

自動運転制御モデル I/F ガイドライン準拠モデル

HILS 化事例解説書

(Ver1.0)

改訂履歴

Rev.	日付	内容	会社名
1.0	2023/01	初版	(株)両毛システムズ

目次

1. 目的.....	4
2. ハードウェア・ソフトウェア環境	5
2.1. ツールボックス	5
2.2. ハードウェア構成	5
3. HILS システム構成.....	6
3.1. ベースシステム	6
3.1.1. 第 1 階層の構造.....	6
3.2. 機能の H/W への配置	7
4. CAN 通信の HILS 化事例	8
4.1. 抽象度の異なるモデルを接続する際に用いるインターフェース	8
4.2. CAN 通信対応箇所.....	9
4.2.1. 制御機能モデルの入出力 I/F (FUNC)	10
4.2.2. メタデータ設定値のモデルへ反映 (FUNC)	10
4.2.3. 制御 SW モデルの入出力 I/F (APP SW)	11
4.2.4. メタデータ設定値のモデルへ反映 (APP SW)	11
4.2.5. 制御 PF モデルの入出力 I/F (PF SW)	12
4.2.6. メタデータ設定値のモデルへ反映 (PF SW)	12
5. APPENDIX	13
5.1. 用語説明	13
5.1.1. モデル I/F ガイドライン.....	13
5.1.2. 抽象度	14
5.1.3. SpeedGoat	14
5.2. 参考文献.....	15
5.3. 著作権.....	15

1. 目的

本書では自動運転制御モデルIFガイドラインに準拠したモデル（以後、ガイドライン準拠モデルとする）をHILS化した事例を解説する。

本書で扱うHILS化の目的は、ガイドライン準拠モデルの活用範囲の拡大である。

本書によりガイドライン準拠モデルをさらに広く活用してもらい、自動車をはじめとする次世代モビリティの開発が促進されることを期待する。

本書が活用されることを想定している開発プロセスを図の赤枠に示す。

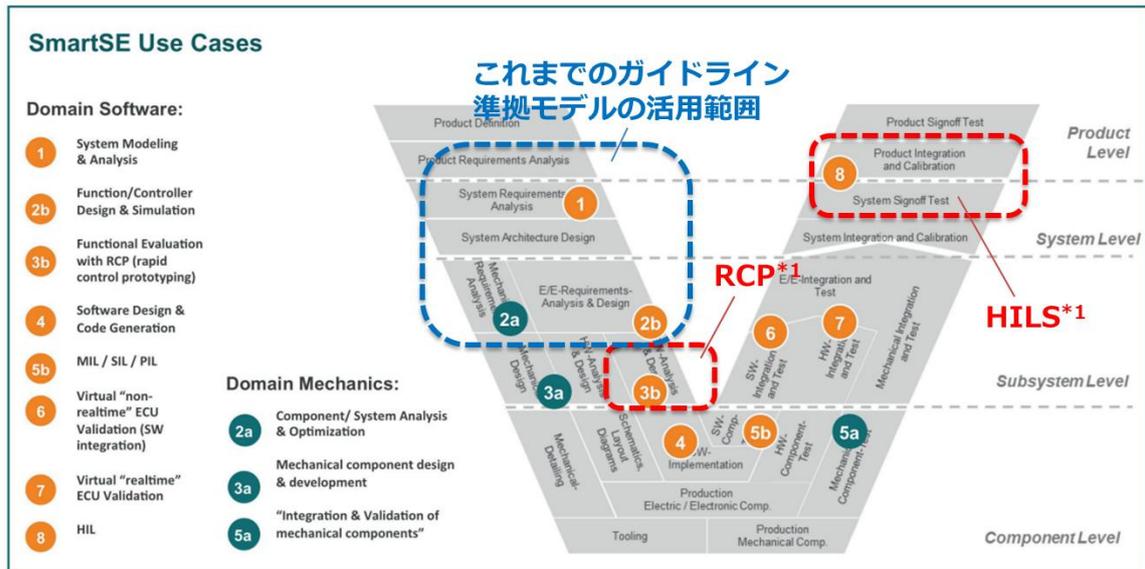


図 1 自動運転システム開発プロセス

引用 : prostep-ivip-Recommendation_PSI11_SmartSE_V2-0(prostep IVIP)

