

動力伝達システムにおける
プラントモデル I/F ガイドライン 準拠
ステップ AT
第 3 階層プラントモデル解説書
(ver.1.0)

改訂履歴

Rev.	日付	内容	会社名	承認者
-	2021/01/27	初版		

目次

1. 概要	5
1.1. モデルの目的	5
1.2. モデルの前提・制約事項	5
1.3. モデル化の範囲	5
2. シミュレーション実行手順	9
2.1. 計算環境と計算時間の目安	9
2.2. OpenModelica シミュレーション実行手順	10
2.2.1. ファイル構成	10
2.2.2. OpenModelica の起動	10
2.2.3. Modelica モデルのオープン	10
2.2.4. シミュレーションのセットアップ・実行	12
2.2.5. 結果確認	14
2.3. Simulink シミュレーション実行手順	19
2.3.1. シミュレーション実行	19
3. モデル解説(Modelica)	24
3.1. モデルの初期条件	24
3.1.1. 走行モードや境界条件の設定	24
3.1.2. 初期温度の設定	26
3.2. パラメーター一覧	26
3.3. サブシステムレベル モデル構造と設定パラメータ仕様	30
3.3.1. 発進デバイス	30
3.3.2. 変速機構	32
3.3.3. 終減速機	41
3.3.4. ドライブシャフト	43
3.4. 第3階層モデル機能仕様	45
3.4.1. PlanetPlanet	46
3.4.2. PlanetRing	50
3.4.3. ギヤ(ハイポイド)	52
3.4.4. 変速用クラッチ	54
3.4.5. オイルポンプ	55
3.4.6. シールリング	57
3.4.7. 攪拌抵抗	59
3.4.8. 転がり軸受	64
3.4.9. オイルシール	67
3.4.10. 電動アクチュエータ	69
3.4.11. 電動オイルポンプ	70
3.4.12. 内部シャフト	71
3.4.13. 内部イナーシャ	72
3.5. スラスト軸受荷重配分計算モデル	73
3.5.1. 概要	73
3.5.2. ダイアグラム	73
3.5.3. 入出力仕様	74
3.5.4. 動作説明	74
3.6. 軸受荷重配分計算ブロック	75

3.6.1. 概要.....	75
3.6.2. 軸受 AGB1AGB2 荷重配分計算ブロック	76
3.6.3. 軸受 TRB1TRB2 荷重配分計算ブロック	78
3.7. トルク-油圧変換モデル.....	81
3.7.1. 概要.....	81
3.7.2. ダイアグラム	81
3.7.3. 入出力仕様.....	81
3.7.4. パラメータ仕様.....	82
3.8. シールリングへの油圧計算モデル.....	83
3.8.1. 概要.....	83
3.8.2. ダイアグラム	83
3.8.3. 入出力仕様.....	83
3.8.4. パラメータ仕様.....	84
3.8.5. 動作説明	84
3.9. 構成要素モデル仕様.....	86
3.9.1. CombiTable3D (3D テーブル)	86
3.10. 解析実行環境で構築したモデル概要	88
3.10.1. トランスミッション制御	88
3.10.2. フライホイール.....	90
3.10.3. ドライバー	91
3.10.4. エンジン.....	93
3.10.5. エンジンアイドル制御.....	94
3.10.6. タイヤ・走行抵抗.....	95
3.10.7. 熱モデル.....	97
3.11. Modelica モデル共通仕様	100
3.11.1. 特性マップ・テーブル設定.....	100
3.11.2. 1 次遅れ要素の使用	101
4. モデル解説(Simulink).....	102
4.1. ファイル構成	102
4.2. モデル構造	103
4.3. FMU の生成.....	104
4.3.1. 生成する FMU の種類 (タイプとビット数)	104
4.3.2. FMU 化の対象部品.....	104
4.3.3. 表データファイルの取扱い.....	106
4.3.4. Simulink 上でのパラメータの設定	106
4.3.5. ツール依存の注意点	106
5. OpenModelica モデルを用いた解析事例.....	109
5.1. 現状把握.....	109
5.2. 損失低減モデルの作成	110
5.3. 損失低減効果の確認.....	111
6. 参考文献.....	113

1. 概要

1.1. モデルの目的

本モデルは、動力伝達システムモデルの企業間での流通を促進するために「動力伝達システムにおけるプラントモデル I/F ガイドライン」(自動車用動力伝達技術研究組合(TRAMI)発行、以下「TRAMI ガイドライン」と表記)に準拠し、モデルを実際に実行することで、ガイドラインの理解向上を目的としている。経産省ガイドラインモデルへ結合することでモデル化した部品が車両性能に与える影響を検討可能とすることを目的としている。また、サブシステムモデルを自分のモデルと入れ替えて実行することで、モデル交換時のガイドライン事前チェッカーやトラブルの先出としての利用も期待する。

1.2. モデルの前提・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、動力伝達システムの機能や構造を抽象化している。物理領域は、運動(回転)系、熱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9速ステップATを想定したモデル化となっている。

- モデル作成ツールとして、プラントモデルは OpenModelica をベースに作成する。MATLAB® Simulink®をベースに作成されている経産省 I/F ガイドライン準拠モデルへの組み込みは、作成したプラントモデルを Functional Mockup Unit(以下「FMU」と表記)に変換し行う。

1.3. モデル化の範囲

本解説書では第3階層ステップATプラントモデルとして作成した下記機能のモデル詳細について解説する。また、第3階層でモデル化した機能で構築されるトランスミッションサブシステムのモデル構造、車両走行解析実行環境としてモデル化した簡易車両・ドライバーモデル等の機能についても解説する。

第3階層ステップATの構成要素

- ・ PlanetPlanet モデル
- ・ PlanetRing モデル
- ・ ハイポイドギア
- ・ 変速用クラッチモデル
- ・ オイルポンプモデル
- ・ シールリングモデル
- ・ 攪拌抵抗モデル
- ・ 転がり軸受モデル
- ・ オイルシールモデル
- ・ 内部シャフトモデル
- ・ 内部イナーシャモデル
- ・ 電動アクチュエータモデル
- ・ 電動オイルポンプモデル

