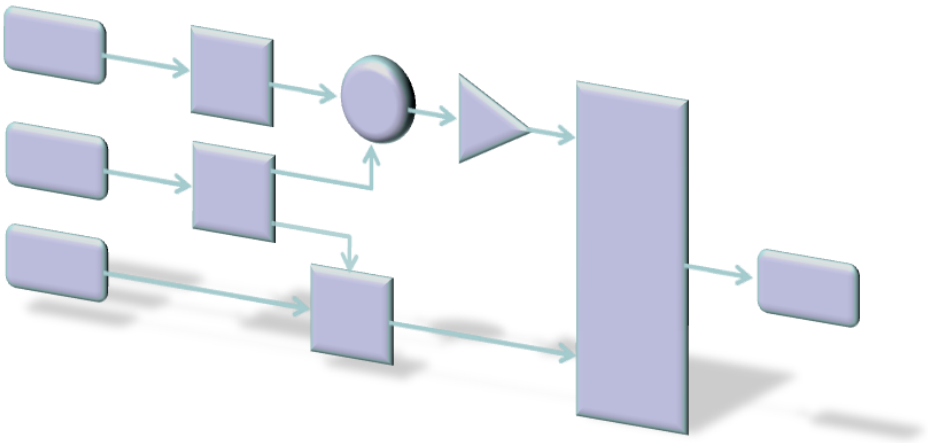
平成 23 年度文部科学省委託
東日本大震災からの復旧・復興を担う専門人材育成支援事業

MBD
Model-Based Development

「モデルベース開発入門」
講師用指導書



東北の復興を担う自動車組込みエンジニア育成支援プロジェクト推進協議会

目次

１章　はじめに

現在の自動車に求められる機能は、複雑化、高度化しています。しかし、それら機能を開発する開発力は、開発期間の短期化に伴い限界を迎えつつあります。

※ＭＢＤを用いる背景に、自動車産業における課題を例として挙げます。

現在の自動車はとても高性能で、それが当たり前のようになっています。

開発現場では、要求を満たし続けるために様々な課題を抱えています。

１章１節　要求の多様化・高度化

自動車メーカーは、消費者からの様々な要求に応え続けています。その結果、昔と比べて、自動車はとても高性能になり、新製品が発売される間隔も短くなりました。

自動車は、機能の塊です。自動車自体に求められている機能（基本機能）こそ、『走る・曲がる・止まる』の３種類ですが、これらを満たした上で、安全で快適なドライブを提供するために、実に様々な機能が自動車に搭載されています。

＊１）参照　＊スイッチ操作により電気モーター等を動力として開閉できる窓・スライドドア・サンルーフ

例えば、ＡＢＳ、パワーウィンドウ、パワースライドドア、電動サンルーフ、etc。

これらの機能は、先の基本機能に満足した顧客が新たに産み出した要求です。現在も、新しい要求に応えようと新機能の開発が進んでいます。また、それらが実現した後も、新しい要求は産まれ、それを実現するための開発が進んでいきます。

＊１）

図 1-1：自動車の機能

ABS＝Anti-lock Brake System の略　フルブレーキ時のタイヤのロックを防ぎ、ハンドル操作を可能とする装置

CAN＝Controller Area Network の略　車載ＬＡＮのほか、幅広い分野で注目されるネットワーク

LIN＝Local Interconnect Network の略　車載ＬＡＮの通信プロトコルの一種（ボディ系への普及が見込まれる）

１章２節　機能要求の変化

自動車に求められる機能は、年々、より複雑なものに変化しています。

初期の要求は、走る、曲がる、止まる、の３点でした。これらは、自動車の基本機能として定義されています。新しい機能は、これまでよりも高度な要求を実現します。

例えば、センサーで周囲の状況を監視し、自律的に加減速やハンドル操作を行うことで運転者の負担を和らげます。また、周囲の状況を知ることで事故を未然に回避し、より高い安全性を確保します。このような高度な要求に、高度な機能を開発することで応えています。

ドライバーの要求は、基本機能に満足していたころと比べると複雑かつ高度な機能を要求するようになりました。

重いハンドル操作を楽にするパワーステアリング機能や、衝突時の衝撃を和らげるエアバッグ機能などは、現在販売されている自動車のほとんどに備わっている程、当たり前の機能となっています。そうなると、衝突しそうになる前にブレーキがかかるなど、より高度な機能が新しい開発対象に選ばれます。

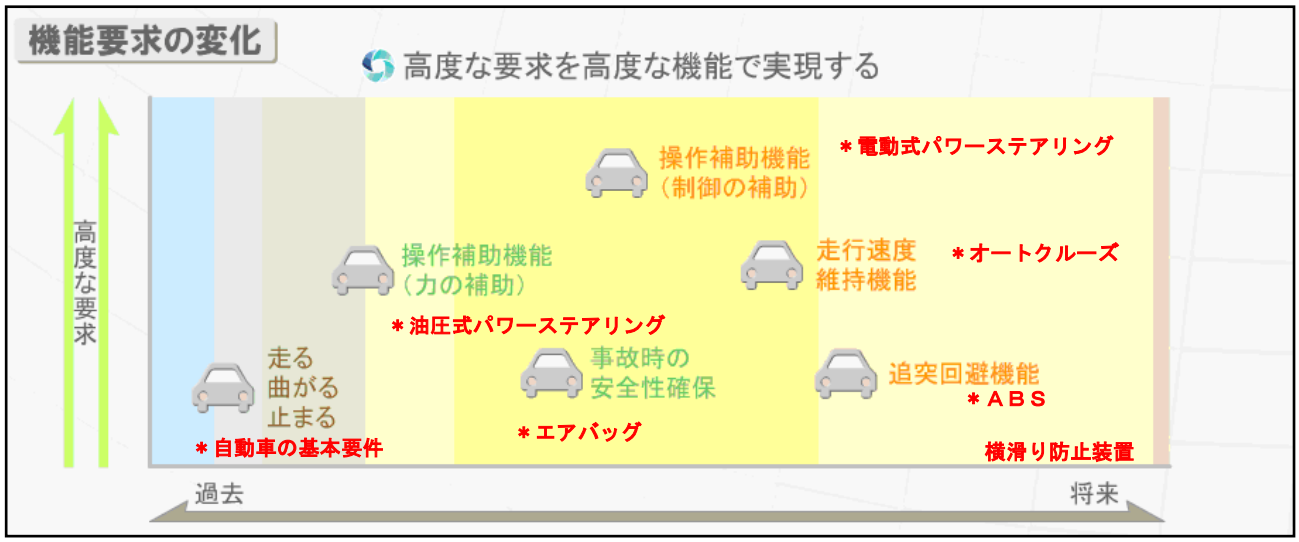


図 1-2：要求の変化

※機能の高度化は、当初のメカニズムによる車の制御から油圧等による力の補助、そして電動モーター等による
エレクトロニクス化に伴い、ソフトウェアによる制御範囲が広くなり、クルマ全体のエレクトロニクス化が進むにつれて
さまざまな機能要求がソフトウェア開発の対象となってくることが予想されます。
現在では、単体の機能だけではなく、複数の機能がお互いに情報を共有することで、統合的な機能として安全性や快適性を提供しています。また、環境問題やエネルギー問題・燃費向上といった要望も自動車産業として大きな課題として挙げられる話題です。

１章３節　開発期間の変化

消費者の要求は、時と共に次々と変わっていきます。その時に求められるものに素早く対応するため、自動車メーカーは、品質を維持した上で開発サイクルを短縮させています。

自動車メーカーは、互いに競争する立場にあります。安さや品質の競争の他、近年では開発サイクルを早め、新しい製品をより早く市場に出す傾向が強まっています。

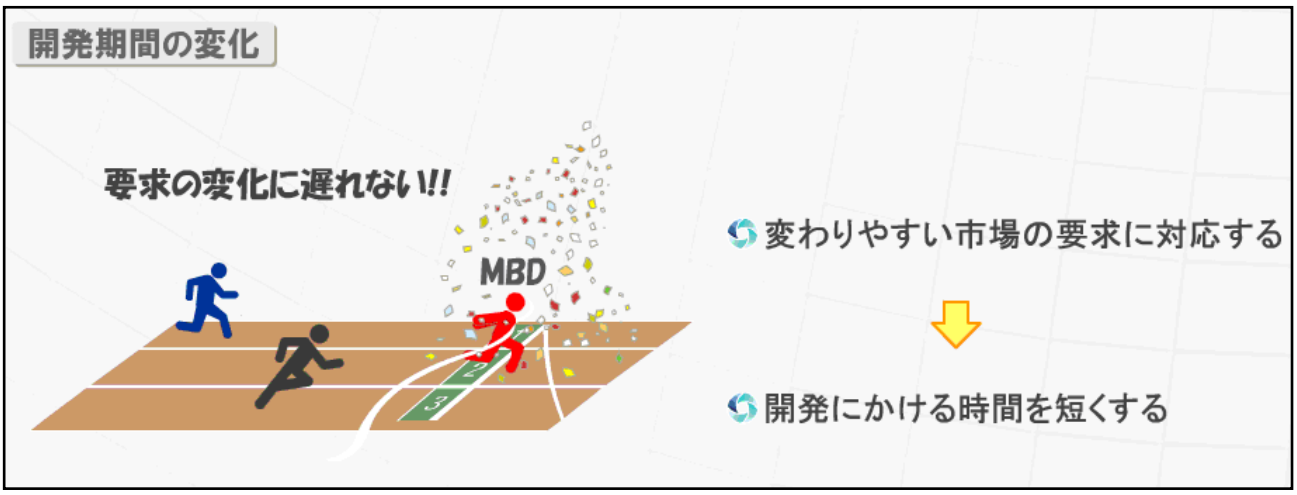


図 1-4：開発期間の変化

先生用のコメント：

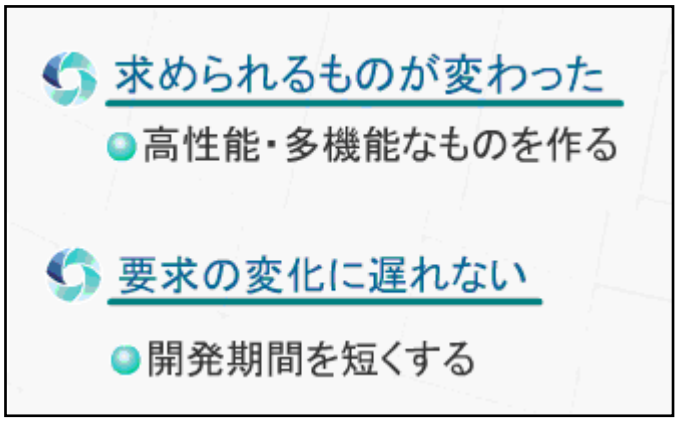
過去の自動車開発は、コンセプトの設計から製品が完成するまで、４８ヶ月が目安となっていました。

それが数年前では、２４ヶ月と以前の半分にまで開発期間が短縮されました。

近年では、更に短縮されています。

将来的にも、開発期間の短期化は進むと考えられています。

この章のまとめ



モデルベース開発（**Model-Based Development**：**MBD**）は、
複雑化した機能を明確にし、求められる納期に適した開発プロセスを実現します。

先生用のコメント:

本章であげた課題に対して、現状の対応では限界を迎えています。

これから説明する「モデルベース開発」を適用することで　どういった効果が得られるかをともに学んで行きましょう。

ここでは、モデルベース開発は、複雑化した機能の明確化と求められる納期に適した開発プロセスの実現を謳っています。

自動車業界全体としても MBD による開発に力をいれる動きが感じられます。

２章　組込開発の現状

２章１節　電子制御が脇役から主役に

『日経 Automotive Technology』2008 年 7 月号によると、

「車の競争力の源泉が、ハードウェアからソフトウェアに急速に変わりつつある。ユーザーは電子制御機能に付加価値を求め、開発現場は増大する負荷に対し、組織改正や海外への開発委託などで対応を急ぐ。」　と記載しています。

また、**「重要性を増す電子プラットフォーム」**と題して、

「クルマの競争力がハードウェアからソフトウェアに比重を移しつつある流れは、クルマのプラットフォームの位置づけからも明らかだ。

これまでプラットフォームと言えば、パワートレーンやサスペンション形式、フロア周りの構造など車両の機構的な基盤を指していた。しかし、電子装備が急速に増加している現在、電子システムの基盤となる電子プラットフォーム（PF）がクルマの性能を左右するようになってきた。」　と記載しています。

従来のプラットフォームとしては、「エンジン本体やレイアウト、駆動方式（FF, FR)」「サスペンション形式」「エンジンルーム、フロア周りの構造」など車両の機構的な基盤であった。

電子プラットフォームとしては、「ECU の配置・処理性能」「ネットワーク構成」「ソフトウェアの配置」などの電子制御機能となっています。

出典：『日経 Automotive Technology 2008 年 7 月号 p74』から転載

２章２節　システムの複雑化と開発における課題

電子制御システム開発力向上の課題

機能要求は、信頼性、コスト、耐久性、形状の要件を高次元でバランスさせて造ることが要求されます。かつ、システム構成は複雑で、多数のシステム間の連携、機能統合、適正分担が要求されます。

複雑な電装システム開発を、如何に信頼性を落とさずに短期間で実施できるかが最重要課題です。

ソースコード量の肥大化

高度な機能がひとつ追加されると、それに関わる部品全ての制御ソフトウェアに変更が加わります。

これは、搭載されるソフトウェアが増えることに繋がります。
また、複数の装置が連携して機能を制御するため、通信用のソフトウェアを追加する必要があります。

結果として、機能を追加すればするほど、また、制御対象を連動させるほど、自動車に搭載されるソフトウェアの量も増えます。

先生用のコメント：

- **例：機能が追加され、センサが増える**
  - **センサを動作させるソフトウェア**
  - **情報を伝達するための通信用ソフトウェア**
  - **情報を受け取る装置のソフトウェア**
  - **制御対象を操作するためのソフトウェア**

このようにソフトウェア量は機能が追加されるほど、増大していきます。

ここで例に挙げている自動車は、ある企業が発売した高級ブランド自動車です。

この自動車には、一台当たり７００万行のソースコードが搭載されています。カーナビゲーションシステムのソースコードを加えると、実に１０００万行を超えるソースコードが搭載されています。

現在の高級車は、全てを１人のエンジニアが読むことができない程大規模なソフトウェアが搭載されています。

図 2-2：ソースコード量の肥大化

先生用のコメント:

Ｔ社高級ブランド自動車レクサスは、マイコンボードを 100 以上つんでいます。

ソフトウェア制御を含めて機能実現を行ったため、自動車の性能が高くなるほど、

１台あたりのソフトウェア量が増えていくということが言えます。

参考資料：

「レクサス」動かす 1000 万行――ソフトの品質を議論すべき時が来た

http://it.nikkei.co.jp/business/column/aruga_gyokai.aspx?n=MMIT0z000023102006

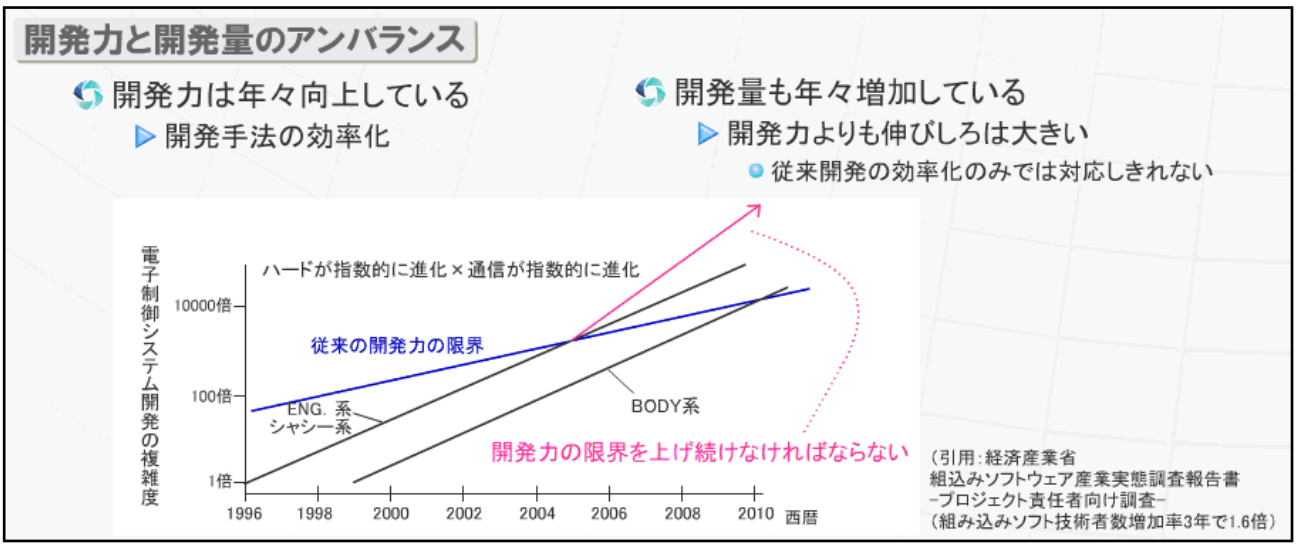
一部の ECU を統合したレクサス LS460，それでも搭載 ECU は約 100 個

http://techon.nikkeibp.co.jp/article/CAR/20060920/121314/

従来の開発手法の行き詰まり

開発効率を上げて、開発スピードを早くする必要性が求められますが、この効率化にも限界があります。従来の開発手法にも改善できる点は残っています。

しかし、それにより得られる効果だけでは追いつけないほど、開発量の増加は著しくなっています。



※経済産業省：http://www.meti.go.jp/policy/mono_info_service/joho/2008software_resarch.html

図 2-3：開発力と開発量の変化

開発力の限界を上げるには、従来開発を効率化する以外にも、何か手を打つ必要があります。

先生用のコメント：　＜アンバランスの原因と結果＞

原因　１．逐次開発では、ハードウェアの仕様が定まらないとソフトウェアの開発ができない。　→開発期間が狭められる。

２．ハードウェアの急な仕様変更がありうる。　→納期間際の変更がありうる。

３．部隊間の意思疎通が不足する場合もある。　→使用変更の情報がソフト部隊に伝わっていなかったケースもある。

４．ハードウェアの設計に不満がある場合もある。

結果　納期間際に開発作業が集中しやすい。

→忙しくなるので、バグの見落としが起こりやすい。

→忙しいので、より品質を高める作業に入りにくい。

これらのことから、新しい開発手法の導入を検討する動きがある。

3章　MBD　(Model－Based　Development)

MBD とは

MBD を簡単に表現すると、”モデルを用いた開発“であり、
”協調開発“を実現するための開発手法です。

モデル作成におけるコンセプトは３つあります。

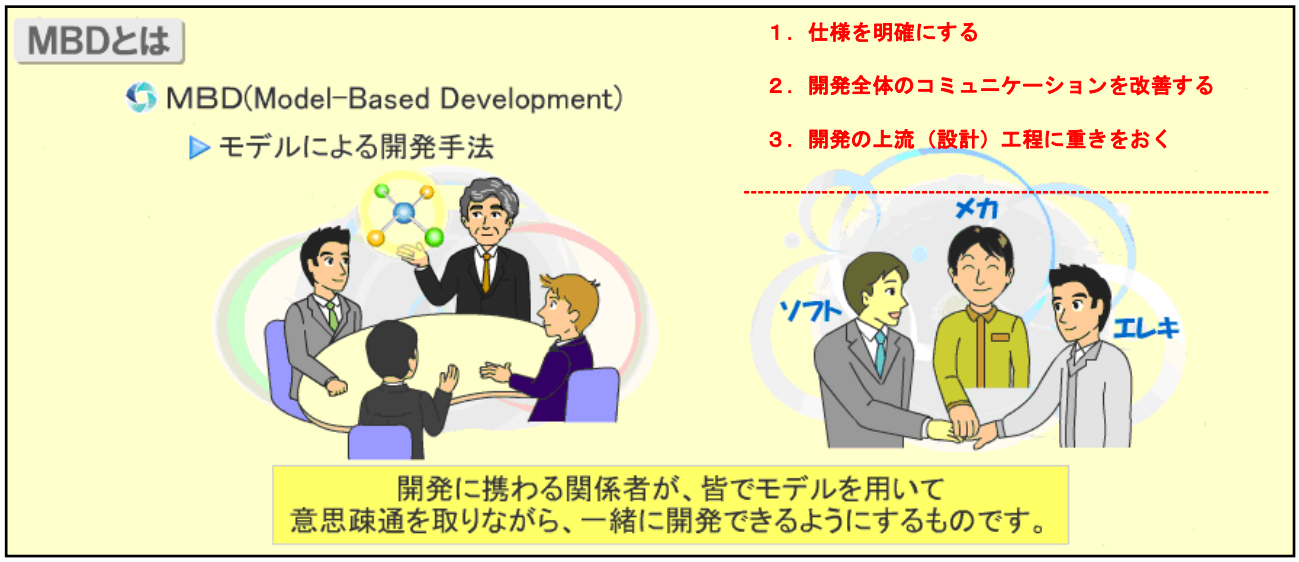


図 3-1：MBD とはモデルによる開発手法

現在の開発でもモデルは用いられています。

※自動車開発のような大規模な開発では開発に関わる全ての人が共有できるものではありません。

しかし、開発に関わる全ての人が共有できるものではありません。

MBD では、モデルを開発者全てが共有し、互いに分かり合った上で開発を行います。

※ＭＢＤで重要となる「モデル」は、従来の開発でも用いられています。

まず、システム中のデータの流れを視覚的に表現できる、データフローダイアグラム（ＤＦＤ）。

このダイアグラムでは、熱センサからの情報を取得して、ファンの回転数を変更するシステムなどを表現できます。

また、横軸に時間をとり、時間経過による信号の変化を表すタイミングチャートもそうです。スイッチＡがＯＮになったあとは、

ＣＰＵ認識時間が３０ミリ秒かかって、リレー応答時間２０ミリ秒以内にモータが停止して、、、、などのような、

言葉で表現すると冗長となってしまうものは、図を書いて表現していると思います。

ＭＢＤでは、そのような図をモデルと呼びます。しかし、［ 対象となるシステムを言葉で全て表現するには限界があります。］

その為、システムをモデルで表現してしまい、それを元に開発していきます。

製品開発では、様々な開発組織が関わっています。

開発に必要な部品を分担して生産していきますが、作って欲しいものを誤解無く正確に伝えることは難しいことで、開発組織間の壁のようになっています。

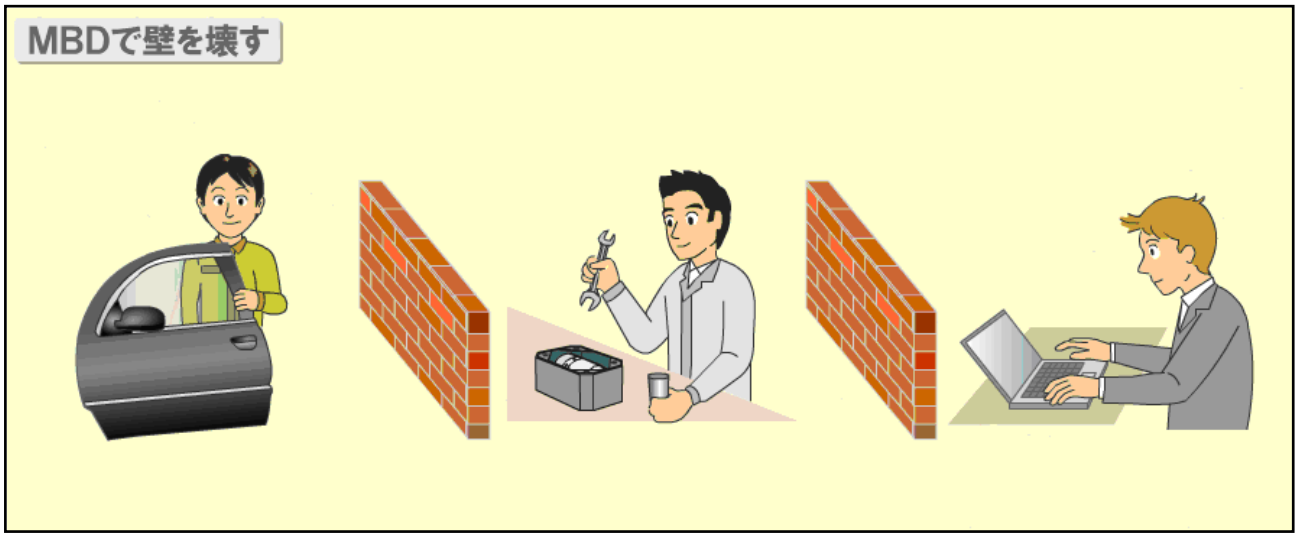


図 3-2：開発組織間の壁

MBD では、このコミュニケーションの壁を小さくし、
互いの仕事を分かり合って開発が行えるようにしていきます。

※先生用のコメント：

製品開発においては、機械、電子、ソフトと異なった技術が協調してはじめて開発が可能となります。

機械技術者は図面なら確認できる、電子技術者は回路図なら確認できる、ソフトウェア技術者はソースコードで確認できる、など組織間でのコミュニケーションには大きな壁のようなものが存在します。

ＭＢＤでは、作成したモデルをシミュレーションすることで、設計段階から開発対象の動きを検証することができます。

シミュレーション可能な動く仕様書を通して、お互いの仕事を分かり合うことで開発組織間の壁を無くします。

MBD を表すキーワード

MBD を表すキーワードを４つ、紹介します。

先生用のコメント：

「機能が見える」

「振る舞いが見える」

「仕様を誤解無くわかりあえる」

「ルーチンワークを自動化できる」という４点です。

１、見える！

機能をモデル化することで、属人化を抑え、機能のつながりを認識しやすくします。

２、動く！

シミュレーションでその仕様、機能がどのように動作するのか確認できるようにします。

３、分かり合う！

共通フレームワークの導入により、内容を誤解無く、解釈できるようにします。

４、自動化！

自動化技術（自動コード生成・自動検証）の導入により、機械的な作業を簡略化できるようにします。

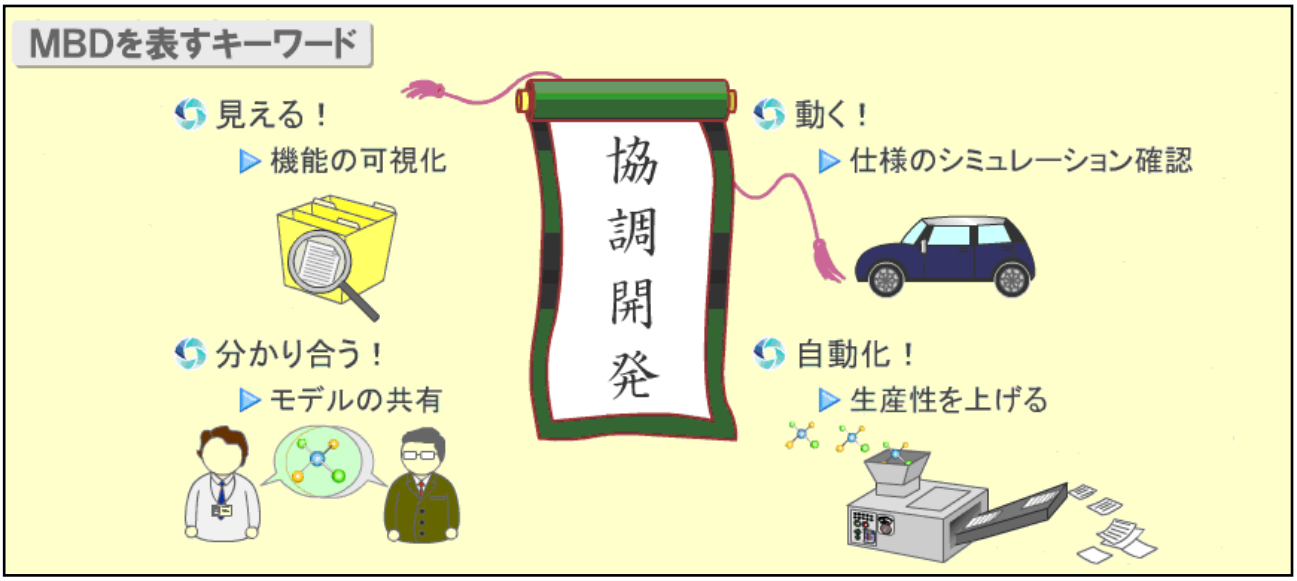


図 3-3：MBD のキーワード

これら４つのキーワードより、

MBD での開発は、協調開発であるということができます。

コラム　～ JMAAB での MBD の定義 ～

先生用コメント：

ＪＭＡＡＢというＭＡＴＬＡＢを用いたモデルベース開発を推進する団体が存在します。

MBDの定義

下図は、ＪＭＡＡＢでのＭＢＤと、モデルについての定義となります。

難しい表現となっていますが、簡単に説明すると、「自分達のための表現では間違いが起こりやすいので、誰でもわかる表現で開発を行おう」ということです。

参考：MBDの定義（JMAABでの定義）

▶ MBD（Model-Based Development）とは？

- 複雑化・高度化した現代の自動車制御システム開発に於て、MATLAB/Simulink　等のCAEツールによって制御装置と制御対象の機能をモデル化し、それらを実行可能な仕様書として用いることで、製品ライフサイクル全般に渡った品質向上と開発効率向上を目指した開発手法のことである。
- シミュレーション技術を駆使することで、高度な機能確認を実施でき、かつ、複雑な開発工程のルーチンワーク化を促進することで、自動化・省力化にも貢献する。

▶ モデルの定義：

- 対象の機能が図示されており、一意的に解釈できる物

先生用コメント：

CAE =Computer Aided Engineering

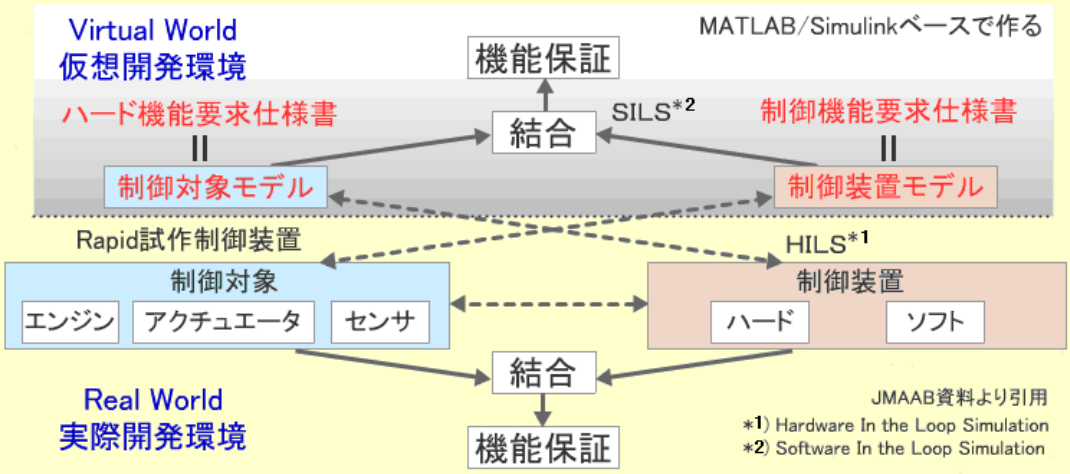
制御装置＝ECU 等のコントローラになります

制御対象＝自動車等になります

制御装置をコントローラ

制御対象をプラントと呼びます。

制御システムにおけるモデルの位置づけ



先生用コメント：

[制御システムにおけるモデルの位置づけ]についての説明

MATLAB／Simulink 等 CAE ツールにて仮想開発環境でシミュレーションを行う開発工程を上側（バーチャルワールド）で表現し、実際の実機を使用した検証を行う開発工程を下側（リアルワールド）と名前をつけて表現しています。＜点線で切り分け＞

・SILS（シルズ）とは、Software In the Loop Simulation の略で CAE ツールでのシミュレーション等による仮想環境での検証のこと

・Rapid（ラピッド）試作制御装置とは、制御装置モデルを Rapid 制御装置（擬似 ECU）を通して制御対象（実機）との検証を行うこと。制御装置モデル（コントローラモデル）の検証

・HILS（ヒルズ）とは、実機のコントローラとモデルで表した制御対象（プラント）をつないで検証を行うことです。制御対象がシミュレーション上で動くことで、コントローラの検証を行うことができます。また、試験環境を整えることが難しい試験（耐久試験や限界試験）を行う際、シミュレーションで検証結果を得ることができます。

４章　MBD の特徴

４章１節　機能のモデル化

MBD・モデルベース開発の一番大きな特徴はその名の通り、
「モデル（≒ 図）を基盤として開発を行う」　ということです。

モデルとは、「誰でも一意的に解釈できるもの」
（曖昧な表現ができず、理解に複雑なルールが不要）です。

※先生用コメント：　図 4-1 の例は、「足が４本ある丸い机」の開発を要求した例です。
もし自分で開発をするのならば、完成品のイメージが頭の中にあるので、それを作ることができます。
ですが、別の開発者に依頼するとしたらどうでしょう。「丸い机、足が４本」という文書だけ伝えたとします。

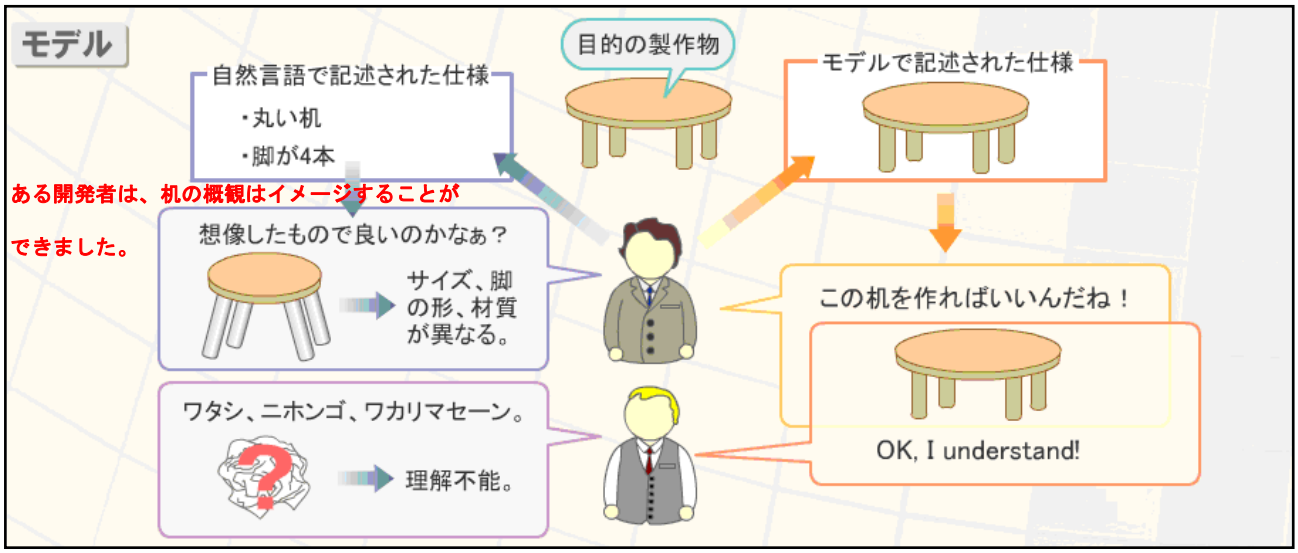


図 4-1：自然言語とモデルの比較

しかし、机の色であったり、足の形や正確な机の形状まではイメージすることができませんでした。別の開発者は、そもそも文書から要求を読み取ることができません。読み取れないため、机を作ることもできません。次に、モデル（＝図）で要求を表して開発者に依頼したとします。今度は見たとおりのものを作れば良いので、どちらの開発者も完成品のイメージができました。

このモデルを使った開発手法である MBD においては、
制御対象（ハードウェア）と制御装置（主にソフトウェア）の仕様書をモデルで作成し、開発メンバ間の「**コミュニケーションツール**」とすることで、全員に誤解の無い精度の高い意思疎通ができます。

このように、モデルは「誰でも同じように解釈できるもの」であり、何かを説明する際、コミュニケーションをとるための道具として用いられるものです。これは、複雑になったシステムを、開発者間で共有する上で非常に有効な手段です。

４章２節　シミュレーション（実行可能な仕様書）

MBD における仕様書であるモデルが、従来の仕様書と大きく異なる点は、MBD ツールのシミュレーション機能により、動作（機能）の確認ができることです。

従来の仕様書の多くは、「文字ベース」＋「図」でした。開発をするためにはこれらを読み、動作を想像して理解していました（文字ベースなので、記述漏れや動作の捉え間違えも多く発生します)。しかし、MBD のモデルによる仕様書であれば、シミュレーションを実行することで、その実際の動作（機能）を画面上で見られる（Simulink の Scope、Display ブロックなど）ので、仕様が明確に理解できます。

※Scope ブロック→波形を確認できるブロック　　※Display ブロック→数値（演算結果等）を確認できるブロック

また、仕様作成者は、機能要求者とシミュレーションを使って要求の確認が可能です。要求者は、具体的且つ直感的に動作を見ることができるため、理解が容易になります。

このモデル上でシミュレーションができるため、「実行可能な仕様書（動く仕様書)」（Executable Specification）と呼ばれています。

先生用のコメント：　MBD ではモデルが仕様書となります。また、モデルはシミュレーションで動きを確認できるため、
「実行可能な仕様書」と表現しています。

実行可能な仕様書の 2 つの側面

①シミュレーション面

仕様の動作を確認できます。

シミュレーションすることで、その仕様がきちんと要求に応えられるものになっているのか確認することができるのと同時に、要求との違いを発見することができます。

②コミュニケーション面

仕様書を通して意志の疎通を図ることができます。

また理解しやすく仕様を書いているので、仕様に対して、指摘しやすくなります。

これらも、モデル化することで可能となるＭＢＤの強みといえます。

設計工程でのモデリング終了後に、即モデルシミュレーション検証が可能となるため、上流工程の時点で問題を早期発見し対処することができます。よって、下流工程以前に誤りの発見ができ、手戻りの増加工数を無くすことができます。

また、従来実機や試作品などハードウェアを用いて行っていたテストを、ハードの代替となるモデル（プラントモデル）でシミュレーションすることで、実機・試作品の作成を少なくできます。

