

自動運転モデルにおける
モデル統合ガイドライン準拠モデル
解説書
(ver.1.0)

改訂履歴

Rev.	日付	内容	会社名	承認者
1.0	2022/03	初版	AZAPA	市原

目次

1. 概要	5
1.1. ガイドライン準拠モデルの目的	5
1.2. ガイドライン準拠モデルの前提・制約事項	5
1.2.1. 前提(シナリオユースケース)	5
1.2.2. 制約事項	5
1.3. ガイドライン準拠モデルの機能概要	6
2. 動作・使用環境	7
2.1. 動作環境	7
2.2. 使用環境	8
3. 使用方法	9
3.1. シナリオ設定	9
3.2. シミュレーション一括実行	10
3.3. シミュレーション個別実行	10
3.4. モニタの変更方法	11
3.5. シミュレーション動作結果	11
4. ガイドライン準拠モデルの基本構造	13
4.1. 第1階層の構造	13
4.2. 第1階層の構造	13
4.2.1. [A: Driver]システムの構造	14
4.2.2. [B: Vehicle]システムの構造	15
4.2.3. [C: 外部環境]システムの構造	16
4.2.4. [D: Monitor]システムの構造	17
5. ガイドライン準拠モデルの機能仕様	18
5.1. 第1階層の機能仕様	18
5.1.1. 概要	18
5.1.2. データフローダイアグラム	18
5.1.3. 入出力仕様	19
5.1.4. パラメータ仕様	19
5.1.5. その他の情報	23
6. 本モデルにおける記述について	24
6.1. 目的	24
6.2. 前提条件	24
6.3. 診断パラメータ設定	24
6.3.1. ソルバの設定	24
6.3.2. 診断パラメータ設定	24
6.4. ネーミング	24
6.4.1. 使用可能文字	24
6.4.2. サブシステム名	25
6.4.3. 信号名	25
6.4.4. 入出力端子名	26
6.4.5. パラメータ名	26
6.5. システムモデル構成	27
6.6. インターフェイス	28
6.6.1. 種類	28
6.6.2. バス	29
6.7. 単位	29
6.8. パラメータの運用	30

6.9. 型 30

6.10. その他 30

7. 参考文献.....31

1. 概要

1.1. ガイドライン準拠モデルの目的

本モデルは、企業間でのモデルを流通促進するための「自動運転モデルにおけるモデル結合ガイドライン」に準拠し、モデルを実際に行うことで、ガイドラインの理解向上を目的としている。なお、本モデルのプラントシステムについては、「自動車開発におけるプラントモデル I/F ガイドライン^[1]」に準拠して作成した。

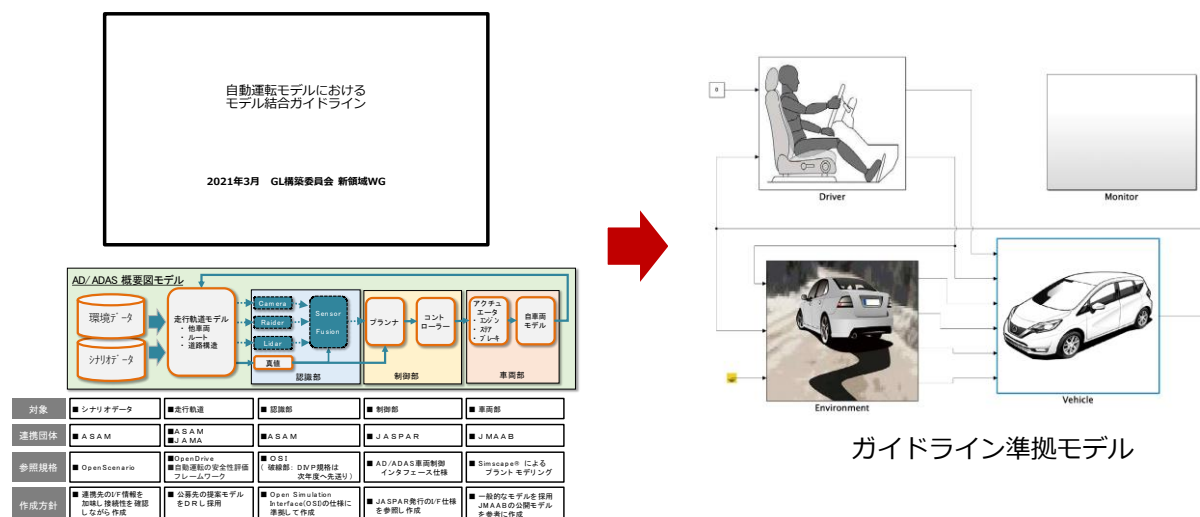


図 1.1 自動運転におけるモデル結合ガイドラインの準拠モデル

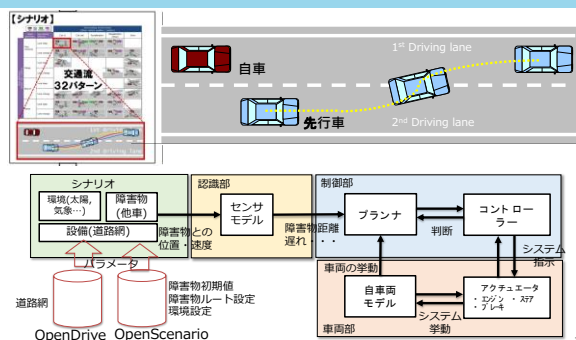
1.2. ガイドライン準拠モデルの前提・制約事項

1.2.1. 前提(シナリオユースケース)

今回は、機能概要明確化のため、高速道路でのカットインをベースにシミュレーションモデルを作成した。他車速度、初期車間距離(カットイン時の車間距離)、初期自車速、他車減速度、初期相対速度を設定し、衝突可否の検討を実施する。

3-1 ユースケース設定

- ユースケース例: 他車がカットインしてきた場合の事例をベースに考える



【評価結果】

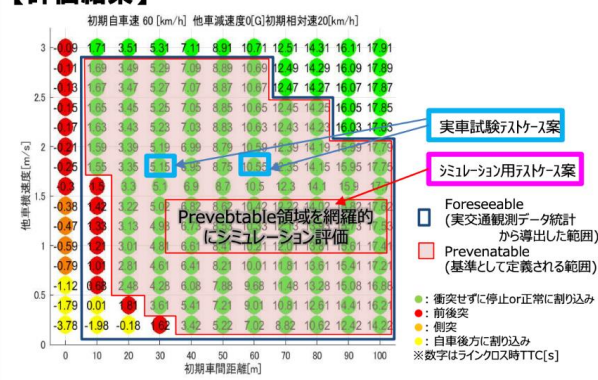


図 1.2 今回適用するシナリオユースケース^[2]

1.2.2. 制約事項

自動車の基礎知識のない方にも理解しやすくするために、自動車の機能や構造を抽象化している。物理領域は、運動系(回転・並進)、電気系を範囲としている。※他の物理領域は今後の課題とする。

今回は、自動車開発でよく使用されているツールとして、Matlab® Simulink®をベースに作成する。

1.3. ガイドライン準拠モデルの機能概要

- 制御機能

- ・ADAS 制御
- ・EPS 制御

- プラント

- ・センサープラント
- ・EPS
- ・パワートレーン
- ・右フロントブレーキ
- ・左フロントブレーキ
- ・右リヤブレーキ
- ・左リヤブレーキ
- ・右フロントタイヤ
- ・左フロントタイヤ
- ・右リヤタイヤ
- ・左リヤタイヤ
- ・フロントサスペンション
- ・リヤサスペンション
- ・車両
- ・車両走行抵抗
- ・路面環境

2. 動作・使用環境

以下にガイドライン準拠モデルの動作環境および使用環境を示す。

2.1. 動作環境

ガイドライン準拠モデルは下記の環境および条件にて動作を保証する。

<OS 環境>

OS	Windows 10 64bit
PC スペック	64bit メモリ 8GB 以上

<モデル使用環境>

ツール名	MATLAB/Simulink
ツールバージョン	・モデル作成 R2019b (64bit) ・Simulink モデルファイルのエクスポートによる 動作対応 R2015a (64bit)以上
形式	.slx
必要ライブラリ (Simulink 標準以外)	METI_Lib_vehicle_model.slx

<モデル計算条件>

ソルバタイプ	固定ステップ ode3 (Dormand-Prince)
サンプリングタイム	0.0025[s]※
最大ステップサイズ	-
最小ステップサイズ	-
許容誤差	-

※発散なくシミュレーション実施できるという観点で固定ステップ ode3 でのサンプリングタイム 0.0025[s]を保証します。ただし、シミュレーション精度は未検証のため、未保証になります。サンプリングタイムは 0.0025s 以外でも動作するようにモデル構築を心がけましたが、現状、未保証になります。

2.2. 使用環境

ガイドライン準拠モデルのシミュレーション時の環境および、ファイルとフォルダ構成を以下に示す。

<ガイドライン準拠モデルのシミュレーション環境>

ガイドライン準拠モデルを使ったシミュレーションの環境を以下に示す。

シミュレーター本体は、モデルファイルとライブラリファイルからなる。

環境・シナリオデータ、AD/ADAS・諸元データ等を入力設定情報として読み込み、演算を行う。

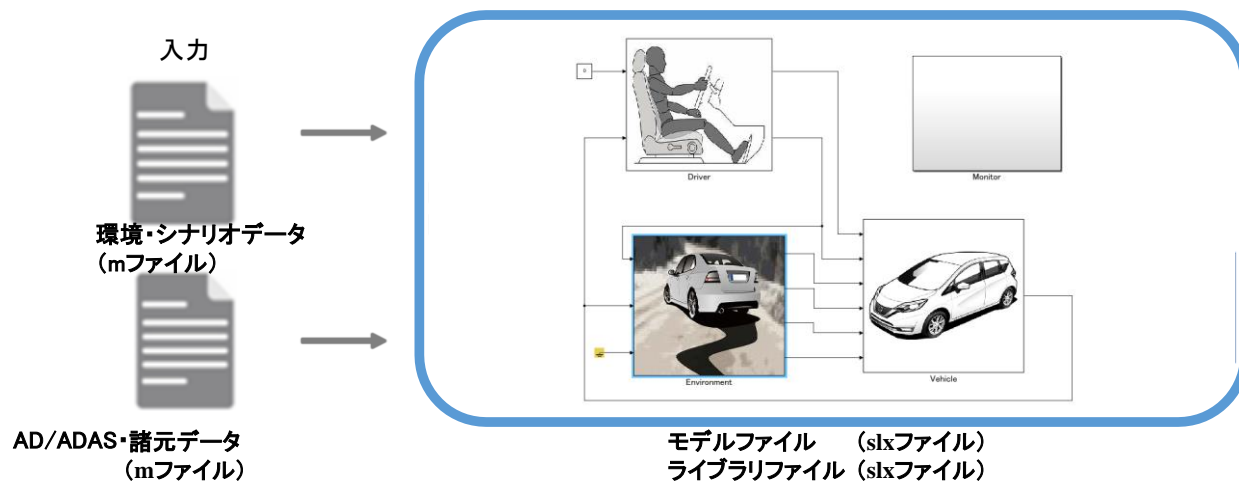


図 2.2 シミュレーション環境

<ガイドライン準拠モデルのファイル構成>

No	ファイル名	説明
1	AutonomousDriving_20220331.slx	シミュレーター本体
2	METI_Lib_vehicle_model	計算ブロックライブラリ
3	init_setting.m	初期設定用スクリプト 諸元データ設定、パス設定を実施
	Introduction_setting_auto_cutin.m	AD/ADAS パラメータ設定用スクリプト
4	plot_data.m	シミュレーション結果プロット用プログラム
5	start_sim.m	パラメータセット ~ プロットまでの全体実行プログラム
6	(サブフォルダ) param	諸元データ格納フォルダ
7	(サブフォルダ) picture	ブロック画像データ格納フォルダ

