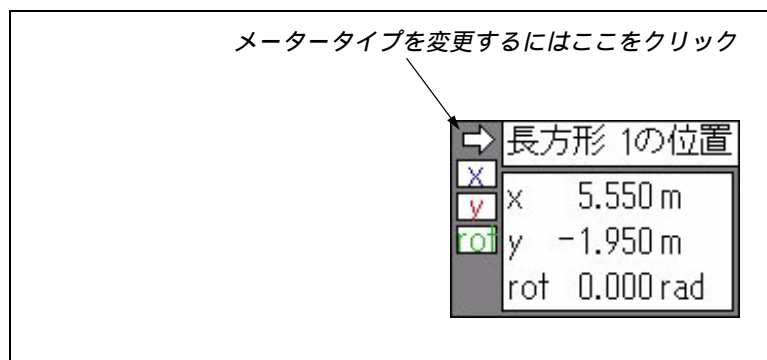
メーターが選択されたことを示すコーナーハンドルが表示されます。

2. 左上の矢印ボタンをクリックします (図 7-3 を参照)。

クリックするたびにデジタル、グラフ、棒グラフ、デジタル…の順に表示モードが切り替わります。

図 7-3

メーターの表示タイプの変更



メーターを修正してカスタマイズされたプロパティを表示

Working Model 2D の強力な式言語を使用すると、メーターを使ってカスタマイズしたプロパティを表示することができます。たとえば、2 つの衝突するボディの線形運動量の合計を表示して、運動量保存を確認したり、シノソイド関数をプロットして振動システムの結果を比較することなどできます。この機能の例と操作方法については「10.5 メーターのカスタマイズ」を参照してください。

メーターの位置とサイズの修正

メーターの位置

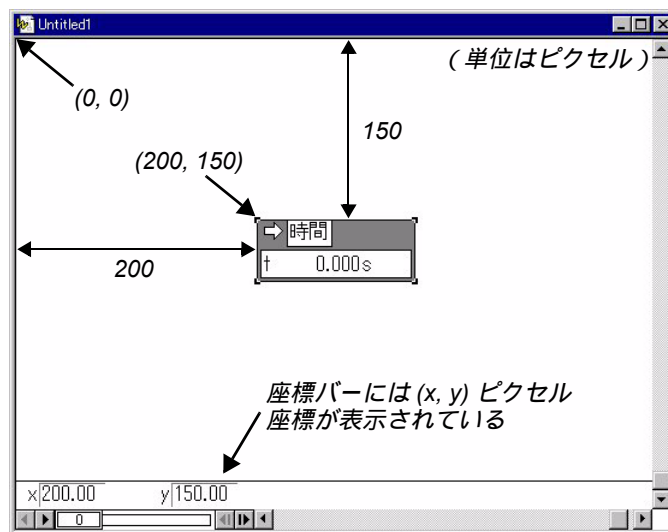
メーターは選択してドラッグするだけで、画面上のどこにでも配置することができます。メーターは座標バーを使って配置することもできます。

メーターが選択されているとき、Working Model 2D のドキュメントの座標バーにメーターの (x, y) 座標がピクセル座標で示されます。

ピクセル座標の原点 (0, 0) はドキュメントウィンドウの左上に設定されています (図 7-4)。X 軸は右方向に、Y 軸は下向きに伸びています (ピクセル座標の Y 軸は Working Model 2D のシミュレーションに使用される物理座標の Y 軸とは反対方向に伸びていることに注意)。メーターの位置はこの座標の左上を基準に表示されます。

座標バーで、(x, y) の値を直接変更することができます。

図 7-4
メーターのピクセル座標



メーターのサイズの変更

メーターのサイズを変えるには、メーターを選択して、その角に表示される選択ハンドル (黒い小さい四角形) の 1 つをドラッグします。

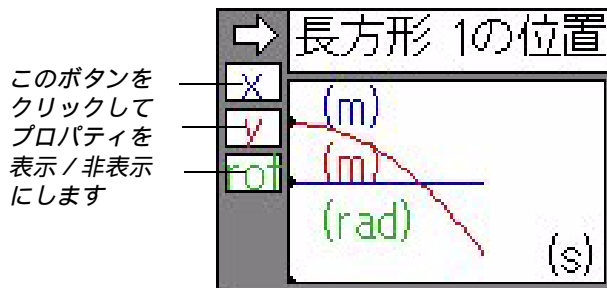
プロパティを選択的に表示 / 非表示にする

メーターで特定のプロパティを選択的に表示 / 非表示にすることができます。

1. メーターを選択します。
2. メーターの側面にあるラベル付きのボタンをクリックして、そのプロパティを表示 / 非表示にします。

ボタンがグレーで表示されているとき、そのプロパティは非表示になっています（メーターに表示されていません）。グレーになっていない場合、メーターはそのプロパティを表示します。

図 7-5
グラフ表示するプロパティを選択



グラフのスケールを変更する方法（最小および最大）

Working Model 2D で作成したグラフは、デフォルトではすべて X 軸も Y 軸も自動スケールモードに設定されています。この自動スケール機能はほとんどのデータ出力に対応します。

最初にメーターをグラフの形式で表示した場合、Working Model 2D はデータを自動スケールしてグラフの表示領域に入るようにします。データの一部だけをグラフで表示させたい場合は、プロパティウィンドウからグラフの X 軸と Y 軸のスケールをマニュアルで入力します。自動スケール機能を解除するには、自動の下側にあるチェックボックスをクリックします。最小値と最大値のフィールドに値を入力してグラフのスケールを指定します。

図 7-6
メーターを選択したときのプロ
パティウィンドウ

	ラベル	式
x	t	time
y1	x	Body[1].p.x
y2	y	Body[1].p.y
y3	rot	Body[1].p.r
y4		

	自動	最小	最大
x	<input checked="" type="checkbox"/>	0.000	2.300
y1	<input checked="" type="checkbox"/>	-1.000	12.100
y2	<input checked="" type="checkbox"/>	-13.751	1.000
y3	<input checked="" type="checkbox"/>	0.000	1.000
y4	<input type="checkbox"/>		

次のようにしてグラフ表示のメーターのスケールを変更します。

1. メーターを選択します。
2. ウィンドウメニューからプロパティを選択します。
3. スケールする数値の最大値と最小値を入力します。

メーターを作成すると、スケールダイアログに最適な式が自動的に表示されます。式の入力について詳しくは、第 10 章「式の使用」を参照してください。

プロパティウィンドウでは名前ラベルや式を編集することができます。

X 軸はデフォルトでは時刻を測定します。グラフにより多くのデータを追加すればするほど、シミュレーションの実行をすべて表示できるように、グラフのスケールは小さくなります。

Y 軸の数値もデフォルトでは自動スケールモードになっています。チェックボックスのチェックを解除すると、自動スケーリングを解除することができます。

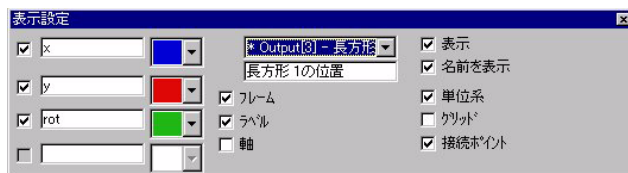
自動スケーリングを解除すると、スケールはそれぞれの数値に設定された最小値 (min) と最大値 (max) によって定義されます。シミュレーションを既に行なった場合、ここには自動スケール機能で計算された最小値と最大値が入力されています。この値を元にしてスケールを調整するとよいでしょう。

注：メーターが複数の数値を測定している場合 (y1, y2...), Y 軸のスケールと X 軸およびグリッド線の位置は最初の出力 (y1) だけに関連します。他の出力はプロパティウィンドウに表示された最大値と最小値によってスケールされます。Y 座標や X 座標との交点は表示することができません。

グラフの線の色を変える方法

メーターのグラフ表示には多くのプロットオプションがあります。各グラフのグリッド線、ラベル、軸、単位、およびフレームは表示 / 非表示にすることができます。各プロパティのグラフごとに異なる線の色や名前ラベルを選択することができます。

図 7-7
メーターが選択されたときの表示設定ウィンドウ



次のようにしてグラフの線の色を変更します。

1. メーターを選択します。
2. ウィンドウメニューから表示設定を選択します。
3. 色ポップアップメニューをクリックして各パラメータの色を選択します。

複数のシミュレーションの結果を比較

メーターの値を保持

ワールドメニューからメーターの値を保持を選択すると、複数のシミュレーションの結果を比較することができます。メーターの値を保持がアクティブのとき、Working Model 2D はシミュレーションを実行することにメモリをシミュレーション履歴に保存します。メーターオブジェクトがそれぞれのデータを保持しているため、複数のシミュレーションの結果をグラフィックで比較することができます。デフォルトではメーターの値を保持はアクティブになっていません。

メーターの値を消去

メーターの値を保持がアクティブのときは、ワールドメニューからメーターの値を消去を選択しない限り履歴は消去されません。メーターの値を消去コマンドを選択すると、Working Model 2D は最後のデータ以外のメーターのすべてのシミュレーションデータを削除します。たとえばグラフメーターを開きながら、複数のシミュレーションの実行からデータを記録してある場合、メーターの値を消去を選択すると、最後に実行したシミュレーション以外のすべてのプロットが削除されます。

メーターの値を消去メニューアイテムは、メーターの値を保持がアクティブの場合にだけ有効です。

メーターのデータをファイルに記録

保存されているすべてのシミュレーションのメーター情報はファイルに出力することもできます（「9.6 メーターのデータをファイルにエクスポート」を参照）。次のようにして複数のシミュレーションの結果をファイルに保存します。

1. シミュレーションを作成するか開きます。
2. ワールドメニューからメーターの値を保持を選択します。
3. 必要なデータを測定するメーターを作成し、毎回パラメータ（質量、速度など）を変えて、必要な回数だけシミュレーションを実行します。

すべての測定データがメモリに保存されます。しかしメーターを削除すると、そのメーターの測定データはなくなります。

4. シミュレーションの実行を終了したら、ファイルメニューからエクスポートを選択します。

エクスポートダイアログが表示されます（エクスポートダイアログについての一般的な説明は、9-3 ページの図 9-1 を参照）。

5. メーターのデータにエクスポートタイプを設定します。
6. 必要なエクスポートオプションを設定します。
7. OK をクリックします。

複数のシミュレーションのメーターのデータに対するデータ形式

エクスポートしたメーターのデータファイルは複数のカラム形式で、各列が 1 つのアニメーションフレームのデータ 1 セットを表します。このファイルにはエクスポートコマンドを実行した時点で存在したすべてのメーターデータを保存するのに必要な数のカラムがあります。複数のシミュレーションのデータは隣り合わせに表記されます。

たとえば、時刻と推進体の (x, y, \quad) 位置を測定する3つのメーターがある場合、2回のシミュレーションの実行から得られる測定データは、 $3(\text{メーターの個数}) * 4(t, x, y, \quad \text{のそれぞれのデータカラム}) * 2(\text{シミュレーションの実行回数}) = 24 \text{ カラム}$ となります。シミュレーションを4回記録すると、ファイルは48カラムになります。

ファイルは一番多くのアニメーションフレームを持つシミュレーションのデータを保存するのに必要な列数を持ちます。あるシミュレーションが他のシミュレーションよりも数フレーム長い場合、短いシミュレーションの残りの部分(最後の部分)にはマイナス記号(-)が表示されて、一番長いカラムと一致させます。

実験中に新しいメーターを作成した場合、前の実験のデータには空白のカラムが作成されます。これによって前はそのメーターがなかったことを表します。そのカラムにはマイナス記号が表示されます。このようにファイルにはカラムのセットが含まれ、1つのセットはそれぞれシミュレーションの1回の実行に対応します。すべてのセットには同じ数のデータカラムが含まれます。

メーターの値と履歴

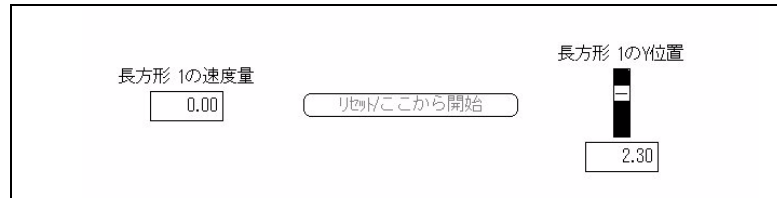
シミュレーションを実行するたびにシミュレーションの履歴をすべて保持するため、メーターの値を保持をアクティブにすると、メモリの使用量がかなり大きくなります。メモリの使用を最適に保つため、デフォルトではこの機能はオフになっています。Working Model 2D はシミュレーション結果に影響するような項目が修正された場合(オブジェクトのプロパティやワールド設定の変更など)自動リフレッシュ機構を使ってシミュレーションの履歴を破棄します。その他メモリを最適化するために、メーターの値を保持機能には次のような制限が設けてあります。

- ドキュメントが修正されるたびに、Working Model 2D は履歴データ全体をチェックします。たとえばメーターが削除されるとメーターデータの履歴を削除しなければならないためです。このようにドキュメントを変更すると履歴データが次第に増えてくるため、ドキュメントの変更には次第に時間がかかるようになってきます。
- メーターのデータを保持とメーターのデータを消去の切り替えは元に戻すことができません。

7.2 コントロール

コントロールを使うと、シミュレーションの実行前や実行中にシミュレーションのパラメーターを調整することができます。

図 7-8
テキストボックス、ボタン、スライダ

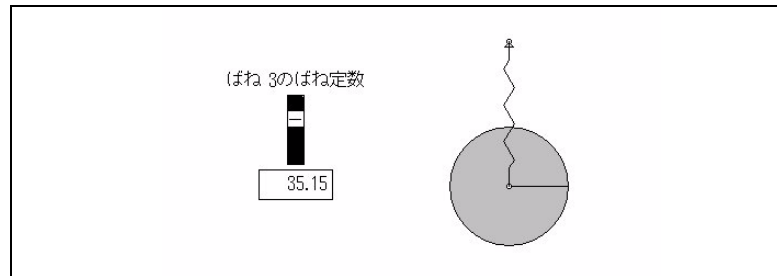


コントロールはスライダ(デフォルト)、テキストボックス、またはボタンを使って行います。たとえば、図 7-9 にはばねのばね定数のコントロールに使用することができるスライダが表示されています。

さらに Working Model 2D にテキストファイルを入力として読み込ませることもできます。詳しくは 7-14 ページの「コントロールのタイプとプロパティ」を参照してください。

また Working Model 2D は、コントロールオブジェクトを使ってデータを交換し、別のアプリケーションとリアルタイムで通信することができます。詳しくは「9.9 外部アプリケーションとリアルタイムでデータ交換」を参照してください。

図 7-9
ばね定数をコントロールするスライダ



ばねをハイライトしてから、そのばね定数に対するコントロールを作成すると、ばねの「ばね定数」フィールドの値が自動的に現在のスライダの値を求める式に置き換えられます。図 7-10 のように、ばねのプロパティウィンドウを表示するとこの変化を見ることができます。

図 7-10

ばね定数にコントロールを持つ
ばねのプロパティウィンドウ



この式を編集しない場合は、コントロールを削除するとこの欄がオリジナルの数値に戻ります。

シミュレーションを実行する前にボディの初期速度を設定するスライダを作成することができます。このスライダを使って速度を調整し、調整した値を使ってシミュレーションを実行することができます。

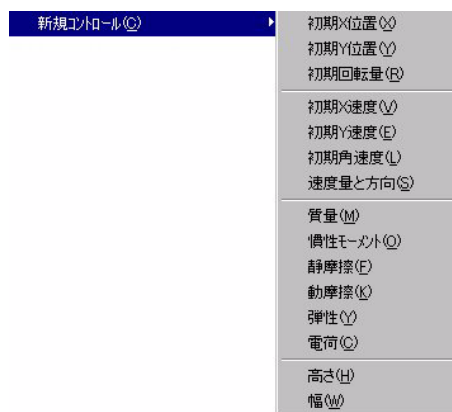
式について詳しくは第10章「式の使用」を参照してください。

コントロールの作成

次のようにしてボディや拘束に対するコントロールを作成します。

図 7-11

新規コントロールメニュー（長方形が選択されている）



1. プロパティを変更したいオブジェクトを選択します。

コントロールできるプロパティはコントロールメニューにリストで表示されています。リストされたプロパティのそれぞれにコントロールを追加することができます。

2. 定義メニューから新規コントロールを選択します。

コントロール可能なプロパティのリストが表示されます。

3. プロパティを選択します。

テキストボックスがついたスライダが表示されます。このスライダをドラッグして、選択したプロパティの大きさを設定してください。

コントロールの位置とサイズの変更

コントロールの位置

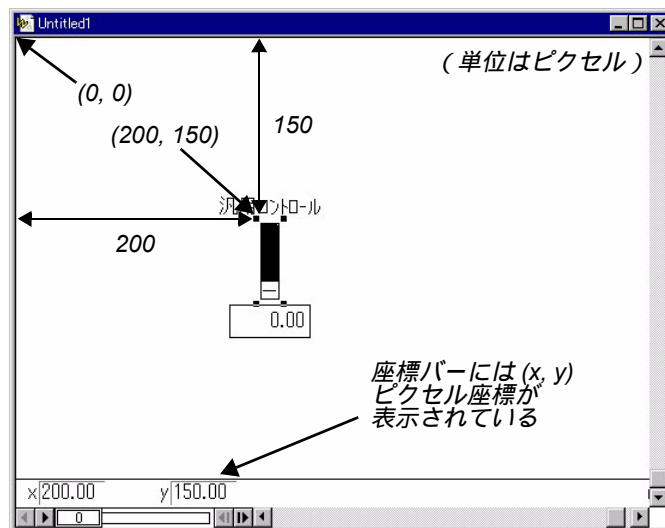
コントロールを選択してドラッグすると、画面のどこにでも配置することができます。コントロールは座標バーを使って配置することもできます。

コントロールを選択すると、Working Model 2D ドキュメントの座標バーにはコントロールの (x, y) 座標がピクセル座標で表示されます。

ピクセル座標の原点 (0, 0) はドキュメントウィンドウの左上にあります（図 7-4 を参照）。X 軸は右方向に、Y 軸は下向きに伸びています（ピクセル座標の Y 軸は Working Model 2D のシミュレーションに使われる物理的座標とは反対方向に伸びていることに注意してください）。コントロールの位置は左上の選択ハンドルを基準にして表示されます。

(x, y) の値は座標バーで直接変更することができます。

図 7-12
コントロールのピクセル座標



コントロールのサイズの変更

コントロールを選択して、その角に表示される選択ハンドル（小さい黒い四角形）の1つをドラッグすると、コントロールのサイズを変更することができます。

コントロールのタイプとプロパティ

スライダーを作成した後、コントロールのタイプをテキストボックスやボタンに変えたり、外部ファイルを使ってコントロールにデータを入力することができます。

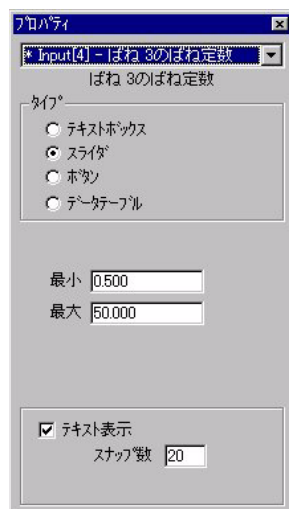
次のようにしてコントロールのプロパティを変更します。

1. コントロールをダブルクリックするか、コントロールを選択して、ウィンドウメニューからプロパティを選択します。

選択したコントロールに応じてプロパティウィンドウの表示形式が変わります。

2. コントロールのタイトルや色を変える場合は、表示設定ウィンドウを選択します。

図 7-13
コントロールのプロパティウ
ィンドウ



3. 希望するコントロールのタイプをクリックして、コントロールのタイプを選択します。

コントロールのタイプごとに異なるプロパティセットを設定できるようになっています。

スライダ

スライダバーの最大値と最小値を設定することができます。スナップの数によって、スライダの範囲にどれだけの計数値が設定されているかが示されます。

デフォルトでは、スライダコントロールにはテキストウィンドウがついています。スライドの計数値に対応しなくても、テキストウィンドウを使って範囲内の正確な値を入力することができます。

このテキストウィンドウはテキストを表示チェックボックスをオンにしたりオフにすることで、表示 / 非表示を切り替えることができます。

テキストボックス

テキストボックスにはプロパティの値を正確な数値で入力することができます。

ボタン

ボタンを使うと、最大値と最小値として指定した2つの数値の1つをすばやく選択することができます。ボタンにはトグルスイッチと press-and-hold ボタン (マウスボタンを押している間だけ押されているボタン) があります。

テーブル

テーブルコントロールはテーブルファイルから値を読み込みます。テーブルファイルは複数の数値カラムを含んだタブ区切りの ASCII テキストファイルです。Working Model 2D は、デフォルトでは、データの最初のカラムに時刻のデータ、2 番目のカラムには対応するコントロール値が含まれるものと解釈します。

この機能を使って実験データをシミュレーションと組み合わせることができます。たとえば自動車のサスペンションシステムをシミュレートするとします。でこぼこ道の輪郭データを取って置いて、そのデータを Working Model 2D のアクチュエータ長への入力として使用することができます。

Working Model 2D は、複数の数字のカラムを含んだテキストファイル(ASCII ファイル)を読み込むことができます。Working Model 2D は数字以外の任意の文字で始まる行はすべてコメントとして無視します。ワープロを使ってテキストファイルを作成する場合、ファイルを ASCII ファイルで保存するようにしてください。

次のようにしてテーブルファイルを読み込みます。

1. コントロールをダブルクリックするか、コントロールを選択して、ウィンドウメニューからプロパティを選択します。
2. プロパティウィンドウからデータテーブルアイコンを選択します。
3. テーブルを読み込むボタンをクリックします。

表示されるポップアップウィンドウで、使用するテキストファイルの場所を指定するように求められます。

4. ファイルを選択して、開くをクリックします。

これでテーブルを *Working Model 2D* に読み込ませることができました。テーブルファイルを削除しても、*Working Model 2D* はデータを覚えています。またテーブルファイルを修正しても、上のステップ 3 の操作を行ってテーブルデータをもう一度読み込ませない限り、*Working Model 2D* は変更を認識しません。

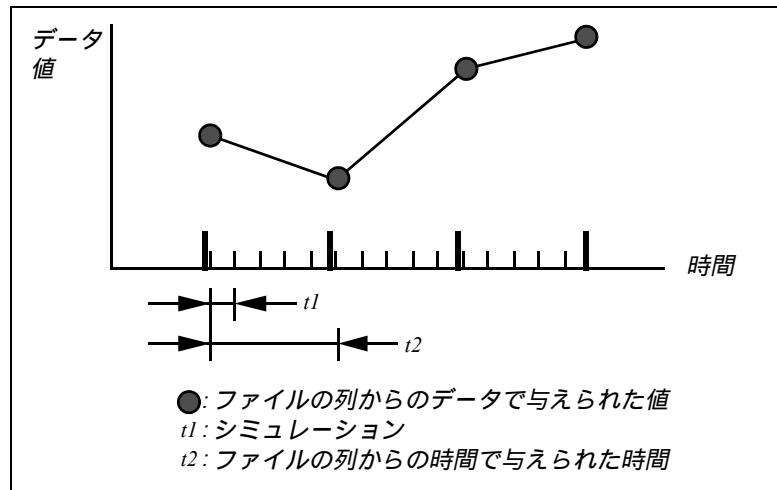
5. 時刻およびデータの参照に使う列を指定します。

列からの時間を 0 に設定すると、アニメーションフレームごとにデータが 1 列ずつ読み込まれます (詳しくは、A-14 ページの「アニメーションステップ」を参照)。

列からのデータには正の数を指定してください。列からのデータには0は指定できません。

図 7-14 のように、テーブルファイルからインポートされた計数データ値は内挿されて連続一時関数に変換されます。Working Model 2D はここから各タイムステップのデータ値を取ります。

図 7-14
テーブルデータとシミュレーションタイムステップ



テーブルファイルの列からの時間の数字は昇順で保存しなければなりません。そうでない場合、シミュレーションの挙動が正確でなくなる可能性があります。

- 入力ファイルに列からの時間がある場合、アニメーションをスムーズにするため、アニメーションステップ（精度ダイアログにある）を入力ファイルのタイムステップよりも大きくしないようにしてください。
- Working Model 2D のシミュレーションを保存すると（記録がある場合もない場合も）、保存したドキュメントにはテーブルデータが含まれます。このため後でもう一度シミュレーションを開いた場合、Working Model 2D はテーブルファイルにアクセスする必要がありません。
- 開始位置の指定（ワールドメニューにある）を選択した場合、Working Model 2D はテーブルデータの最初の列がシミュレーションの現在のフレームに対応するものと解釈して、同じテーブルデータを使用します。これは開始位置の指定によってフレーム番号とタイムクロックがいずれもゼロにリセットされるためです。

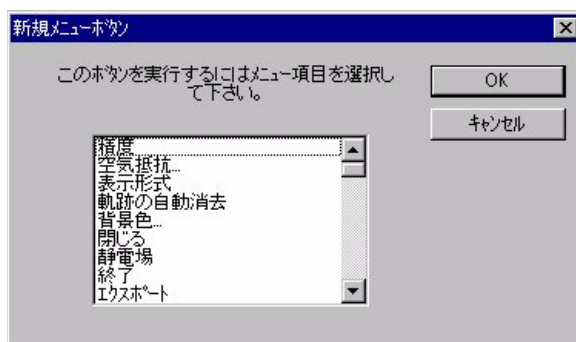
7.3 メニューボタン

メニューボタンを使用すると、一般的なコマンドを直接ワークスペースに追加することができます。メニューボタンをクリックするのは、メニューからコマンドを選択するのと同じです。次のようにしてメニューボタンを作成します。

1. 定義メニューから新規ボタンを選択し、サブメニューの中からメニューボタンを選択します。

ダイアログボックスが表示されて、新規のボタンに実行させたいメニューコマンドを選択するように求められます。

図 7-15
新規メニューボタンダイアログ



2. リストからコマンドを1つ選択します。

リストをスクロールするか、コマンドの最初の文字を入力してください。より詳しく選択するには、矢印キーでリストを1アイテムずつ上下に移動します。

3. OK をクリックします。

これでボタンをクリックしてメニューコマンドを実行させることができます。

複数のドキュメントをメニューボタンにリンク

現在のドキュメントを閉じて新しいドキュメントを開くようなメニューボタンを作成して、複数のドキュメントを含むワークブックを作成することができます。メニューボタンを使うと、複数のシミュレーションをリンクして、連続したアクティビティを作成することができます。

次のようにして複数のドキュメントをリンクします。

1. リンクしたいシミュレーションドキュメントを作成し、わかりやすいように同じフォルダに保存しておきます。

Working Model 2D はローカルのディレクトリ内でファイルを見つけることができない場合、選択ダイアログを表示して、ユーザーにファイルの場所を指定するように求めます。これは開くボタンを押すたびに繰り返されるので、関連するファイルはすべて同じディレクトリに保存しておくのが一番です。

2. 最初のドキュメントを開きます。
3. 定義メニューから新規ボタンを選択し、サブメニューの中からメニューボタンを選択します。

ダイアログボックスが表示されて、このボタンに実行させたいコマンドを選択するように求められます。

4. オープンボタンを選択し、このボタンを押したときに開くドキュメントの名前を選択します。

現在のシミュレーションで開くボタンをクリックすると、そのシミュレーションが閉じて、開くボタンを作成したときに選択されていたシミュレーションが開きます。

7.4 ベクトル

ベクトルを表示すると 1、運動学的プロパティ（速度や加速度）と動力学プロパティ（力）をグラフィックに表すことができます。¹

ベクトルはポイントとボディに配置することができます。拘束の端点を選択すると、拘束によって作用される力の力ベクトルを表示することができます。

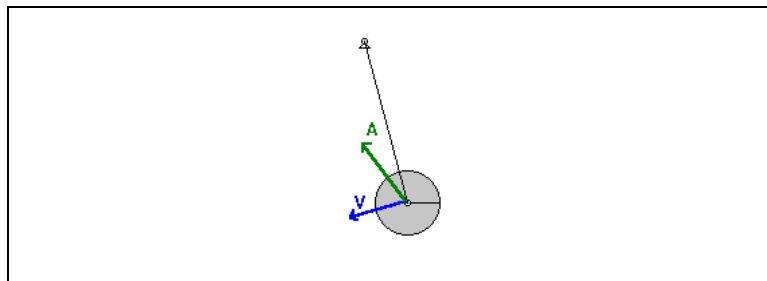
速度や加速度を表すベクトルは必ずボディの重心から外側に向かって伸びています。力の数値を表すベクトルはボディの中心からまたはボディの中心へ向かって表わされます。ボディ同士が接触したときの力を表すベクトルは接触点またはそれぞれのボディの重心から出ています。

図7-16にアクティブの速度と加速度のベクトルを表示したボディを示しました。

¹ Working Model 2D ではトルクのベクトル表示はサポートしていません。

図 7-16

加速度と速度のベクトルが表示
された振り子



ベクトルを使うと次のプロパティをグラフィックに表示することができます。

- 速度
- 加速度
- トータルの力
- 重力
- 静電力
- 空気抵抗力
- 力場
- 接触力
- 摩擦力

ベクトルの表示

次のようにして1つまたは複数のベクトルを表示します。

1. ベクトルをグラフィックに表示したいボディを1つまたはそれ以上選択します。

定義メニューのベクトルサブメニューに、選択されたオブジェクトで表示することができるベクトルがリストされます。複数のオブジェクトが選択されており、ボディに現在表示されているベクトルがすべて同じではない場合、ベクトルのタイプの横に「-」が表示されて、複数の選択があることを示します。

2. 定義メニューのベクトルサブメニューから表示させたいベクトルのタイプを選択します。

ベクトルは、次にシミュレーションを実行したときに表示されます。

ベクトルの長さを調整

表示されるベクトルの長さはその大きさとスケール係数によって決まります。ベクトルが表示するプロパティによっては、そのベクトルが長すぎたり短すぎたりして、値が見にくくなったり見えなくなったりすることがあります。Working Model 2D にはスケール係数を調整するためのツールがあります。

たとえば SI 単位系で、力ベクトルの大きさが 10 ニュートン、スケール係数が 0.1 の場合を考えてみましょう。このときベクトルは Working Model 2D ドキュメントで次のように表示されるか、

$$10 \times 0.1 = 1.0$$

または 1.0 メートル（SI 単位系はメートルがデフォルトの距離単位であるため）と表示されます。他のプロパティの長さ（速度や加速度）も同じようにして計算されます。

次のようにしてベクトル表示スケール係数を調整します。

1. 定義メニューからベクトルの長さを選択します。

図 7-17 のようなダイアログボックスが表示されます。

図 7-17
ベクトルの長さダイアログ



2. スライダーを使うか、スケール係数を入力して、ベクトルの長さを速度、力、加速度ベクトルに合わせて調整します。
3. OK をクリックして、変更を保存します。

ベクトルのプロットオプションの調整

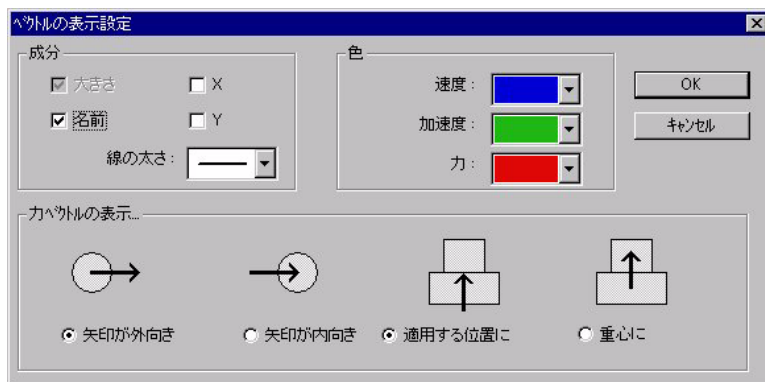
ベクトルは X 軸、Y 軸、および合計成分で表示することができます。速度、加速度、および力ベクトルをそれぞれ異なる色で表示することができます。力ベクトルは作用点または作用するボディの重心に表示することができます。

次のようにしてベクトルプロットオプションを調整します。

1. ベクトルメニューからベクトルの表示を選択します。

図 7-18 のようなダイアログボックスが表示されます。

図 7-18
ベクトル表示ダイアログ



成分エリアのボックスをチェックしてどのベクトル成分を表示させるかを選択します。

2. 色エリアのポップアップメニューから色を選択します。
3. 力ベクトルを外向き矢印と内向き矢印のどちらで表示するかと、力ベクトルを作用点に表示するかどうかを選択します。

力ベクトルはデフォルトでは外向き矢印で作用点に表示されます。

ジョイント反力のベクトル表示

ピンジョイントが選択されていて、ベクトルメニューからトータルの力が選択されているとき、ベクトルはピンジョイントを構成する 2 つのポイントのそれぞれに表示されます。シミュレーションを実行すると、ピンジョイントからは 2 つの反対方向の力ベクトルが発生します。

ベクトルを1つだけ表示したい場合は、ベクトルメニューからトータルの力を選択する前に、ピンジョイントのポイントを1つだけを選択してください。

1. ピンジョイントを選択して、ウィンドウメニューからプロパティを選択します。
2. プロパティウィンドウで、ウィンドウの一番上のポップアップメニューからピンを構成するポイントを1つ選択します。

ワークスペースでジョイントを構成するポイントを1個だけ選択します。

3. ベクトルメニューからトータルの力を選択します。

シミュレーションを実行すると、1つのポイントだけに作用する力のベクトルだけが表示されます。

メーターを使って定量的に反力を測定したい場合は、4-62 ページの「ジョイントでの反力の測定」を参照してください。

A

7.5 テキスト

ドキュメント内にテキストのキャプションを作成して、シミュレーションにラベルを貼ることができます。Working Model 2D ではテキストキャプションはテキストオブジェクトとみなされます。画面上のすべてまたは一部のテキストを選択して別のテキストを入力すると、テキストオブジェクトを編集することができます。これ以外に画面にオブジェクトの名前を表示させることもできます。このセクションでは両方の種類のテキストを作成したり編集する方法について説明します。

テキストツールの使用

次のようにしてテキストオブジェクトを作成します。

A

1. テキストツールを選択します。
2. 入力の開始位置をワークスペース上でクリックします。
3. テキストを入力します。

テキストを改行するには *Enter* キーを押してください。

テキストオブジェクトの選択

次のようにしてテキストオブジェクトのテキストを選択します。

1. 選択したいテキストオブジェクトを選択します。
2. テキストをドラッグして編集したい文字や単語を選択します。

図 7-19
選択されたテキスト



選択されたテキストがハイライトされます。

3. 単語をダブルクリックして選択します。
4. テキストの選択を解除するには、ウィンドウの他の部分をクリックします。

テキストオブジェクトの削除

次のようにしてテキストオブジェクトを削除します。

1. ツールバーの矢印ツールを選択します。
2. テキストオブジェクトをクリックして選択します。
3. 編集メニューから切り取りまたは削除を選択するか、キーボードの Delete キーを押します。

切り取られたテキストはクリップボードに配置され、現在のドキュメントまたは別のドキュメントに貼り付けることができます。

Delete キーを押すと、編集メニューから消去を選択したのと同じになり、切り取られたテキストは貼り付けることができません。

削除を元に戻すには、他の操作をする前に編集メニューから元に戻すを選択してください。

新しいテキストの挿入

テキストオブジェクトにはいつでも新しいテキストを追加することができます。

次のようにして新しいテキストを挿入します。

1. 変更したいテキストオブジェクトをクリックします。
2. テキストを挿入したい部分をクリックします。
3. テキストを入力するか、編集メニューから貼り付けを選択して、切り取ったテキストやコピーしたテキストを貼りつけます。

テキストを挿入すると、テキストは現在のマージン内に収まるようにワードラップされます。ハンドルの1つをドラッグすると、テキストオブジェクトのサイズを変更することができます。

A

テキストのフォント、サイズ、スタイルの変更

ワークスペースに表示されるテキストはすべてそのフォントやサイズ、スタイルを選択することができます。

次のようにしてテキストのフォント、サイズ、スタイルを変更します。

1. テキストオブジェクトや名前を変えたいオブジェクトを選択します。
2. オブジェクトメニューからフォントを選択します。
3. ダイアログボックスから設定したいフォントサイズ、またはスタイルを選択します。

ダイアログボックスに表示されるフォントは、コンピュータにインストールされている *Windows* のフォント、スタイル、サイズです。

変更は選択したオブジェクトのすべてのテキストに適用されます。

オブジェクトに名前をつける

次のようにして、ボディ、拘束、メーター、またはコントロールの名前を編集したり変更します。

1. 名前を変更したいオブジェクトを選択します。
2. ウィンドウメニューから表示設定を選択します。
3. 現在の名前を選択して、新しい名前を入力します。

7.6 画像

Working Model 2D でグラフィックデータをワークスペースに貼り付けると、画像オブジェクトが作成されます。メタファイルデータを使用することができます。

画像オブジェクトはドラッグしたり、切り取り、コピー、貼り付けを行うことができます。画像オブジェクトはボディに接続することもできます。

画像オブジェクトの作成

次のようにして画像オブジェクトを作成します。

1. 描画プログラムからクリップボードに画像をコピーします。

メタファイルフォーマットの画像を使ってください。

2. 画像をシミュレーションドキュメントに貼り付けます。

画像は画像オブジェクトとして表示されます。

画像オブジェクトをボディに配置

次のようにして画像オブジェクトをボディに配置します。

1. Shift キーを押したまま、ボディと画像の両方をクリックして選択します。

画像とオブジェクトの両方が選択されます。オブジェクトメニューの画像を配置アイテムがハイライトされます。

2. オブジェクトメニューから画像を配置を選択します。

画像はボディに配置されます。

次のようにしてボディから画像を取り外します。

1. ボディをクリックして選択します。

画像を配置メニューアイテムが画像を取り外しに変わります。

2. オブジェクトメニューから画像を取り外しを選択します。

これで画像とボディを別々に選択することができます。

注：画像はズームすることができません。また貼り付けたボディと一緒に回転しません。画像は回転運動よりも線形運動するボディに貼り付けることをお勧めします。

第 8 章

シミュレーションの実行

この章では次の方法について説明します。

- シミュレーションの実行
- シミュレーションの再実行
- シミュレーションの速度と精度をコントロール
- 記録したシミュレーションの保存
- プレイアドキュメントの作成
- 参照フレームの指定
- オブジェクトの追跡
- 印刷