解析実行環境でモデル化した機能

- ・ トランスミッション制御(TCU)

- ・フライホイール
- ・簡易車両(タイヤ・走行抵抗)
- ・ドライバー
- ・エンジン/エンジンアイドル制御
- ・走行モード・環境条件

次にシミュレーションモデルの構成図について説明する。Figure 1 に簡易車両・ドライバーモデルを含む車両システムモデル概要を示す。

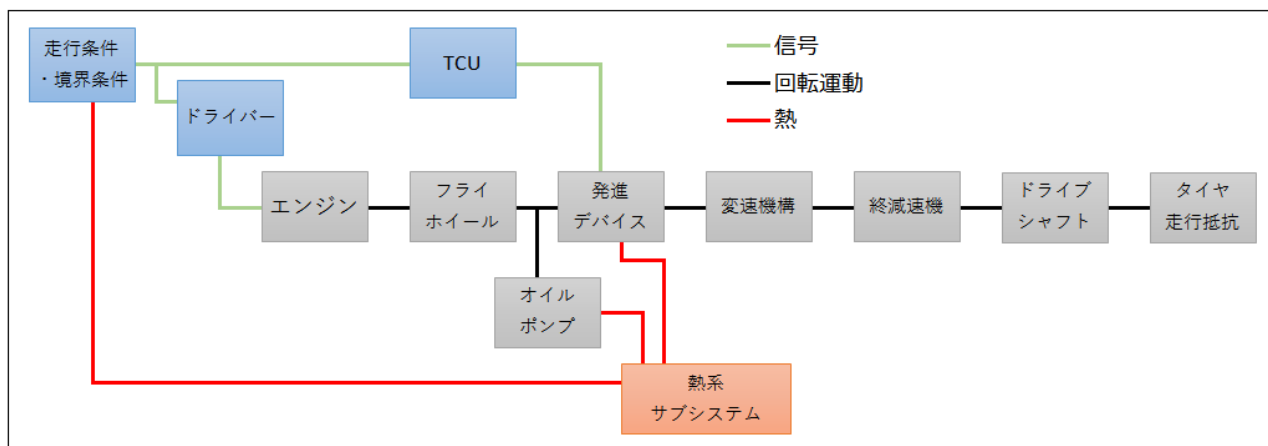


Figure 1 車両システムモデル概要

Figure 2 に車両システムモデル構造を示す。

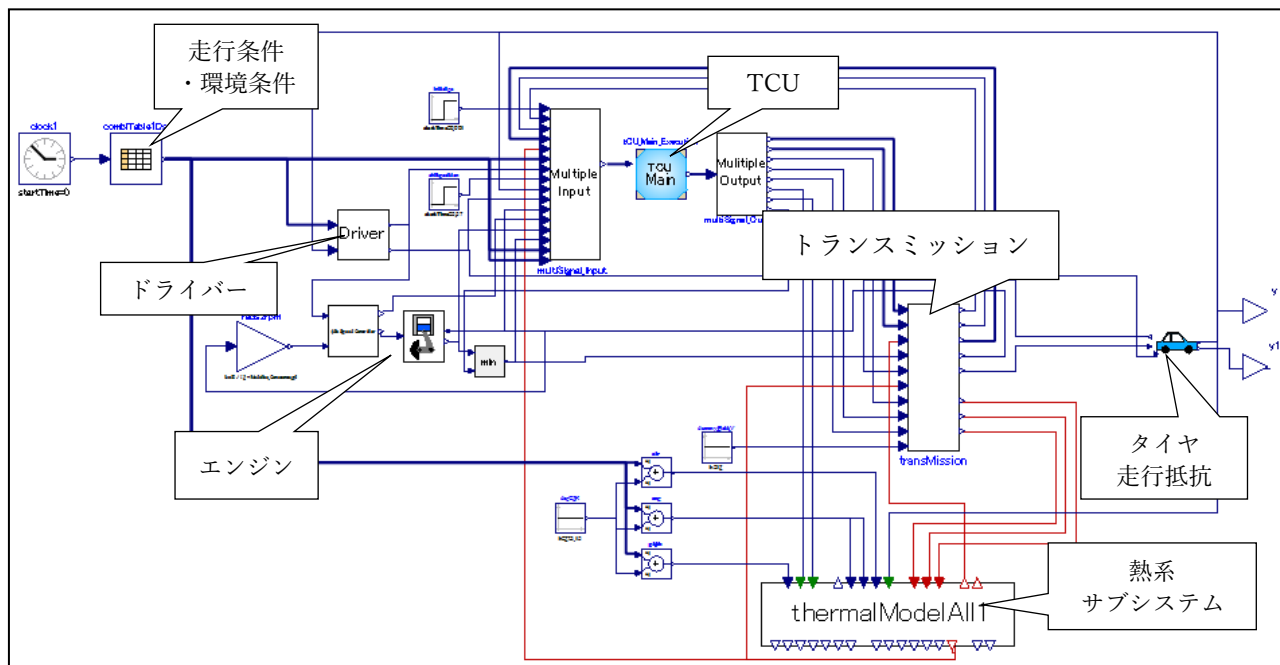


Figure 2 車両システムモデル (STEP_AT_VehicleSystemModel)