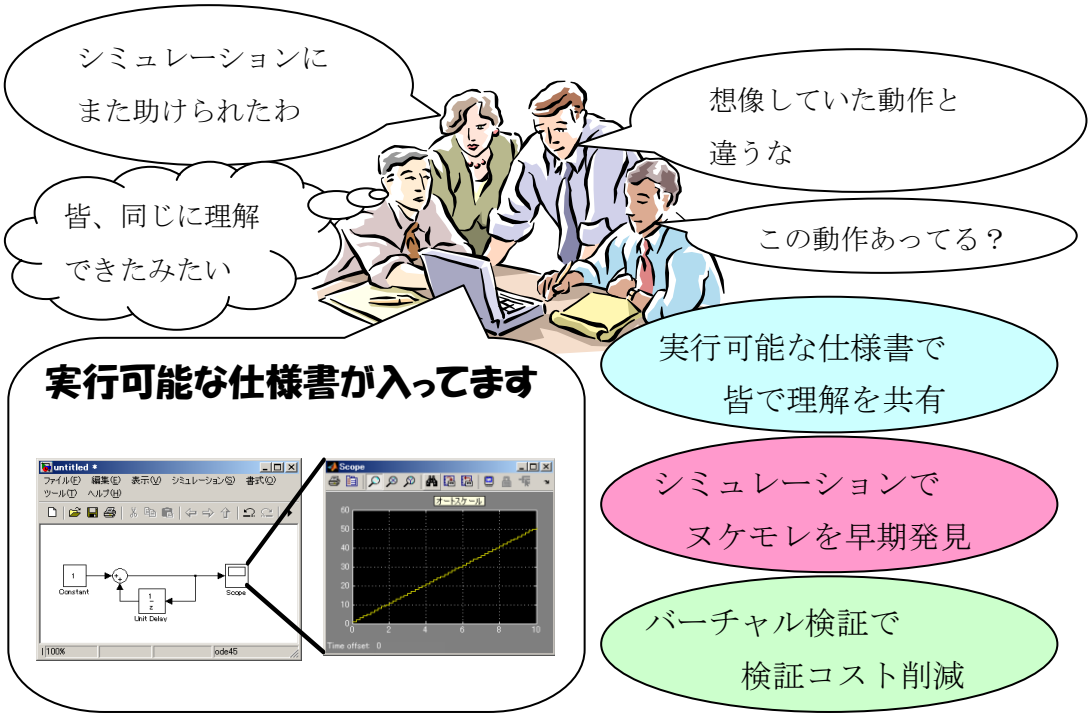


図 4-2：実行可能な仕様書の特徴

先生用のコメント：仕様書（モデル）を動かすことができるため、

「仕様を動かせるので、システムの振る舞いが理解しやすい」

「要求と設計の矛盾点を指摘しやすい」

「モデルで表すので、読み手の誤解が少ない」

「仕様を共有できる」

という特徴が挙げられます。

４章３節　自動コード生成

MBD ツールの大きな特徴として自動コード生成機能が挙げられます。

これは制御モデルを機能的に等価なプログラムコードに変換する機能です。(生成されたプログラムコードをマイコン命令に変換する（コンパイルする）ことで実機を動作させます。)

この機能を利用できるようなモデルを作成し、自動コード生成を行うことにより、従来プログラマによって行われていたコーディング作業を無くすことができます。それによるメリットは、以下の２つです。

① 今まで仕様書を満たすプログラムを書くいわば変換作業を人（プログラマ）の手により行ってきましたが、人間である以上ミスをすることがあります。またプログラマのスキルが不足している場合、作成されるコードの品質（不具合・可読性・実行効率など）が著しく低いものとなってしまいます。

MBD ツールでは、人為的ミスの無い、均一的な品質のコードが作成可能となります。

先生用のコメント：ＭＢＤでは、モデルからソースコードを自動的に生成することができます。自動コード生成では機械的にソースコードへの変換が行われるため、ヒューマンエラーが入り込む余地を与えません。このヒューマンエラーは、ソフトウェア技術者のモチベーションを下げてしまいます。

[memo]

この観点に限って言うと、MBD の自動コード生成機能は C 言語などの高級言語のコンパイラと類似でかつ上位のものと考えることもできます。

自動コード生成：モデル → 高級言語
コンパイラ　　：　　高級言語 → 実行モジュール（機械語）

高級言語が登場する前のソフトウェアはアセンブラ言語という、処理系に依存した機械語命令（バイナリコード）と１対１に対応したような言語でいわば直接プログラミングを行なっていました。
高級言語の登場により、人間はより人間の思考に近い論理的で高度な命令を使用してプログラミングを行なえるようになりました。機械語への変換はコンパイラが行ないます。

現在では組込みシステムでも、デバイスドライバやパフォーマンスが求められるクリティカルな部分などごく一部を除いて、ほとんどが高級言語に置き換わっています。

モデルは、高級言語よりも高級な、より人間の思考に近いプログラミングツールと考えることができます。

② 従来は、設計成果物（仕様書）と実装成果物（コード）が別のものとして、二元管理されている状態でした。そのため、実装後に仕様変更や追加に対応した際には、両者の同期が取られず、更新された仕様書が存在しない状況も見受けられました。

MBD ツールでは、コードはモデルから自動生成されたものを使うので、コードと仕様書（モデル）の内容が一致し、常に更新された仕様書（モデル）として一元管理することができます。

先生用のコメント：設計と実装の同一性を保証できる他にも、
プログラマに大きく依存したソースコードであった場合に起こる、保守性という面での問題点が自動化により改善され、後の機能追加や変更にも対応しやすくなるメリットがあります。

[memo]

修正要望が多発した場合、開発に余裕が無いとまず実装物作成を優先し、仕様書への反映は後回しになり、そのまま忘れ去られてしまいがちです。

この修正部分に更に手を加える場合、当時の経緯を知る人でなければ、急造された複雑なコードを解析してその仕様を確認するという非常に骨の折れる作業が必要となります。

このような状況に置かれた開発チームでは、得てして人の入れ替わりが激しいため、この作業の発生する可能性は非常に高く、そしてこの作業が更に開発を切迫していくのです。

先生用のコメント：
＜自動コード生成を行うことのメリット＞
１．ヒューマンエラーを排除できること　２．設計と実装の同一性を保証できること
＜モデリングのメリット＞
モデルを作成するメリットは、それが分析作業を兼ねている点です。

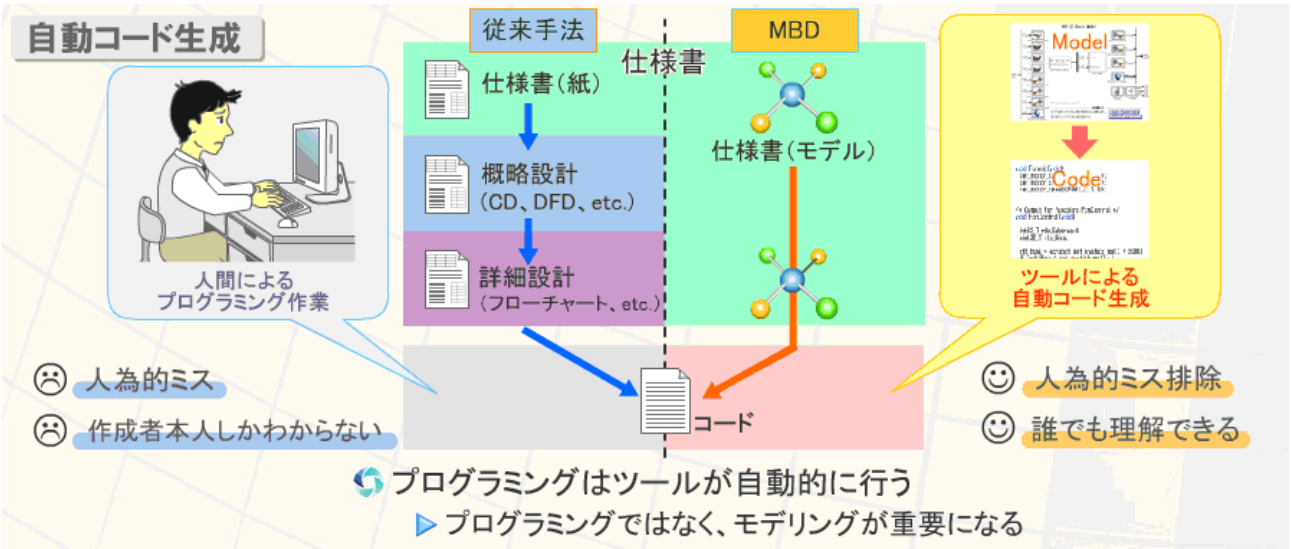


図 4-3：自動コード生成

４章４節　フロントローディング

・従来開発では試作で確認する

従来開発では試作したものが要求にかなっているかどうか確認するため、試作品を作り、動作の検証をします。そこで不具合が見つかった場合、原因を特定し、再び設計を行います。そのため大きな手戻りが発生します。

設計後、もう一度試作し、検証を行います。
手戻り・試作を繰り返していった場合、試作、検証、設計変更には膨大な時間とコストが発生します。

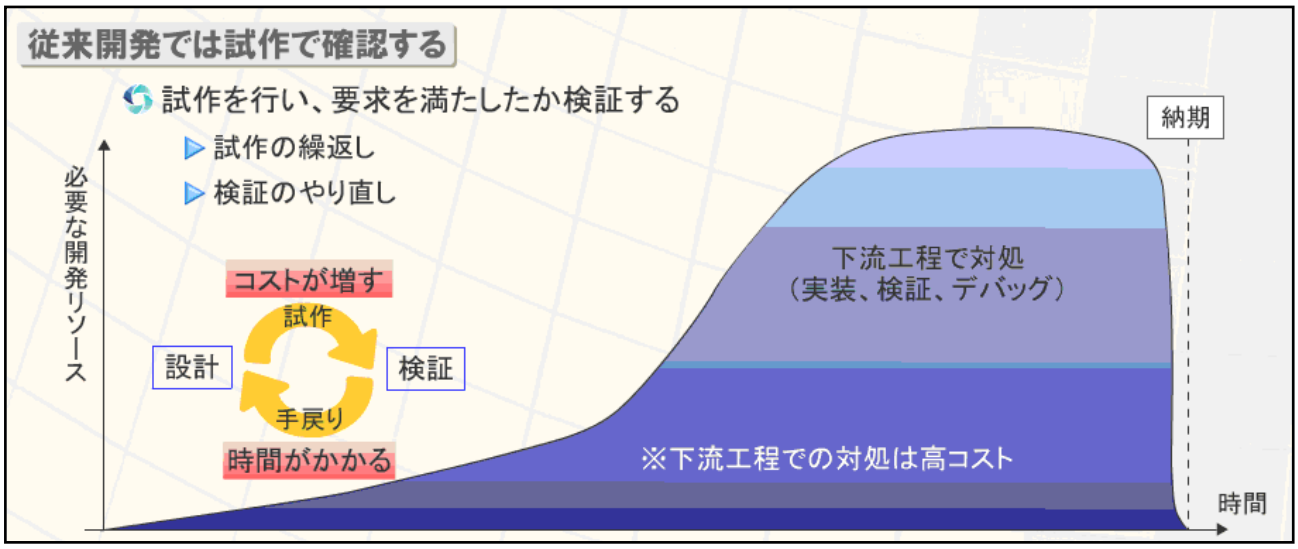


図 4-4：従来開発では試作で確認する

先生用のコメント：

開発プロセスの検証工程にリソースを集中させると、下流工程で対処することになります。

下流工程では、製品はある程度の形ができてしまっています。

そこで不具合が見つかった場合、取れる手段は２通りあります。

・作り直しを求める

・現状から部分的に変更を加えて不具合を解消する

作り直しを求めた場合、検証を含め、ここまでに行った作業をもう一度繰り返すことになるため、

その分、予定外の作業が発生することになります。また、部分的に修正を加える場合にも、もとの構造に手を加えていくため、

何度も繰り返すとシステムの構造がわかりにくくなっていきます。

後々の機能追加などにも、構造が明確でなくなるため安易な変更を行ったせいでシステムが動かなくなる危険性も残ります。

・MBD ではモデルで確認する

MBD では、試作品の代わりにモデルを使って動作の検証を行います。試作を待たずに結果を知ることができるため、時間を短縮することができます。また、試作回数を少なくできると考えられるため、その分のコストが減ります。

設計段階で CAE ツールなどを用いた充分なレビューを行い、不具合要因をできるだけ除いた設計書を作成し、それをもとに試作、検証工程に入る、というスタイルは、よく知られていると思います。

MBD は、これを開発プロセス全体に渡って行おう、という開発スタイルと言えます。

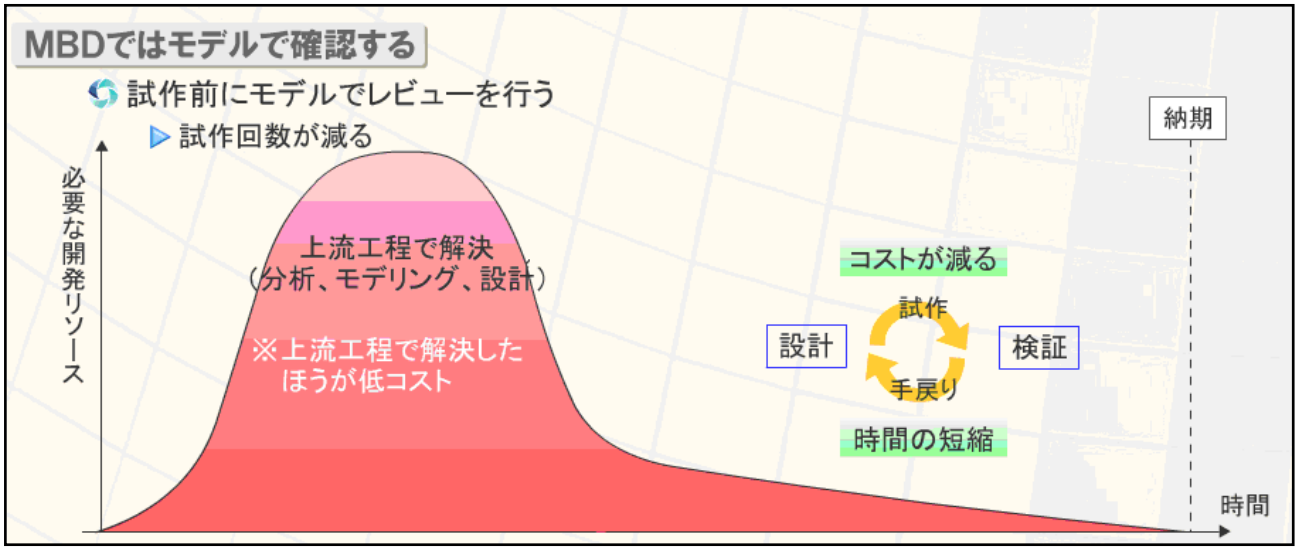


図 4-5：MBD ではモデルで確認する

先生用のコメント：

＜上流工程で対処するために＞

開発プロセスの設計工程にリソースを集中させます。

現在の開発では上流工程に重きを置くスタイルを採用しています。

開発・設計段階でＣＡＥツールなどを用いた充分なレビューを行い、不具合要因をできるだけ除いた設計書を作成し、

それをもとに試作、検証工程に入る、というスタイルです。

ある程度の予測を立てた上で実際の開発にとりかかるため、不具合の発生頻度を抑えるほか、

不具合が起きたときの緊急性を抑制することができます。

・開発全体のフロントローディング

MBD プロセスでは、開発プロセス全体をフロントローディングし、実行可能な仕様書のもと、コンカレント開発を行います。開発期間全体を短縮させ、製品のより早い市場投入を目指します。

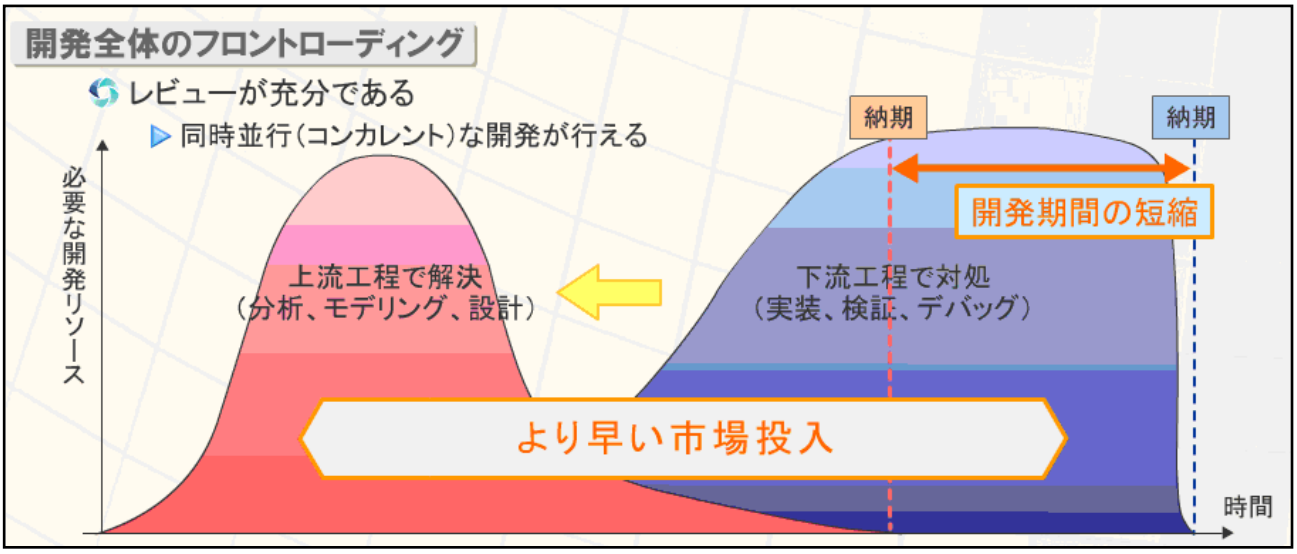


図 4-6：開発全体のフロントローディング

先生用のコメント：

・『従来開発では試作で確認する』(図 4-4)と『ＭＢＤではモデルで確認する』(図 4-5)を比較しています。

上流工程であらかじめ問題を解決できていれば、結果的に開発期間の短縮が期待でき、

より早い市場投入が実現できることを表現しています。

４章５節　コンカレント開発

これまでの開発では、１つの工程が終了するまで、次の工程を開始することができませんでした。MBD 適用後では、モデリングフェーズで、モデルを使って実行可能な仕様書の作成を行います。

モデルを用いることで、企業間でのコミュニケーションを円滑にします。また、動くことが保証された仕様のもと各部品を並列して製造することができるので、その分全体の開発期間が短縮されます。

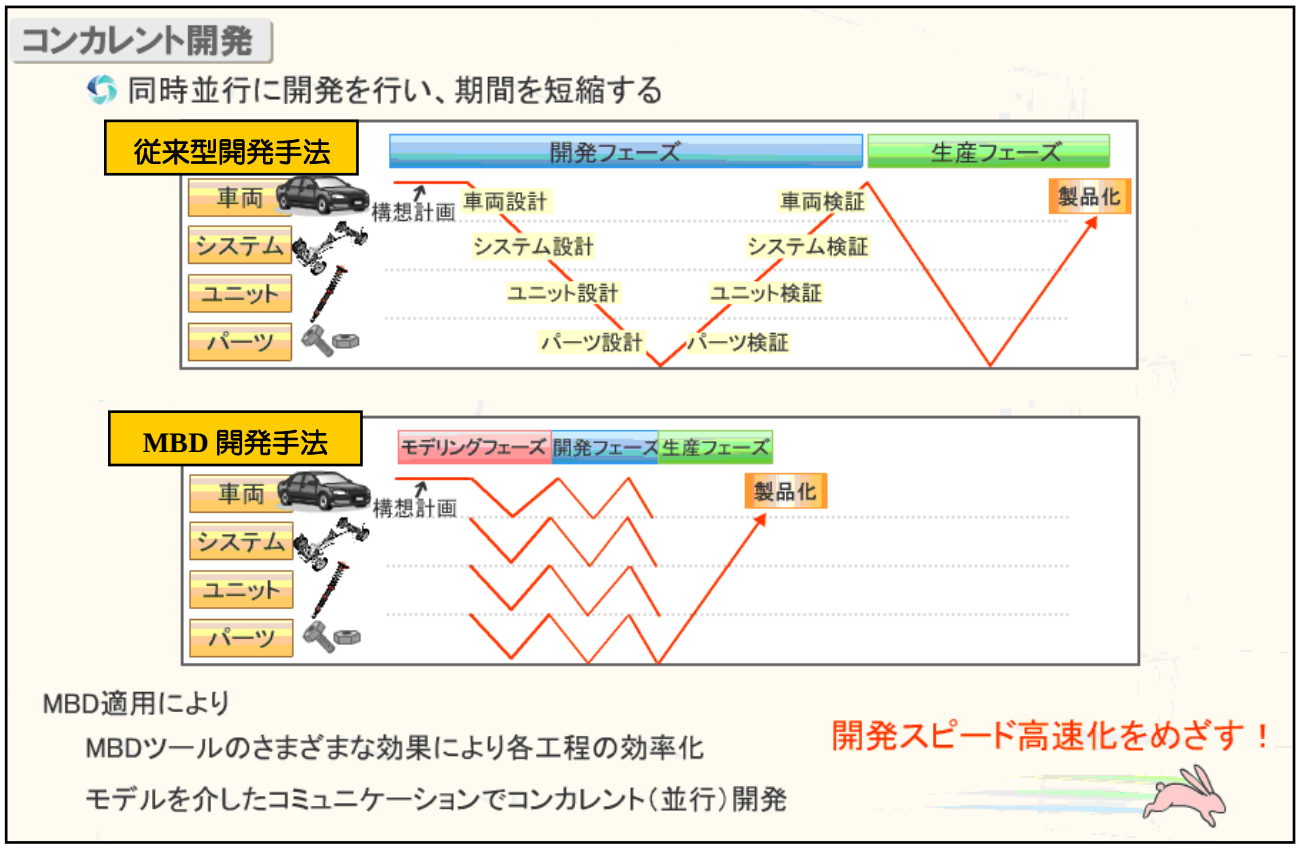


図 4-7：コンカレント開発

先生用のコメント：

モデリングフェーズで車両からパーツまでのすべての要素（部品）に対してのモデリングを行います。

それぞれの工程で、各部品を並行して設計・製造することができます。

また、周辺部品との関連を考慮した製品開発ができるため、より効率的な開発が実現します。

結果として、従来の製造工程での時間短縮よりも大幅な時間短縮が行えます。

この章のまとめ

MBD では、要求される機能をモデルで表すことで、わかりにくい機能をわかりやすくします。また、モデルをシミュレーションして動作を確認し、開発者間のコミュニケーションを円滑に進めます。さらに、自動コード生成機能を使用することで、プログラミング時間が短縮でき、また、モデルがドキュメントとなるため最新のドキュメントを一元管理できます。

これらの特徴は、複雑化・大規模化するシステムへの対応を可能とすることが見込まれます。

さらに、実行可能な仕様書を用いたコミュニケーションは、開発プロセスの姿を大きく変更します。プロセス全体をフロントローディングすることで、逐次的な開発を並列的にし、開発効率を向上させることが見込まれます。

図 4-8：MBD の特徴のまとめ

先生用のコメント：

＜システムの複雑化、大規模化への対応＞

⇒　モデルベース開発

モデルベース開発では、システムをモデルで表現し、さらにシミュレーションで振る舞いを再現することで開発者間の意思疎通を円滑にします。また、各自動化ツールを用いることで機械的な作業を簡略化します。

＜開発期間の短縮化への対応＞

⇒　フロントローディングとコンカレント開発

実行可能な仕様書（＝モデル）を用いることで、早い段階での動作保証を行い、開発者間でのコンカレントな開発を行います。

５章　JMAAB

(Japan　MATLAB　Automotive　Advisory　Board)

５章１節　JMAAB とは、

JMAABは、国内自動車メーカーと同自動車用制御装置サプライヤーが参加しているMATLABのユーザー会です。

「開発環境構築は協調し、競争は製品で！優れた環境でレベルの高い競争をしよう！」をスローガンに、モデルベース開発の推進とMATLAB/Simulinkベースでの設計・開発環境の発展、自動車メーカーとサプライヤーの境界を越えた効率的な開発環境を実現させるために、様々な活動を行っています。

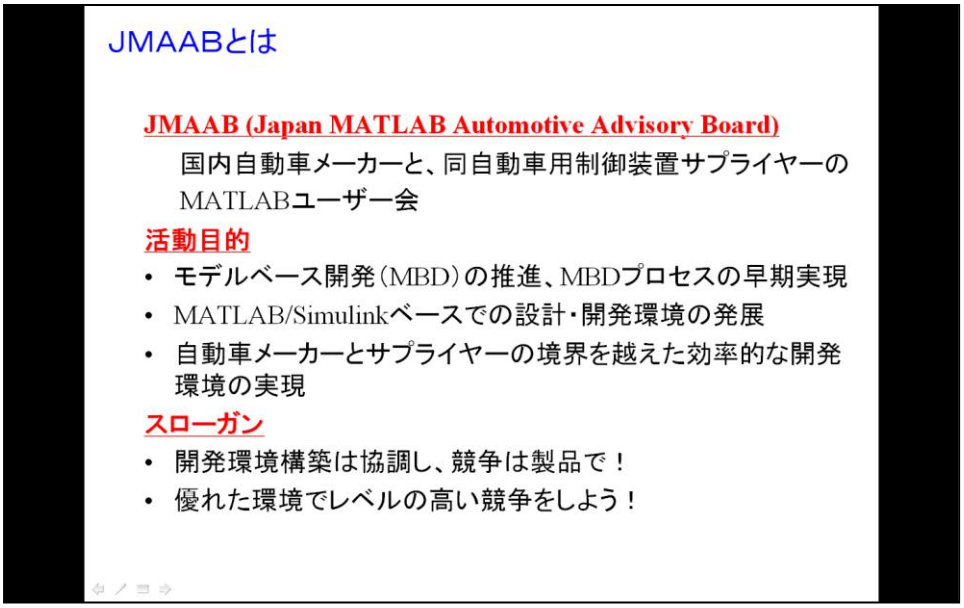


図 5-1：JMAAB について

JMAABは、ユーザー会の発起人中心で構成されるボードメンバ、実際の活動を行うワーキンググループ（以下、WGと略称）、WG活動に参加しているコアメンバ、JMAAB活動に関心を持ちインターネットを通して会員登録した一般メンバで構成されています。

５章２節　MBD 技術者の育成

MBD技術者育成の重要性

モデルベース開発の推進にあたり、CAEツールや設計技法の開発改良が進む中で、自動車制御系開発における各種ツールの知識や使いこなし、制御システムの設計検証技法、設計プロセスにおける管理ツールの活用手法など、自動車業界のエンジニアにとって必要となる知識やスキルの範囲が広がり、何らかの指針が必要になってきています。

優れたツールも、最新の技術や手法を十分に取り扱える人材がいなければ成果を出すことができません。そのためMBD技術者育成は重要な、また急務な課題となっています。

MBDエンジニア育成WG

MBD技術者育成を推進するために「JMAAB MBDエンジニア育成WG」というワーキンググループ（以下、育成WGと略称）を2005年に発足しました。

育成WGのねらいは、自動車メーカーとサプライヤーの視点から、MBDにおけるモデリングやツールに関する知識・設計プロセスにおける活用手法など、マネージャ／技術リーダ／実務担当者を対象とした共通課題を明らかにして、MBDエンジニアに必要となる教育プログラムの企画、及び共通指標となる認定レベルの制定を行うことです。

育成WGでは、IPA/SEC発行の「組込みスキル標準ETSS」をもとに、自動車制御系開発におけるMBDエンジニアを対象としたスキル基準・キャリア基準としてETSS-JMAABを作成し、自動車分野での人材育成に適用することを目的としています。

出典：『SEC journal №13 自動車分野のMBD技術者に必要なスキル』より引用

※ETSS-JMAAB文書は、ホームページ（http://jmaab.mathworks.jp/）で一般公開しています。

５章３節　ETSS-JMAAB

ETSS-JMAABについて

ETSS-JMAABは、自動車制御系開発におけるMBDエンジニアを対象として、開発技術、要素技術、管理技術に関するスキルとキャリアをまとめたものであり、以下の領域での活用を期待しています。

①自部署のスキルレベル把握と人材育成計画の立案
②外注者のスキルレベル把握（受け入れレベル規定等）
③教育カリキュラム構築　…他

各々の要素は、図5-2 に示すようにマッピングして関連付けています。

スキル基準　：MBDによる制御系開発に必要なスキルを体系的に整理するフレームワーク

キャリア基準：MBDによる制御系開発に関わる職種名称や職掌とそれに求められるスキルを定義するフレームワーク

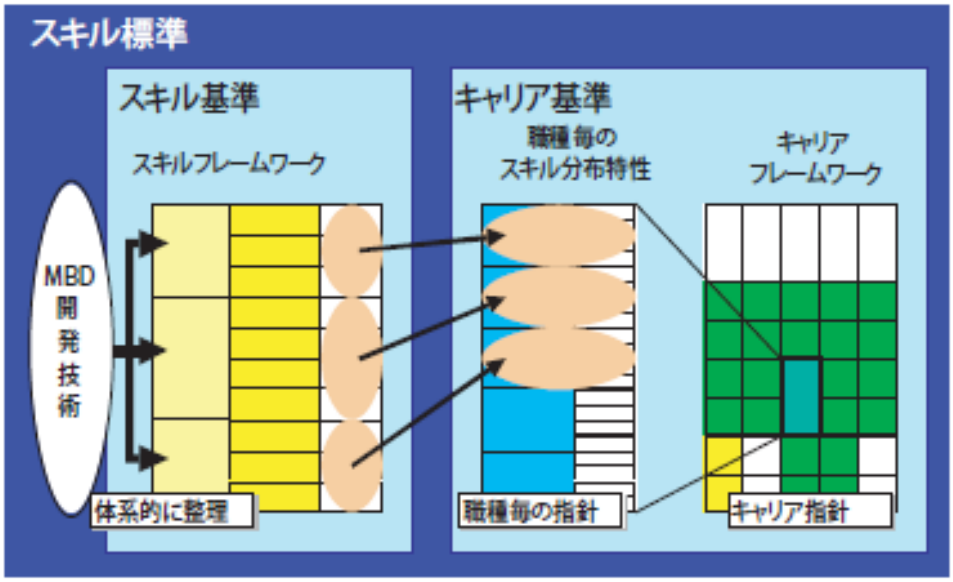


図 5-2：ETSS-JMAAB の全体構成

スキル基準について

スキル基準は、MBDによる制御系開発に必要なスキルを明確化・体系化したものであり、人材育成・活用に有用な「ものさし」（共通基準）を提供します。スキルは「技術要素」「開発技術」「管理技術」のカテゴリで整理・階層化されています。図5-3にETSS-JMAAB のスキルフレームワークを示します。

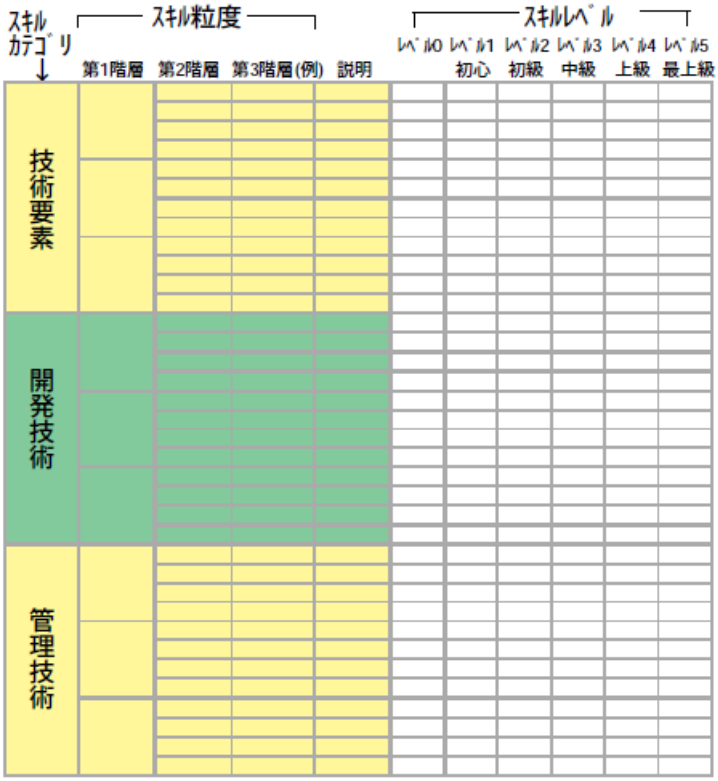


図 5-3：ETSS-JMAAB のスキルフレームワーク

ETSSと同様に、スキルとは作業の遂行能力を指し、「～ができること」を表現するものであり、知識を有するだけではスキルとしては扱いません。知識は、スキルを発揮するために必要な構成要素で、特に自動車の製品知識と工学基礎知識は、MBDエンジニアに必要な知識となります。

スキル基準で定義する技術の範囲は、共通的に利用されるものを想定し、各企業や応用ドメインで利用される特有の技術に関しては扱っていません。また、スキル粒度の第３階層は、例にとどめています。運用する各企業で具体化・追加等が必要となります。

技術要素と開発技術カテゴリについては、 図5-4、 図5-5 でETSSとの違いを示します。

図 5-4：技術要素スキルカテゴリの第一階層

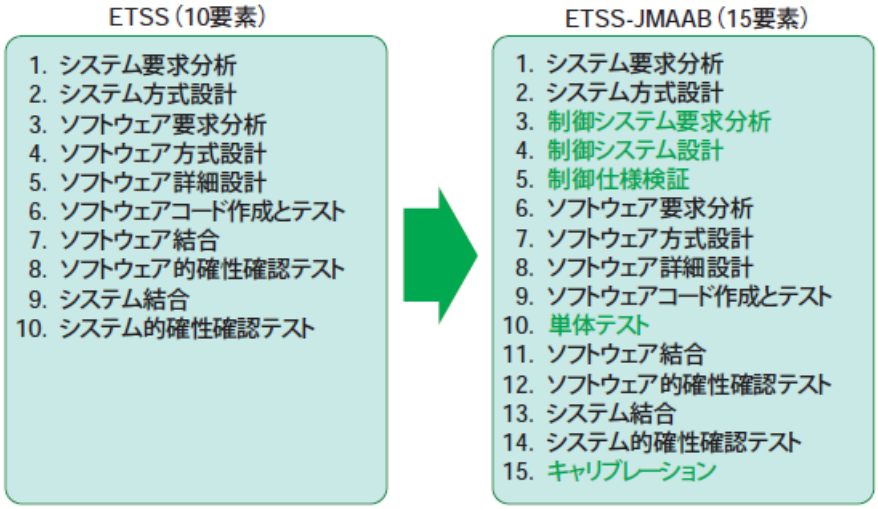


図 5-5：開発要素スキルカテゴリの第一階層

スキルレベルは、以下の０～５の６段階で定義しています。

- レベル0：　　内容を知らない。
- レベル1：初心　内容を知っている。
- レベル2：初級　支援のもとに作業を遂行できる。
- レベル3：中級　自立的に作業を遂行できる。
- レベル4：上級　作業を分析し改善・改良できる。
- レベル5：最上級　新たな技術を開発できる。

キャリア基準について

キャリア基準は、MBDに従事する技術者の主な職種、その内容、レベル、求められるスキルを明示したものです。MBDによる制御系開発に従事する技術者の職種を１４種類定義しています（図5-6）。

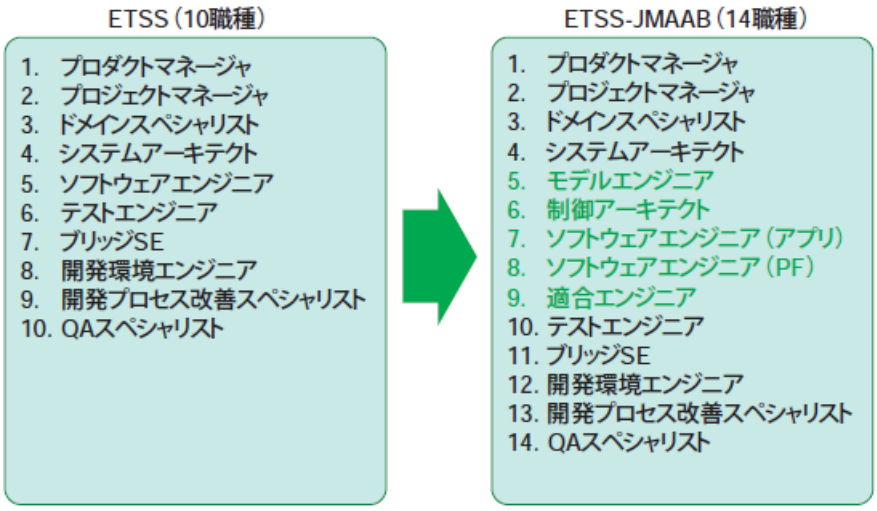


図 5-6：職種

キャリアレベルは、モデルベース開発の各職種において、技術者が専門性を持った人材として、価値創出に応じたスキルの度合いを表したもので、３段階のレベルで定義しています（図5-7）。

図 5-7：ETSS-JMAAB のキャリアレベル

制御システム設計に直接携わるエンジニア（ドメインスペシャリスト、システムアーキテクト、モデルエンジニア、制御アーキテクト、ソフトウェアエンジニア、適合エンジニア、テストエンジニア）８職種については、具体的なスキルレベルマップを示しています。

ETSS-JMAAB との対応

本教科書は、「MBD エンジニアスキル標準」の開発技術要素に当てはめると、設計からテスト工程の範囲について説明しています。

本教科書での学習後の成果目標は、スキルレベルを初心レベルに向上させることとなります。

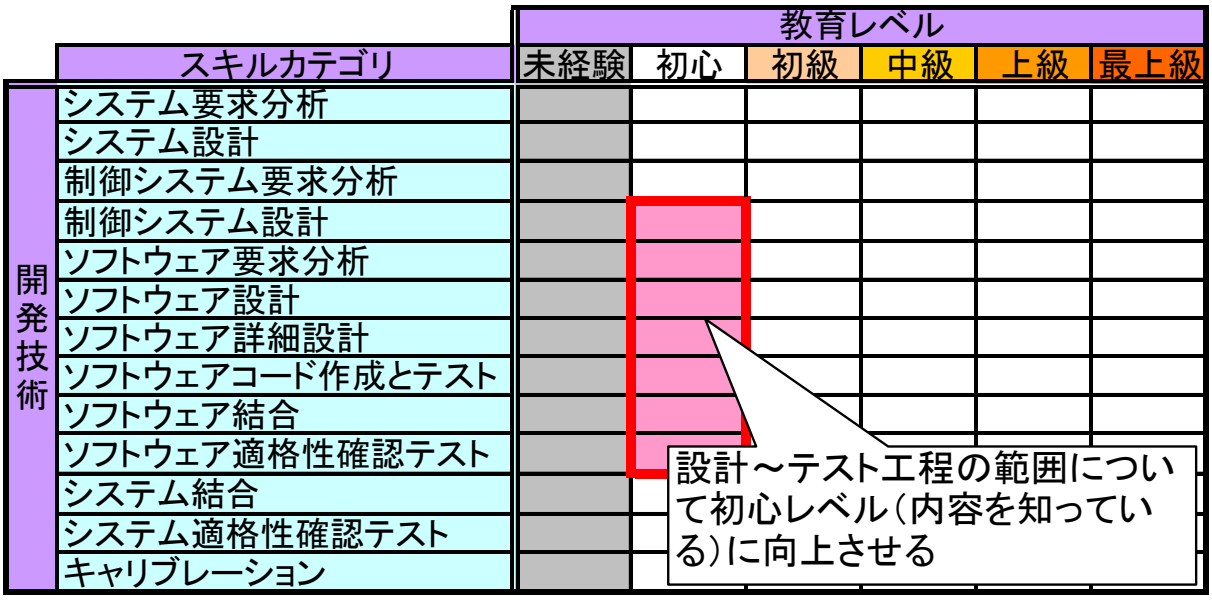


図 5-8：成果目標

６章　MBD ツールとしての MATLAB/Simulink

６章１節　MATLAB

先生用のコメント：

６章からの内容は、MATLAB/Simulink を使用した実習形式となっています。

本書では、MATLAB をモデルベース開発の共通プラットフォームとして使用します。MATLAB は、豊富な科学、技術計算のライブラリがり、広く一般科学、応用科学、工学の幅広い分野で用いられています。