8.1 シミュレーションの実行

次のようにしてシミュレーションを実行します。

図 8-1
実行コントロール



1. ツールバーの実行をクリックするか、ワールドメニューから実行を選択します。図 8-1 を参照。
2. シミュレーションを停止するには、停止をクリックするか、ワールドメニューから停止を選択します。

シミュレーションを再開するには、実行ボタンをクリックします。

3. シミュレーションをやり直すには、リセットボタンをクリックします。

シミュレーションを一度実行すると、計算がテーププレイヤに保存されます。シミュレーションに何も変更を加えずにもう一度実行すると、前よりもずっと速く動作します。

8.2 シミュレーションの停止

シミュレーションはさまざまな方法で停止することができます。

- ツールバーの停止をクリックします。
- テーププレイヤコントロールの停止アイコンをクリックします。
- カーソルがストップ記号で表示されている場合はウィンドウのどこかをクリックします。
- ワールドメニューから停止を選択します。
- 停止メニューボタンがある場合、停止ボタンをクリックします。
- 一時停止機能を使ってシミュレーションを自動的に停止します。シミュレーションを一時停止する方法は、この章の 8-6 ページの「一時停止」を参照してください。

8.3 テーププレイヤコントロールの使用

シミュレーションの実行中、Working Model 2D はテーププレイヤという機能を使ってシミュレーションを記録しています。テーププレイヤを使うと、シミュレーションを逆再生したり、フレームをスキップしたり、計算が全部終わった後にさらに速くシミュレーションをリプレイすることができます。

テーププレイヤコントロールはシミュレーションのフレーム数をビジュアルに表示します。

テーププレイヤコントロールがまだ表示されていない場合は、次のようにして表示します。

1. ビューメニューからワークスペースを選択します。

ワークスペースメニューが表示されます。メニューからオプションを選択することができます。

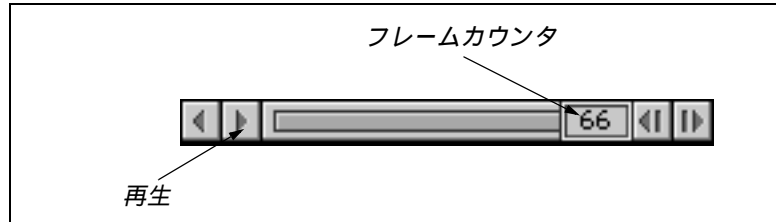
2. テーププレイヤコントロールの項目を選択します。

この項目の横にチェックマークが表示されている場合、テーププレイヤオプションは選択されています。

3. OK をクリックします。

図 8-2 のように、画面の下側にテーププレイヤーコントロールとインジケータが表示されます。

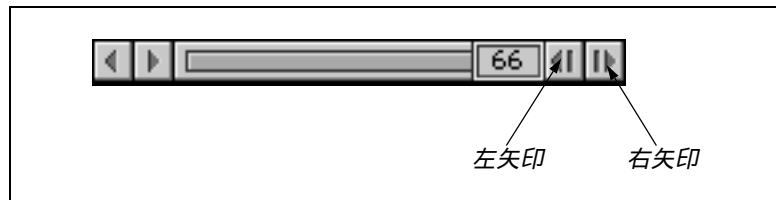
図 8-2
テーププレイヤーコントロール



フレームのコマ送り

Working Model 2D ではシミュレーションの記録をフレームのコマ送りで表示することができます。

図 8-3
フレームをコマ送りで再生する



シミュレーションのコマ送りは次の 2 つの方法で行うことができます。

- テーププレイヤーコントロールの右矢印か左矢印をクリックして、1 フレームごとにシミュレーションを動かします。
- + を押すと普通に再生、- を押すと逆再生します。

次のようにしてステップコントロールでスキップするフレーム数を選択します。

1. ワールドメニューからフレームのスキップを選択します。
2. サブメニューからスキップするフレーム数を選択します。

フレームのスキップ

次のようにしてフレームをスキップすると、アニメーションを速く表示することができます。

1. ワールドメニューをドラッグしてフレームのスキップを表示し、マウスボタンを押したままにします。

ポインタの右側にサブメニューが表示されます。

2. フレームのスキップサブメニューからスキップするフレーム数を選択します。

タイムステップを調整してもアニメーションの速度をコントロールすることができます。この機能の説明は、この章の 8-30 ページにある「シミュレーションの便利なヒント」を参照してください。

シミュレーションを初めて実行するときは、フレームのスキップを選択しても何も変わりません。フレームのスキップは、すでにシミュレーションを 1 回実行して、テーププレイヤーに保存されている場合にだけ効果があります。

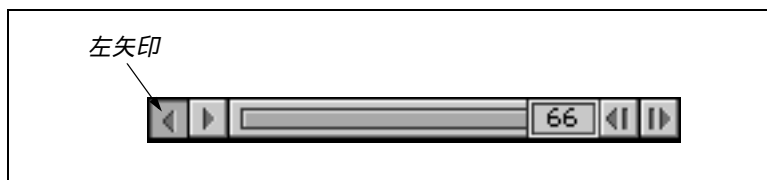
シミュレーションを逆再生

シミュレーションを実行したら、逆再生することができます。

1. テーププレイヤーで逆再生をクリックします。図 8-4 を参照してください。

シミュレーションが逆方向に再生し始めます。シミュレーションはいつでも停止することができます。シミュレーションは第 1 フレームまで逆再生すると自動的に停止します。

図 8-4
逆再生



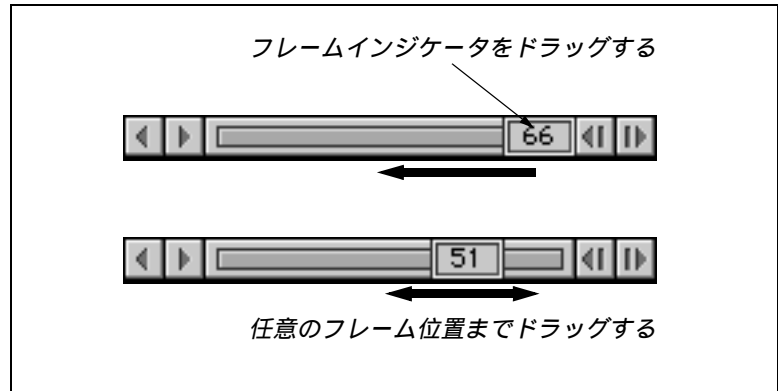
2. アニメーションをもう一度再生するには再生または逆再生コントロールをクリックします。

アニメーションが逆再生されている間、フレームインジケータはアニメーションの現在のフレーム数を表示しながら、左方向に動きます。

指定したフレームに移動

フレームインジケータを右や左にドラッグすると、記録されたシミュレーションのどのフレームにも移動することができます。

図 8-5
特定のフレームにドラッグする



テーププレイヤーコントロールのグレー部分をクリックすると、フレームインジケータを瞬時にその位置まで移動することができます。

現在の記録を超えてシミュレーションを継続するには、フレームインジケータを一番右端まで移動して、それから再生バー上の右矢印をクリックします。そうすると Working Model 2D はシミュレーションを継続します。

記録されたシミュレーションのどのフレームを再生しているときでも、右矢印をクリックすると、Working Model 2D は記録されたフレームを最後までで表示してから、追加のフレームの計算を再開します。

再生の速度を上げる

シミュレーションを初めて実行するとき、Working Model 2D はアニメーションを画面に描くだけではなく、アニメーションに表示するために運動を計算します。Working Model 2D は運動を高速に計算しますので、ほとんどのシミュレーションではアニメーションの速度が目だって遅くなるということはありません。

多くのオブジェクトが同時に接触するような複雑なシミュレーションでは、シミュレーションを最初に行うときに、アニメーションが遅くなることもあります。

シミュレーションをもう一度再生したり、スキップ機能を使うと、アニメーションの速度を上げることができます。スキップ機能はアニメーションのフレームを取り除くことによってアニメーションの速度を速くします。たとえば記録を2フレームごとに表示すると、再生速度は2倍になります。

シミュレーションの再生

次のようにして記録したフレームを再生して、アニメーションを速く表示することができます。

1. シミュレーションを1回実行して、アニメーションを記録し、運動を計算する。
2. ツールバーのリセットをクリックします。
3. シミュレーションをもう一度実行します。

シミュレーションの再生中、*Working Model 2D* は運動を再計算する必要がないため、より速くアニメーションが再生されます。

一時停止

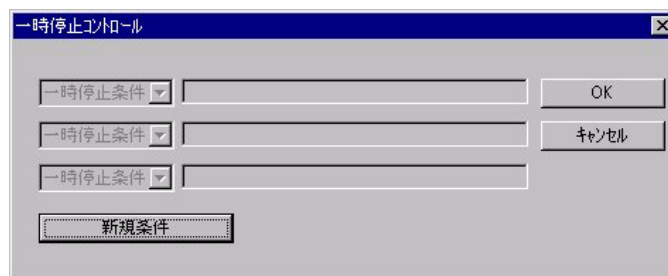
一時停止機能を使用すると、ある条件に達したときにシミュレーションを自動で停止することができます。たとえば時刻 > 1.00 秒というように設定することができます。

次のようにしてどのような条件でシミュレーションの実行を一時停止するかを設定します。

1. ワールドメニューから一時停止を選択します。

一時停止ダイアログが表示されます (図 8-6)。

図 8-6
一時停止ダイアログ



2. 新規条件ボタンをクリックします。

最初の一時停止条件としてサンプルの式が表示されます。

3. 条件に達したときに起きるイベントを選択します。

式が 0.0 以上の値になったとき（真のとき）一時停止、停止、ループ、リセットすることができます。

式的使用方法について詳しくは、第 10 章「式の使用」と付録 B「式言語リファレンス」を参照してください。

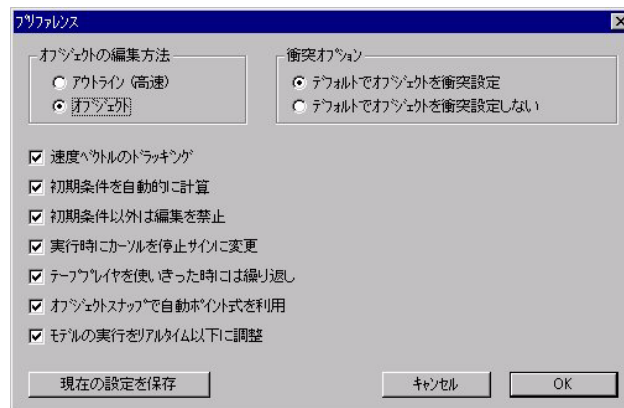
8.4 プリファレンス

プリファレンスダイアログには、重要な実行時の機能がいくつかあります。次のようにしてプリファレンスを変更することができます。

1. ワールドメニューからプリファレンスを選択します。

プリファレンスダイアログが表示されます（図 8-7）。

図 8-7
プリファレンスダイアログ



2. 選択するプリファレンスボックスにチェックマークを入れて機能をアティブにします。

個々の機能についてはこの後のセクションで説明します。詳しくはそちらを参照してください。

プリファレンスは現在のシミュレーションだけにしか保存されません。このため新規に作成するドキュメントには影響しません。

3. OK をクリックします。

アウトラインまたはオブジェクトとしてオブジェクトを編集

編集中にオブジェクトをドラッグすると、Working Model 2D はオブジェクトをアウトラインまたはソリッドなオブジェクトとして表示します。編集中は、アウトライン表示を選択するとアニメーションをスムーズに表示することができます。

速度ベクトルのドラッグを許可

このオプションがオンのとき、選択されたボディの重心には青い小さな丸印が表示されます。この丸をドラッグすると、初期速度を指定するベクトルをドラッグすることができます。1-9 ページの「初期速度の指定」にこの例があります。この機能はプロパティウィンドウでの数値による初期速度の表示を、グラフィックに補完します。

初期条件の自動計算

このオプションはデフォルトではオフになっているため、Working Model 2D はシミュレーションを開始するまで計算を行いません。メーターとグラフはゼロフレーム（初期条件）ではblankです。ゼロフレームでのメーターやベクトルの表示は、シミュレーションを最低 1 回実行してリセットした後、初めて意味のあるものとなります。

このオプションをオンにすると、編集を行うたびに（スケッチ、ドラッグ、回転、サイズ変更）ゼロフレームの結果が計算されます。複雑なシミュレーションの場合、編集操作と計算の間には少し遅れが生じることもあります。Working Model 2D は編集操作を終了すると、毎回すべてのオブジェクトの選択をいったん解除します。

自動フレームゼロ計算の利点はメーターやベクトルの値が常に正しい値で表示されることです。これはベクトルを使って力を表示する静力学の問題には非常に便利です。シミュレーションにわずかな調整を加えると、そのたびに静力学の問題が再計算されて、正しいベクトルが表示されます。

初期条件以外での編集を防止

Working Model 2D は通常、シミュレーションの途中で何か変更を加えるときは、その前にシミュレーションをゼロフレーム（初期条件）にリセットするように促します。シミュレーションをリセットすることで、設定した初期条件が維持されます。

シミュレーションの途中で変更を加えることができるようにすることもできます。1 箇所だけしか変更していない場合は、Control-Z で変更を元に戻して、記録されたフレームに戻すことができます。1 つ以上の変更をした場合は、前の初期条件は失われて、フレームカウンタはゼロフレームにリセットされます。この場合、リセットして編集前のシミュレーションの初期条件に戻すことはできません。

実行中はカーソルが停止表示に変更

Working Model 2D のワークスペースのどこかをクリックするとシミュレーションを停止させることができます。シミュレーションの実行中はカーソルが停止表示に変わります。

このチェックボックスのチェックを解除すると、ドキュメントの実行中もカーソルは停止表示になりません。それでもドキュメントをクリックするとシミュレーションを停止させることができます。このオプションの設定とは別に、ツールバーの停止ボタンを押すか、停止メニューアイテム（ワールドメニューから）を選択すると、いつでもシミュレーションを停止することができます。

テーププレイヤを使い切ったときには繰り返し

デフォルトでは、Working Model 2D はメモリが不足してテーププレイヤにフレームを保存することができなくなったとき、シミュレーションを停止するようになっています。

しかしテーププレイヤを使い切ったとき、繰り返し使用することもできます。この分のフレームは計算されて現在のフレームに上書きされます。シミュレーションはユーザーが停止するまでずっと実行され続けます。

この状態をリセットすると、初期条件に戻すことができます。

テーププレイヤのフレームカウンタボックスをドラッグすると、一番最後に計算したフレームを表示することができます。8-11 ページの「記録できる範囲を超えてシミュレーションを実行」も参照してください。

オブジェクトスナップで自動ポイント式を利用

オブジェクトスナップがアクティブのとき、拘束をボディに配置すると、Working Model 2D はポイントの位置を表す形式ベースの計算式を生成します（ポイントベースパラメトリックで使用）。このボディのサイズや形状を変更すると、拘束の端点はそれぞれのスナップポイントにスナップしたままとなるだけでなく、配置も場所を維持したまま移動しません（詳しくは 4-11 ページの「拘束の正確な配置」を参照）。

この自動計算式生成機能をオフにするには、プリファレンスダイアログの「オブジェクトにスナップで自動ポイント式を利用」を解除してください。ポイントはまだスナップポイントにスナップしていますが、座標はポイントベースパラメトリックではなく数値で表示されます。

プリファレンスの保存

プリファレンスダイアログで現在の設定を保存をクリックすると、プリファレンスファイルが作成されます。Windows ディレクトリに wmprefs4.wm という名前のファイルが作成されます。

プリファレンスファイルは新しい Working Model 2D ドキュメントを作成するたびに読み込まれ、Working Model 2D セッションのスタートアップ環境をカスタマイズするのに使用します。

保存されるプリファレンスには次のようなものがあります。

- 現在のドキュメントのサイズと場所
- ワールドメニューの設定（プリファレンスダイアログにあるものも含む）
- ビューメニューの設定
- 定義メニューのベクトルの長さ / 表示設定

8.5 シミュレーションの記録

シミュレーションの記録には大量のメモリが使われます。アクティブのオブジェクト、メーター、ベクトルの数によっては、1 フレームのアニメーションに数千バイトのメモリが使われることもあります。Working Model 2D は大きいシミュレーションを保存するときは、使えるすべてのメモリを自動的に使用します。

記録時のメモリ要求事項

シミュレーションがすべてのメモリを使ってしまった場合（つまりテーブルイヤを使いきった場合）、次のようなダイアログが表示されます（図 8-8）。

図 8-8
テーブルイヤのメモリ使いきりダイアログ



テーブルイヤのメモリを使いきってしまった場合、次のいずれかの方法でシミュレーションの実行を継続することができます。

- Working Model 2D の他のドキュメントを閉じてテーブルイヤに割り当てるメモリを増やします。
- Working Model 2D に割り当てるメモリを増やします（A-1 ページの「Working Model 2D に利用できるメモリの増加」を参照）。
- テーブルイヤを繰り返し使ってシミュレーションの実行を継続します。
- シミュレーションのタイムステップを大きくして、フレーム間のスペースを増やします。フレーム間のスペースを大きくすると、テーブルイヤでより長くシミュレーションを記録することができます。この場合、高精度モードでシミュレーションを実行しなければなりません。詳しくは付録 A「技術情報」を参照してください。

記録できる範囲を超えてシミュレーションを実行

シミュレーションの記録に割り当てられたメモリが一杯になった場合、シミュレーションを停止するか、最初のフレームの記録を削除してシミュレーションを継続することができます。

既存のフレームを上書き

記録された最初のフレームを削除すると何が起きるでしょうか。テーブルイヤの容量を 100 フレームとします。テーブルイヤを使い切ってもシミュレーションを継続して、160 フレーム目で停止した場合、シミュレーションを逆再生したとき第 60 フレームまでは逆再生できますが、最初のフレームまでは逆再生できません。フレーム 1 から 60 まではフレーム 100 から 160 によって上書きされたためです。

ツールバーのリセットをクリックすると、ゼロフレームに戻ります。

複数のファイルに分割

最初のフレームを削除せずにシミュレーションを継続することもできます。

1. 現在のシミュレーションをファイルに保存します。

方法は「8.10 シミュレーションの保存」を参照してください。

2. テーププレイヤーコントロールを最後のフレームに移動します。

テーププレイヤーコントロールについては「8.3 テーププレイヤーコントロールの使用」を参照してください。

3. ワールドメニューから開始位置の指定を選択します。

このコマンドを選択すると現在のシミュレーションの履歴が削除され、オブジェクトの位置や速度などはそのまま、最後のフレームが最初のフレームになります。

4. 別の名前でファイルを保存します。

この方法だと、以前に保存した履歴を誤って上書きしてしまうことがあります。

5. シミュレーションの実行を継続します。

前に保存したファイルに最初のフレームからのデータが入っています。

注記

Working Model 2D へのメモリ割当てを最大限にするには、コンピュータで他のアプリケーションを使用していないことを確認してください。他のアプリケーションを閉じてから、Working Model 2D でシミュレーションを継続します。

既存のシミュレーションの設定を新しいシミュレーションに使用

シミュレーションの現在の条件を新しいシミュレーションの初期条件として使用することができます。

1. 設定したい開始位置にフレームインジケータをドラッグします。
2. ワールドメニューから開始位置の指定を選択します。

現在のフレームが新しい初期条件のゼロフレームになります。元の初期条件は失われます。シミュレーションはこの新しいスタートポイントから再計算されます。

古い設定をまた使いたい場合は、新しい条件を設定する前に、シミュレーションに別の名前をつけて保存してください。

8.6 スクリプトの実行

Working Model 2D では Working Model Basic (WM Basic) で記述したスクリプトやツールを使用することができます。スクリプトは Working Model 2D の機能を拡大する強力なツールとなります。

次のようにしてスクリプトを実行します。

1. スクリプトメニューから実行を選択します。

ファイル検索ダイアログが表示されます。

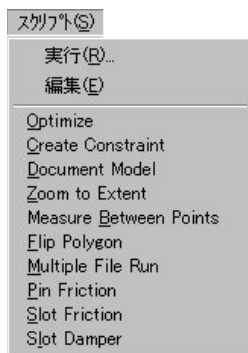
2. ツールファイルまたは実行したいスクリプトが入っているファイルの場所を指定します。
3. 開くをクリックします。

Working Model 2D メニューにスクリプトやツールを追加

よく使用するツールやスクリプトを Working Model 2D メニューに追加して、1 つの機能のようにメニューから立ち上げることができます (図 8-9)。

図 8-9

Working Model 2D メニューに追加したスクリプト



スクリプトメニューにスクリプトやツールを追加する方法については、『Working Model Basic User's Manual』を参照してください。

スクリプトの作成と編集

編集することができます。CDROM に含まれる『Working Model Basic User's Manual』を参照してください。

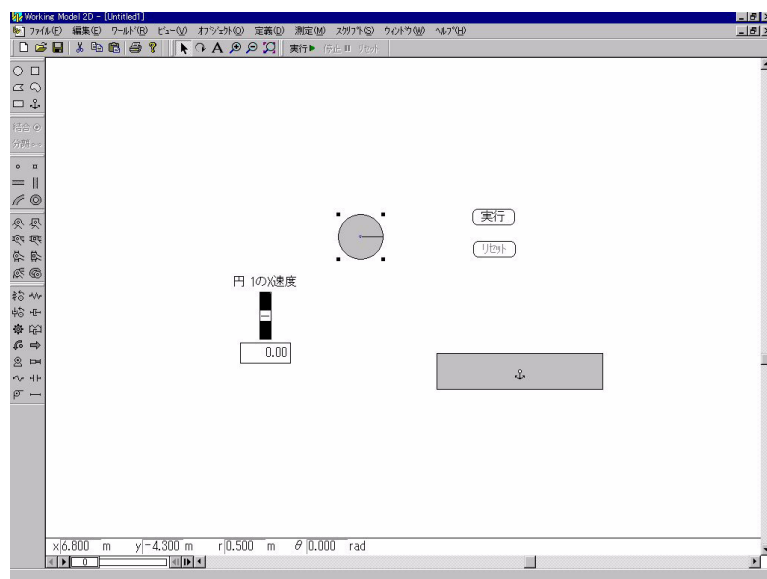
8.7 シミュレーションのモード

シミュレーションは編集モードか実行モードで実行することができます。

編集モード

Working Model 2D のデフォルトは編集モードです。編集モードではシミュレーションを編集したり実行するためのすべてのメニューやツールバーを使うことができます。

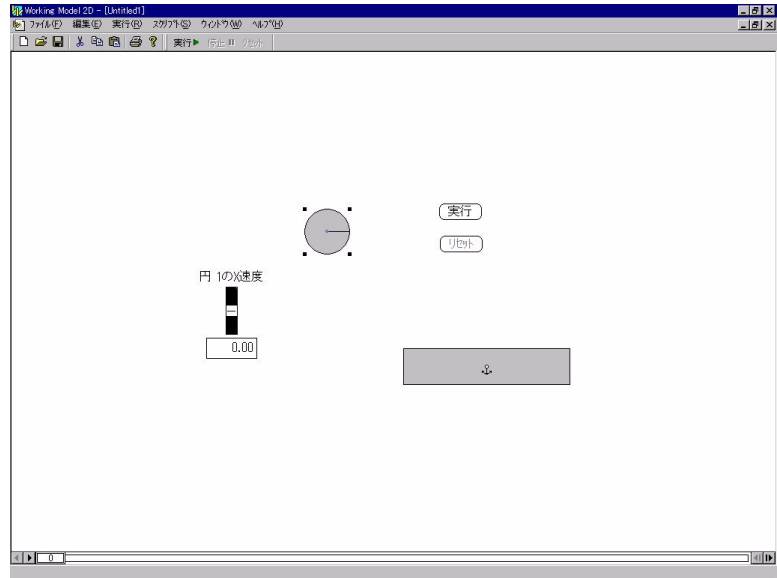
図 8-10
編集モード



実行モード

実行モードではツールバーは非表示になっており、画面上のドキュメントのスペースを広くとってあります。メニューの数も少なくなっていますが、シミュレーションの実行に必要なコマンドはすべてこのメニューに含まれています。

図 8-11
実行モード



次のようにして実行モードでシミュレーションを実行します。

1. 編集メニューから実行モードを選択します。
メニューやコマンド（ファイル、編集、実行）が少なくなります。
2. ワールドメニューから実行を選択します。
3. ワールドメニューからリセットを選択します。
4. ファイルメニューから閉じるを選択します。

シミュレーションを表示し終わったら、シミュレーションを閉じて、他のシミュレーションにメモリを割り当てるようにしてください。

5. 編集メニューから編集モードを選択して、編集モードに戻ります。

実行モードで保存されたシミュレーションは、シミュレーションを編集しないユーザーにとって最適です。

8.8 参照フレーム

参照フレームオブジェクトとして選択されたオブジェクトは、他のオブジェクトがその周囲を移動する間も画面上で静止したままです。Working Model 2D ではどのオブジェクトでも現在の参照フレームに選択することができます。デフォルトの参照フレームは背景またはワールドです。

たとえば太陽系のモデルでは通常、太陽を参照フレームにして、他の惑星が太陽の周りを運動します(実際そうですが)。地球を参照オブジェクトとして選択すると、太陽系をコペルニクスの視点で見たようになります。ワークスペース上で地球が静止オブジェクトとなり、その他の惑星と太陽が地球の周りを運動します。

注： Working Model 2D では参照フレームを定義すると、シミュレーション内に「基準点」を作成したことになります。モデル内のほかのオブジェクトの座標値には影響しません。どのような参照フレームを定義した場合も、Working Model 2D の測定値はすべてそのまま変わりません。

参照フレームの使用

参照フレームには大きな使い方が 2 つあります。1 つ目は、参照フレームを使って、シミュレーション内のさまざまな視点間をジャンプして移動するという使い方です。参照フレームには現在のスクロールとズームの設定が含まれています。キーボード上のホットキーを使うと参照フレーム間をすばやく移動することができます。新しい参照フレームにはそれぞれ 0 ~ 9 のホットキーが割り当てられます。ホットキーはビューメニューで表示させることができます。

また参照フレームを使うと、シミュレーションをさまざまなオブジェクトビューで表示させることができます。参照フレームはポイントや系の重心、ボディに配置することができます。

回転するオブジェクトから参照フレームを作成した場合、ワールドをオブジェクトの視点から見ることができます。ワールドはそのオブジェクトの周りを回転します。

図 8-12 と図 8-13 に同じ衝突を 2 つの参照フレームから見たものを表示しました。ホーム参照フレーム（ワークスペースメニューから選択できる）と黒い方の円の参照フレームです。このシミュレーションでは摩擦は解除されているため、衝突は弾性的で、参照フレームは回転しません。

図 8-12
参照フレームから見た衝突

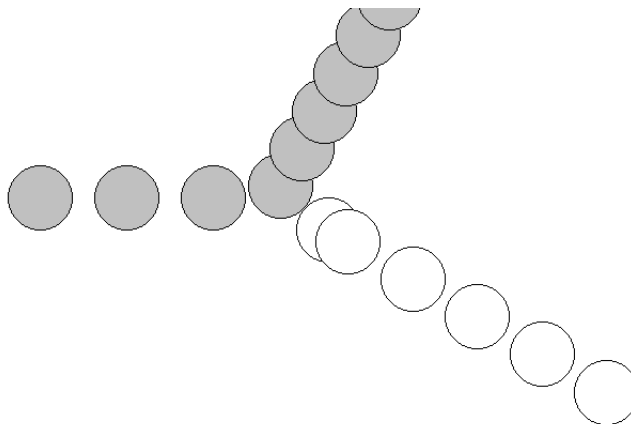
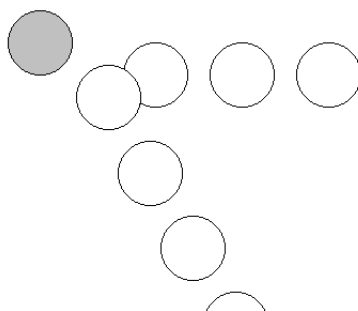


図 8-13
黒い方の円の参照フレームから
同じ衝突を見る



次のようにして新規の参照フレームを作成します。

1. オブジェクトを選択します（ボディまたはポイント）

オブジェクトを選択しない場合は、背景の新規参照フレームが作成されます。

2. ビューメニューから新規参照フレームを選択します。

図 8-14 のような新規参照フレームダイアログが表示されます。

図 8-14
新規参照フレームダイアログ



3. 新規の参照フレームの名前を入力します。

参照フレームの目、 X 軸および Y 軸、あるいはその両方を表示するように設定することもできます。目や XY 軸は参照フレームの原点の中心に表示されます。

4. OK をクリックします。

新規の参照フレームが現在の参照フレームになり、ビューメニューの一番下に追加されます。

参照フレームを切り替えるには、ビューメニューの一番下から希望する参照フレームを選択してください。

Working Model 2D の式言語を使って参照フレームを作成することができます。たとえばボディと一緒に回転しない参照フレームを作成することができます。式の使用について詳しくは、第 10 章「式の使用」および付録 B「式言語リファレンス」を参照してください。

参照フレームの削除

参照フレームの削除はビューメニューから直接行うことができます。

1. ビューメニューから参照フレームの削除を選択します。

これは階層メニューになっています。すべての参照フレームの名前が右側に表示されます。

2. 削除する参照フレームの名前を選択します。
3. OK をクリックします。

その参照フレームが削除されます。

系の重心からシミュレーションを表示

次のようにして、すべてのオブジェクトの重心にある参照フレームからシミュレーションを表示することができます。

1. ビューメニューから系の重心を選択して、系の重心ポイントを作成します。
2. 系の重心ポイントを選択します。
3. ビューメニューから新規参照フレームを選択します。
4. 新規参照フレームの名前を入力します。
5. OK をクリックします。

シミュレーションを実行すると、系の重心の参照フレームからシミュレーションを見ることができます。

8.9 追跡

追跡機能は、ボディと拘束に限り、動くオブジェクトの軌跡を残すことができます。追跡の時間間隔は調整することができます。個々のオブジェクトを追跡することも、すべてのオブジェクトを追跡することも可能です。オブジェクトの軌跡は、アウトライン、重心、ベクトルから選択することができますので、シミュレーションを実行中ずっと物理的アクションの軌跡を追いつけることもできます。

次のようにして追跡をアクティブにします。

1. シミュレーションを設定あるいは開きます。
2. ワールドメニューから追跡を選択します。
3. 追跡サブメニューから追跡の間隔を選択します。

次のシミュレーション実行時にオブジェクトの追跡が行われます。

オブジェクトのどのコンポーネントを追跡するかを設定します。

1. 追跡の挙動を設定するオブジェクトを選択します。

2. ウィンドウメニューから表示設定を選択します。

表示設定ウィンドウが表示されます。

図 8-15
表示設定ウィンドウの追跡オプション



3. 希望する追跡オプションをクリックします。

アウトラインを追跡するか、重心を追跡するように選択してください。
接続を追跡を選択すると、重心ポイントの軌跡を線で結んで表示させることもできます。

選択されたオブジェクトだけを追跡

ボディではデフォルトで「アウトラインを追跡」チェックボックスが選択されているため（表示設定ウィンドウから選択）追跡をアクティブにするとすべてのボディの軌跡が表示されます。1 つまたはそれ以上のオブジェクトだけを追跡したい場合は、追跡をアクティブにした後、すべての拘束とボディを選択して、表示設定ウィンドウで追跡オプションをすべて解除してください。そのあと追跡したいボディや拘束を選択して、そのオブジェクトに対して設定したい追跡オプションをチェックします。

複数の軌跡を表示してシミュレーションを実行

Working Model 2D は、デフォルトでは、シミュレーションの結果に影響するような修正が行われたとき、軌跡を削除します（オブジェクトのプロパティやワールドの設定変更など）。ワールドメニューで軌跡の自動消去を解除すると、軌跡は自動的に削除されず、シミュレーションに複数の軌跡が重なって表示されます。ワールドメニューから軌跡の消去を選択すると、軌跡はすべて削除され、すべてのメーターやインターフェースレイヤ上のすべてのオブジェクトがリフレッシュされます（詳しくは以下を参照）。

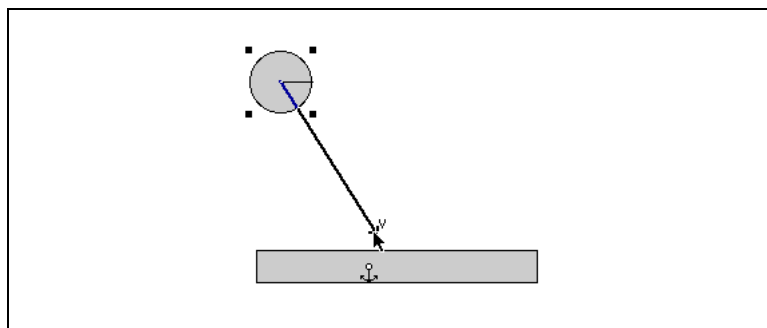
複数の軌跡を表示したシミュレーションの例として、単純な衝突における弾性の影響を見ることにします。次のようにして衝突モデルを作成してください。

1. 円を作成します。

2. ワールドメニューからプリファレンスを選択します。
プリファレンスダイアログが表示されます。
3. 「速度ベクトルのドラッグ」をクリックします。
4. 初期下向速度を選択して、オブジェクトの中心から速度ベクトルをドラッグして円に初期速度を付与します。
5. 長方形を選択してテーブルを作成し、その位置に固定します。

図 8-16 のようなモデルができあがるはずです。

図 8-16
単純な衝突モデル

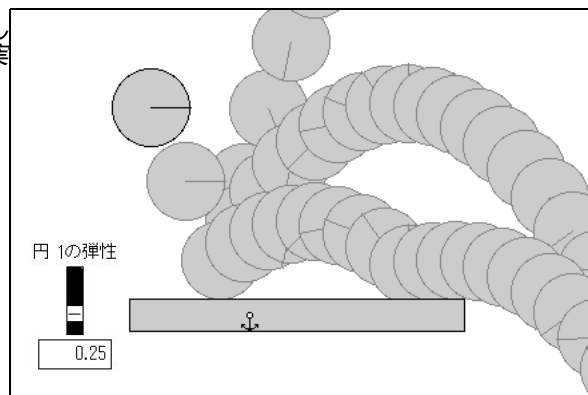


6. テーブルの弾性を 1 に設定します。
プロパティウィンドウで弾性を設定することができます。テーブルを選択し、ウィンドウメニューからプロパティを選択してください。
7. コントロールスライダーでボールの弾性をコントロールします。
ボールにする円形オブジェクトを選択して、(定義メニューの新規コントロールサブメニューから)弾性を選択します。
8. 追跡を 4 フレームごとに設定し、ボールの弾性を 1.0 に設定して、シミュレーションを実行します。
ワールドメニューから追跡を選択すると軌跡をオンにすることができます。
9. 軌跡の自動消去機能をオフにして、毎回衝突の弾性を小さくしながら、何度もシミュレーションを実行します。

ワールドメニューから軌跡の自動消去を選択すると、軌跡の自動消去をオフにすることができます。シミュレーションは図 8-17 のようになっているはずです。

図 8-17

軌跡の自動削除機能をオフにして複数のシミュレーションを実行する



複数の軌跡を最も有効に使用するには、Working Model 2D の作図レイヤの構成を理解する必要があります。軌跡が表示されるレイヤのことをインターフェイスレイヤまたは背面レイヤと呼びます（詳しくは「6.1 物理オブジェクトとインターフェイスオブジェクト」を参照）。メーター、コントロール（スライダー、テキストボックス、ボタン）背景に配置された画像もこのインターフェイスレイヤに配置されています。

軌跡の自動消去をオフにすると、Working Model 2D は以下の場合に軌跡を削除しません。

- ボディや拘束の形状、位置、プロパティ（初期速度、弾性、質量）を変更した場合
- ボディや拘束の追加や削除
- ボディの色やパターンの変更
- ウィンドウのサイズや位置を変更せずに、コントロールやメーターオブジェクトの設定を変更した場合（たとえばコントロールバーのスライドするなど）

軌跡を削除するアクション

インターフェイスレイヤの再作成が必要になるアクションがあります。この場合、軌跡の自動消去がオフになっていても、軌跡は削除されます。たとえば次のようなアクションです（これがすべてではありません）。

- コントロールオブジェクトの位置の変更
- 新しいメーターオブジェクトの作成
- メーターのスケールの手動変更（軌跡の自動消去をオフにすると自動スケール機能はオフされる）

- ウィンドウのズーム

複数の軌跡は次のように使用するのが推奨されます。

1. シミュレーションモデルを作成します。
2. 軌跡の自動消去をオンにして、実験したいパラメーターの範囲でモデルを実行します。

それによってメーターは自動的に測定値の範囲に当てはまるように調整されます。

3. 軌跡の自動消去をオフにし、モデル内のオブジェクトのパラメータをさまざまな変えて、何度も実験を行います。

これで複数のシミュレーションの結果をグラフィックに表示することができます。

8.10 シミュレーションの保存

シミュレーションファイルを保存すると、Working Model 2D はシミュレーションに関連するあらゆるテープ履歴を自動的に保存します。保存されたシミュレーションは、コンピュータが再計算する必要がないため、速く動作します。

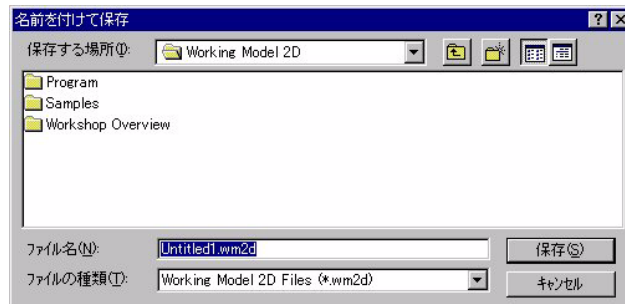
次のようにしてシミュレーションとテープ履歴を保存します。

1. ファイルメニューから上書き保存を選択します。

図 8-18 のような名前をつけて保存ダイアログが表示されます。シミュレーションをすでに保存してある場合は、作業を中断しなくても上書き保存することができます。

図 8-18

名前をつけて保存ダイアログ



2. 保存するフォルダを選択します。
3. ファイル名を入力して、保存をクリックします。

シミュレーションモデル、初期条件、およびシミュレーションの時刻暦がディスクに保存されます。このシミュレーションを開くと、テーブルプレイヤーのメモリに保存された時刻暦が読み込まれて、シミュレーションは最初から高速に動作します。