*1 HILS と RCP

HILSとRCPはどちらも、リアルタイムシミュレータである。

リアルタイムシミュレータはリアルタイム・ターゲットマシンを用いてシミュレーションされ、

プラントをリアルタイムシミュレータで動作させたシステムはHILS、

制御器をリアルタイムシミュレータで動作させたシステムはRCPと言われている。

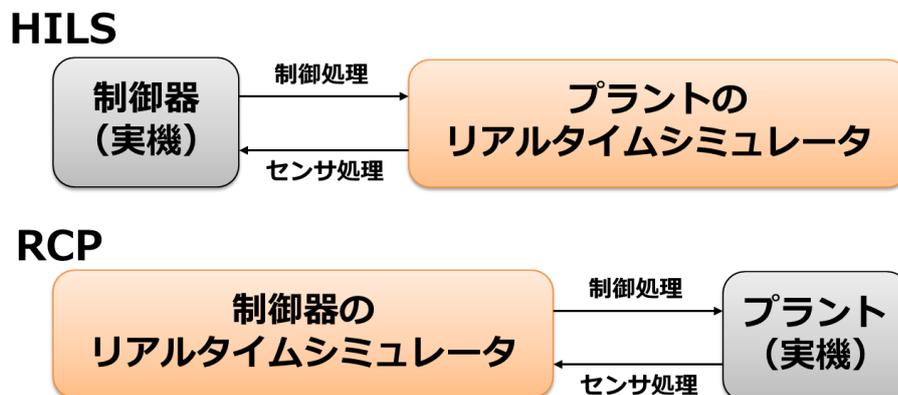


図 2 HILSとRCP

2. ハードウェア・ソフトウェア環境

ガイドライン準拠モデルをHILS化の取り組みに追加で使用したハードウェア・ソフトウェア環境を以下に示す。

2.1. ツールボックス

【MathWorks 製品】

ツールボックス	用途
MATLAB Coder	MATLAB コードを C コードにオートコード
Simulink Coder	Simulink モデルを C コードにオートコード
Simulink-Realtime	HIL、RCP テスト

2.2. ハードウェア構成

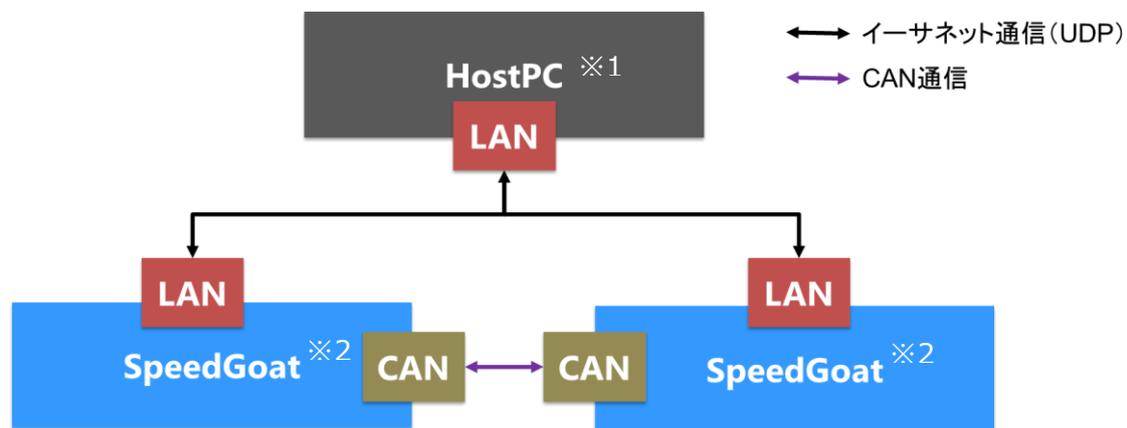


図 3 ハードウェア構成図

※1 HostPC

PC 環境	スペック
CPU	Intel Core i9-10900K 3.70GHz
GPU	NVIDIA GeForce RTX 3080 Ti
メモリー	32GB
ストレージ	1TB SSD 4TB HDD
OS	Windows 10 Pro

※2 SpeedGoat (5.1.3.)

SpeedGoat 環境 (2 台の SpeedGoat 両方)	スペック
CPU	Intel Celeron J1900 Quad Core 2GHz
GPU	Intel HD Graphics
メモリー	4GB
ストレージ	32GB
OS	Real-Time OS

3. HILS システム構成

3.1. ベースシステム

令和3年度時点でのガイドライン準拠モデルをベースシステムとしてHILS化を実施した。

以下に、ガイドライン準拠モデルの構造の説明と、HILS用にガイドライン準拠モデルを分割した、制御モデルと車両モデルの説明をする。

3.1.1. 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）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。