適用分野：

データ解析、実験・計測、制御システム、通信システム、信号処理、画像処理など

産業分野：

自動車、電機、航空宇宙、通信、環境/エネルギー、教育、医療/科学など

Simulink は、モデルベース開発のためのプラットフォームとして、ブロック線図環境、モデリング・シミュレーションによる設計環境、自動コード生成環境を提供します。

MATLAB/Simulink には、豊富なツール群（拡張ライブラリ/追加オプション）があり、統一された環境におけるシステム開発を可能としています。

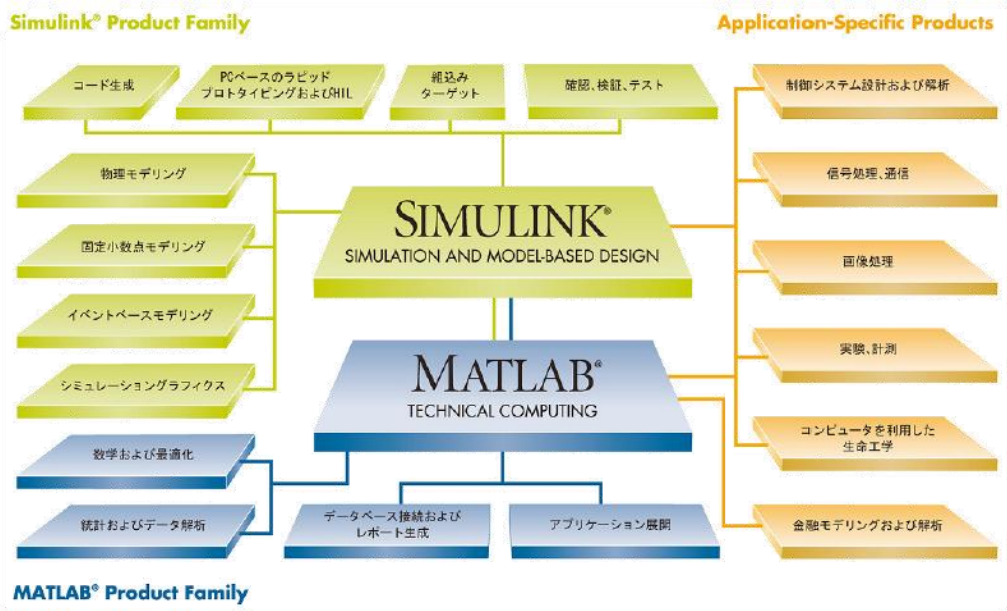


図 6-1-1：MATLAB/Simulink プロダクトファミリ

出典：http://www.mathworks.co.jp/products/pfo/

開発プロセスに対応した、MATLAB/Simulink プロダクトを図 6-1-2 に示します。

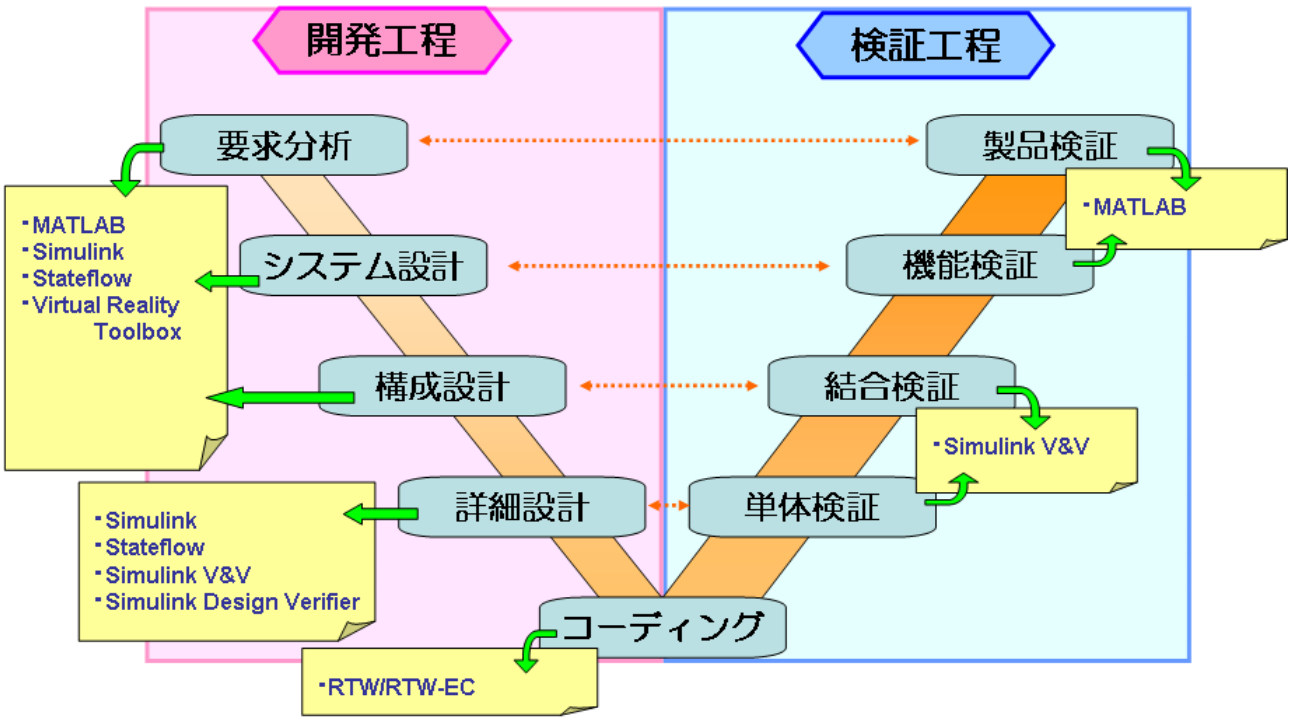


図 6-1-2：開発プロセスと MATLAB 製品

本書では、MATLAB 及び Simulink を実習環境として使用します。

※MATLAB 及び Simulink は米国 The MathWorks 社の登録商標です。

６章２節　MBD ツールに触れてみよう。

６．２．１．モデルを描いてみよう（前準備）

MATLAB/Simulink は、ワープロ、表計算ソフト等の図形描画操作に近い操作方法となっています。

・MATLAB を起動してみよう。

デスクトップ上の「MATLAB R2007b」を実行すると「MATLAB R2007b」のウィンドウが開きます。スタートメニューからでも同様に起動できます。

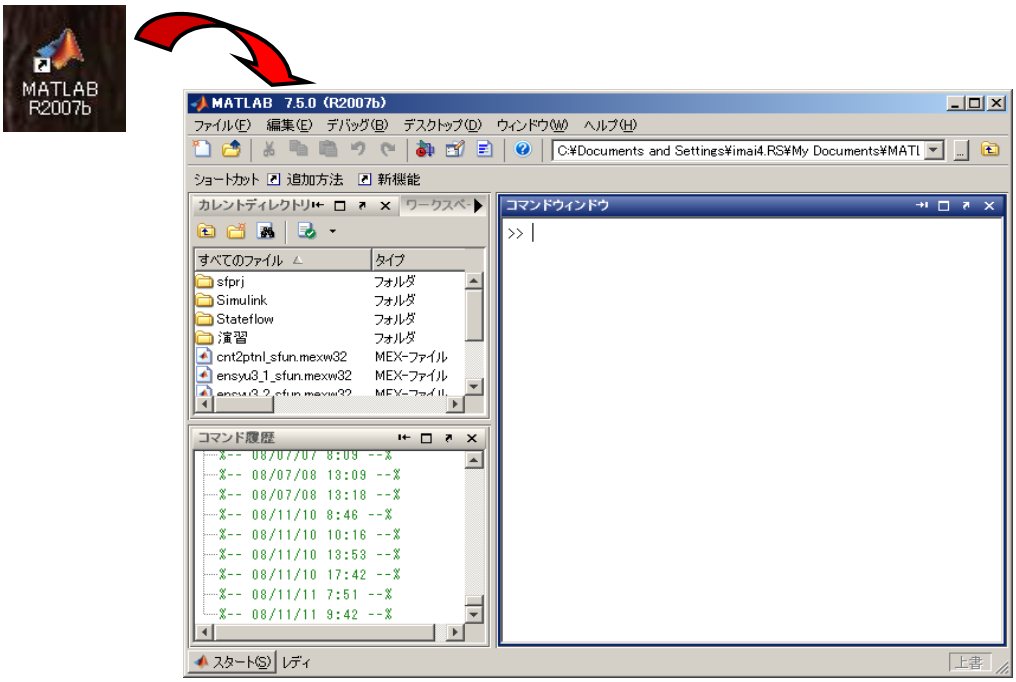


図 6-2-1：MATLAB 起動

先生用のコメント：

MATLAB R2007b のショートカットをダブルクリックすることで MATLAB を起動することができます。

• Simulink を起動してみよう。

※画面操作：CD-R¥6 章 2 節 MBD ツールに触れてみよう¥6_2_1 モデルを描いてみよう（前準備）¥6_2_1.htm 参照

ツールバーの「Simulink」アイコンをクリックすると「Simulink Library Browser」が起動します。コマンドウィンドウに「simulink」と入力し、改行(Enter キー)しても同様に起動します。

※Simulink は「モデリング」、「シミュレーション」を行うツールです。

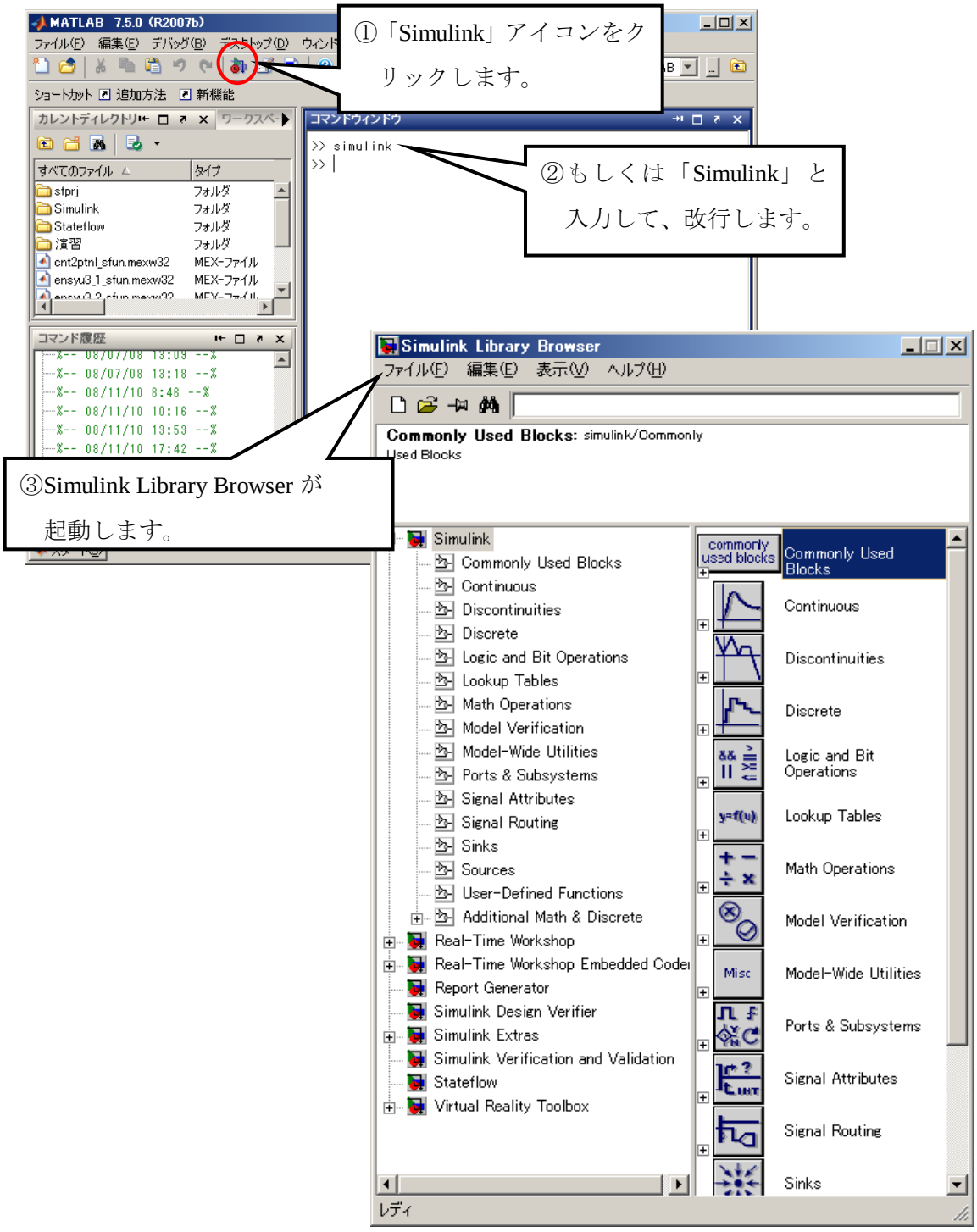


図 6-2-2：Simulink 起動の流れ

・モデルを描くキャンバスを用意しよう。

「新規モデルの作成」を実行するとメニューしかない別ウィンドウでキャンバスが開きます。

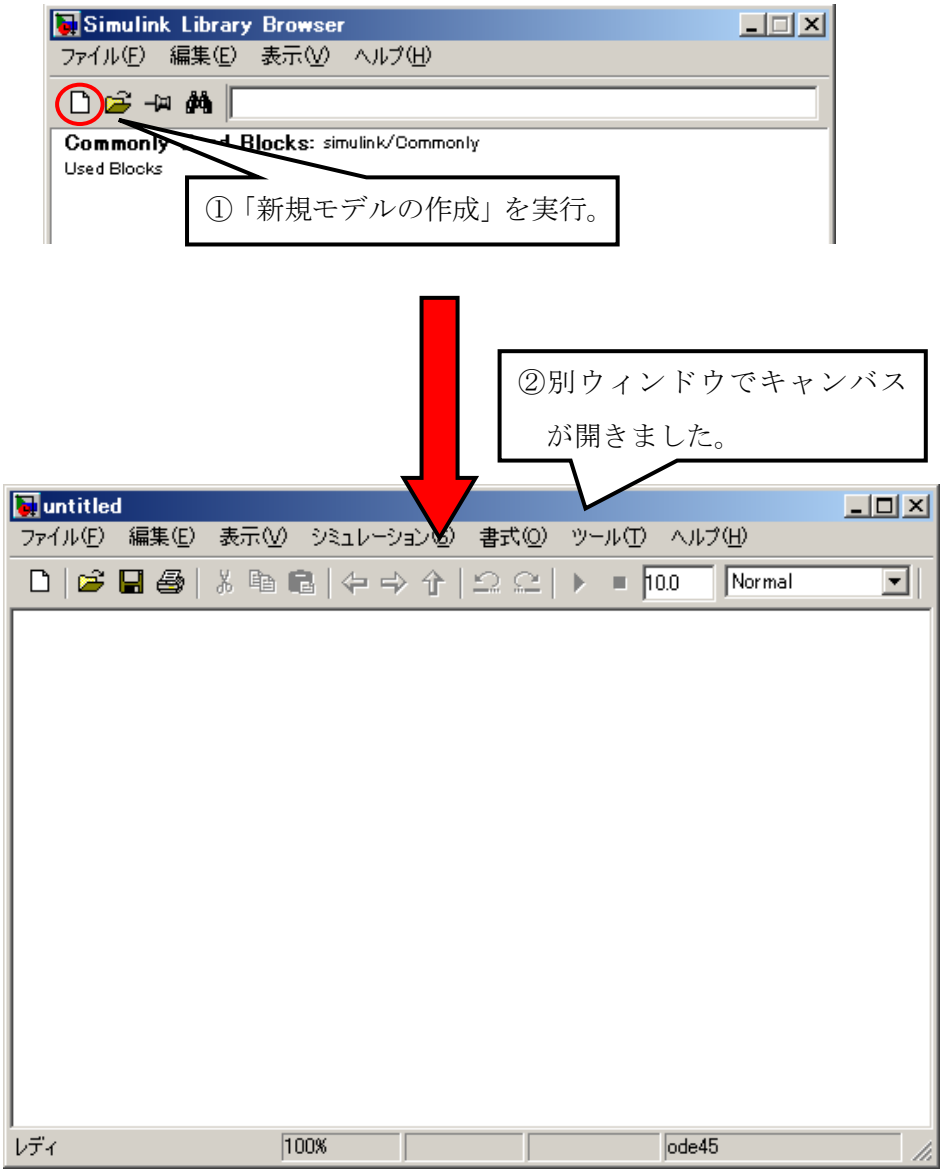


図 6-2-3：キャンバス作成

６．２．２．モデルを描いてみよう（ブロックの描画）

※画面操作：CD-R¥6 章 2 節 MBD ツールに触れてみよう¥6_2_2 モデルを描いてみよう（ブロックの描画）¥6_2_2.htm 参照

・描画するブロックを選択しよう。（ブロックの選択）

「Simulink Library Browser」の「Simulink ライブラリ」の「Math Operations」を選択します。

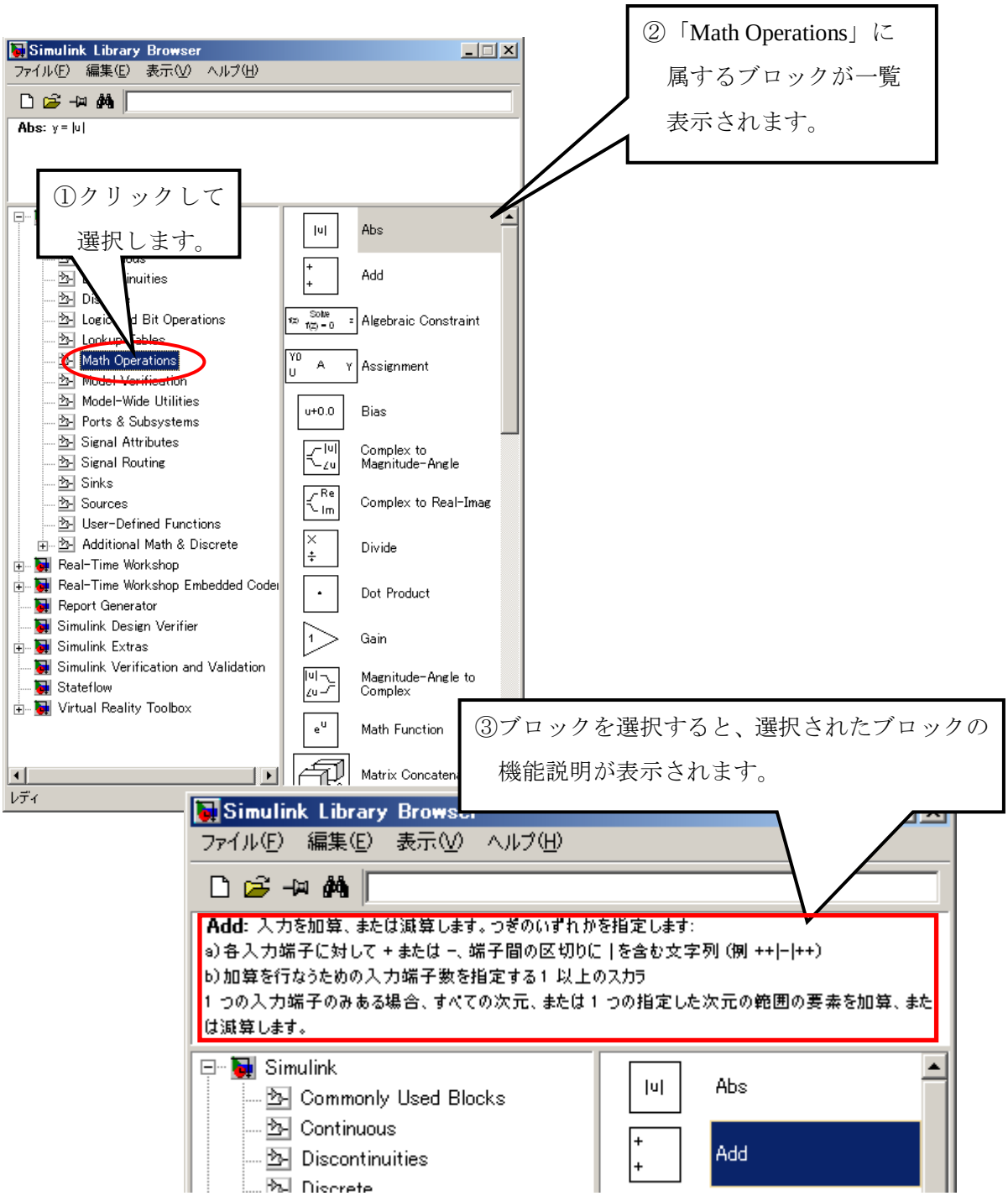


図 6-2-4：ブロックの選択

・キャンバスにブロックを配置しよう。（ブロックの描画）

選択した「Add」ブロックをドラッグして、キャンバス上でドロップするとキャンバス上に「Add」ブロックが配置されます。

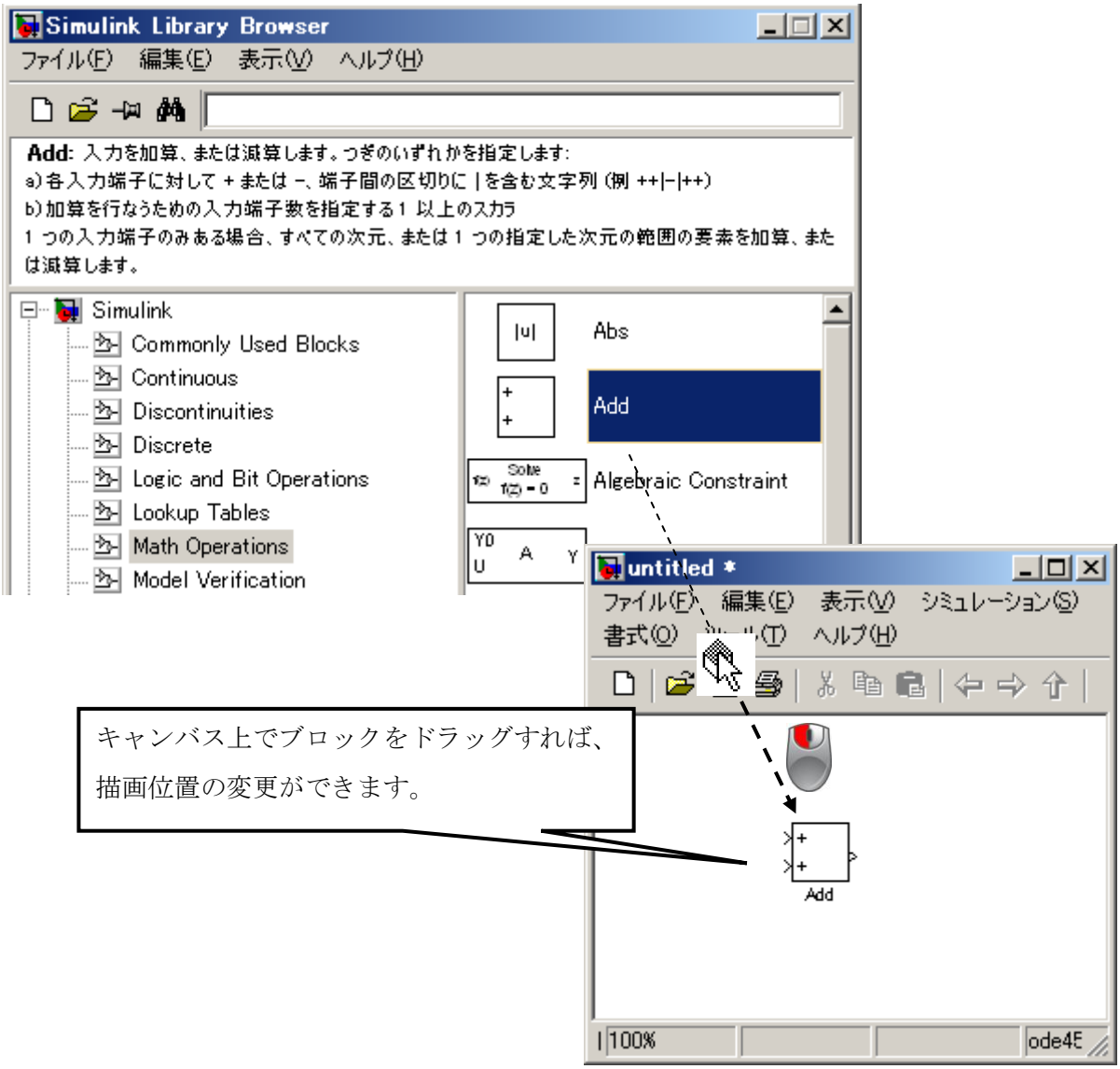


図 6-2-5：ブロックの配置

同様に、「Sources」の中の「Constant」と「Sinks」の中の「Display」をカンバス上に配置します。

※基本的にブロック線図は左から右へ信号（データ）が流れるように描くことが推奨されています。これに合わせてブロックを配置します。

• キャンバス上に既にあるブロックをコピーしよう。

キャンバス上の「Constant」ブロックを右ドラッグし、配置したい場所でドロップします。

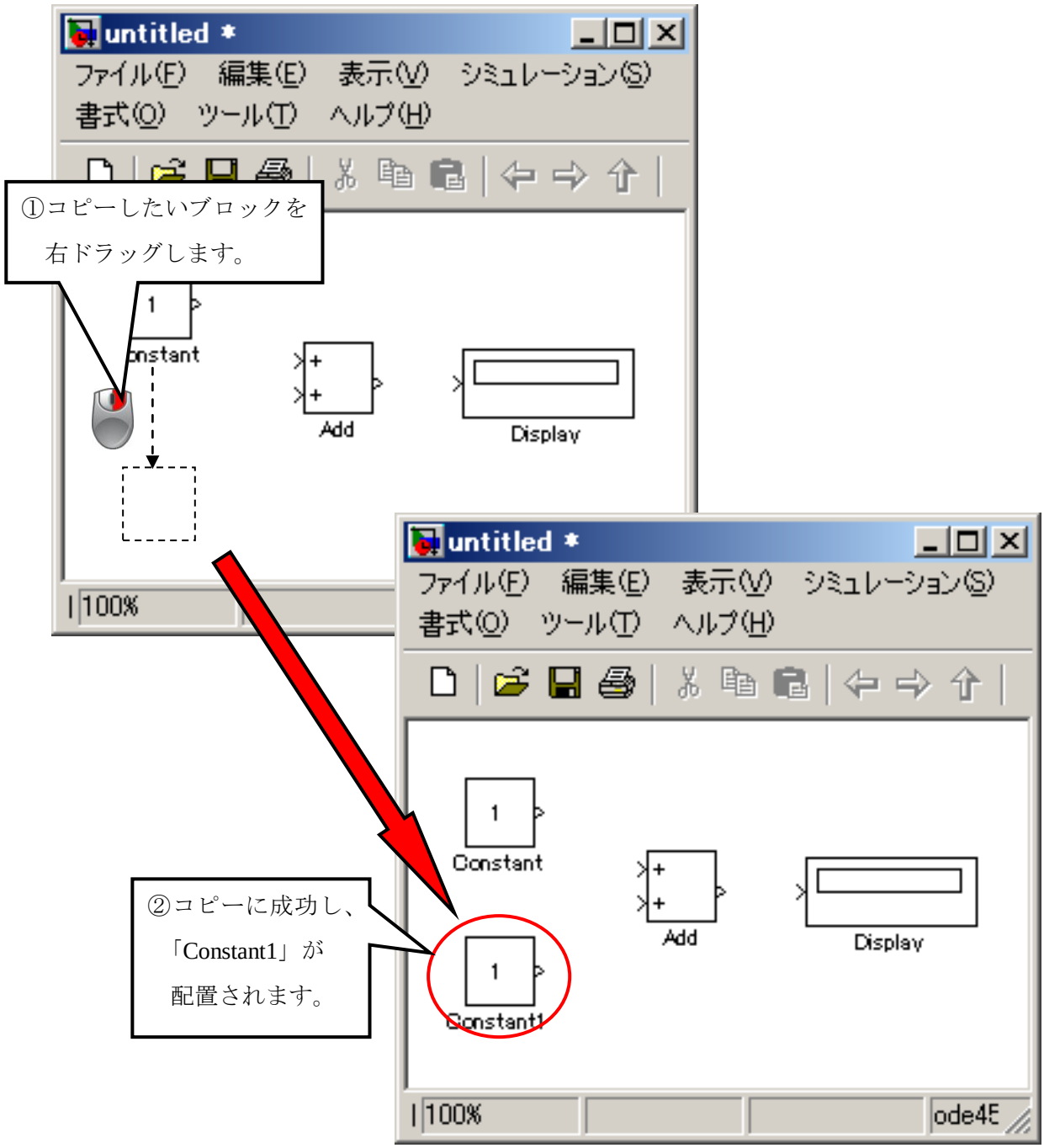


図 6-2-6：ブロックの選択

６．２．３．モデルを描いてみよう（ブロック間の結線）

※画面操作：CD-R¥6 章 2 節 MBD ツールに触れてみよう¥6_2_3 モデルを描いてみよう（ブロック間の結線）¥6_2_3.htm 参照

・ブロック同士を結線しよう。（ブロック間の結線）

「Constant」をクリックして、選択した状態にして「Ctrl」キーを押しながら、「Add」ブロックをクリックします。
これで「Constant」ブロックの出力端子と「Add」ブロックの入力端子が結線されます。

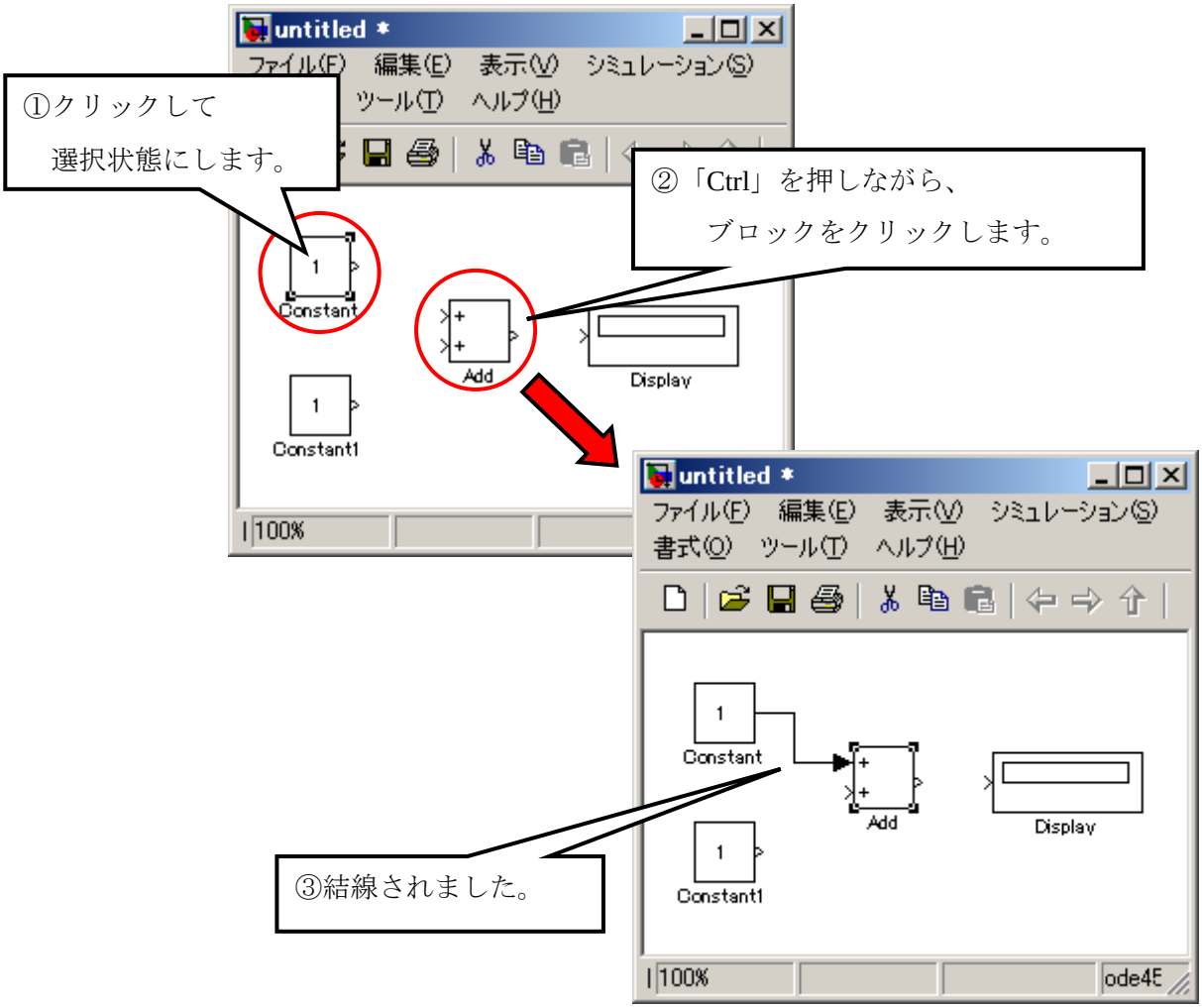


図 6-2-7：ブロック同士の結線

同様に、「Constant1」と「Add」、「Add」と「Display」も結線して下さい。
結線はドラッグすることにより、位置を変更できます。また、ブロックを移動させると、結線も追従します。

※結線同士が交差すると、見づらく誤認識する可能性が高くなるので、
可能な限り交差しないように結線することが推奨されています。

• 結線を削除するには？

削除したい結線をクリックで選択し、「Delete」キーを押すか、右クリックで表示されるポップアップメニューから「削除」を選択する。

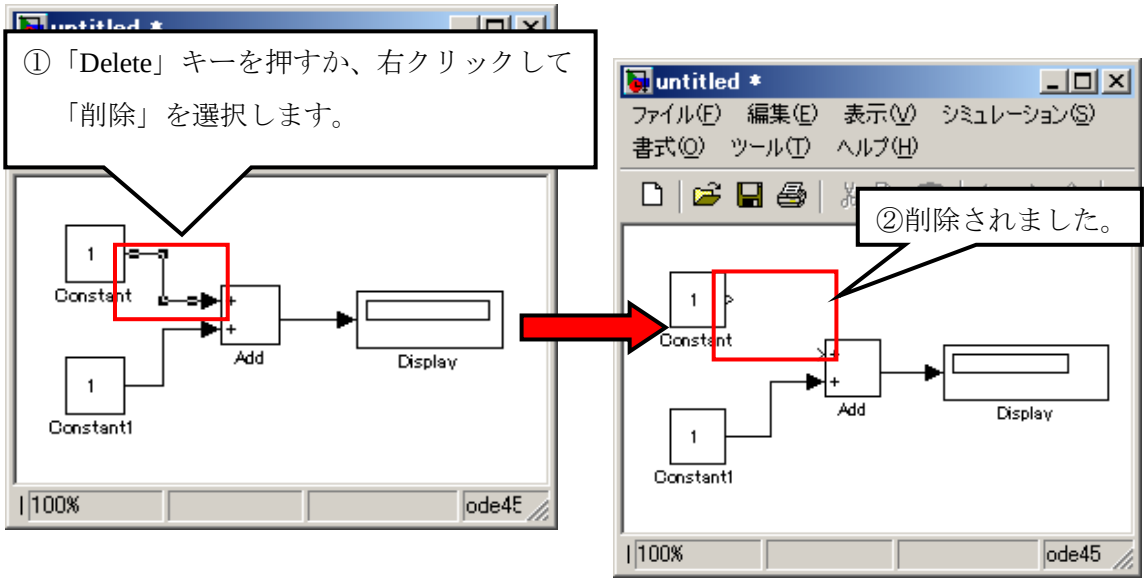


図 6-2-8：結線の削除

• 結線を分岐させるには？

一つの信号（データ）を複数のブロックへ供給する場合は、一つ目は 1 の方法で結線し、2 箇所目からは既存の結線から分岐し供給します。分岐したい結線の分岐個所で右ドラッグして、結線したいブロックにドロップすることで、分岐結線できます。