8.11 シミュレーションの印刷

Windows システムがサポートするどのプリンタでも、印刷コマンドを使ってシミュレーションのフレームを印刷することができます。

シミュレーションウィンドウ内のすべてのオブジェクトを印刷することができます。ウィンドウのズームツールでプリントアウトしたいものを拡大または縮小してください。

印刷

ウィンドウ内のシミュレーションのズームや位置を調整したら、印刷の準備は完了です。

次のようにしてシミュレーションを印刷します。

1. シミュレーションを開きます。
2. ファイルメニューから印刷を選択します。

プリンタの印刷ダイアログが表示されます。デフォルトのプリンタ設定が表示され、印刷するプリンタの選択、印刷するページ数、部数、プリンタではなくファイルに出力するかどうか、コピーを照合するかどうか指定できるようになっています。

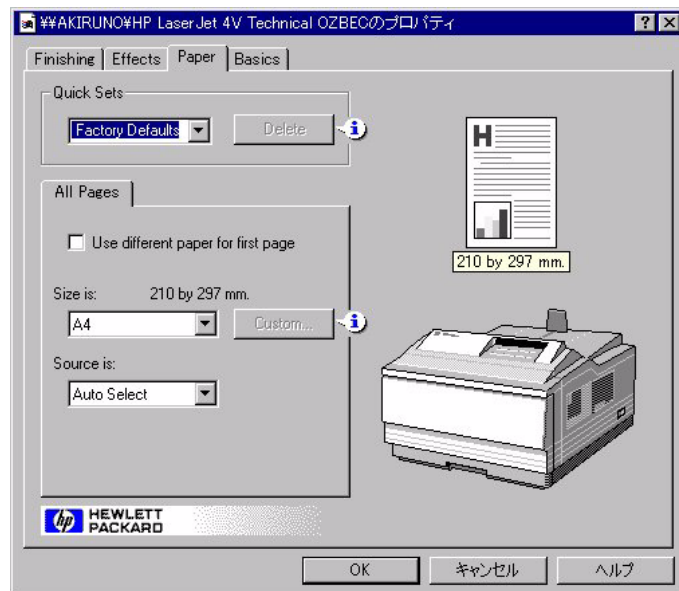
図 8-19
Windows の印刷ダイアログ



3. プロパティボタンをクリックして、その他の印刷オプションを選択します。

プロパティダイアログでは、上のタブをクリックして、紙の処理、グラフィック印刷、ポストスクリプト印刷（可能な場合）、その他プリンタ固有の設定オプションを設定することができます。

図 8-20
Windows の印刷プロパティダイアログ



4. OK をクリックします。

8.12 追跡されたフレームの印刷

追跡機能をオンにすると、シミュレーション内の運動の進行状況を印刷することができます。

1. シミュレーションを作成するか開きます。
2. 追跡機能をオンにして、シミュレーションを実行します。
3. シミュレーションを停止します。
4. ファイルメニューから印刷を選択します。

シミュレーションの追跡されたフレームが印刷されます。

注：複数のシミュレーションの実行による軌跡が何本もある場合、Working Model 2D は一番最後のシミュレーションの軌跡だけを印刷します。

8.13 内部処理についての簡単な説明

このセクションでは Working Model 2D がどのようにシミュレーションにアプローチするかを簡単に説明します。8-30 ページの「シミュレーションの便利なヒント」のセクションには、シミュレーションを効率よく、高速に、正確にするためのヒントが紹介されています。

付録 A「技術情報」にはユーザーのためのさらに詳しい興味のある情報があります。

タイムステップ

Working Model 2D はシミュレーションのすべてのフレームをある時刻のポイントで表示します。100 分の 1 秒ごとに新しいフレームが計算される場合、最初のフレームは時刻 $t = 0\text{s}$ のときの、2 番目のフレームは $t = 0.01\text{s}$ のときの、3 番目は $t = 0.02\text{s}$ のときのシミュレーションを表します。

このフレーム間の時間間隔を「タイムステップ」または「デルタ t 」(Δt)と呼びます。シミュレーションの精度はある程度 Δt によって影響を受けます。

通常 Δt が小さいと、シミュレーションの速度は遅く、より正確になります。反対に Δt が大きいと、シミュレーションは高速になり、精度は下がります。

シミュレーションによって必要なタイムステップは異なります。野球のボールを投げるシミュレーションの場合、タイムステップを 0.01 秒ぐらいに設定すればよい結果が得られるでしょう。しかしこのタイムステップは太陽系のシミュレーションに対しては適当ではありません。1 フレーム 0.01 秒ぐらいの速度では、太陽の周りを回転する地球の動きを見るのには時間がかかりすぎます。

Working Model 2D は、オブジェクトのサイズや質量を元にして、シミュレーションごとに最適なタイムステップを自動的に選択します。必要に応じてこの自動選択機能をオフにして、好きな値を入力することもできます。

次のようにして Δt の値を変更します。

1. ワールドメニューから精度を選択します。

次のようなダイアログボックス (図 8-21) が表示されます。

図 8-21
シミュレーション精度ダイア
ログ



2. タイムステップの値を入力します。

自動の隣のラジオボタンは解除されています。

自動タイムステップを使用するには、自動の横にあるラジオボタンをクリックしてください。Working Model 2D が選択したタイムステップの値がダイアログで表示されます。

3. OK をクリックします。

シミュレーションの精度

Working Model 2D では、シミュレーションを作成するときに使用する数値アルゴリズムを完全にコントロールすることができます。便宜上、このオプションは 2 つの精度モードに分類されています。

- 高速
オブジェクトのオーバーラップが可能です。フレームごとの計算時間が比較的一定です。非弾性衝突はリバウンドします。速度と加速度を確保するため、ワーニングは最小限しか表示されません。
- 高精度
オブジェクトが大きくオーバーラップするのを防止します。非弾性衝突は正しく解決されます。摩擦は正確に解決されます。

これ以外のパラメータの組み合わせを使ってカスタムの精度モードを作成することもできます。シミュレーションパラメータのコントロールについて詳しくは、付録 A「技術情報」を参照してください。

次のようにして精度モードを選択します。

1. シミュレーションをリセットします。
2. ワールドメニューから精度を選択します。

シミュレーション精度ダイアログが表示されます (図 8-21)。

3. 希望する精度モードをクリックしてください。

ワーニングとその対応策

Working Model 2D は、モデルが物理的に不可能な構成であることや、不安定なシミュレーションとなることがわかった場合、シミュレーションを一時停止してワーニングを表示します。このようなワーニングは実行時にはオフにしたり、シミュレーションの始めに精度ダイアログ (ワールドメニューにある) でオフにすることができます。より正確で効率のよいモデルを作成するために、シミュレーションを修正してもかまいません。

積分の精度不足

積分の精度不足ワーニングは、ボディに与えられた速度や加速度がシミュレーションに設定されたエラー許容差を越える可能性があることを指摘します (詳しくは「A.5 Working Model 2D の誤差制限方法」を参照)。このワーニングは実行時にはオフにすることができますが、実行してもシミュレーションの残りの部分は非常に不正確で不安定なものになるでしょう。

初期位置でのボディオーバーラップ

初期位置でのボディオーバーラップワーニングは次のすべての条件が満たされたときに発生します。

- シミュレーションの最初に 2 つのボディがオーバーラップしている。
- その 2 つのボディはジョイントやギアなどで直接結合されていない。
- その 2 つのボディには衝突なしが設定されていない。

この場合、Working Model 2D はこの 2 つのボディが衝突して、2 つを分離するのに十分な力を発生させようとしており（「A.6 シミュレーション精度ダイアログとシミュレーションパラメータ」を参照）、予測できない結果が生じる可能性があると考えられます。

シミュレーションの始めにオーバーラッピングしている 2 つのオブジェクトには衝突なし（オブジェクトメニューから選択）を設定しなければなりません。2 つの接近したオブジェクトがあって、相互作用を起こすことになっているモデルを作成する場合、2 つのオブジェクトがシミュレーションの最初に衝突していないことを確認してください。

シミュレーションの最初に特定のオブジェクトが衝突しているかどうかを調べるには、接触力を測定します。たとえばオブジェクトを選択して、その接触力を示すベクトルを表示させます（7-20 ページ「ベクトルの表示」を参照）。シミュレーションの第 1 フレームでオブジェクトから力ベクトルが出ている場合、オブジェクトはオーバーラップしています。

矛盾する拘束

矛盾する拘束ワーニングは、ある 1 組の拘束が実世界では存在しない場合に精度モードで発生します。たとえばモーターが背景に固定されているバーに接続されているような場合、どちらかの拘束は矛盾しています。このような場合に Working Model 2D は警告を表示します。

過拘束

過拘束ワーニングは、多すぎる拘束を使って固定構造物を背景に固定している場合に精度モードで表示されます。2 次元の固定構造物には 3 次元の自由度があります（X、Y、回転）。この場合、3 次元以上の自由度を拘束するジョイントを使用すると、1 つの拘束が過剰になります。

橋梁のような構造物は、よく片側をピンジョイント、もう片側をスロットジョイントで地面に固定して作成されます。ピンジョイントは 2 次元の自由度を拘束し、スロットジョイントは 1 次元の自由度を拘束します。この場合もしもピンジョイントが 2 つ使われていれば、拘束は 4 つになり、拘束が 1 つ余分になります。

8.14 シミュレーションの便利なヒント

シミュレーションをより速く実行する

モデルにわずかな変更を加えるだけで、Working Model 2D が行う計算の数を少なくして、シミュレーションを十分な精度でより速く実行することができます。次に示すのはシミュレーションをより速く実行するために、モデルに加えることができる変更の例です。

- ・ 拘束シミュレーション法を使って、安定したシミュレーションを妥当な精度で実行できる範囲でタイムステップを大きく設定します。
- ・ 接触しているオブジェクトの数を減らします。衝突する必要がないオブジェクトにはすべて衝突なしコマンド（オブジェクトメニューから選択）を設定します。これによって Working Model 2D は多くの衝突テストを行わずに済みます。接触しているかどうかをビジュアルに調べるには、定義 -> ベクトル -> 接触力を選択します。
- ・ シミュレーションで摩擦が不要な場合は、摩擦係数を 0.0 に設定します。
- ・ 複雑なオブジェクトを作成する場合、固定ジョイントを使用します。2本のピンジョイントでオブジェクトを固定すると、シミュレーションへの負担が大きくなり、過拘束を招きます。
- ・ ロープよりもできるだけロッドを使用します。
- ・ ピン固定のボディよりもできるだけロッドを使用します。ロッドで固定された小さなボディで構成されたトラスは、ピン固定された長方形で構成されたトラスよりもシミュレーションを速く行うことができます。
- ・ ウィンドウのサイズを小さくします。ウィンドウが小さいとグラフィックの処理時間を短くすることができます。

矛盾する初期速度を回避

Working Model 2D ではスマートエディタが位置的整合性を保ちます。速度の整合性は維持されていません。オブジェクトが最初、指定方向に移動することができない場合、非整合な速度で動く場合があります。背景にピンで固定されたボディは、そのボディにピンに垂直ではなくピンジョイントの方向に初期速度が与えられている場合、非整合な速度を持つことになります。シミュレーションの最初のフレームで、オブジェクトに非整合な速度を持った大きな修正力が作用します。

特定のフレームでスピードが低下するシミュレーション

モデルの中で、多くのオブジェクトが接触したり、オブジェクトが速く衝突するような構成に達すると、シミュレーションの速度が低下します。

- 衝突が迫ってくると、Working Model 2D は衝突をモデルするのに適切なタイムステップをできるだけ正確に決定しなければならないため、計算量が増えます。
- 加速度が大きくなると、Working Model 2D はシミュレーションの精度を維持するため¹、自動的に小さい積分タイムステップを選択します。アニメーションのタイムステップはアニメーション全体で一定であるため、フレームごとの計算の数が増えて、フレーム間の遅れが大きくなります。

このためたくさんのオブジェクトが衝突したり加速度が増したりして、モデルが「難しい」構造になると、Working Model 2D は精度を維持するために積分時間を小さくします。するとアニメーションフレームごとの計算の数が増えるため、結果的にシミュレーションが遅くなったように見えます。

シミュレーションの時間をコントロール

一時停止ダイアログを使うとシミュレーションをいつでも自動的に停止することができます。ダイアログボックスで、いずれかの一時停止フィールドに「time」という語を使って式を入力してください。その後、ポップアップメニューで条件が満たされたときに起きるアクションを指定します（停止、一時停止、ループ、リセット）。たとえば「time > 1.0」や「frame() = 30」などと指定することができます。休止条件に等号「=」を使う場合は、その条件が実際に発生することを確認してください。タイムステップを 0.97 秒に設定した場合、時間は絶対に 1.0 秒に等しくなることはありません（8-6 ページの「一時停止」を参照）。

監視なしでシミュレーションを実行

複雑なモデルを作成するときは、シミュレーションの結果を求めるために Working Model 2D を長時間実行しなければならない場合があります（たとえば夜中にシミュレーションを実行させるなど）。

監視なしでシミュレーションを実行する場合、Working Model 2D が中断なしに計算を継続できることを確認しておいてください。具体的には次のことです。

- シミュレーションを実行して結果を保存するのに十分なメモリがアプリケーションに割り当てられているか。

¹。「ロックされた」タイムステップを選択すると、積分タイムステップを一定に保つことができます。詳しくは A-14 ページの「積分タイムステップ」を参照してください。

- Working Model 2D が監視なしで計算を継続できるように、ワーニングダイアログボックスが使用不可になっているか。

モデルに関連するワーニングは次のようにして使用不可にします。

1. ワールドメニューから精度 ... を選択します。

シミュレーション精度ダイアログが表示されます (図 8-23)。

2. 詳細設定ボタンをクリックします。
3. ワーニングチェックボックスのチェックマークをすべて取ります。

アプリケーションメモリの増やし方

Working Model 2D は、シミュレーション履歴を含むシミュレーションデータをメモリに保存します。アプリケーションに割り当てられたメモリスペースは大きくすることができます。「A.1 メモリを最大限に活用」を参照してください。

メモリスペースとシミュレーション履歴

メモリ不足でシミュレーション全体を保存することができないかもしれない場合は、実行を開始する前に 2 つの選択肢から選択することができます。

オプション 1: メモリが足りなくなったらすぐに Working Model 2D にシミュレーションを停止させます。その後でそこまでの結果を検討します。

1. ワールドメニューからプリファレンスを選択します。

プリファレンスダイアログが表示されます (図 8-7)。

2. 「テーププレイヤを使い切った時には繰り返し」オプションのチェックマークを解除します。

この設定のとき、Working Model 2D はメモリが足りなくなると自動的にシミュレーションを停止し、そこまでのシミュレーション履歴を保存します。必要であればその履歴を破棄してシミュレーションを継続することもできます。詳しくは、8-11 ページの「記録できる範囲を超えてシミュレーションを実行」を参照してください。

オプション 2: テーププレイヤを使い切ったら繰り返し、必要なだけシミュレーションを継続します。このオプションは長い長い過渡状態の後 (計算に時間がかかる) ダイナミックな系が安定した状態を保つかどうかを観察したい場合などに便利です。

1. ワールドメニューからプリファレンスを選択します。

プリファレンスダイアログが表示されます (図 8-7)。

2. 「テーププレイヤを使い切った時には繰り返し」オプションにチェックマークを入れます。

こうするとシミュレーションは停止するまで永遠に実行を続けます。シミュレーションに自動一時停止を設定したい場合は、8-31 ページの「シミュレーションの時間をコントロール」を参照してください。

スクリプトを使って監視
なしの操作をコントロール

Working Model Basic を使って、Working Model 2D に複数のシミュレーションの実行を計算させながら、測定データや結果を保存するようなプログラムを作成することができます。プログラム言語についての説明は、CDROM に含まれる『Working Model Basic User's Manual』を参照してください。

衝突を最小限にする

ある 2 つのオブジェクトを衝突させるかどうかをコントロールすることができます。デフォルトでは、ジョイントやギアで直接結合されているオブジェクト以外は、すべてのオブジェクトが衝突するように設定されています。ユーザーは複数のオブジェクトを衝突させるかどうか、すべて制御できるようになっています。設定方法は「3.6 ボディ同士の衝突のコントロール」を参照してください。

シミュレーションで多くのオブジェクトがオーバーラップしている場合、Working Model 2D はオーバーラップしたオブジェクト組ごとに衝突力を計算します。この計算は無駄ではありませんが、シミュレーション時間が長くなり、不安定なシミュレーションを引き起こす原因となる場合があります。衝突させたいオブジェクトだけが衝突する設定になっていることを確認してください。

オブジェクト数が多いモデルの場合（20 個以上）ワークスペース内のすべてのオブジェクトを選択して（編集メニューのすべて選択を使用）衝突なし（オブジェクトメニューから選択）を選択してください。その後、衝突させたいボディの組を選択して、それらに対して衝突コマンドを適用します。

オブジェクトの食い込みの防止

Working Model 2D ではオブジェクト同士をわずかに食い込ませることができます。この食い込みの長さはワールドメニューの中にある精度コマンドでコントロールすることができます。

2 つの高速移動中のオブジェクトが衝突すると、必要以上の長さで重複することに気づく場合があるかもしれません。これはオブジェクトが新しい計算フレームごとに長い距離を移動したためです。この問題はいくつかの方法で解決することができます。

タイムステップモードを可変に設定すると、2 つの小さいタイムステップで計算した結果と 1 つのタイムステップで計算した結果とを比較します。このため高精度シミュレーションモードを使用すれば、食い込みに関するほとんどの問題を解決することができます。

タイムステップを小さくすると、ほとんどの場合、シミュレーション結果を改善することができます。小さいアニメーションステップか、小さい積分タイムステップのいずれかを使用することができます。

非弾性衝突の後で離れるオブジェクト

弾性ゼロのオブジェクトが衝突して大きくオーバーラップする場合、わずかな修正力を作用させて、シミュレーション精度ダイアログのオーバーラップエラーフィールドで指定されたオーバーラップの大きさに戻します。この力はオブジェクト同士を引き離す傾向があります。弾性がゼロのオブジェクトは、前のセクションで説明した方法を使ってリバウンドしないことを確認することができます。

頑強な衝突のために固定ジョイントを使用

Working Model 2D は内部的に凹形多角形を凸面部分に分割します。この凸面部分は、衝突検出アルゴリズムにおいて、接触するオブジェクト間のどこにどの方向に力が作用するかを求めるために使われます。

非常にまれに、凹形多角形が凹形多角形と衝突するときに、接触力の位置と方向の選択が最適でない場合があります。これは多角形の 1 つを選択して、ベクトルメニューから接触力を選択することで調べることができます。1 つの凹形多角形を固定ジョイントと凸面、長方形を使って組み立て直すことにより、頑強度を高めることができます。

第 9 章

ファイルとデータのインポートとエクスポート

この章では次の方法について説明します。

- DXF CAD 形状のインポートとエクスポート
- メーターデータのエクスポート
- ムービーやアニメーションのエクスポート
- DDE を使ったりアルタイムリンクの作成

9.1 使用できるエクスポート / インポートのオプション

エクスポート

Working Model 2D はさまざまな形式でデータをエクスポートすることができます。

DXF

Working Model 2D のシミュレーションは業界標準の DXF 形状ファイルで保存することができます。DXF 形式は、CAD システム間でのデータ交換によく使用されています。DXF ファイルには運動情報は含まれておらず、それよりもオブジェクトの形状や相対位置が記述されています。

メーターデータ

メーターのデータはすべてタブ区切りのテキストファイルでエクスポートすることができます。このデータはワープロ、表計算、グラフィックアプリケーションで使用することができます。

メーターデータは、メーターを選択し、編集メニューからデータのコピーを選択しても取り出すことができます。メーターからのデータはクリップボードに貼り付けられます。このデータはタブ区切りテキストをサポートするアプリケーションであればどのアプリケーションにも貼り付けることができます。

Video for Windows

Video for Windows はアニメーションのデータフォーマットです。

インポート

Working Model 2D は次のフォーマットのデータをインポートすることができます。

DXF

既存の CAD 画像は DXF 形状ファイルとして Working Model 2D にインポートすることができます。DXF フォーマットは CAD システム間でデータを交換するときによく使用されています。

9.2 エクスポートするデータ形式を選択

Working Model 2D のエクスポートオプションは、作成するデータのタイプによって分類することができます。

シミュレーションデータ

シミュレーションの数値データをエクスポートしたい場合、メーターデータをエクスポートします。数値データには、ジョイントへの力や、オブジェクトの角加速度など、Working Model 2D のシミュレーションで測定できるものがすべて含まれます。

オブジェクトの形状

オブジェクトの形状にはシミュレーション内のオブジェクトの正確な形状とサイズが含まれます。この情報を他のアプリケーションに転送するのに最も適しているのは DXF フォーマットです。ほとんどの CAD (コンピュータ支援設計) プログラムは DXF フォーマットをサポートしています。

アニメーション

アニメーションを取り出すには、Video for Windows エクスポートタイプを使います。

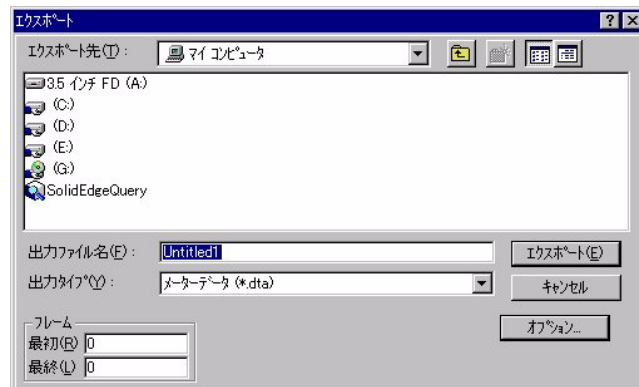
9.3 エクスポートの操作手順

Working Model 2D がサポートするさまざまなタイプのデータをエクスポートするには、次のように操作します。

1. Working Model 2D のシミュレーションを作成するか開きます。
2. ファイルメニューからエクスポートを選択します。

図 9-1 のようなダイアログボックスが表示されます。

図 9-1
エクスポートダイアログ



3. タイプの横にあるメニューをクリックして、エクスポートしたいデータのタイプを選択します。

Working Model 2D がサポートするエクスポートデータのタイプがリスト表示されます。その時点で使うことができないオプションは文字が薄く表示されています。

4. エクスポートオプションボタンをクリックして、使用するエクスポートデータタイプのオプションを指定します。

各エクスポートタイプには、それぞれのタイプごとのオプションが表示されています。

5. 最初と最後のフレーム番号を入力します。

現在のシミュレーションの最初と最後のフレームが最初と最後のフレーム欄に表示されます。シミュレーションをまだ実行していない場合、最後のフレームはデフォルトで100と表示されます。DXFなど、シングルフレームのエクスポートタイプを選択した場合、最後のフレームはなく、最初のフレームが現在のフレームになります。

6. ファイル名を入力して、エクスポートをクリックします。

進行状況ダイアログが画面に表示されて、エクスポートされたデータがファイルとして保存されます。

Working Model 2D のワークスペースの設定は、エクスポートするときに適用されます。メーターデータをエクスポートするとき、数値の形式は数値および単位ダイアログの現在の設定から取ります。

9.4 CAD 形状を DXF ファイルでインポート

DXF ファイル形式は、AutoCAD その他のパッケージの間で情報交換を行うために AutoDesk によって開発されたものです。DXF ファイルには、CAD 作図のすべてのオブジェクトの形状情報が含まれます。

Working Model 2D は DXF CAD ファイルを直接インポートすることができます。このため Working Model 2D で作図するのが難しい複雑な形状を持ったモデルをシミュレートする場合や、一度動かしてみたい CAD データがある場合などは、CAD プログラムを使ってモデルを設計してから、そのデータを DXF ファイルにエクスポートして、Working Model 2D にインポートします。

CAD パッケージは図面を処理するプログラムであり、Working Model 2D は物理的オブジェクトを処理するプログラムであるため、情報が完全にすべて転送されるわけではありません。たとえば CAD ドキュメントのラインには物理的に対応するものがないため、多角形や曲線スロットなどの Working Model 2D オブジェクトに変換しなければなりません。この変換作業は Working Model 2D 内で行うことができます（9-8 ページの「ラインを物理的オブジェクトに変換」を参照）。

DXF ファイルを Working Model 2D に取り込む

CAD 図面を Working Model 2D に取り込むには、通常、次の手順で操作します。

1. CAD プログラムで図面を DXF ファイルとして保存します。図面の準備については、9-7 ページの「DXF ファイルのインポートについての重要事項」を参照してください。
2. Working Model 2D にファイルをインポートします。手順については後に説明があります。
3. 必要な場合、選択されたラインを多角形、曲線スロット、およびその他の Working Model 2D オブジェクトに変換します。9-8 ページの「ラインを物理的オブジェクトに変換」を参照してください。
4. 個々のポイントを対応するボディに配置します（9-10 ページの「ボディにポイントとスロットを配置」を参照）。必要に応じてジョイントやその他の拘束を作成します。
5. オブジェクトに必要なプロパティを付与します（ボディなど）。ボディ間の衝突指定を確認します（「3.6 ボディ同士の衝突のコントロール」を参照）。
6. シミュレーションを実行する。

Working Model 2D の DXF 変換規則

DXF ファイルには図面が入っていますが、Working Model 2D が処理するオブジェクトは物理的モデルのコンポーネントである点に注意してください。このため、Working Model 2D は DXF ファイルをインポートするときに変換規則を適用する必要があります。Working Model 2D は、DXF ファイル内で認識したエンティティに対して、ボディやポイントオブジェクト、ラインセグメントを作成し、現在の単位系を使って現在のワークスペースに配置します。

この自動変換の後、Working Model 2D を使ってシミュレーションを実行する前に、インポートしたモデルを編集しなければならない場合があります。たとえばオリジナルの CAD 図面にはピンジョイント、スロットジョイント、ばねなどの物理的表現は含まれていません。図面には形状は含まれていますが、意味は含まれていません。ここでは図面であったものに意味を付与する作業を行わなければならないわけです。9-8 ページの「ラインを物理的オブジェクトに変換」を参照してください。

Working Model 2D は DXF ファイルのブロックとエンティティセクションを認識します。変換規則は次のとおりです。

- ブロックの 1 つのコピーだけが Working Model 2D にインポートされます。各コピーはそれぞれのローカル座標に基づいて配置されます。通常、原点の近くに配置され、オリジナルの図面から少し離れて表示されることがあります。ブロックの複製を避けるのは、インポート時間を短縮するためだけでなく、シミュレーションモデルを単純にするためです。必要な場合は、ブロックに含まれているオブジェクトを選択して、

物理的オブジェクトに変換し（9-8 ページの「ラインを物理的オブジェクトに変換」を参照）Working Model 2D に配置することもできます（必要に応じて複製します）。

- 円エンティティは円ボディとしてインポートされます。
- 3 個以上の頂点で構成される多角形とポリラインは 2 次元の閉じた直線多角形としてインポートされます。2 つの頂点で構成されるポリラインは無視されます。
- DXF ファイルの開ポリラインは閉多角形ボディに変換されます。
- スプラインまたは曲線のポリラインは直線多角形に変換されます。曲線の円周を持つ多角形をインポートしたい場合は、DXF ファイルにエクスポートする前に、CAD プログラムで曲線部分を多重ファセット直線ポリラインで近似しておくことをお勧めします。
- 円弧は曲線を近似する連続したラインセグメントとしてインポートされます。いったんラインとしてインポートした円弧は、その後ユーザーが多角形または曲線スロットに変換しなければなりません。詳しくは 9-8 ページの「ラインを物理的オブジェクトに変換」を参照してください。
- スプラインはオリジナルの頂点（コントロールポイント）とスプラインフィット頂点を持つ DXF フォーマットで保存されます。つまりスプラインは細かいポリラインまたは多数の頂点を持つ多角形として記録されます。CAD プログラムによっては、1 つのスプラインに何個のフィットポイントを入れて計算するかを指定できるものもあります（たとえば AutoCAD ではこの個数を SPLINE SEGS コマンドでコントロールできるようになっています）。Working Model 2D はこれらの頂点をすべてインポートして、オブジェクト全体を多角形に変換します。
- 3D ポリラインは読み込まれますが、Working Model 2D は頂点の 3 番目の座標をすべて無視します。それによって Working Model 2D は 3D モデルの 2D 投影を効率よくインポートします。3D 多角形をインポートする場合は、先に CAD プログラムで 3D モデルのオブジェクトを一番よく表現する透視図を選択しておいてから、DXF ファイルにエクスポートして、Working Model 2D に転送します。
- ラインはラインとしてインポートされます。しかし Working Model 2D ではラインは物理的プロパティを持ちません。Working Model 2D にラインが存在するのは、CAD パッケージとのインターフェースを便利にするためだけです。Working Model 2D ではラインのサイズを変更したり移動することができますが、シミュレーションには影響しません。インポートしたラインは、ユーザーが多角形か曲線スロットに変換しなければなりません。詳しくは 9-8 ページの「ラインを物理的オブジェクトに変換」を参照してください。
- ポイントはポイントオブジェクトとして Working Model 2D にインポートされます。最初はすべてのポイントが背景に配置されます。モデルを再構築する方法については、9-10 ページの「ボディにポイントとスロットを配置」を参照してください。

単位系の割り当て規則

Working Model 2D は、数値および単位ダイアログボックスに定義された現在の単位系に基づいて、DXF ファイルの数字に自動的に単位を割り当てます。たとえばインチで表記された DXF ファイルをインポートするときは、インポートする前に、Working Model 2D の長さの単位系がインチに設定されていることを確認してください。

DXF ファイルのインポート

次のようにして DXF 形状ファイルを Working Model 2D にインポートします。

1. 単位系の設定がインポートする DXF ファイルと一致していることを確認します。
2. ファイルメニューからインポートを選択します。

インポートダイアログメニューが表示されます (図 9-2 を参照)。

図 9-2
インポートダイアログ



3. インポートしたいファイルのタイプとして DXF を選択します。
4. インポートするファイルを選択します。
5. インポートをクリックします。

インポートされたオブジェクトは直接ワークスペースに配置されます。
DXF ファイルのサイズによっては、インポートに多少時間がかかるかもしれません。インポートの状況は進行状況ダイアログで見ることができます。

DXF ファイルのインポートについての重要事項

複雑な CAD 図面から作成された DXF ファイルは非常に大きくなる場合があります (これは特にバイナリファイルではなく ASCII ファイルであることによります)。大きな DXF ファイルを Working Model 2D にインポートすると、長い時間がかかります (インポートの進行状況は進行状況ダイアログで見える

ことができます)。またオブジェクトが何百個も入った DXF ファイルをインポートすると、Working Model 2D は多くのオブジェクトの動きを追いつけないとならないためスピードが極度に低下します。

このため CAD 図面からはシミュレートしたいオブジェクトだけをエクスポートすることを強くお勧めします。異質なラインやオブジェクトが入った CAD 図面を Working Model 2D にインポートすると、時間がかかります。できれば図面を DXF ファイルにエクスポートする前に CAD プログラムで編集して、Working Model 2D のシミュレーションに関係するオブジェクトや拘束配置ポイントだけにしておくのが一番よい方法です。

また CAD 図面ではできるだけポリラインを使って固定ボディオブジェクトを作成するようにしてください。ポリラインは DXF ファイルにインポートするときに自動的に多角形に変換され、インポートが高速に行われるというメリットがあります。たとえば 20 本のラインをインポートするのには、辺が 20 個ある多角形 1 個をインポートするよりも時間がかかります。

ラインを物理的オブジェクトに変換

Working Model 2D にインポートされたラインは多角形か曲線スロットに変換することができます。曲線スロット変換は、たとえば次のようなカムの設計に便利です。

ライン - 多角形変換

次のようにしてラインを多角形に変換します。

1. 多角形を構成するラインをすべて選択します。

ラインで閉多角形形状を形成することをお勧めします。ラインの間にギャップがある場合、Working Model 2D はギャップを埋めて閉じた形状を完成します。個々のラインをドラッグしたりサイズを変えて、ラインの配置を修正することもできます。

ラインは、ボディや拘束など他の Working Model 2D オブジェクトのようにプロパティウィンドウのオブジェクトリストに表示されないため、操作のスピードの点からもマウスを使ってラインを選択しなければなりません。

2. オブジェクトメニューのオブジェクトの変換アイテムから多角形に変換を選択します。

Working Model 2D は多角形を生成します。ラインから変換された多角形には、最初は塗りつぶしパターンが入っていません。このため透明で表示されます。このため多角形の後ろにあって、通常は隠れて見えないオブジェクト（ポイントやラインなど）も見えています。

多角形の表示設定ウィンドウから塗りつぶしパターンを変更することができます。「3.3 ボディの表示設定」を参照してください。

3. 多角形の形状がまだ希望する形でない場合、多角形の形を変えるか（3-7 ページの「多角形や曲線多角形の形状を変更」を参照）多角形をラインに戻してラインの配置を変更し、手順 1 から操作し直すことができます。

多角形をラインに変換するには、多角形を選択してから、ラインに変換（オブジェクトメニューのオブジェクトの変換サブメニューから選択）を選択します。

ラインを多角形に変換するアルゴリズムが、選択されたラインを閉多角形に変換します。Working Model 2D で使われているアルゴリズムについて簡単に説明すると次のようになります。

1. ラインの 1 つの端点を選択します。
2. そのラインのもう 1 つの端点を探します。
3. 一番近くのまだ変換されていない端点を探します。
4. 一番近い端点が一定の許容値よりも離れている場合は、新しいラインを追加します。
5. すべてのラインを処理し終わるまで、手順 2 からもう一度繰り返します。

ライン - 曲線スロット変換

ラインを曲線スロットに変換するには、上と同じ手順で操作します。ラインセグメントの端点は曲線スロットのコントロールポイントに変換されます。この機能はたとえばカム的设计をインポートする場合などに便利です。

多角形 - 曲線スロット変換

多角形は 2 つの単純な操作で閉曲線スロットに変換することができます。

1. 多角形を選択し、オブジェクトメニューからラインに変換を選択します。
2. 上の操作に引き続いて、オブジェクトメニューから曲線スロットに変換を選択します。

ボディにポイントとスロットを配置

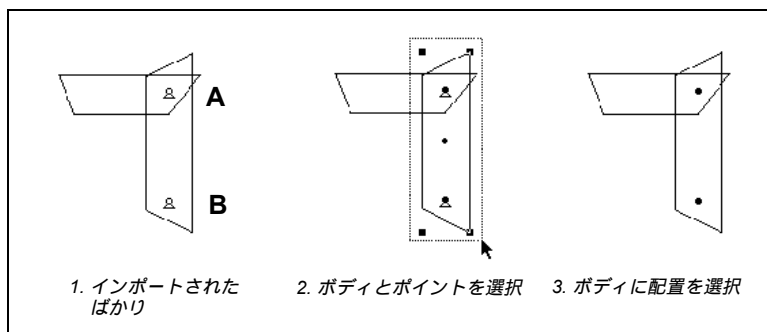
DXFファイルにインポートされた図面にはどのポイントをもどのオブジェクトに配置するといった情報が含まれていないため、モデル上でこの関係を指定する必要があります。Working Model 2D にはこの操作を支援する便利な機能がついています。

ポイントボディに配置

DXF ファイルにあるポイントは、最初はすべて背景に配置されているものとしてインポートされます。ボディとポイントのセットを選択すると、ポイントとそのボディに配置することができます。

たとえば、図 9-3 には DXF ファイルからインポートされた 2 つの多角形と 2 つのポイントを持ったモデルが示されています。先に説明した通り、DXF からインポートされた多角形には塗りつぶしパターンが入っていないため、透明に表示されています。ポイントの 1 つを 2 つの多角形を接続するピンジョイントにして、もう 1 つのポイントが多角形の 1 つに配置されたポイント要素にしたいとします。

図 9-3
ポイントボディに配置



次のようにして、2 つのポイント縦長の多角形に配置します。

1. ポイント A と B およびボディを選択します。オプションの一部が多角形によって隠れていて、ボックス選択をしなければならないかもしれません。

Shift 選択 (*Shift* キーを押しながらオブジェクトを選択) か *ボックス選択* (マウスボタンを押したままマウスカーソルをドラッグして長方形を描く) を使って、2 つのポイントとボディを選択してください。

2. オブジェクトメニューのボディに配置を選択します。

これで 2 つのポイントが多角形に配置されました。

ポイントを誤って別のボディに配置してしまった場合は、他の操作をする前に元に戻す (Control-Z) を行うか、ポイントを選択して、オブジェクトメニューからボディから取りはずしを選択してください。

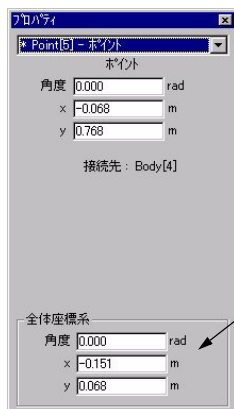
ピンジョイントの作成

さらにピンジョイントを作成するには、ポイント A を複製して他の多角形に配置し、その 2 つのポイントを結合してピンジョイントにします。

3. ポイント A を選択し、プロパティウィンドウでポイントの全体座標を読み取ります。

ポイントオブジェクトのプロパティウィンドウは図 9-4 のようになっています。

図 9-4
ポイント要素のプロパティウィンドウ



ポイントの全体座標

4. 編集メニューから複製を選択します。
複製されたポイントは少し離れて表示されます。
5. 複製されたポイントの全体座標をポイント A と同じに設定します。
6. 他の多角形を Shift 選択します。
7. オブジェクトメニューからボディに配置を選択します。
これでもう 1 つの多角形にもポイントが配置されました。
8. オーバーラップしている 2 つのポイントをボックス選択します。

ツールバーで結合ボタンがアクティブになります。



9. ツールバーで結合ボタンをクリックしてください。

2つの多角形を接続するピンジョイントができました。

スロットをボディに配置

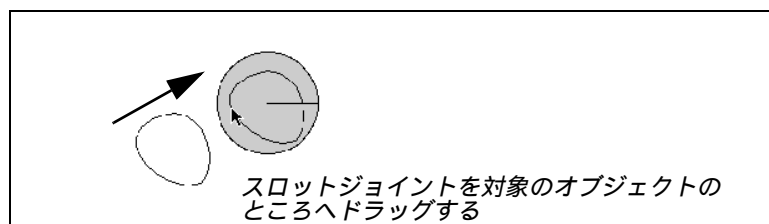
スロットをボディに配置するのはポイントを配置するのと同じように簡単です。たとえば、CAD プログラムから DXF ファイル形式で曲線スロット形状をインポートして、9-8 ページの「ラインを物理的オブジェクトに変換」にある説明に従って曲線スロットを作成したとします。この曲線スロットをボディに配置するには、次のように操作します。