Figure 3 にトランスミッションモデル構造を示す。

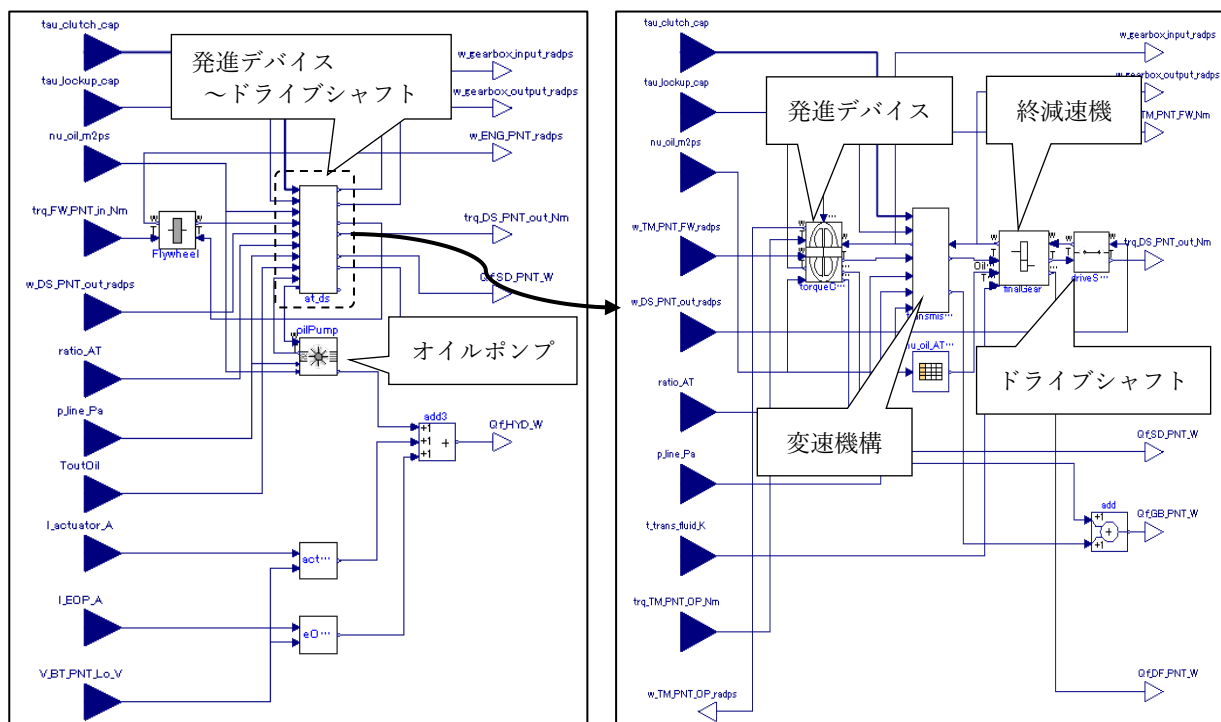


Figure 3 トランスミッションモデル構造

Figure 4 に第3階層ステップATの構成・抵抗要素を示すスケルトン図を示す。

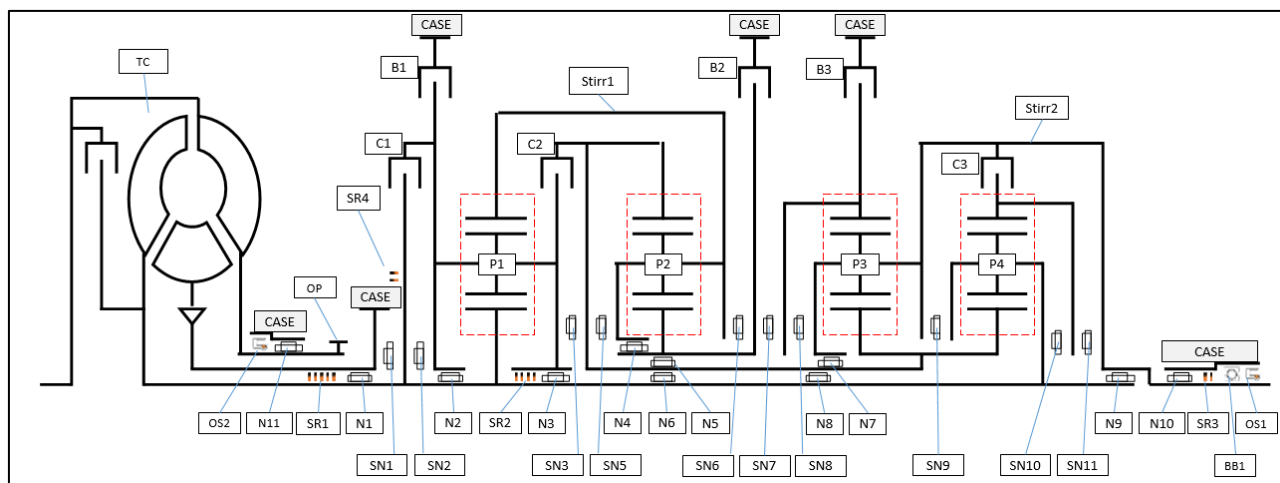


Figure 4 第3階層ステップATスケルトン図

Table 1 に第3階層ステップATスケルトン図内に示した抵抗要素一覧を示す。

各抵抗要素は損失テーブル(/Tables/*.txt ファイル)により定義した損失トルクを発生する。

Table 1 第3階層ステップAT抵抗要素一覧

要素	記号	使用部位
スラストBrq	SN1	ケース×C1ハブ
	SN2	C1ハブ×P1キャリア
	SN3	P1キャリア×C2ハブ
	SN5	C2ハブ×P2キャリア
	SN6	P1サン×P2キャリア
	SN7	P2サン×P3インターナル
	SN8	P3インターナル×P3キャリア
	SN9	P3キャリア×P4キャリア
	SN10	P4キャリア×P4インターナル
	SN11	P4インターナル×アウトプット
ニードルBrq	N1	ケース×インタミシャフト
	N2	P1キャリア×インタミシャフト
	N3	インタミシャフト×C2ハブ
	N4	C2ハブ×P2キャリア
	N5	P1サン×C2ハブ
	N6	インタミシャフト×C2ハブ
	N7	P3キャリア×C2ハブ
	N8	インタミシャフト×C2ハブ
	N9	インタミシャフト×アウトプットシャフト
	N10	アウトプットシャフト×ケース
	N11	トルコン×ケース
ニードルBrq	N12~15	P1ピニオン×ピニオンシャフト
	N16~19	P2ピニオン×ピニオンシャフト
	N20~23	P3ピニオン×ピニオンシャフト
	N24~27	P4ピニオン×ピニオンシャフト
要素	記号	使用部位
オイルポンプ	OP	オイルポンプ
トルクコンバータ	TC	トルクコンバータ
プラネタリギヤ	P1	プラネタリ1列目
	P2	プラネタリ2列目
	P3	プラネタリ3列目
	P4	プラネタリ4列目
クラッチ	C1	P1キャリア×インタミシャフト
	C2	P2リング×P1キャリア
	C3	アウトプットシャフト×P4リング
ブレーキ	B1	ケース×P1キャリア
	B2	ケース×P2サン
	B3	ケース×P3リング
攪拌	Stirr1	フロント側ドラム
	Stirr2	リア側ドラム
要素	記号	使用部位
ボールベアリング	BB1	ケース×アウトプットシャフト
オイルシール	OS1	ケース×アウトプットシャフト
オイルシール	OS2	ケース×トルコン
シールリング	SR1-1	ケース×インタミシャフト エンジン側から SR1-1~SR1-5
シールリング	SR1-2	
シールリング	SR1-3	
シールリング	SR1-4	
シールリング	SR1-5	
シールリング	SR2-1	C2ハブ×インタミシャフト エンジン側から SR2-1~SR2-4
シールリング	SR2-2	
シールリング	SR2-3	
シールリング	SR2-4	
シールリング	SR3-1	ケース×アウトプットシャフト エンジン側から SR3-1~SR3-2
シールリング	SR3-2	
シールリング	SR4-1	ケース×C1ハブ エンジン側から SR4-1~SR4-2