3. 使用方法

3.1. シナリオ設定

今回は、シナリオを高速道路でのカットインに限定した。
シナリオ諸元は、m スクリプト “Introduction_setting_auto_cutin.m” によって設定される。

下記の手順でシナリオの再設定が可能である。

手順 1 “Introduction_setting_auto_cutin.m” を開く。

手順 2 パラメータを再設定する。

環境データ(レーン幅 | 路側帯…)

シナリオデータ

- 先行車幅 | 先行車長さ | 自車幅 | 自車長さ
- カットイン時間
- カットイン発生時の先行車・自車走行状態

手順 3 保存する。

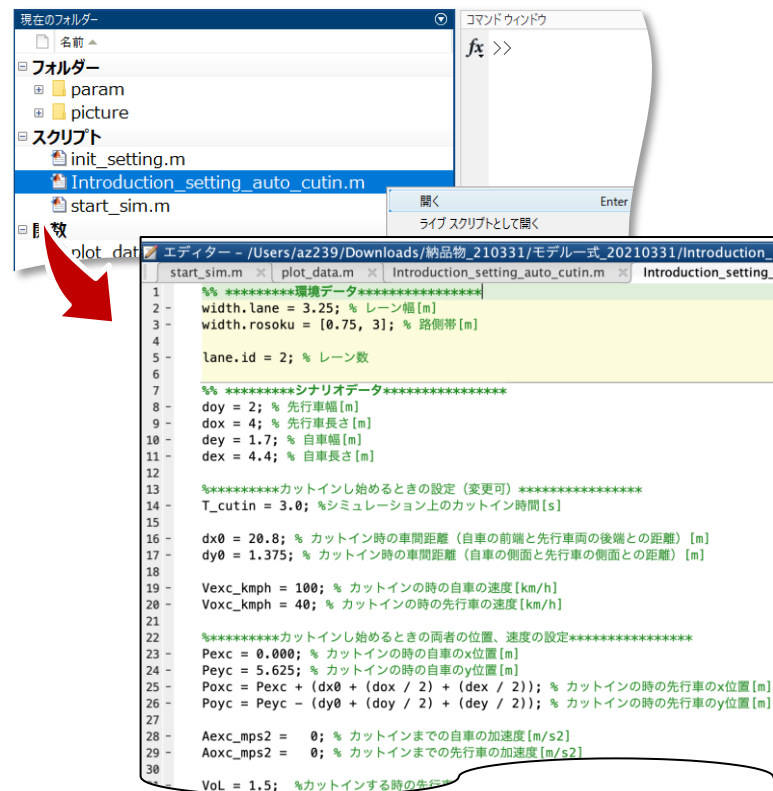


図 3.1 シナリオ設定方法

3.2. シミュレーション一括実行

手順 1 MATLAB R2019b を起動する。

手順 2 “start_sim.m”を実行する。

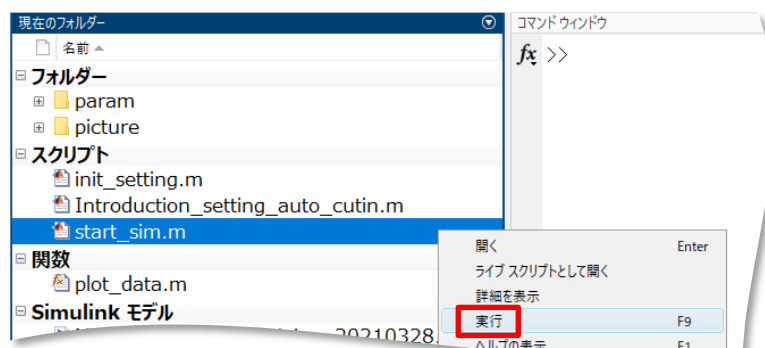


図 3.2 シミュレーション一括実行方法

3.3. シミュレーション個別実行

手順 1 MATLAB R2019b を起動する。

手順 2 “init_setting.m”を実行し、パス設定、諸元設定を行う。

手順 3 “AutonomousDriving_20220331.slx”を起動する。

手順 4 起動したモデルブラウザーの[シミュレーション]タブにある
[実行]ボタンをクリックしてモデルを実行する。

手順 5 MATLAB®デスクトップのコマンドウィンドウに“plot_data(0.5);”と入力し、Enter キーを押下する。

* ()内の数値はモニタ表示用に間引きが考慮されたステップ時間を入力する。

表示される Figure ウィンドウよりシミュレーション結果を確認する。

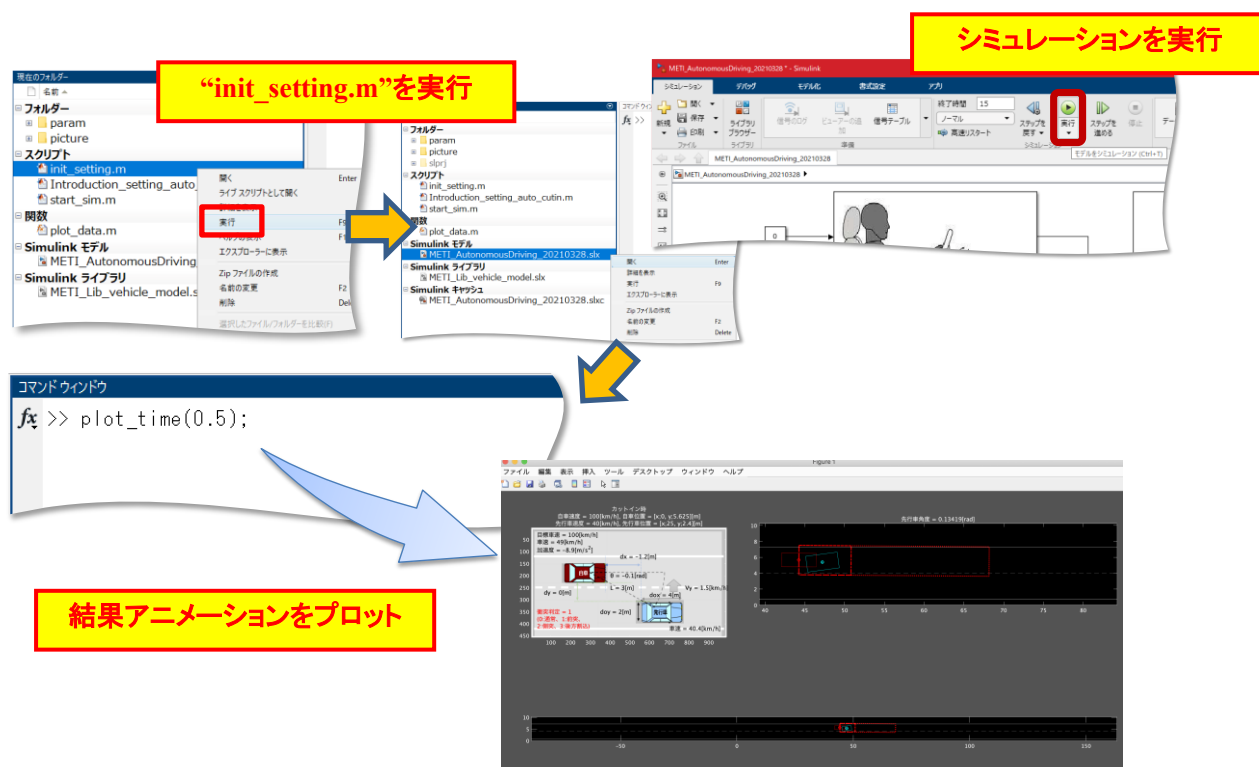


図 3.3 シミュレーション個別実行方法

3.4. モニタの変更方法

表示する道路の範囲は、“plot_data.m”で変更が可能である。

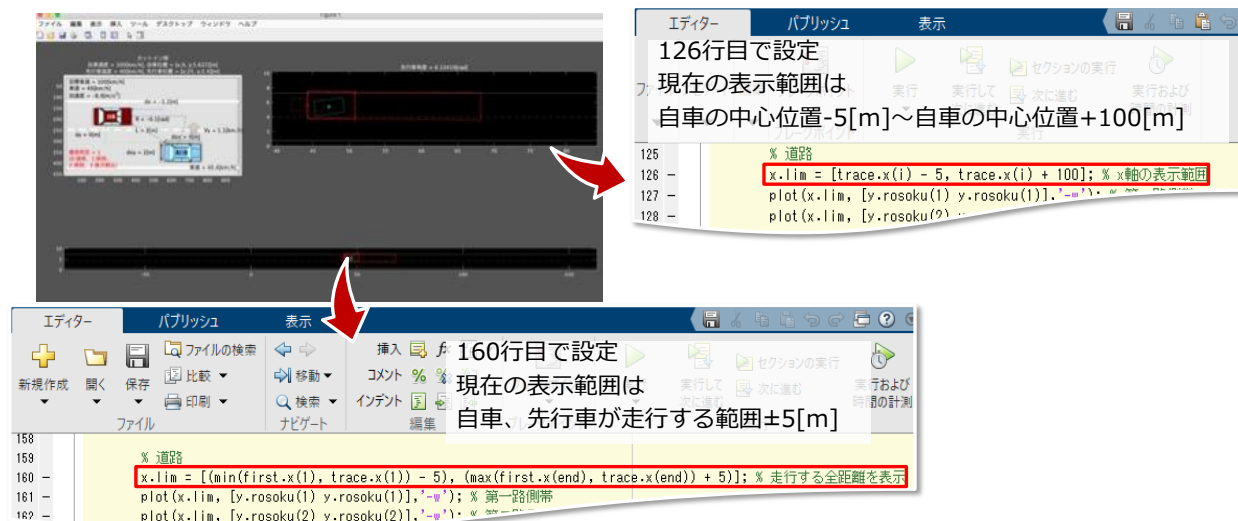