1. スロットが対象のオブジェクトに対して正しい位置にあることを確認します。

ボディに配置コマンドは結合ボタンのように何かを移動することはありません。図 9-5 のように位置が揃っていることを確認してください。

図 9-5

曲線スロットをボディに揃える



2. スロットと対象ボディを Shift 選択（またはボックス選択）します。
3. オブジェクトメニューからボディに配置を選択します（または Control-M を押す方法もあります）。

これでスロットがボディに配置されました。

ポイントを誤って別のボディに配置してしまった場合は、他の操作をする前に元に戻す（Control-Z）を行うか、ポイントを選択して、オブジェクトメニューからボディから取りはずしを選択してください。

9.5 DXF ファイルのエクスポート

DXF ファイル形式は、オブジェクトの形状を CAD プログラムやグラフィックプログラムにエクスポートするのにも使用することができます。

Working Model 2D で作成した DXF ファイルは、エンティティセクションを含んだテキストファイルです。Working Model 2D オブジェクトは次の方法で変換されます。

DXF エクスポートの変換規則

- 円は円エンティティとしてエクスポート
 - 長方形と多角形は閉ポリラインエンティティとしてエクスポート
 - ラインはラインとしてエクスポート
 - 曲線スロットはポリラインとして、開曲線スロットは開ポリラインとしてエクスポート
 - これ以外のオブジェクトはすべて 2D エンティティとしてエクスポート
- DXF ファイルをエクスポートすると、現在の数値および単位設定が使用されます。測定単位にインチを使用する CAD システムを使っている場合は、ドキュメントの単位がインチに設定されていることを確認してからエクスポートしてください。

次のようにして DXF 形状をエクスポートします。

1. Working Model 2D のシミュレーションを作成するか開きます。
2. ファイルメニューからエクスポートを選択します。

エクスポートダイアログボックスが表示されます (エクスポートダイアログについての一般的な説明は図 9-1 を参照してください)。

3. エクスポートのタイプを DXF ファイルに設定します。
4. 必要に応じてエクスポートオプションを設定します。

すべてのオブジェクトをエクスポートするか、選択されたオブジェクトだけをエクスポートするかを選択することができます。

5. エクスポートをクリックします。

ファイルは「.DXF」という拡張子をつけて作成されます。DXF フォーマットをサポートする CAD プログラムでこのファイルを開いてください。

9.6 メーターデータをファイルにエクスポート

Working Model 2D からメーターデータをエクスポートするには次の2つの方法があります。

- エクスポートコマンドを使って、メーターデータを新しいファイルにエクスポートします。
- 1つまたはそれ以上のメーターを選択して、編集メニューからデータのコピーを選択します。データがクリップボードに貼り付けられます。このデータは他のアプリケーションに貼り付けることができます。

次のようにしてメーターの情報をデータファイルにエクスポートします。

1. シミュレーションを作成するか開きます。

エクスポートしたいプロパティを作成します。

2. ファイルメニューからエクスポートを選択します。

エクスポートダイアログボックスが表示されます (エクスポートダイアログについての一般的な説明は図 9-1 を参照してください)。

3. エクスポートのタイプをメーターデータに設定します。
4. 必要に応じてエクスポートオプションを設定します (以下を参照)。
5. エクスポートをクリックします。

メーターデータはタブ区切りのテキストファイルでエクスポートされます。エクスポートされたファイルはワープロや表計算プログラムで開くことができます。メーターデータはカラム形式で保存されており、1つの列が新しいシミュレーションフレームを表しています。

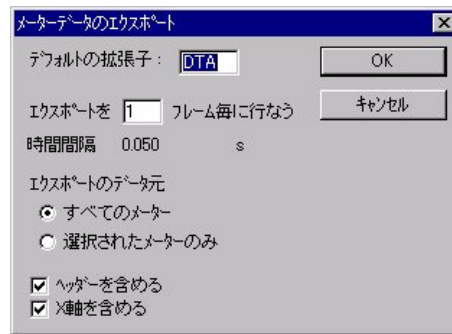
メーターデータの数値形式は数値および単位ダイアログの現在の設定から取ります。位置メーターを1つ持ったドキュメントからは次のようなファイルが作成されます。

```
Data From Untitled-1
at:8:32:20 PM 2/4/93
Position of Rectangle #2
t          x          y          rot
0.000      1.250      -3.000      0.000
0.020      1.365      -2.884      0.000
0.040      1.480      -2.772      0.000
```

0.060	1.595	-2.664	0.000
0.080	1.710	-2.559	0.000
0.100	1.825	-2.459	0.000
0.120	1.940	-2.362	0.000
0.140	2.055	-2.270	0.000
0.160	2.170	-2.181	0.000
0.180	2.285	-2.097	0.000
0.200	2.400	-2.016	0.000

複数のシミュレーションから取ったメーターデータのファイル形式については、7-8 ページの「複数のシミュレーションの結果を比較」を参照してください。

図 9-6
メーターデータのエクスポート
オプション



ヘッダーを含める

このオプションを選択すると、すべての数値データの前にファイル名、日付、メーター名、カラム名が表示されます。このオプションはデータで具体的なカラムを探す場合に便利です。このオプションをオフにすると、数値情報だけがエクスポートされます。

X 軸を含める

このオプションを選択すると、各メーターの X 軸データが 1 カラムとして含まれます。メーターの X 軸のデフォルトは通常は時刻です。他の変数を指定して（フレーム数など）独立変数にすることができます。

メーターからデータをコピーして貼り付け

次のようにしてクリップボードに直接シミュレーションデータをコピーします。

1. シミュレーションを作成するか開きます。

2. オブジェクトのパラメータを測定するメーターを追加します。
3. データを収集するため、希望する時間までシミュレーションを実行します。
4. 1 つまたはそれ以上のメーターを選択します。
5. 編集メニューからデータをコピーを選択します。

これでデータがクリップボードにコピーされました。このデータを他のアプリケーションに貼り付けることができます。

メーターデータをコントロールオブジェクトに読み込ませる

メーターオブジェクトの出力データを他のオブジェクトをコントロールするための入力として使用することができます。コントロールオブジェクトは外部データを読み込むことができます。操作方法は、7-14 ページの「コントロールのタイプとプロパティ」に詳しく説明されています。

注：出力データは各フレームが計算された後で記録されているのに対し、そのデータを入力として使用した場合、各フレームが計算される前のフレームの最初に入力でコントロールされた値を指定することになります。

9.7 Video for Windows をエクスポート

Video for Windows は Windows システムで使用する標準アニメーションデータ形式です。Working Model 2D のシミュレーションは Video for Windows ムービー（.AVI ファイルとも呼ばれる）としてより速く再生されます。

次のようにして Video for Windows ムービーをエクスポートします。

1. シミュレーションを作成するか開きます。
2. ファイルメニューからエクスポートを選択します。

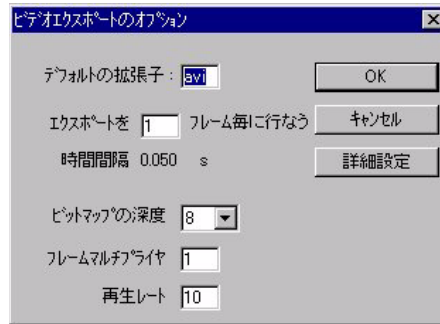
エクスポートダイアログボックスが表示されます（エクスポートダイアログについての一般的な説明は図 9-1 を参照してください）。

3. エクスポートのタイプを Video for Windows に設定します。

4. 必要に応じてエクスポートオプションを設定します（以下を参照）。
5. エクスポートをクリックします。

図 9-7

Video for Windows のエクスポートオプション



画像をエクスポート

Working Model 2D はアプリケーションウィンドウに表示されるのと同様にドキュメントの画像をエクスポートします。このためツールバー、座標バー、および XY 軸をアクティブにしておく（デフォルトではアクティブです）。エクスポートされたファイルにもこれらが表示されます。

次のようにして Working Model 2D のビューフレームなしで Video for Windows ファイルをエクスポートすることもできます。

1. ビューメニューからワークスペースを選択します。
2. ワークスペースダイアログですべてのオプションをオフにします。

ドキュメントにはキャプション（タイトルバー）とモデルしか入っていません。

3. Video for Windows ファイルをエクスポートします。

エクスポートオプション

Video for Windows のエクスポートには次のようなオプションがあります。ほとんどの目的に対してはデフォルトの設定で十分です。

デフォルトの拡張子

デフォルトでは Video for Windows アニメーションファイルには「.avi」という拡張子がついています。Windows は「.avi」という拡張子を Media Player に関連付けます。

n フレームごとにエクスポート Working Model 2D のシミュレーションを何フレームごとにアニメーションファイルにエクスポートするかを指定します。デフォルトの値は1です。これはすべてのフレームが Working Model 2D によってエクスポートされるという意味です。

ビットマップ深度 ビットマップの色数を指定します。デフォルト値は8です。これは $2^8 = 256$ 色が使用できることを意味します。これ以外には16を選択することができます。これは65,536色が保存されることを意味します。

フレームマルチプライヤ 再生する間、エクスポートされたフレームをそれぞれ何回ずつ繰り返すかを指定します。デフォルトの値は1です。

たとえばフレームマルチプライヤを4に設定すると、Video for Windows は Working Model 2D のフレームのコピーを連続して4つつつことになります。こうすると再生速度はデフォルト時よりも4倍遅くなります(スローモーション)。

再生速度 再生中に1秒間に何フレーム表示するかを指定します。入力できる最大値は100です。デフォルトの値は15で、1秒間に15フレームを再生することを意味します。

The Video for Windows の機構は自動的に各フレームを調整して、再生速度の設定を満足させるようにします。あまり高い値を入力すると、アニメーションの質の低下につながるため、お勧めできません。

再生速度の設定例 パラメータを次のように設定したとします。

- n フレームごとにエクスポート = 5
- ビットマップ深さ = 8
- フレーム乗数器 = 4
- 再生速度 = 10

このとき80フレームをエクスポートしたとすると、エクスポートされたAVIファイルは次のようになります。

$$80 \text{ (frames)} \div 5 \text{ (export every 5 frames)} = 16 \text{ frames}$$

このときAVIファイル全体を再生するのにかかる時間は次の通りです。

$$16 \text{ (frames)} \times 4 \text{ (multiplier)} \div 10 \text{ (frames/s)} = 6.4$$

sec.

ビデオ圧縮オプションの変更

Working Model 2D のデフォルトの画像圧縮設定で、ほとんどの目的に十分対応できます。画像のクオリティや保存要求事項をカスタマイズしたい場合は、Working Model 2D から Video for Windows に組み込まれる上級オプションにアクセスすることができます。

次のようにして圧縮オプションパラメータを設定します。

1. ファイルメニューからエクスポートを選択します。
2. エクスポートのタイプを Video for Windows に設定します。
3. オプションボタンをクリックします。
4. 詳細設定をクリックします。

ビデオ圧縮ダイアログが表示されます (図 9-8)。

ビデオ圧縮ダイアログのオプションについては、マイクロソフト社の Video for Windows についてのドキュメントを参照してください。

図 9-8
ビデオ圧縮ダイアログ



9.8 別のアプリケーションから Working Model 2D を制御

概要

Working Model 2D は DDE サーバーとして機能することができます。つまり Working Model 2D はサーバーとして機能し、別のアプリケーション(Microsoft Excel など) がクライアントとして Working Model 2D に要求を送ることになります。Working Model 2D はまた OLE コマンドを出すこともできます。

要求やコマンドはすべて Working Model Basic (WM Basic) で記述されます。これは Working Model 2D に組み込まれたスクリプト言語システムです。このマニュアルでは通信機能を簡単に説明するだけにとどめます。CDROM に含まれる『Working Model Basic User's Manual』に詳しい解説がありますので、そちらを参照してください。

9.9 外部アプリケーションとリアルタイムでデータ交換

概要

Working Model 2D は、Dynamic Data Exchange (DDE) を使って、リアルタイムで外部アプリケーションとデータ交換を行うことができます。つまり Working Model 2D は、サーバーである別のアプリケーション(エクセルなど) の機能を使用するサーバーとなります。Working Model 2D はアニメーション時間のステップごとに、別のアプリケーションとの間でデータの送受信を行います。

このようなリンクによって、別のアプリケーションで複雑な制御系を作成し、それを使って Working Model 2D でシミュレーションを行うことができます。また Working Model 2D では直接サポートされていない別のアプリケーションの複雑な機能を実行することもできます。たとえば Microsoft® Excel のルックアップテーブルを使用してモーターの馬力曲線を作成することができます。

添付の Working Model 2D チュートリアル の練習問題にこのリンク機能が使われています。この練習問題をやってみて、外部インターフェースの使用方法に慣れることをお勧めします。

Working Model 2D は DDE サーバーとしても機能します。詳しくは、「9.8 別のアプリケーションから Working Model 2D を制御」を参照してください。

Working Model 2D は DDE (エクセルのテーブルやテキスト形式) をサポートするアプリケーションと通信することができます。このようなアプリケーションには、Microsoft Excel、Quattro Pro、MATLAB (バージョン 4.2 以降)、Microsoft Word for Windows などがあります。お使いのアプリケーションのユーザーガイドをチェックして、DDE がサポートされているかどうかを確認してください。

インターフェースオブジェクト

Working Model 2D はメーターやコントロールを使って外部アプリケーションと通信します。メーターは出力装置、コントロールは入力装置として機能します。

遠隔コマンド

Working Model 2D ではシミュレーション中に外部アプリケーションでコマンドを指定することもできます。次のコマンドが指定できます。

- シミュレーションの最初に実行される初期化
- シミュレーション中の各フレームで実行される実行コマンド

シミュレーションサイクルとデータ交換

データ交換と遠隔コマンドの実行は、次のような方法で Working Model 2D のシミュレーションサイクルの間にはさみ込むことができます。

```
Initialize remote commands
loop while simulation continues {
  send output to external application
  Execute remote commands
  get input data from external application
  run simulation step
} end loop
```

DDE を使ったデータ交換

Working Model 2D は DDE を通じて外部アプリケーションと通信することができます。

次のようにして Working Model 2D を設定し、外部アプリケーションとデータ交換を行います。

アプリケーションインターフェースの設定

1. Working Model 2D のシミュレーションを作成するか開きます。
2. 外部アプリケーションと交換したいプロパティのメーターおよび / またはコントロールを作成します。

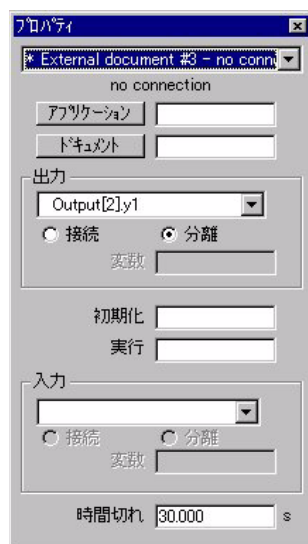
3. 定義メニューから新規アプリケーションインターフェースを選択します。

ドキュメント内にブランクのインターフェースアイコンが表示されず。

4. インターフェースアイコンをダブルクリックします。

図 9-9 のようなプロパティウィンドウが表示されます。

図 9-9
インターフェースオブジェクト
のプロパティウィンドウ



5. アプリケーションボタンをクリックして、アプリケーション名を選択し、OK をクリックします。
6. ドキュメントボタンをクリックします。
通常のファイル選択ダイアログが表示されます。
7. リンクさせたいドキュメントを探して選択します。¹
8. OK をクリックすると、アプリケーションが（まだ起動していない場合は）自動的²に起動します。

リンクされたファイル名はプロパティウィンドウに表示されます。リンクのインターフェースオブジェクトアイコンはリンク先のアプリケーションのアイコンに変わります。

¹ MATLAB 上では、常にファイル名のかわりに engine と入力します。

² アプリケーションはドキュメント名を指定して Enter キーを押すと起動します。シミュレーションファイルを DDE リンクで保存して、後でまた開いた場合、Working Model 2D はアプリケーションを自動で起動しません。

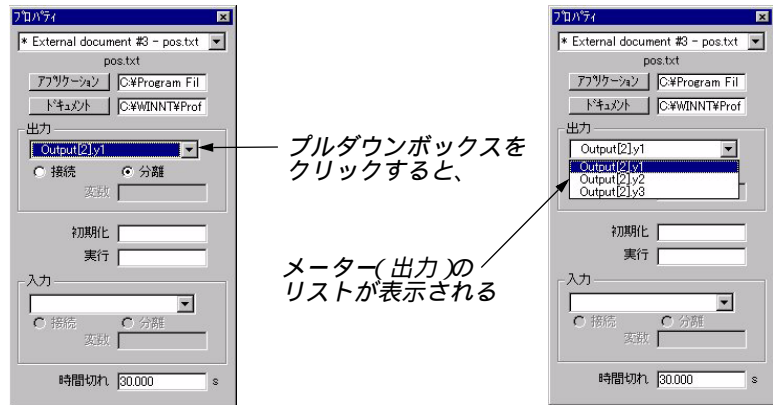
アプリケーションの入力 / 出力を結合

ここで、Working Model 2D とリンクする外部アプリケーションとドキュメントの指定が終わりました。他にまだ Working Model 2D ドキュメントのコントロール（入力）とメーター（出力）に対応する外部アプリケーションの要素を指定しなければなりません。たとえばコントロール/メーターと特定のセル（Excel の場合）や変数（MATLAB の場合）のとの論理リンクを確立しなければなりません。

1. インターフェースオブジェクトのプロパティウィンドウで、リストから入力または出力を選択します。

図 9-10 にプルダウンメニューをクリックしたときに表示されるすべてのメーターのリストを示しました。コントロールオブジェクトについても同じです。

図 9-10
リストから出力オブジェクトを
選択する



2. 選択したメーターまたはコントロールオブジェクトのそれぞれについて、接続ラジオボタンをクリックし、外部アプリケーションに対して適当な変数名を入力します。

たとえば Excel を使っている場合、次のように入力してセルが行 1 列 3 に位置することを指定します¹。

R1C3

MATLAB の場合、MATLAB で表示されるのと同じように変数名を入力するだけです。

¹ RiCj セル指定形式は Excel の米国版以外には適用されません。詳細は Excel のローカライズドキュメントを参照してください。

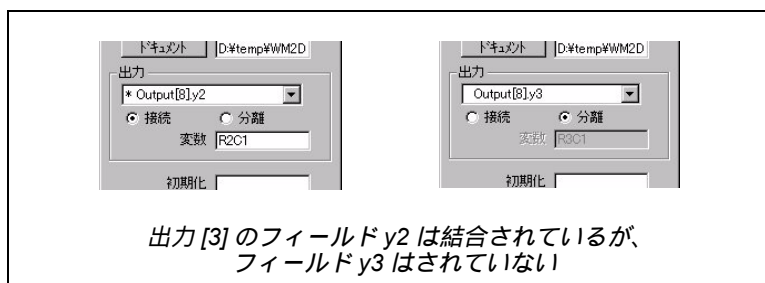
x_initial

メーターについては、メーターフィールドがすべて別々に表示されていることに注意してください (y1、y2、y3 など)。これらの出力チャンネルすべてに変数名やセルを入力することができます。

3. 特定の入力または出力に対して接続ラジオボタンをクリックします。

デフォルトでは、すべての入力および出力が分離されています。*Working Model 2D* は結合が選択されない限り、どのセルや変数とも結合を確立しません。ここでも、図 9-11 のように個々の入力/出力を結合または分離することができます。

図 9-11
個々の入力/出力を結合/分離する



4. 外部アプリケーションとデータ交換したいすべての入力と出力についてステップ 1、2、3 を繰り返します。
5. 必要な場合は、外部アプリケーションに適当な初期化および実行コマンドを指定します。

このようなコマンドの例については下記を参照してください。

6. シミュレーションを実行します。
 - 外部アプリケーションを *Working Model 2D* の出力として使用している場合、データはシミュレーションの各フレームごとに外部アプリケーションに送られます。
 - 外部アプリケーションを *Working Model 2D* のコントロールオブジェクトへの入力として使用している場合、データは各フレームごとに外部アプリケーションから取り込まれます。

遠隔コマンドの実行

Working Model 2D にリンクされた外部アプリケーションに固有のコマンドを実行することができます。たとえばシミュレーションを実行する前に、初期化および実行テキストボックスに MATLAB コマンドや Excel のマクロを入力しておく、それらを実行することができます。次に示すのは、そのようなコマンドの例です。

MATLAB では初期化および実行ボックスに関数の呼び出しを入力することができます。

(初期化) `u = 0;`

(実行) `u = f(x, y);`

Excel ではコマンドボックスに Excel のマクロを入力することができます。Windows では、このコマンドは以下の例のようにボックスブラケット ([]) で囲まなければなりません。

(初期化) `[FORMULA ("=R[-1]C+R2C3")]`

(実行) `[RUN ("MACRO1")]`

上の式で MACRO1 はたとえば記録したマクロコマンドの名前です。詳細は Excel の関数リファレンスマニュアルを参照してください。

初期化ボックスに入力したコマンドは、シミュレーションの開始時の Working Model 2D が計算を行う前に実行されます。たとえばこのコマンドでシミュレーションを開始する前にデータを初期化することができます。

実行ボックスに入力したコマンドは、Working Model 2D のシミュレーションのすべてのコマンドごとに実行されます。

制御系を設計するためのスケッチ

たとえば Excel を使って、回転速度に基づいてモーターのトルクの大きさを变化させるようなフィードバックシステムを実現することができます。

1. Excel のスプレッドシートを作成して、フィードバックの制御を記述する関数を入力します。
2. モデル内のモーターに回転速度を測定するモーターと、トルクのコントロールがついていることを確認します。

このメーターとコントロールがそれぞれ制御系の入力と出力として機能します。

3. Working Model 2D で、定義メニューから新規アプリケーションインターフェースを選択して外部アプリケーションインターフェースを作成します。Excel ドキュメントを選択します。

インターフェースの定義方法の説明は、9-21 ページの「アプリケーションインターフェースの設定」を参照してください。

4. インターフェースのプロパティウィンドウの入力のリストからモーターのコントロールを選択します。

5. 入力の変数フィールドに該当する Excel のセルを入力します。

セルに必要な Excel のコントロール関数が含まれていることを確認してください。

6. プロパティウィンドウに表示された出力のリストからモーターのメーターを選択します。変数フィールドに該当するセルを入力します。

セルが Excel の関数で入力として使用されていることを確認してください。

7. シミュレーションを実行します。

毎フレームごとに速度データがスプレッドシートに送られて、マクロが必要なトルクを計算します。トルクはコントロールを通じてモーターの入力として Working Model 2D シミュレーションに戻されます。

第 10 章

式の使用

この章では式を使って以下のカスタマイズを行う方法について説明します。

- 入力コントロール
- メーター
- ボディ
- 全体力
- 参照ポイント

Working Model 2D では通常数値を入力する部分に式を入力することができます。式を使うと、ユーザー定義の力や拘束を作成したり、オブジェクトの挙動をダイナミックにコントロールできます。式は入力コントロールをシミュレーションにリンクする下位機構としても機能します。式によってメーターや出力装置で表示されるデータをコントロールすることもできます。

Working Model 2D の式言語の完全なリストについては、付録 B「式言語リファレンス」を参照してください。

10.1 式の単位

Working Model 2D は次の 2 つの基本規則に基づいて式の単位系を常に管理しています。

規則 1 すべての式および拘束は数値および単位ダイアログの現在の設定に従った単位を使用します。

規則 2 数値および単位ダイアログの設定を変更すると、Working Model 2D は自動的にすべての定数や式に適切な単位変換係数を乗じて、変更後も変更前と同じようにシミュレーションが挙動するようにします。

しかし規則 2 (シミュレーションの物理的挙動を保存する) を適用するためには、式の参照で (たとえば出力 [5].y2) 返ってくる値が単位変更時にもずっと同じでなければなりません。このような挙動はメーターを変数として使っている場合に特に便利です (詳しくは 10.9 「メーターを式の変数として使用」を参照してください)。

たとえば時間の単位が秒のとき、時間メーター出力 [6] を作成したとします。このメーターオブジェクトのプロパティウィンドウには、y1 フィールドに変数時間が表示されます。この時点で、式の参照「出力 [6].y1」はシミュレーションで 60 秒の経過時間後に 60.0 という値を戻します。

この単位系を分に変更すると、メーター自体は正しい値を分で表示します。60 秒の経過時間の後に 1.0 (分) と表示するわけです。しかしプロパティウィンドウには出力 [6].y1 = 時間 * 60.0 と表示されているため、参照「出力 [6].y1」は 60 秒の経過時間後に 60.0 という値を戻します。変換係数がなければ、規則 1 に従って時間はこのとき分で値を戻すため、「出力 [6].y1」への参照は 60 秒の経過時間の後に 1.0 を戻したはずです。

メーター自身は単位系の変更を知っており、データを正しく分で表示するために出力 [6].y1 に内部変換係数 1/60 (プロパティウィンドウには表示されない) を乗じました。

ユーザーがこのフィールドを編集すると、この内部変換係数は 1.0 にリセットされます。たとえば「時間 * 60.0」を編集して「時間 * 60.0」にすると (時間と * の間に半角スペースを入れた) メーターは 1 分間経過後に 60.0 を表示しますが、出力 [6].y1 は 1 分経過してもまだ 60.0 を表示しています。

精度についての注記

変換定数は完全な精度で内部的に保存されていますが、数値および単位ダイアログに設定された有効けた (デフォルトは 3 桁) で表示されます。変換定数を含む式を編集すると、この定数は表示時の精度で方程式ストリングに使用されます (内部保存された完全な精度は使用されません)。

例となる方程式を見てみましょう。単位をインチと分に変更した後も、内部的には方程式はまだ次のように保存されています。

```
Length:      (time sec. + 5) ft
```

しかし表示は次のようになります。

```
Length:      12*(time*60 + 5) in
```

この方程式を編集すると、ブランクのスペースを取り除くだけでも、内部的に次のように保存されます。

```
Length: 12*(time min * 60 + 5) in
```

定数のいくつかに複数の有効けたがあった場合、方程式を変更するとシミュレーションにおける答えが少し異なってしまいます。A-22 ページの「SI 系以外でのメーターデータの精度」を参照してください。

方程式の最大長さ

方程式は最大 255 文字まで入力できます。変換定数が加わると方程式は長くなるため、入力したときの長さが制限以内でも、変換によって 255 文字を超えてしまう場合もあります。この場合、最初に入力したままの方程式が表示されて、方程式には元の単位系が保持されます。単位は 3 つのクエスチョンマーク (???) で表示されます (元の単位系であることを意味する)。方程式を編集すると、単位が現在の単位系になります。

10.2 コントロールをオブジェクトにリンク

Working Model 2D でコントロールを作成するたびに、コントロールと対象のオブジェクトとの間にリンクが作成されます。たとえば次のようにしてばね定数をコントロールするオブジェクトを作成します。

1. ばねを選択します。
2. 定義メニューの新規コントロールサブメニューからばね定数を選択します。

スライダとテキストボックスが画面に表示されます。このコントロールは直接ばねに結合されて、ばね定数の変更に使用することができます。

コントロールとばね定数の間のリンクは次のように表示します。

1. ばねを選択します。
2. ウィンドウメニューからプロパティを選択します。

プロパティウィンドウが表示されます。

図 10-1

ばねを選択したときのプロパティウィンドウ



ばね定数を定義する領域は次のようになっています。

`input [5]`

Working Model 2D はシミュレーションの実行中にばね定数として使用する値を探します。このとき数値の代わりに入力 #5 によって生成される値が使用されます。

入力 [5] はスライダによって生成される値の式名です。スライダコントロールが作成されると、式「入力 [5]」が自動的にばね定数フィールドに入力されます。スライダコントロールを削除すると、式は取り除かれ、ばね定数の元の値が入ります。

オブジェクトを選択して、オブジェクトメニューから新規コントロールを作成するか、式を入力できるフィールドにコントロール名を入力する（この場合は「入力 [5]」）と、入力コントロールをどのプロパティにでもリンクすることができます。

コントロールにはそれぞれ最小値と最大値があり、コントロールのプロパティウィンドウから変更することができます。

10.3 オブジェクトのカスタマイズ

プロパティウィンドウでは、どのフィールドでも数値の代わりに式を使用することができます。これは方程式を使ってシミュレーション中の運動やオブジェクトの物理的プロパティを制御できるということです。たとえば式を使うと、燃料を消費するにつれて軽くなっていくロケットの質量をモデル化することができます。

算術式

普通はシミュレーションの間、オブジェクトはその質量を一定に保ちます。

オブジェクトを選択して、ウィンドウメニューからプロパティを選択すると、オブジェクトの質量を観察することができます。プロパティウィンドウが現れて、質量を含むオブジェクトのプロパティが表示されます。

プロパティウィンドウの右上のサイズ変更ボックスをクリックすると、ウィンドウを大きくすることができます。同時に入力フィールドも大きくなり、長い式が入力しやすくなります。

通常ロケットは質量 10,000 kg (燃料を除く) でスタートし、10,000 kg の燃料を積んでいます。燃料が一定の速度で 100 秒で燃え尽すとすれば、ロケットの質量 M は次のように表すことができます。

$$M = \begin{cases} 20000 - 100t & (0 \leq t < 100) \\ 10000 & (t \geq 100) \end{cases}$$

シミュレーションを 100 秒以下しか実行しない場合、ロケットの質量を定義するプロパティウィンドウの質量フィールドに次のように入力します(図 10-2 を参照)。

`20000 - 100 * time`

図 10-2
プロパティウィンドウに入力された式

mass	<input type="text" value="20000 - 100*time"/>	kg
------	---	----

ロケットのシミュレーションを実行すると、ロケットは入力式に従って次第に軽くなっていきます。

条件式

シミュレーションを 100 秒以上実行する場合は、次のように 2 つの方程式を正確に 1 つの条件ステートメントに組み合わせることができます。

```
if (time < 100)      mass = 20000 - 100*time
else                 mass = 10000
```

IF 関数を使ってこのような式を入力することができます。IF 関数は次のようなフォーマットで、コンマで区切った 3 つのパラメータを持っています。

```
if (condition, return if true, return if false)
```

ロケットの方程式は if() 関数を使って次のように組み合わせることができます。

```
if(time<100, 20000-100*time, 10000)
```

拘束のオンとオフの設定

上の方程式はロケットの質量を常に正確に記述します。ロケットの質量の変化によって影響される力はすべて、100 秒後にはロケットの燃料はすべて燃え尽きてしまうという事実にも対応していなければなりません。これはさまざまな方法で行うことができます。

姿勢制御ロケットに使用する力のプロパティウィンドウにこのような力の値を入力してみます。

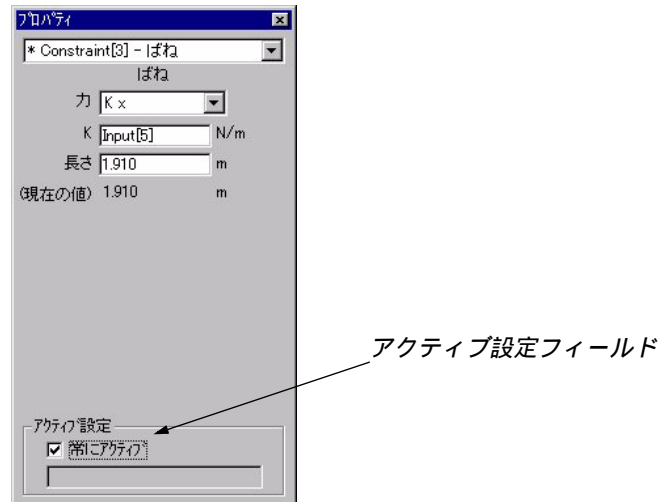
```
if (time < 100, 5000, 0)
```

これは時間が 100 秒未満の場合、力は 5000N で、それ以外の場合は 0N となるという意味です。

Working Model 2D では、力プロパティウィンドウのアクティブ設定フィールドを使って拘束を簡単にオン / オフにすることができます。100 秒後に力をオフにするには、力の値として 5000 を入力して、力のプロパティウィンドウのアクティブ設定フィールドに次のように入力します (図 10-3 を参照)。

```
time < 100
```

図 10-3
拘束のアクティブ設定フィールド



ボディの形状を基準に拘束を配置

式言語を使って、端点の位置がボディの形状を基準に定義されるような拘束を作成することができます。たとえばばねの端点の座標を次のように指定して、その端点を多角形（ボディ [3] とする）の 2 番目の頂点に配置することができます。

x: `body[3].vertex[2].x`

y: `body[3].vertex[2].y`

このようにすると、多角形のサイズや形状を変更しても、端点は常に 2 番目の頂点の上から移動しません。

方法については、4-15 ページの「形状ベースの式の使用（ポイントベースのパラメトリック）」を参照してください。また B-6 ページの「ボディフィールド」にシンタックスの参照があります。

モーターとアクチュエータのカスタマイズ

アクチュエータを作図して、アクチュエータタイプとして「長さ」を選択し、正弦波ドライバを作成します。長さのデフォルト値は、たとえば「2.00」と表示されます。長さが一定のアクチュエータはロッドとして機能します。

定数「2.00」の代わりに式を入れると、アクチュエータを正弦波ドライバにすることができます。2.00 の代わりに次のような式を入れると、2¼ 秒ごとに長さを 1.00 から 3.00 メーターまで変える正弦波ドライバが作成されます。

$$\sin(\text{time}) + 2.0$$

長さアクチュエータについて詳しくは、4-53 ページの「アクチュエータのプロパティ」を参照してください。

10.4 力場の定義

Working Model 2D の力場機能を使用すると、個々のオブジェクトやオブジェクトのペアに作用する多くのタイプの力場をモデルすることができます。力場ダイアログに入力された式は、すべてのオブジェクトに力およびトルクとして作用します。

すべてのオブジェクトに対して、X 軸の正方向に 5N の力を作用させるには、力場ダイアログに 5 を入力して、図 10-4 にあるようにフィールドラジオボタンを選択します。

図 10-4
力場ダイアログ



ユーザー定義の全体力を適用するとき、個々のボディのプロパティを見たい場合があるかもしれません。そのよい例が地球の表面の重心です。地球の表面近くで地球の重力フィールドによって生まれた力の一般的表現は次の式のようになります。

$$F = mg$$

この式で、 $g = -9.81 \text{ m/s}^2$ です。

この方程式は万有引力を記述するより一般的な方程式から導きだされたものです。

$$F = \frac{Gm_1m_2}{r^2}$$

次の値を

$$G = 6.67 \times 10^{-11} \text{ Nm}^2/\text{kg}^2 \text{ (万有引力定数)}$$

$$m_1 = 5.98 \times 10^{24} \text{ kg (地球の質量)}$$

$$r = 6.38 \times 10^6 \text{ m (地球の半径)}$$

この方程式に入力すると問題はこれだけになります。

$$F = -9.81m_2$$

ボディ依存力場の定義

地球のような重力フィールドをモデルするには、次の式をカスタム全体力に入力します。

$$F_x: \quad 0$$

$$F_y: \quad - 9.81 * \text{self.mass}$$

$$T: \quad 0$$

この F_y の方程式には「self」という識別子が入っています。「Self」はこの力をボディの質量に基づいてそれぞれのボディで交代に計算するために使用します。

また力場ダイアログでフィールドラジオボタンを選択しなければなりません。力は個々のオブジェクトにフィールドとして作用します。

F_x と F_y は各ボディの重心に作用する力の X 成分と Y 成分です。T は各ボディに作用するトルクです。

ボディのペアに作用するフィールド

ボディのペアに作用する重力をモデルするには「ペアに働く」力を選択します。Fx、Fy と T の方向は連続するボディのペアの間の接続ラインによって作成される参照フレームに対応しています。

X 軸方向への力は接続ラインに平行で、Y 軸方向への力は接続ラインに垂直です。

惑星系の重力をモデルするには、次のような方程式を使用します。

```
Fx:      6.67e-11*self.mass*other.mass /
          sqr(self.p - other.p)

Fy:      0

T:       0
```

これは完全な重力の定義です。 $\frac{Gm_1m_2}{r^2}$ に対応する力がシミュレータ内のボディのペアに作用します。

定数は科学的記数法で入力されるため、万有引力定数は

$$G = 6.67 \times 10^{-11}$$

Working Model 2D では次のように入力します。

```
6.67e-11
```

詳しくは、付録 B「式言語リファレンス」を参照してください。

10.5 メーターのカスタマイズ

メーターは式によって定義されたプロパティを測定します。メーターを作成すると、メーターに式言語記述が割り当てられます。

あるボディに位置メーターを作成したとします。図 10-5 のようにメーターのプロパティウィンドウで使用されている式を表示することができます。

図 10-5

位置メーターで使用されている式



ボディの位置を測定するメーターには次の 3 つの式が含まれています。

```
body[1].p.x
body[1].p.y
body[1].p.r
```

これらの式はそれぞれの位置 (x, y) と回転 (r) によってオブジェクトの構成を参照します。

デフォルトの式を自分で作成した式に置き換えると、ユーザー定義のメーターを作成することができます。メーターのタイトルや表示は表示設定ウィンドウを使って変更することができます。

さらにどのメーターフィールドも別の式の記述に使用することができます。例は 10-17 ページの「メーターを式の変数として使用」を参照してください。

10.6 位置によってボディの経路を指定

Working Model 2D のシミュレーション計算は通常実行時にシミュレーションモデルのオブジェクトの運動を自動制御します。入力コントロール (第 6 章「ワークスペース」で説明) はボディの初期位置を定義するときだけ有効です。

しかし式を使って記述した定義済みの軌道によってモデル内でボディを移動させたいとします。アンカーツールを使ってボディを固定し、それによって Working Model 2D が計算する物理的相互作用から開放して、オブジェクトに任意の式を付与してオブジェクトの構成をコントロールします。



1. ツールバーからアンカーツールを選択します。
2. ボディをクリックします。
アンカーがボディの上に表示されます。
3. 矢印ツールでボディを選択します。
4. ウィンドウメニューからプロパティを選択します。
プロパティウィンドウが表示されます。
5. X 位置、Y 位置、回転位置フィールドに式を入力します。
ボディは式に基づいて動きます。

ボディを一定速度で右に動かすには、X 位置フィールドに次のように入力します。

`time + 2.3`

シミュレーションを実行すると、ボディは $x = 2.3$ からスタートして右に動きます。3 つの速度フィールドのいずれかに式を入力すると、位置フィールドの値は初期状態でしか使用されなくなります。

たとえば、 $V_x = \text{time}$ で $x = 3.0 - \text{time}$ のとき、オブジェクトの重心は $x = 3$ からスタートして、右方向に加速します。 $\text{time} = 1$ のとき、オブジェクトは X 方向に 1 の速度で移動します。