シールリング	SR4-2	

Figure 5 に第3階層ステップATプラントモデルの全体構造を示す。具体的な説明は第3章で実施する。

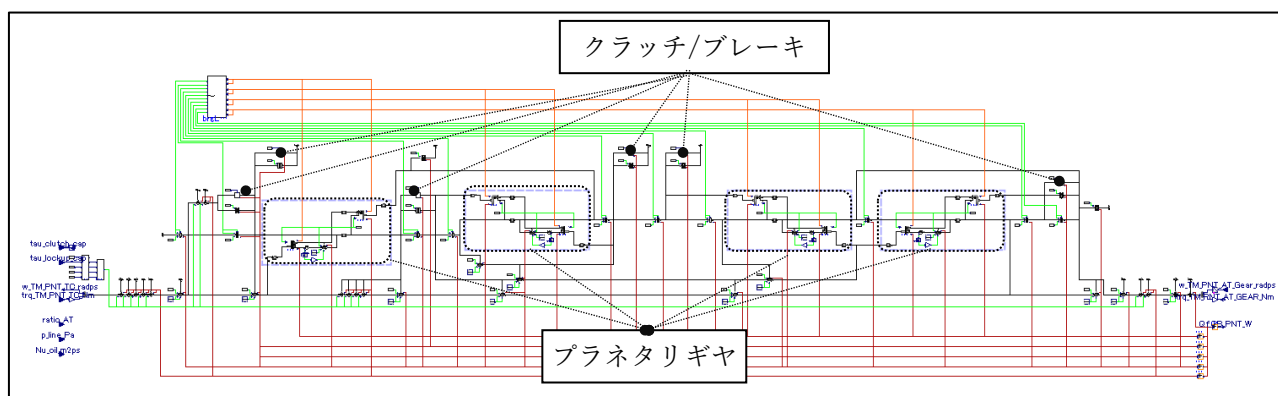


Figure 5 ステップATプラントモデル構造と主要構成要素

2. シミュレーション実行手順

2.1. 計算環境と計算時間の目安

本モデルは下記環境および条件にて動作を保証する。

〈OS 環境〉

OS	Windows10 Pro 64bit
CPU	intel Xeon W-2123 3.6GHz
メモリ	32 GB

〈OpenModelica ツール環境・計算条件・計算時間〉

ツール名	OpenModelica 64bit
ツールバージョン	v1.14.1
ソルバ	dassl (default solver - BDF method - implicit)
許容値	1e-6
最大積分次数	5
計算時間(参考)	約 1400 sec @WLTC

〈Simulink ツール環境・計算条件・計算時間〉

ツール名	MATLAB/Simulink®
ツールバージョン	2018b(64bit)
ソルバ	固定ステップ ode8(Dormand-Prince)
サンプリングタイム	0.001[s]
計算時間(参考)	約 9000 sec @WLTC

また、以下ツールでの動作を確認している。

MapleSim 2019.2、Dymola 2020x、Simulation X ver4.1、Amesim 2020.2

2.2. OpenModelica シミュレーション実行手順

OpenModelica による車両走行シミュレーションの実行手順を以下に示す。

2.2.1. ファイル構成

Figure 6 に Modelica モデルのファイル構成を示す。






	TRAMI_L3_STEP_AT	Modelicaモデル最上位フォルダ
	TRAMI_L3_STEP_AT.mo	Modelicaモデル本体
	ModelicaInputData.txt	走行パターン、温度境界条件 時系列データ
	Tables	各種特性値テーブル格納フォルダ
	library_etc	制御Cソースコード・パラメータ格納フォルダ

Figure 6 Modelica モデルファイル構成

2.2.2. OpenModelica の起動

Windows10 環境の場合の OpenModelica の起動方法を記載する。

OpenModelica の起動には以下の exe ファイルを実行する。

“OpenModelica をインストールしたフォルダ”/bin/OMEdit/OMEdit.exe

または Windows のデスクトップから「スタートボタン」をクリックし、スタートメニューを表示し「OpenModelica」→「OpenModelica Connection Editor」をクリックする。

2.2.3. Modelica モデルのオープン

起動した OpenModelica のメニューバーから「ファイル」→「モデル/ライブラリを開く」(Figure 7「モデル/ライブラリを開く」の場所参照)をクリックし「ファイルの選択」画面を開く。Modelica モデルファイル TRAMI_L3_STEP_AT.mo を選択し「開く」をクリックする。