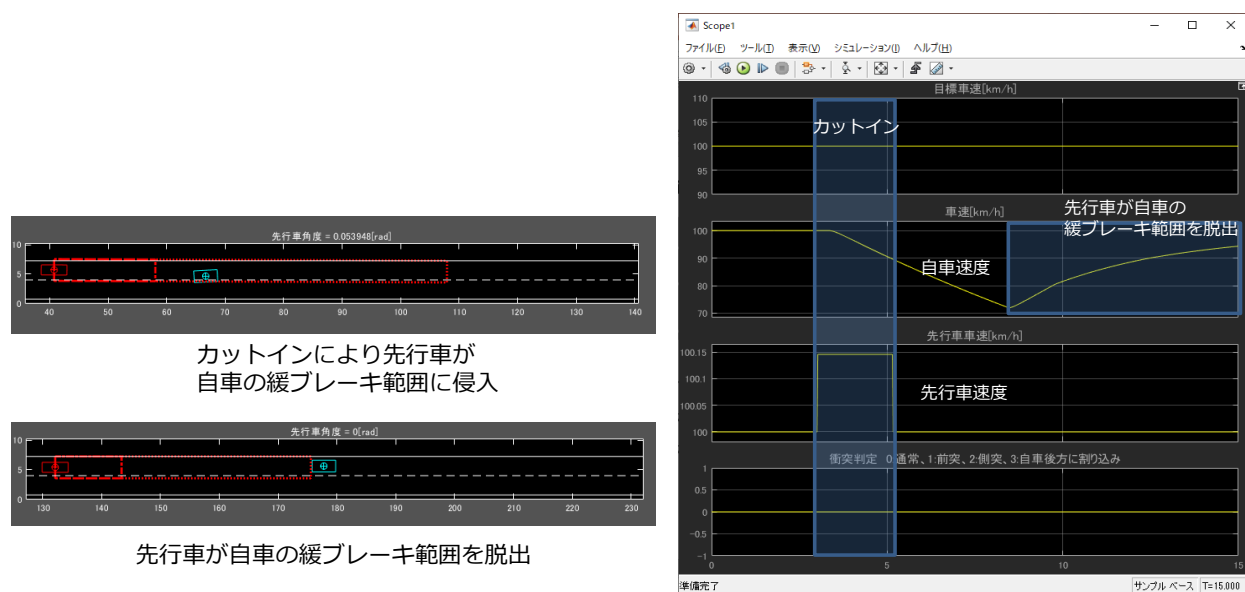


図 3.4 シミュレーション個別実行方法

3.5. シミュレーション動作結果

検証① 自車の车速 100[km/h]、先行車の车速 100[km/h]でカットイン

自車の车速 100[km/h]、先行車の车速 100[km/h]で
カットインした結果、先行車が自車の緩ブレーキ範囲に侵入したため自車は減速し、
先行車が自車の緩ブレーキ範囲を脱出した後に加速した。
また、緩ブレーキにより衝突することはなかった。

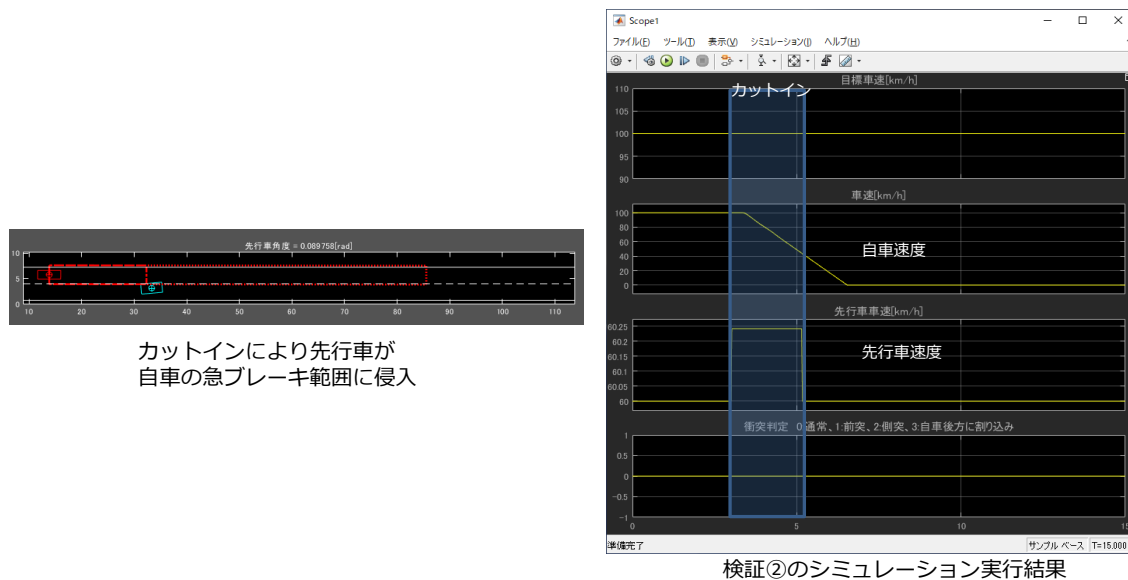


検証①のシミュレーション実行結果

図 3.5.1 検証①シミュレーション実行結果

検証② 自車の車速 100[km/h]、先行車の車速 60[km/h]でカットイン

自車の車速 100[km/h]、先行車の車速 60[km/h]でカットインした結果、先行車が自車の急ブレーキ範囲に入ったため自車は急ブレーキにて停止した。また、急ブレーキにより衝突することはなかった。



23

図 3.5.2 検証②シミュレーション実行結果

検証③ 自車の車速 100[km/h]、先行車の車速 40[km/h]でカットイン

自車の車速 100[km/h]、先行車の車速 40[km/h]でカットインした結果、先行車が自車の急ブレーキ範囲に入ったため自車は急ブレーキにて停止した。しかし、カットイン後の車間距離が短かったため、前突した。

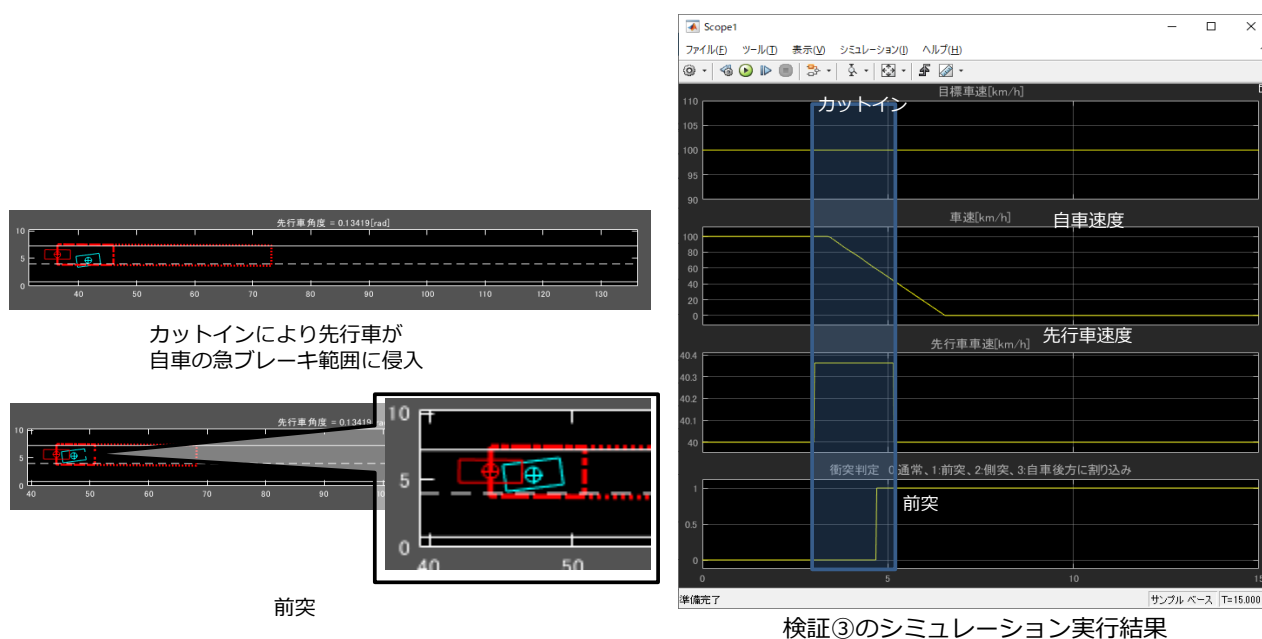


図 3.5.3 検証③シミュレーション実行結果

4. ガイドライン準拠モデルの基本構造

以下に、ガイドライン準拠モデルの第 1 階層（トップ階層）および第 2 階層の構造と、それぞれの階層がもつシステム（Simulink のサブシステムで機能単位により分類しているもの）を説明する。

4.1. 第 1 階層の構造

以下に、ガイドライン準拠モデルの第 1 階層（トップ階層）および第 2 階層の構造と、それぞれの階層がもつシステム（Simulink のサブシステムで機能単位により分類しているもの）を説明する。