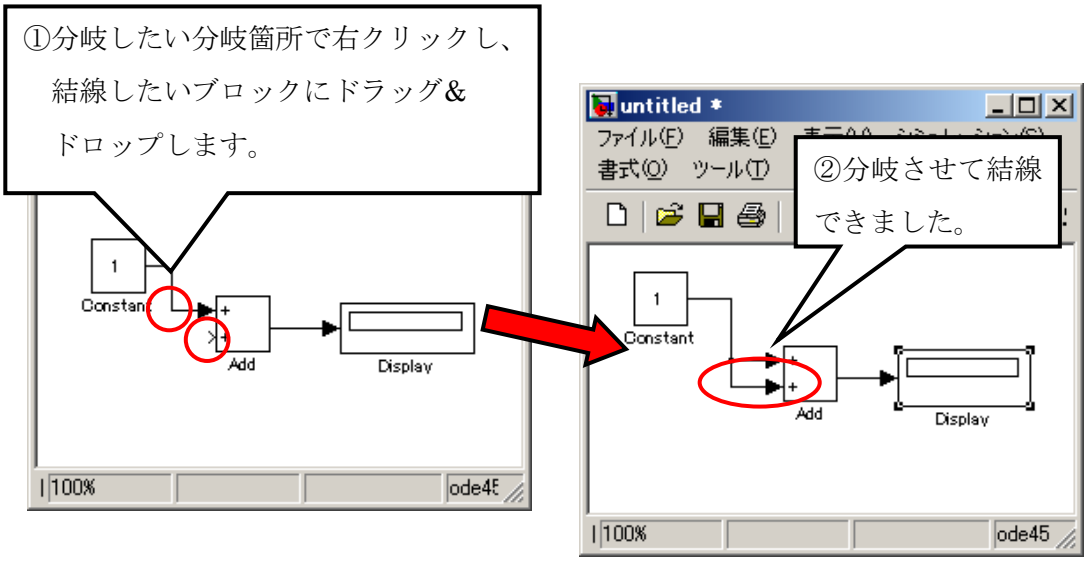


図 6-2-9：結線の削除

６章３節　シミュレーションしてみよう

６．３．１．モデルを動かしてみよう（シミュレーション）

※画面操作：CD-R¥6 章 3 節 シミュレーションしてみよう¥6_3_1 モデルを動かしてみよう（シミュレーション）¥6_3_1.htm 参照

・シミュレーションを実行します。

ツールバーの▶アイコンをクリックします。メニューの「シミュレーション」の「スタート」をクリックしても実行できます。

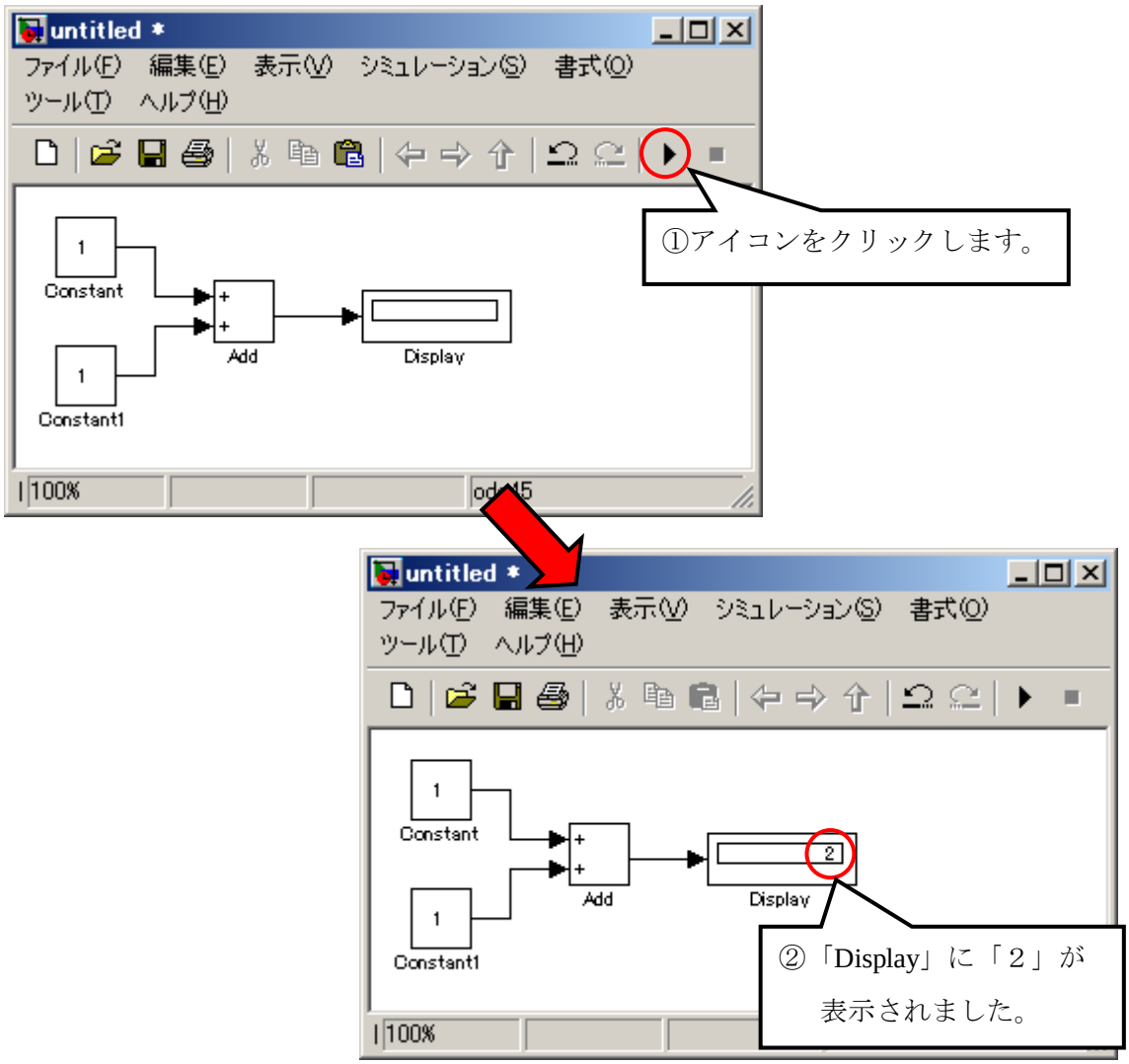


図 6-3-1：シミュレーション結果

ここで問題です。

> 今、皆さんが描いたモデルは何を表現したモデルでしょうか？
> 推測してみて下さい。

・パラメータを変更しよう。

「Constant」ブロックをダブルクリックします。すると、「Source Block Parameters：Constant」というウィンドウが開きます。メインタブに定数という項目があり、「1」が設定してあります。この「1」を「2」に変更し、「OK」をクリックします。

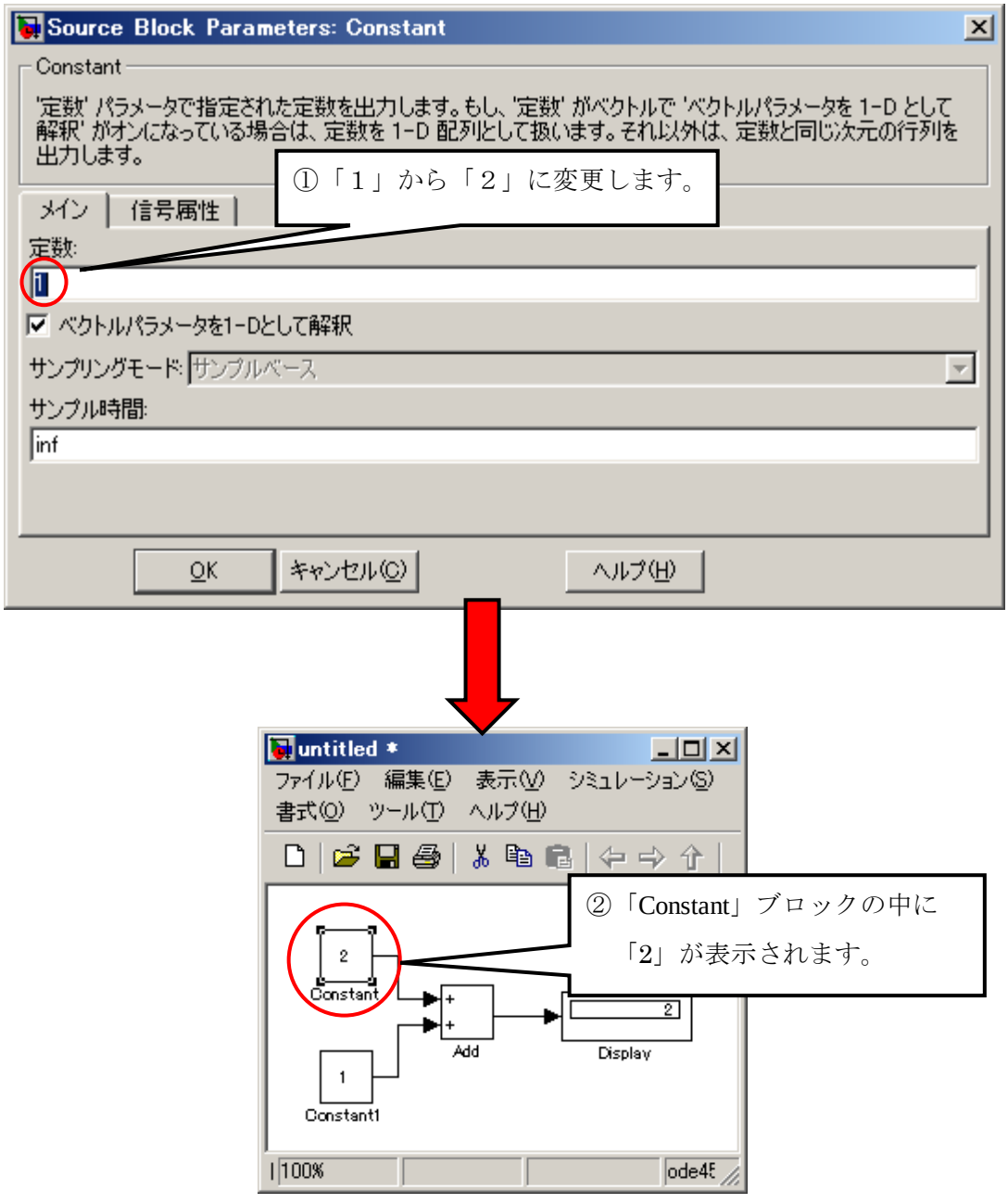


図 6-3-2：パラメータの変更

• 変更結果を確認しよう。

再度、メニューの「シミュレーション」の「スタート」をクリックして下さい。

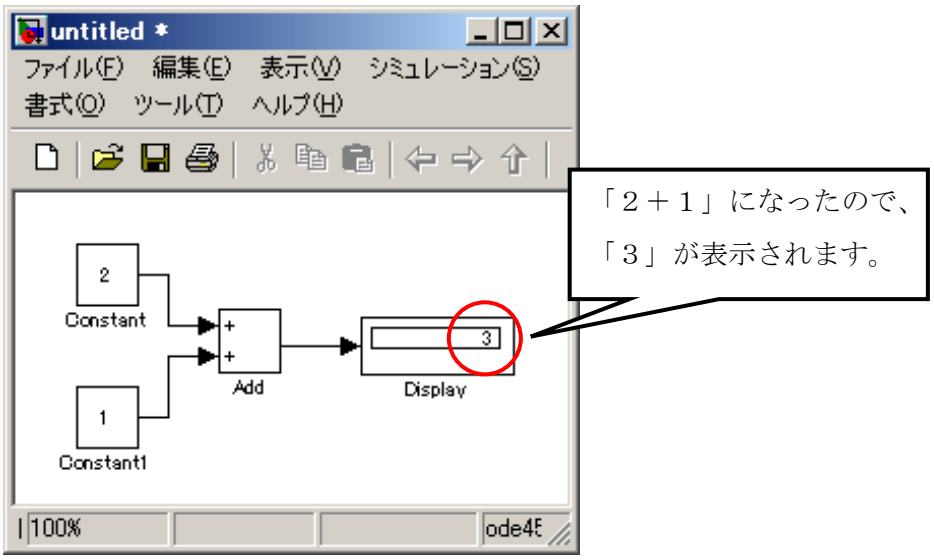


図 6-3-3：パラメータの変更後のシミュレーション結果

「Constant1」、「Add」、「Display」ブロックもダブルクリックして、パラメータを比較しましょう。

※ブロックの種類ごとに持っているパラメータは異なります。

６．３．２．ブロックを変更し、動作を確認しよう。

※画面操作：CD-R¥6章3節 シミュレーションしてみよう¥6_3_2 ブロックを変更し、動作を確認しよう¥6_3_2.htm参照

・ブロックを変更しよう。

「Add」ブロックを削除します。すると「Add」ブロックが消え、「Add」ブロックに接続していた結線が赤い破線に変わります。

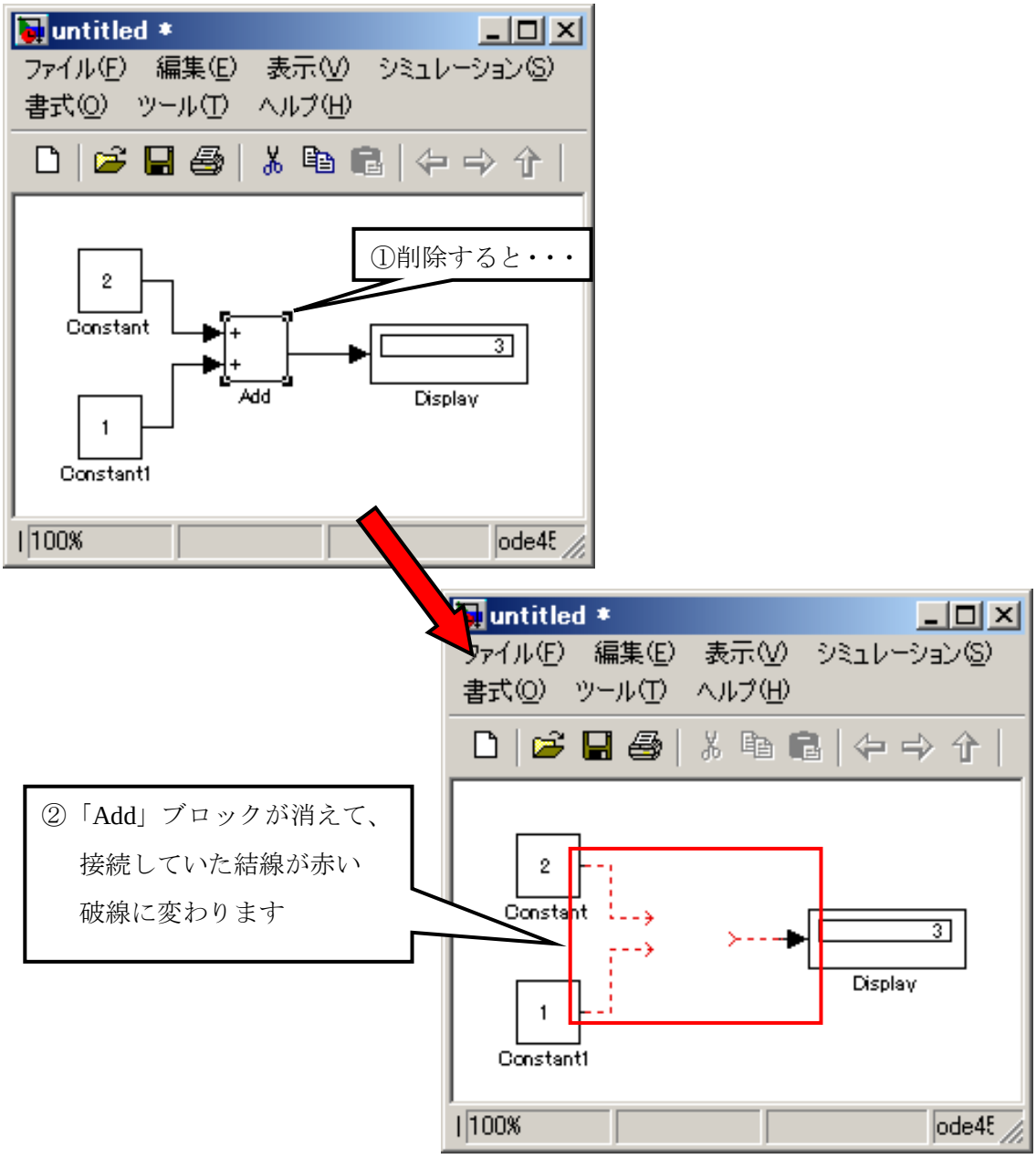


図 6-3-4 ①：ブロックの削除

先程削除した「Add」ブロックがあった箇所に「Simulink Library Browser」の「Math Operations」カテゴリにある「Subtract」ブロックを配置します。

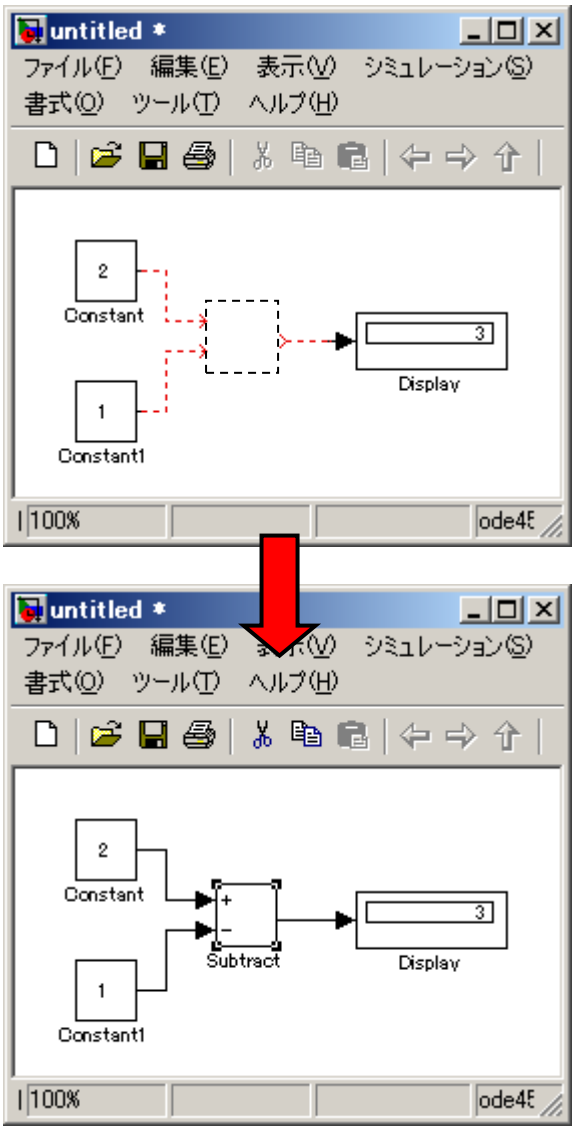


図 6-3-4 ②：ブロックの変更

配置した「Subtract」ブロックを赤い破線になっている結線の先端に接続されるようにドラッグ＆ドロップします。

この時、誤った端子に結線されてしまったり、正確に結線されないことがありますので、その際は結線を削除したり、新たに結線し直して下さい。

ブロックの変更ができたら、「Constant」ブロックの定数パラメータをそれぞれ変更しながら「Subtract」ブロックの動作を確認しましょう。

「Subtract」ブロックを「Math Operations」の「Product」や「Divide」ブロックに置き換えて動作の確認もしてみましょう。

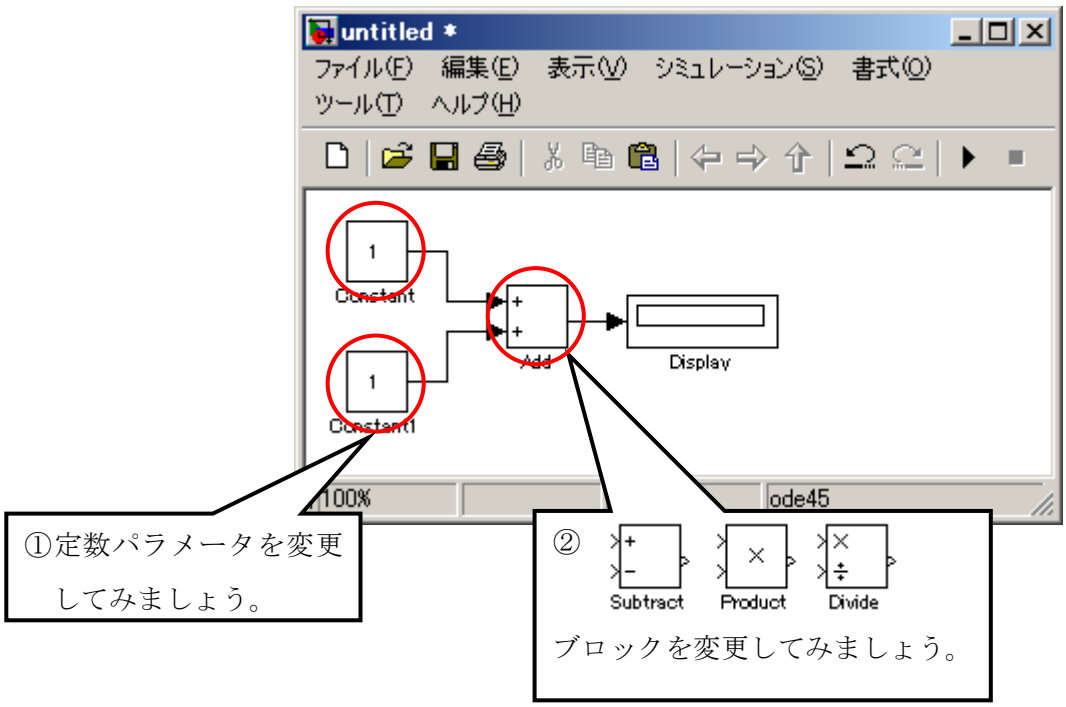


図 6-3-4 ③：変更後の動作確認

先生用のコメント:

ここまででパラメータの変更、ブロックの変更、シミュレーションの実行まで手順を学びました。

学んできた手順を振り返りながら、シミュレーション実行し動作を確認してみましょう。

６．３．３．（４＋３）/（２＋１）の余りを求めるモデリングをしよう。（課題１）

※画面操作：CD-R¥6 章 3 節 シミュレーションしてみよう¥6_3_3 余りを求めるモデリングをしよう（課題 1）¥6_3_3.htm 参照

今までの説明を参考にして（４＋３）/（２＋１）の余りを求める計算式を実際にモデリングしてみましょう。

ヒント：以下のブロックを利用して、モデリングして下さい。

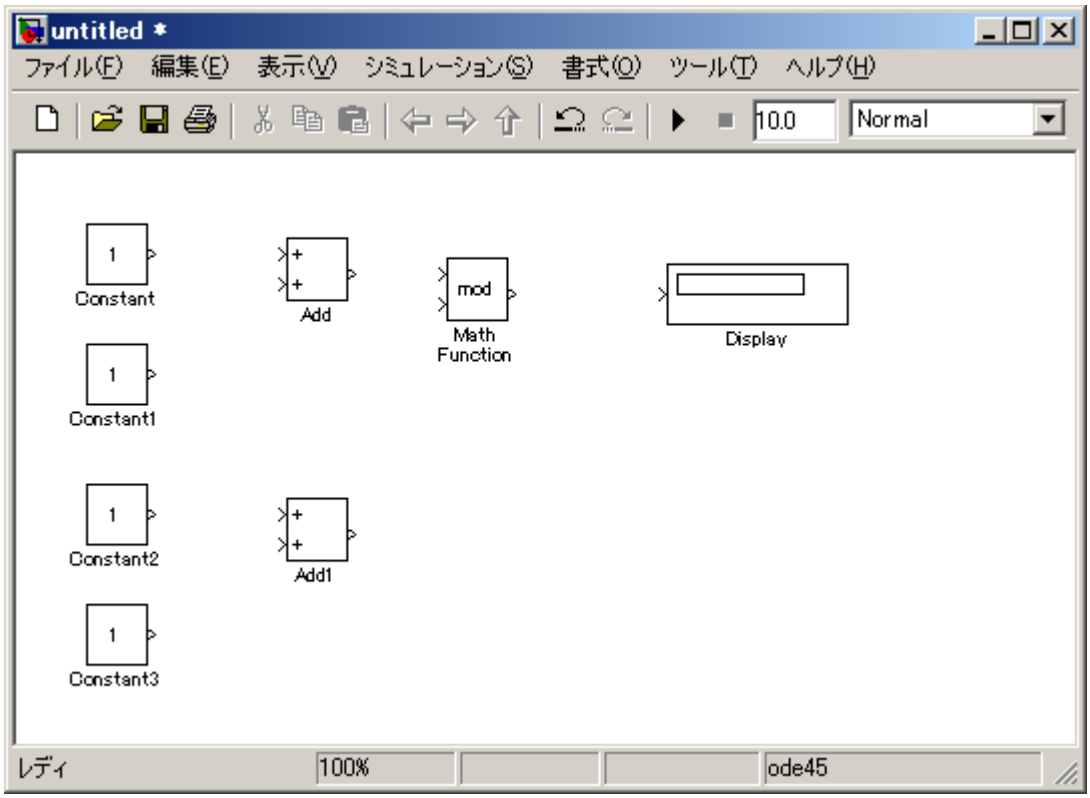


図 6-3-5：使用するブロック

「mod」ブロックは専用のブロックがあるわけではなく、複数の数学関数を持った「Math Function」ブロックで定義できます。

RelationalOperator や LogicalOperator 等のブロックも複数の機能を持っており、必要な関数を選択して定義できるブロックです。

６章４節　出力が変化するブロックを使ってみよう。

６．４．１．出力が変化するブロックを使ってみよう。

※画面操作：CD-R¥6 章 4 節 出力が変化するブロックを使ってみよう¥6_4_1 出力が変化するブロックを使ってみよう¥6_4_1.htm 参照

・出力を変化させてみよう。

「Simulink Library Browser」の 「Sources」の「Pulse Generator」と「Sinks」の「Scope」を配置し、２つのブロックを結線します。

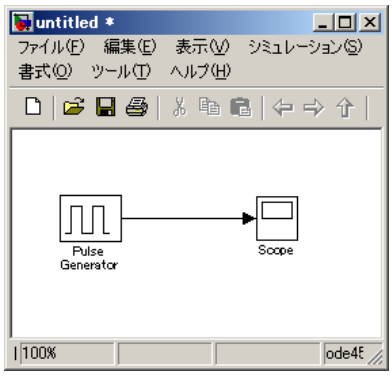


図 6-4-1 ①：ブロックの結線

シミュレーションを実行し、「Scope」をダブルクリックで開いて結果を見てみましょう。

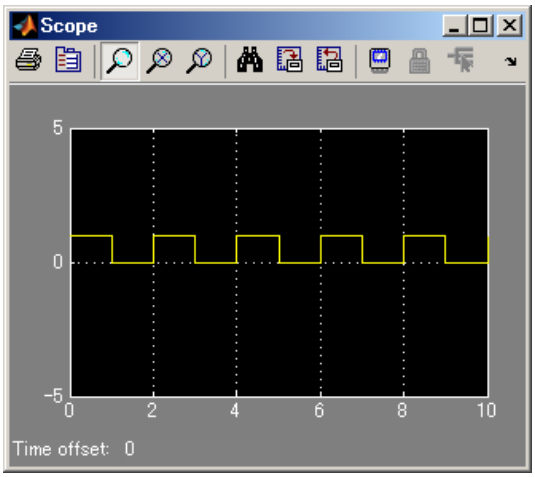


図 6-4-1 ②：出力結果

※「Constant」ブロックは、時間経過に関係なく同一値を出力するブロックでしたが、「Pulse」ブロックは、時間経過に伴って出力が変化します。

「Pulse Generator」ブロックのパラメータを変更して動作を確認しましょう。

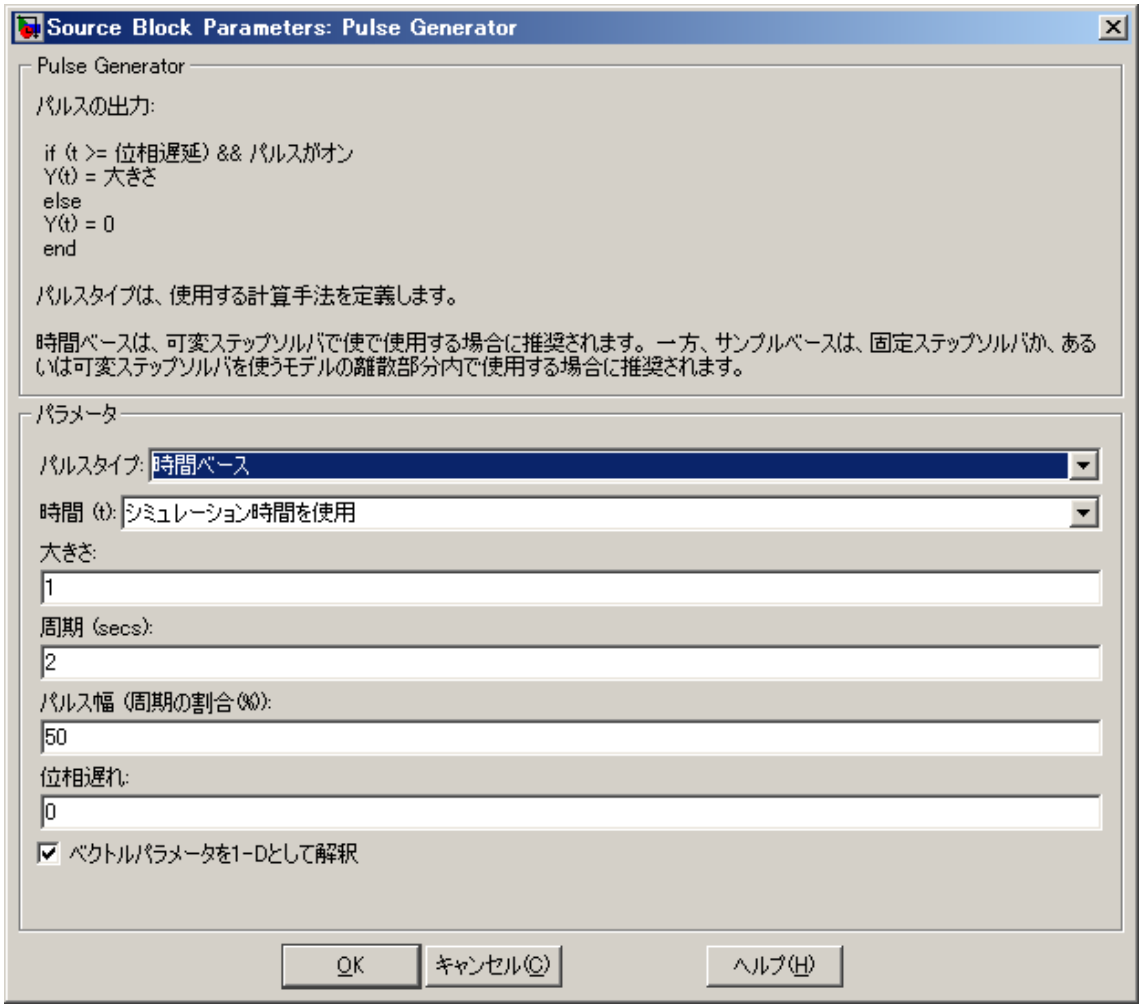


図 6-4-1　③：「Pulse」ブロックのパラメータ

「大きさ」、「周期」、「パルス幅」、「位相遅れ」等が表示されるので、パラメータを変更させて、出力がどう変化するか確認してみましょう。

６．４．２．出力が変化するブロックを合成してみよう。

※画面操作：CD-R¥6 章 4 節 出力が変化するブロックを使ってみよう¥6_4_2 出力が変化するブロックを合成してみよう¥6_4_2.htm 参照

・複数のブロックの出力を合成してみよう。

「Pulse Generator」ブロックをコピーし、「Math Operations」の「Add」ブロックを配置し、それぞれの「Pulse Generator」の出力を「Add」の入力へつなぎます。

「Scope」ブロックを配置してパラメータを開き、「座標軸数」を「３」に変更します。

図 6-4-2　①：座標軸数の増加

「Scope」の入力端子が３つになったので、「Pulse Generator」、
「Pulse Generator1」、「Add」の出力をそれぞれ結線しましょう。

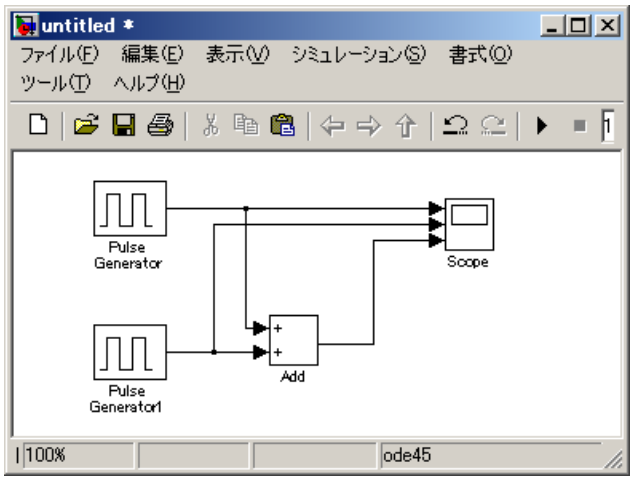


図 6-4-2　②：結線した図

・合成結果を確認してみよう。

それでは「シミュレーション」を実行し、「Scope」ブロックをダブルクリックして結果を確認してみましょう。

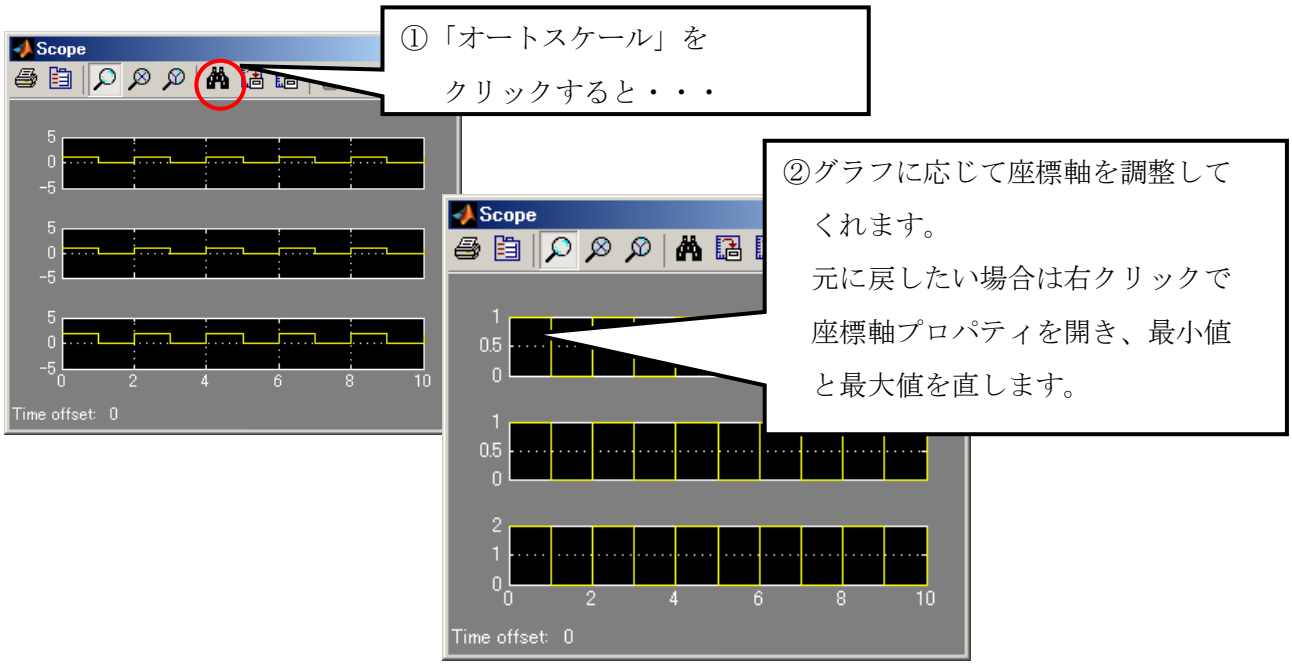


図 6-4-3：オートスケール

上の波形は、「Pulse Generator」、真中は、「Pulse Generator1」、下は、「Add」の波形です。「Add」の波形は、振幅が「2」になっており加算されたことが確認できます。

先生用のコメント：

Pulse Generator ブロックパラメータはデフォルト値を使用しています。

※大きさ：1、周期 2、パルス幅：50、位相遅れ：0

• 変更後の出力を確認しよう。

「Pulse Generator1」のパラメータを変更して合成出力の変化を確認してみましょう。
「Pulse Generator1」のパラメータを以下のように順次、変更し、合成出力を確認しましょう。

1．「大きさ」を「1」から「2」へ変更し、確認。
2．「周期」を「2」から「4」へ変更し、確認。
3．「位相遅れ」を「0」から「1」へ変更し、確認。
4．「パルス幅（%）」を「50」から「25」へ変更し、確認。

先生用のコメント：

合成出力では、Pulse Generator ブロックの出力と Pulse Generator1 ブロックの出力を加算したものが正しく出力されているかを確認します。

上記すべてを変更した場合、4 秒の時点では Pulse Generator ブロックの出力は 1、Pulse Generator1 ブロックの出力は 0 となっているので、合成出力は、1+0=1 となっていることが確認できれば正しく出力されていると言えます。

６章５節　いろいろなブロックを使ってみよう

・カウンターモデルを作成してみよう。

「Descrete」カテゴリ内の「Unit Delay」ブロックは入力されたデータを１サンプル分遅らせて保持し、次のサンプリングで出力します。ブロックに対する入力がベクトルの場合、ベクトルのすべての要素は同じサンプル遅れ分だけ遅らせます。

以下のモデルは「Unit Delay」ブロックを利用したカウンターです。１サンプル遅れを利用してカウントを１ずつ増やしています。

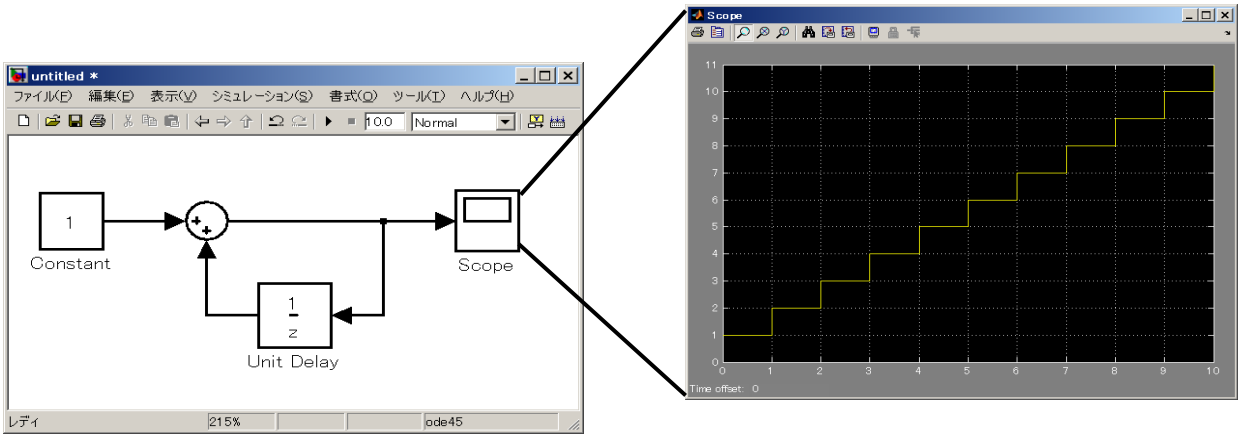


図 6-5-1 ①：カウンターモデル

また、ここでは右から信号が入力され、左へ出力されています。基本的には信号は左から右ですが、フィードバックのような出力を入力に戻す時等に端子を反転させて、右から入力させ、左から出力ができます。