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。

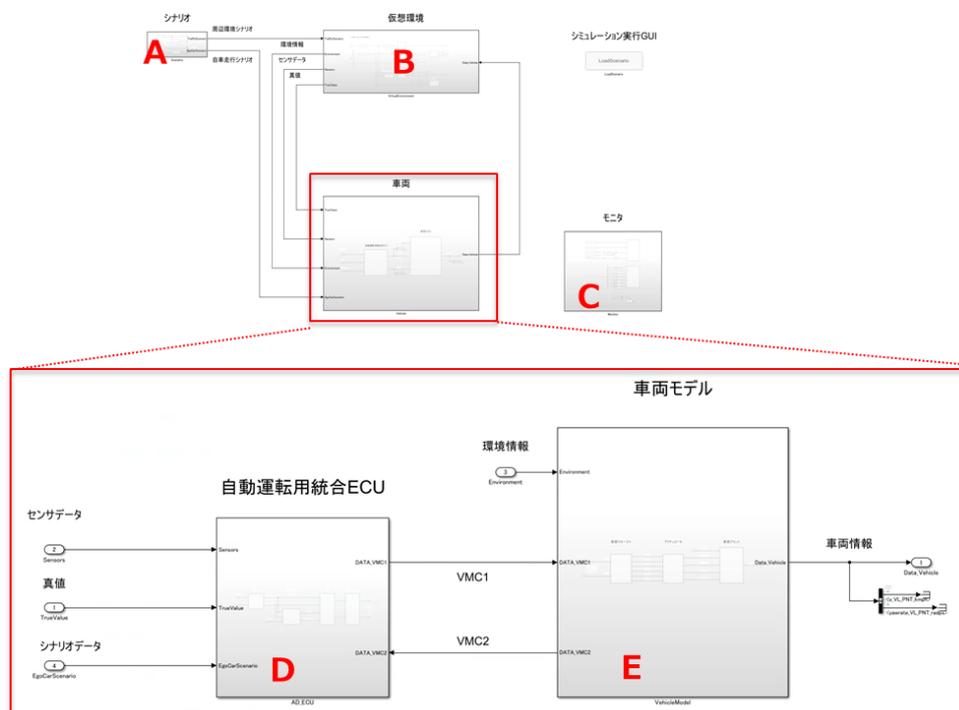


図 4 ガイドライン準拠モデル第一階層の構造

No.	システム名	機能概要
A	Scenario	自動運転走行車両の走行経路、走行速度を指定する。
B	VirtualEnvironment	仮想環境上の車両に搭載した各種センサから周辺環境情報（他車両・標識など）を取得する。
C	Monitor	各種変数をモニタする。
D	AD_ECU	自動運転シナリオと車両センサ情報を基に、自動運転アプリケーションを実行し車両の操作量を算出する。
E	VehicleModel	車両走行実現のためのアクチュエータ制御を行い、車両挙動を模擬する。

表 第1階層(システム全体)のもつシステムとその機能概要

3.2. 機能のH/Wへの配置

以下図に示すとおり、ガイドライン準拠モデルの認知機能の一部と仮想環境（Carla環境）をHostPCに、車両モデルを1台目のSpeedGoatに、制御モデル（上記以外の機能）を2台目のSpeedGoatに機能配置した。