4.2. 第 1 階層の構造

以下にガイドライン準拠モデルの第 1 階層（モデル全体）の構造を示す。

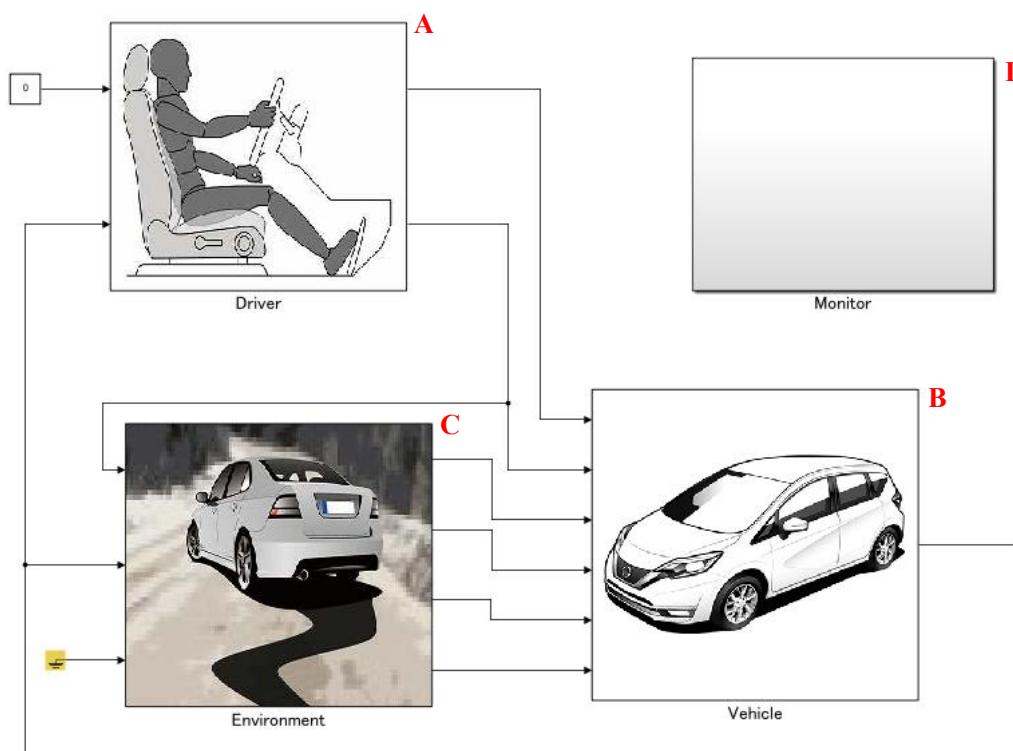


図 4.2 ガイドライン準拠モデル第 1 階層の構造

以下にガイドライン準拠モデルの第 1 階層がもつシステムとその機能概要を示す。

表中の No.(A,B,C,D)は、図 4.1 のシステムを指したローマ字記号を表す。

表 4.2 ガイドライン準拠モデル第 1 階層（モデル全体）のもつシステムとその機能概要

No.	システム名	機能概要
A	Driver	ステアリングの操作と自車速度の設定を行う。
B	Vehicle	距離測定センサとドライバのステアリングの操作を読み取り、ADAS 制御（自動運転）が先行車との車間距離調整（駆動トルクとブレーキ操作）を行う。
C	Environment	車両の走行シナリオ（軌道）と環境を設定する。
D	Monitor	Vehicle システム内の車両状態やステアリング（EPS）の変数をモニタする。

第 2 階層の構造

以下にガイドライン準拠モデルの第 2 階層の各システムの構造を示す。

4.2.1. [A: Driver]システムの構造

以下にガイドライン準拠モデルの第 2 階層の Driver システムの構造を示す。

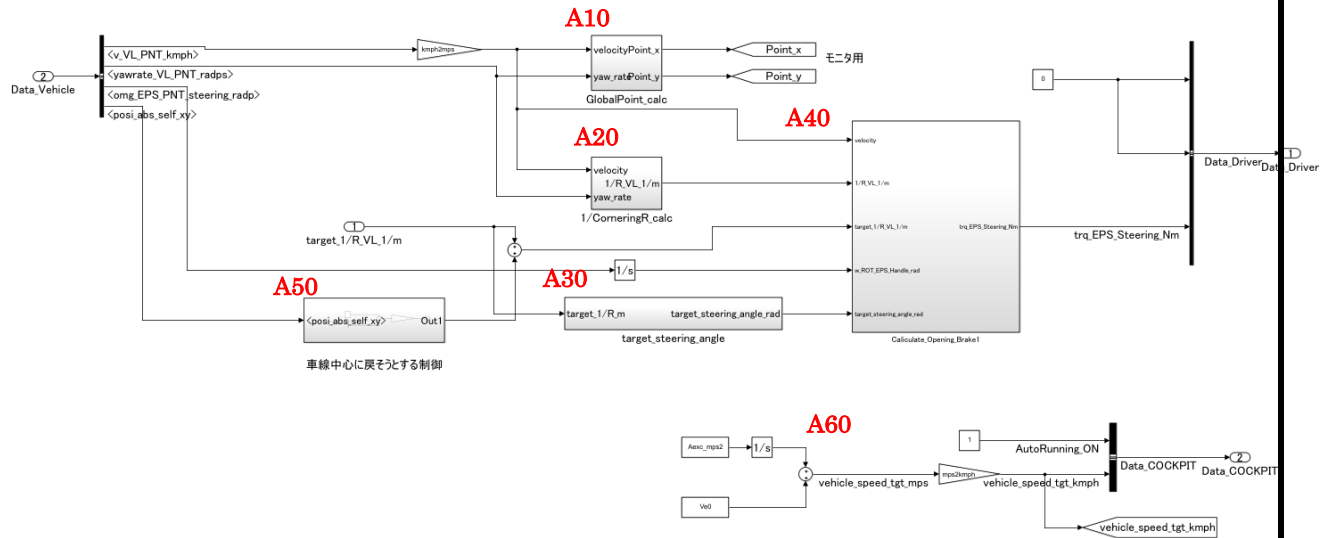


図 4.2.1. 第 2 階層 Driver システムの構造

以下にガイドライン準拠モデルの第 2 階層 Driver システムがもつシステムとその機能概要を示す。
表中の No.(A10～A60)は、図 4.2.1 のシステムを指し示したローマ字記号のものを表す。

表 4.2.1. 第 2 階層 Driver システムのもつシステムとその機能概要

No.	システム名	機能概要
A10	車両座標位置計算	車両速度とヨー角から車両の X 軸、Y 軸それぞれの座標を算出する。ヨー角はヨーレート の積分から導く。
A20	曲率算出	車両速度とヨーレートからカーブの曲率を算出する。
A30	目標操舵角計算	目標曲率とホイールベース、ラック&ピニオンのギヤレシオとナックルアームの長さから 目標操舵角を算出する。
A40	操舵トルク計算	舵トルクのフィードバック制御
A50	車線ずれ計算	車線中央からのずれを算出し、中央に戻るよう操舵トルクにフィードバックする。
A60	速度設定	自車の初速度+加速を設定

4.2.2. [B: Vehicle]システムの構造

以下にガイドライン準拠モデルの第 2 階層の Vehicle システムの構造を示す。

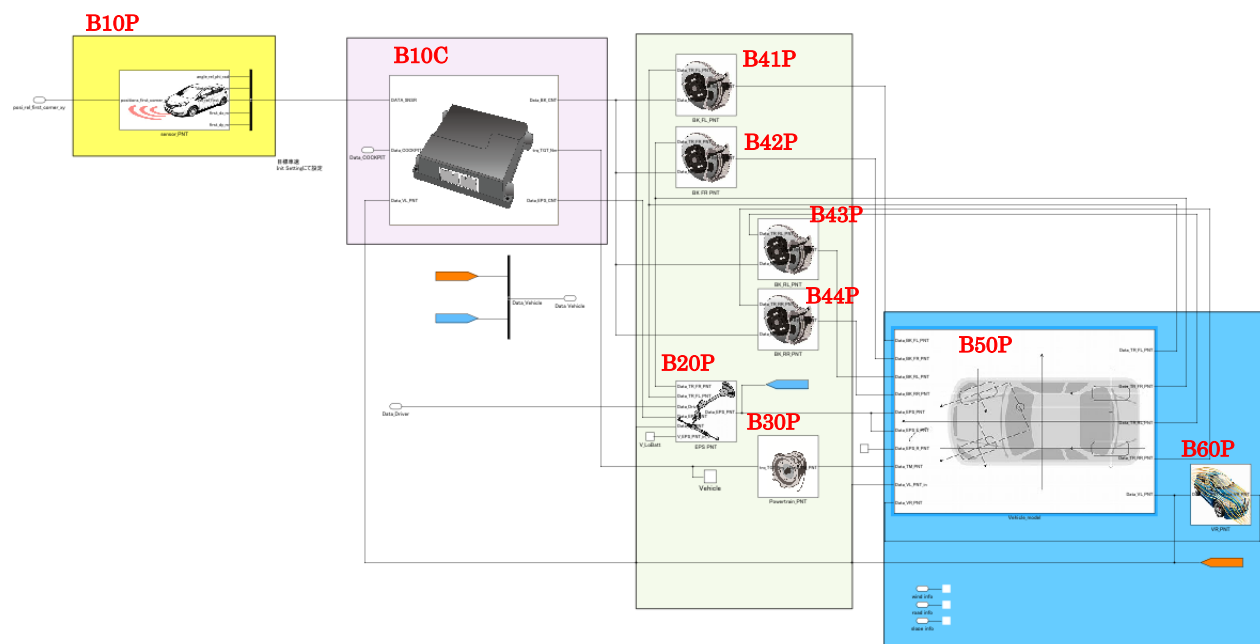


図 4.2.2. 第 2 階層 Vehicle システムの構造

以下にガイドライン準拠モデルの第 2 階層 Vehicle システムがもつシステムとその機能概要を示す。表中の No. は図 4.2.2 のシステムを指し示したローマ字記号のものを表す。また、B10C の最後の文字 C は Controller(制御)であることを意味し、B10P の最後の文字 P は Plant(プラント)であることを意味する。

表 4.2.2 第 2 階層 Vehicle システムのもつシステムとその機能概要

No.	システム名	機能概要
B10C	ADAS_CNT	自動運転(加速/減速)制御と車両目標駆動トルクを算出する。
B10P	sensor_CNT	先行車を検知する。車間距離、相対速度、先行車サイズを認識して ADAS_CNT に出力する。
B20P	EPS_PNT	ステアリングトルクからタイヤ操舵角速度を算出する。
B30P	Powertrain_PNT	目標トルク値を VL_PNT に出力する。 計算は何も行わず、ADAS_CNT の出力した目標トルク値をそのまま、VL_PNT に出力する。
B41P	BK_FL_PNT	左フロントのドライブシャフトにブレーキトルクを発生する。
B42P	BK_FR_PNT	右フロントのドライブシャフトにブレーキトルクを発生する。
B43P	BK_RL_PNT	左リアのドライブシャフトにブレーキトルクを発生する。
B44P	BK_RR_PNT	右リアのドライブシャフトにブレーキトルクを発生する。
B50P	VL_PNT	<ul style="list-style-type: none"> ・前後左右タイヤの接地面の速度の算出や路面の摩擦係数の設定を行う。 ・フロント左右のトルク分配を行う。 ・前後左右のドライブシャフトの回転運動を直進運動に変換する。 ・前後左右転がり抵抗とタイヤのグリップ力を算出する。 ・前後サスペンションの上下動を算出する ・3 軸 6 自由度の車両速度を算出する。
B60P	VR_PNT	走行抵抗を算出する。