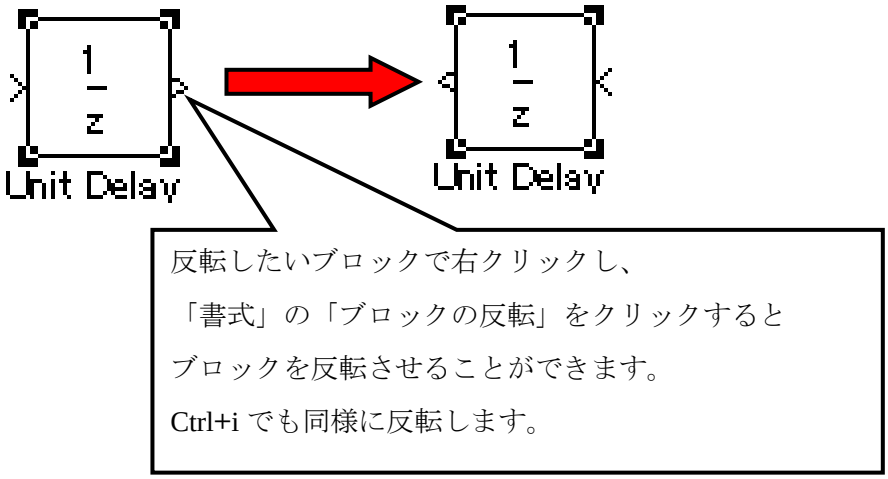


図 6-5-1 ②：ブロックの反転方法

・正弦波を出力してみよう。

「Sources」カテゴリ内の「Sine Wave」ブロックを使用することで正弦波を出力することができます。

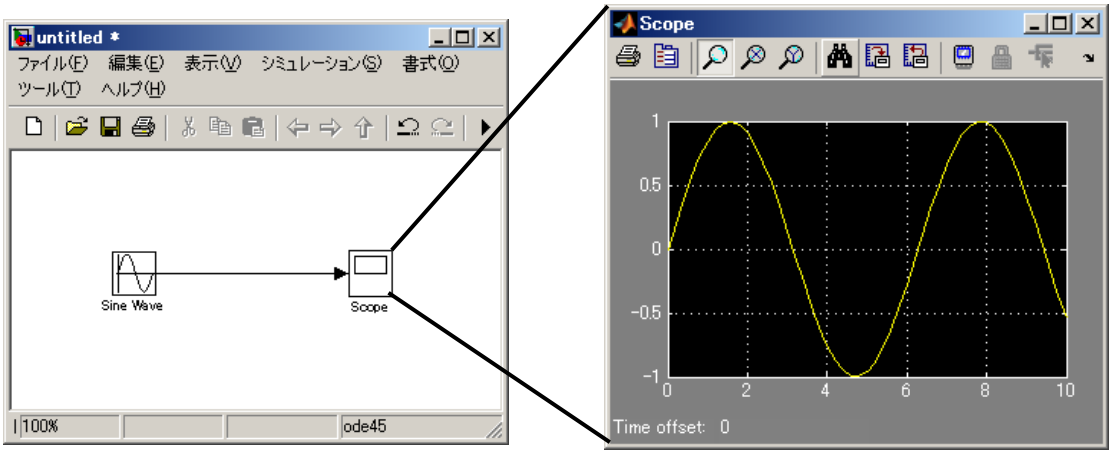


図 6-5-2 ①：正弦波出力モデル

「Sine Wave」ブロックのパラメータで正弦波の振幅や周波数等の設定を行うことができます。

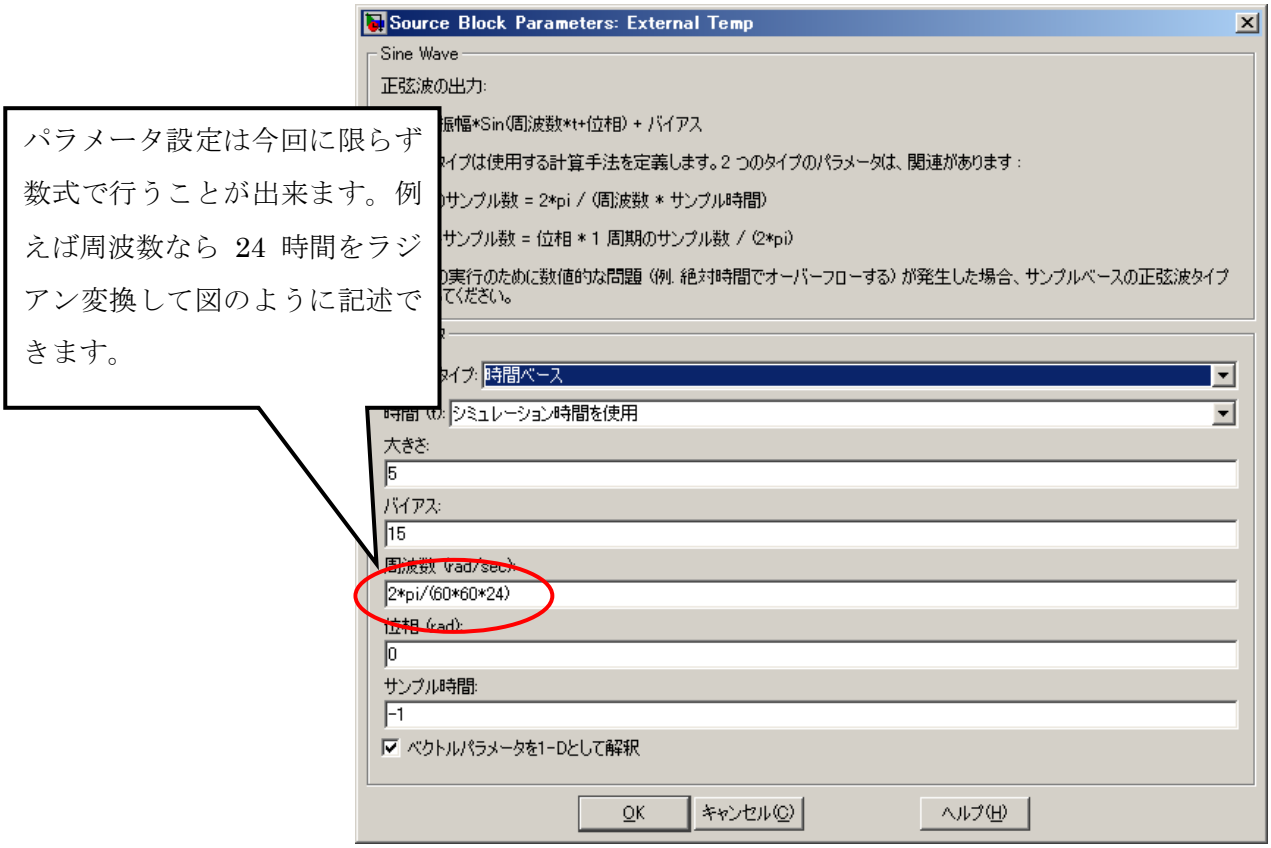
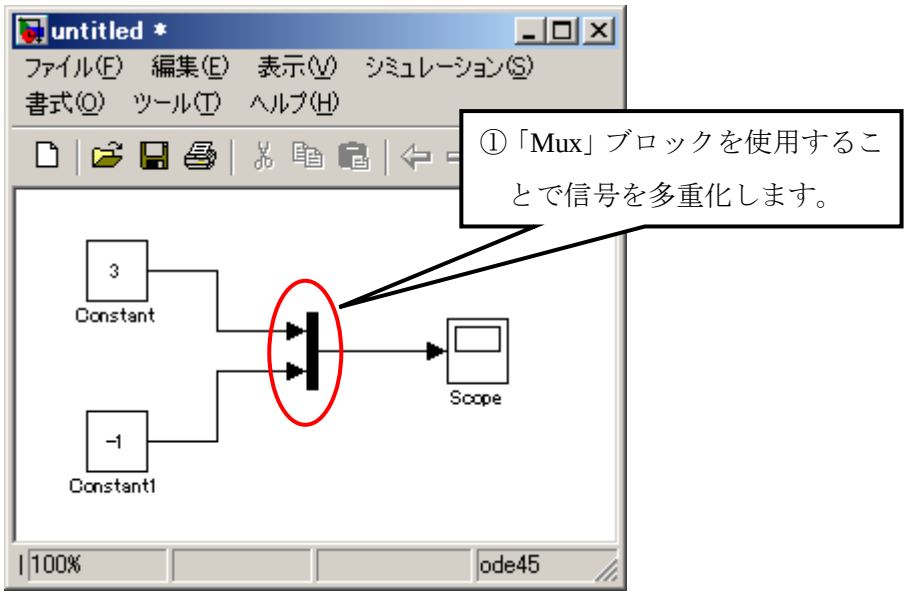


図 6-5-2 ②：パラメータの設定

・信号を多重化してみよう。

複数の信号線を１つに多重化する場合に、「Mux」ブロックを使用することで信号を多重化することができます。「Mux」ブロックは「Signal Routing」カテゴリ内にあります。



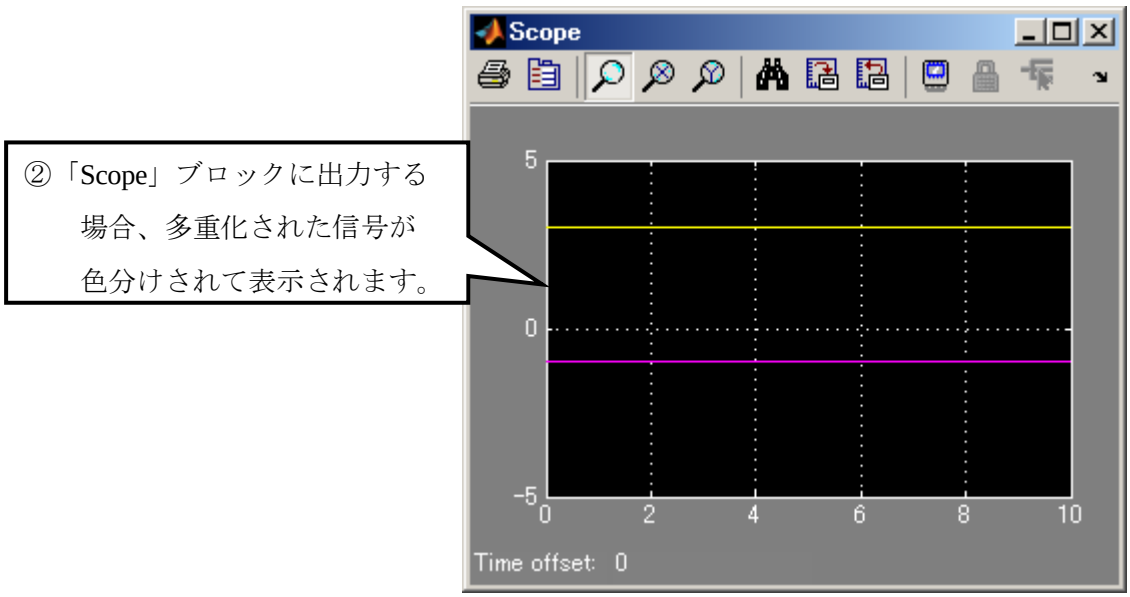


図 6-5-3：信号の多重化モデル

・信号名を入力しよう。

ブロック間の結線を行った際に、信号線に信号名を入力することが推奨されています。信号名を加えることでより可視性が向上されます。

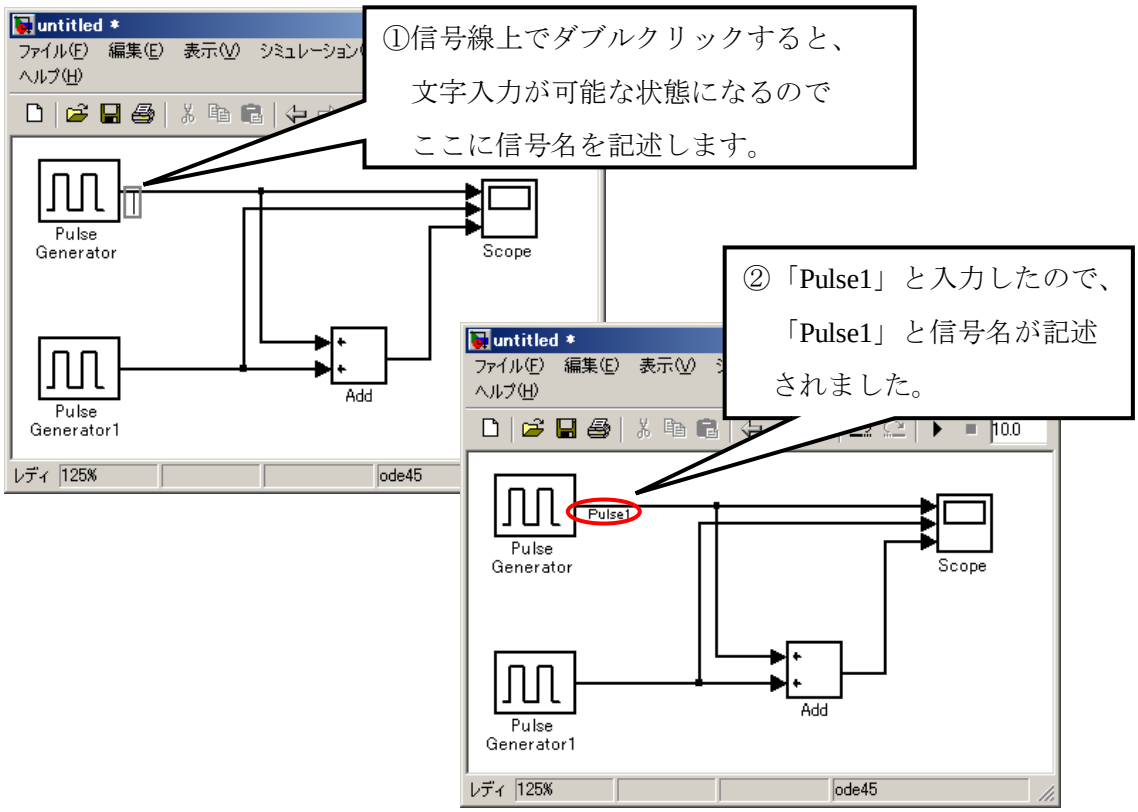


図 6-5-4 ①：信号名の入力

また、信号名を入力すると「Scope」で出力する際に、信号名の文字列が継承されて表示されます。

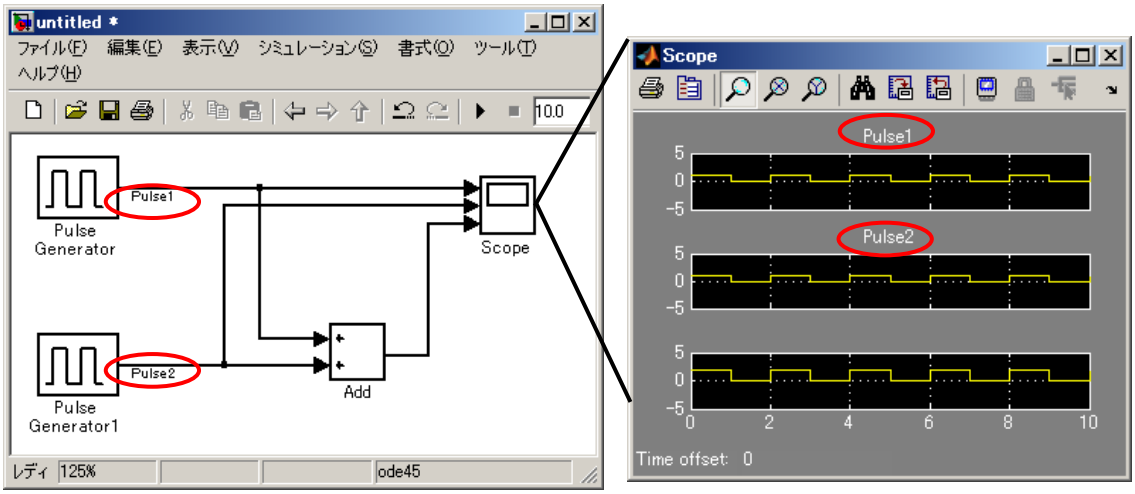


図 6-5-4 ②：Scope での信号名の確認

• グラフ名を記述しよう。

信号名が記述されている場合はそちらが継承されてグラフ名として表示されますが、記述されていない場合にグラフ名を直接記述することができます。

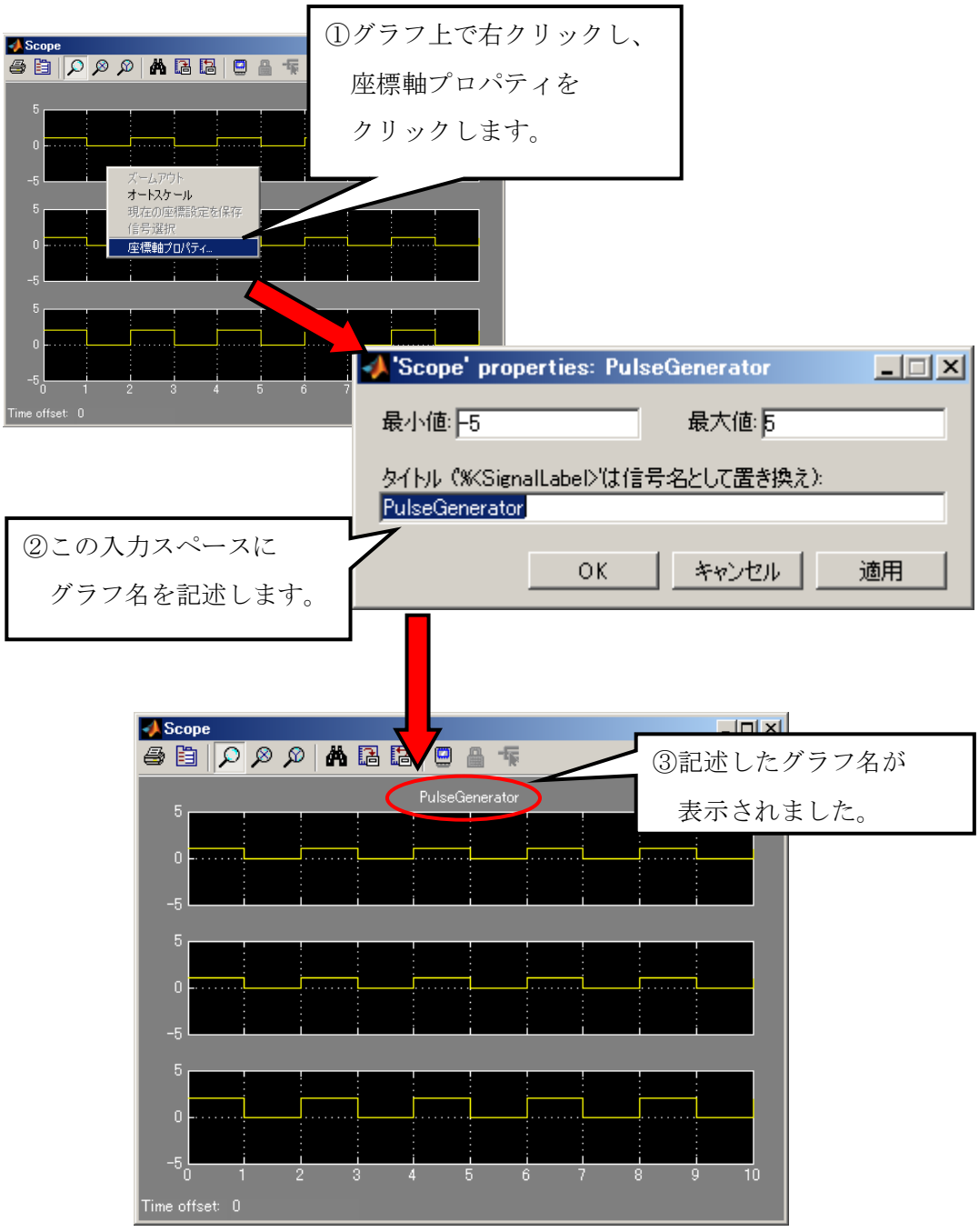


図 6-5-5 ：グラフ名の記述

・「Scope」ブロックのパラメータを変更するには？

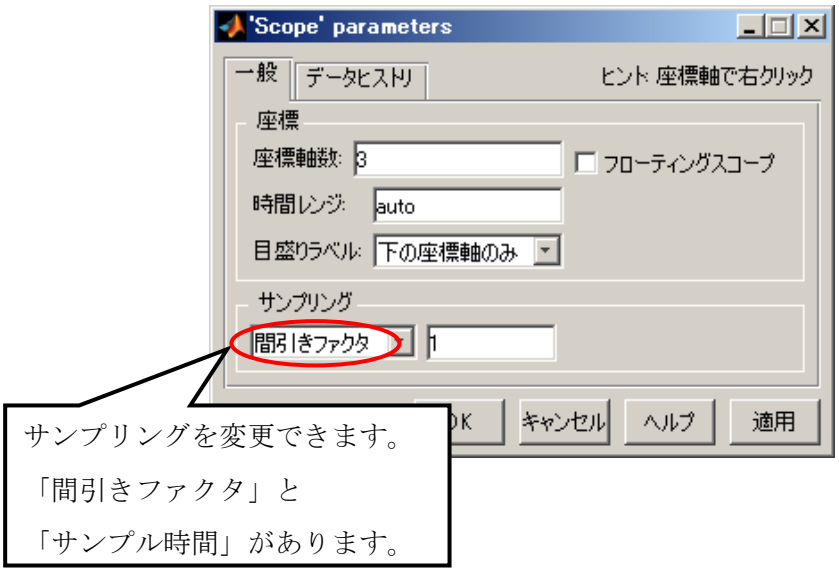


図 6-5-6 ①：間引きファクタの変更

「間引きファクタ」のテキストフィールドに数値を入力することで出力データの間引き率（倍数指定）を行います。デフォルトは１になっていて間引きを行いません。

「サンプル時間」を選択し、数値を入力することでサンプリングを行う時間の間隔を設定します。デフォルトでは０になっています。

「Scope」ブロックにはデータ点の制限があり、指定されたデータ点数分の最新データ分だけが表示されます。つまり、制限を超えるシミュレーションを行った場合は、全て表示されずにシミュレーションの終わりの方のデータしか表示されません。

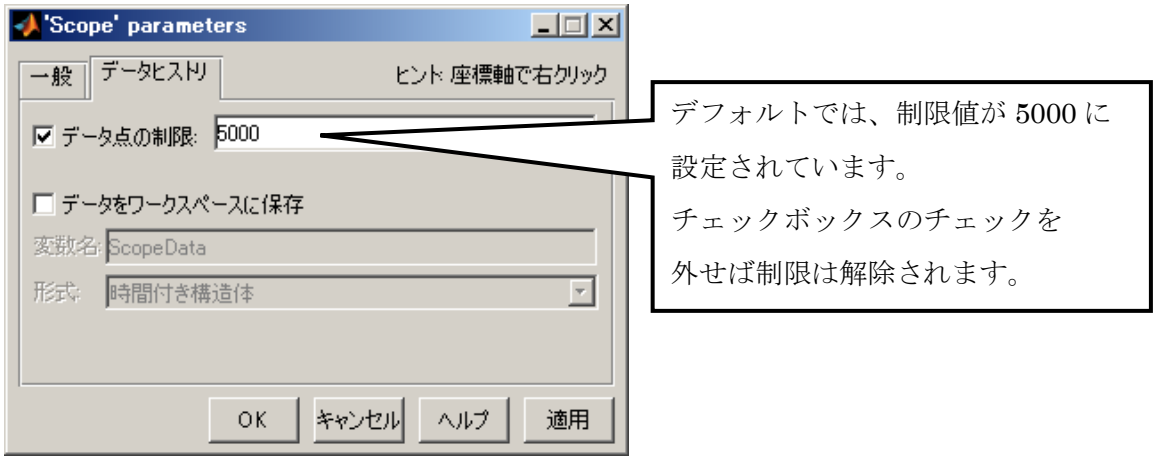


図 6-5-6 ②：データ点の制限の変更

・任意の波形を作成してみよう。

「Signal Builder」ブロックは、波形を作成できるブロックです。

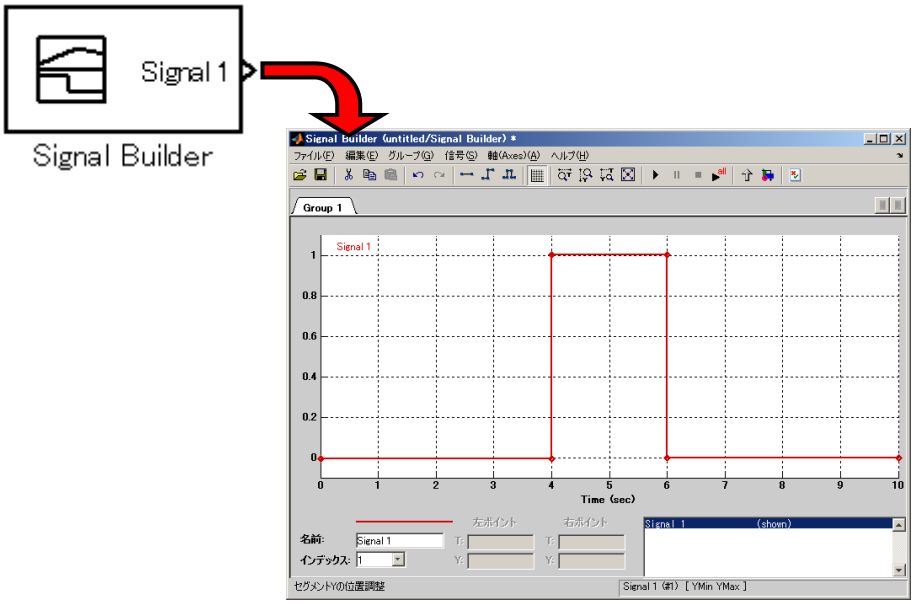


図 6-5-7 ①：Signal Builder の画面

「Signal Builder」ブロックを配置してダブルクリックすると、上図のような画面が開きます。ここで波形を作成することができます。

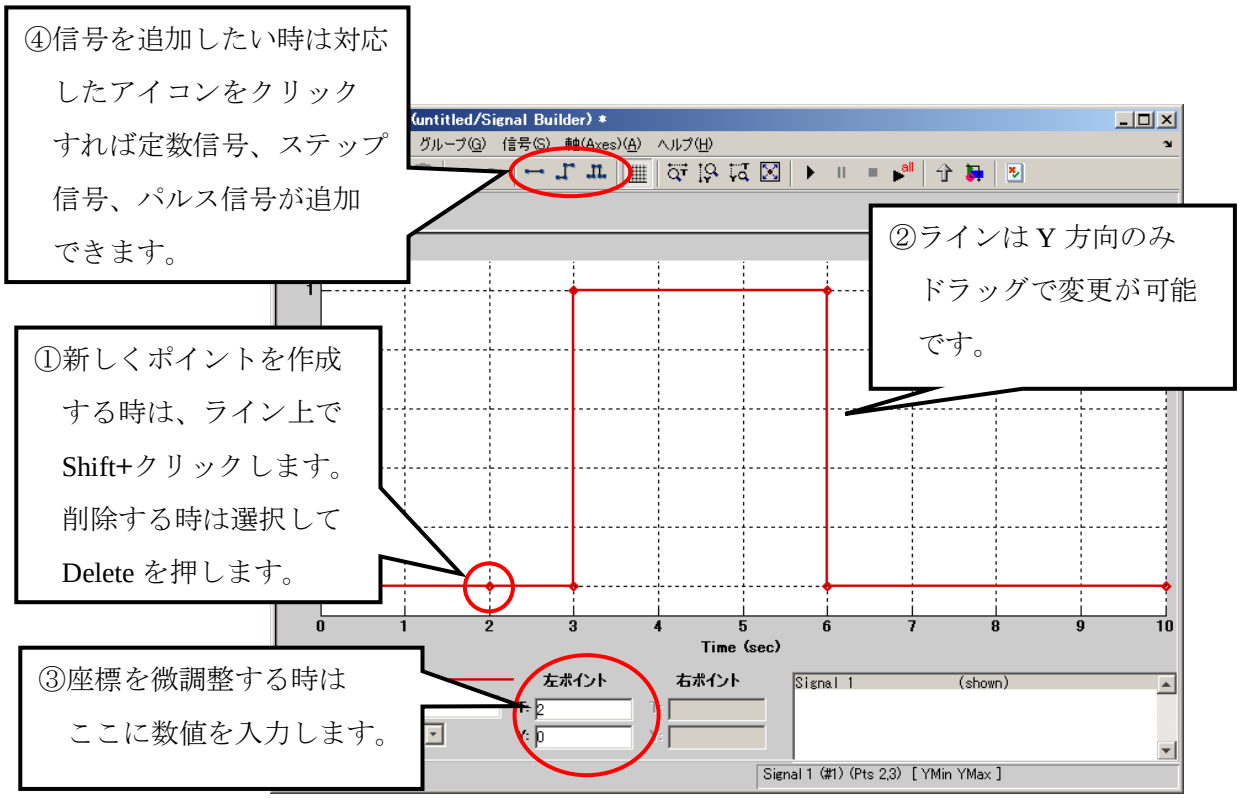


図 6-5-7 ②：任意の波形の作成

・コンフィギュレーションパラメータを設定しよう。

コンフィギュレーションパラメータでは、シミュレーション時間やソルバ設定を行います。コンフィギュレーションパラメータを設定するには、モデルウィンドウの「シミュレーション」メニューから「コンフィギュレーションパラメータ」を選択します。

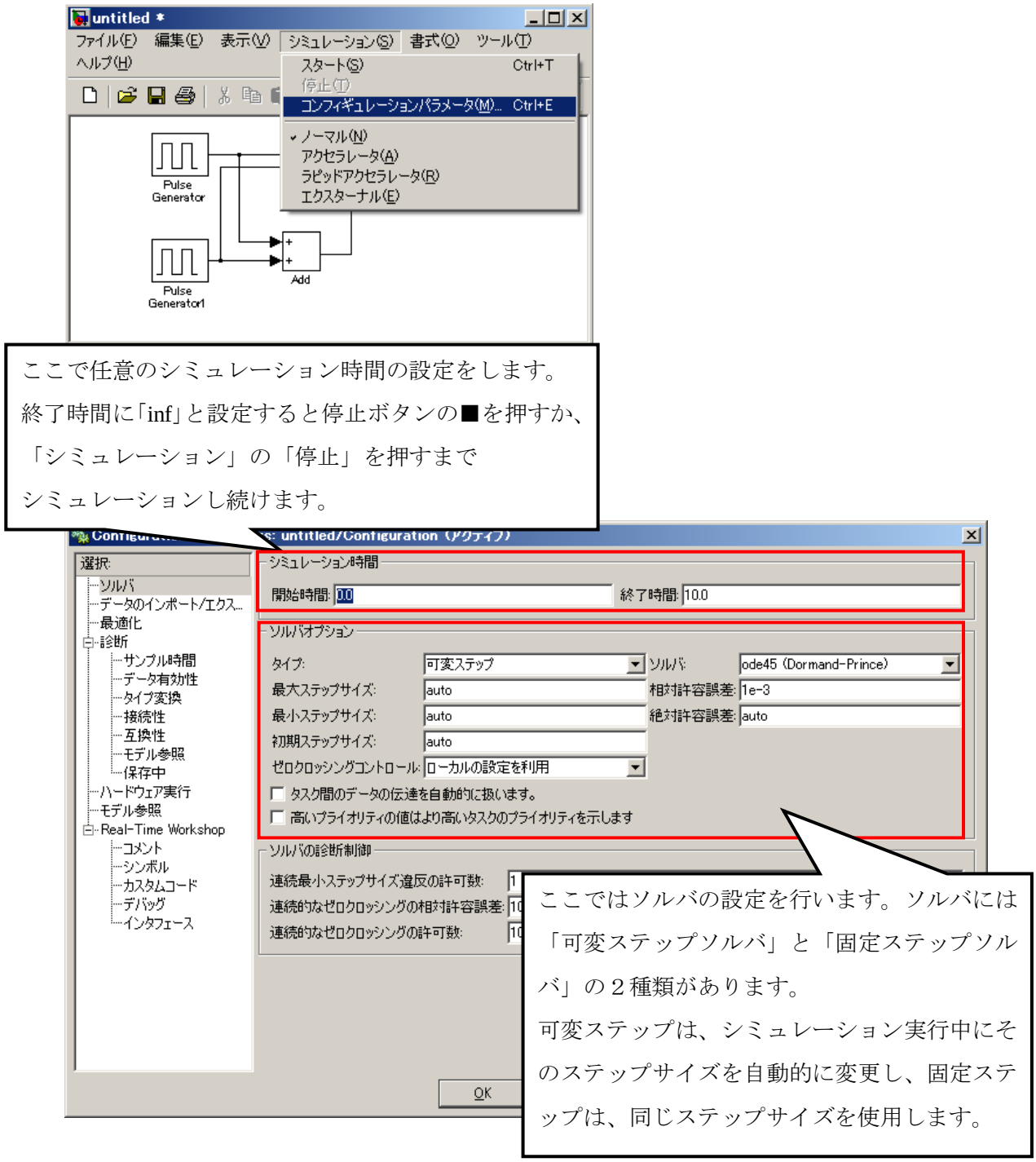


図 6-5-8：コンフィグレーションパラメータの設定

７章　実際の開発とモデリングとの関係

７章１節　機能と制御システムモデルの関係

機能を作ります　⇒　機能は、電子制御によって実現されます
⇒　機能を統合することにより、新しい機能を創造します（機能統合）

複雑化、高速化する自動車制御システム開発は、モデリングによる仮想化された開発環境によって、品質向上、開発効率向上が可能となります。

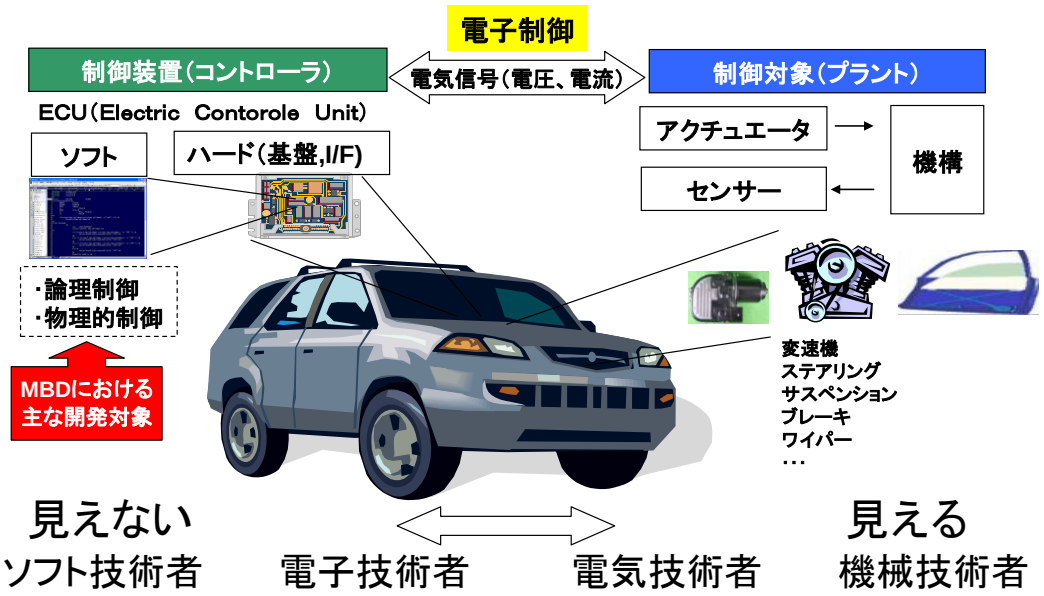
MBD では、機能設計、検証、情報共有をモデルにより統一的に扱えます。

構成要素の階層	機能の特性
車両	人間寄り、統合的、論理的、抽象的、マクロ
システム	⇕
ユニット	
パーツ	機械寄り、独立的、現実的、具体的、ミクロ

階層ごとに求められる機能（仕様表現）が異なります。　⇒　階層間の情報共有。

MBD は、異なる機能の特性を持つ構成要素を一連のモデルとして統合的に扱えます。

７章２節　実際の制御システムの構成（自動車）



MBD では、上図のように、制御をするものを「制御装置（コントローラ）」、制御されるものを「制御対象（プラント）」と定義しています。

先生用のコメント：

制御対象とは、指示に従って動作し、その結果を返すもので、

制御装置とは、制御対象に指示を出し、その結果を見ながら指示を変更することによって機能を

実現するものです。

人間に例えれば、制御装置が頭脳であり、制御対象が手足ということができます。

７章３節　制御システム（制御装置）における二種類の制御

制御システムまたは制御系（英：Control system）とは、他の機器やシステムを管理し制御する為の機器、あるいは機器群である。制御システムは大まかに、論理制御（逐次制御）とフィードバック制御（線形制御）に分類される。

（Wikipedia 2008.12.1）

１．論理制御（逐次制御）

「システムのふるまい」はロジックフローとして表現され、予め決められたシーケンス（ロジック）に従って逐次、実行される。

MBD では、ロジックフローはシステムを有限状態機械（有限オートマトン）として捉え、有限個の状態と遷移と動作の組み合わせとして表現する状態遷移図、状態遷移表で主にモデリングする。

※システムとは、相互に影響を及ぼしあう要素から構成される、まとまりや仕組みの全体

２．フィードバック制御（線形制御）　⇒　動的制御

フィードバック制御は要求された目標値、制御対象からのフィードバック値、その差分データ等の変化によって駆動されるデータフロー制御です。

MBD ではこれら２種類の制御を主なモデリング対象とする。

■制御装置（制御システム）

他の機器（制御対象）の制御やシステム全体を管理する為の機器である。制御システムは大まかに、論理制御（逐次制御）とフィードバック制御（線型制御）に分類される。
（Wikipedia 2008.10.28）

動的制御（ﾌｨｰﾄﾞﾊﾞｯｸ制御等）

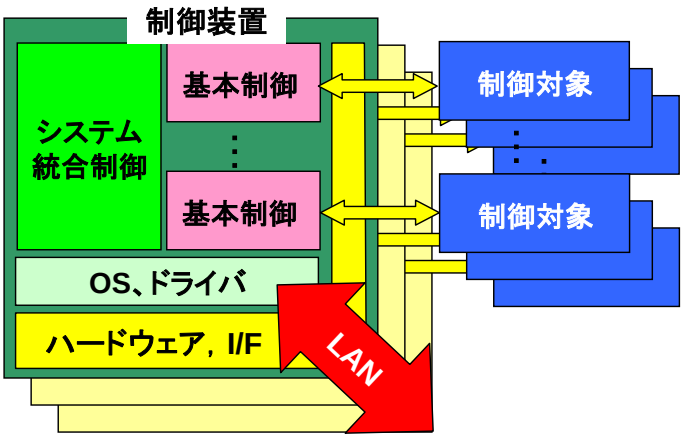
制御理論や実験、検証によって最適化された制御アルゴリズムによって、直接、制御対象を制御する部分である。