10.7 ボディの経路を速度で指定

シミュレーション内のボディの速度をアンカーを使って指定することができます。



1. ツールバーのアンカーツールを選択します。
2. ボディの上をクリックします。
ボディの上にアンカーが表示されます。
3. 矢印ツールでボディを選択します。
4. ウィンドウメニューからプロパティを選択します。

プロパティウィンドウが表示されます。

5. V_x 、 V_y 、または V_θ フィールドに式を入力します。

オブジェクトの重心を一定の加速度で右に移動させるには、 V_x フィールドに次のように入力します。

`time`

重心は $V_x = 0$ からスタートして、シミュレーション中は右に加速します。

重心が一定速度で動くようにするには、速度フィールドに次のように入力します。

`(5.0)`

数値を括弧に入れると、速度が式になるように強制されます。

注：アンカーされたボディの速度フィールドのいずれかに式が使われている場合、Working Model 2D はアンカーを速度拘束として取り扱い、位置フィールドは式が含まれていても最初のフレームにしか適用されません。

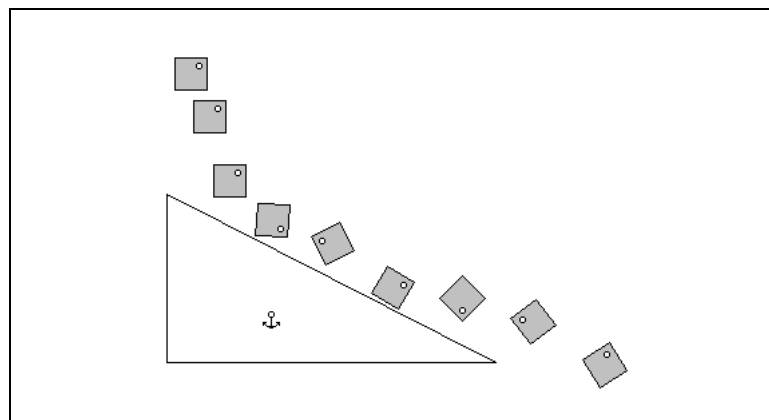
10.8 参照ポイントの定義

Working Model 2D は非標準の参照ポイントでシミュレーションをアニメーションすることができます。たとえばアニメーションを使って、監視していないと画面を外れてしまうようなオブジェクトを追跡するのに使用することができます。

図 10-6 にくさび形のプラットフォームをころげ落ちてくる長方形のシミュレーションを示しました。参照フレームは背景です。デフォルトでは Working Model 2D は背景を参照ポイントとして使用します。

図 10-6

くさび形のプラットフォームを
ころがり落ちるブロック



正方形を参照ポイントとして選択したとき（つまり正方形の重心から正方形の方向に向かってシミュレーションを見る）図 10-7 のようにアニメーションが表示されます。アンカーされたくさびが表示されて、シミュレーションの間回転します。

図 10-7

ブロックの参照フレームから見た
シミュレーション

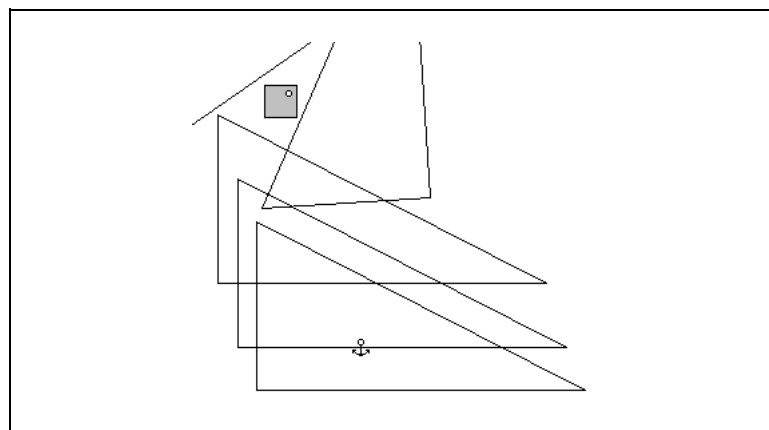
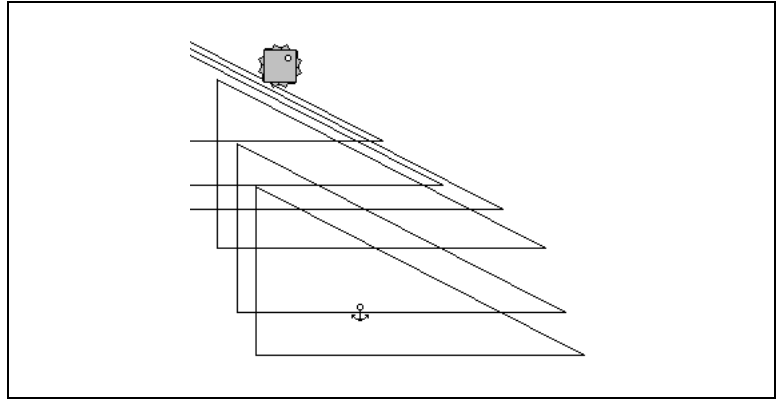


図 10-8 にも同じシミュレーションを示しました。このときはシミュレーションを正方形の右上角から背景の方向に向かって表示したものです。

図 10-8

回転なしでブロックの参照フレームから見たシミュレーション



次のようにして上の参照ポイントを定義します。

1. 参照フレームとして使用するボディにポイント要素を配置します。

上の例では、ボディが落ちてくるブロックです。

2. ポイントを選択して、ウィンドウメニューからプロパティを選択します。

プロパティウィンドウが表示されます。

3. ポイントの θ (角度) フィールドに次の式を入力します (n は落ちてくるブロックの ID 番号)

`-body[n].p.r`

この式は参照ポイントの方向がボディと反対になるように指定しています。これでボディの回転を補償するためにポイントが回転します。

4. ポイントを選択して、ビューメニューから新規参照フレームを選択します。

これで参照ポイントがポイントに配置されました。シミュレーションを実行する準備が完了です。

10.9 メーターを式の変数として使用

方程式で「変数」を使用するように定義すると便利な場合があります。たとえばこのような式を使いたいとします。

$$|body[3].p - body[4].p|$$

この式は多くの位置で2つのボディの距離を定義します。何度も繰り返し入力しなくてすむように、メーターを定義してそれを変数として使用するか、ブレースホルダーを介在させます。

次のようにしてメーターを定義し、変数として使用します。

1. 測定メニューから時間を選択して、時間メーターを作成します。

実際にはどのメーターも変数として使用することができます。ここでは時間メーターを使って、それを修正することにします。

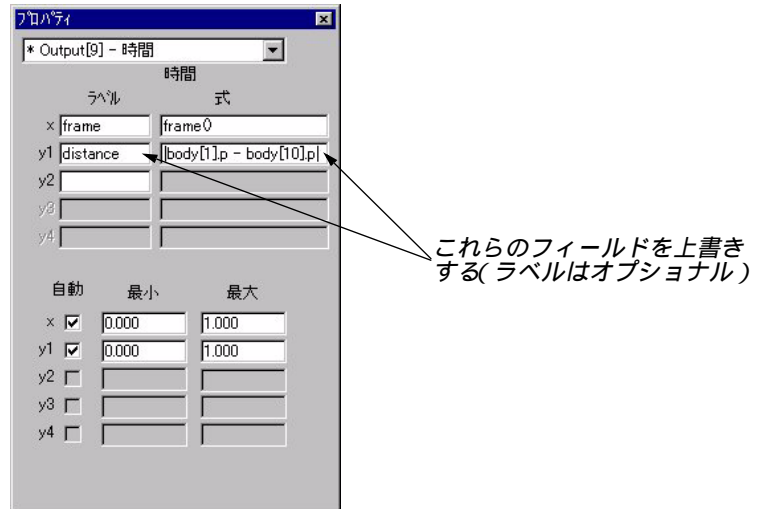
2. 時間メーターをダブルクリックします。

プロパティウィンドウが表示されます。

3. フィールド y1 に図 10-9 の下側の式を上書きします。必要に応じてプロパティウィンドウのサイズを変更し、式ボックスのテキスト全体が見えるようにします。

このステップは変数を定義するところです。実際には変数の定義にはどの出力フィールドでも使用できます (y1 から y4 まで)。

図 10-9
メーターフィールドを変数として使用



ここで次のように入力して距離の数値を参照します（変数として使用するフィールドに応じて、y2 から y4 のいずれかを入力してもよい）。

```
output[9].y1
```

こうすると次のようにスペルで入力しなくて済みます。

```
|body[1].p - body[10].p|
```

たとえば 2 つのボディの間の二乗根を求めるには、次のように入力します。

```
sqrt(output[9].y1)
```

このように入力する必要はありません。

```
sqrt(|body[1].p - body[10].p|)
```

ワークスペース上に式を持つメーターを表示したくない場合は、非表示にします。メーターの表示設定ウィンドウにある「表示」の横のチェックマークを取ってください。

付 録 A

技術情報

この付録では多くの技術情報および Working Model 2D の内部の仕組みを記述しています。

A.1 メモリを最大限に活用

Working Model 2D が自由に使えるシステムメモリ (RAM) が不足することが、ときどき起こりますが、不足になる場合にはそれを警告します。

Working Model 2D に利用できるメモリの増加

Working Model 2D が利用できるメモリを増加する方法をいくつか次に説明します。仮想メモリを使用しますと、性能に影響しますのでご注意ください (A-1 ページの「速度性能の最適化」を参照してください)。

アプリケーションはメモリ空間の利用を必要に応じて求めることができます。そのほかに、仮想メモリの利点を使って、RAM で使える空間より広い空間を作ることができます。仮想メモリは、ユーザーがとくに指定していなければ、Windows 内ではデフォルトで使用可になっています。Working Model 2D からメモリ不足を警告されている場合には、仮想メモリが使用不可になっていないことを確かめてください。

仮想メモリはメモリ処理にハードディスクを使用します。使用しますと、実行速度は確実に低下します。

A.2 速度性能の最適化

Working Model 2D の性能に影響するコンピュータの性能以外の要因は、主に、利用できるメモリ (RAM) とドキュメントウィンドウの大きさの 2 つです。

RAM が十分ないと、ディスクに頻繁にアクセスし、性能が低下します。RAM が Working Model 2D およびその他のアプリケーション（Windows を含む）を格納するのに物理的に不足していると、オペレーティングシステムは Working Model 2D の部分をディスクに定期的にスワッピングします。他のアプリケーションを終了し、Working Model 2D がメモリを利用できるようにして、このような動作をさせないようにします。

フルページにしたり、より大型のモニタを使いますと、アニメーション速度は、耐え難いほど低下することがあります。ドキュメントウィンドウの大きさを小さくすると、速度は上げられます。

8-30 ページの「シミュレーションをより速く実行する」の項もシミュレーション速度を最適化する方法について記述しています。

高速再生の仕方

Working Model 2D は各フレームを計算するために、シミュレーション履歴をメモリに保存することを思い出してください。そのモデルのどの部分も変わっていなければ、Working Model 2D は、コンピュータがシミュレーションを再度実行するための時間を取る必要はありません。従って、シミュレーションの結果を実演して見せたければ、シミュレーションに必要なフレーム数だけ実行し、シミュレーションの結果を履歴と一緒に保存し（「名前を付けて保存」ダイアログボックスで、選んで利用することができます）後で、そのシミュレーションを開いて、また簡単に再生することができます。

ビデオのエクスポートによる再生

アニメーションにしたシミュレーション結果をランタイムアニメーションフォーマットで保存することもできます。Video for Windows ファイルをエクスポートすることができます。これらのデータ形式はアニメーションが滑らかになるように最適化され、再生速度を Working Model 2D のそれよりも十分に速くすることができます。さらに、これらのファイルを受け取った人が、アニメーションになった結果を見るときには、Working Model 2D のコピーはいりません。

さらに詳しいことは、第 9 章の「ファイルとデータのインポートとエクスポート」をご覧ください。

A.3 数値解法

概要

Working Model 2D はさまざまな洗練された数値解法を使って、問題を解決します。Working Model 2D は運動および力を計算しますが、問題を時間的に不連続に取り扱って、すべての拘束が確実に行われるようにします。この系統的な取り扱いで、Working Model 2D は広くさまざまな問題のモデルを作ることができます。

数値解法は科学および工学分野で進行している研究で巨大な領域を占めています。この問題では莫大な量の文献を利用することができます。興味のある読者の方々にはより先進の文献を参照することを強く推奨します。「A.9 技術情報」は興味のある読者の入門となるでしょう。

数値解法を説明するにあたって、弾道運動で飛んでいるボールの例を取り上げましょう。簡単にするために、ボールに加える力として重力だけを考えましょう。

解析手法¹

たいていの初等物理教科書にあるボールの重心の x および y の位置の解析的解は次のようになります。

$$x = x_0 + v_{x_0} t$$

$$y = y_0 + v_{y_0} t + \frac{1}{2} g t^2$$

ここで $g = -9.81 \text{ m/sec}^2$ です。

この公式で正しい初期値 ($x_0, y_0, v_{x_0}, v_{y_0}$) を入れると、ボールの任意の瞬間の位置が分かります。

推進体の運動が、Working Model 2D が解決しなければならない唯一の形式の問題であれば、これはコンピュータ上で進めてもよい方法でもあります。

ところがたいていの物理上の問題では、推進体の運動のこの問題のように正確な解を出すことは不可能です。たとえば相互に引力の作用している 3 個の粒子（あるいは星）の運動方程式の解析的解法は存在しません。²

¹. 記号法ともいう。

². 実際に、完全な球体ではない 2 個のボディに対する解析解は存在しません。

数値積分法

Working Model 2D は解析手法の代わりに数値解法を使って、力学理論から導かれる微分方程式で扱える機構系の運動を解くことができます。Working Model 2D では、これらの原理は下記のような簡単な方程式で表現することができます。

$$\mathbf{F} = m\mathbf{a}$$

(力 = 質量 * 加速)

$$\mathbf{T} = I\alpha$$

(トルク = モーメント * 角加速度)

$$\mathbf{a} = \frac{d\mathbf{v}}{dt}$$

(瞬間加速度 = \mathbf{v} を時間で微分した値)

$$\mathbf{v} = \frac{d\mathbf{x}}{dt}$$

(瞬間速度 = \mathbf{x} を時間で微分した値)

$$\alpha = \frac{d\omega}{dt}$$

(瞬間角加速度 = ω を時間で微分した値)

Working Model 2D は動的問題の解決にこれらの方程式を使用します。この解は、数値積分法といわれている処理で求められます。

たとえば、等式 $\mathbf{a} = \frac{d\mathbf{v}}{dt}$ の両側を積分 $\mathbf{v} = \int \mathbf{a} dt + \mathbf{v}_0$ して、近似

$\mathbf{v} = \mathbf{a} \cdot dt + \mathbf{v}_0$ します。近似精度はタイムステップと称する dt を小さくして改善します(さらに詳しく検討するためには「A.4 タイムステップと性能」を参照してください)。数値積分法の本質は問題を細分し、タイムステップを不連続にし、それぞれのタイムステップで結果を次々に計算して、問題を近似することにあります。

具体的に言えば、Working Model 2D は物体の現在の加速を求め、この加速から 1 タイムステップ後に速度（および位置）を計算します。さらに Working Model 2D はその予測をチェックし、補正する技術を併用します。この処理は新しい速度と位置を求めるのに再び使用します。

たとえば、直線運動の数値積分は次のように進めます。

1. 現時点 $t = 0$ 、力方程式を使って a を計算します。
2. a を使って $t = t$ の時の新しい速度 v を計算します。

$$v_{t=\Delta t} = a \cdot \Delta t + v_{t=0} \quad (\text{近似 } v = \int a dt + v_0)$$

3. v を使って $t = t$ の時の新しい位置 x を計算します。

$$x_{t=\Delta t} = x_{t=0} + v_{t=0} \cdot \Delta t$$

この処理は数値積分法と呼ばれています。後から新しい技術用語としての、速度と位置を計算するために、数値的に加速度を積分する方法がたくさんあります。上記の方法はオイラー法と呼ばれ、利用可能な、最も簡単な数値積分法の 1 つです。Working Model 2D はもう 1 つのクッタ - マーソン法と呼ぶさらに正確な数値積分法を特徴にしています。数値積分法をさらに詳しく調べるために A-12 ページの「積分プログラム」を参照してください。

A.4 タイムステップと性能

タイムステップの大きさは結果の速度と精度にかなり影響しますので、固定ステップ積分プログラムでは結果の速度と精度を左右する微妙なパラメータです。一般に小さいタイムステップにするとシミュレーションの結果はさらに正確になりますが、与えられた時間あたりのコンピュータ処理するのに必要な時間が大きな積分タイムステップよりも長くなります。

適正なタイムステップの選択

タイムステップを特定の問題に対して選ぶのは極めて難しいものです。ここではタイムステップを選ぶ際に次の規則を適用すると都合がよいでしょう。

- 短いタイムステップ = 精度の向上
- 長いタイムステップ = 計算速度の向上

精度を上げたいからといって、タイムステップをいつも最小に設定する必要はありません。ステップの大きさを適度に小さくすることで満足できる精度のシミュレーションの結果が得られます。

たとえば、問題を大きなタイムステップでシミュレーションすると、そのモデルを短時間で大まかな見当を得ることができます。その後に詳しく求める場合には、より小さいタイムステップで Working Model 2D に長時間シミュレーションさせて、そのモデルの精度を検証することができます。

さいわいに、Working Model 2D は自身が選択する場合以外では、正確なタイムステップを選択する必要から開放します。Working Model 2D は適切なタイムステップを自動的に選択して、さまざまな形態のシミュレーションの誤差をモニタできる機能があります（詳しいことは A-6 ページの「可変タイムステップ」を参照してください）。

たとえば、先に述べた速度と正確さという相反する要求のもとで、問題の複雑さに適切に対応して最高の結果を求めようとする場合、シミュレーションの開始から終了までの様々な段階で理想的なタイムステップは異なってきます。自動車の衝突をシミュレーションする場合には、自動車が障害物に近づいている間は大きなタイムステップで重要な部分に早く近づけ、衝突しているときにはより小さなタイムステップにします。シミュレーション全体を小さなタイムステップで行うと、コンピュータがその問題の解決を計算するのに長時間かかってしまいます。Working Model 2D はデフォルトでシミュレーションの間のタイムステップの大きさを自動的に調整します。

可変タイムステップ

結果を比較的速く、正確に求めるには、可変タイムステップ積分プログラムが役に立ちます。シミュレーションの途中で、加速が急速に変化すると、この積分プログラムは内部で積分タイムステップを小さくします。

できるときには、この積分プログラムは積分タイムステップの数を増加して、コンピュータで処理する仕上がり性能を改善します。

可変タイムステップモードでは、Working Model 2D は積分ステップごとに数値誤差を推測し（「A.5 Working Model 2D の誤差制限方法」で誤差チェックがどう行われるかを検討します）誤差がある許容値を超えると、このフレームには現在の積分タイムステップ（これは初めにアニメーションステップに等しくなっています）が大きすぎると判断します。このような場合には、Working Model 2D はこのタイムステップを半分にして、その小さいタイムステップで新しい結果を求めます。この結果は同じ誤差チェックに掛けられません。

Working Model 2D は、食い違いが許容値内になるまでこの処理を繰り返し、残りのアニメーションフレームをこの小さい積分タイムステップで計算します。このフレームが終わると、Working Model 2D は積分タイムステップの大きさをアニメーションステップの大きさに設定して、次のフレームを全体にわたって、再び計算し始めます。

この処理は、確実に精度を上げるために、アニメーションフレームを多数の中間のフレーム（スクリーンに表示されません）に効率よく分割します。アニメーションステップはシミュレーション中一定のままなので、一部のフレームを表示する時間が、その他のフレームを表示する時間よりも長くなることに、気がつきます。

加速度の大きさがシミュレーション中に大きく変化すれば、積分プログラムが基準精度に合うような十分に小さいタイムステップを求められないかもしれません。このような場合には積分誤差が過大（A-16 ページの「ワーニング」を参照してください）になる可能性を示す警告を出します。

A.5 Working Model 2D の誤差制限方法

A.4 タイムステップと性能で取り上げたように、Working Model 2D は積分タイムステップを計算結果の完璧度を推測して調整します。この項では Working Model 2D がその結果を自分で指定している誤差の限界にたいして、どのようにチェックするかを説明します。

Working Model 2D は原理上、計算の結果で誤差を推測します。誤差を推測する方法は A-15 ページの積分プログラムで取り上げます。Working Model 2D はその推測した大きさを自分で指定している誤差の限界と比較します。

基本的に、積分誤差の限界は次の 2 個の基準、相対許容誤差および絶対許容誤差より大きく規定します。これらの誤差基準は相対誤差（ ε_r で明示されます）および絶対誤差（ ε_a で明示されます）の 2 個のパラメータ（両方とも自分で指定することができます）を基にしています。

相対許容誤差

相対誤差は正の数で、相対許容誤差を、Y の絶対値の推測値、積分される変数である $|Y|$ に関係付けるために使用します。相対許容誤差は次のように指定します。

$$\text{Relative Acceptable Error} = \varepsilon_r |Y|$$

ε_r の値は、精度に必要な有効桁数を表す特定の数に選びます。役に立つ決め方は、 n が Y に必要な有効桁数であるように設定 $\varepsilon_r = 10^{-n}$ することです。 n の値は有効桁数として精度 ダイアログの中に設定します（「A.6 シミュレーション精度ダイアログとシミュレーションパラメータ」を参照してください）。

n の上限は計算に使用する数値の正確さに左右されます。拡張倍精度数（80 ビット）- Working Model 2D 内として - に対して、 n は 20 以下でなければなりません。

Y の値が積分中に同じ程度の大きさで変わらなければ、相対誤差基準は最良の基準になっています。 Y の値の大きさが何桁にもわたって変わり、特に Y の符号が変化したり、値が 0 に近づくと、上記の相対誤差基準ではシミュレーションが極めて遅くなります。

たとえば、 Y は -1000 と +1000 の値を取り、 ε_r が 10^{-8} に（有効桁数 8 桁）に設定されるものとします。 $Y=1000$ であれば相対許容誤差は $10^{-5} (= \varepsilon_r |Y|)$ です。ところが $Y=.001$ であれば、相対許容誤差は 10^{-11} となるでしょう。このようにして、Working Model 2D は、 Y の値が小さいときには、極めて小さい誤差基準に合わせるように計算に長い時間を費やします。このような問題を起こさないように、Working Model 2D は第 2 の誤差の限界、絶対許容誤差を使用します。

絶対許容誤差

絶対誤差 ε_a は Y の小さい絶対値を表す正の数です。これは、 $|Y|$ が ε_a より少なければ、積分ステップを削らずに積分し続けることです。従って、実質的にこの基準は $|Y|$ の値が小さい場合には積分処理を速めます。絶対許容誤差は簡単に次のように指定します。

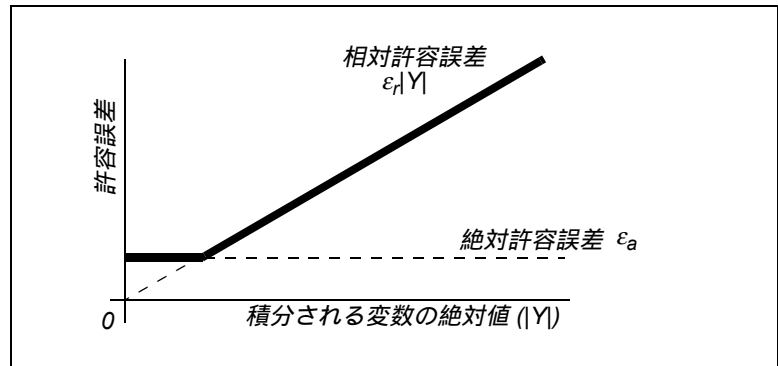
$$\text{Absolute Acceptable Error} = \varepsilon_a$$

精度ダイアログの積分誤差として ε_a の大きさを指定することができます（「A.6 シミュレーション精度ダイアログとシミュレーションパラメータ」を参照してください）。

許容誤差

この許容誤差は絶対許容誤差および相対許容誤差の最大値です。図 A-1 では、許容誤差は太線で表しています。Working Model 2D は、誤差がこの線を超えると推測すれば、タイムステップを半分に減らして（A-6 ページの「可変タイムステップ」を参照してください）進めます。

図 A-1
許容誤差



注：相対許容誤差の大きさは $|Y|$ に比例しますが、この絶対許容誤差は $|Y|$ の値の如何にかかわらず一定のまま残ります。

シミュレーションの許容誤差の選択

ここで、2 形式の誤差の上下界を操作できるようになりましたが、速度と精度で表すシミュレーションの性能をどう最適化できるのでしょうか。その答えは、実際には、Working Model 2D で得られることの中の何を求めているかで左右されます。

デフォルトとして、Working Model 2D はたいいていの目的に十分適う誤差パラメータを自動的に選びます。この項はシミュレーションの実行を微調整したい方々のためのものです。

例題：宇宙探測機

一例として地球から発射される宇宙探測機のシミュレーションを考えましょう。簡単にするために、この探測機は自分では推進できず、対角寸法が 20 フィートあるものと仮定します。

探測機の位置のシミュレーション

発射から 1 年後のこの宇宙探測機の位置を、 ± 1 マイルの誤差で求めたければ、絶対許容誤差を 1 マイルに設定します。求めたい解答では、数値の大きさがこのボディの大きさに比べてかなり大きいので、絶対誤差を小さくすると極めて長いコンピュータ処理時間が必要になります。その代わり、 ± 1 マイルの誤差は多分数 100 万マイルにも及ぶ探測機の全行程にとってはわずかな割合なので、相対許容誤差は低いままにしなければなりません（たとえば、 10^{-6} は有効桁数を 6 桁に設定していると解釈されます）。

探測機の内部機構のシミュレーション

ところが、空間を飛行中の探測機の位置と方向を求めたいものとします。さらに、誤差は 1 度以内でなければならぬものと仮定します。

Working Model 2D は角度誤差を、ボディが与えられた角度で描く円弧の長さに変換して評価します。この場合には、20 フィートのボディは 1 度振れて、下記の長さの円弧を描きます。

$$\frac{20}{2} [\text{feet}] \cdot 1 [\text{degrees}] \cdot \frac{\pi}{180} [\text{radians/deg}] = 0.175 [\text{feet}]$$

（20 フィートのボディの寸法は 2 つに分けて、回転半径を求めます。ボディは重心に対して回転するものと仮定します）

1 マイルの絶対許容誤差は大きすぎるので、約 2 インチ（ ≈ 0.175 フィート）に小さくする必要があります。一方、相対許容誤差を約 10^{-6} にしたままで、位置の誤差を ± 1 マイルにしておくことができます。絶対誤差が小さくなりますので、全体の許容値はさらに小さくなり、シミュレーションをコンピュータ処理する時間は位置だけを求めるのよりも長くなります。

要約

許容誤差を微調整する一般的な経験則を下記に示します。

- 精度ダイアログの有効桁数を大きな値（4 以上）を選んで、相対許容誤差はほとんどいつも小さくして置くべきです。
- 必要とする解の程度によって、絶対許容誤差（精度ダイアログで積分誤差として指定します）を操作する必要がある場合があります。

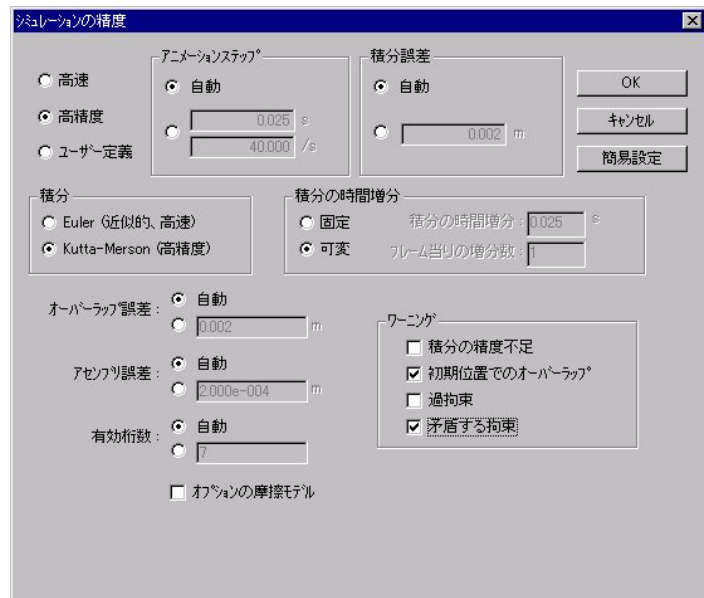
次の項でシミュレーションパラメータをどのように操作するかをさらに説明します。

A.6 シミュレーション精度ダイアログとシミュレーションパラメータ

シミュレーション精度ダイアログ（ワールドメニューの精度を選んで、開けます）を使用する方法は2通りあります。ほとんどの目的では簡単にシミュレーションの高速または高精度モードを選び、問題に対する時間増分およびその他のシミュレーションパラメータを Working Model 2D に自動的に選ばせます。

シミュレーション速度と精度を細かく操作したい場合には、詳細設定ボタンをクリックして、さらに多くのシミュレーション変数を利用することができます。

図 A-2
詳細設定を選んでいるシミュレーション精度ダイアログ



高速 / 高精度

これらのボタンはシステムのパラメータを次のようにします。

	高速	高精度
積分プログラム	オイラー	クッタマーソン
積分タイムステップ	固定	可変
不正確な積分を警告	する	しない
初めのボディの重なりを警告	する	する
余分な拘束を警告	しない	しない
矛盾している拘束を警告	しない	する

ユーザー定義

シミュレーションパラメータのどれかを変更すると、シミュレーションモードはユーザー定義になります。

各パラメータについてさらに学習するために、続けてお読みください。

積分プログラム

Working Model 2D は、高速または高精度モードを選んだときに積分プログラムを割り当てます。この項ではいろいろな積分法の利点を利用して試験したい方々のために説明します。

この積分プログラムは本体の加速を連続的に積分し、数学的に処理して位置と速度を更新します。Working Model 2D では、下記の積分プログラムが使えます。

- ・ オイラー積分
- ・ クッタマーソン積分

2 個の方法の複雑さを比較するために、次の 1 次微分方程式を試験しましょう。

$$\dot{y} = f(y, t)$$

両方の積分プログラムがそれをどう数値的に解くか見てみましょう。情報 y_n および t_n をもっている y_{n+1} 、すなわち次のステップ t_{n+1} の y の値を求めたいのです。タイムステップを h ($t_{n+1} - t_n = h$) として表します。

オイラー

オイラー積分は最も速く、最も簡単ですが、精度は最も低く、決められたタイムステップで利用する積分です。オイラー積分は高速シミュレーションモードではデフォルトで、動きを大まかに求めるには十分でしょう。オイラー法は上記の微分方程式を一回で解きます。

$$y_{n+1} = y_n + hf(y_n, t_n)$$

Working Model 2D は、オイラー法では可変タイムステップを選べません。

クッタマーソン

クッタマーソン¹ 積分はより複雑ですが、精度を上げられる優れた技術です。この方法は上記の微分方程式を次のようなやり方で解きます。

$$(y_n)_1 = y_n + \frac{1}{3}hf(y_n, t_n)$$

$$(y_n)_2 = y_n + \frac{1}{6}hf(y_n, t_n) + \frac{1}{6}hf\left((y_n)_1, t_n + \frac{1}{3}h\right)$$

$$(y_n)_3 = y_n + \frac{1}{8}hf(y_n, t_n) + \frac{3}{8}hf\left((y_n)_2, t_n + \frac{1}{3}h\right)$$

$$(y_n)_4 = y_n + \frac{1}{6}hf(y_n, t_n) - \frac{3}{2}hf\left((y_n)_2, t_n + \frac{1}{3}h\right) + 2hf\left((y_n)_3, t_n + \frac{1}{2}h\right)$$

$$(y_n)_5 = y_n + \frac{1}{6}hf(y_n, t_n) + \frac{2}{3}hf\left((y_n)_3, t_n + \frac{1}{2}h\right) + \frac{1}{6}hf((y_n)_4, t_n + h)$$

$$y_{n+1} = (y_n)_5$$

Working Model 2D は、

¹. クッタマーソン法は 5 次ルンゲクッタすなわちルンゲクッタ 5 としても知られています。

$$\frac{1}{5}|(y_n)_4 - (y_n)_5|$$

を許容誤差（「A.5 Working Model 2D の誤差制限方法」を参照してください）と比較して、その結果を誤差限界に対してチェックします。

アニメーションステップ

アニメーションステップボックスでアニメーションのフレーム間の時間を決定します。シミュレーションから得られたデータをこの間隔で新しいフレームとしてスクリーンに表示します。このボックスは積分タイムステップは表しません。

Working Model 2D は作成したシミュレーションの形式によって、良好なアニメーションステップをデフォルトで自動的に選ばうとします。Working Model 2D は、物体、その間隔およびその速度を使って、理想的なアニメーションステップの大きさを決定します。このようにしますので、太陽系のモデルを作っていると、その大きさ、間隔および速度が大きいため、アニメーションステップの大きさを強制的に何時間あるいは何日もの範囲にします。

自動的に決定したアニメーションステップを上書きし、自己のアニメーションフレーム間のタイムステップの大きさを設定することができます。A-14 ページの「積分タイムステップ」を見て、積分タイムステップをどのようにして設定するか検討してください。

積分誤差

積分誤差は絶対許容誤差すなわち「A.5 Working Model 2D の誤差制限方法」で取り上げたパラメータ ε_a に相当します。基本的に、この値は数値誤差の低域限界として使用されます。Working Model 2D はこの積分誤差に規定した以上の高精度は得られません。積分した結果が、相対許容誤差以内であればこの限界を越えられます。

積分タイムステップ

積分タイムステップは2通りの方法、タイムステップを直接入力するか、アニメーションフレーム当たりの積分ステップ数を入力して、指定することができます。

積分タイムステップがアニメーションステップより小さいと、1個のアニメーションにしたフレームに複数の積分ステップの結果を反映します。積分ステップの大きさは、アニメーションステップより大きくすることはできません。

固定

固定モードでは、積分タイムステップを固定します。積分ステップのデフォルト値はアニメーションステップと同じです。テキストボックスに必要な増分の大きさをタイプして、積分タイムステップをアニメーションステップより小さくすることができます。そうしますと、多数の積分ステップを1個のアニメーションフレームに包含します。

可変

可変モードでは、Working Model 2D はコンピュータで最もよく処理できるように、シミュレーションの間中、積分タイムステップを自動的に調整します。積分ステップはアニメーションステップで規定しているのより小さくなることはありますが、大きくなることは絶対にありません。A-6 ページの「可変タイムステップ」を参照してください。

シミュレーション誤差許容値

Working Model 2D は、一連のシミュレーションを行っている間に、内在している次のようなさまざまな形式の誤差を定期的に監視しています。

- 貫通しているボディ
- 拘束違反

Working Model 2D は、それぞれの積分ステップで処理結果をチェックし、そのモデルがその誤差限界に合うかどうかを調べています。シミュレーションの結果および特性が最適になるように次のパラメータを微調整することができます。

Working Model 2D はボディの要素特性およびその中の拘束に基づいて、そのモデルのこれらの誤差基準として適切な値をデフォルトで自動的に計算します。

必要であれば、そのデフォルトを上書きし、その値を自己のモデルに指定します（ゼロより大きくなければいけません）。許容誤差は小さくなりますので、Working Model 2D が誤差を監視し、防ぐためには、コンピュータ処理時間を長くしなければならないことがあることを覚えていてください。一方、許容値を大きくし過ぎますとシミュレーションの結果が不正確になる場合があります。

オーバーラップエラー オーバーラップエラーは、Working Model 2D が衝突をシミュレーションしている間に、ボディが互いに重なる量の上限として使用します。2 個のボディが貫通しないようにするために、Working Model 2D はボディがこの値より大きく重なると、接触反発力をそれぞれのオブジェクトに適用します。この技術によって、重なる量はオーバーラップエラーに規定する値を絶対を超えません。「A.7 衝突のシミュレーション」を見て、さらに検討してください。

アセンブリ誤差 アセンブリ誤差はスマートエディタで実現する結合操作で発生する数値誤差を制限するために使用します。たとえば、1 対のポイント成分をピン結合させるときには、Working Model 2D は、その結果がアセンブリ誤差の範囲になるまでその構成をコンピュータで反復処理します。

注：ジョイントは、誤差を補正するために、シミュレーションを実行している間にさらに厳密に監視されています。ピン結合拘束を保持することはかなり簡単な処理で、可変ステップモードで行います。Working Model 2D は、誤差が顕著になれば、すぐにその誤差を補正します。固定タイムステップでは、そのジョイントがわずかに揺動するのが見られます。Working Model 2D は、1 フレーム後のシミュレーション結果が数値誤差によってピン結合をわずかにずらすことがあるので、ピンジョイントの位置を補正しようとしています。

有効桁数 有効桁数ボックスで入れる値は数値積分中に正確である桁数に相当します。有効桁数フィールドに入れる数値がその相対誤差 10^{-n} を設定します（詳しいことは「A.5 Working Model 2D の誤差制限方法」を参照してください）。

ワーニング

ワーニングが発生すると、シミュレーションは中断し、ダイアログを表示します。シミュレーションは停止したり、続行したりすることができます。

不正確な積分 ボディが、シミュレーション中に規定している許容値を越えるほど大きな速度あるいは加速度になるときは警告します（「A.5 Working Model 2D の誤差制限方法」を参照してください）。この警告は、実行時間中に無視することはできますが、残りのシミュレーションは不正確になったり、不安定になったり、あるいはその両方になったりします。

ボディの初めの重複

2 個以上のボディが初めの状態から重複許容値 (A-15 ページの「シミュレーション誤差許容値」を参照してください) を越えて重なっているときには、警告をだし、そのボディはジョイントで接続されないか、衝突なしとして指定されます。

2 個の重なっているボディが衝突するときには、ボディはシミュレーション中に物理的に不安定になります。詳しいことは A-20 ページの「シミュレーションの不安定動作を防止」を参照してください。

余分な拘束

特定の物体の運動を拘束するのに過多の拘束を加えると警告します。たとえば、ボディと背景の間に数点のピン結合が数点あるボディには余分な拘束が掛かっています。

矛盾している拘束

そのモデルの拘束が物理的に矛盾しているとき、たとえば、一定の速度のモータで動いている物体が別の係留されているボディにぶつかるときに警告します。必要ならばこの警告を無視して、そのシミュレーションを続けることができますが、そのシミュレーションの結果はその後、信頼性の低いものになります。