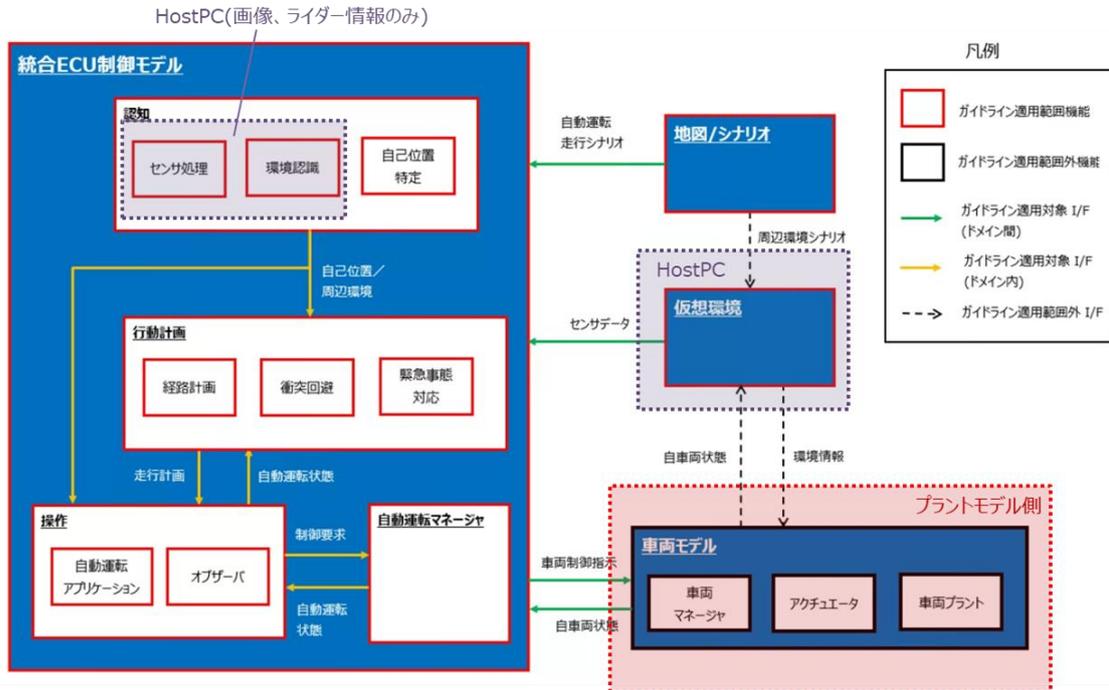


図 5 自動運転システム検証環境アーキテクチャ図

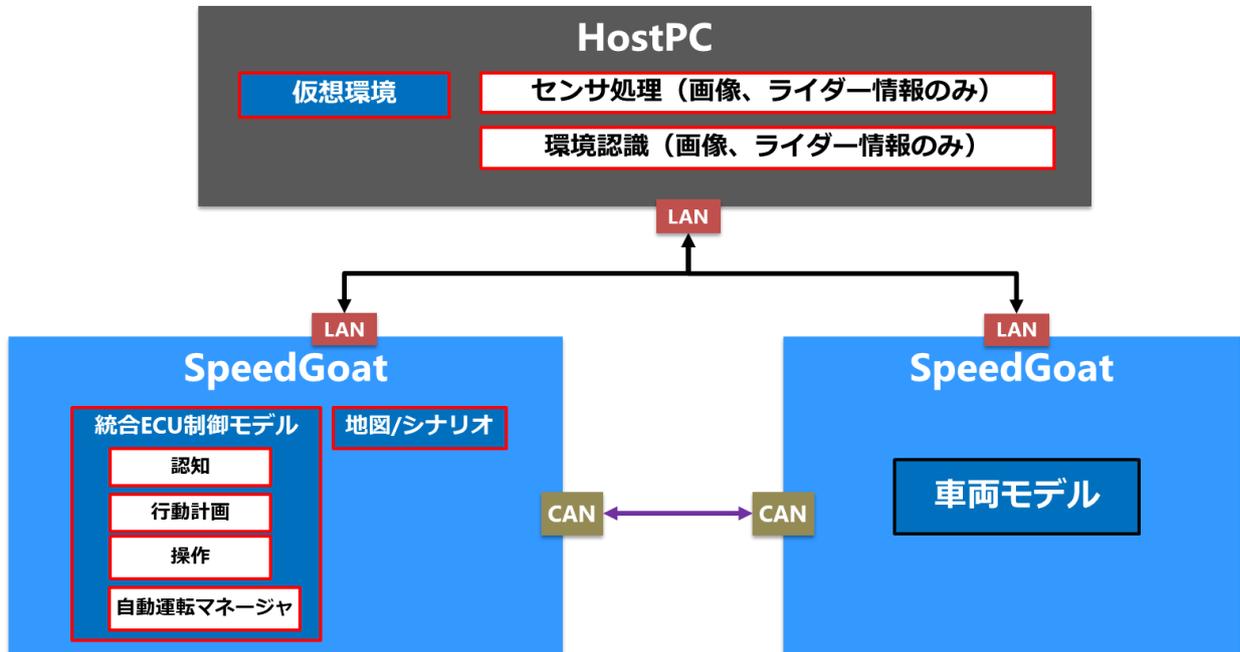


図 6 ガイドライン準拠モデルをHILS用に機能配置した図

4. CAN通信のHILS化事例

MILSでの抽象度（5.1.2.）の高いモデル間信号通信を、抽象度の低いECU間通信等に置き換えることがHILS化のためには必要である。

ここでは、自動運転制御ECU(統合ECU制御モデル)と車両制御ECU（車両モデル）間の通信を、実車両システムで利用するCAN通信への置き換えについて事例紹介する。また、CAN通信構築する際に、モデルI/Fガイドライン（5.1.1.）を参考に、異なる抽象度のモデル間に必要なアダプタを作成した。