※OpenModelica モデル及び参照ファイルはスペース・非 ASCII 文字を含まないパスに保存すること。

2.2.4. シミュレーションのセットアップ・実行

シミュレーションのセットアップボタンを押し、セットアップウィンドウを立ち上げる。



Figure 9 シミュレーションセットアップアイコンの場所

全般タブから開始時間：0secs、終了時間：1800secs(WLTC モードの場合)、間隔：0.1secs、積分手法：dassl、許容値：1e-6 に設定する。

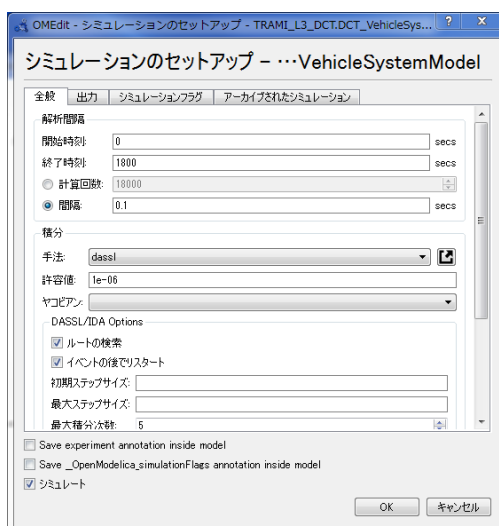


Figure 10 シミュレーションセットアップウィンドウ

出力タブを選択し、出力形式は mat 形式(デフォルト)を推奨する。(CSV 出力にした場合、結果確認の動作が非常に遅くなるため)

等間隔の時間グリッドにのみチェックを入れる。

もし csv 形式で出力したい場合は、出力書式で csv を選択する。ただし、出力形式を mat ファイルに設定した場合でも、後に CSV 出力したい変数を選択して CSV 出力可能であり、手順を 2.2.5.2 にて後述する。

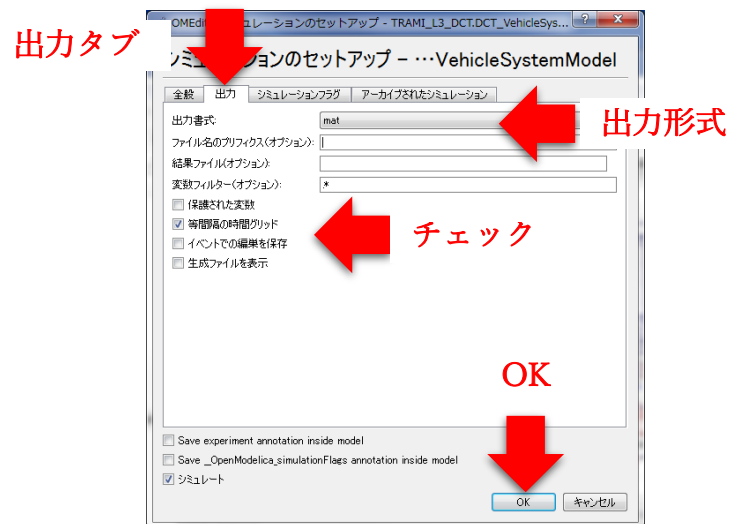


Figure 11 シミュレーションセットアップ (2)