4.2.3. [C: 外部環境]システムの構造

以下にガイドライン準拠モデルの第2階層の Environment システムの構造を示す。

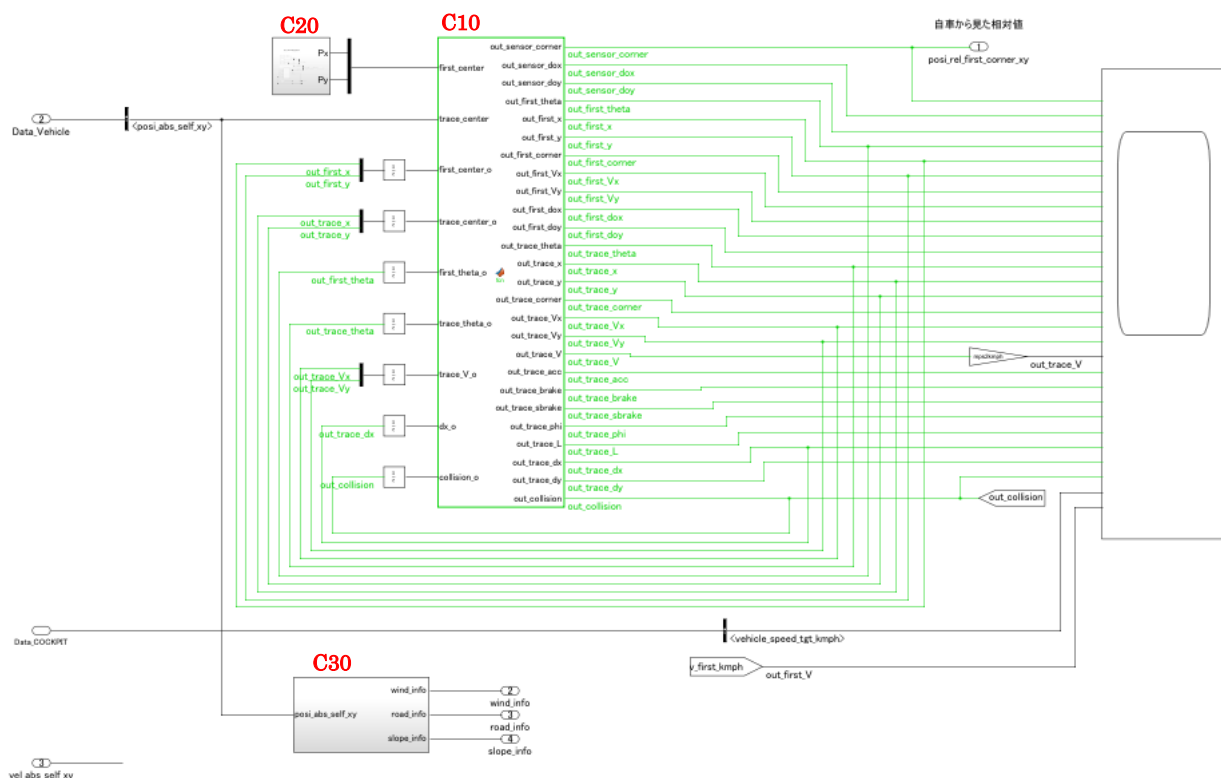


図 4.2.3. 第2階層 Environment システムの構造

以下にガイドライン準拠モデルの第2階層 Vehicle システムがもつシステムとその機能概要を示す。
表中の No.(C10~C30)は、図 4.2.3 のシステムを指し示したローマ字記号のものを表す。

表 4.2.3 第2階層 Vehicle システムのもつシステムとその機能概要

No.	システム名	機能概要
C10	走行起動モデル	自車位置と先行車の位置(絶対位置)を算出する。
C20	先行車位置起動モデル	先行車の軌道を計算する。
C30	環境モデル	環境の風や路面情報を出力する。

4.2.4. [D: Monitor]システムの構造

以下にガイドライン準拠モデルの第2階層のMonitorシステムの構造を示す。



図 4.2.4. 第2階層 Monitor システムの構造

本システムでは Driver, Enviroment で計算された信号を Monitor する。

本システムではこれ以降のシステム階層をもたない。

5. ガイドライン準拠モデルの機能仕様

5.1. 第1階層の機能仕様

ガイドライン準拠モデル第1階層(モデル全体)の機能仕様を記述する。

5.1.1. 概要

高速道路でのカットインをユースケースにシミュレーションモデルを作成した。

先行車速度、初期車間距離(カットイン時の車間距離)、初期自車速、他車減速度、初期相対速度を設定し、自動運転車両の衝突可否の検討を実施する。Driver モデルは道路中央の走行を維持するようにステアトルクを Vehicle モデルに出力する。車両の ADAS_CNT が Sensor_PNT(距離センサ)でのカットインしてきた先行車両を検知し、ブレーキ指示を出して、衝突回避を試みる。外部環境ブロックでは、車両の走行環境を設定する。Monitor ブロックでは、ドライバモデルや車両モデル内の各種変数を見ることができる。

5.1.2. データフローダイアグラム

下に本システムのデータフローダイアグラムを示す。

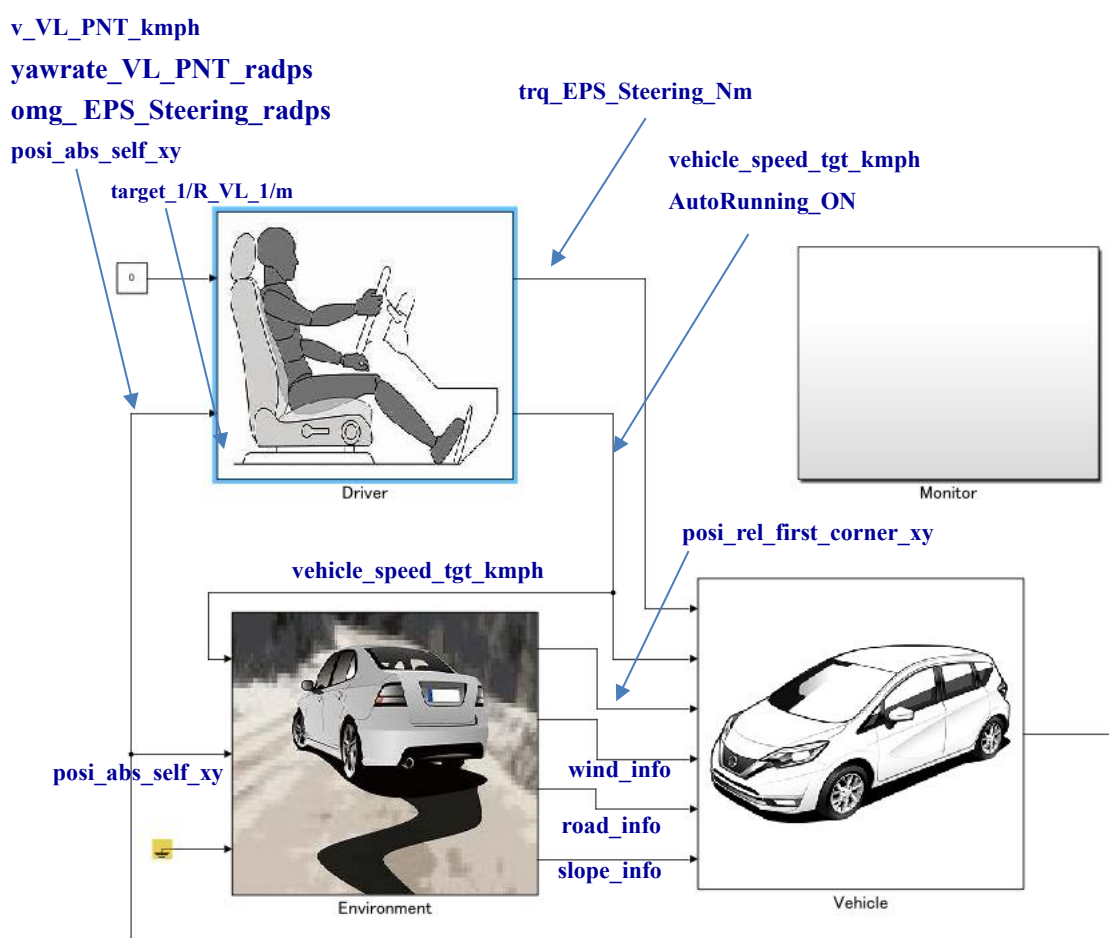


図 5.2.2. データフローダイアグラム: 第1階層システム

5.1.3. 入出力仕様

以下にガイドライン準拠モデル全体の入出力仕様を示す。

入力			
名称	単位	範囲	説明
target_1/R_VL_1/m	1/m	TBD	目標曲率(直線走行対応のため逆数とした)
v_VL_PNT_kmph	kmph	TBD	車両速度
yawrate_VL_PNT_radps	rad/s	TBD	車体のヨーレート
omg_EPS_Steering_radps	rad/s	TBD	操舵角速度
posi_abs_self_xy	m	TBD	自車のグローバル絶対位置
trq_EPS_Steering_Nm	Nm	TBD	操舵トルク
AutoRunning_ON	-	[0,1]	自動運転 ON/OFF フラグ
vehicle_speed_tgt_kmph	kmph	TBD	車両目標速度
posi_rel_first_corner_xy	m	TBD	自車から見た先行車の相対位置
wind_info	TBD	TBD	風向き、風速 (現状は"0" 今後定義要議論)
road_info	-	TBD	4 輪の各 μ を算出(現状は 4 輪で同じ μ 値)
slope_info	%	TBD	勾配 (現状は"0"勾配無し 今後要議論)
出力			
名称	単位	範囲	名称
trq_EPS_Steering_Nm	Nm	TBD	操舵トルク
AutoRunning_ON	-	[0,1]	自動運転 ON/OFF フラグ
vehicle_speed_tgt_kmph	kmph	TBD	車両目標速度
v_VL_PNT_kmph	kmph	TBD	車両速度
posi_abs_self_xy	m	TBD	自車のグローバル絶対位置
yawrate_VL_PNT_radps	rad/s	TBD	車体のヨーレート
omg_EPS_Steering_radps	rad/s	TBD	操舵角速度
posi_rel_first_corner_xy	m	TBD	自車から見た先行車の相対位置
wind_info	TBD	TBD	風向き、風速 (現状は"0" 今後定義要議論)
road_info	-	TBD	4 輪の各 μ を算出(現状は 4 輪で同じ μ 値)
slope_info	%	TBD	勾配 (現状は"0"勾配無し 今後要議論)

5.1.4. パラメータ仕様

以下にガイドライン準拠モデル全体のパラメータ仕様を示す。

変数名	設定値	単位	説明
ACC_P_Gain	150	-	フィードバック制御 P ゲイン値
ACC_I_Gain	0	-	フィードバック制御 I ゲイン値
ACC_D_Gain	0	-	フィードバック制御 D ゲイン値
Brk_PGain	-5000	-	ブレーキ力 Gain
Brk_UL	5000	N	ブレーキ制動力上限値
Brk_LL	0	N	ブレーキ制動力下限値
Driver_Brake_Const1	1	-	停止時(目標車速が 0km/h)のブレーキ踏込量
Driver_Brake_Const3	0	-	加速時(目標車速が正の時)のブレーキ踏込量
Driver_Brake_Switch_Const2	0.1	Km/h	ドライバブレーキモデル時停止判定
Driver_Brk_sh	0.01	Km/h/sec	加速判定
Thresh_Stop_vCar	0.1	Km/h	車速停止条件