4.1. 抽象度の異なるモデルを接続する際に用いるインターフェース

モデルI/Fガイドラインには、異なる抽象度のモデルを接続するために必要なインターフェースの作成例が記載されており、この作成例を参考にCAN通信環境を構築した。

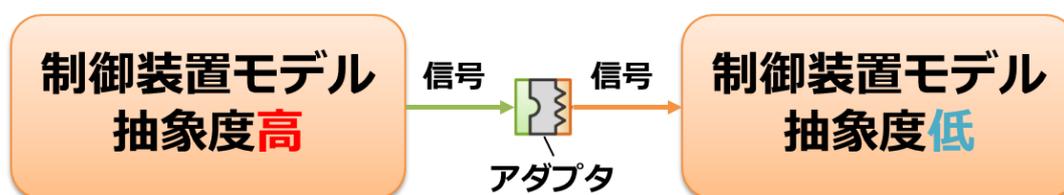


図 7 異なる抽象度の制御装置モデル間の接続

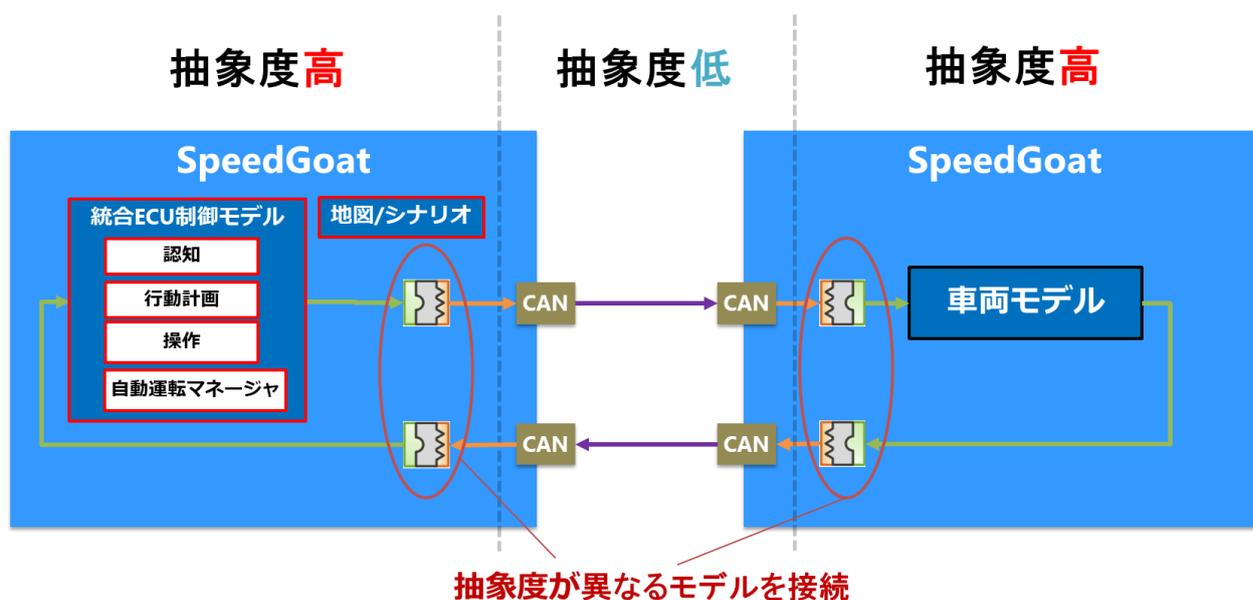


図 8 CAN通信環境における、異なる抽象度のモデル間の接続

4.2. CAN通信対応箇所

モデルI/Fガイドラインを参考に、
制御モデルと車両モデル間のCAN通信環境を以下のように実装した。

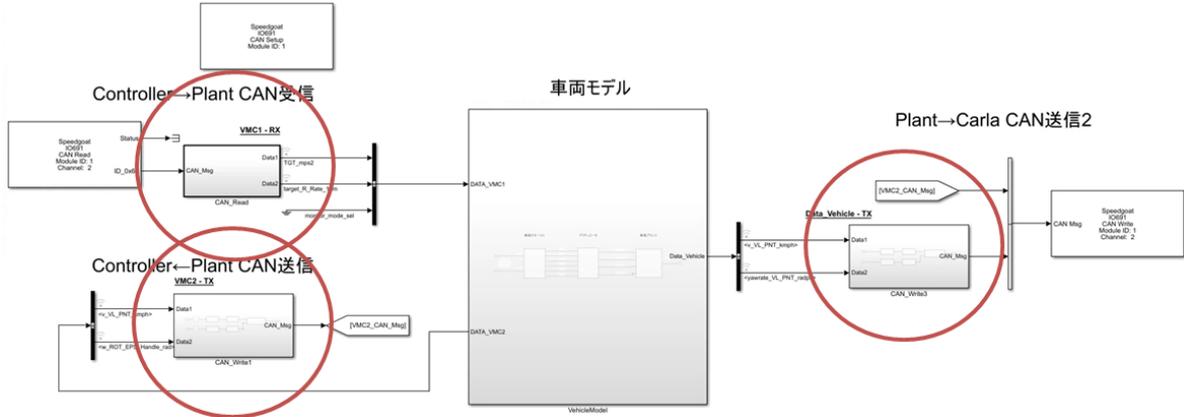


図 9 モデルI/Fガイドライン対応アダプタ対応箇所（車両モデル）

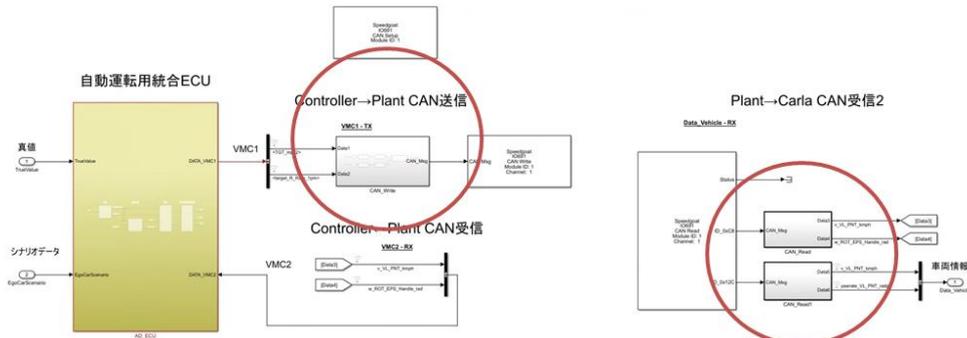


図 10 モデルI/Fガイドライン対応アダプタ対応箇所（制御モデル）

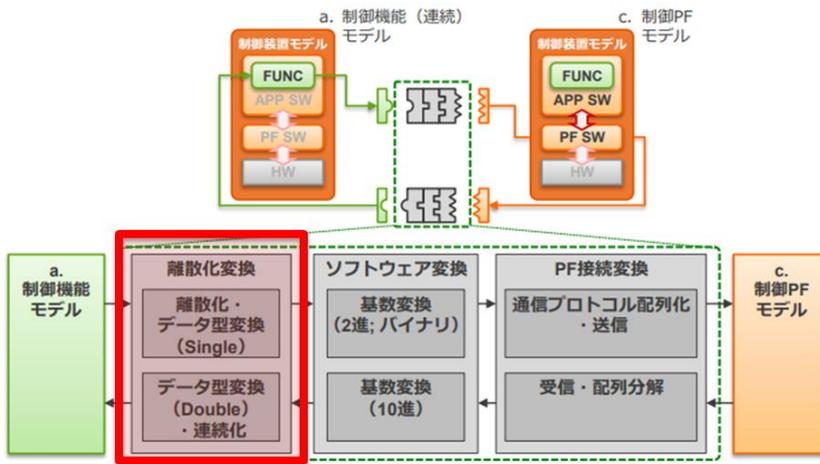
モデルI/Fガイドラインを参考に、メタデータ設定表へ設定値をまとめ、モデルへアダプタを実装した。

4.2.1. 制御機能モデルの入出力I/F (FUNC)

【定義】