Figure 11 で示されたシミュレーションセットアップウィンドウ内の OK を押しシミュレーションを開始する。

出力結果は、ツール - オプションから作業ディレクトリに指定されたフォルダに保存される。

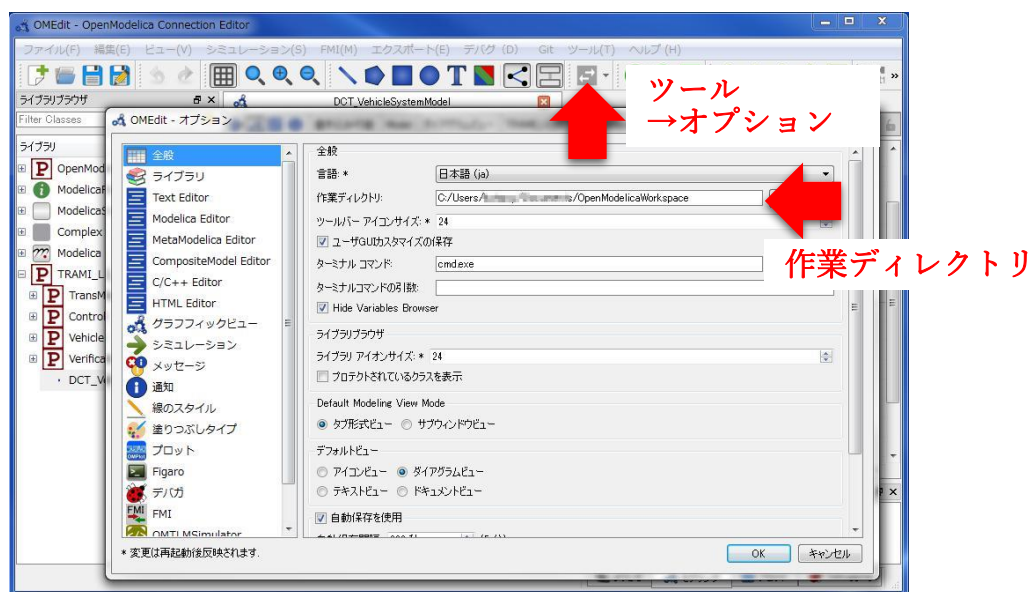


Figure 12 結果ファイルの保存場所設定

2.2.5. 結果確認

シミュレーションが完了するとプロットウィンドウに切り替わる。結果を表示したい変数のチェックボックスにチェックを入れることで結果がプロット表示される。

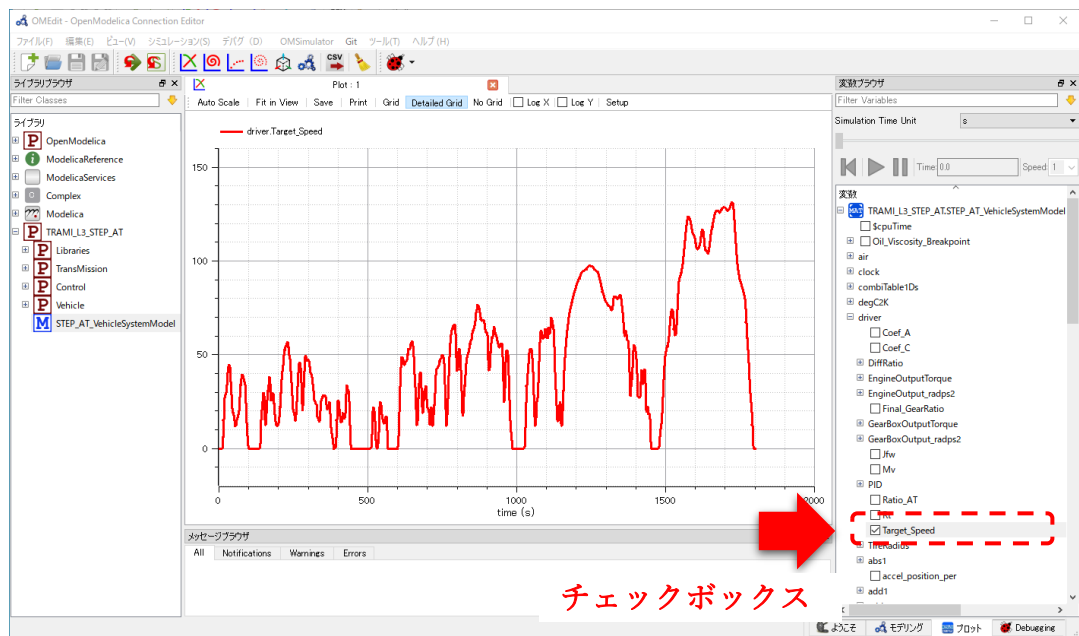


Figure 13 シミュレーション結果確認

2.2.5.1. 特性・変数の結果選択方法

Modelica モデルは階層構造を持ち、計算結果も階層構造に沿った形式で保存される。例えば車両システムモデルのドライバーモデルに入力される目標车速の結果は、「実行モデル名－driver－Target_Speed」の階層に保存されている。

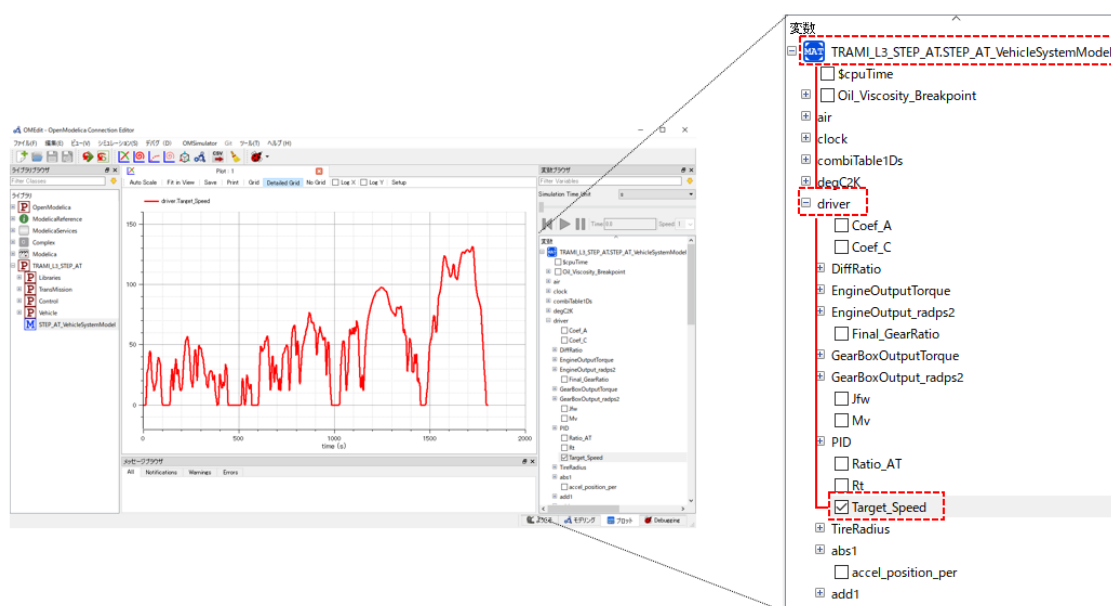


Figure 14 変数ブラウザでの特性・変数選択

以下に車両システムにおける観測可能な変数の代表例を示す。

変数名	単位	パス
目標車速	km/h	driver.Target_Speed
	m/s	driver.kph2mps.y
現在車速	m/s	driver.v_vehicle_mps
エンジントルク	Nm	transMission.trq_FW_PNT_in_Nm
エンジン回転数	rad/s	transMission.w_ENG_PNT_radps
変速機構入力回転数	rad/s	transMission.w_gearbox_input_radps
変速機構入力トルク	Nm	transMission.at_ds.transmissionGear.trq_TM_PNT_TC_Nm
変速機構出力回転数	rad/s	transMission.w_gearbox_output_radps
変速機構出力トルク	Nm	transMission.at_ds.transmissionGear.trq_TM_PNT_AT_GEAR_Nm
ドライブシャフト出力トルク	Nm	transMission.trq_DS_PNT_out_Nm
発進デバイスの損失	W	transMission.Qf_SD_PNT_W
変速機構の損失	W	transMission.Qf_GB_PNT_W
アクチュエータの損失	W	transMission.Qf_HYD_PNT_W
終減速機の損失	W	transMission.at_ds.Qf_DF_PNT_W
オイル温度	K	thermalModelAll.ToutOil
ケース温度	K	thermalModelAll.caseHousing.caseHousingHeatCapacity.T
オイル動粘度	m2/s	thermalModelAll.nuOil