変数名	設定値	単位	説明
drivmode_STOP	1	-	ドライバ状態 1:停止
drivmode_ACC	2	-	ドライバ状態 2:加速
drivmode_GensokuRikko	3	-	ドライバ状態 3:減速(力行)
drivmode_GensokuKaisei	4	-	ドライバ状態 4:減速(回生)
drivmode_CONST	5	-	ドライバ状態 5:定常走行
fuel_oguard	0.02	L	燃費 0 割防止
fuelcomsnp_0	0	Km/L	0 割時燃費
Driver_Steer_radius_Pgain	10000	-	フィードバック制御 P ゲイン値
Driver_Steer_radius_Igain	0	-	フィードバック制御 I ゲイン値
Driver_Steer_angle_Pgain	500	-	フィードバック制御 P ゲイン値
Driver_Steer_angle_Igain	0	-	フィードバック制御 I ゲイン値
Driver_Steer_v_deadzone_mps	0.2	-	極低速用操舵制御切り替え速度
Driver_Steer_zerocross_gain	1	-	極低速用操舵制御切り替え速度ゲイン
EPS_CNT_K1_EPS_ECU	1	-	ハンドル操舵力のアシスト係数
EPS_CNT_C2_EPS_ECU	300	-	EPS 制御ゲイン
EPS_CNT_K2_EPS_ECU	0.5	-	モータ速度比例ゲイン(ダンピング成分)
EPS_PNT_Inertia_EPS_Steering	0.038	kgm ²	ステアリングホイールイナーシャ
EPS_PNT_K_EPS_TorsionBar	135	Nm/rad	トーションバーねじり剛性
EPS_PNT_D_EPS_TorsionBar	22.6495	Nm/(rad/s)	トーションバーのねじり減衰
EPS_PNT_LocktoLock_rad	6.2832	rad	ロック to ロック(2 回転)
EPS_PNT_Ratio_EPS_Motor2Pinion	18	-	モータギヤレシオ
EPS_PNT_Ratio_EPS_Pinion2Rack	0.01	m/rad	ピニオン回転からラック直線運動への変換
EPS_PNT_M_EPS_rack_kg	100	kg	EPS のラック質量
EPS_PNT_D_EPS_rack_Nspm	500	N/(m/s)	EPS ラックの減衰
EPS_PNT_R_EPS_Motor	0.01	Ω	モータ巻線抵抗
EPS_PNT_k_EPS_Motor_radps2Volt	0.024	V/(rad/s)	モータ起電力定数
EPS_PNT_length_knuckle_arm_FR_m	0.2	m	FR ナックルアーム長
EPS_PNT_length_knuckle_arm_FL_m	0.2	m	FL ナックルアーム長
EPS_PNT_length_knuckle_arm_RR_m	0.2	m	RR ナックルアーム長
EPS_PNT_length_knuckle_arm_RL_m	0.2	m	RL ナックルアーム長
BK_PNT_Tau_brake	0.15	-	ブレーキプラントモデル 制動力時定数
BK_PNT_Pow_UL	5000	N	ブレーキ制動力上限値
BK_PNT_Pow_LL	0	N	ブレーキ制動力下限値
BK_PNT_brake_balance_front	0.6	-	ブレーキバランスフロント割合
TIRE_PNT_F_cor_tire_N	<4x17>	N	コーナリングフォースマップ
TIRE_PNT_W_cor_tire_N	<1x4>	N	コーナリングフォースマップ x-タイヤ鉛直荷重
TIRE_PNT_rad_cor_tire_rad	<1x17>	rad	コーナリングフォースマップ y-タイヤスリップ角
TIRE_PNT_length_pneumatic_trail_FL_m	-0.005	m	ニューマチックトレール
TIRE_PNT_length_pneumatic_trail_FR_m	-0.005		
TIRE_PNT_length_pneumatic_trail_RL_m	-0.005		
TIRE_PNT_length_pneumatic_trail_RR_m	-0.005		
TIRE_PNT_sgn_tire	1000000	-	タイヤの角度符号判定用
TIRE_PNT_lowergurad_rad_cor_tire_rad	-1.5708	rad	タイヤ切れ角下限ガード
TIRE_PNT_uppergurad_rad_cor_tire_rad	1.5708	rad	タイヤ切れ角上限ガード
TIRE_PNT_v_zerocross_gain	1	m/s	車両速度がこの設定速度[m/s]以下のときコーナリングフォースを滑らかに 0[N]に落とす

変数名	設定値	単位	説明
TIRE_PNT_z_stiffness_FL_Npm	260000	N/m	タイヤ上下硬さ
TIRE_PNT_z_stiffness_FR_Npm	260000		
TIRE_PNT_z_stiffness_RL_Npm	260000		
TIRE_PNT_z_stiffness_RR_Npm	260000		
TIRE_PNT_z_tire_FL_ini_m	0.0143	m	タイヤ初期変位
TIRE_PNT_z_tire_FR_ini_m	0.0143		
TIRE_PNT_z_tire_RL_ini_m	0.0094		
TIRE_PNT_z_tire_RR_ini_m	0.0094		
TIRE_PNT_z_stiffness_FL_Npm	260000	N/m	タイヤ上下硬さ
TIRE_PNT_z_stiffness_FR_Npm	260000		
TIRE_PNT_z_stiffness_RL_Npm	260000		
TIRE_PNT_z_stiffness_RR_Npm	260000		
TIRE_PNT_z_tire_FL_ini_m	0.0143	m	タイヤ初期変位
TIRE_PNT_z_tire_FR_ini_m	0.0143		
TIRE_PNT_z_tire_RL_ini_m	0.0094		
TIRE_PNT_z_tire_RR_ini_m	0.0094		
SUS_PNT_unsprung_mass_FR_kg	45	kg	ばね下質量[kg]
SUS_PNT_unsprung_mass_FL_kg	45		
SUS_PNT_unsprung_mass_RR_kg	35		
SUS_PNT_unsprung_mass_RL_kg	35		
SUS_PNT_tow_angle_FR_degree	-0.2	degree	トー角度設定[degree] トーインが正
SUS_PNT_tow_angle_FL_degree	0.2		
SUS_PNT_tow_angle_RR_degree	-0.1		
SUS_PNT_tow_angle_RL_degree	0.1		
SUS_PNT_k_front_untroll_Npm	7000	N/m	フロントアンチロールバー剛性
SUS_PNT_k_rear_untroll_Npm	7000		
SUS_PNT_k_front_sus_Npm	25000	N/m	バネ剛性
SUS_PNT_k_rear_sus_Npm	30000		
SUS_PNT_z_front_sus_ini_m	0.1313	m	バネ初期変位
SUS_PNT_z_rear_sus_ini_m	0.0702		
SUS_PNT_front_sus_speed_mps	<29x1>	m/s	ダンパスピード
SUS_PNT_rear_sus_speed_mps			
SUS_PNT_front_sus_rate_Nspm	<29x1>	N/(m/s)	ダンパレート
SUS_PNT_rear_sus_rate_Nspm			
SUS_PNT_front_sus_fric_N	40	N	摩擦力
SUS_PNT_rear_sus_fric_N	30		
SUS_PNT_front_sus_fric_gain	10000	-	速度 0 付近の時、摩擦力を滑らかにする係数
SUS_PNT_rear_sus_fric_gain	10000		
SUS_PNT_RollSteer_FR_rad	<2x2>	rad	ロールステアマップ
SUS_PNT_RollSteer_RR_rad			
SUS_PNT_RollSteer_FR_SamePhaseStroke_m	<1x2>	m	ロールステアマップ x-同位相ストローク
SUS_PNT_RollSteer_RR_SamePhaseStroke_m			
SUS_PNT_RollSteer_FR_AntiPhaseStroke_m	<1x2>	m	ロールステアマップ y-逆位相ストローク
SUS_PNT_RollSteer_RR_AntiPhaseStroke_m			
SUS_PNT_CamberAngle_FR_rad	<2x2>	rad	キャンバー角マップ
SUS_PNT_CamberAngle_RR_rad			
SUS_PNT_CamberAngle_FR_SamePhaseStroke_m	<1x2>	m	キャンバー角マップ x-同位相ストローク

変数名	設定値	単位	説明
SUS_PNT_CamberAngle_RR_SamePhaseStroke_m			
SUS_PNT_CamberAngle_FR_AntiPhaseStroke_m SUS_PNT_CamberAngle_RR_AntiPhaseStroke_m	<1x2>	m	キャンバー角マップ y-逆位相ストローク
SUS_PNT_LinkMomentArm_xaxis_FR_m SUS_PNT_LinkMomentArm_xaxis_RR_m	<2x2>	m	モーメントアームリンク x 軸マップ
SUS_PNT_LinkMomentArm_xaxis_FR_SamePhaseStroke_m SUS_PNT_LinkMomentArm_xaxis_RR_SamePhaseStroke_m	<1x2>	m	モーメントアームリンク x 軸マップ x-同位相ストローク
SUS_PNT_LinkMomentArm_xaxis_FR_AntiPhaseStroke_m SUS_PNT_LinkMomentArm_xaxis_RR_AntiPhaseStroke_m	<1x2>	m	モーメントアームリンク x 軸マップ y-逆位相ストローク
SUS_PNT_LinkMomentArm_yaxis_FR_m SUS_PNT_LinkMomentArm_yaxis_RR_m	<2x2>	m	モーメントアームリンク y 軸マップ
SUS_PNT_LinkMomentArm_yaxis_FR_SamePhaseStroke_m SUS_PNT_LinkMomentArm_yaxis_RR_SamePhaseStroke_m	<1x2>	m	モーメントアームリンク y 軸マップ x-同位相ストローク
SUS_PNT_LinkMomentArm_yaxis_FR_AntiPhaseStroke_m SUS_PNT_LinkMomentArm_yaxis_RR_AntiPhaseStroke_m	<1x2>	m	モーメントアームリンク y 軸マップ y-逆位相ストローク
SUS_PNT_LongitudinalComplianceSteer_FR_rad SUS_PNT_LongitudinalComplianceSteer_RR_rad	<1x2>	rad	横方向ステアコンプライアンス角速度
SUS_PNT_LongitudinalComplianceSteer_FR_Fx_N SUS_PNT_LongitudinalComplianceSteer_RR_Fx_N	<1x2>	N	横方向ステアコンプライアンス力
SUS_PNT_LateralComplianceSteer_FR_rad SUS_PNT_LateralComplianceSteer_RR_rad	<1x2>	rad	縦方向ステアコンプライアンス角速度
SUS_PNT_LateralComplianceSteer_FR_Fy_N SUS_PNT_LateralComplianceSteer_RR_Fy_N	<1x2>	N	縦方向ステアコンプライアンス力
VL_PNT_Vehicle_theta_degree	0	deg	登坂角度
VL_PNT_V_wind	0	m/s	風速
VL_PNT_l_wheelbase_m	2.7	m	車両ホイールベース
VL_PNT_l_center2front_m	1.0714	m	フロント～重心距離
VL_PNT_l_center2rear_m	1.6286	m	リア～重心距離
VL_PNT_width_tread_front_m	1.5	m	フロントトレッド幅
VL_PNT_width_tread_rear_m	1.5	m	リヤトレッド幅
VL_PNT_hight_roll_center_front_m	0.1	m	フロントロールセンター高さ
VL_PNT_hight_roll_center_rear_m	0.16	m	リアロールセンター高さ
VL_PNT_hight_roll_center_gravity_m	0.1362	m	重心ロールセンター高さ
VL_PNT_hight_pitch_center_gravity_m	0.1	m	重心ピッチセンター高さ
VL_PNT_Inertia_pitch_axis	1500	kgm ²	ピッチ軸周リ慣性モーメント
VL_PNT_Inertia_roll_axis	400	kgm ²	ロール軸周リ慣性モーメント
VL_PNT_Inertia_yaw_axis	1300	kgm ²	ヨー軸周リ慣性モーメント
VL_PNT_slip_angle_vel_guard_mps	1	m/s	重心スリップ角の車両速度で割る計算の 発散防止の基準速度
ROAD_ENV_myu_road_surface	0.9	-	路面摩擦係数
end_time	15	s.	シミュレーション時間
sampling_time	0.0025	s	サンプリング周期
num_tws_mabiki	10	-	エフェクト ToWorkspace 間引き数
g	9.8	m/s ²	重力加速度
HIJU	783	g/L	レギュラーガソリン比重[
percent2mujigen	0.01	-	%→無次元