データフローで実現する。

論理制御

システムのふるまいを、状態遷移として制御する論理制御部である。
動作として動的制御部へ制御指令が発せられる。

ロジックフローで実現する。



先生用のコメント：

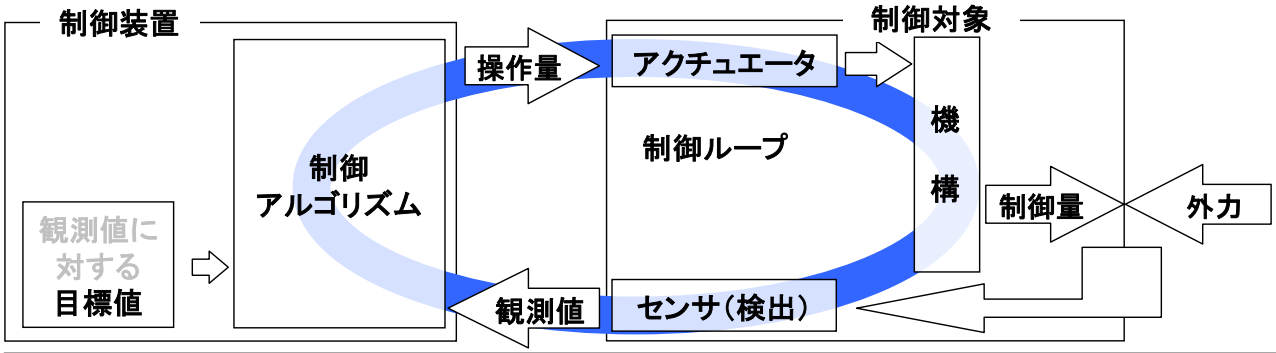
システム統合制御は（主に）、論理制御でシステムの状態を監視しながら

システムの動作（振る舞い）を決めるものです。

基本制御は、システム統合制御からの指示に従って直接制御対象を制御するフィードバック制御部です。

７章５節　フィードバック制御

（線型）フィードバックシステムには、制御アルゴリズムとアクチュエータとセンサから成る「制御ループ」があり、何らかの変数が標準値（目標値）になるよう制御する。（Wikipedia)



フィードバック制御：観測値が目標値と一致するように操作量を操作する制御である。

先生用のコメント：フィードバック制御は、動的制御の代表例と言えます。

制御アルゴリズムによる操作量の操作の方法によって

システムの振る舞いが『早く』とか『滑らかに』とかに決まります。

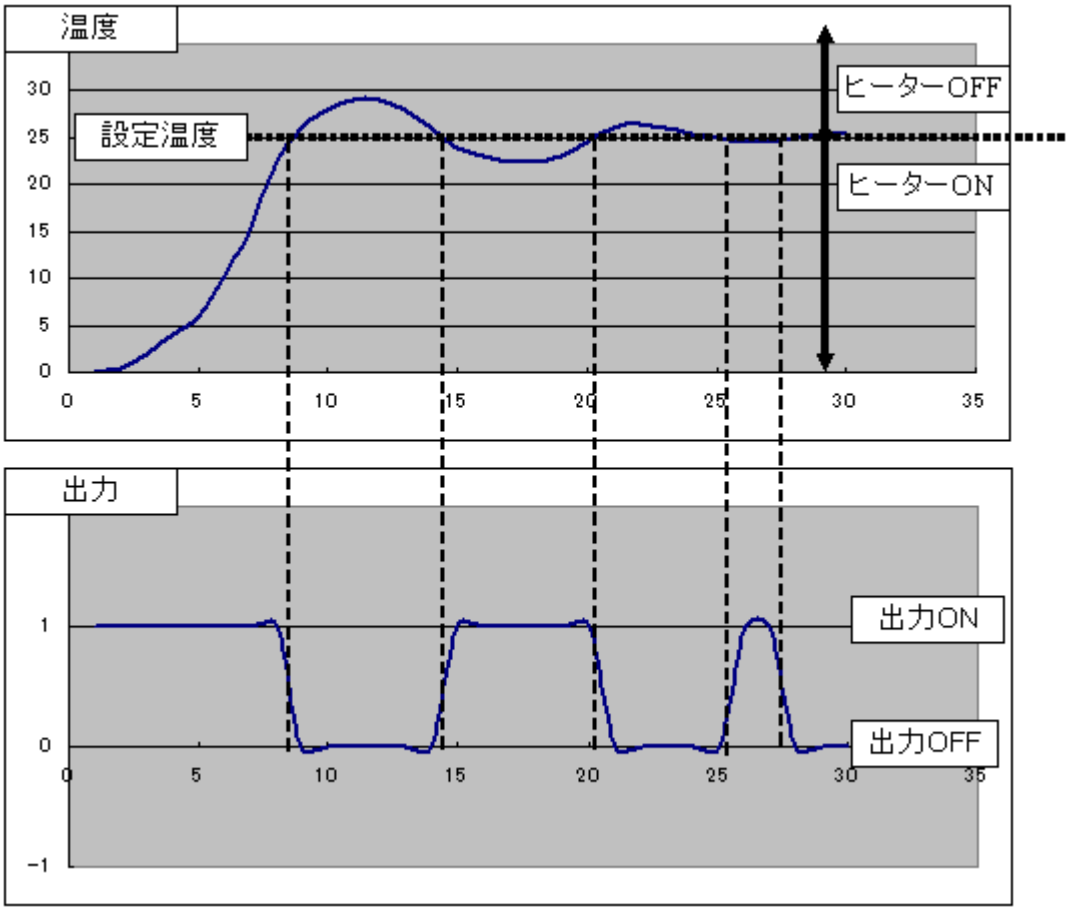
８章　ON／OFF 制御モデルのモデリング

８章１節　ON／OFF 制御

ON/OFF 制御は、目標値と観測値（制御値）を比較し、その結果から操作値を出力する（ON）か、出力しないか（OFF）切り替える制御方式です。

例）ON/OFF 制御で温度を 25℃（設定温度）に制御する場合、

温度が 25℃より低い場合には、ヒーター出力を ON し、
温度が 25℃より高い場合には、ヒーター出力を OFF することで、
温度を一定にしています。



先生用のコメント：　ON/OFF 制御は、単純な制御方式ですが、

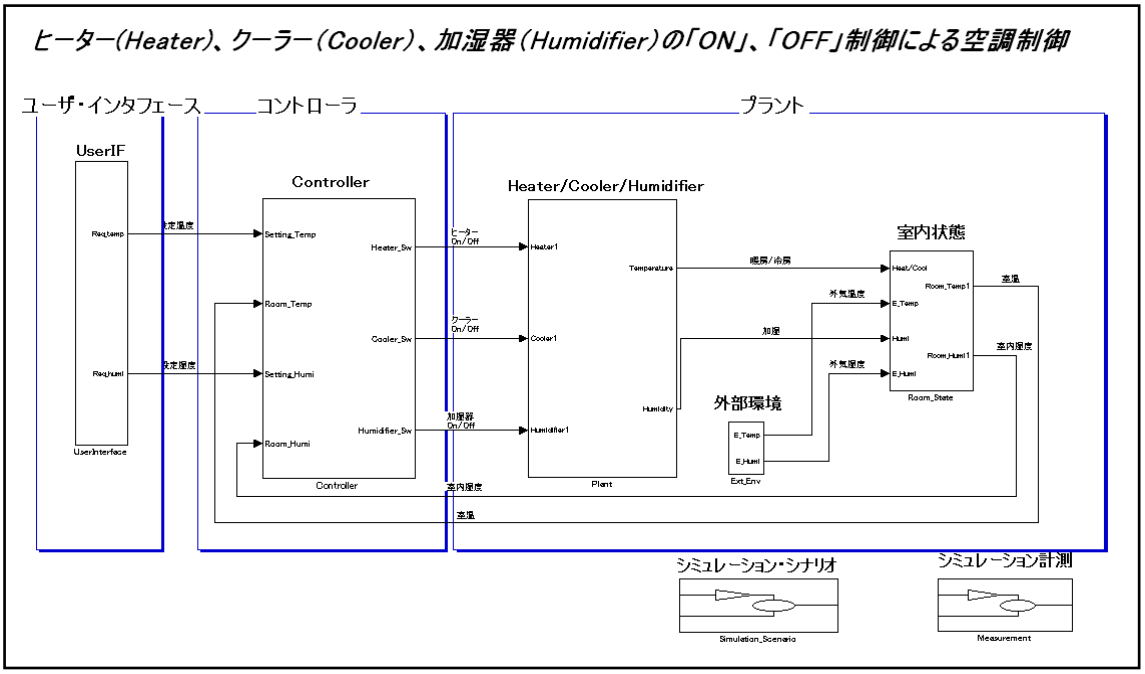
設定温度付近（25℃）でオーバーシュートとアンダーシュートが発生してしまいます。

８章２節　ON／OFF 制御モデルのモデリング

８．２．１．簡易オートエアコンのサンプルモデルを開いてみよう。

簡易オートエアコンのサンプルモデルが入っているファイルを開いて見ましょう。

(添付の CD-R の[8 章 ONOFF 制御モデルのモデリング¥AutoAirControl¥ベースモデル]フォルダ内から[air_ control.mdl]をデスクトップ上にコピーし、ファイルを開いて見ましょう。)



先生用のコメント:

次ページから簡易オートエアコンの仕様や解説を行っているため、次ページ以降の説明を読んでから、

モデリングを進めるように指示してください。

８．２．３．簡易オートエアコンの制御仕様

クーラー、ヒーター、加湿器の「ON/OFF 制御」

制御仕様

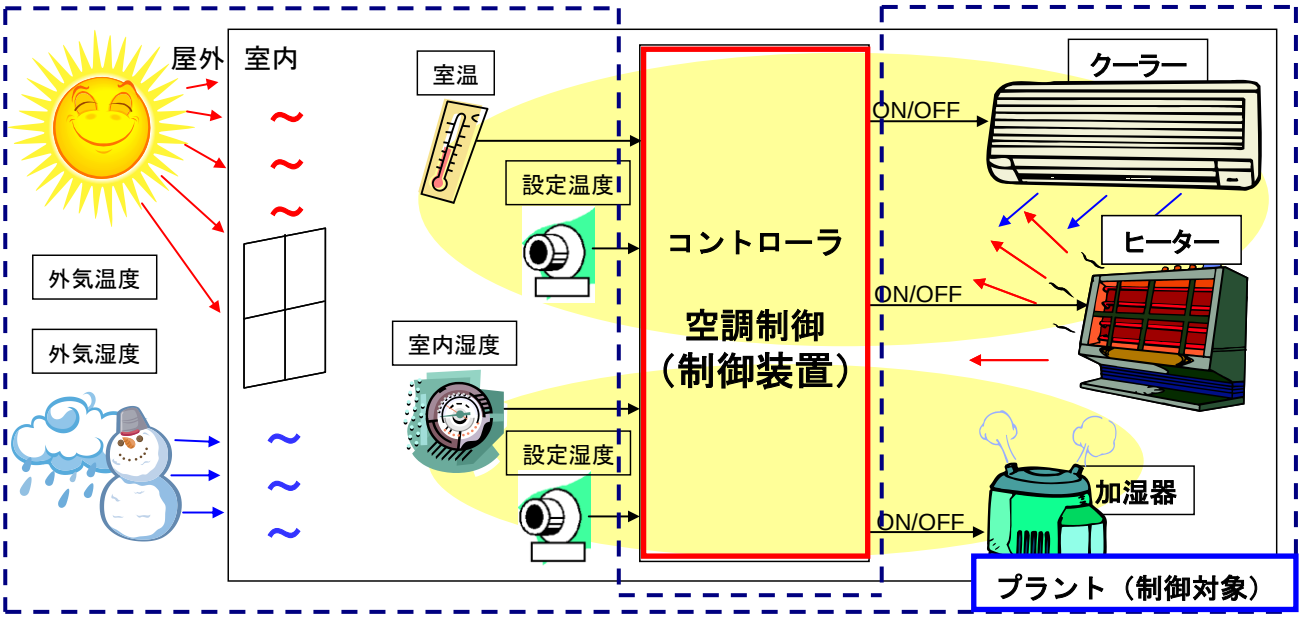
１．室温が設定温度より高い場合は、クーラーを「ON」にし、ヒーターを「OFF」にする。

２．室温が設定温度より低い場合は、クーラーを「OFF」にし、ヒーターを「ON」にする。

３．室内湿度が設定湿度より高い場合は、加湿器を「OFF」にする。

４．室内湿度が設定湿度より低い場合は、加湿器を「ON」にする。

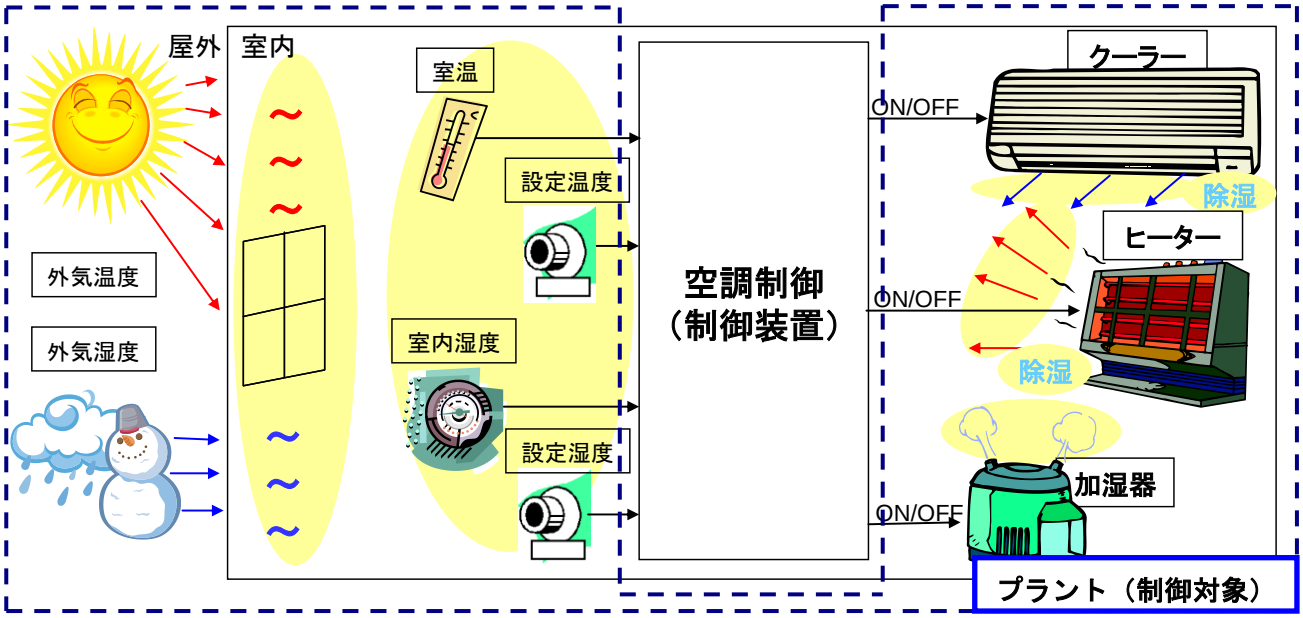
コントローラとプラント（コントローラ以外）



８．２．４．プラントの解説

・下記要素に対して簡易モデリングしてあります。

１．クーラー、ヒーター、加湿器の冷房、暖房、加湿能力
２．クーラー、ヒーター稼動による間接的な除湿効果の影響
３．外気の温度変化、湿度変化による室温、室内湿度への影響

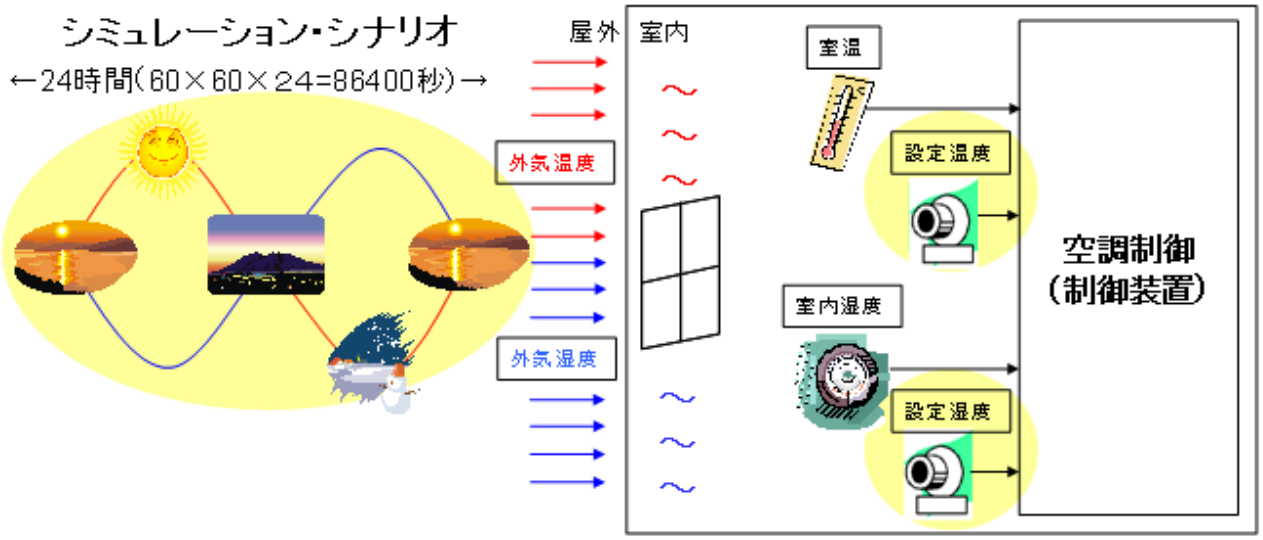


８．２．５．簡易オートエアコンのシミュレーション（シナリオ）解説

・下記要因に対して簡易的にシミュレーションができるよう設定されています。

１．外気温度と外気湿度を２４時間の実測値として表現しています。
　　温度と湿度は、群馬県前橋市の１日の観測結果が設定されています。

２．設定温度、設定湿度が設定できます。



先生用のコメント：

※このシステムにおいて、注意しなければならないことは、

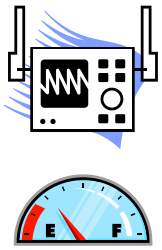
室温は、クーラー、ヒーターで制御することができますが、

湿度に関しては、加湿器で湿度を上げることはできますが、

クーラー、ヒーターにより間接的にしか湿度を下げることしかできない点です。

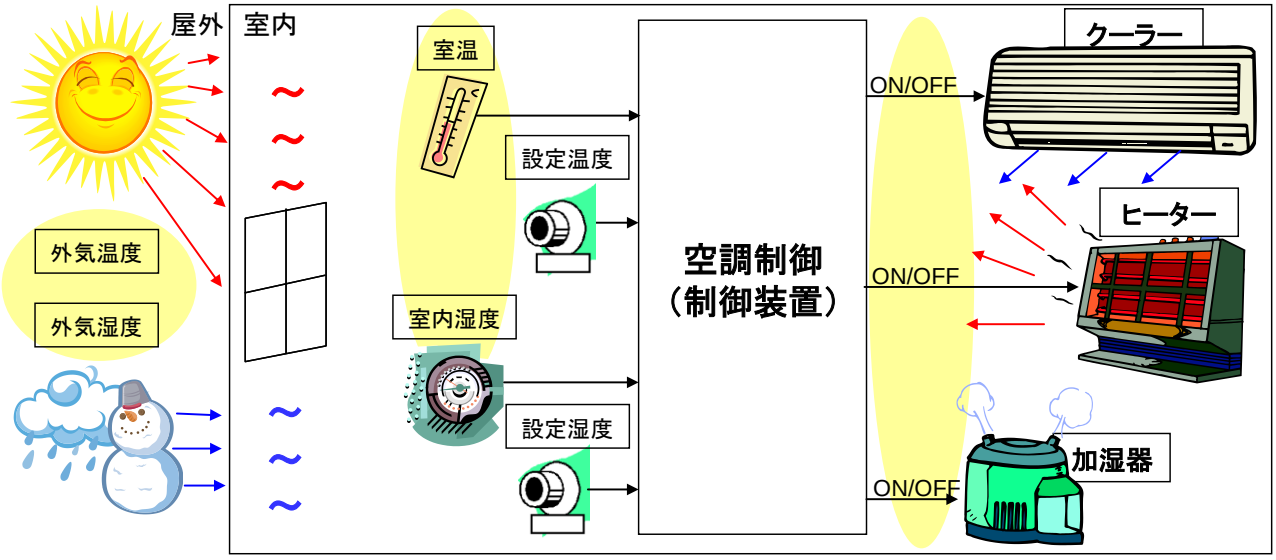
８．２．６．簡易オートエアコンのシミュレーション（観測）解説

・下記要素に対して観測できるようにしてあります。



１．外気温と室温、ヒーター、クーラーの ON/OFF 状態、
外気湿度と室内湿度、加湿器の ON/OFF 状態を２４時間分、
観測できます。

２．ヒーター、クーラー、加湿器のそれぞれの稼働時間から２４時間の消費電力の
合計を観測できます。



８章３節　ON/OFF 制御を実際にモデリングしてみよう。（課題２）

・コントローラサブシステムを開いて、ON/OFF 制御のコントローラを完成させましょう。

先生用のコメント：

回答例は、CD-R¥8 章 ONOFF 制御モデルのモデリング¥AutoAirControl¥回答モデル¥air_control_sl_ans.mdl

シミュレーション結果は、CD-R¥8 章 ONOFF 制御モデルのモデリング¥

簡易オートエアコンのシミュレーション(観測)¥AutoAirControl_Simulation.htm

８章４節　簡易オートエアコンの省エネ化（課題３）

課題：簡易オートエアコンの省エネ化に挑戦してみよう。
（注意：プラントモデル部分は変更しないでください。）

ヒント：現状、ヒーターかクーラーのどちらかが必ず動いています。
設定温度以下に冷えるとヒーターが、設定温度以上に温まるとクーラーが動き始めます。
設定値への復帰には「自然の力」（外気温）を利用しましょう。
（コントローラモデルには ExtTmp が入力してあります。）

検証１：シミュレーションモデルの消費電力量をオリジナルのモデルと比較しよう。
検証２：シミュレーションモデルの室温、室内湿度の特性の変化をオリジナルのモデルと比較しよう。

別の方法で省エネを考え出してみよう。

先生用のコメント：

回答例は、CD-R¥8 章 ONOFF 制御モデルのモデリング¥AutoAirControl¥回答モデル¥air_control_sl_eco_ans.mdl

シミュレーション結果は、CD-R¥8 章 ONOFF 制御モデルのモデリング¥簡易オートエアコンのシミュレーション(観測)¥AutoAirControl_eco_Simulation.htm

---

９章　PID 制御モデルのモデリング

９章１節　PID 制御

９．１．１．PID 制御の基本式

PID 制御基本式は、下記の式で表されます。　←　定義、理論

$$y = Kp\left(e + 1/Ti \cdot \int e\,dt + Td \cdot de/dt\right)$$
$$= Kp \cdot e + Kp/Ti \cdot \int e\,dt + Kp \cdot Td \cdot de/dt$$

比例動作　　積分動作　　微分動作

y ：操作量
e ：偏差
（＝目標値－観測値）
Kp ：比例ゲイン
Ti：積分時間
Td ：微分時間

●比例動作（Proportional Action：P 動作）
現在の偏差 e に比例した操作量を出力します。
偏差が大きければ、操作量を大きく、小さくなれば、操作量を小さくします。

⇒　目標値に段階的に近づける操作量を出力します。
しかし、最後には残留偏差が残ってしまいます。

●積分動作（Integral Action：I 動作）
P 動作の残留偏差の除去を行います。
過去の偏差の累積値に比例した操作量を出力します。
累積値が大きくなれば、操作量を大きくします。

⇒　目標値に一致させる操作量を出力します。

●微分動作（Derivative Action：D 動作）
P、I 動作は、偏差の急激な変化に対して応答速度が遅くなります。
微分動作では、偏差 e の変化率に比例した操作量を出力します。

⇒　偏差の急激な変化にも即座に追従する操作量を出力します。
PID 制御は、これら３つの動作を加算合成したもので表現されます。

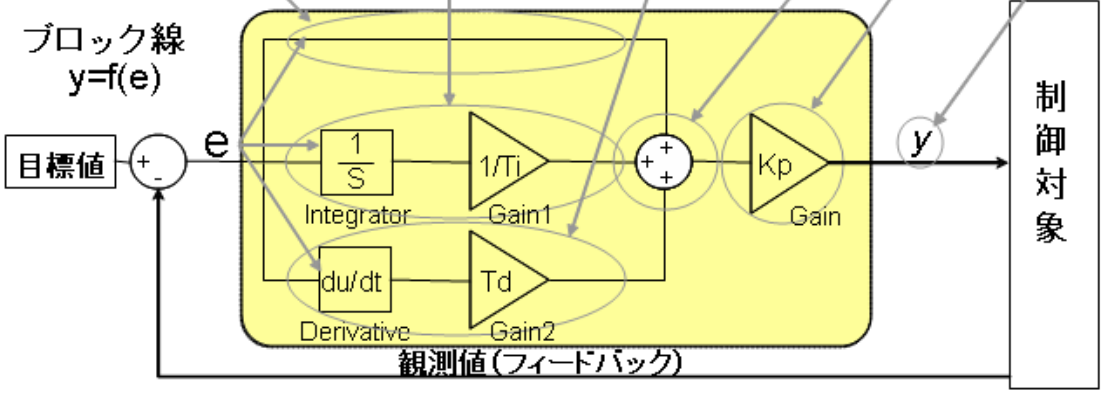
９．１．２．PID 制御の基本式のモデリング

PID制御式は下図のような対応付けで、
ブロック線図（モデル）として表現できる。

y ：操作量
e ：偏差（＝目標値－観測値）
Kp ：比例ゲイン
Ti：積分時間
Td ：微分時間

$$y = Kp(e + 1/Ti \cdot \int e\,dt + Td \cdot de/dt) \quad \cdots\cdots ①$$

$$(e + \int e\,dt \cdot 1/Ti + de/dt \cdot Td) \cdot Kp = y \quad \cdots\cdots ②$$



モデルの定義：対象の機能が図示されており、一意的に解釈ができるもの

先生用のコメント：

制御対象への操作量ｙは、偏差ｅに対して　①式で表現され、

①式と②式は等価であり、②式はブロック線図（モデル）で上図のように表現できることは

理解できると思います。

ここで Integrator(1/S)は、積分器を表し、Derivative(du/dt)は、積分器を表すブロックです。

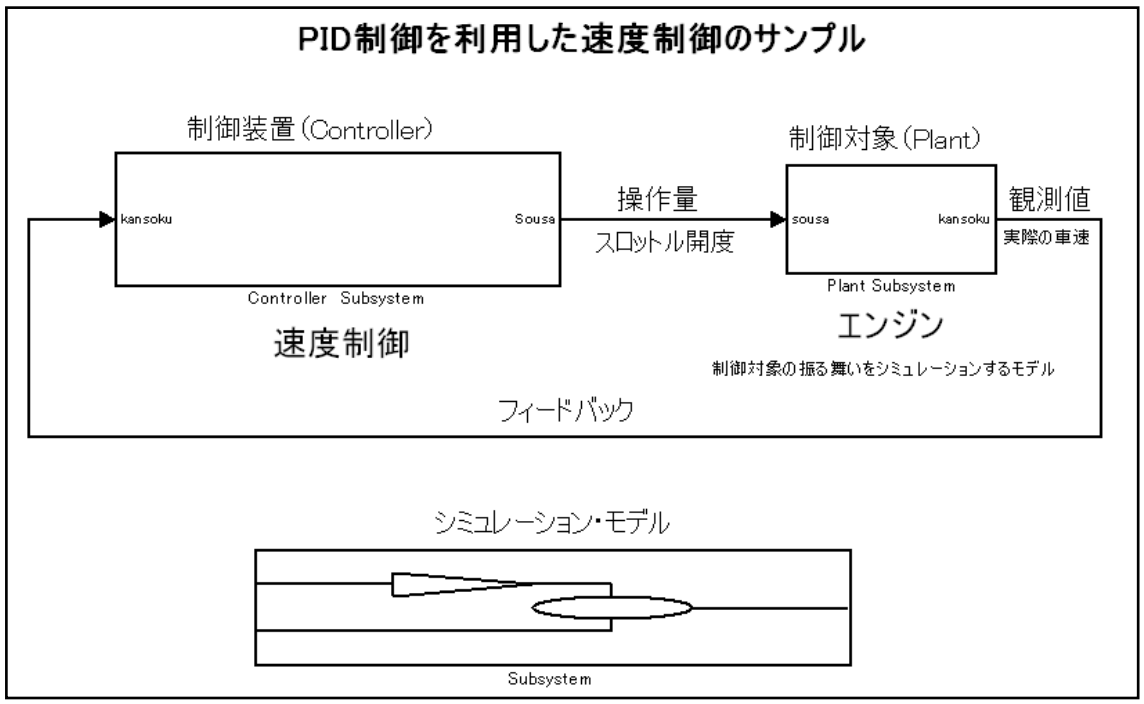
Gain は、増幅器です。

９章２節　PID 制御モデルのモデリング

９．２．１．速度制御のサンプルモデルを開いてみよう。

速度制御のサンプルモデルが入っているファイルを開いて見ましょう。

(添付の CD-R の[9 章 PID 制御モデルのモデリング¥ SpeedControl¥ベースモデル]フォルダ内から[Speed_Control.mdl]をデスクトップ上にコピーし、ファイルを開いて見ましょう。)



９．２．２．PID モデルの構成の説明

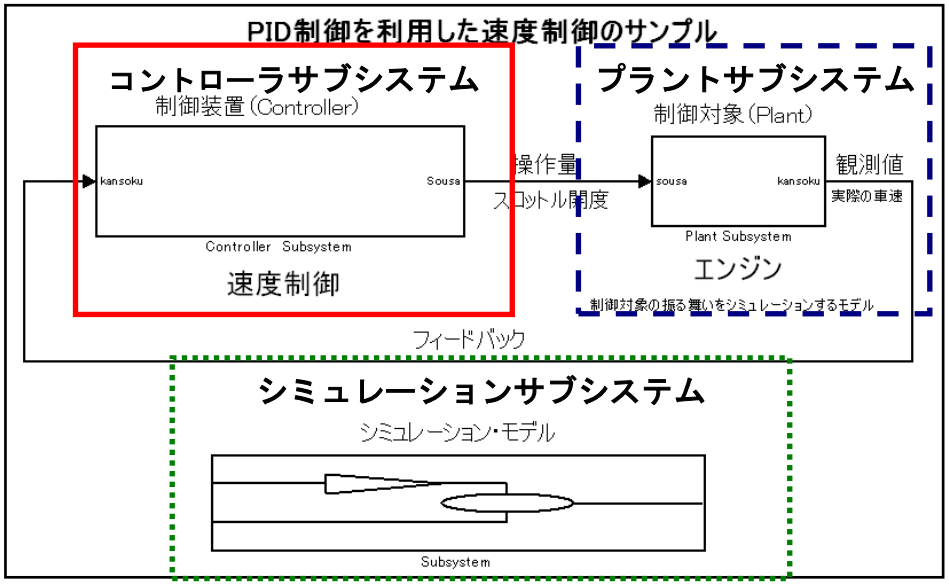
１．コントローラサブシステム、プラントサブシステム、シミュレーションサブシステムの３つから構成されています。

２．プラントサブシステムは制御対象であり、速度制御の例で言えばエンジンが該当します。これはエンジンの挙動をモデル化（模範した動き）した部分です。

３．コントローラサブシステムは、この場合、エンジンを制御する制御部分です。（ここの部分が開発対象）（例えば、速度制御の制御部分）

４．コントローラとプラントは次の信号で接続されています。
コントローラからプラントを操作する為の操作量（例えば、スロットル開度）
コントローラの出力に当たる制御量（例えば、エンジンの回転数）
プラントからコントローラへのフィードバックである観測値（例えば、車速）

５．シミュレーションサブシステムは、検証目的に沿った入力変化のシナリオをコントローラへ入力し、コントローラの内部状態や出力、プラントの出力やプラントからのフィードバックなどを観測することにより、コントローラの挙動を検証する部分です。
ここでは、目標値が「０」から「１００」に変化した場合のプラントの出力の変化を観測し、コントローラ（PID 制御）の挙動を検証する為のシミュレーションがモデリングしてあります。　　（制限速度が６０⇒１００）

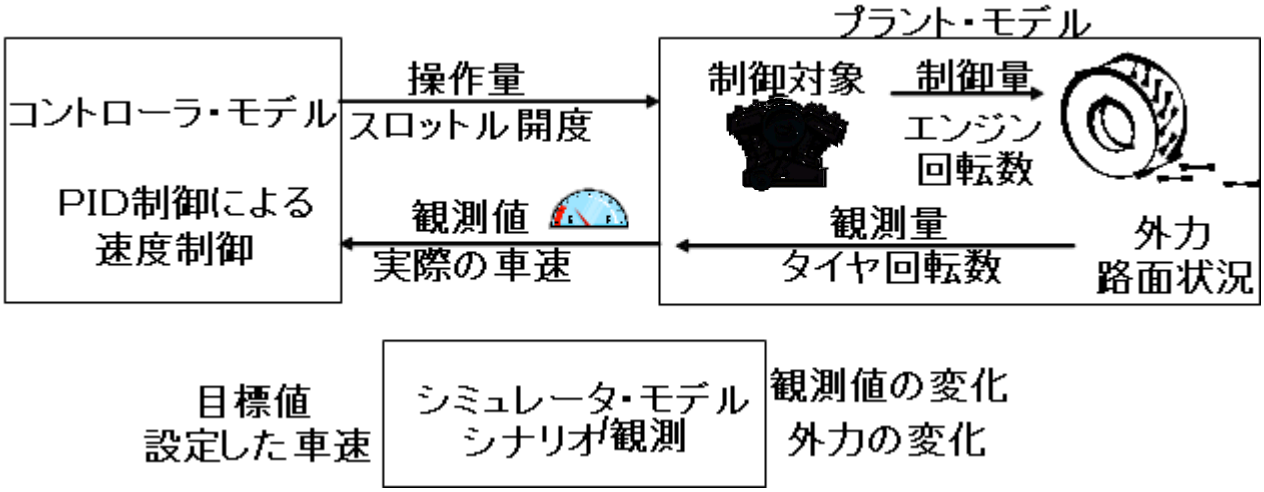


９．２．３．PID モデルのモデリング

速度制御に「PID 制御」を簡易的に適用した例

フィードバック制御に PID 制御を適用した速度制御
・目標値：設定した車速
・操作量：スロットル開度
・制御量：エンジン回転数
・外力、外乱：路面抵抗、勾配、風圧・・・
・観測値：実際の車速

９．２．４．コントローラとプラント



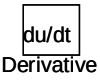
９章３節　PID 制御を実際にモデリングしてみよう。（課題４）

・コントローラサブシステムを開いて見ましょう。

・テキストにある PID モデルを見ながら、コントローラサブシステムを完成させましょう。

先生用のコメント：　参照する PID モデルは　P79　（PID 制御の基本式のモデリング）のモデルです。

９．３．１．PID 制御モデルのライブラリとパラメータ

	Simulinkライブラリィ	パラメータ
	Continuous/Integrator	
	Continuous/Derivative	
	MathOperations/Gain	ゲイン：0.6*1.08
	MathOperations/Gain	ゲイン：1/(0.5*10.8)
	MathOperations/Gain	ゲイン：0.125*10.8
	MathOperations/Sum	符号リスト：|+-
	MathOperations/Sum	符号リスト：+++

先生用のコメント：

各種ゲインの値は、このモデルでの調整した値です。（実際にはチューニングにより最適値を求めます）

回答例では、パラメータ欄に記載してある値をそのまま使用しています。

９．３．２．PID 制御モデルを検証してみよう。

・シミュレーションを実行し、シミュレーションサブシステムの Scope で実行結果を確認しましょう。

先生用のコメント:

PID 制御の 3 つの係数(Kp,Ti,Td)を変更し、速度変化の様子を確認しましょう。

目標値と観測値の追従性や目標値の大きな変化時における観測値の応答などから、

車両全体の振舞いが「乗り心地」として、「応答性がいい」とか「滑らかな乗り心地」などとして

表れることを理解して下さい。

先生用のコメント:

回答例は、CD-R¥9 章 PID 制御モデルのモデリング¥SpeedControl¥回答モデル¥Speed_Control_ans.mdl

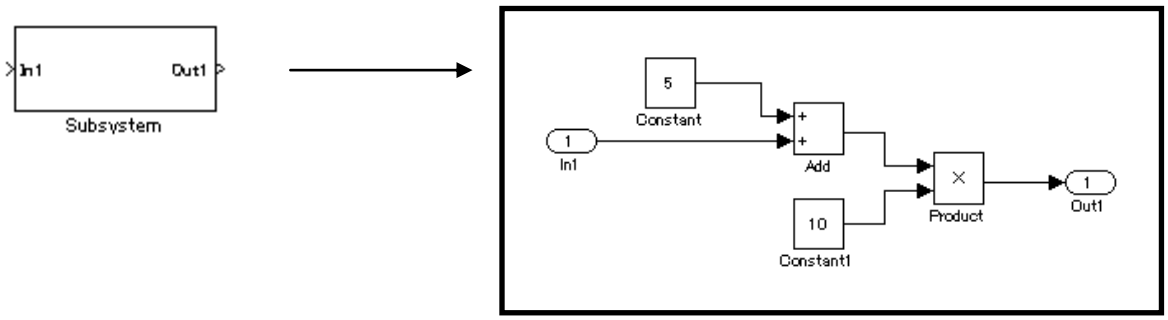
シミュレーション結果は、CD-R¥9 章 PID 制御モデルのモデリング¥PID 制御モデルを検証してみよう¥