A.7 衝突のシミュレーション

この項では、Working Model 2D が衝突のモデルをどのように作るかの概要を説明します。Working Model 2D のシミュレーションで得られる測定データを理解する役立ちます。

Working Model 2D の衝突のシミュレーションの方法

オーバーラップの検出

Working Model 2D は数値的に時間的に不連続なステップで積分しますので § ボディが他のボディに少しだけ重なる場合があります。たとえば、2 個のボディが互いに近づき、タイムステップ n だけ離れているのが、タイムステップ $(n+1)$ である次のフレームで、その速度がお互いを重ねることがあります。

Working Model 2D はボディ間の交差を見つけて、寸法的に衝突を検出します。ボディが衝突しているとき、Working Model 2D は貫通防止に必要な力をコンピュータで計算します。Working Model 2D は、このような力に基づいて、ボディの新たな速度を計算し、シミュレーションを続けます。

可変タイムステップモードでは、重なる量を制限するために許容誤差を指定することができます (A-15 ページの「シミュレーション誤差許容値」を参照してください)。Working Model 2D は、衝突が近い場合には自動的に適当な小さい積分ステップを使って、そのオーバーラップを精度ダイアログでオーバーラップエラーとして指定する許容値内に保ちます。オーバーラップエラーは同様に固定タイムステップモードでの衝突の検出に使用しますが § 衝突は固定タイムステップのために許容値より大きく重なる場合があります。

衝突の衝撃

一旦、衝突を検出すると、Working Model 2D はボディを十分撥ね付けられる力を計算し、衝突をシミュレーションします。Working Model 2D は反発に基づく衝突モデルを使って、その中で反発係数 (プロパティウィンドウに表示されている弾性、3-12 ページの「弾性と摩擦」を参照してください) を使用します。

1 次元の粒子の機構の例として、速度 v_1 および v_2 で衝突している 2 個の粒子 (それぞれ質量 m_1 および m_2) で始めます。すると衝突後の速度 (v_1' および v_2' とします) は次のような 1 対の線形方程式から計算することができます (2 個の未知数 v_1' および v_2' が 2 個の線形独立の方程式にあることに注意してください)。

$$m_1 v_1 + m_2 v_2 = m_1 v_1' + m_2 v_2' \quad (\text{運動量の保存})$$

$$e = \frac{v_2 - v_1}{v_1' - v_2'} \quad (\text{反発係数の定義})$$

ここで e は反発係数です。

Working Model 2D は 2 次元シミュレータで、さらに、いくらか一般化した同様な原理を使って、衝突後のボディの新しい速度を計算します。

衝突力の計算

衝突は不連続な時間でシミュレーションしますので、衝突によって発生する力の時間による変化は、タイムステップで左右されます。Working Model 2D は質量 m_1 に働いている衝突力 f_1 を前の項 (「Working Model 2D の衝突のシミュレーションの方法」) の表記法で、下記のように知らせます。

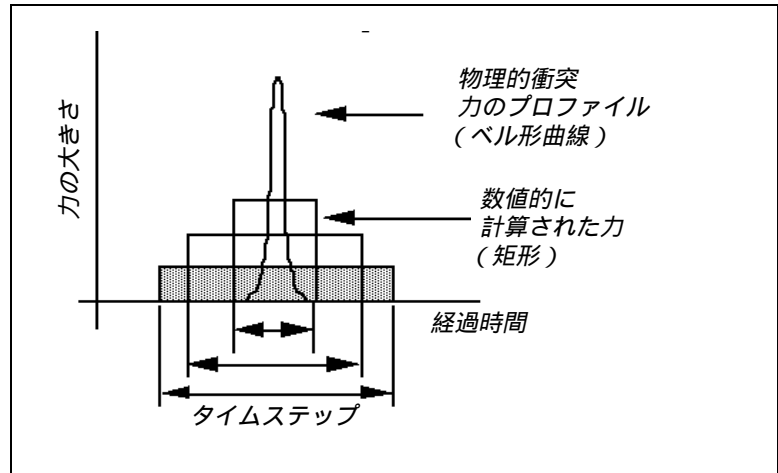
$$f_1 = m_1 \left(\frac{v_1' - v_1}{\Delta t} \right) \quad (\text{Working Model 2D 内で知らされる衝突力})$$

ここで Δt はアニメーションタイムステップです。

注：Working Model 2D 中での衝突力の測定は Δt の大きさに左右され、衝突の衝撃 $f_1 \Delta t$ はすべての時間で正確に表されています。

物理実験で、衝突力の輪郭は一般に、スパイク状ベル形曲線に類似しています。それを実現しているのは（ここでは衝突の物理的な持続時間なので、関数はゼロではありません）多くの場合、数値シミュレーション（図 A-4 を参照してください）に使用している一般的なタイムステップよりはるかに小さいタイムステップなのです。

図 A-3
タイムステップの大きさ、数値
ピーク値および物理的ピーク値



ベル形曲線の下部の領域は衝撃と名づけられています。この量は Working Model 2D の中に、タイムステップの大きさに無関係に正確に保存されます。図 A-3 の中で、さまざまな大きさの長方形は、Working Model 2D が計算する衝撃量の形状を表します。衝撃力（長方形の領域）はステップの大きさで変化しないので、高さ（力のピーク）がタイムステップの大きさによって変化することに注意します。Working Model 2D は時間離散シミュレータです。衝突の正確な持続時間は物理的な試験ではほとんど分かりませんので、Working Model 2D はその衝突力をアニメーションタイムステップで割った衝撃力として知らせます。

Working Model 2D の知らせる衝突力 - 不連続な力の輪郭のピーク値 - は、タイムステップの大きさが衝突の物理的な持続時間に近づくと実験値に近づきます。

メーターの衝突力

衝突力は Working Model 2D の接触力メーターで表示することができます。このメーターを作成するには次のようにします。

1. 衝突する 2 個のボディを選びます。
2. 測定メニューの接触力を選びます。

接触力メーターがそのドキュメントに現われます。

接触力メーターは一般力と衝突力の合計を知らせます。1 個のボディがもうひとつの上端に静止していると、一般力が 1 個のボディから別のボディに働いていますので、接触力は、値が 0 でないことを知らせます。衝突している間には衝突力がありますので、接触力メーターは通常の力よりはるかに大きい力を知らせます。

A.8 シミュレーションの精度

シミュレーションの不安定動作を防止

高速で方向がランダムに動くボディではシミュレーションの指示が不安定になります。シミュレーションが不安定になっているときにはすぐに明らかになります。

シミュレーションの不安定は、初めに重なりがあるボディが衝突するときにも起こります。ジョイントで接続されていない 2 個のボディは衝突します。衝突なしコマンドを使わずに 2 個のボディを重ねると、ボディを引き離そうとする大きな力が発生します。

不安定は一般により小さいタイムステップにすることが必要なことを示しています。オブジェクトを短い時間で長距離を移動させ、ジョイントあるいは接触で別のオブジェクトと相互に作用させると、結果が正しくなくなり、不安定になる場合があります。

経験則による良い方法は、タイムステップを系に発生する小さな動きを捉えられるような十分小さい値にしなければならないということです。ギターの弦のモデルを考えると、非常に小さいタイムステップが必要です。ギターの弦が 1 秒間に 440 回振動すれば、弦の前後運動の正確なモデルを作るには 4 タイムステップ以上が必要です。このように、1 秒間に 1760 個のタイムステップすなわち 1/1760 秒のタイムステップが必要になります。

小さなタイムステップが必要なその他の系には、非常に軽いボディと相互に作用している非常に重いボディ、引張られている鎖、重い自動車に付いている軽い車輪などがあります。

不安定は、一般に高精度シミュレーション法（シミュレーション精度ダイアログを使用します）で補正することができます。高精度シミュレーション法で自動的にタイムステップを調整します。代わりに、高速シミュレーション法を使用しますが、タイムステップは減らします。ささいなお遊びですが、タイムステップがシミュレーションにどう影響するかが分かります。

高速法（固定タイムステップ）を使うときには、タイムステップを減らすと精度が上がります。高精度法（可変タイムステップ）を使用しているときには、積分誤差の値を減らすと精度が上がります。誤差の値は、それぞれのタイムステップの間に数値誤差をどれ位許容できるかを決めます。誤差の値が小さければ小さいほど、そのシミュレーションは正確になります。

高精度シミュレーションのために

シミュレーションの精度を上げるために使用する方法は有限要素解析パッケージで使用するのと同様です。結果が次第に収束し始めるまで、精度を上げながらシミュレーションを何度も実行します。

精度を上げるには2つの方法があります。高速法（固定タイムステップ）ではタイムステップの大きさを小さくします。高精度法（可変タイムステップ）では、積分誤差の値を小さくします。

精度のチェックに使用する最良の項目は、系と統合されて、大きな速度をもつボディの位置と速度です。乗り物のサスペンション系のシミュレーションを行うときには、精度をチェックするために、速く動いているサスペンション部品を1個使用します。揺れている鎖をシミュレーションするときには、最も外側にあるリンクの1つを使用します。

特定の部品の精度をチェックするには、その部品の位置メーターと速度メーターを作成します。シミュレーションの終り間際の時間でメーターの値を記録します。シミュレーションをリセットし、固定タイムステップ法を使うならタイムステップを半分に減らし、可変タイムステップ法を使うなら積分誤差を半分に減らします。そのシミュレーションを再び実行し、計測された値が明らかに変化しているかどうか調べます。精度を上げて実行して、測定している値をシミュレーション全体にわたって調べなければなりません。

シミュレーションで測定している変動量に収束が見られなければ、その系は初めの状態に大きく左右され、ある場合には偶然に不安定になることがあります。

エネルギーを取得する系

エネルギーを受け取る系は、一般により精度の高いシミュレーション方法でシミュレーションする必要があります。単純な振り子が高く揺れ始めれば、その系はエネルギーを取得しています。系がエネルギーを取得すると、タイムステップを減らしたり、可変タイムステップを使うようにします。

精度と系の特性

シミュレーションの精度は、モデルの物理的な系に大きく左右されます。単一の駆動力の掛かっている 4 個の棒の連結などのある種の物理系は、非常に精度の高いシミュレーションに向いています。初期条件に大きく左右される物理系は、新規条件に鋭敏であるシミュレーションに向いています。

系が実世界では 2 回続けて同じ結果を出さなければ、システムに起こりそうなことを観察するのに、希望が持てるのはシミュレーションだけです。人が階段を転げ落ちるのは、その 1 例です。

系が実世界で再生可能であれば、自分の選んだ精度でシミュレーションできるでしょう。

位置フィールドに $1e-19$ のような数値が現われる理由

このような数値は、グリッドにスナップをオンにして物体をドラッグしたときの丸めによって起こります。何回もドラッグしますと大きな浮動小数点の最後の桁の非常に小さな差異が蓄積します。 $1e-19$ という数は 0.0000000000000000001 を表します。この丸めは非常に小さいので作業には影響しません。

変更する場合は、数値および単位ダイログの数値表示設定を変えて、この数を 0.000 と表示するようにします。固定小数点表示形式 (固定小数点表示形式) を選びます ($1e-19$ のような数値でわずらわしければ 0.0 のように変えることも可能です)。

SI 系以外でのメーターデータの精度

力、エネルギーまたはパワーを計測するメーターの SI 単位系での精度は、SI 単位系でのよりもわずかに低くなります。たとえば、メーターをボディの変換運動エネルギーを測定するように作成するものとします。Working Model

2D は $\frac{1}{2}mv^2$ を公式として使用します。SI 単位系では 1 J (ジュール) = 1 kg·m²/s² です。ところが、エネルギーを測定するために Btu (英国熱量単位) が使われている英国単位系では、1 Btu は 1 lb·ft²/s² と等しくはなりません。従って、エネルギーをコンピュータ処理 $\frac{1}{2}mv^2$ している間に、メーターが正確な値を Btu で知らせるのであれば、特別な変換機構を使う必要があります。

この変換により、変換運動エネルギーメーターの公式は次のようになります。

```
9.49e-
4*(0.5*body[1].mass*0.454*sqr(body[1].v*0.305))
```

ここで定数 9.49e-4、0.454 および 0.305 はジュールを Btu に変換し、ポンドをキログラムに、フィートメートルにそれぞれ変換します。

これらの定数は、数値および単位ダイアログで規定する桁数の数値で作られるので、メーターは SI 単位系と SI 単位系以外の単位系の間でわずかに差異を出します。数値および単位ダイアログの小数点以下の桁数を増加して、Working Model 2D で発生するこれらの変換係数の精度を上げることができます。

A.9 技術情報

数値解法および機構について、より広い範囲の文書を参照したい読者がおられるかも知れません。膨大な文献のわずか一部ではありますが、参考文献を下に列挙します。

数値解法について

Leslie Fox: Numerical Solution of Ordinary and Partial Differential Equations, Addison-Wesley, 1962.

Robert W. Hornbeck: Numerical Methods, Prentice-Hall, 1961.

Gene H. Golub and James M. Ortega: Scientific Computing and Differential Equations: An Introduction to Numerical Methods, Academic Press, Inc, 1992.

C. William Gear: Numerical Initial Value Problems in Ordinary Differential Equations, Prentice-Hall, 1971.

Germund Dahlquist and Åke Björck: Numerical Methods, Prentice-Hall, 1974.

機構について

Thomas R. Kane and David A. Levinson: Dynamics: Theory and Applications, McGraw-Hill Publishing Company, 1985.

Ferdinand P. Beer and E. Russell Johnston, Jr.: Vector Mechanics for Engineers, McGraw-Hill Book Company, 1977.

Nicholas P. Chronis: Mechanisms & Mechanical Devices Sourcebook, McGraw-Hill, Inc., 1991.

Edward J. Haug: Computer-Aided Kinematics and Dynamics of Mechanical Systems, Allyn and Bacon, 1989.

A. Bedford and W. Fowler: *Engineering Dynamics—Mechanics*, Addison-Wesley Publishing Company, 1995.

R. E. Roberson and R. Schwertassek: Dynamics of Multibody Systems, Springer-Verlag, 1988.

R. C. Hibbeler: Engineering Mechanics—Dynamics, Macmillan Publishing Co., Inc., 1983.

J. L. Meriam and L. G. Kraige: Engineering Mechanics, Volume 2, Dynamics, John Wiley and Sons, 1987.

David J. McGill and Wilton W. King: Engineering Mechanics: an Introduction to Dynamics, Brooks/Cole Engineering Division, 1984.

付 録 B

式言語リファレンス

この追記は Working Model 2D の式言語を説明します。

注：式言語は Working Model Basic (WM Basic) とは異なるシステムです。類似の構文と数値取り扱い技術を共有しますが、異なる目的に使用します。WM Basic は Working Model 2D の操作に使用する言語システムですが、式言語はシミュレーション中に Working Model 2D の要素に使われる高性能の、簡易な言語です。WM Basic の詳細については、CDROM に含まれる『Working Model Basic User's Manual』を参照してください。

B.1 式について

式は数学構文の標準規則に従い、スプレッドシートおよびプログラム言語で使用する方程式に極めてよく似ています。式は識別子、フィールド、演算子および関数で構成されています。次の項でそれぞれの内容を詳しく取り上げます。

式の最大文字長は 255 です。大文字および空白は式に無関係ですが、識別子および関数の名前には空白を入れてはいけません。丸括弧 () は標準の代数式の中と同じ働きをします。

B.2 数値表記法

Working Model 2D の数値には、Lotus 1-2-3 および Excel のスプレッドシートなどの標準科学記号および BASIC、PASCAL、C などのコンピュータ言語を使用します。

指数

指数は次の方法で表示します。

In Printed Text	In Working Model 2D
123×10^3	123e3
1.001×10^{-22}	1.001e-22

角度測定単位

角度はすべてラジアンで表現します。360° の角度は 2 rad です。

注：Working Model 2D のデフォルト表示モードは度ですが、式中の角度はラジアンで表現します。

B.3 識別子

識別子は式の中で要素の識別に使用します。識別子には 5 つの形式があります。式を作るときに、これらの形式を使用することができます。

```
body[3]

point[2]

constraint[44]

output[12]

input[5]
```

角型括弧 [] 内の数字は要素 ID です。Working Model 2D の各要素には固有の ID があります。要素の ID を調べるには、その要素をダブルクリックして、その要素の「プロパティ」ウィンドウを表示します。ID が「プロパティ」

ウィンドウの上端に適当な構文の式で現われます。さらに、ポインタが要素の上にあるときには、要素の識別子はステータスバーの中に表示されます（第6章「ワークスペース」を参照してください）。

たとえば、body[10] はボディ #10 の ID です。

Body[]

Body[] は円、多角形および長方形などのボディ識別子です。

Point[]

Point[] はポイント要素の識別子です。ポイント要素は分離しているポイントが拘束の終点を構成するポイントのどちらかです。Point[11] はポイント #11 の ID です（多角形の頂点については B-6 ページの「ボディフィールド」を参照してください）。

Constraint[]

Constraint[] はスプリング、ロープ、ジョイントおよびプーリーを含む拘束要素の識別子です。

Output[]

Output[] はすべてのメーターの識別子です。

Input[]

Input[] はスライダー、テキストボックスおよびボタンを含むすべての入力操作の識別子です。

存在しない要素の ID をもつ識別子を使用しますと、「Null」要素となります。Null 要素はそれらのプロパティのすべてを 0.0 に戻します。

B.4 フィールド

Working Model 2D 式言語の識別子はそれぞれフィールドをもっています。フィールドを使用して、位置と速度などの基本的なプロパティの値にアクセスします。

フィールドは「型」、次にピリオド (.) およびフィールドの名前で規定します。ID が 3 のボディのモーメントにアクセスするには下の式を入力します。

```
body[3].moment
```

body[3].moment から戻る値はどの式にでも使用することのできる数値です。

x、y および回転成分をもっている値がベクトル型として戻されます。ベクトル型は .x、.y および .r (回転) の 3 個のフィールドを持っています。

フィールドはいくらか大きな要素の小さい成分にアクセスする方法です。

一列に並べた 2 個のフィールドを使用することがときどきあります。ボディを回転するために、次の式を入力します。

```
body[2].p.r
```

この方程式には 2 個の階層フィールドがあります。最初に、body[2].p は 1 個のベクトル値であるボディ #2 の位置フィールドを生成します。次に、「.r」は位置フィールドから回転値（ボディの方向づけ）を生成します。

```
body[2]                ボディ型
```

```
body[2].p              ベクトル型
```

```
body[2].p.r            数値型
```

次に各フィールドが生成する値の型をもつフィールドをすべて列挙します。フィールドの説明は、次の項を参照してください。

タイプ	フィールド	戻り型
Vector	.x	数値
	.y	数値
	.r	数値
Body	.p	ベクトル
	.v	ベクトル
	.a	ベクトル
	.mass	数値
	.moment	数値
	.charge	数値
	.staticfric	数値
	.kineticfric	数値
	.elasticity	数値
	.cofm	ポイント
	.width	数値
	.height	数値
	.radius	数値

	.vertex[n].x	数値
	.vertex[n].y	数値
Point	.p	ベクトル
	.v	ベクトル
	.a	ベクトル
	.offset	ベクトル
	.body	ボディ
	.force	ベクトル
Constraint	.length	数値
	.dp	ベクトル
	.dv	ベクトル
	.da	ベクトル
	.p1	ポイント
	.p2	ポイント
	.force	ベクトル
Output	.x	数値
	.y1	数値
	.y2	数値
	.y3	数値
	.y4	数値
Input		数値

ベクトルフィールド

x, y, r

位置、速度および加速はいつも上表のベクトル「型」として戻されるので気をつけてください。たとえば、

`point[4].a`

ポイント #4 の加速度

`body[3].v`

ボディ #3 の質量中心の速度

はどちらもベクトル型です。数値でないので、これらの式をテキストフィールドに入れることはできません。

これらのベクトルの個々の成分にアクセスするには x 、 y または回転成分が必要かどうかを明示しなければなりません。

数値を取得するために、かわりに次の式を入力します。

`body[3].v.x` ボディ #3 の質量中心の x 速度

`body[3].v.x` はボディ #3 の質量の中心の x 速度をベクトルでない数値で表します。

サブフィールド「 r 」は任意のベクトルの回転成分を戻します。

ボディフィールド

p, v, a

位置、速度および加速度の現在の値です。これらのフィールドはそれぞれ、ベクトル型の値を戻します。これらのフィールドを使用するときには、ベクトルフィールド (x 、 y 、 r) の 1 つを付加することが必要です。

`body[1].p.x` ボディ #1 の質量中心の x 位置

`body[3].v.y` ボディ #3 の質量中心の y 速度

`body[37].a.r` ボディ #37 の角加速度

$mass, moment, charge,$
 $staticfric, kineticfric,$
 $elasticity$

さまざまなプロパティの現在の値です。

`body[3].charge` ボディ #3 の電荷

`body[14].mass` ボディ #14 の質量

$cofm$

このフィールドはボディの質量の中心の力学特性を戻します。式

`body[3].cofm`

はポイントと同じ形なので、ポイントに使用できるフィールドをすべてもっています (B-7 ページの「ポイントフィールド」を参照してください)。たとえば、式

`body[3].cofm.p.x`

は重心の x 座標を戻します。同様に

```
body[3].cofm.v.x
```

は重心の速度の x 成分を戻します。

次の 4 つのフィールド (width、height、radius、vertex[n]) は形状基準式と称し、ボディの形状情報を戻します。これらのフィールドは拘束の終点を正確に位置決めするために使用することができます (4-15 ページの「形状ベースの式の使用 (ポイントベースのパラメトリック)」を参照してください)。

width

長方形または正方形の幅を戻します。width フィールドはその他のボディ型には無効です。正方形では、width はいつも height と同一です。

height

長方形または正方形の高さを戻します。height フィールドはその他のボディ型には無効です。正方形では、height は常に width と同一です。

radius

円の半径を戻します。radius フィールドはその他のボディ型には無効です。

vertex[n].x, vertex[n].y

多角形では、vertex[n].x および vertex[n].y はそれぞれ n 番目の頂点の x および y 座標を戻します。数値 n ($n \geq 1$) は多角形用の「形状」ウィンドウに表示される頂点 ID 番号に相当します。座標は多角形の座標系 (3-10 ページの「参照ポイント」) として指示します。

長方形および正方形では、vertex[1] は右上の角に相当し (ボディの方向づけが 0 のとき) それによるインデックス付け (2 から 4) は反時計順にその他の頂点を戻します。

vertex[n] の表記は円には無効です。

ポイントフィールド

p, v, a

位置、速度および加速の現在の値です。これらのフィールドはそれぞれベクトル型の値を戻します。このように、これらのフィールドを使うには 1 個のベクトルフィールド (x、y、r) の 1 つを加える必要があります。

```
point[1].p.x
```

ポイント #1 の x 位置

ポイントの位置は全体座標系で指定します。

offset `offset` フィールドはポイントがついているボディの参照ポイントでポイント成分の現在の構成(`.x`、`.y` および `.r`)を含むベクトルを戻します(局所座標系)。

ポイント成分が背景に付いていればそのオフセットフィールドはポイント成分の `.p` フィールドと等価です。それは

```
point[n].p.x = point[n].offset.x
```

で、`.y` および `.r` フィールド用と同様です。

body `body` フィールドはポイント成分が付いているボディを戻します。関係するフィールドについてはB-6ページの「ボディフィールド」を参照してください。

force `force` フィールドはポイントに作用する力を表しているベクトル、もっと正確に言えば、そのポイントでボディに作用している力を戻します。その要素は、ポイント成分がついていることに無関係に全体座標系で指定します。

拘束フィールド

length 拘束の 2 点間の現在の距離です。ばねの現在の長さを調べるには、次のように入力します。

```
constraint[3].length 拘束 #3 の長さ
```

dp, dv, da 拘束の 2 点間の位置、速度および加速の差異の現在の値です。これらのフィールドはそれぞれベクトル型の値を戻します。

これらの値は拘束の座標系の中で測定します。x 値は 2 点間拘束の 2 点を接続している線に沿って測定されます。

ばねの長さがどれくらい速く変化しているか(そのばねの 2 個の終点間の速度の差異)を見つけるには、次の式を入力します。

```
constraint[3].dv.x
```

p1, p2 これらのフィールドはそれぞれ拘束の終点となる `point` を戻します。`p1` フィールドは最初に作られたポイント成分を戻します。関係するフィールドについては B-7 ページの「ポイントフィールド」を参照してください。

force カフィールドは拘束力を表す `vector` を戻します。このフィールドは `constraintforce(n)` と等しい値です (B-20 ページの「シミュレーション関数」を参照してください)。

出力フィールド

x 出力グラフの x 軸、すなわち横座標に表示される値です。

`output[6].x` 出力 6 の x 軸に表示される値

y1, y2, y3, y4 出力グラフの y 軸に表示される値です。

`output[6].y1` 出力 6 の y1 軸に表示される値

`output[6].y2` 出力 6 の y2 軸に表示される値

`output[6].y3` 出力 6 の y3 軸に表示される値

`output[6].y4` 出力 6 の y4 軸に表示される値

B.5 演算子

演算子は一般的な代数記号 (+、-、>、=) をすべて含みます。次の演算子は 1 ないし 2 個の数値が必要です。文字「a」および「b」は、数値あるいは数値を表す式の格納場所として使われます。

数値演算子

次に式の入力に使える数値演算子を列挙します。

演算子	入力	出力
- (負)	a	-a
+ (加算)	a + b	a + b
- (減算)	a - b	a - b
* (乗算)	a * b	a x b
/ (除算)	a / b	a / b
% (剰余)	a % b	a mod b
^ (べき乗)	a ^ b	ab
>	a > b	1 または 0
<	a < b	1 または 0
>=	a >= b	1 または 0
<=	a <= b	1 または 0
= (等式)	a = b	1 または 0
<> (不等式)	a <> b	1 または 0

これらの演算子は入力として数値が必要です。これは数値でないほとんどの式成分を加えられないことを表しています。

誤り

body[3] + point[3]	ボディをポイントに加算できない
body[3].p - 34.5	ベクトルから数値を差し引けない
point[7].v + body[3]	ベクトルをボディに加算できない
body[3].p > 44.0	ベクトルを数値と比較できない

正解

```
body[3].p.x + point[3].p.x  
body[3].p.x - 34.5  
point[7].v.y - body[3].v.y  
body[3].p.y > 44.0
```

```
body[3].p.y = 44.0
```

```
body[3].p.y != 44.0
```

- (負) 1 個の数値からその数値の負の値を戻します。
- + (加算) 2 個の数値の和を戻します。
- (減算) 2 個の数値の差を戻します。
- * (乗算) 2 個の数値の積を戻します。
- / (除算) 2 個の数値の商を戻します。
- % (剰余) 2 個の数値から、1 番目の値を 2 番目の値で割った剰余を戻します。
- ^ (べき乗) 2 個の数値から、1 番目の値を 2 番目の値で累乗した値を戻します。
- > (より大きい) 2 個の数値の 1 番目の値が 2 番目の値より大きければ、値 1 を戻します。そうでなければ値 0 を戻します。
- < (より小さい) 2 個の数値の 1 番目の値が 2 番目の値より小さければ、値 1 を戻します。そうでなければ、値 0 を戻します。
- >= (より大きいか等しい) 2 個の数値の 1 番目の値が 2 番目の値より大きい、等しければ値 1 を戻します。そうでなければ値 0 を戻します。
- <= (より小さいか等しい) 2 個の数値の 1 番目の値が 2 番目の値より小さいか等しければ、値 1 を戻します。そうでなければ値 0 を戻します。
- = (等しい) 2 個の数値の 2 個の値が等しければ、値 1 を戻します。そうでなければ値 0 を戻します。この演算子は方程式の左側に値を割り当てません。式

```
body[3].p.y = 3
```

はボディ #3 の y 位置が 3.0 に等しければ 1 を戻します。この式はボディ #3 の位置の値を設定しません。

<> (等しくない)

2個の数値が等しくなければ値1を戻します。そうでなければ値0を戻します。

演算子優先度

括弧を使って、式の解釈の順番を設定します。等式はすべて一般に左から右へ解釈します。演算子の優先度は次の順になります。(同じ行にある演算子は同じ優先度です)。

()	[]	.	最高優先度
*	/	^	%
+	-	(2項演算子)	
<	<=	>	>=
=	最低優先度		

算術演算子

最高順位の演算子を最初に適用します。たとえば、次の式

$$3 + 2 * 4$$

は $(3+2)*4$ ではなく、 $3+(2*4)$ と解釈します。掛け算 (*) 演算子が加算 (+) 演算子よりも高い順位にあるからです。

丸括弧 () を使って、解釈する順序を変更します。さまざまな演算子の優先度があいまいである場合には、解釈する順番を保証します。上記の例では、式を

$$(3 + 2) * 4$$

のように入力して、掛け算の前に強制的に加算するようにします。

式の中と同様に括弧を入れ子にすることができます。

$$((3 + 2) * 4 + 10) / 2$$

括弧を使用し、大括弧 [] または中括弧 { } を使用しないことを確実に実行します。

不等号についての注意

不等号演算子は同じ優先度ですが、2項演算子は左から右に解釈しますので、式の戻り値


```
if (0 < t <=1, 50, 100)
```

は、事実上

```
if ((0 < t) <= 1, 50, 100)
```

と等価です。したがって、上の式はいつも、値 t に無関係に 50 を戻します ($0 < t$) は 1 または 0 を戻し、全体の最初の引数は常に 1 または true (真) なので、 t が 0 と 1 の間であれば 50 を戻し、そうでなければ 100 を戻すことをしたければ、次のようにタイプしなければなりません。

```
if (and(0 < t, t <= 1), 50, 100).
```

それぞれの関数について詳しく調べる場合には B-15 ページの「関数一覧」を参照してください。

ベクトル演算子

次の演算子はベクトルで動作します。

演算子	入力	出力
- (負)	ベクトル	ベクトル
+ (加算)	ベクトル, ベクトル	ベクトル
- (減算)	ベクトル, ベクトル	ベクトル
* (乗算)	数値, ベクトル	ベクトル
(大きさ)	ベクトル	数値

演算子は、その入力型が前の図表に列挙している型に一致している必要があります。ベクトル演算子は式を簡単にするのに利用することができます。2 個のボディの間の距離を示すメーターを表示するには、次の式を入力します。

```
|body[3].p - body[2].p|
```

この式は 2 個のベクトル演算子を含んでいます。最初に、「-」演算子が 2 個のボディの位置を差し引くために使われました。

```
body[3].p - body[2].p
```

結果はベクトルです。

上記の図表は、負 (-) 演算子は 2 個のベクトルで使うことができ、結果が 1 個のベクトルになることを示しています。結果は大きさ (||) 演算子と一緒に使って数値を生成することができます。次の表に、間違える可能性のあるものとその正しいものを示します。

誤	正
<code>body[2]. a </code>	<code> body[2].a </code>
<code> body[2]].a</code>	<code> body[2].a </code>
<code> body[2].a.x </code>	<code>abs(body[2].a.x)</code>
<code>body[2].a.x + body[2].v</code>	両方の演算数をベクトルまたは数値に統一する

- (負)

ベクトル量の負の値を戻します。ベクトルの `.x`、`.y` および `.r` フィールドはすべて負になります。

`body[3].p.x` 値は 10.0 です。

`-body[3].p.x` 値は -10.0 です。

`(-body[3].p).x` 値は -10.0 です。

最後の場合には、`body[3].p` の値が完全ベクトルであるとして負になります。

+ (加算)

2 個のベクトルの和のベクトルを戻します。戻されるベクトルには加算される 2 個のベクトルの相当するフィールドそれぞれの和に等しいフィールド (`.x`、`.y`、`.r`) があります。

- (減算)

2 個のベクトルの差のベクトルを戻します。戻されるベクトルには加算される 2 個のベクトルの相当するフィールドのそれぞれの和に等しいフィールド (`.x`、`.y`、`.r`) があります。

* (乗算)

ベクトルと数値を掛け算した結果のスカラー積を戻します。戻されるベクトルは数値と掛け算されるベクトルの相当するフィールドの積に等しいフィールド (`.x`、`.y`、`.r`) を持っています。

|| (大きさ)

1 個のベクトルからその .x フィールドと .y フィールドの大きさである数値を返します。大きさはベクトルの (0, 0) からベクトルの (.x, .y) フィールドに描かれた線の長さと同じです。大きさ関数から戻される数値は下記に等しくなります。

```
|v| = sqrt(v.x*v.x + v.y*v.y)
```

B.6 関数

関数は 0 から 3 個の引数を取り、数値またはベクトル値を返します。関数はすべてその形式で引数を受けます。

```
function(arg1, arg2.....)
```

利用できる関数には 2 種類あります。数学関数は標準の数学演算を行います。シミュレーション関数は Working Model 2D のシミュレーションから情報を返します。

関数一覧

関数名	入力	出力
abs	数値	数値
and	数値, 数値	1 または 0
angle	ベクトル	数値
acos	数値	数値
asin	数値	数値
atan	数値	数値
atan2	数値, 数値	数値
ceil	数値	数値
cos	数値	数値
exp	数値	数値
floor	数値	数値
if	数値, 数値, 数値	数値
ln	数値	数値
log	数値	数値
mag	ベクトル	数値
max	数値, 数値	数値

<code>min</code>	数値, 数値	数値
<code>mod</code>	数値, 数値	数値
<code>not</code>	数値	1 または 0
<code>or</code>	数値, 数値	1 または 0
<code>pi</code>		$\frac{1}{4}$
<code>pow</code>	数値, 数値	数値
<code>rand</code>		数値
<code>sign</code>	数値	1 または -1
<code>sin</code>	数値	数値
<code>sqr</code>	数値	数値
	ベクトル	数値
<code>sqrt</code>	数値	数値
<code>tan</code>	数値	数値
<code>vector</code>	数値, 数値	ベクトル

abs(x) 1 個の数値の絶対値を戻します。例

```
abs (body [3] .p.x)
```

はボディ #3 の x 位置の絶対値を戻します。

and(x,y) 論理 AND 演算。2 個の数値の両方の数とも 0 でなければ値 1 を戻します。そうでなければ、値 0 を戻します。例

```
and (time>1 , body [2] .v.y>10)
```

は、time が 1 より大きく、ボディ #2 の y 速度が 10 より大きければ、値 1 を戻します。

angle(v) 1 個のベクトルが座標平面で作る角度を戻します。たとえば、ボディの速度が x 方向で 0、y 方向で 10 であれば、ボディの速度は座標平面上で 90° の方向または $\pi/2$ の方向です。式

```
angle (body [3] .v)
```

は $\pi/2$ の値を戻します。

acos(x) 1 個の数値の逆余弦を戻します。値は $[0, \pi]$ の範囲で戻されます。

<i>asin(x)</i>	1 個の数値の逆正弦を戻します。値は $[-\pi/2, \pi/2]$ の範囲で戻されます。
<i>atan(x)</i>	1 個の数値の逆正接を戻します。値は $[-\pi/2, \pi/2]$ の範囲で戻されます。
<i>atan2(y,x)</i>	2 個の数値 y と x から y/x の逆正接 i を戻します。この関数は <i>atan</i> 関数と異なっているので、正確な四分円で角度を発生することができますので便利です。値は $[-\pi, \pi]$ の範囲で戻されます。
<i>ceil(x)</i>	1 個の数値より小さくない最小の整数を戻します。
<i>cos(x)</i>	1 個の数値の余弦を戻します。
<i>exp(x)</i>	1 個の数値の指数を戻します (e にその数値をべき乗)。
<i>floor(x)</i>	1 個の数値の指数を戻します (e にその数値をべき乗)。
<i>if(x,y,z)</i>	<p>3 個の数値から、1 番目の数値 (x) の値が 0 でなければ、2 番目の数値 (y) の値を戻します。そうでなければ 3 番目の数値 (z) の値を戻します。例</p> <pre>if(time>1, 20, 0)</pre> <p>は <i>time</i> が 1 より大きければ値 20、そうでなければ、値 0 を戻します。</p> <p>一般に <i>if</i> 関数の第 1 引数は相対演算 ($x > y$ のような) または論理演算 ($\text{and}(a, b)$ のような) です。その引数としてその他の <i>if()</i> 関数を繰り返し使って、<i>if</i> 文を入れ子にして書くことができます。</p> <p>例として、3 個の数値 a、b および c の最大値を戻す、幾分間違いやすい C 言語のコードを下に示します。</p>

```
{
  if (a > b) {
    if (a > c)
      return a ;
    else
      return c ;
  }
  else {
    if (b > c)
      return b ;
    else
      return c ;
  }
}
```

Working Model 2D の式言語で上記のセグメントは次のように 1 行に解釈することができます。

```
if(a>b,if(a>c,a,c),if(b>c,b,c))
```

ln(x)

1 個の数値の自然対数を戻します。

log(x)

1 個の数値の 10 を底とした対数（常用対数）を戻します。

mag(v)

1 個のベクトルの大きさを戻します。結果は $|v|$ と同じです。

max(x,y)

2 個の数値の数値の大きい方を戻します。例

```
max(body[1].a.x , body[2].a.x)
```

はボディ #1 またはボディ #2 の x 加速の大きい方を戻します。

3 個の数値 a、b および c の最大値を求めたい場合には、max() 関数を次のように繰り返し使うことができます。

```
max(max(a,b),c)
```

min(x,y)

2 個の数値の数値の小さい方を戻します。例

```
min(body[1].v.x , body[2].v.x)
```

はボディ #1 またはボディ #2 の x 速度の小さい方を戻します。

`max()` 関数と同様に、3 個の数値 `a`、`b` および `c` の最小値を次のように求めることができます。

```
min(min(a,b),c)
```

<code>mod(x,y)</code>	2 個の数値の 1 番目の値を 2 番目で割ったときの剰余を戻します。
<code>not(x)</code>	論理 NOT 演算。1 個の数値が 0 でなければ値 0 を戻します。そうでなければ、値 1 を戻します。
<code>or(x,y)</code>	論理 OR 演算。2 個の数値の少なくとも 1 つ以上が 0 でなければ値 1 を戻します。両方の数値が 0 であれば、0 を戻します。例 <pre>or(time>1 , body[2].v.r>10)</pre> は、 <code>time</code> が 1 より大きい、ボディ #2 の角速度が 10 より大きければ値 1 を戻します。
<code>pow(x,y)</code>	2 個の数値から、 <code>y</code> 乗される <code>x</code> の値を戻します。これは <code>xy</code> を戻します。
<code>pi()</code>	の値を戻します。
<code>rand()</code>	0 と 1 の間の乱数値を戻します。
<code>sign(x)</code>	1 個の数値が 0 以上であれば値 1 を戻します。そうでなければ、値 -1 を戻します。
<code>sin(x)</code>	1 個の数値の正弦を戻します。
<code>sqr(x)</code>	1 個の数値またはベクトルの演算です。その入力为数値であれば数値の平方 (<code>x * x</code>) を戻します。入力がベクトルであれば、 <code>.x</code> フィールドの平方と <code>.y</code> フィールドの平方の和を戻します。
<code>sqrt(x)</code>	1 個の数値の数値の平方根を戻します。
<code>tan(x)</code>	1 個の数値の正接を戻します。