以下に第3階層ステップATで使用した第3階層サブシステムIFで観測可能な変数を示す。

要素名	物理量	単位	パス(.transmission.at_ds.transmissionGear 以降のパスを記す)
Planet Planet	サンギア回転数	rad/s	Planet_Planet_P1.speedSensor.w ※その他要素はパス中の P1 の部分を P2, P3, … と置き換えることで参照可能
	サンギアトルク	Nm	Planet_Planet_P1.torqueSensor.tau ※その他要素はパス中の P1 の部分を P2, P3, … と置き換えることで参照可能
Planet Ring	リングギア回転数	rad/s	Planet_Ring_P1.speedSensor.w ※その他要素はパス中の P1 の部分を P2, P3, … と置き換えることで参照可能
	リングギアトルク	Nm	Planet_Ring_P1.gain.y ※その他要素はパス中の P1 の部分を P2, P3, … と置き換えることで参照可能
変速用クラッチ	ソース側へのトルク	Nm	ClutchC1.flange_a.tau ※その他要素はパス中の C1 の部分を C2, C3 と置き換えることで参照可能
	シンク側へのトルク	Nm	ClutchC1.flange_b.tau ※その他要素はパス中の C1 の部分を C2, C3 と置き換えることで参照可能
変速用ブレーキ	ソース側へのトルク	Nm	BrakeB1.flange_a.tau ※その他要素はパス中の B1 の部分を B2, B3 と置き換えることで参照可能
シールリング	ソース 1 側へのトルク	Nm	SR1.flange_a.tau ※その他要素はパス中の SR1 の部分を SR2, SR3, … と置き換えることで参照可能
	ソース 2 側へのトルク	Nm	SR1.flange_b.tau ※その他要素はパス中の SR1 の部分を SR2, SR3, … と置き換えることで参照可能
	係合圧 1	Pa	SR1.p_line_Pa[1] ※その他要素はパス中の SR1 の部分を SR2, SR3, … と置き換えることで参照可能
	係合圧 2	Pa	SR1.p_line_Pa[2] ※その他要素はパス中の SR1 の部分を SR2, SR3, … と置き換えることで参照可能
クラッチ引き摺り損失	ソース 1 側の回転数	rad/s	stirring3D_C1.speedSensor1.w ※その他要素はパス中の C1 の部分を C2, C3 と置き換えることで参照可能
	ソース 1 側へのトルク	Nm	stirring3D_C1.flange_a.tau ※その他要素はパス中の C1 の部分を C2, C3 と置き換えることで参照可能
	ソース 2 側へのトルク	Nm	stirring3D_C1.flange_b.tau ※その他要素はパス中の C1 の部分を C2, C3 と置き換えることで参照可能

ブレーキ引き摺り損失	ソース 1 側へのトルク	Nm	stirring2D_B1.flange_a.tau ※その他要素はパス中の B1 の部分を B2, B3 と置き換えることで参照可能
	ソース 2 側へのトルク	Nm	stirring2D_B1.flange_b.tau ※その他要素はパス中の B1 の部分を B2, B3 と置き換えることで参照可能
攪拌抵抗	ソース 1 側へのトルク	Nm	stirring2D.flange_a.tau (Ft 側) stirring2D1.flange_a.tau (Rr 側)
	ソース 2 側へのトルク	Nm	stirring2D.flange_b.tau (Ft 側) stirring2D1.flange_b.tau (Rr 側)
転がり軸受(ニードル BRG)	ソース 1 側へのトルク	Nm	N1.flange_a.tau ※その他要素はパス中の N1 の部分を N2, N3, … と置き換えることで参照可能
	ソース 2 側へのトルク	Nm	N1.flange_b.tau ※その他要素はパス中の N1 の部分を N2, N3, … と置き換えることで参照可能
転がり軸受(ボール BRG)	ソース 1 側へのトルク	Nm	BB1.flange_a.tau
	ソース 2 側へのトルク	Nm	BB1.flange_b.tau
転がり軸受(スラスト BRG)	ソース 1 側へのトルク	Nm	SN1.flange_a.tau ※その他要素はパス中の SN1 の部分を SN2, SN3, … と置き換えることで参照可能
	ソース 2 側へのトルク	Nm	SN1.flange_b.tau ※その他要素はパス中の SN1 の部分を SN2, SN3, … と置き換えることで参照可能
オイルシール	ソース 1 側へのトルク	Nm	OS1.flange_a.tau ※その他要素はパス中の OS1 の部分を OS2 と置き換えることで参照可能
	ソース 2 側へのトルク	Nm	OS1.flange_b.tau ※その他要素はパス中の OS1 の部分を OS2 と置き換えることで参照可能
内部イナーシャ	サンギア回転数	rad/s	inertia_SunGear_P1.w ※その他要素はパス中の P1 の部分を P2, P3, … と置き換えることで参照可能
	サンギアソース側からのトルク	Nm	inertia_SunGear_P1.flange_a.tau ※その他要素はパス中の P1 の部分を P2, P3, … と置き換えることで参照可能
	サンギアシンク側からのトルク	Nm	inertia_SunGear_P1.flange_b.tau ※その他要素はパス中の P1 の部分を P2, P3, … と置き換えることで参照可能
	キャリア回転数	rad/s	inertia_Carrier_P1.w ※その他要素はパス中の P1 の部分を P2, P3, … と置き換えることで参照可能
	キャリアソース側からのトルク	Nm	inertia_Carrier_P1.flange_a.tau ※その他要素はパス中の P1 の部分を P2, P3, … と置き換えることで参照可能
	キャリアシンク側からのトルク	Nm	inertia_Carrier_P1.flange_b.tau ※その他要素はパス中の P1 の部分を P2, P3, … と置き換えることで参照可能
	ビニオン回転数	rad/s	inertia_PlanetGear_P1.w ※その他要素はパス中の P1 の部分を P2, P3, … と置き換えることで参照可能
	ビニオンソース側からのトルク	Nm	inertia_PlanetGear_P1.flange_a.tau ※その他要素はパス中の P1 の部分を P2, P3, … と置き換えることで参照可能
	ビニオンシンク側からのトルク	Nm	inertia_PlanetGear_P1.flange_b.tau ※その他要素はパス中の P1 の部分を P2, P3, … と置き換えることで参照可能
	リングギア回転数	rad/s	inertia_RingGear_P1.w ※その他要素はパス中の P1 の部分を P2, P3, … と置き換えることで参照可能
	リングギアソース側からのトルク	Nm	inertia_RingGear_P1.flange_a.tau ※その他要素はパス中の P1 の部分を P2, P3, … と置き換えることで参照可能
	リングギアシンク側からのトルク	Nm	inertia_RingGear_P1.flange_b.tau ※その他要素はパス中の P1 の部分を P2, P3, … と置き換えることで参照可能