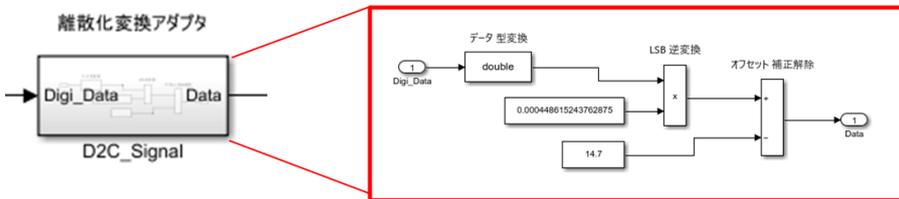
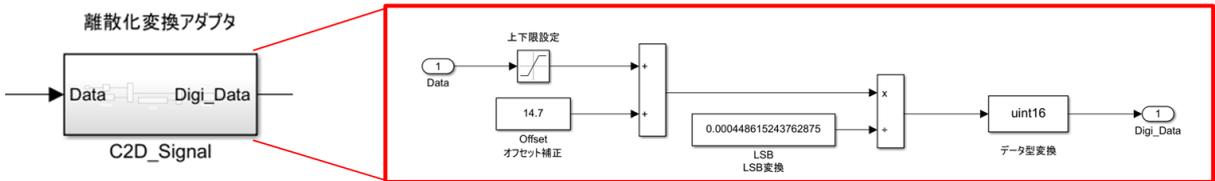
- 制御装置モデルは、その外部の機器に対して物理値・論理値をやりとりする。
- 物理値・論理値：人が見て理解できる値。連続量、または離散量
⇒ 物理値の連続量と離散量を相互変換するアダプタが必要

例) 制御機能(連続)モデルと制御PFモデル間の接続



4.2.2. メタデータ設定値のモデルへ反映 (FUNC)

信号名称	信号内容	モデル抽象度	最小値	最大値	単位	入出力方向	通信周期[ms]	データ型	初期値	LSB (分解能)	オフセット	バイトオーダー	フレーム名	ID	DLC[Byte]	データ位置	ビット長	
TGT_mps2	目標加速度	a. 制御機能(連続)	-14.7	14.7	m/s ²	出力 (Tx)	2.5	Double	0	0.000448615	14.7							
		b. 制御機能(離散)	0	65536	-	出力 (Tx)	2.5	uint16	0	0.000448615	14.7	Little Endian						
		c. 制御PF	0	0xFFFF	-	出力 (Tx)	2.5	Binary	0	0.000448615	14.7	Little Endian	DATA_VMC2	200	8	0	16	