`vector(x,y)` 2 個の数値で構成されるベクトルを戻します。1 番目の数値 (x) はベクトルの .x フィールドになります。2 番目の数値はベクトルの .y フィールドになります。

シミュレーション関数

シミュレーション関数はシミュレーションからデータを取り出すのに使用します。これらの関数は Working Model 2D のいろいろなメーターとベクトルの中で使用します。

関数名	入力	出力
constraintforce	数値	ベクトル
	数値 , 数値	ベクトル
	数値 , 数値 , 数値	ベクトル
frame		数値
frictionforce	数値 , 数値	ベクトル
groupcofm	数値	ベクトル
kinetic		数値
length	数値 , 数値	数値
normalforce	数値 , 数値	ベクトル
section	数値 , ベクトル	数値

`constraintforce(x)` 拘束 (x) の ID 番号から、その拘束を加えられる現在の力を記述するベクトルを戻します。ばねの圧縮を求めるには次の式を使用します。

`constraintforce(3).x`

2 点間の拘束で、力ベクトルの .x 成分はいつも 2 個の終点に接続している線に沿って測定されます。トルクを加える拘束で、その拘束力の .r 成分は加えたトルクの値を含みます。

ピンジョイントでは、その x と y の成分は全体座標軸で指定します。

`constraintforce(x,y)` 拘束 (x) の ID 番号およびボディ (y) の ID 番号から、ボディにかかっている拘束で加えられる力の大きさをベクトルで戻します。この関数は重力、空気抵抗、静電気およびカスタムカフィールドを測定するメーターに使用され

ます。これら 4 個の拘束の ID 番号は一定で、次の項で説明します。重力拘束は常に拘束 ID #10002 を使用します。線形重力拘束がボディに誘起する力を測定するために、次の式を使用します。

```
constraintforce(10002, 3).y
```

この場合に、修飾語 *y* は *y* (上と下) 方向の力の値を求めるのに使います。

constraintforce(x,y,z)

拘束 (*x*) の ID 番号および 2 個のボディ (*y* および *z*) の ID 番号から、その 2 個のボディの拘束によって加えられる力の大きさを戻します。

この関数はボディの各対に加えられる力の値を戻すだけです (惑星間引力、静電気およびユーザー定義力フィールド)。拘束の ID 番号は一定で、次の項で説明します。重力拘束は常に拘束 ID #10002 を使用します。惑星系の 2 個の特定のボディの間の引力による力を測定するには、次の式を使用します。

```
constraintforce(10002,3,5).x
```

2 点間の拘束では、ベクトルの *.x* の値は 2 個のボディの質量の中心を接続する線に沿って加えられる力を測定します。

frame()

現在のフレーム番号を戻します。初期条件はフレーム 0 であるように定義します。

frictionforce(x,y)

2 個のボディ (*x* および *y*) の ID 番号から、2 番目の要素に作用する 1 番目の要素の摩擦力を戻します。その値はベクトルで戻されます。

groupcofm(x)

1 個のグループ (*x*) の ID 番号から、グループの全部のボディの質量の中心を戻します。ここでは、唯一定義されているグループがグループ #0 で、すべてのボディを含むグループです。

kinetic()

シミュレーション中のすべてのボディの総運動エネルギーを数値で戻します。

length(x,y)

2 個のボディ (*x* および *y*) の ID 番号から、それらの質量の中心に接続している線の長さを戻します。

normalforce(x,y)

2 個のボディ (*x* および *y*) の ID 番号から、2 番目の要素に作用している 1 番目の要素の接触力を戻します。その値はベクトルで戻されます。

Working Model 2D は、接触力は通常の力と衝突力の和としています。詳しいことは、「A.7 衝突のシミュレーション」を参照してください。

`section(x,v)`

ボディ (x) の ID 番号およびベクトル量 (y) から、ベクトルの方向のボディの横断面幅を戻します。たとえば、`section(body[1], vector(1,0))` は `body[1]` の垂直横断面幅を戻します。この関数はボディ上のドラッグを近似するために、空気抵抗力フィールドで使用します。

B.7 予約値

変数

式に使える変数を数個、あらかじめ用意してあります。

変数名	タイプ
<code>time</code> または <code>t</code>	数値
<code>self</code>	質量
<code>other</code>	質量
<code>ground</code>	質量

`time` または `t`

シミュレーション中の現在の時間を戻します。時間はいつもフレーム #0 の 0.0 で始まります。

`self`

力場方程式の内側にあるボディ型を戻します。カフィールド方程式がシミュレーション中の各ボディ用のときには、「`self`」はカフィールドが加えられる現在のボディの値です。たとえば、線形重力フィールドの方程式は

```
Fy: - self.mass * 9.81
```

です。力はシミュレーション中の各ボディに加えられます。「`self`」の値は力に加えられる特定のボディの値です。このようにして、この場合には各ボディにはその質量の -9.81 倍の力が加えられています。

力場がボディ (対構成フィールド) の各対用と判断されるときには、「`self`」の値は各対の 1 番目のボディの値です。

other

力場方程式の内側にあるとき、ボディ型を戻します。力場方程式がシミュレーション中のボディ(対構成フィールド)の各対と判断されるときには、「other」は各対の2番目のボディの値です。

たとえば、惑星間引力の力場方程式は

```
-self.mass * 6.67e-11 / sqr(self.p -
other.p) * other.mass
```

あるいはもっと一般的に $\frac{Gm_1m_2}{r^2}$ です。

この方程式はシミュレーション中のボディの各対に適用します。この方程式がボディの各対に適用されますと、「self」は1番目のボディの値で、「other」はその対の2番目の値です。

ground

背景のボディ型を戻します。これは本来、全く動かない位置 0,0 にあるボディです。

定数

4つのID番号が重力、静電場、空気抵抗の全体力フィールドおよびユーザー定義力場に予約されています。これらの拘束で生じる力を測定するために、メーターで使われる式の中にID番号が見えます。ID番号は次のようになります。

力場	予約値
gravity	10002
electrostatics	10004
air resistance	10006
custom force field	10008

ボディにかかる重力をメーターを作って測定する場合に、次のような式が見えます。

```
constraintforce(10002, 3).y
```

この式はボディ#3に拘束#1000で加える力のy成分を求めます。この値10002はこのメーター用の式に自動的に重力用の拘束IDとして挿入されます。

付 録 C

実用的な情報およびショートカット

この追記では、Working Model 2D を使用しているときに、もっと効率よく使えるさまざまな実用的な情報を取り上げます。

C.1 修正キーの使い方

次のリストは、要素を編集するときを使用することのできる修正キーを説明します。

Tab キーの使い方

Tab キーは、フィールドをクリックしないで、座標バーの中の最初の選択肢を選ぶのに使います。Tab キー を使って、座標バーの中の 1 つのフィールドから次のフィールドへ動くこともできます。Shift キー を押し下げたまま Tab キー を押しますと、前のフィールドに戻れます。

Shift キーの使い方

2 個以上の項目を選ぶには、選びたい項目をクリックしている間、Shift キー を押し下げます。

Shift キー を押し下げたまま、すでに選んでいる対象をクリックすると、その対象を選ばなくなります。

Control (Ctrl) キーの使い方

ドラッグしている間、Control (Ctrl) キーを押し下げると、拘束 の終点のドラッグをしてもその現在の長さは変わりません。Control (Ctrl) を押しながらのドラッグは拘束 および質量要素の現在の接続も変えません。

C.2 キーボードのショートカット

キー	動作
Control F1	結合
Control F2	分離
Shift-Control-R	最後にコンピュータ処理したフレームから実行
スペースバー	矢印ツールを選択
r, R	回転ツールを選択
a, A	アンカーツールを選択
z	ズーム実行ツールを選択
Z	ズーム終了ツールを選択
Alt-Enter, Ctrl-I	対象プロパティウィンドウを呼び出す
Alt-Backspace	元に戻る
Delete	消去
Shift-Delete	切り取り
Control-Insert	コピー
Shift-Insert	貼り付け
F1	ヘルプ
F2	新しいドキュメント
Alt-F4	正常終了
F5	実行 / 停止

F12	名前を変えて保存
Shift-F12	保存
Control-F12	開く
Control-Shift-F12	印刷

C.3 Working Model 2D の実用的な使用法

完璧なモデルの構築とデバッグ

複雑なモデルの部品をすべて、最初からモデルにしようとする代わりに、簡単なモデル(20 要素 以下)で始め、そのモデルを最初に動かすことをお勧めします。この初めのモデルは意味のある解析としてはそれほど正確ではありませんが、2、3 の目的には適用できます。1 例として主な部品を配置して動作を確認します。そのモデルが期待通りに動かなくても、この簡略化した系のデバッグは非常に簡単です。さらにモデル開発中に 1 桁にのぼる測定が早くでき、系のレベルでの問題点を区別できます。

一旦、基本的な系をモデル化し、モデルの信頼性を次第に上げ、各段階で全体の動きを確認することをお勧めします。この方法はすべてを一度にする方法より遅いと思われるかも知れませんが、経験によればデバッグ時間を大幅に節約できるので、実際にはもっと速くなります。

別の便利な方法は別々の Working Model 2D ドキュメントで副部品をモデル化し、単独の副部品として試験し、それらをコピーし、貼り付けることで簡単に主モデルに連携させることです。

特性の自動化の利点

新しいモデルを構築しているときには、いつも高精度モードで始めます。高精度モードは新しいドキュメント用のデフォルト設定で、内部の刻みの大きさを可変に設定します。これで Working Model 2D の自動時間刻み動作が可能になり、結果が正確で、安定になります。精度は精度ダイアログ(ワールドメニューの下)で設定します。

シミュレーションの初めに表示される警告メッセージは無視しないようにすべきです。ユーザーは問題の根源を判別し、それを修正すべきです。一般的なメッセージは、ボディが重なっているとみなすものです。このメッセージを見つけたら、最初にどのボディが重なって、衝突しているかを判別し、衝

突を解消するか、適当な余裕があるようにその部分を調整します。不必要な衝突を区別し、問題があれば、すべての要素（編集メニューのすべて選択から）を選び、接触力ベクトル（定義 -> ベクトル -> 接触力）をオンにして、シミュレーションを実行し、予期しない力ベクトルを調べます。

接続されている要素の選択

異なるユーティリティウィンドウ（プロパティ、表示設定、形状）の最上位のポップアップメニューはシミュレーションの要素を選ぶのに便利な方法です。一部の入力（ポイント、ボディ、拘束）が、強調された表示で現われるのに（* が 1 個その前に付き）気がつくでしょう。これらの入力の一部の方法で現在の選択に関係します。

ボディ要素を選ぶと、ボディに接続されるポイントはすべてポップアップメニューに強調して表示されます。ポイントを選べば、そのポイントが接続されているボディの要素は強調された表示になります。拘束を選べば、拘束に関係するそのポイントが強調表示で現われます。

複雑な要素を構築する固定ジョイントの使用

固定ジョイントは簡単な形状から大きな、複雑な要素を作るのに使うことができます。中空のボックス型は複雑な多角形を絵に描くよりも、4 個の長方形を剛体結合して作る方が簡単です。固定ジョイントは運動の余分な方程式をシミュレーションに誘導しませんので、要素と一緒に固定しているときに、2 個のピンジョイントを使うよりは望ましいのです。

要素の設定

Working Model 2D のシミュレーションエンジンは要素の整列に使えます。ブロックを傾斜している平面に正確に静止しなければならない例を取りあげましょう。ブロックと平面の両方を選び、その摩擦係数を 1.0 のような大きな値に設定します。ブロックをほぼ平面の上に置いて、シミュレーションを実行します。そのブロックは安定な位置に静止します。この時点でシミュレーションを停止し、ワールドメニューから開始位置の指定を選びます。これで安定している、落ち着いた位置を初期条件にします。ブロックは完全に平面上に並びます。

ボディの端へのポイントの直接配置

ポイントボディの端に直接置くためには、最初に質量の端に近いが上ではない内側のポイントを描きます。そこでそのポイントを選び、ウィンドウメニューからプロパティを選びます。そのプロパティウィンドウで、質量要素の端に直接そのポイントを置くオフセットを入力します。

パラメトリックと同じように オブジェクトスナップの特徴を利用することができます。詳しいことは、4-11 ページの「拘束の正確な配置」を参照してください。

C.4 トラブルシューティング

この項には技術支援データベースから取り出した質問と答の一覧があります。

固定ジョイントに掛かっている力が0を測定する

ジョイントを確実に測定可能モード(ジョイントのプロパティウィンドウのラジオボタンを繰り返し、押します)に設定します。さらに詳しいことは、4-60 ページの「ジョイントのプロパティ」を参照してください。

DXF ファイルのポイントがすべて背景に配置される

DXF の図面はどのポイントがどの要素に属するかについて、何も出しませんので、Working Model 2D は実際にこの方法で動くように設計してあります。ポイントと要素を選び、オブジェクトメニューの下の質量に配置を選んで個別のポイントを質量要素に、付けることができます。詳しい説明は、9-10 ページの「ボディにポイントとスロットを配置」を参照してください。

インポートした図面が奇妙に見える

DXF の中の適用できる基本的な設計がすべて Working Model 2D 用の中で、解釈できるわけではないので、Working Model 2D は、DXF ファイルをインポートするときに 1 組の明確な変換規則を適用しています。インポートしている DXF ファイルに含まれるステップの詳しい説明については 9-4 ページの「DXF ファイルを Working Model 2D に取り込む」をご参照ください。

ボディ要素の内側のポイントを選べない

ポイント要素は常にボディ要素の層の下グラフィック層に描かれます。ボディ要素の全部のパターンを透明に設定すると (DXF ファイルからインポートされた多角形および円など) 実際にはボディに隠されているポイントを見ることができます。しかし、それらのポイントにマウスを動かして、それをクリックすることはできません。

ボックス選択機能を使って、ポイントを選ぶことができます。ポイントを覆っているボディ要素の幾分外側からボックスの選択を始め、求めるポイントがボックスの内側になるようにボックス選択による長方形を描きます。ボディ要素がボックス選択による長方形の境界内に完全に入っていなければ、選べません。

ポイント、拘束、コントロールまたはメーターがドラッグ不可能

ポイントをロックおよびコントロールをロック機能の両方あるいは片方がビューメニューでオンになっているかも知れません。ポイントをロックはそれらの質量要素に関する動きから、ポイントを動かないようにし、コントロールをロックはメータおよびコントロールを動けないようにします。複雑に連携している図形またはメカニズムを編集するときには、ポイントをロック機能を使います。これらの機能は不注意によるジョイントの形状の変更やポイントをドラッグすることによるずれから守ります。

選んでいるのに強調して表示されないポイント

直接重なっている多重ポイントを選びますと、選ばれているポイントがないかのように、表示が強調されません。Working Model 2D が高速排他的論理和アルゴリズムを使って、強調して表示する選択を描いているからです。ウィンドウメニューからプロパティを選んで、選ばれているポイントを確認することができます。プロパティウィンドウは選択ポップアップメニューに複数の選択を表示します。

多重ポイントは次の状況では重なることがあります。

- ピンジョイントを分割すると、その結果は互いの上端に直接 2 個のポイントが乗ります。各ポイントは異なるボディに接続されています。
- CAD の図面をインポートすると、その元の図面は多数の点が重なっていることがあります。その元の図面は多数のポイントが重なっています。Working Model 2D は、ファイルをインポートするときに各ポイントを個別に保護しますので、このような点はそれらを選んだときに強調した表示にはならないことがあります。

付 録 D

スクリプト

D.1 Flexbeam スクリプト

Flexbeam で弾力のある梁の挙動のシミュレーションを行うことができます。

はじめに

Flexbeam は選ばれている長方形ボディを、回転ばねの付いている 1 組のもっと小さい長方形の要素で置き換えます。Flexbeam は選ばれている長方形の梁の材質と形状で決まるばね定数の値を選び、弾力のある梁を近似するアセンブリを創造します。図 D-1 および図 D-2 は Flexbeam を実行する前と後の見本のドキュメントです。Flexbeam は任意の方向づけの梁上で動作し、拘束関係を保持することに気をつけます。Unflex と称する元に戻すスクリプトは梁を元の剛体の形態に復元します。

図 D-1
Flexbeam の実行前

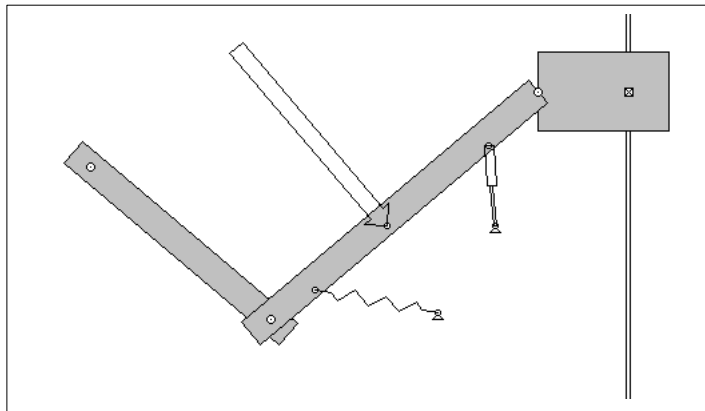
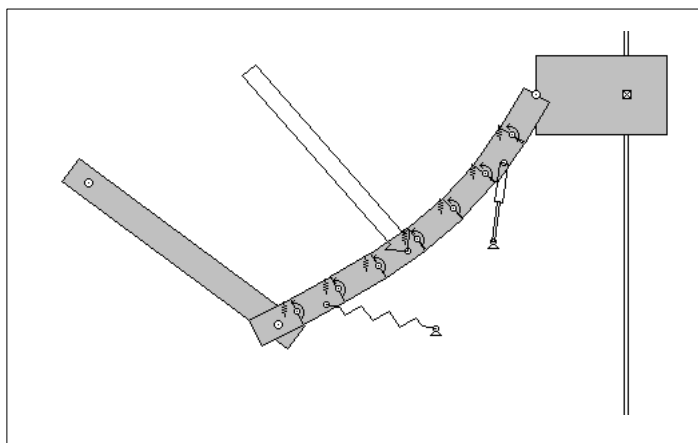


図 D-2
Flexbeam 実行後



単位系

Flexbeam は SI 単位系および英国単位系だけで動作します。Flexbeam は現在の力の単位に合った質量の単位と距離の単位を自動的に選びます。ユーザーがニュートンを力の単位として選べば、このスクリプトは距離の単位としてメートルを、質量の単位としてキログラムを選びます。ユーザーが力の単位としてポンドを選べば、このスクリプトは距離の単位としてインチを、質量の単位として質量ポンドを選びます。ユーザーが力の単位として、ダインなどの別の単位を選んだ場合、この系の単位は使えないと注意があり、プログラムは終了します。

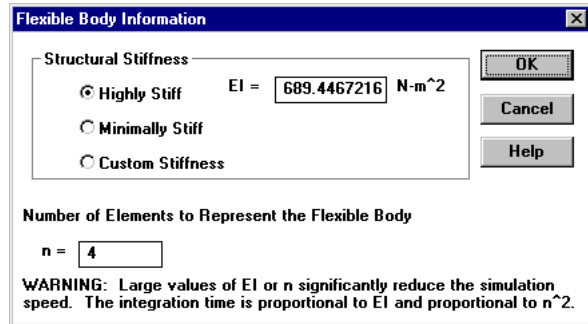
Flexbeam の実行

Flexbeam を使用するには、

1. 弾力のある梁としてモデルにする Working Model ドキュメント内の長方形のボディを選びます。
2. Flexbeam をスクリプトメニューから選びます。
3. 梁のモデルを作るために、そのボディの梁の構造による剛性 (EI) の値および成分 (n) の数値を入力します。

構造による剛性は高剛性、微剛性または任意選択のどれかを選べます。高剛性と微剛性は梁の重量に基づく荷重に対して、指定されたたわみを作り出します。高剛性、微剛性はおよそ 3% のたわみを規定していますが、微剛性オプションはおよそ 10% のたわみと規定しています。

図 D-3
Flexbeam の提供するダイア
ログ

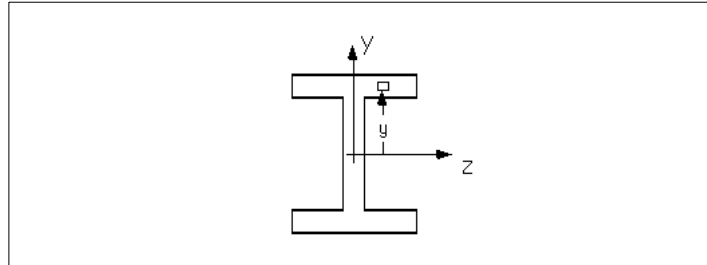


最初に入力する量、構造による剛性は E : 弾性のヤング率と、 I : 断面 2 次モーメントのそのねじり係数の積です。 I は梁の横断面の形状特性で、方程式で指定します。

$$I = \iint y^2 dA$$

ここで dA は面積の微分要素、 y は重心軸（例としてからの dA の距離です 図 D-4 を見てください）。Working Model は xy 平面の中でシミュレーションし、梁の横断面は yz 平面の上にありますので、 I を計算することができません。

図 D-4
重心軸



2 番目に入力する量は n 、弾力のあるボディを近似する長方形の要素の数値です。 n が大きければ、大きいほど、弾力のある梁をより正確に近似します。図 D-3 のワーニングメッセージが指示しますので、必要以上に大きい成分を使うのを避けるように注意してください。

回転ばねのばね定数値の指定

Flexbeam は、選ばれている剛体長方形ボディを回転するばねのついている 1 組のもっと小さい長方形成分で置き換えます。ばね定数は技術書、Paul Mitiguy and Arun Banerjee 著「Determination of Spring Constraints for Modeling Flexible Beam (弾力のある梁のモデルを作るためのばね拘束の決定)」で取り上げている式で与えられます。

片持ち梁支持をモデルにするそれら以外のすべてのばねに対して、 k の値は

$$k = \frac{EI}{L}$$

で与えられます。 L は小さい方の長方形の成分の長さです。

梁の拘束

梁に加えられる拘束は固定、ピン結合、ローラーおよび自由と名づけます。固定拘束は梁の上のポイントをどの方向にも並進のない機構に制限し、その梁がそのポイントで回転しないようにします。ピン結合拘束は同じ並進のない機構に制限しますが、ボディが回転することはできます。ローラー拘束はポイントを 1 方向だけの並進機構に制限します。このローラーはポイントに対して梁の回転ができるかどうかを決定する、固定またはピン結合連結部を持っています。自由拘束は、実際にまったく拘束がなく、ポイントを任意の方向に動くことができるようにし、そのポイントでボディが回転するのを制限しません。この項の残りで、多くの標準的な梁の形式の中の 2 個の構築を扱います。

ピン結合ローラー梁

図 D-5 に示しているピン結合ローラー梁の左端はピン結合で留められ、右端はピンローラーに取り付けられています。ピン結合ローラー梁のモデルを作るために、ピン結合拘束として円形ピンを使い、ローラーに取りつけた端を表すために溝ジョイントを使います。

図 D-5
ピン結合ローラー梁



図 D-6
Flexbeam 実行前

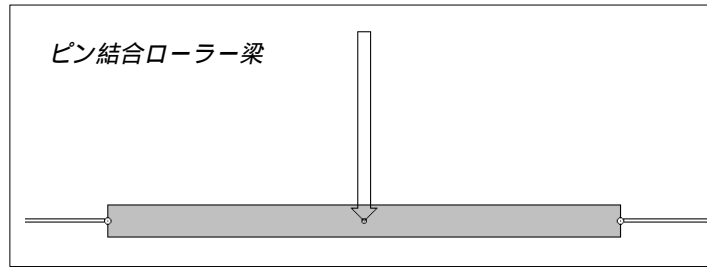
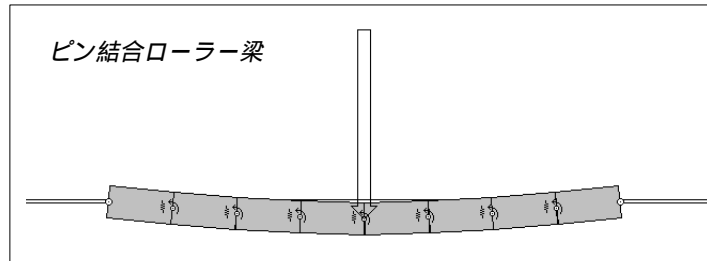


図 D-7
Flexbeam 実行後



固定 - 自由（片持ち）梁

図 D-8 の片持ち梁の左端は固定され、右端は自由になっています。片持ち梁のモデルを作るために、正方形ピンを使って梁を背景または別のボディに取り付けます。図 D-10 が示すように、Flexbeam は正方形ピン片持ち梁拘束を、ばね定数を方程式で定義する回転ばねと置き換えます。

$$k = \frac{EI}{L} \left(\frac{6n}{3n-1} \right)$$

この置き換えは、第 1 成分の左端の正方形ピンによってゼロ回転に強制されている拘束を右端の有限回転に合わせて変化します。

図 D-8
片持ち梁

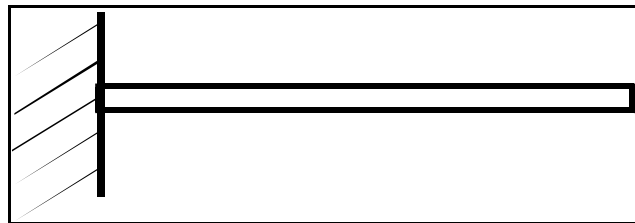


図 D-9
片持ち (Flexbeam の前)

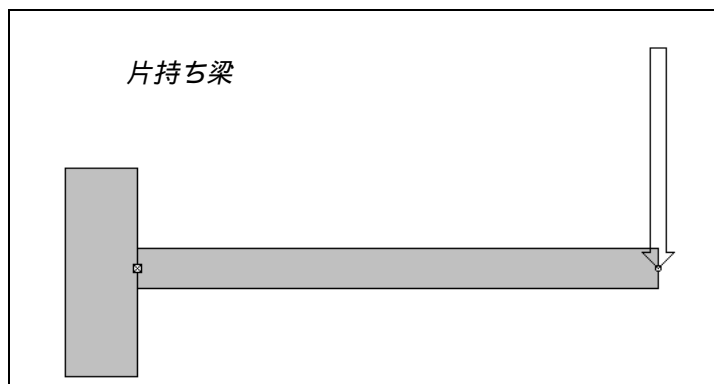
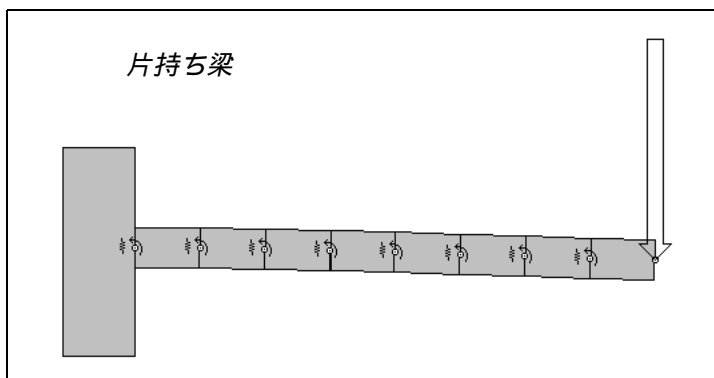


図 D-10 の中で、Flexbeam は梁の基礎となる正方形ピンを回転するばねと自動的に置き換えることに気をつけてください。

図 D-10
片持ち梁 (Flexbeam の後)



弾性ボディを元の剛性形態に復元

スクリプト Unflex は Flexbeam が元のドキュメントに作った変更を元に戻します。Unflex を単一の梁に使用するためには、その梁の 1 個以上の成分を選び、Unflex を実行し、梁をその元の剛性形態に復元します。梁を選ばなければ、Unflex は全部の梁を同時にドキュメントのものに復元したいかたずねてきます。

Working Model のドキュメント内の梁の成分の命名法

Unflex はワークスペースの各ボディの名前を調べて、Flexbeam で修正されるボディを区別します。Flexbeam は名前を次の形式の各長方形の成分に割り当てます。

`name = flexbeam[3 digit number][3 digit number].`

最初の 3 桁の数は弾力のあるボディの識別番号を調べます。2 番目の 3 桁の数は特定の弾力のあるボディの特定の成分の識別番号を表します。従って、2 番目の弾性ボディの 4 番目の成分の名称は、flexbeam002004. になります。

見本のスクリプトおよびドキュメント

Flexbeam には次の見本のスクリプトおよびドキュメントが入っています。

型	ファイル名	説明
見本のスクリプト	flexbeam.wbs	梁の弾性表現を創造するスクリプト
	unflex.wbs	Flexbeam の影響を元に戻すスクリプト
	flexbeam.hlp	Flexbeam のヘルプファイル
ドキュメント	bridge.wm	弾力のある橋を走っているトラック
	fixfree.wm	固定 - 自由 (片持ち) 梁の精度
	fixroll.wm	固定 - ローラー梁の精度
	pinroll.wm	ピン結合 - ローラー梁の精度

参考

Flexbeam の提供するばね定数は Paul Mitiguy and Arun Banerjee 著、Determination of Spring Constants for Modeling Flexible Beams (弾性梁をモデルにするためのばね定数の決定) の式によって決められます。

この式処理の効果については、MSC.Software の技術文書、Keith Reckdahl 著、Modeling Uniform Flexible Bodies in Working Model (Working Model の一様に弾力のあるボディのモデル化) で検討しています。
これらのドキュメントのコピーは e-mail を info@workingmodel.com に送るか、(800) 732-7284 の MSC.Software の技術サポートに連絡すれば入手できます。

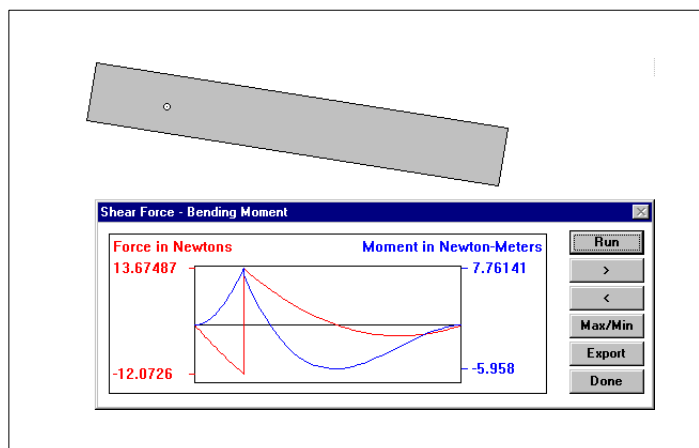
D.2 Shear Force and Bending Moment スクリプト

Shear Force and Bending Moment は、Working Model 2D のシミュレーションの中で長方形の梁のせん断応力図と曲げモーメント図を作ります。この図は梁の構造的な失敗を予測するのに役立ちます。

はじめに

一般に、せん断応力と曲げモーメントは梁の方向に沿って変わり、梁の運動に強く影響されることがあります。図 D-11 に示すグラフィックウィンドウを使って、このスクリプトは梁の長さの方向に沿った位置に対するせん断応力と曲げモーメントを表示し、各フレームでこれらの図を更新します。このスクリプトはシミュレーションの履歴上にせん断応力と曲げモーメントの両方の最大値と最小値も記録して、表示します。さらに、このスクリプトでせん断応力と曲げモーメントデータを任意の時間フレームのためのテキストファイルにエクスポートすることができます。

図 D-11
せん断および曲げモーメントの例



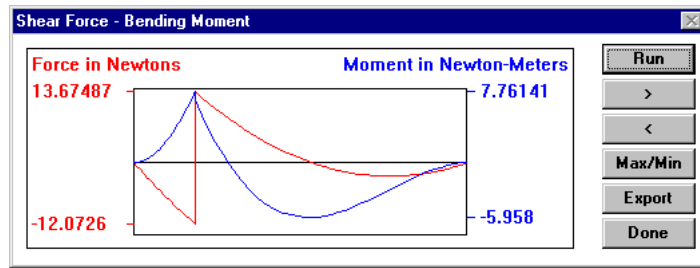
操作説明

このスクリプトを実行する前に、解析される WM ドキュメント内にある長方形の梁を選びます。このスクリプトメニューから Shear & BendingMoment を呼び出します。

このスクリプトは下記に示すようなウィンドウを作り、それがせん断応力図と曲げモーメント図の両方を表示します。せん断応力図を赤で、曲げモーメントを青で表示し、各時間フレームで更新します。図の左の数値はせん断応力の最大値と最小値です。右の数値は曲げモーメントの最大値と最小値です。

図 D-12

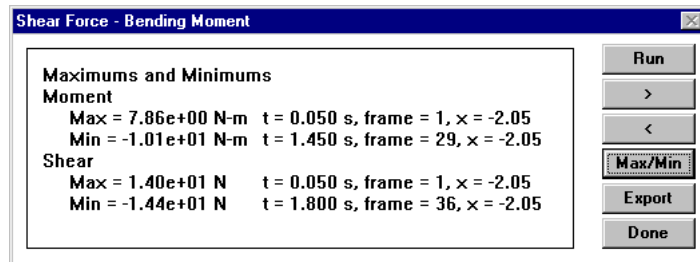
せん断応力と曲げモーメント図



シミュレーションのさまざまな状況进行操作する 6 個のボタンがあります。Run/Stop ボタンでシミュレーションを開始したり、停止したりします。シミュレーションを実行している間、このボタンは Stop という文字を表示し、このボタンのみが使えます。> および < のボタンで、シミュレーションの間に 1 段ずつ前進と後退ができます。Max/Min ボタンはシミュレーションの全履歴にわたって、せん断応力と曲げモーメントの最大値と最小値を知らせます。Max/Min ボタンを選ぶと、図は下記のようなダイアログボックスと置き換わります。その他のコントロールボタンを選びますと、せん断 - モーメント図に戻ります。

図 D-13

最大値と最小値の表



Export ボタンは、現在の時間フレームのせん断応力と曲げモーメントのデータをデータファイルにエクスポートするためのものです。> ボタンおよび < ボタンで、任意のフレームへ 1 段ずつ前進と後退ができます。これは、たとえば最大曲げモーメントに関係するプロファイルを記録するのに使います。スクリプトは書式 Shear###.dta で、ファイルに自動的に名前をつけます。3 文字の # 記号 ### は 001 ~ 999 の数字で、ファイルが書かれた順番を表します。たとえば、最初にエクスポートされるファイルはファイル Shear001.dta に書かれます。このファイルは Working Model の属するディレクトリ (フォルダ) たとえば C:\Program Files\Working Model に書かれます。

単位系 - (前の Flexbeam スクリプトを参照してください)

い)

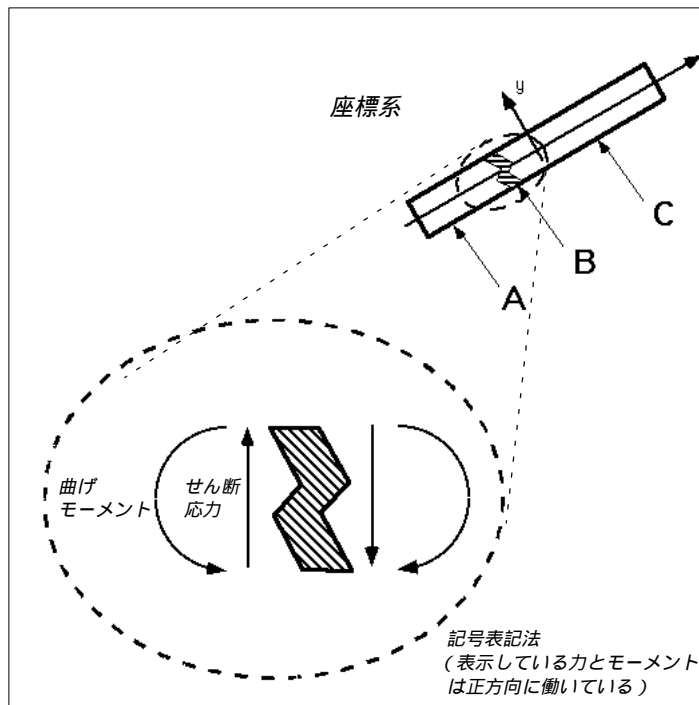
含まれない接触力および衝突力

このスクリプトは梁の機構の状態およびそれに加えられる外部荷重のかかる大きさ、方向、ポイントを区別して、せん断応力と曲げモーメント図を作ります。Working Model は本来剛体ボディ動解析用に設計してあります。せん断応力と曲げモーメント図の構築には、接触荷重の位置および分布を剛体ボディ解析で利用可能な程度よりも詳しく記述することが必要です。このために、接触荷重および衝突荷重は無視されます。

座標系の割り当て

せん断応力と曲げモーメント図を計算して、出す際には、このスクリプトは Working Model が長方形に割り当てる座標系を作動します。図 D-14 はこの座標が梁にどのように割り当てられるかを示します。この図は長方形の x 座標に対するせん断応力と曲げモーメントを下記のように表示します。このスクリプトは $y = 0$ の線に沿って、梁の幾何学的中心を通り抜ける曲げモーメントの値を計算します。

図 D-14
座標系と記号表記法



記号表記法

図 D-14 の下半分は梁成分 B を分解した状態を示します。このせん断応力と曲げモーメントは梁と一緒に保持し、成分 B と梁の残りの部分、あるいは成分 A と C の間の剛性接続を確実にする内部の荷重です。

図 D-14 も正のせん断応力と曲げモーメントの記号表記法を示します。図に説明するように

- せん断応力は、成分 A が力を成分 B に y の正方向にかけ、成分 C が力を成分 B に y の負方向にかけているときに正方向です。
- 曲げモーメントは、成分 A がモーメントを成分 B に z の正方向（ページから出る）にかけ、成分 C がモーメントを成分 B に z の負方向にかけているときに正方向です。