SpeedControl_Simulation.htm

Subsystem

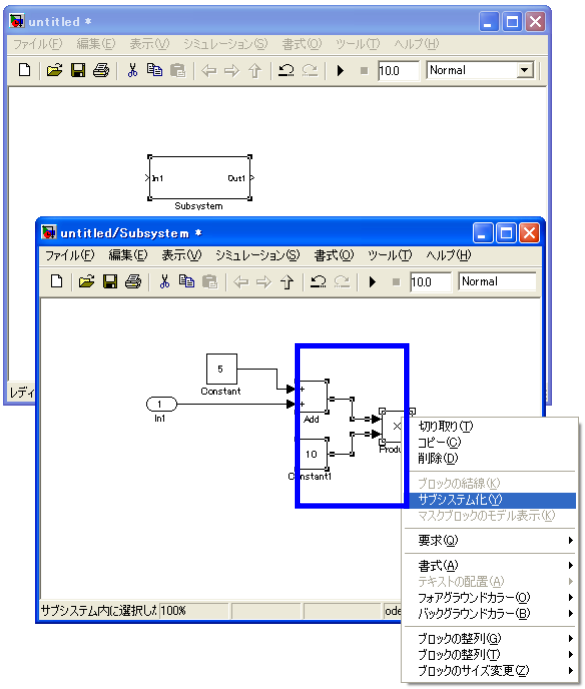
目的　　システムを１つのブロックとしてサブシステム化することができます。

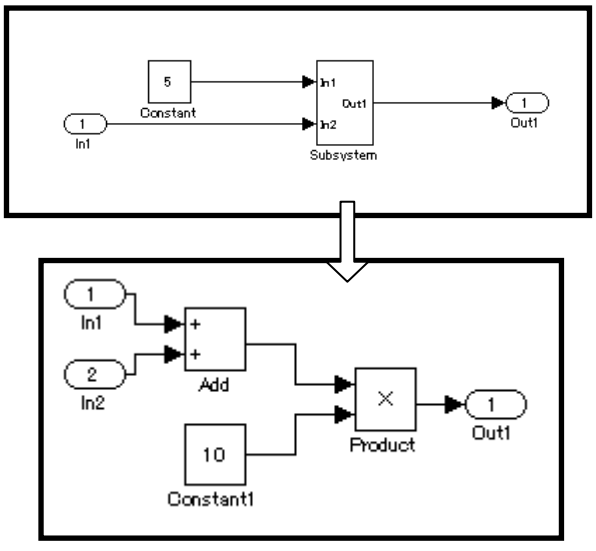
ライブラリ　　**Ports & Subsystems**



Subsystem ブロックをダブルクリックし、入力端子(In1)と出力端子(Out1)の間にモデルを作成することでサブシステム化することができます。

また、モデル作成後にモデルの一部をサブシステム化したい場合には、サブシステム化したいモデル範囲を指定して右クリックし、サブシステム化することができます。





モデル名：Subsystem.mdl

※モデルの場所：CD-R¥付録：よく使われるブロック用モデル¥Subsystem.mdl

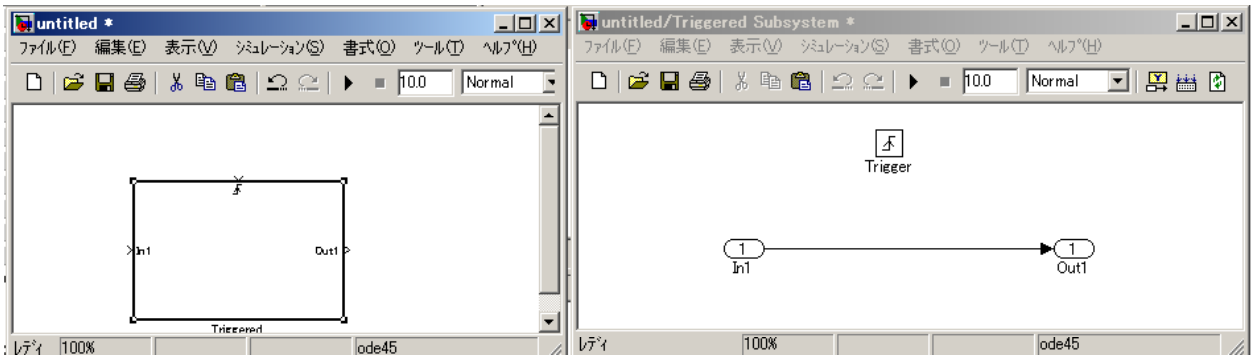
◆条件付き実行のサブシステム(イベントドリブンシステム)

1、Triggered サブシステム

イベント信号が発生する度に実行されるサブシステムです。

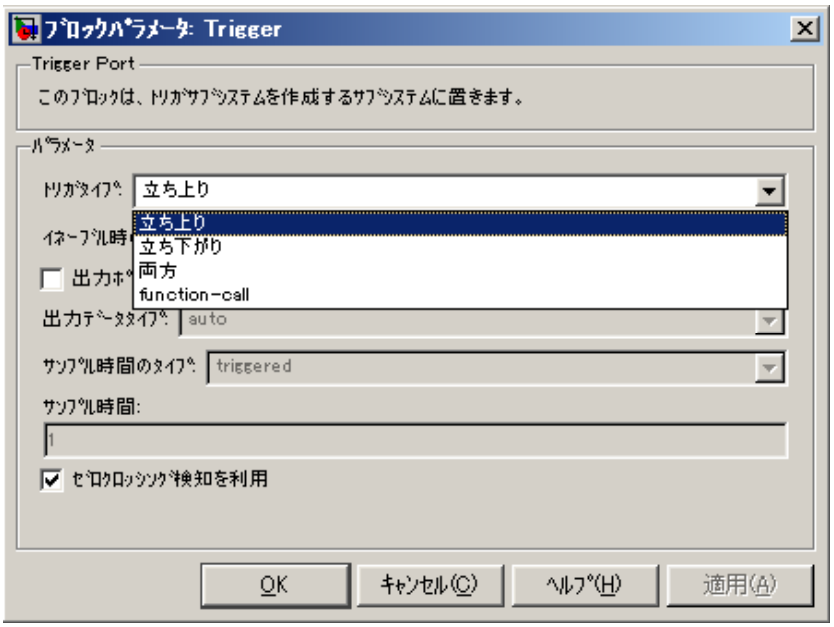
まずは、左下の Triggerd Subsystem ブロックを使います。

ブロックをダブルクリックすると下右側のサブシステムが開きます。

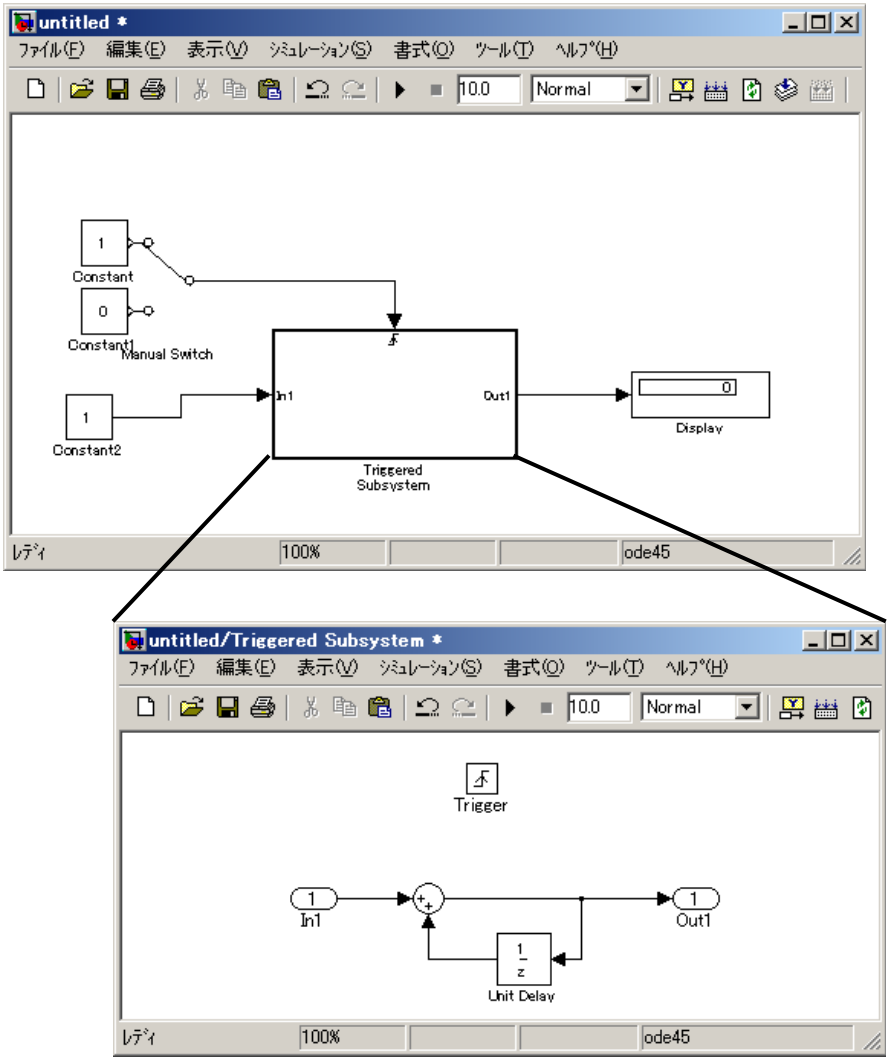


Trigger をダブルクリックするとブロツクパラメータが開きます。

サブシステムが作動する条件をトリガタイプで、選択できます。



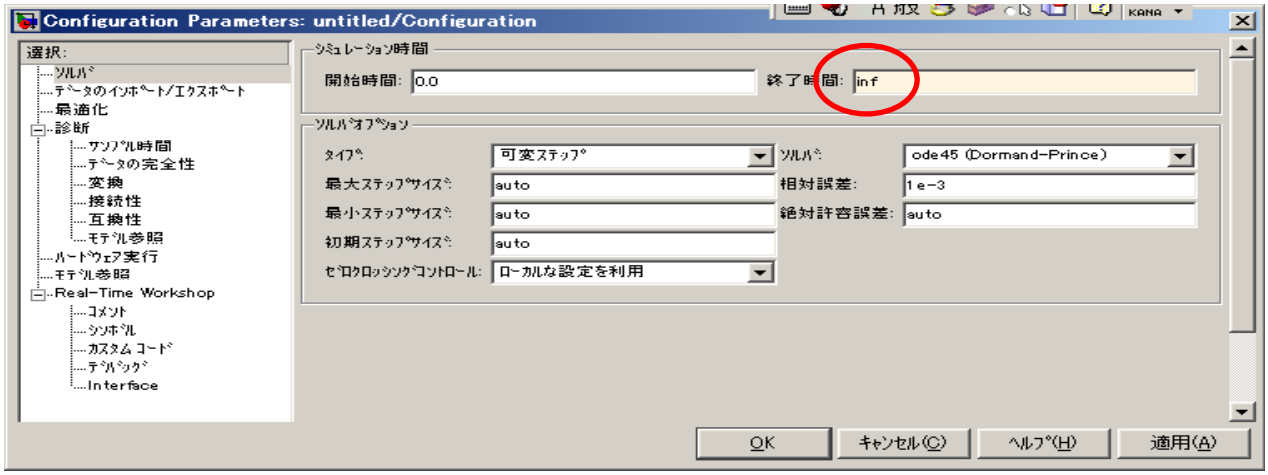
簡単な例を実際に作って動作させましょう。



使用ブロックは、constant，Manual Switch，Display，Unit Delay です。

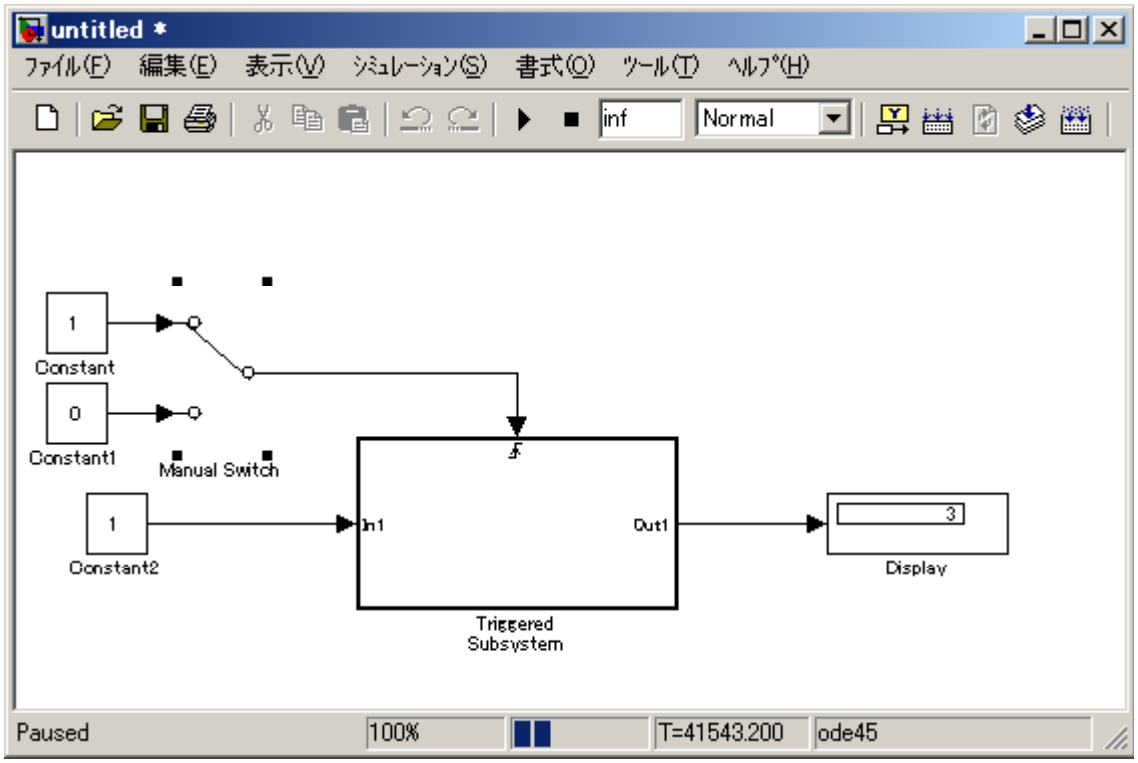
Triggered サブシステムは、時間に非同期の離散システムなので、サブシステム内には、サンプル時間を持たないブロックしか置く事ができません。そこで、Unit Delay ブロックのサンプル時間には、「－１」を入力し、それ自身では、サンプル時間を持たない設定にします。また、トリガーイベントは、立ち上がりに設定してください。Unit Delay は、ブロックによって、１回前の動作した出力値が保存されます。

シミュレーションパラメータを以下のようにして、シミュレーションを実行します。終了時間の「inf」は、シミュレーションの stop ボタンをクリックするまで続く設定になります。



シュレーション結果は、マニュアルスイッチをダブルクリックして、１になった回数をカウントします。

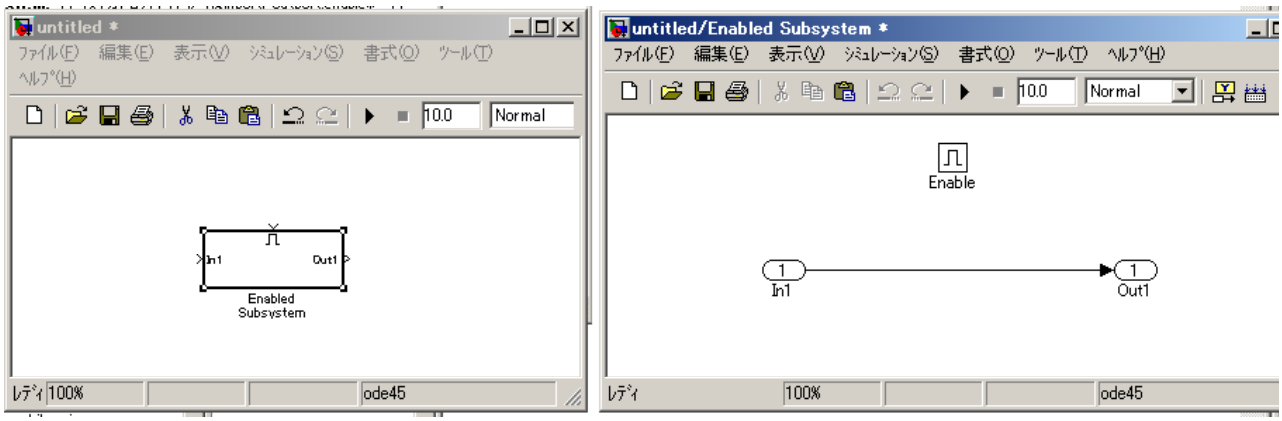
イベントの発生回数が表示されることとなります。



2、Enabled サブシステム

イベント信号が０より大きい場合に実行されるサブシステムです。

下のブロックを用いて作成します。

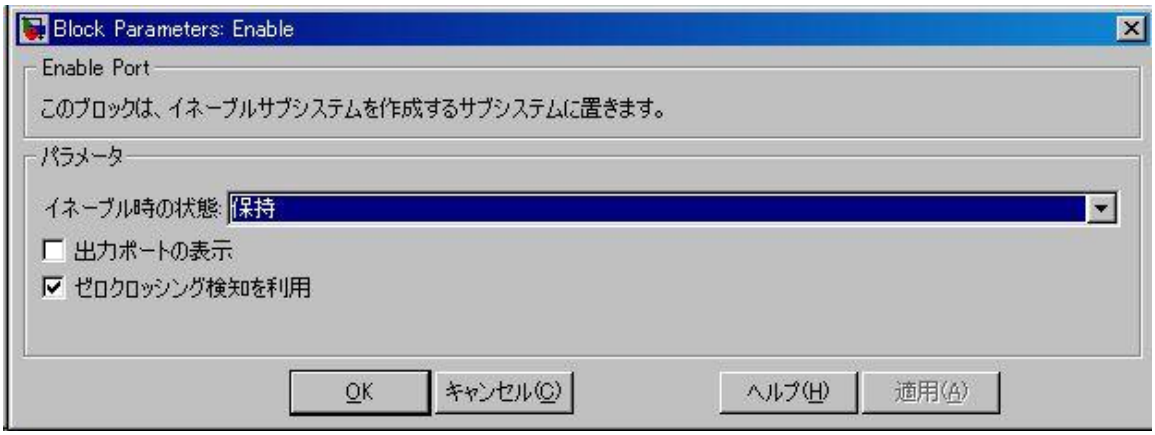


このサブシステムでは、再度動作した時に、サブシステム内の状態量を持つブロック（例えば、Itegrator ブロック）の初期状態の扱いを２種類選択することができます。

ブロックパラメータのイネーブル時の状態設定でそれぞれが以下のようになります。

保持：　初期状態は、前回動作したときの状態をもつブロックの最後の値を使用

reset：初期状態は、状態量をもつブロックで指定した初期値を使用



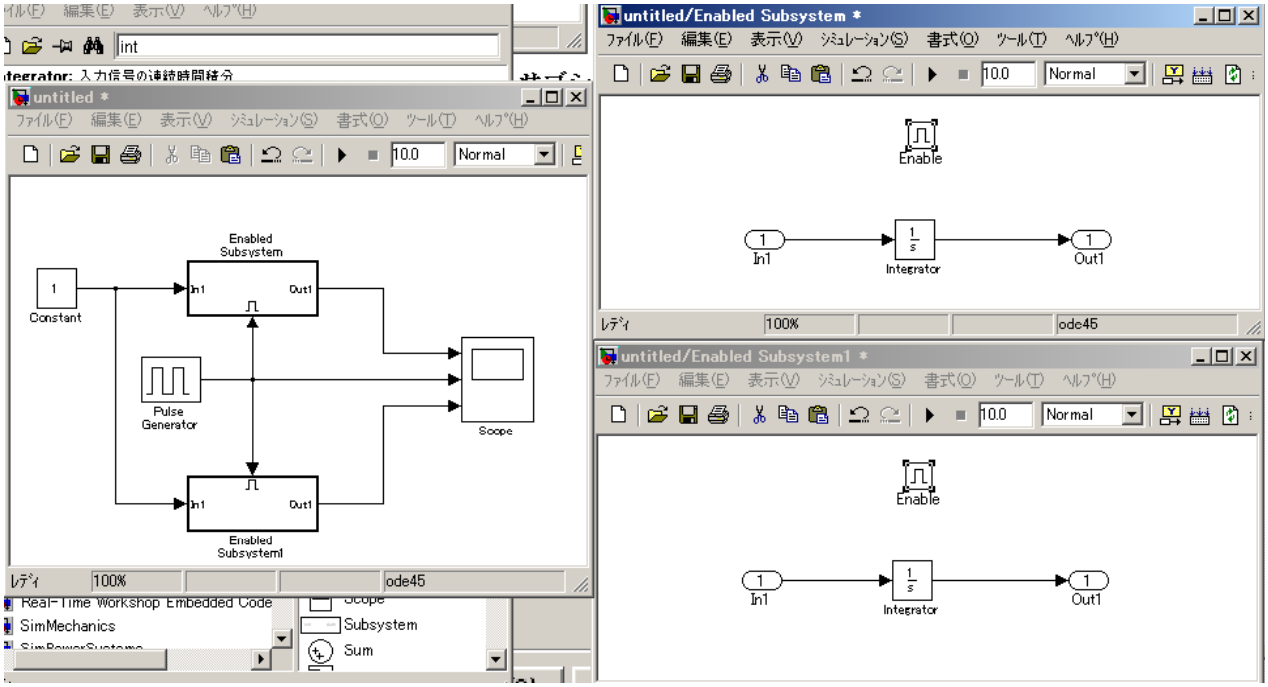
Enable ブロックのパラメータの設定違いによる挙動を比較します。

モデル名：enabl.mdl

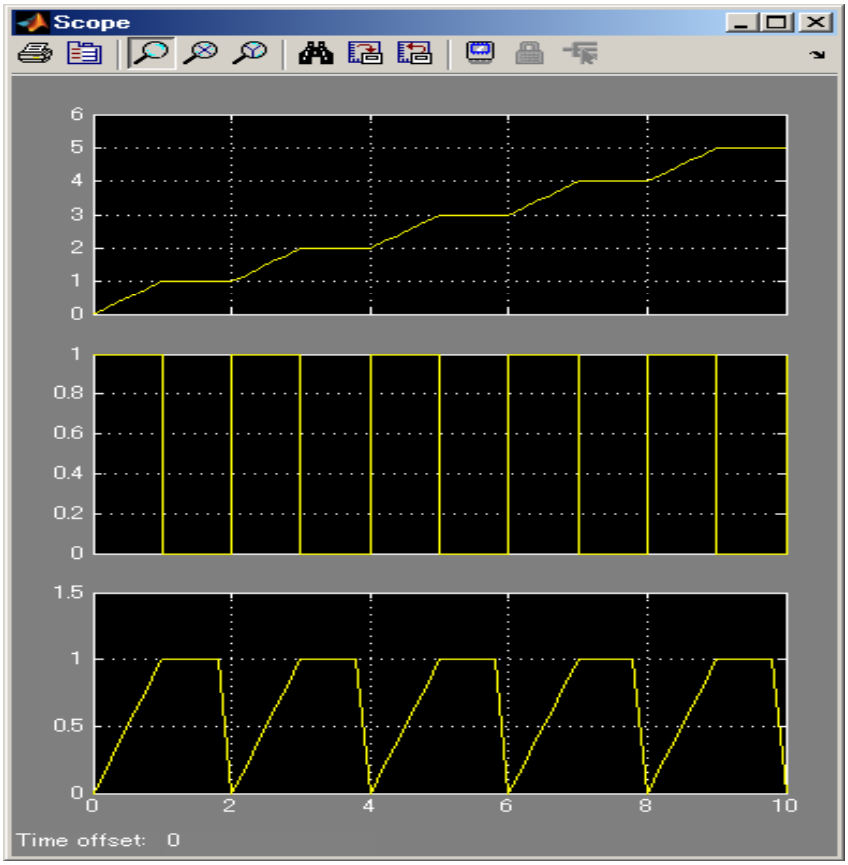
※モデルの場所：CD-R¥付録：よく使われるブロック用モデル¥enabl.mdl

必要なブロックは、Enable Subsystem×2、Constant、Pulse Generator（周期 2sec）、Scope です。

上の Enable ブロックは、保持にし、下の Enable ブロックは、リセットにします。スコープはブロックパラメータを開いて、3 軸で信号が見られるように設定し、また、サブシステム内部に積分器を挿入します。



モデルが作成できたら、シミュレーションしてみましょう。
どんな波形になったでしょうか？



イベント信号が１の間は動作し、０の間は動作していない様子が確認できます。
なお、「保持」の場合は、動作していない状態から動作する状態になる場合（例えば、２秒）に、サブシステム内の Integrator ブロックの初期状態は前回動作した Integrator ブロックの最後の値を使用して計算が始まります。

それに比べ「リセット」の場合は、サブシステム内の Integrator ブロックの初期状態が Integrator ブロックで指定した初期状態の値（デフォルト値：０）を使用して計算が始まります。

Logical Operator

目的　　論理演算を行います。

ライブラリ　　**Logic and Bit Operations**

Logical Operator ブロックは、そのブロックの入力に対して、指定した論理演算を実行します。入力値が非ゼロの場合は TRUE（1）に、ゼロの場合は FALSE（0）になります。

Operator パラメータリストを用いて入力を接続する Boolean 演算を選択してください。このブロックは、選択した演算子を表示するように更新を受けます。サポートされる演算を以下に示します。

演算詳細

表 1●AND 演算の真理値表

a の値	b の値	a AND b の演算結果
1（真）	1（真）	1（真）
0（偽）	1（真）	0（偽）
1（真）	0（偽）	0（偽）
0（偽）	0（偽）	0（偽）

表 2●OR 演算の真理値表

a の値	b の値	a OR b の演算結果
1（真）	1（真）	1（真）
0（偽）	1（真）	1（真）
1（真）	0（偽）	1（真）
0（偽）	0（偽）	0（偽）

表 3●XOR 演算の真理値表

a の値	b の値	a XOR b の演算結果
1（真）	1（真）	0（偽）
0（偽）	1（真）	1（真）
1（真）	0（偽）	1（真）
0（偽）	0（偽）	0（偽）

表 4●NOT 演算の真理値表

a の値	NOT a の演算結果
1（真）	0（偽）
0（偽）	1（真）

AND　：すべての入力が TRUE の場合は TRUE

OR　　：1 つ以上の入力が TRUE の場合は TRUE

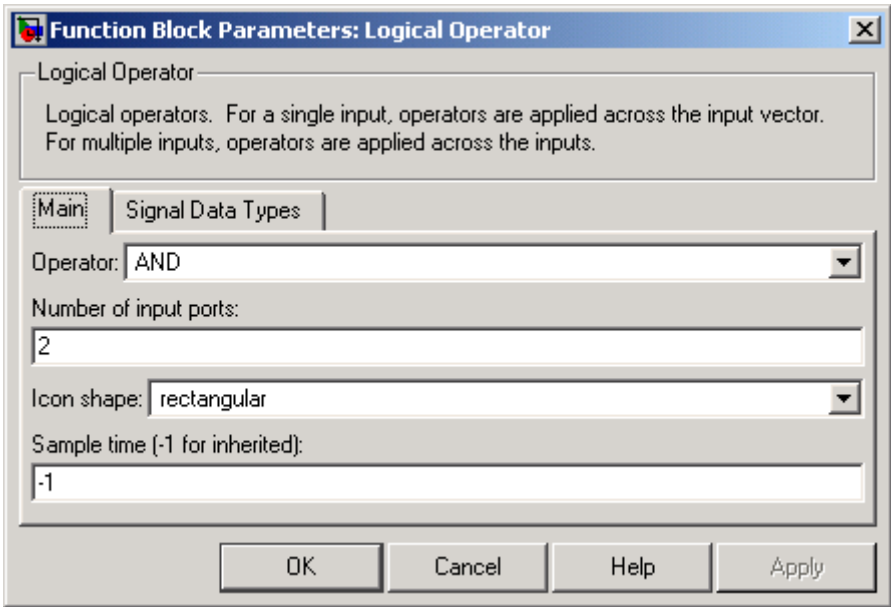
NAND：1 つ以上の入力が FALSE の場合は TRUE

NOR　：いずれの入力も TRUE でない場合は TRUE

XOR　：奇数個の入力が TRUE の場合は TRUE

NOT　：入力が FALSE の場合は TRUE

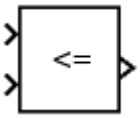
入力ポートの数は、Number of input ports パラメータで指定します。出力タイプは、Output data type mode パラメータと Output data type パラメータの両方または、どちらか一方で指定します。TRUE の場合は出力値が 1 に、FALSE の場合は 0 になります。



Relational Operator

目的　　比較演算を行います。

ライブラリ　　**Logic and Bit Operations**



Relational Operator ブロックは、2 つの入力に対して指定した比較演算を実行します。比較演算子パラメータによって、2 つの入力をつなぐ比較演算子を選択します。ブロックは、選択した演算子を表示するように更新されます。

サポートされる演算を以下に示します。

演算子	説明
==	最初の入力が 2 番目の入力と等しければ真
~=	最初の入力が 2 番目の入力と等しくなければ真
<	最初の入力が 2 番目の入力より小さければ真
<=	最初の入力が 2 番目の入力以下であれば真
>=	最初の入力が 2 番目の入力以上であれば真
>	最初の入力が 2 番目の入力より大きければ真

入力は、スカラ、配列、またはスカラと配列の組合せて指定することができます。スカラ入力の場合、出力はスカラです。

配列入力の場合、出力は同じ大きさの配列です。この場合の各要素は、入力配列の要素単位の比較の結果となります。スカラと配列が混在する入力の場合、出力は配列です。この場合の各要素は、スカラと対応する配列要素との間の比較の結果です。

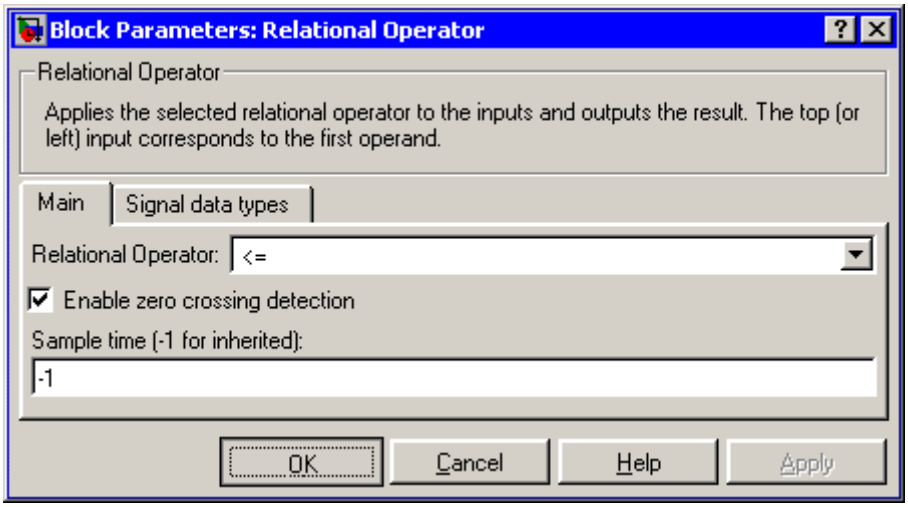
サポートされるデータタイプ

Relational Operator ブロックは、Simulink がサポートするすべてデータタイプ(固定小数点データタイプを含む)の実数および複素数信号を受け入れます。しかし、出力データタイプモード パラメータは Logical に設定された場合、入力は Boolean あるいは double だけです。演算子が==あるいは!=の場合、1 つの入力が実数でもう一方が複素数でもかまいません。

Simulink でサポートされるデータタイプについては、Using Simulink ドキュメンテーションの″Simulink でサポートされるデータタイプ″を参照してください。

パラメータとダイアログボックス

Relational Operator ブロックのメインペインを下に示します。



比較演算子

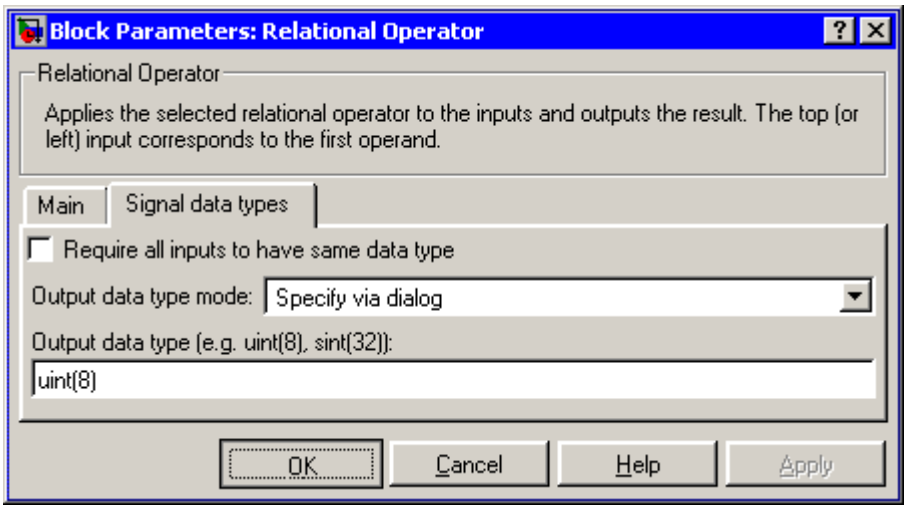
2 つの入力を比較するために使用する、比較演算子を指定します。

ゼロクロッシング検知の利用　選択すると、ゼロクロッシング検出を有効にします。詳細は、Using Simulink ドキュメンテーションの ”ゼロクロッシング検出”を参照してください。

サンプル時間(継承は-1)

サンプル間の時間間隔を指定します。サンプル時間を継承するには、このパラメータを-1 に設定します。詳細は、オンラインマニュルの” サンプル時間の指定”を参照して下さい。

Relational Operator ブロックの信号のデータタイプのペインは、次のように表示されます。



すべての入力値が同じデータタイプを持つ　選択すると、入力が同じデータタイプを持ちます。

出力データタイプモード

出力データタイプを Boolean に設定するか、あるいはデータタイプを出力データパラメータの中から選択します。

もう一つの方法として、Configuration Parameters ダイアログボックスのシミュレーションとコード生成 最適化ペインで、Logical を選択すると出力データタイプをブーリアンデータとして論理信号を使用します。パラメータに決めさせることもできます。

Logical を選択して Boolean 論理信号（Boolean Logic Signals）を有効にしてある場合、出力データタイプは常に Boolean となります。Logical を選択してブーリアンデータとしての論理信号の使用を無効にしてある場合、出力データタイプは入力データタイプと一致します。このタイプは常に double です。

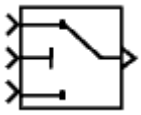
出力データタイプ

出力データタイプを指定します。厳密に 0 を示すデータタイプだけを使用する必要があります。この条件を満たすデータタイプには、符号つきおよび符号無しの整数と任意の浮動小数点データタイプを含みます。出力データタイプモード パラメータに対する「ダイアログにより指定」を選択した時にだけ、このパラメータが表示されます。

Switch

目的　　第2の入力の値に応じて最初の入力と3番目の入力の出力を切り替えます。

ライブラリ　　**Signal Routing**



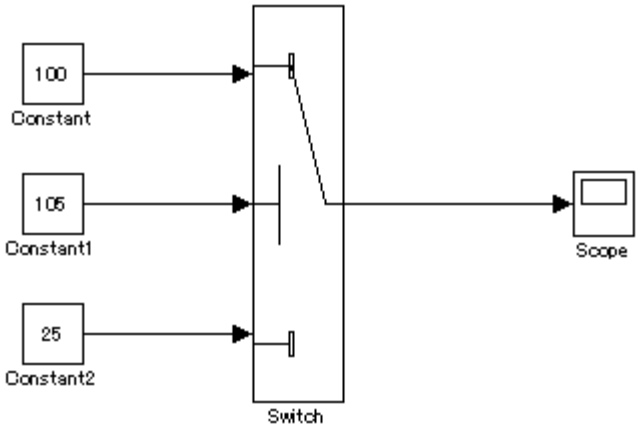
Switch ブロックは、2 番目（中央）の値に応じて、最初（上）の入力または 3 番目（下）の入力を通過させます。最初と 3 番目の入力をデータ入力といいます。2 番目の入力を制御入力といいます。

最初の入力が通過する条件 パラメータを使って、入力を通過させる条件を選択できます。制御入力が閾値以上かどうか、閾値よりも大きいかどうか、またはゼロ以外かどうかをブロックでチェックすることができます。制御入力が最初の入力が通過する条件で設定された条件に一致する場合は、最初の入力が渡されます。

そうでない場合、3 番目の入力が渡されます。

モデル名：switchblockmdl.mdl

※モデルの場所: CD-R¥付録：よく使われるブロック用モデル¥switchblockmdl.mdl



先生用のコメント:

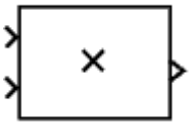
条件判断に使用でき if 文に対応します。

また、switch case に対応する Multiport Switch ブロックもあります。

Product

目的　　入力を乗算または除算します。

ライブラリ　　**Math Operations**



Product ブロックは、そのブロックの入力に対して乗算または除算を実行します。

このブロックは、要素に関する乗算または行列の乗算を用いて出力を生成します。どちらを使用するかは 乗算 パラメータの値によって決まります。入力数 パラメータを用いて演算を指定してください。乗算（*）キャラクタと除算（/）キャラクタは、入力に関して実行する演算を指示します。

2 つ以上の入力が存在する場合、キャラクタの数は入力の数に等しくなければなりません。たとえば、“*/*”は 3 つの入力を必要とします。この例の場合、乗算 パラメータを Element-wise（要素単位）に設定すると、このブロックは最初(一番上)の入力の要素を 2 番目(中央)の入力の要素で除算してから、3 番目(一番下)の入力の要素を乗算します。

このケースの場合、このブロックへのすべての非スカラ入力は同じ次元を持たなければなりません。ただし、乗算 パラメータを Matrix に設定した場合、このブロックは、入力の行列積“*” と入力の逆“/”を出力します。ここで、演算の順序は、入力数・パラメータの入力値に従います。入力の次元は、行列積が定義されるように指定しなければなりません。

注意 : 入力ベクトルに関して点乗積を実行するには Dot Product ブロックを使用します。

入力の乗算のみが必要な場合、入力の数に等しい数値パラメータ値が“*”キャラクタの代わりに提供されます。これは、要素に関する乗算または行列の乗算と併用できます。

単一のベクトルが入力で、乗算 パラメータを Element-wise に設定した場合、単一の“*”がこのブロックにベクトル要素のスカラ積を出力させます。単一の“/”は、このブロックにベクトル要素のスカラ積の逆を出力させます。

単一の行列が入力で、乗算 パラメータを Element-wise に設定した場合、単一の“*”または“/”がこのブロックにエラーを出力させます。ただし、乗算 パラメータを Matrix に設定した場合、単一の“*”は、このブロックに未変更の行列を出力させます。
また、単一の“/”は、このブロックに行列の逆を出力させます。

Product ブロックは、まず指定した乗算または除算演算を入力に対して実行してから、指定した丸めおよびオーバフローモードを用いて結果を出力データタイプに変換します。

入力数

入力の数または“*”記号と“/”記号の組み合わせを入力します。

このパラメータについての詳細は、上記の”説明”を参照してください。

乗算

要素に関する乗算または行列の乗算を指定します。このパラメータについての詳細は、上記の「説明」を参照してください。

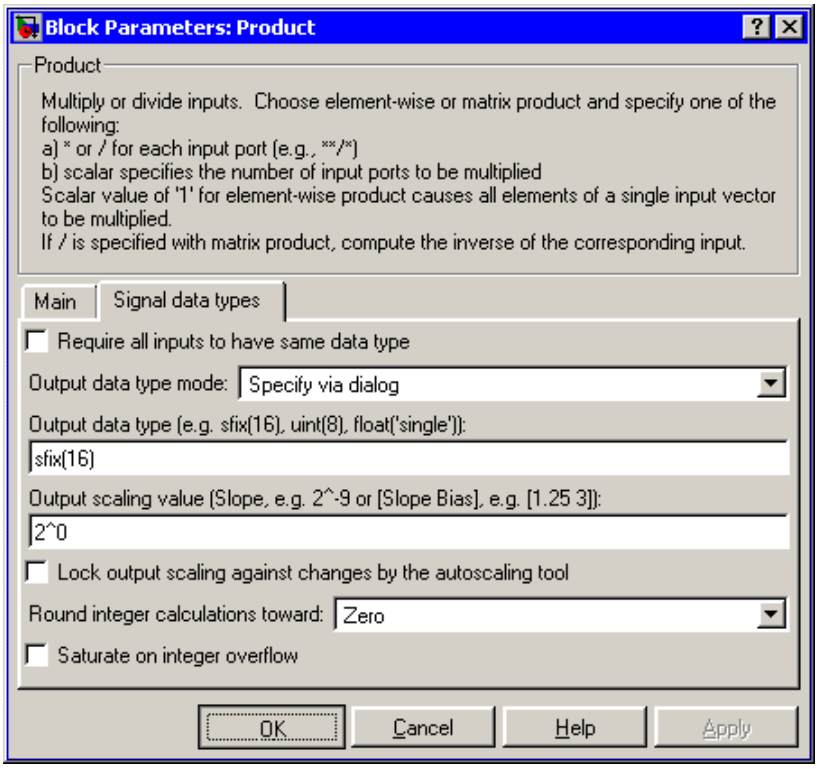
サンプル時間(継承は-1)