変数名	設定値	単位	説明
mujigen2percent	100	-	無次元→%
radpsec2rpm	$60/(2*\pi)$	-	rad/sec → rpm
radps2rpm	$60/(2*\pi)$		rad/sec → rpm
rpm2radps	$2*\pi/60$		rpm → rad/s
kmph2mps	1000/3600	-	km/h → m/sec
mps2kmph	3.6	-	m/sec → km/h
h2sec	3600	-	Hour -> sec
sec2h	1/3600	-	sec -> Hour
mps2kmps	1/1000	-	m/s -> km/s
deg2rad	$\pi/180$	-	degree → rad
rad2deg	$180/\pi$	-	rad → degree
g2L	1/Fuel_densit	-	g→L ガソリン
ON	1	-	-
OFF	0	-	-
ZERO	0	-	-
ONE	1	-	-
M_car	1260	kg	車両重量
M_front	760	kg	フロント車両重量
M_rear	500	kg	リヤ車両重量
Cd	0.4	-	空気抵抗係数
A	1.5	m ²	前面投影面積
vel_max	200	Km/h	最大車両速度（発散防止用）
myu_road_surface	0.9	-	路面摩擦係数

※色抜きのパラメータは全システム共通

5.1.5. その他の情報

なし

6. 本モデルにおける記述について

6.1. 目的

本モデルを理解するためのモデルの記述のやり方を下記に示す。
Matlab® Simulink® の記述の仕方をここで規定するものではない。

6.2. 前提条件

本モデルの作成に至って参考としたものは、JMAAB の“PLANT MODELING GUIDELINES USING MATLAB® and Simulink® Version 2.1 Japan MATLAB Automotive Board (JMAAB) 2008 年 12 月 2 日” [3] である。以下これをプラントモデリングガイドラインと呼ぶ。

ただし今回のモデルの表記方法は、全てがプラントモデリングガイドラインに必ずしも沿うものではなく、今回のモデルを理解するためのものとして定義する。

6.3. 診断パラメータ設定

6.3.1. ソルバの設定

規定なし。

6.3.2. 診断パラメータ設定

プラントモデリングガイドラインの JP2103「診断パラメータ設定」に準拠する。

6.4. ネーミング

6.4.1. 使用可能文字

Subsystem や信号線のラベル名に使う文字については、JP2503「Subsystem」の名前に使用できる文字に準拠して使用する。

6.4.2. サブシステム名

サブシステムの名前の一覧を記す

表 6.1 サブシステムの名前一覧

第一階層			第二階層			第三階層			第四階層		
部品	表記方法	略語表記	部品	表記方法	略語表記	部品	表記方法	略語表記	部品	表記方法	略語表記
ドライバ	Driver										
車両	Vehicle		車両制御	VehicleController	VC	ハイブリッド制御	HybridControl	HV_CNT			
						ブレーキ制御	BrakeControl	BK_CNT			
						エンジン制御	EngineControl	ENG_CNT			
						モータードライブシステム1(発電機)制御	MotorGeneratorControl1	MG1_CNT			
						モータードライブシステム2(主電動機)制御	MotorGeneratorControl2	MG2_CNT			
			車両プラント	VehicleBody	VB	エンジン	Engine	ENG_PNT			
						トランスミッション	Transmission	TM_PNT	フライホイール	Flywheel	FW_PNT
									ギヤ	ReductionGear	RG_PNT
						ディファレンシャルギヤ	DifferentialGear	DF_PNT	ドライブシャフト	DriveShaft	DS_PNT
						ブレーキ	Brake	BK_PNT			
						タイヤ	Tire	TR_PNT			
						車両負荷	VehicleLoad	VL_PNT			
						モータードライブシステム1	MotorDrive1	MD1_PNT	インバーター1	Inverter1	INV1_PNT
									モータージェネレーター1	MotorGenerator1	MG1_PNT
						モータードライブシステム2	MotorDrive2	MD2_PNT	インバーター2	Inverter2	INV2_PNT
									モータージェネレーター2	MotorGenerator2	MG2_PNT
						高圧バッテリー	BatteryHighVoltage	BT_HI_PNT			
						高圧電気負荷	ElectricalLoadHigh	EL_HI_PNT			
						DCDCコンバータ	DCDCConverter	DCDC_PNT			
						バッテリー	BatteryVoltage	BT_PNT			
						電気負荷	ElectricalLoad	EL_PNT			
モニタ	Monitor										

6.4.3. 信号名

以下のようにエネルギーの流れなどを元に命名する。

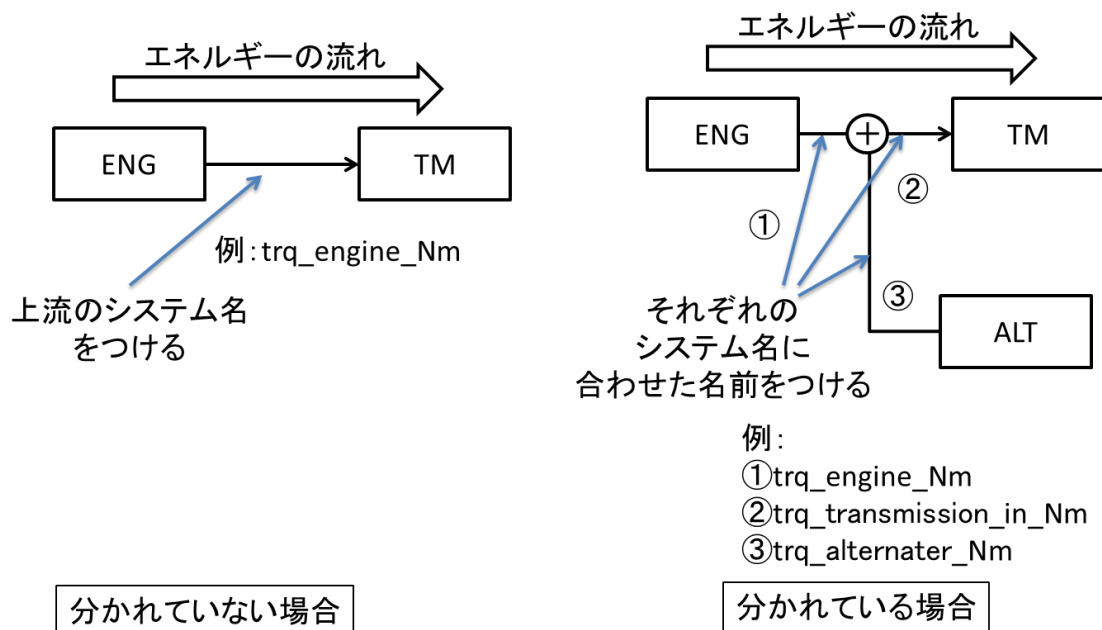


図 6.4.1 信号名の命名方法

6.4.4. 入出力端子名

以下のようにプラントと制御を区別して命名する。

プラント I/F: 量表記_システム名(_意味_単位)

制御 I/F :意味_システム名_[単位]

例 プラント

物理記号: omega: 回転数

システム名: 案1 誰が出力するか？

案2 エネルギー上流のシステム名をつける : engine エンジン としてみる。

omg_engine(_radps)

例 制御

エンジン回転数(rpm)

n_engine_rpm

6.4.5. パラメータ名

パラメータ名の頭にサブシステム名をつける。

システム名_意味_[単位]

例: engine_nEngine_rpm

6.5. システムモデル構成

プラントモデルの構成については、以下の諸案が出ており、本モデルは案 3 に基づいている。

<案 1>

プラントモデリングガイドライン JP3001「プラントモデルの構造(Model Architecture)」を参考とする。

現状の Simulink モデルでの制御モデルプラントモデルは独立させる。理由としては、本来、制御とプラントは一体であるが、サプライヤによっては、制御のみ、プラントのみが存在するため、それに対応する。保守の観点によるものである。