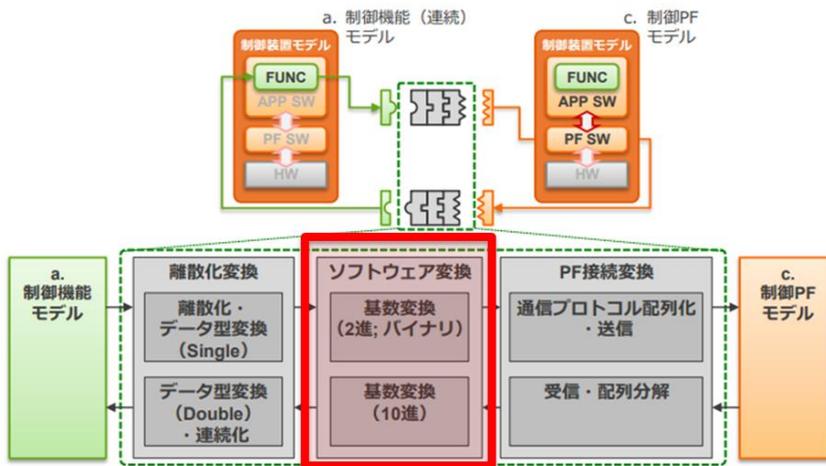


4.2.3. 制御SWモデルの入出力I/F (APP SW)

【定義】

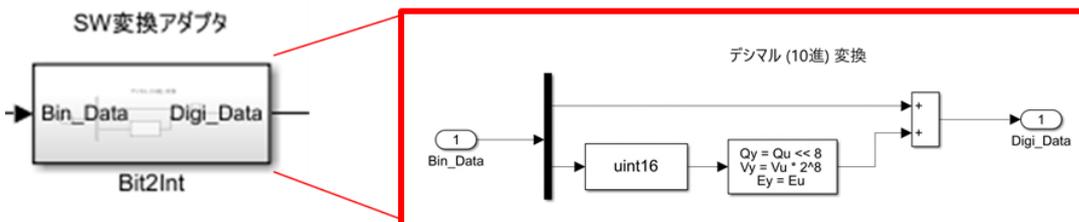
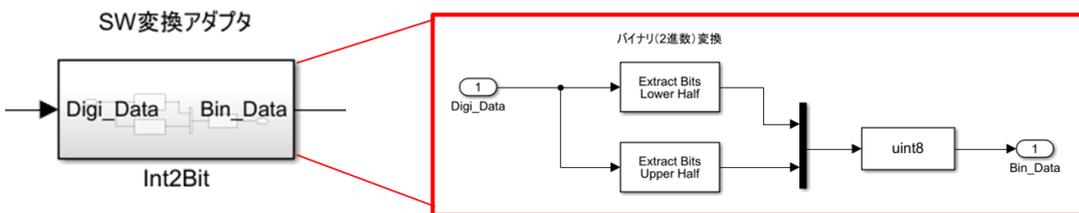
- 制御装置モデルは、その外部の機器に対してSW値をやりとりする。
- SW値：ECU内部に存在するCPUが解釈する値。
- 物理値（離散量）をバイナリデータに変換したもの。
⇒ 物理値（離散量）とSW値（バイナリデータ）を相互変換するアダプタが必要。

例) 制御機能（連続）モデルと制御PFモデル間の接続



4.2.4. メタデータ設定値のモデルへ反映 (APP SW)

信号名称	信号内容	モデル抽象度	最小値	最大値	単位	入出力方向	通信周期(ms)	データ型	初期値	LSB (分解能)	オフセット	バイトオーダー	フレーム名	ID	DLC[Byte]	データ位置	ビット長	
TGT_mps2	目標加速度	a. 制御機能(連続)	-14.7	14.7	m/s^2	出力 (Tx)	2.5	Double	0	0.00048615	14.7							
		b. 制御SW	0	0xFFFF	-	出力 (Tx)	2.5	Binary	0	0.00048615	14.7	Little Endian						
		c. 制御PF	0	0xFFFF	-	出力 (Tx)	2.5	-	0	0.00048615	14.7	Little Endian	DATA_VMC2	200	8	0	16	

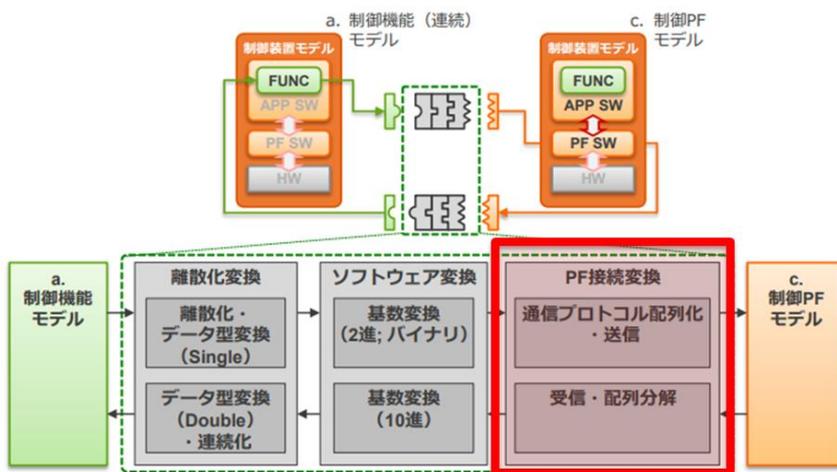


4.2.5. 制御PFモデルの入出力I/F (PF SW)