サンプル間の時間間隔を指定します。

サンプル時間を継承するには、このパラメータを -1 に設定します。

詳しくは、オンラインマニュアルの"サンプル時間の指定"を参照してください。

Product ブロックダイアログの信号のデータタイプペインは、以下のように表示されます。



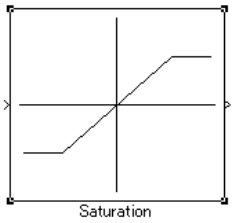
先生用のコメント:

数学関数をまとめたブロックもあります。(Math Function ブロック)

Saturation

目的　　飽和要素を表現します。

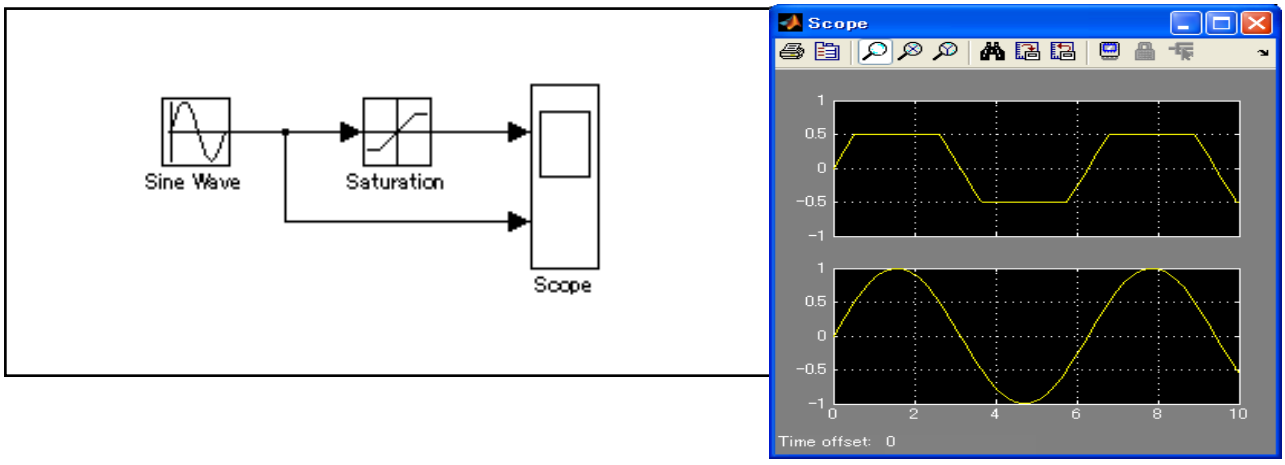
ライブラリ　　**Discontinuities**



Saturation ブロックは、そのブロックの入力信号が上限値より大きな値の場合には、上限値を出力し、下限値より小さい値の場合には、下限値を出力します。

モデル名：Saturation.mdl

※モデルの場所: CD-R¥付録：よく使われるブロック用モデル¥Saturation.mdl



このモデルでは、上限値 0.5 下限値-0.5 と設定した場合の Saturation ブロック適用による波形の変化を示しています。

Ground

目的　　未接続の入力端子を固定し、ワーニングを防ぎます。

ライブラリ　　**Sources**

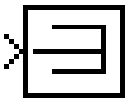
先生用のコメント：

Ground と Terminator は未接続の入出力端子の末端処理を行うブロックです。

Terminator

目的　　未接続の出力端子を終端させます。

ライブラリ　　**Sinks**



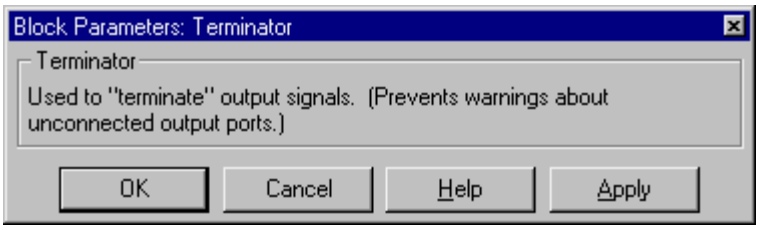
Terminator ブロックは、出力端子が他のブロックに接続されていないブロックを終端させるのに使用することができます。未接続の出力端子をもつブロックを用いてシミュレーションを実行すると、Simulink はワーニングメッセージを表示します。Terminator ブロックを使ってこれらのブロックを終端させると、ワーニングメッセージを回避することができます。

サポートされるデータタイプ

Terminator ブロックは、固定小数点データタイプなど、Simulink がサポートする任意データタイプの実数値信号または複素数信号を受け入れます。

Simulink がサポートするデータタイプについて詳しくは、Using Simulink ドキュメンテーションの"Simulink でサポートされるデータタイプ"を参照してください。

パラメータとダイアログボックス



Goto

目的　　ブロック入力を From ブロックに渡します。

ライブラリ　　**Signal Routing**

説明

先生用のコメント：

Goto、From ブロックによって、信号の経路を省略することにより、モデルを見やすくします。

Goto ブロックは、該当する From ブロックに入力を渡します。
入力は、任意のデータタイプの実数値または複素数値信号またはベクトルです。

From ブロックと Goto ブロックを使用すると、それらを実際に接続しなくても、ブロックから別のブロックへ信号を渡すことができます。
Goto ブロックは複数の From ブロックに入力を渡すことができますが、From ブロックは 1 つの Goto ブロックからしか信号を受け取ることができません。しかし、その Goto ブロックへの入力は、ブロックが物理的に接続されているかのように、それに関連付けられた From ブロックに渡されます。

Goto ブロックと From ブロックは、タグパラメータで定義された Goto タグの使用によって対応付けられます。

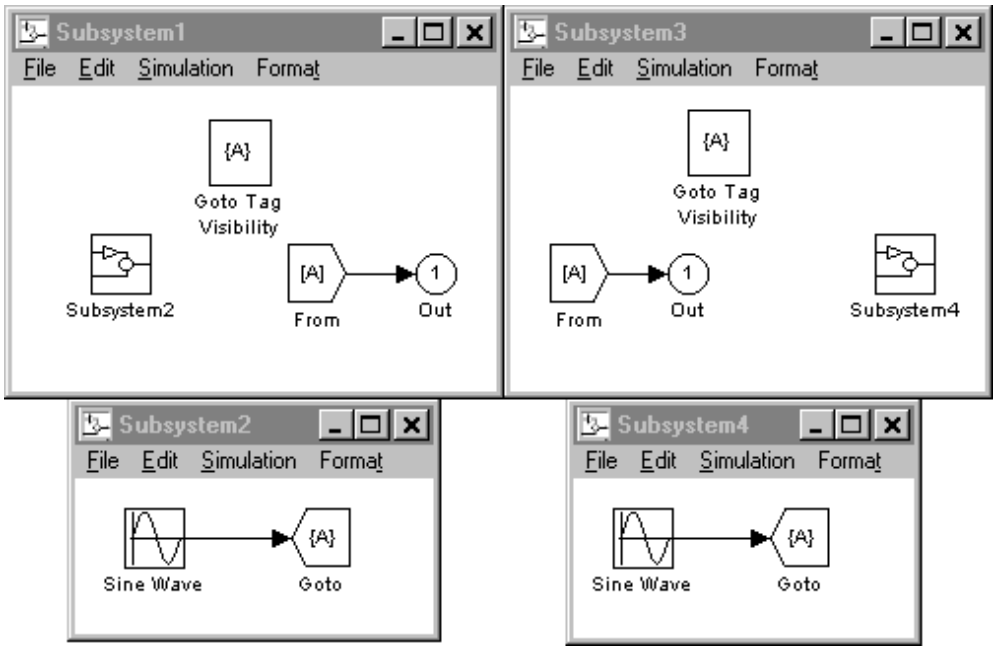
同じタグ名を使用する Goto ブロックと From ブロックが同じサブシステムにある場合は、local タグを使用してください。

同じタグ名を使用する Goto ブロックと From ブロックが異なるサブシステムにある場合は、global または scoped タグを使用する必要があります。

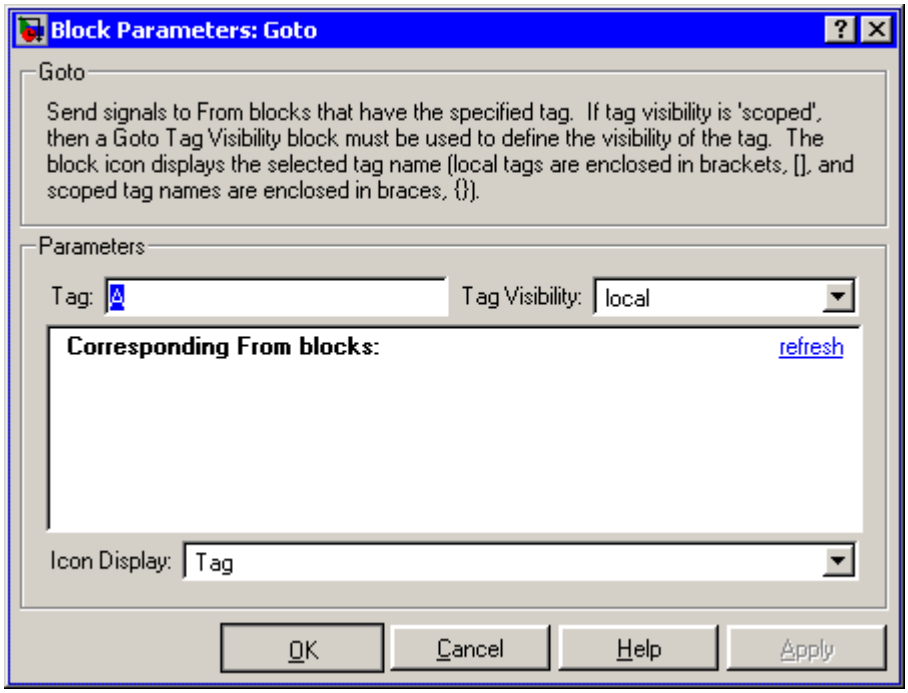
タグを global として定義した場合、そのタグの使用はすべて、同じ信号にアクセスします。

scoped として定義されたタグは、モデル内の複数の場所で使用することができます。

つぎの例は、同じ名前（A）の 2 つの scoped タグを使用するモデルを示しています。



パラメータとダイアログボックス



タグ

Goto ブロック識別子。

このパラメータは、範囲がこのブロックで定義される Goto ブロックを識別します。

タグの表示

Goto ブロックタグの範囲（local、scoped、または global）。

デフォルトは local です。

Corresponding From blocks

この Goto ブロックに接続された From ブロックのリスト。

このリスト内のエントリをダブルクリックすると、対応する From ブロックが強調表示されます。

アイコンの表示

ブロックのアイコンに表示するテキストを指定します。

オプションは、ブロックのタグ、ブロックが表す信号の名前、またはタグと信号名の両方です。

モデル名：goto_from.mdl

※モデルの場所：CD-R¥付録：よく使われるブロック用モデル¥goto_from.mdl

From

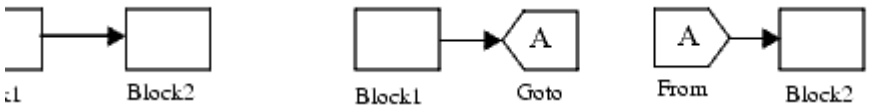
目的　　Goto ブロックから入力を受け入れます。

ライブラリ　　**Signal Routing**

From ブロックは、対応する Goto ブロックから信号を受け入れて、出力として渡します。出力のデータタイプは、Goto ブロックからの入力のデータタイプと同じです。
From ブロックと Goto ブロックを使用すると、それらを実際に接続しなくても、ブロックから別のブロックへ信号を渡すことができます。Goto ブロックを From ブロックに関連付けるには、Goto タグ パラメータに Goto ブロックのタグを入力します。

From ブロックは 1 つの Goto ブロックからしか信号を受け取ることができませんが、Goto ブロックは複数の From ブロックに信号を渡すことができます。

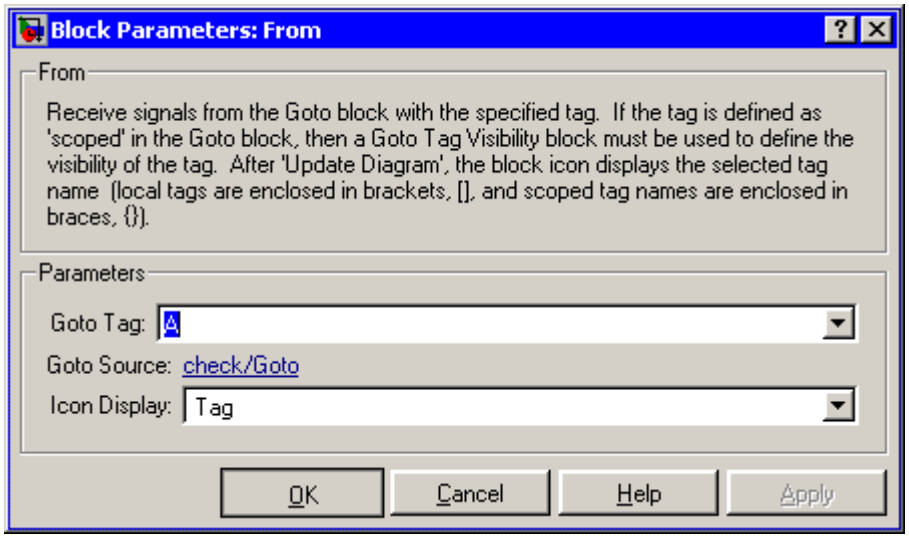
次の図は、Goto ブロックと From ブロックの使用が、それらのブロックに接続されているブロックを接続することに等しいことを示しています。左のモデルでは、Block1 は Block2 に信号を渡します。このモデルは、右のモデルと同じです。
右のモデルでは、Block1 を Goto ブロックに接続して、その信号を From ブロックに渡し、そこから Block2 に渡します。



Goto ブロックのタグの可視性によって、その信号を受け取ることができる From ブロックが決まります。詳細については、Goto と Goto Tag Visibility を参照してください。
このブロックは、Goto ブロックのタグの可視性を示します。

ローカルタグ名は、角括弧（[ ]）で囲まれます。
範囲を限定されたタグ名は、中括弧（{}）で囲まれます。
グローバルタグ名は、追加の文字なしで表示されます。

パラメータとダイアログボックス



Goto タグ

この From ブロックに信号を渡す Goto ブロックのタグ

Goto ソース

この From ブロックに接続された Goto ブロックのパス。

パスをダブルクリックすると、Goto ブロックが表示されて、強調表示されます。

アイコンの表示

From ブロックのアイコンに表示するテキストを指定します。

オプションは、ブロックのタグ、ブロックが表す信号の名前、またはタグと信号名の両方です。

Bus Creator

目的　　信号バスを作成します。

ライブラリ　　**Signal Routing**

先生用のコメント:

Bus Creator と Bus Selector は、機能的に対となるブロックです。

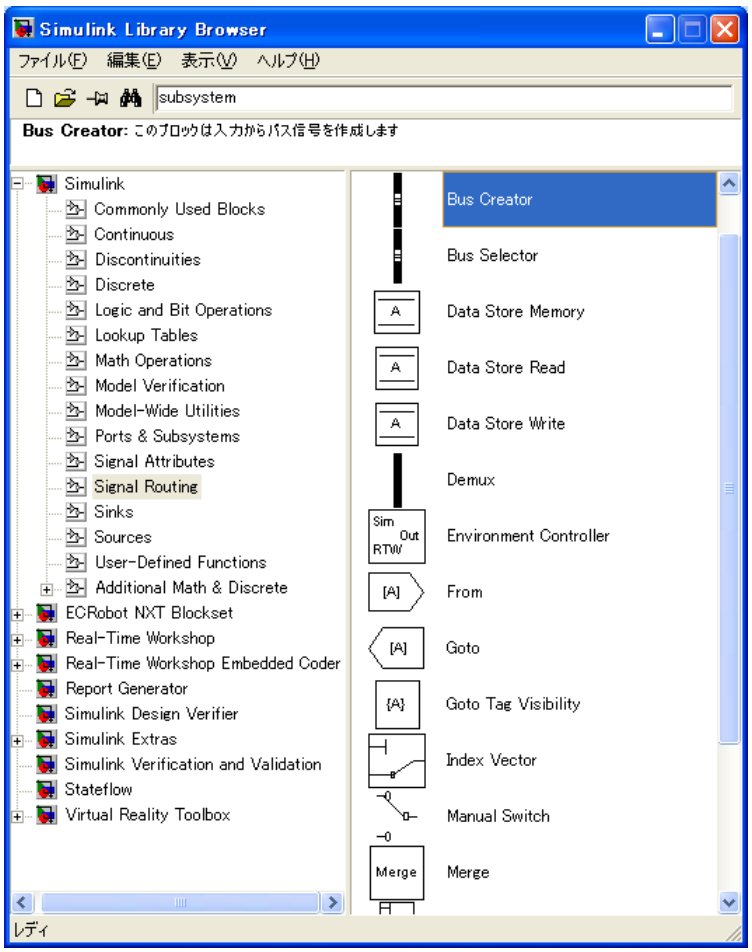
Bus Creator, Bus Selector は信号バスの作成(モデルの見易さ)を目的としたブロックです。

Bus Selector

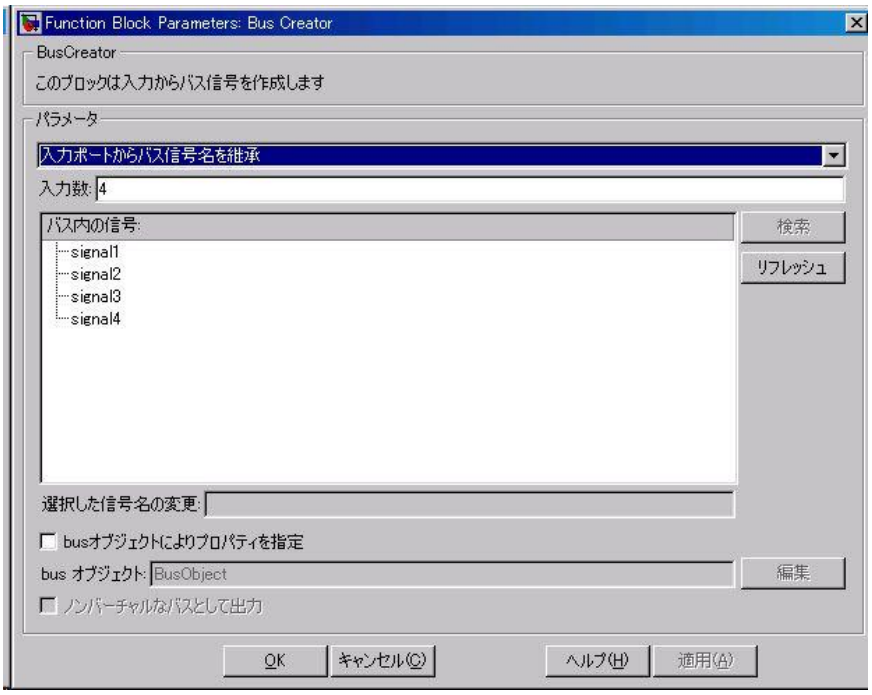
目的　　入力バスから入ってくる信号を選択します。

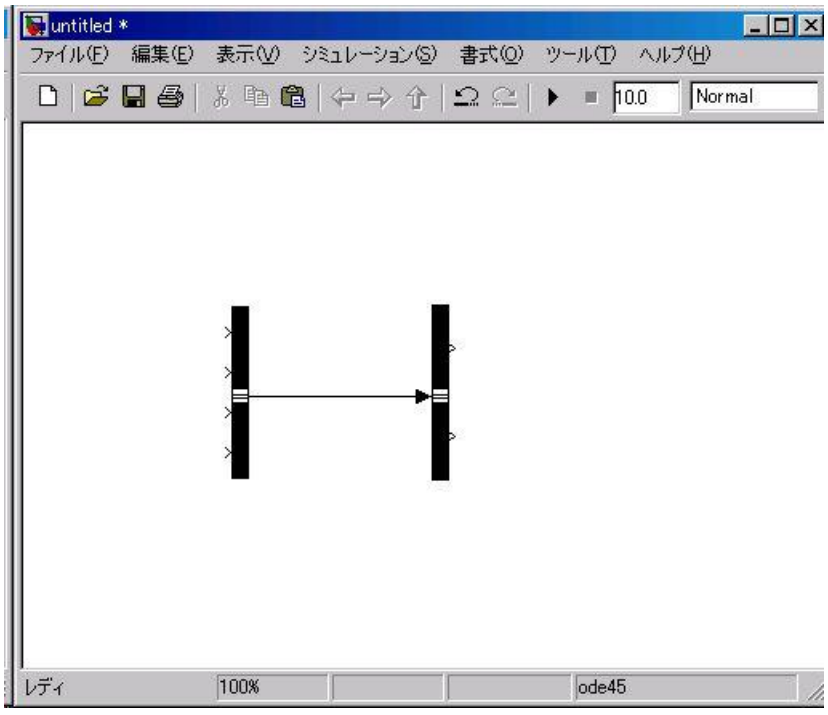
ライブラリ　　**Signal Routing**

Bus Creator をドラッグ＆ドロップして、Bus Creator をダブルクリックするとブロックパラメータが開くので、入力数を記入します。



Bus Selector をドラッグ＆ドロップして、Bus Creator と接続します。

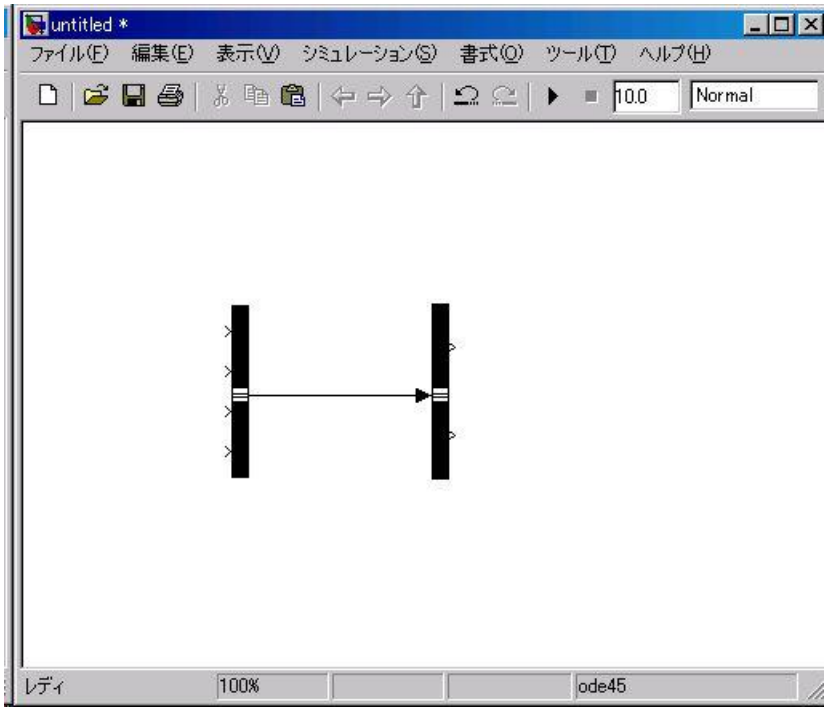


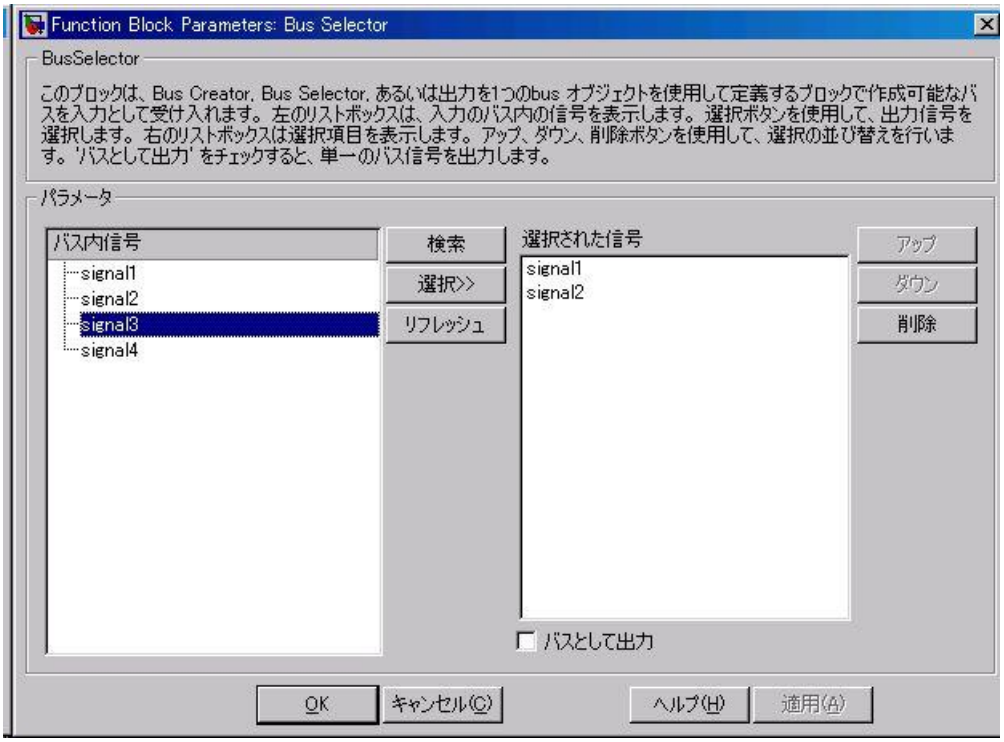


先生用のコメント：

関連するバスとしてまとめることにより、モデルの見やすさ、信号の検索性を向上することができます。

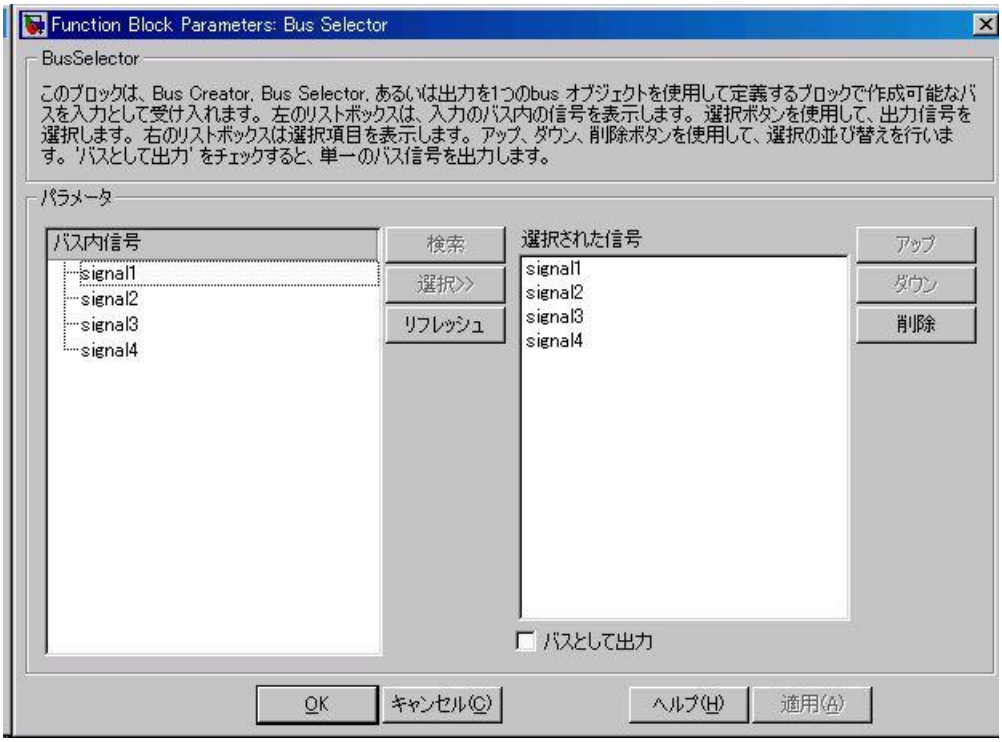
Bus Creator の信号を選択します。

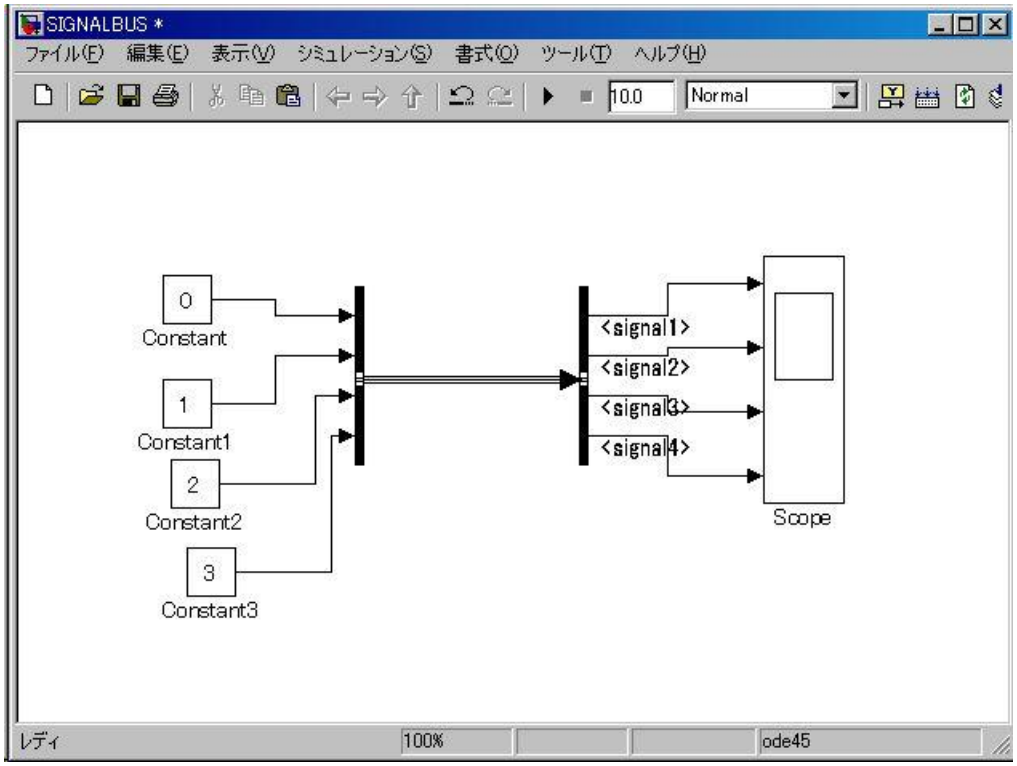




モデル名：SIGNALBUS.mdl

※モデルの場所：CD-R¥付録：よく使われるブロック用モデル¥SIGNALBUS.mdl





Mux

目的　　バスまたはベクトル信号の要素を多重化します。

ライブラリ　　**Signal Routing**

先生用のコメント：

Mux と Demux は、機能的に対となるブロックです。

Mux,Demux は、Bus Creator, Bus Selector とは目的が異なり、

多重化、抽出を目的としたブロックです。

Demux

目的　　バスまたはベクトル信号の要素を抽出して出力します。

ライブラリ　　**Signal Routing**

Demux ブロックは、入力信号の成分を抽出して、成分を個別の信号として出力します。ブロックはベクトル（1 次元配列）信号またはバス信号を受け入れます。

（詳しくは、Using Simulink マニュアルの″信号バス″を参照してください）

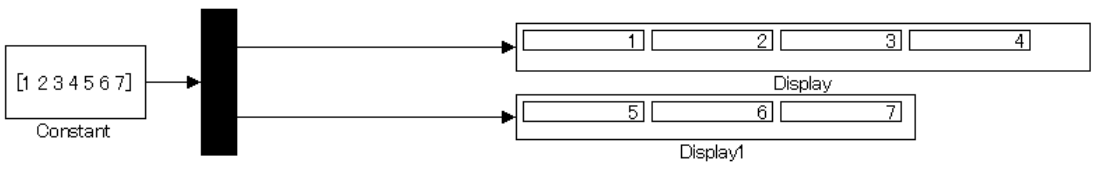
出力数 パラメータによって、各出力ポートの数と（オプションで）次元を指定することができます。出力の次元を指定しなかった場合、ブロックが出力の次元を自動的に決めます。

Demux ブロックは、バス選択モード パラメータが選択されているかどうかによって、ベクトル選択モードまたはバス選択モードで動作します。2 つのモードは、受け入れる信号のタイプに違いがあります。ベクトルモードは、ベクトル状の信号、すなわち、スカラ（1 要素配列）、ベクトル（1 次元配列）、または列あるいは行ベクトル（1 行または 1 列の 2 次元配列）だけを受け入れます。バス選択モードは、Mux ブロックまたは別の Demux ブロックの出力だけを受け入れます。

Demux ブロックの出力数 パラメータは、ブロックの動作モードに応じて、ブロック出力の数と次元を決めます。

モデル名：demuxblock.mdl

※モデルの場所：CD-R¥付録：よく使われるブロック用モデル¥demuxblock.mdl



あとがき

作成協力にあたって、本書の中で紹介されている JMAAB 活動の成果物（スタイルガイドライン・発表資料等）や論議の内容を引用して作成してあります。

まさに今、自動車の制御システム開発をしているエンジニア、マネージャの経験と知識・知恵が生かされている入門書にしましたので、開発をしている光景をイメージしながら学習してほしいと思います。

筆者等から相談を受け JMAAB を立ち上げ、その活動で育てられた私の知見が生かせれば幸いと思い協力させていただきました。この技術分野は、成長スピードが速く、日々新しい技術を学び創造することが多くありますので共に発展させていきましょう。

尾形　永（株式会社ミツバ）

※文書の引用について

本章の内容は、JMAAB からの引用があります。

記載された内容について JMAAB が保証するものではありません。また、書かれている内容に不具合が出た場合でも JMAAB では一切の責任を負いかねます。

参考文献

情報処理推進機構 SEC journal №13 自動車分野の MBD 技術者に必要なスキル(ETSS-JMAAB)

日経 Automotive Technology 2008 年 7 月号 p74

参考 URL

JMAABホームページ	http://jmaab.mathworks.jp/
MathWorks社ホームページ	http://www.mathworks.com/
情報処理推進機構(IPA)	https://sec.ipa.go.jp/

筆者

磯貝　孝夫　　(株式会社両毛システムズ　http://www.ryomo.co.jp/)

須永　充　　(株式会社両毛システムズ　http://www.ryomo.co.jp/)

モデルベース開発入門

平成 23 年度文部科学省委託
東日本大震災からの復旧・復興を担う専門人材育成支援事業
「東北の復興を担う自動車組込みエンジニア育成支援プロジェクト」

【委員名簿】

●推進協議会

◎佐藤　公一	東北電子専門学校　校長
今野　幸信	東北電子専門学校　総務部長
幸田　和明	花壇自動車大学校　校長
與那嶺　尚弘	国立仙台高等専門学校　知能エレクトロニクス工学科　准教授
伊藤　俊	宮城県黒川高等学校　教頭
木村　康弘	宮城県米谷工業高等学校　情報技術科
今野　基	宮城県工業高等学校　教頭
渋谷　義博	トライポッドワークス株式会社 技術本部　プロジェクトマネージメントグループ　プロジェクトマネージャ
白田　正樹	株式会社アベールジャパン
林　毅	宮城県経済商工観光部　産業人材対策課　課長
前田　晋佑	宮城県自動車産業振興室　自動車産業振興班　主事
今井　和彦	宮城県産業技術総合センター　機械電子情報技術部情報技術開発班　副主任研究員
吉岡　正勝	有限会社ザ・ライスマウンド　マーケティングマネージャ

●開発分科会

◎坂藤　健	東北電子専門学校　自動車組込みシステム科 学科主任
村岡　好久	名古屋工学院専門学校 テクノロジー学部 部長
柴原　健次	エキスパート･プロモーション代表
服部　博行	株式会社ヴィッツ　取締役　組込みソフトウェア開発部部長
伊藤　政光	株式会社エスワイシステム　取締役オープンシステム部部長
吉岡　正勝	有限会社ザ・ライスマウンド　マーケティングマネージャ

●講座運営分科会

◎坂藤　健	東北電子専門学校　自動車組込みシステム科 学科主任
小野寺　敬司	花壇自動車大学校　教頭
與那嶺　尚弘	国立仙台高等専門学校　知能エレクトロニクス工学科　准教授
村岡　好久	名古屋工学院専門学校 テクノロジー学部 部長
伊藤　政光	株式会社エスワイシステム　取締役オープンシステム部部長
吉岡　正勝	有限会社ザ・ライスマウンド　マーケティングマネージャ

●事業実施協力専修学校・企業・団体等

古賀　稔邦	日本電子専門学校 校長
石川　浩	日本工学院八王子専門学校　テクノロジーカレッジ　ロボット科
岡田　靖志	浜松情報専門学校　教務課長
村岡　好久	名古屋工学院専門学校 テクノロジー学部 部長
村上　登昭	大阪工業技術専門学校 教員
羽曽部　恭美	カストマシステム株式会社　エンベデッドシステムソリューション事業部事業部長
服部　博行	株式会社ヴィッツ　取締役　組込みソフトウェア開発部部長
伊藤　政光	株式会社エスワイシステム　取締役オープンシステム部部長
富田　茂	キャリア技研株式会社　代表取締役
小林　靖英	株式会社アフレル　代表取締役社長
柴原　健次	エキスパート･プロモーション代表
吉岡　正勝	有限会社ザ・ライスマウンド　マーケティングマネージャ
飯塚　正成	一般社団法人全国専門学校情報教育協会　事務局長

◎＝委員長

平成 23 年度文部科学省委託
東日本大震災からの復旧・復興を担う専門人材育成支援事業
東北の復興を担う自動車組込みエンジニア育成支援プロジェクト
モデルベース開発入門 講師用指導書

平成 24 年 3 月
東北の復興を担う自動車組込みエンジニア育成支援プロジェクト
推進協議会

連絡先：〒164-0003　中野区東中野 1-57-8
（一般社団法人全国専門学校情報教育協会事務局）
電話：03-5332-5081　　FAX：03-5332-5083