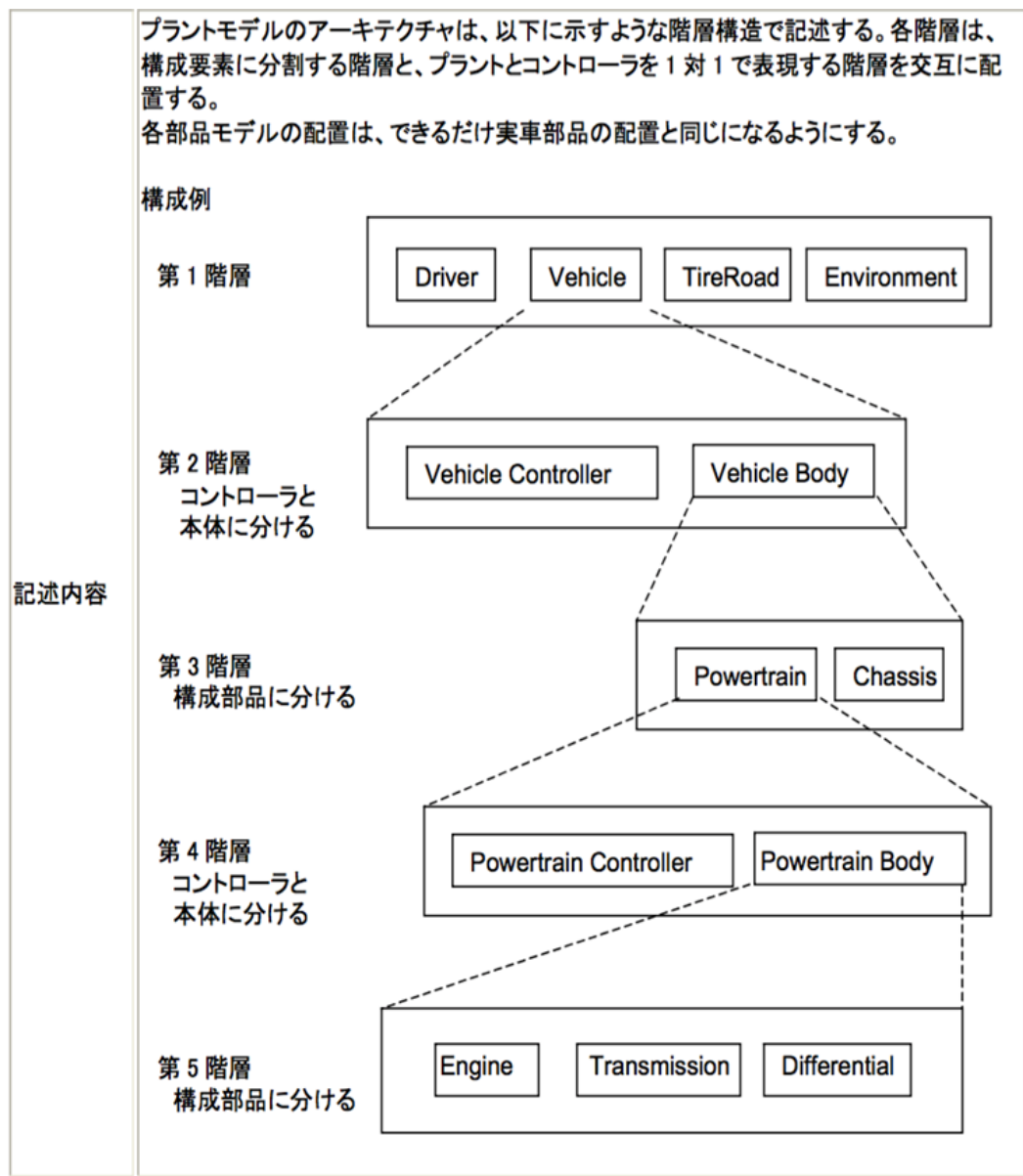


図 6.5.1 JP3001「プラントモデル構造」

<案 2>

プラントと制御モデルは同一階層に存在させる。

これは、今回のモデルをベースに流通させるには、システムの ECU とメカは 1 つのサブシステムとした方が良い(サプライヤの立場としては ECU からの指令値がモニタリングされることでノウハウ流出の可能性が懸念される)という考えに基づく。

<案 3>

プラントと制御を大きく分ける。

プラントモデル間の I/F ガイドライン準拠モデルとして明確にするため、プラントモデル間が分かりやすいアーキテクトを設定する。

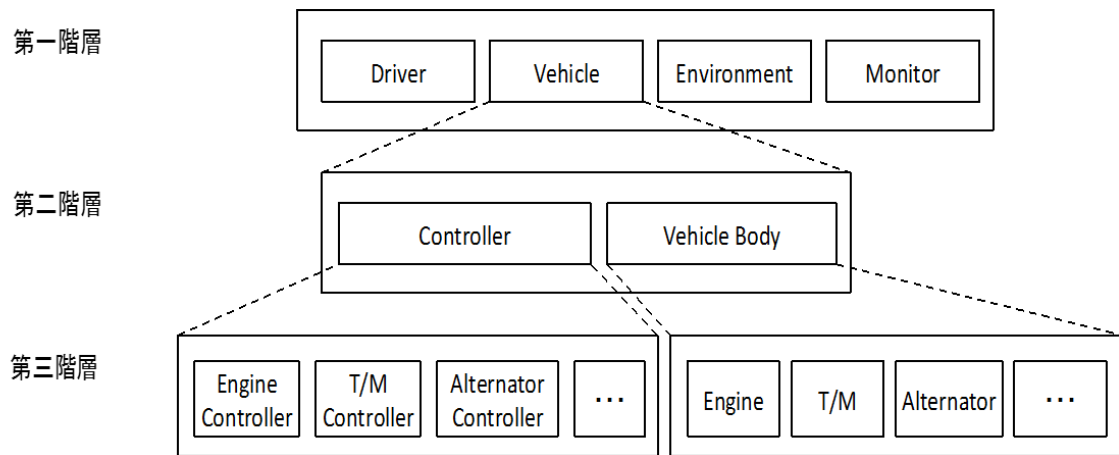


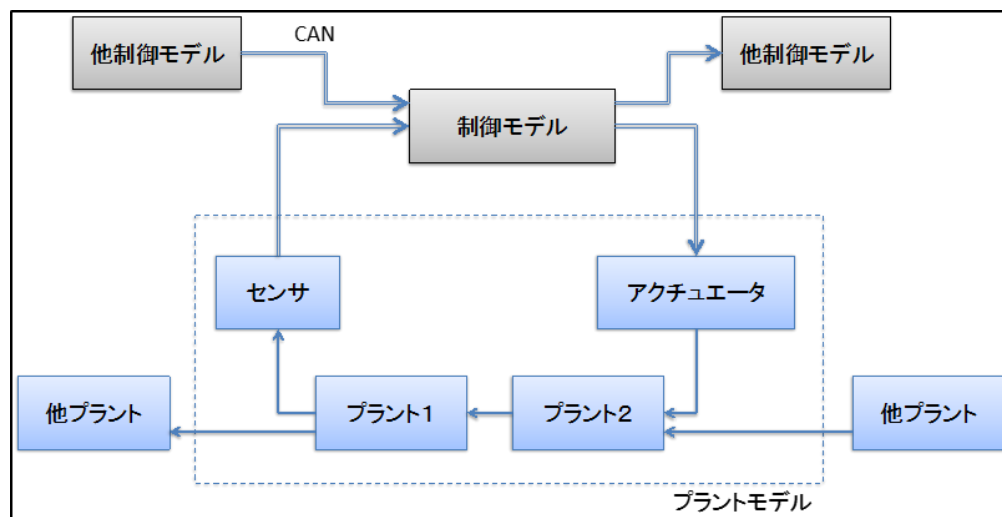
図 6.5.2 同一層の中で制御とプラントを大きく分けた構造

6.6. インターフェイス

6.6.1. 種類

①物理 I/F ②センサ ③アクチュエータ ④CAN と区別して I/F を定義する。

詳細は以下のような記述の仕方をする。



可読性がない（どのような信号を送受信しているのかわかりにくい）

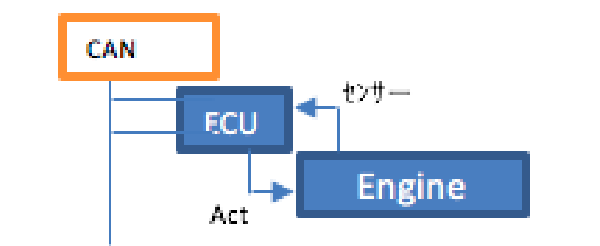


図 6.6.1 I/F 種類とその記述方法

6.6.2. バス

制御・センサ・アクチュエータ信号については、基本的にバスを使用する。
理由としては、入出力が多くなり過ぎることで、見た目がスパゲッティ構造になるためである。
ただし、どんな入出力に成っているのかは、上位から見えにくいというデメリットがある。

6.7. 単位

モデルで扱う変数・変量の単位は以下の規則に従うものとする。

①プラントモデル

プラントモデル I/F ガイドラインの単位系に従う。
ただし、モニタとして回転数は rpm、速度は km/h のモニタを出力する。

②制御モデル

それぞれの I/F 仕様書に準拠する。

以下に単位系一覧を示す。

表 6.2 モデルで使用する単位系一覧

SI 基本単位

基本量	名称	記号	モデル内での アルファベット表記案
長さ	メートル	m	m
質量	キログラム	kg	kg
時間	秒	s	s
電流	アンペア	A	A
熱力学温度	ケルビン	K	K
物質質量	モル	mol	mol
光度	カンデラ	cd	cd

固有の名称をもつ SI 組立単位

量	単位	単位記号	モデル内での アルファベット表記案
平面角	ラジアン	rad	rad
周波数	ヘルツ	Hz	Hz
力	ニュートン	N	N
圧力、応力	パスカル	Pa	Pa
エネルギー	ジュール	J	J
仕事量、熱量			
仕事率、電力	ワット	W	W
電荷	クーロン	C	C
電圧、電位	ボルト	V	V
静電容量	ファラド	F	F
電気抵抗	オーム	Ω	ohm
セルシウス温度	セルシウス度	°C	dC(=degree Celsius)
インダクタンス	ヘンリー	H	H

6.8. パラメータの運用

システムのパラメータごとに m ファイルをもち、実行ファイルとして各 m ファイルを読み込むこととする。
以下の点を網羅すること。

- ・ 全体パラメータ管理
- ・ 一般物理値
- ・ 全体共通パラメータ(単位変換など)
- ・ 各システムパラメータ

モデルへのパラメータ直書きについて基本的に禁止する。
また、パラメータは、各システムで管理する。

6.9. 型

プラントモデリングガイドライン JP5001「データの型」に準拠する。
基本はデフォルト値を使用する。論理値などは演算には使用しない。
例外がある場合は、モデル仕様書に記載する。

また、準拠項目ではないが以下の点に留意する。

- ・ 倍精度浮動小数点における 64bit/32bit
- ・ 非線形モデルでのカウンタ等を使う必要性
- ・ double 型で記載する場合の浮動小数点誤差
- ・ ギヤ段信号のようなものは int などで扱ったりすることもあるはずなので
「モデルコンポーネント間をやり取りする物理量については」という前提を置くならば賛成

6.10. その他

モデル作成におけるルールについて、今後以下のような観点や問題について検討していく必要性がある。

- ・ Simulink の標準ライブラリ以外は使用しない
- ・ ステートフローは原則使用禁止
(ステートフローのライブラリを持っていない人がいる可能性があるため)

7. 参考文献

- [1] “自動車開発におけるプラントモデル I/F ガイドライン”, JAMBE, 2022 年,
<https://www.jambe.jp/system/download>.
- [2] “自動運転の安全性評価フレームワーク Ver.1.0”, JAMA, 2022 年,
https://www.jama.or.jp/safe/automated_driving/.
- [3] “*PLANT MODELING GUIDELINES USING MATLAB® and Simulink® Version 2.1*“, Japan
MATLAB Automotive Board (JMAAB), 2008 年,
http://jmaab.mathworks.jp/doc/plantmodeling_sg/PMSG_english_v2.1.pdf.