【定義】

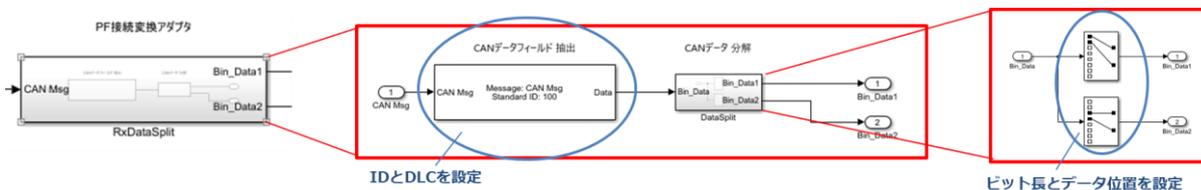
- 制御装置モデルは、その外部の機器に対してSW値をやりとりする。
- SW値：ECU内部に存在するCPUが解釈する値。物理値（離散量）をバイナリデータに変換したもの。
⇒ 物理値（離散量）とSW値（バイナリデータ）を相互変換するアダプタが必要。

例) 制御機能（連続）モデルと制御PFモデル間の接続



4.2.6. メタデータ設定値のモデルへ反映 (PF SW)

信号名称	信号内容	モデル抽象度	最小値	最大値	単位	入出力方向	通信周期[ms]	データ型	初期値	LSB (分解能)	オフセット	バイトオーダー	フレーム名	ID	DLC(Byte)	データ位置	ビット長	
TGT_mps2	目標加速度	a. 制御機能(連続)	-14.7	14.7	m/s ²	出力 (Tx)	2.5	Double	0									
		b. 制御機能(離散)	0	65536	-	出力 (Tx)	2.5	Uint16	0	0.000448615	14.7							
		c. 制御PF	0	0xFFFF	-	出力 (Tx)	2.5	Binary	0	0.000448615	14.7	Little Endian	DATA_VMC2	200	8	0	16	



5. APPENDIX

5.1. 用語説明

5.1.1. モデルI/Fガイドライン

自動車産業におけるモデル流通を促進するため、抽象度の異なるモデルを接続する際に用いる I/F を定義し、I/F を活用するためのガイドラインが開発されている（ルネサスエレクトロニクス株式会社） [1]。



© 2022 Renesas Electronics Corporation. All rights reserved.

BIG IDEAS FOR EVERY SPACE **RENEASAS**

図 11 モデルI/Fガイドライン

5.1.2. 抽象度

本Docでの抽象度定義について説明する。実行可能な機能のうち、どのように計算処理するか定まっていないモデルは抽象度が高く、計算リソースや順番など安定した処理の実現まで考えたモデルはより具体的であり、抽象度が高いと定義されている。

抽象度が**高い**（抽象的）
実行可能な機能



抽象度が**低い**（具体的）
実際の製品

制御装置モデル	定義
制御機能モデル	ブロック図を使用して表現した制御機能を、実行可能としたモデル
制御SWモデル	ソースコードのアプリケーション部分をシミュレータ上で実行可能としたモデル
制御PFモデル	ソースコードのアプリケーション部分に加え、使用するマイクロコントローラ（ μC ）や各種デバイスに合わせたプラットフォーム部分も含めてシミュレータ上で実行可能としたモデル。
制御ECUモデル	マイコン用にコンパイルしたソフトウェア全体の実装コードをシミュレータ上で実行可能としたモデル

5.1.3. SpeedGoat

SpeedGoatはMathWorks社のグループ会社のSpeedGoat社が開発している、MBD開発用リアルタイム・ターゲットマシンである。リアルタイムOSを含むリアルタイムテスト環境はMathWorks社側で提供されている。



図 12 SpeedGoat

5.2. 参考文献

[1] “モデルI/F ガイドライン開発経過報告書 令和3年度「無人自動運転等の先進M A A S実装 加速化推進事業費補助金」成果報告書 日付 2022.03.07 (目次誤記訂正 2022.04.05) ルネサスエレクトロニクス株式会社”

出典元 : https://epc.or.jp/wp-content/uploads/2022/03/model_IFguideline_plan_v2_FY2021.pdf

5.3. 著作権

本ドキュメントの著作権は、著作者に帰属します。

著作権は、本文書の内容に関し、いかなる保証もするものではありません。万一、本文書を利用して不具合等があった場合でも、著作者は一切責任を負いかねます。また、本文書に記載されている事項は予告なしに変更または廃止されることがありますので、あらかじめご了承ください。