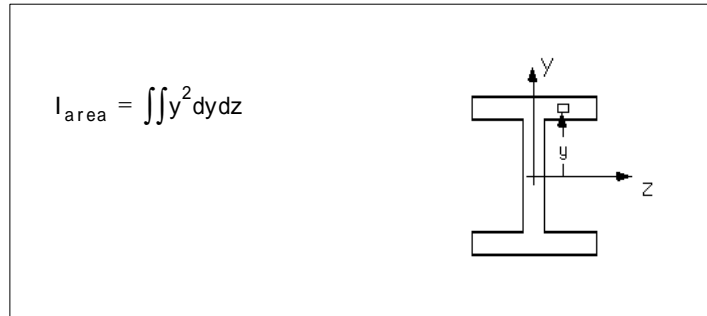
曲げモーメントで誘起される通常応力

符号をこのように選ぶと、正方向の曲げモーメントを持つ梁の最上面が引張りに、底面が圧縮になるように決まります。応力を曲げモーメント M に関係づける式は

$$\sigma = \frac{My}{I_{\text{area}}},$$

です。ここで y は梁の中立軸からの距離で、 I_{area} は梁横断面の断面 2 次モーメントの面積モーメントです。 I_{area} は下記のように定義され、表示されます。

図 D-15
断面 2 次モーメントの面積
モーメントの定義



例：倒れていく煙突

倒れていく煙突は、動荷重が構造的な失敗を引き起こす例としてよく知られています。倒れていく煙突は、倒れていく間に曲げモーメントで高い引張り応力を受けて、地面に当たる前に 2 個に割れることで知られています。図 D-16 は Working Model の倒れていく煙突の簡単な説明です。

図 D-16
倒れていく煙突

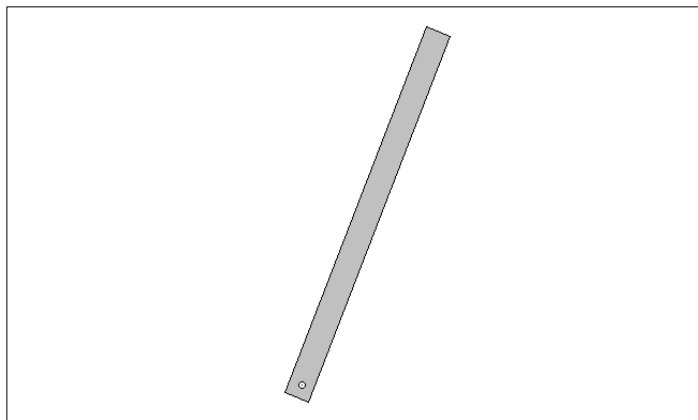
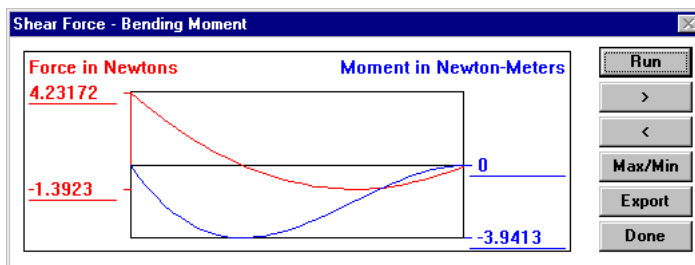
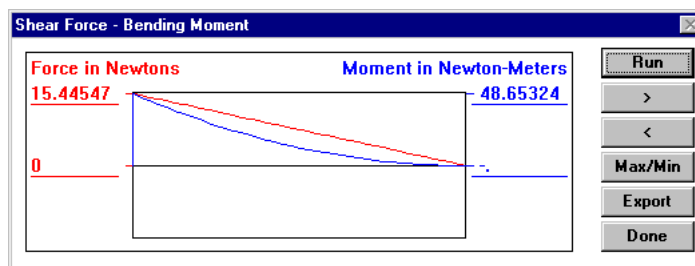


図 D-17 に、この解析の静解析と動解析の両方を示します。梁の静解析では、梁は背景に固定されています。動解析では 1 個の円形ピンで接続され、その梁が回転できるようになっています。図 D-17 は 2 通りの解析の違いは本質的なものであることを示しています。図 D-17 は、動解析では、ピーク曲げモーメントは倒れていく煙突が地面に当たる前に 2 個に割れるという考えと矛盾していない場所である梁の中ほどで発生することも強調して表示しています。

図 D-17
梁の静解析と動解析



D.3 Optimize スクリプト

このスクリプトはユーザーの指定するコストを最小にするようにユーザーの指定するパラメータを調整します。呼び出して、Optimization Demo を選んで、このスクリプトの使用例を数個見ましょう。

このスクリプトは次のことが必要です。

- 変えるための P0 という名前の入力パラメータ
- 最小にするためにコスト特性を測定する COST という名前のメーター

Working Model にシミュレーション実行の長さを知らせるために一時停止というコントロールを追加します。その最適化を止める必要があれば、いつでも Ctrl-C を使用します (Ctrl と C を同時に押します)。

D.4 Create Constraint スクリプト

Create Constraint でポイント間の拘束を作ることができます。作ることのできる拘束の形式は選んだポイントの数で左右されます。

- A. 1 個のポイント (力、トルク)
- B. 2 個のポイント (アクチュエータ、ダンパー、ピン、ロッド、ロープ、セパレータ、ばね、ばね / ダンパー)
- C. 3 個以上のポイント (ピン)

拘束を加えたいポイントを作り、あるいは選び、あるいはその両方を行います。スクリプトを実行し、必要な拘束を指定します。

D.5 Document Model スクリプト

このスクリプトで、モデルをドキュメントにすることが完璧にできます。このスクリプトを実行すると、モデルを記述する情報 (単位、プロパティ、ボディ、拘束、積分設定等) を列挙しているテキストファイルを作り出します。

D.6 Zoom to Extent スクリプト

Zoom to Extent はシミュレーションウィンドウのモデル全体が見られるようにズームを調整します。メニューからこのスクリプトを選び、それを実行します。

D.7 Measure Between Points スクリプト

このスクリプトを実行すると、選んだ2点間の距離を測定するメーターを作ります。この距離は、モデルを実行（あるいは再び実行）するだけで表示されます。

D.8 Flip Polygon スクリプト

Flip Polygon で多角形を鏡像の位置に反転することができます。このスクリプトを実行する前に、多角形を作って、選びます。次いで、スクリプトを実行し、多角形を水平と垂直のどちらに反転するか指定します。

D.9 Pin Friction スクリプト

このスクリプトでピンジョイントの摩擦のシミュレーションができます。このスクリプトを実行する前に、ピンジョイントを作って、選びます。このスクリプトを実行し、入力コントロールを2個作ります。1つは有効ピン半径用、もう1つはジョイントの摩擦係数用です。その値を調整し、モデルを実行し、その摩擦をシミュレーションします。

D.10 Slot Friction スクリプト

Slot Friction スクリプトで、溝ジョイントの摩擦のモデルを作ることができます。このスクリプトを実行する前に、溝ジョイントを作って、選びます。このスクリプトを実行し、溝の摩擦をモデルに作るために、プログラムされ、加えられる力を作ります。摩擦係数を割り当てる入力のコントロールを作ります。

D.11 Slot Damping スクリプト

Slot Damping スクリプトで溝ジョイントの中の減衰のモデルを作ることができます。このスクリプトを実行する前に、溝ジョイントを作って、選びます。このスクリプトを実行し、溝の中の減衰をモデルにするために、プログラムされ、加えられる力を作ります。減衰係数を割り当てる入力コントロールを作ります。減衰係数の単位はそのシミュレーションに現在割り当てられているそれらと矛盾することはありません。たとえば、現在、力をポンドで、速度をフィート/秒で表すように選んでいれば、減衰係数の単位はポンド・秒/フィートになっています。

付 録 E

新しい機能

E.1 スクリプトボタン

Working Model 2D は Working Model Basic に書かれているスクリプトを呼び出すボタンを作ることができます。スクリプトボタンは単一のメニューコマンドよりはるかに多くのことができるスクリプトファイルを呼び出すことができますので、メニューボタンの代わりになる自由度の高いボタンになります。たとえば、ユーザーを別のシミュレーションの企画へと導く数個のスクリプトボタンを示す Working Model ファイルを作ることができます。

スクリプトボタンを作るために、

1. メニューで定義 -> 新規ボタン -> スクリプトボタンを選びます。

ファイルを開くダイアログが現われます。

2. ダイアログの Working Model Basic のスクリプトファイルを選び、開くをクリックします。

Working Model ドキュメントにスクリプトボタンが、ボタン名がデフォルトのファイル名（-.WBS 修飾語）で現われます。ボタン名を表示設定ウィンドウで変えられます。

詳しく知るためには、Working Model 2D ユーザーマニュアルの「8.6 スクリプトの実行」を参照してください。Working Model Basic の詳細については、『Working Model Basic User's Manual』を参照してください（これは CDROM の ¥WM2D¥Manuals¥WMBasicUserManual.pdf で見つかります）。

E.2 回転する画像

ボディについている画像は Working Model 2D ユーザーマニュアルの 7-26 ページの「7.6 画像」で取り上げています。7.6 項の注意書きに、画像は、ボディといっしょにズームまたは回転しないと書いてあります。Working Model は、今、次の新しい機能が可能になっています。

- ボディについている画像をそのボディと一緒に回転できます。
- その画像のフレームをそのボディのフレームからずらして回転することができます。

注：配置した画像はボディと一緒にズームしません。従って、ボディに画像を取りつけるのは、初めにシミュレーション全体が見えるビューに、ズームで拡大したり、縮めたりして、画像をボディに取りつけるのが最もよい方法です。

画像の要素を作り、それをボディにつけるには Working Model 2D ユーザーマニュアルの 7-26 ページに列挙している指示に従います。

このドキュメントの図 E-1 に多角形のボディ、リングの画像および地面にアンカーで固定した V 形の台を示します。多角形とリングは接続された後で、変換し、図 E-2 のように一緒に回転します。

図 E-2 のように、Working Model 2D ユーザーマニュアルの 7-26 ページの画像に列挙している指示に従って画像をボディに配置します。画像は、その画像の出所と方向づけがボディのそれらと一致するようにボディに配置します。これがデフォルトの動きです。

代わりに、画像をボディから離して、回転するようにボディに取りつけられます。ボディを画像から離して回転するには

1. 画像を選びます（画像がまだボディについているのでボディも選びます）。

画像が選んだ状態で現われます。

2. ウィンドウメニューから形状を選びます。

図 E-3 のように形状ウィンドウが現われます。

3. 形状ウィンドウのドロップボックスから画像を選びます。
4. 図 E-3 のように 1.0 m と 0.4 rad のオフセットを入力します。
5. シミュレーションを実行します。

図 E-1

付着していないボディとリンゴ
の画像

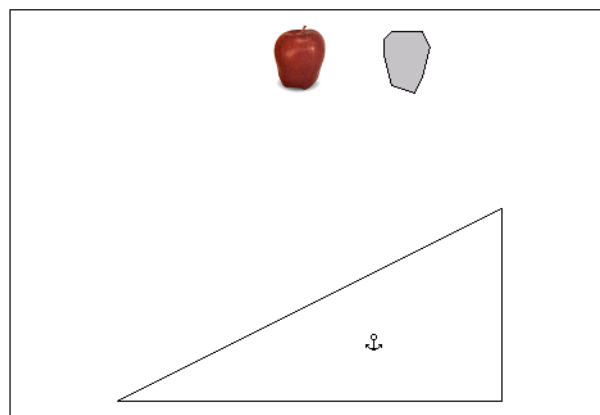


図 E-2

ボディにつけた V 字の台に落
ちていく画像

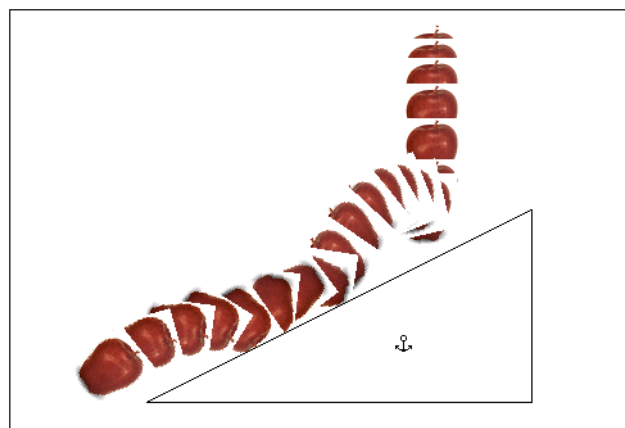


図 E-3

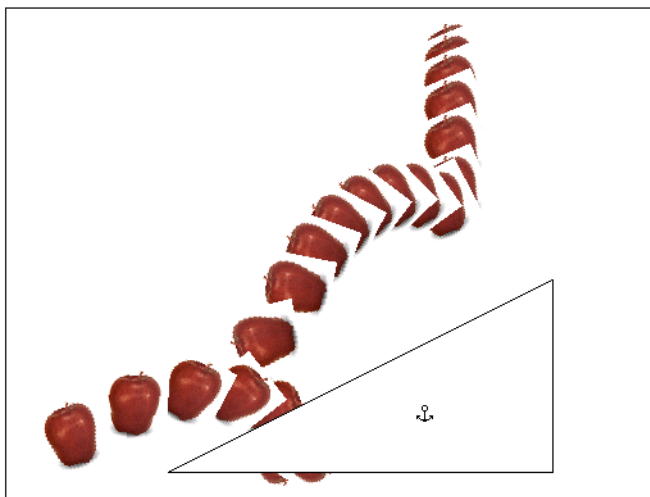
ボディと画像の形状ウィンドウ



画像はボディから離れているので、V形の台の間の隙間が、図 E-4 のように第 1 回の跳躍で現われます。このオフセットは第 2 回の跳躍で画像が台へ貫通することも起こします。

図 E-4

1.0m と 0.4rad のオフセットで
取りつけた画像

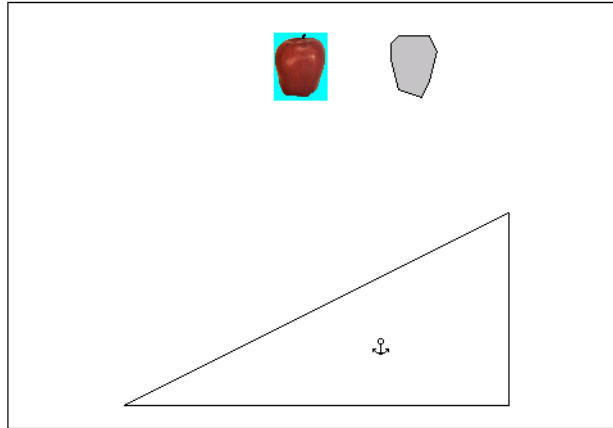


E.3 透明または長方形以外の画像

図 E-2 および図 E-4 では、画像にはリンゴの周囲に白い長方形の境界があります。このシミュレーションはこの境界が透明であればもっと良く見えるでしょう。透明な境界にするために、境界を図 E-5 のようにシアン（赤=0、緑=255、青=255）で色づけします。

図 E-5

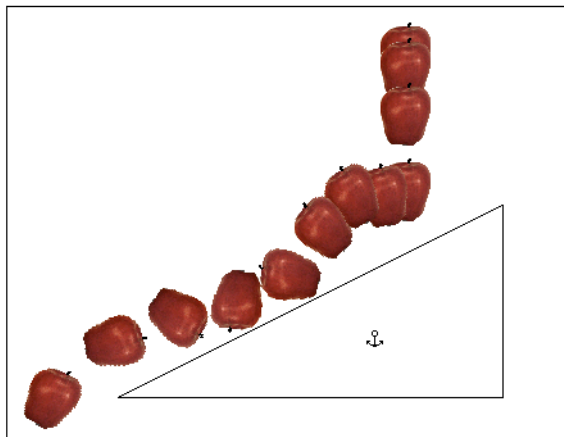
シアンの背景に付着していない
ボディと画像



Working Model 2D ユーザーマニュアルの 7-26 ページの順番に従って、画像をボディに配置します。画像をボディに配置すると、画像の背景のシアン色が透明になることに注目します。このシミュレーションは図 E-6 に現われます。リンゴだけが見えることに注目します。長方形の白い背景は今透明です。見映えが改善されている図 E-6 を 図 E-2 と比較してください。

図 E-6

ボディに取りつけた透明な背景
にある画像



E.4 テキストオブジェクトの表示と非表示

テキストオブジェクトの表示設定ウィンドウはある条件に合っているときだけ、そのテキストを見えるようにします。表示設定ウィンドウで表示ボックスをチェックすると、テキストオブジェクトは表示条件：と書いてあるボックスの表示がゼロでない値とみなされるときだけ見えます。表示ボックスをチェックしなければ、表示条件：ボックスに表示してあっても、テキストは永久に隠れたままです。

定数 0.0 を入力しても、(0.0) と入力しなければ、テキストは永久に隠されませんので注意します。0 以外の定数の Working Model 式を作るために必要です。

さらに多くのテキストオブジェクトについては、Working Model 2D ユーザーマニュアルの「7.5 テキスト」を参照してください。

索引

A

AutoCAD

~からのインポート 9-4

B

Body[] B-3

C

CAD

形状を DXF でインポート 9-4

Constraint[] B-3

D

DDE 9-20

~サーバー 9-19

DXF 9-2, 9-4

インポート 9-4

エクスポート 9-13

単位の変換 9-13

ファイル形式 9-13

変換規則 (インポート) 9-5

変換規則 (エクスポート) 9-13

H

Height B-7

I

if() 10-7

Input[] B-3

M

MATLAB 9-23, 9-25

Microsoft Excel 9-20

O

Output[] B-3

P

Point[] B-3

R

Radius B-7

S

Self 10-10

Self.mass 6-19

Shift キー

~とオブジェクトの選択 6-21

Shift 選択 3-16, 4-59, 6-21

V

Vertex B-7

Video for Windows 9-2

エクスポート 9-16

W

Width B-7

Working Model Basic (WM Basic) B-1

Working Model を使ってみる 1-1

X

X 軸と Y 軸

表示 6-8

あ

アクチュエータ 2-11

タイプ 4-54

プロパティ 4-53

アクティブ設定 4-18, 4-19, 10-7

アセンブリ誤差 A-16, 5-17

新しいドキュメントを開く 1-5

アニメーション

～ステップ A-14

アプリケーションメモリ

サイズの変更 8-23

アルゴリズム 8-28

アンカー 1-26, 2-7, 3-31

位置拘束としての～ 10-12

速度拘束としての～ 10-13

い

位置

オブジェクトの位置を設定 6-8

オブジェクトをグリッドに合わせる 6-9

ピンジョイントを正確に合わせる 4-61

位置合わせ

オブジェクトをグリッドに～ 6-9

拘束をオブジェクトに～ 4-11

テキスト 7-25

ピンジョイントを正確に～ 4-61

一時停止 8-6

移動

円 1-8

特定のフレームへ～ 8-5

ビュー 6-3

色

グラフ表示の～ 7-8

テキストの色の変更 7-25

ベクトルの色の変更 7-22

ボディの色の変更 3-19

印刷

印刷オプションの指定 8-24

印刷設定 8-25

シミュレーション 8-24

追跡されたフレーム 8-26

印刷設定 8-25

インターフェースオブジェクト

定義 6-1

インポート

AutoCad から～ 9-4

DXF 9-4

データテーブル入力 7-16

う

ウィンドウ

ユーティリティ 6-29

え

エクスポート

DXF 9-13

Video for Windows 9-16

使用可能なデータタイプ 9-2

データ出力のステップ 9-3

メーターデータ 7-9, 9-14

円 2-6

作成 3-4

半径の変更 3-23

方向の表示 3-21

演算子 B-9

数値～ B-9

ベクトル～ B-13

優先度 B-12

お

オイラー積分 A-5, A-13

オーバーラップエラー A-16

オブジェクト

回転 6-25

重ね合わせ 6-2, 6-27

画像オブジェクト 7-26

識別子 B-3

～にスナップ 4-11

～に名前をつける 7-25

～の塗りつぶし 3-19

プロパティの変更 6-28

か

開曲線スロット 2-9

開始位置の指定 8-12

解析手法 A-3

回転 5-12, 6-25

オブジェクト 6-25
 基準点を固定 6-26
回転拘束 4-2
回転体 2-6
回転ダンパー 2-10
 タイプ 4-34
回転ばね 2-10, 4-2
 定数 4-32
 プロパティ 4-31
外部アプリケーション
 ~とのデータ交換 9-21
 ~へのリンク 2-19
外部ギア 4-37
角度
 式 B-2
重ね合わせ
 オブジェクト 6-2, 6-27
風 6-20
画像
 シミュレーションに追加 7-26
 ボディから取りはずす 7-26
仮想メモリ A-1
可変タイムステップ A-15
カム機構 4-69
関数 B-15
 一覧 B-15
慣性のモーメント 3-13
簡単なチュートリアル 1-5

き
ギア 2-10, 4-37
 外部 ~ 4-37
 作成 4-37
 接点 4-40
 内部 ~ 4-38
 ~比 4-42
 プロパティ 4-42
 遊星歯車 4-43
 ~力 4-41, 4-43
キースロットジョイント 2-9, 5-2
 プロパティ 4-72
技術情報 A-23

軌跡の自動消去 8-20
軌跡の消去 8-20
極座標系 4-74
曲線スロット 2-9
 グラフィック形状変更 4-66
 質量に配置 9-12
 数値入力形状変更 4-75
 閉曲線スロット 2-9
 ラインから変換 9-9
曲線多角形 2-7
 数値入力形状変更 3-25
切り取り 6-23
記録
 メモリ要求事項 8-11

く
空気抵抗 6-17
空気抵抗係数 6-17
グラフ
 色 7-8
 作成 1-13
 スケール 7-6
グリッド
 オブジェクトをグリッドに合わせる 6-9
 定義 6-9
 表示 6-9
クリップボード 6-22

け
計算のリセット 8-9
形状ウィンドウ
 表示 3-22, 4-74
 ボディ 3-23
 面積 3-22, 3-23
形状ベースの式 4-13, 4-15, B-7
形状変更
 曲線スロット 4-66, 4-75
 多角形と曲線多角形 3-25
係数
 空気抵抗 6-17
 摩擦 3-12

結合 1-21

- オブジェクトの運動をコントロール 5-3
- 画像をボディに ~ 7-26
- スロットをボディに ~ 2-18, 4-71, 9-10
- 不可能な結合エラー 5-16
- ポイントをボディに ~ 2-18, 9-10
- 要素 5-1

結合ボタン 2-7

現在の条件

- 開始位置の指定に使用 8-12

こ

高精度シミュレーションモード 8-28

拘束 4-1

- オン / オフの切替え 10-7
- 回転 ~ 4-2
- 結合 4-16
- 結合再定義 4-17
- 式のフィールド B-8
- 線形 ~ 4-2
- 定義 4-3
 - ~ の回転 4-20
- 符号の規約 4-20
- 符号の定義 4-20
- プロパティ 4-3
 - ~ 力 4-20

高速シミュレーションモード 8-28

固定ジョイント 5-1, 2-9, 4-57

- 最適化された ~ 4-61
- 測定可能な ~ 4-61
- プロパティ 4-60

固定小数点 6-14

固定タイムステップ A-15

コピー 6-23

- データ 9-2

コントロール

- 作成 7-11
- スライド 7-11
- 速度 (例) 1-27
- タイプ 7-14
- 定義 7-10
- 表示 / 非表示 6-6

プロパティ 7-14

ロック 5-7

コントロールポイント 2-9

- 削除 4-67
- 座標 4-75
- 追加 4-67

さ

再生専用ドキュメント 8-16

材料

- オブジェクトの材料を設定 3-14
- 定義 3-14

作図

- 円 1-5
- 正方形 3-2
- 力 4-47
- 長方形 1-16, 3-2
- トルク 4-50
- ブーリー 4-34

作成

- 円 3-4
- ギア 4-37
- 曲線スロットジョイント 4-65
- コントロール 7-11
- ジョイント 4-2, 4-57
- 新規シミュレーション 1-3
- スロットジョイント 4-65
- 長方形と正方形 3-2
- テキスト 7-23
- ブーリー 4-34
- ポイント 4-59
- メーター 7-3
- メニューボタン 7-18

座標バー 3-10, 6-10

参照テーブル 9-20

参照フレーム 8-16

- 削除 8-18
- 作成 8-17
- 式を使って指定 10-14
- 指定 8-16
- 重心 8-19
- 太陽系 (例) 8-16

参照ポイント

参照フレームも参照

曲線スロットの～ 4-75

ボディの～ 3-10

し

四角ポイント 2-8, 4-59

式 10-1, B-1

運動を支配する 10-6

形状ベースの～ 4-15, B-7

拘束をオン/オフするための～ 10-7

コントロールをシミュレーションにリンクするための～ 10-4

最大文字長 B-1

全体力をカスタマイズするための～ 10-9

入力する位置 10-6

ロケット (例) 10-6

識別子 B-2

決定 B-3

指数 B-2

実行コマンド 9-21

実行ボタン 2-6, 8-1

実行モード 1-30, 8-15

質量

計算中に変更 10-6

自動

参照ポイントからの重心オフセット 3-22

浮動小数点表示 6-14

シミュレーション A-3

一時停止 8-6

印刷 8-24

～からプロパティを測定 1-11

関数 B-20

逆再生 8-4

クイックツアー 1-2, 8-3

作成のクイックステップ 1-3

サンプル 1-3

実行 1-3, 8-1

推進体 1-25

速度 8-27

停止 8-2, 8-7, 8-9

パラメータ A-11, A-12

開く 1-5

複数の軌跡 8-20

複数のシミュレーションを比較 7-8

方形4節リンク 5-11

保存 1-16

～モード 8-28

リプレイ 8-6

リンク 7-18

シミュレーションドキュメントのリンク 7-18

重心

オフセット 3-22

参照フレームとしての～ 8-19

表示 3-20

修正キー

ズーム C-1

重力 6-16, 10-11

カスタム 6-19

垂直 6-17

太陽の質量 (例) 6-17

万有引力定数 6-17

惑星間引力 6-17

ジョイント 5-1

固定～ 4-57

ピン～ 1-18, 4-57

消去

軌跡の消去 8-20

編集メニューで～ 6-23

衝撃

衝突を参照

条件

if 関数の使用 B-17

式 10-7

衝突

オーバーラップを防止 8-33

固定ジョイントを使った最適化 8-34

シミュレーション A-17

～のコントロール 3-31

～力 A-17

～力の測定 7-3

～カメーター A-20

衝突 (オブジェクトメニュー) 3-32

衝突なし (オブジェクトメニュー) 3-32

初期化コマンド 9-21

初期条件

自動計算 8-8

新規コントロール 7-13

新規メニューボタン 7-18

シンブルツールバー 2-16

す

垂直重力 6-17

垂直スロット 2-8

水平スロット 2-8

数値および単位 6-13

数値解法 A-3

数値積分法 A-4

ズーム 2-6, 6-4

スケールの変更 6-6

スキップ

フレームの ~ 8-3, 8-6

スクロールバー 6-4

図形

にペースト 7-26

スケール

グラフのスケールの変更 7-6

変更 6-6

ステータスバー 3-17, 6-12

スナップポイント 2-16, 4-11

スパーク 4-37

スプライン 4-74

DXF でインポート 9-6

すべて選択 6-21

~ ドラッグ 5-15

スマートエディタ 5-5

いつ使用するか 5-14

規則 5-8

拘束の前面に移動 5-7

初期条件を設定 1-24

スライダ 7-11

スロット

ボディから取りはずす 9-12

ボディに配置 9-12

~ 要素 2-8

スロットジョイント 2-9

キー付き 5-2

曲線

開曲線と閉曲線を変換 4-74

形状 4-74

形状変更 4-66

コントロールポイント 4-75

座標 4-74

ピンジョイント 5-2

プロパティ 4-72

せ

制御系 9-20

概要 9-25

静電場 6-18

精度 8-28

精度ダイアログボックス A-11

性能

大型モニターでの ~ A-2

最適化するヒント 8-30, A-1

性能の最適化 8-30, A-1

正方形 2-6

作成 3-2

積分誤差 A-14

積分プログラム A-12

オイラー A-13

積分法

数値 ~ A-4

タイムステップ A-14

可変 A-6, A-15

固定 A-15

接触力 2-20

衝突も参照

接点 4-40

セパレータ 2-12

弾性 4-46

長さ 4-46

プロパティ 4-47

線形拘束 4-2

全体力

カスタマイズ 6-19

線形 6-19

ペアに働く ~ 6-19

全体力のカスタマイズ 6-19

選択

複数のアイテム C-1

複数のオブジェクト 6-21

選択四角形 6-21

前面に移動 6-2, 6-27

そ

測定

ギア力 4-43

単位の変更 6-13

プロパティ 1-11

速度

再生 8-5

シミュレーション 8-27

初期速度の設定 1-9

速度アンカー 10-13

た

ダイナミックデータ交換

DDE を参照

タイムステップ 8-4, 8-26, A-4

多角形 2-7

曲線スロットに変換 9-9

形状ウィンドウ 4-76, 3-26

形状座標 3-25

参照ポイント 3-10

数値入力形状変更 3-25

頂点を削除 3-8, 3-27, 4-77

頂点を追加 3-8, 3-26, 4-76

ラインから変換 9-8

ワールド座標 3-25

単位系

DXF をインポートするときに変換 9-13

設定 6-13

変更 6-13

弾性

インパルススペースのモデル A-18

定義 3-12

変更 3-12

ダンパー

回転 2-10

タイプ 4-28

定数 4-28

非線形 4-28

断面積 6-17

ち

チェーン駆動機構 4-38

力 2-11, 4-2

カスタマイズ 10-1

質量にロック 4-50

プロパティ 4-49

ペアに働く ~ 10-11

方向 4-49

力のカスタマイズ 10-1

長方形 2-6

直線地球重力 6-19

直交座標系 4-74

つ

追跡 8-19

オブジェクトのアウトライン 3-19

オプション 8-20

軌跡の自動消去 8-20

軌跡の消去 8-20

重心 3-19

選択されたオブジェクト 8-20

定義 1-15

ポイントの結合 3-19

ツール

アクチュエータ 2-11

アンカー 1-26, 2-7, 3-30

円 2-6

回転 2-6

回転ダンパー 2-10

回転ばね 2-10

ギア 2-10

キースロットジョイント 2-9

曲線スロット 2-9

曲線多角形 2-7

結合ボタン 2-7

- 固定ジョイント 2-9
- 四角ポイント 2-8
- 実行ボタン 2-6
- 垂直スロット 2-8
- 水平スロット 2-8
- ズーム 2-6, 6-4
- スロットジョイント 2-9
- スロット要素 2-8
- 正方形 2-6
- セパレータ 2-12
- 多角形 2-7
- 力 2-11
- 長方形 2-6
- テキスト 2-6
- トルク 2-11
- 表示 / 非表示 6-6
- ピンジョイント 2-9
- ピンスロットジョイント 2-9
- ブーリー 2-11
- 分離ボタン 2-7
- ポイント要素 2-8
- モーター 2-11
- 矢印 2-6
- リセットボタン 2-6
- ロープ 2-11
- ロッド 2-12
- ツールバー 1-2
- て
- 定義
 - 拘束 4-3
- 停止表示 8-9
- 定常状態 8-32
- 定数
 - ダンパーの定数の変更 4-28
 - ばねの定数の変更 4-25
- テーブルプレイヤ
 - コントロール 1-2, 8-2, 8-3
 - 使い切る 8-11
- テーブルプレイヤを使い切ったときには繰り返
し 8-9
- テーブルファイル 7-16
- テキスト 2-6
 - 削除 7-24
 - 作成と編集 7-23
 - 選択 7-24
 - 挿入 7-24
 - 属性の変更 7-25
 - ～ツールの使用 7-23
 - ～ボックス 7-11
- デモンストレーションフォルダ 1-3
- t 8-27
- 電荷 3-14, 6-18
- と
- トラブルシューティング C-5
- 取りはずし
 - 画像をボディから ~ 7-26
 - スロットをボディから ~ 9-12
 - ポイントをボディから ~ 9-11, 9-12
- トルク 2-11, 4-2
 - ～オブジェクト 4-51
 - 正方向の ~ 4-21
 - プロパティ 4-51
- な
- 内部ギア 4-38
- に
- 入力 10-5
- は
- 背面に移動 6-27
- ばね 2-10
 - 回転 2-10
 - 規準長さ 4-25
 - 剛性 4-25
 - タイプ 4-26
 - 定数 4-25
 - 非線形 4-26
 - プロパティの定義 4-25
- ばね / ダンパー 2-10
- パラメトリック

ポイントベースの ~ 4-13, 4-15, 8-10
貼り付け 6-23
ハンドル
 ~での形状変更 3-7
ハンドルでの形状変更 3-7
万有引力定数 6-17
反力
 スロットジョイント 4-73
 ピンジョイントの ~ 4-62
 ベクトルの表示 7-22

ひ

ビュー 6-2
 移動 6-3
 サイズ 6-6
 スケールの変更 6-6
 定義 6-2
ビューオブション 6-2
表示設定
 ボディの ~ 3-18
 ユーティリティウィンドウ 3-18, 6-30, 10-12
表示 / 非表示
 ツールとコントロール 6-6
ピンジョイント 1-18, 2-9, 4-57, 5-1
 作成 1-18
 プロパティ 4-60
ピンスロットジョイント 2-9, 5-2

ふ

フィールド
 拘束 B-8
 ベクトル B-5
 ポイント B-7
 ボディ B-6
プーリー 2-11, 4-34
 作成 4-34
 弾性 4-36
 長さ 4-36
 プロパティ 4-35
複数のオブジェクト

回転 6-26
 ~のプロパティの変更 3-15, 4-6

符号

 拘束の ~ 4-20
不正確な積分 A-16
物理オブジェクト
 定義 6-1
浮動小数点 6-14
プリファレンス 8-7
 保存 8-10
プレイヤドキュメント
 チュートリアル 1-29
フレーム

 印刷 8-26
 インジケータ 8-4
 上書き 8-11
 参照フレーム 8-16
 ゼロフレーム 8-11
 ~へ移動 8-5

プロパティ

 オブジェクトの変更 6-28
 拘束 4-3
 コントロール 7-11, 7-14
 複数の選択の変更 3-15, 4-6
 ユーティリティウィンドウ 6-29
分離 1-21, 5-2
分離ボタン 2-7

へ

閉曲線スロット 2-9
平行移動 6-4
ベクトル 7-19
 色 7-22
 グラフィック表示 7-19
 さまざまな種類の ~ 7-20
 式のフィールド B-5
 定義 1-11
 長さ 7-21
 表示 1-14, 7-20
 表示オブション 7-22
変換規則
 DXF インポート 9-5

DXF エクスポート 9-13

変更

オブジェクト名 7-25

単位系 6-13

テキスト属性 7-25

テキストの色 7-25

ビューのスケール 6-6

メータースケール 7-7

編集モード 8-14

変数 10-17, B-22

ほ

ポイント 4-59

四角 ~ 4-59

式のフィールド B-7

~要素 2-8

ロック 5-7

保存

記録されたシミュレーション 8-23

シミュレーション 1-16

ボタン

移動 1-29

実行 ~ 2-6

ドキュメントをリンク 7-18

メニューボタンの作成 1-28

ボディ

画像の取りはずし 7-26

形状の変更 3-21

材料の変更 3-14

作成 3-1

参照ポイント 3-10

式のフィールド B-6

重心の表示 3-20

初期位置の変更 3-10

初期回転量の変更 3-10

初期速度の変更 3-10, 3-11

弾性 3-12

電荷の表示 3-21

電荷の変更 3-14

塗りつぶしの色の変更 3-19

非表示 3-20

表示設定 3-18

摩擦係数の変更 3-12

面積 3-22, 3-23

ボディの初めの重複 A-17

ま

摩擦

測定 7-3

定義 3-12

み

密度

定義 3-13

表示 3-13

む

矛盾している拘束 A-17

め

メーター

SI 系以外での精度 A-22

グラフも参照

値を消去 7-9

値を保持 7-8

概要 7-1

カスタマイズ 10-11

カスタマイゼーションの式 7-7

作成 7-3

スケールを変更 7-7

選択できる表示 1-13

速度 1-11

定義 1-11

~データ 9-2

~データのエクスポートオプション 9-15

データファイル形式 9-14, 7-9

~データをエクスポート 7-9, 9-14

データをコピー 9-2

表示形式 7-3

表示形式の選択 7-4

表示形式を変更 1-13

表示するパラメータの選択 7-5

変数として使用 10-17

メニュー 2-12-2-23
 ウィンドウ ~ 2-20
 オブジェクト ~ 2-17
 測定 ~ 2-19
 定義 ~ 2-19
 ビュー ~ 2-15
 ファイル ~ 2-12
 編集 ~ 2-13
 ワールド ~ 2-14

メニューボタン

 作成 7-18

メモリ

 アプリケーション ~ 8-23
 結果の保存に必要な ~ 8-11
 テーププレイヤー 8-11
 ~を最大限に活用 A-1

も

モーター 2-11

 回転量 4-56
 加速度 4-56
 速度 4-56
 トルク 4-56
 プロパティ 4-56

元に戻す 6-24

や

矢印 2-6

ゆ

優先度

 演算子の ~ B-12

ユーティリティウィンドウ

 アクティブ設定 4-19
 形状 2-22, 3-21, 4-74
 表示設定 2-21, 3-18
 プロパティ 2-21
 ポップアップメニュー 3-16

よ

余分な拘束 A-17

予約された ID 番号 B-23

予約値 B-22

ら

ライン

 DXF でインポートされた ~ 9-6
 曲線スロットに変換 9-9
 多角形に変換 9-8

り

力場 6-19, 10-9

 カスタム 6-19
 ダイアログボックス 6-20

リセットボタン 2-6

る

ルーラー 6-8

れ

レイヤ 6-1
 オブジェクトを配置 6-27

ろ

ロープ 2-11

 弾性 4-23
 長さ 4-22

ロック

 コントロール 5-7
 ポイント 5-7

ロッド 2-12

 長さ 4-45
 プロパティ 4-44

わ

ワークスペース

 スケール 6-6
 ダイアログボックス 6-7
 ~の修正 6-6

ワーニング A-16

ワールド 6-2

 初期設定 6-16

～の階層化 6-1

ワールドスケール 6-6

惑星

～間引力 6-17

遊星歯車 4-43

MSC.Working Model 2D ユーザーマニュアル

発行日 平成 13 年 10 月 19 日第 1 版

発行所 日本エムエスシー株式会社

〒107-0052 東京都港区赤坂 5 丁目 2-39

円通寺ガデリウスビル

TEL 03-3505-0266 (代)

FAX 03-3505-0914 (代)

翻訳・印刷 グローバルテック コミュニケーションズ株式会社

© 2001 日本エムエスシー株式会社