以下に第 3 階層ステップ AT の終減速機で使用した第 3 階層サブシステム IF で観測可能な変数を示す。

要素名	物理量	単位	パス(.transmission.at_ds.finalGear 以降のパスを記す)
ギヤ(ハイボイド)	駆動側回転数	rad/s	hypoidGear.speedSensor.w
	駆動側トルク	Nm	hypoidGear.torqueSensor.tau

転がり軸受(テーパーBRG)	ソース 1 側へのトルク	Nm	D_TRB1.flange_a.tau ※その他要素はバス中の TRB1 の部分を TRB2 と置き換えることで参照可能
	ソース 2 側へのトルク	Nm	D_TRB1.flange_b.tau ※その他要素はバス中の TRB1 の部分を TRB2 と置き換えることで参照可能
転がり軸受(複列アンギュラBRG)	ソース 1 側へのトルク	Nm	D_AGB1.flange_a.tau ※その他要素はバス中の AGB1 の部分を AGB2 と置き換えることで参照可能
	ソース 2 側へのトルク	Nm	D_AGB1.flange_b.tau ※その他要素はバス中の AGB1 の部分を AGB2 と置き換えることで参照可能
オイルシール	ソース 1 側へのトルク	Nm	D_OS1.flange_a.tau ※その他要素はバス中の OS1 の部分を OS2,OS3 と置き換えることで参照可能
	ソース 2 側へのトルク	Nm	D_OS1.flange_b.tau ※その他要素はバス中の OS1 の部分を OS2,OS3 と置き換えることで参照可能
内部シャフト	ソース側からのトルク	Nm	springDamper1.flange_a.tau
	シンク側からのトルク	Nm	springDamper1.flange_b.tau
内部イナーシャ	回転数	rad/s	inertia1.w
	ソース側からのトルク	Nm	inertia1.flange_a.tau
	シンク側からのトルク	Nm	inertia1.flange_b.tau

2.2.5.2. CSV 出力とラベル名

チェックした変数はアイコンビューの「Export Variables」ボタン(Figure 15 参照)から CSV 出力できる。CSV ファイルに結果出力した際の特性・変数のラベルは、階層構造をドット(.)で表現したラベル名「driver.Target_Speed」で保存される。

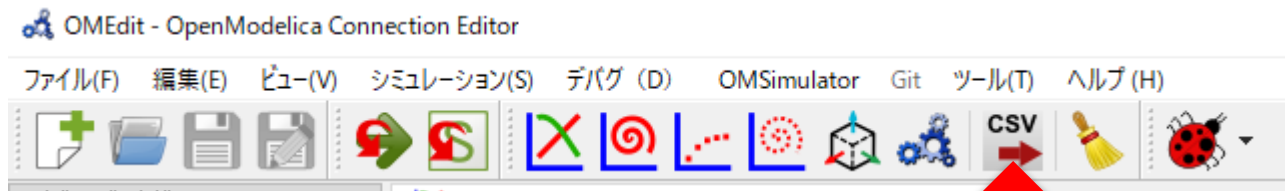


Figure 15 個々の変数の CSV 出力

2.3. Simulink シミュレーション実行手順

Matlab/Simulink による車両走行シミュレーションの実行手順を以下に示す。

2.3.1. シミュレーション実行

2.3.1.1. MATLAB の起動・初期設定

MATLAB R2018b を起動、init_setting_TRAMI.m を実行し、パスの設定・諸元設定・シミュレーションモデルの立ち上げを行う。

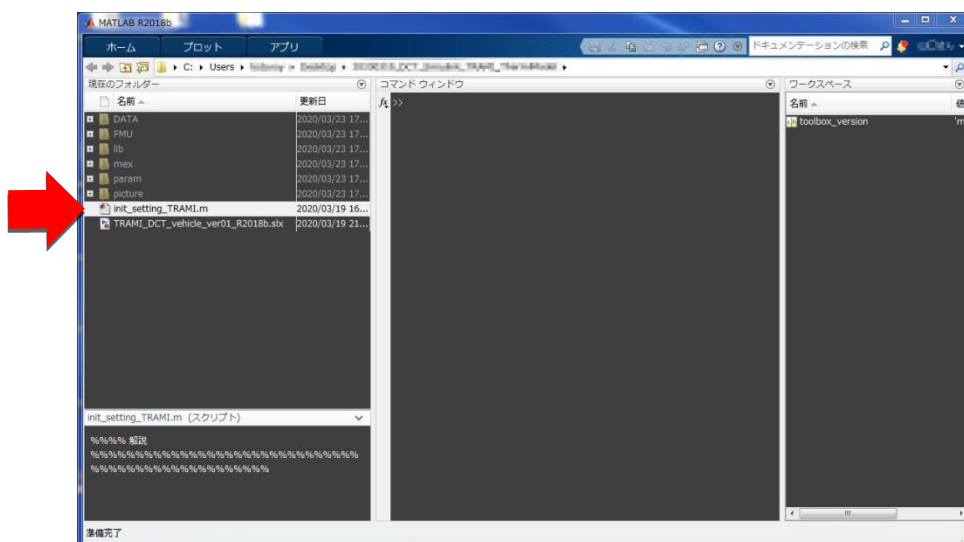


Figure 16 Simulink モデルの立ち上げ

2.3.1.2. シミュレーションの開始

Simulink のアイコンバーから「モデルをシミュレーション」実行ボタンを押シシミュレーションを開始する。

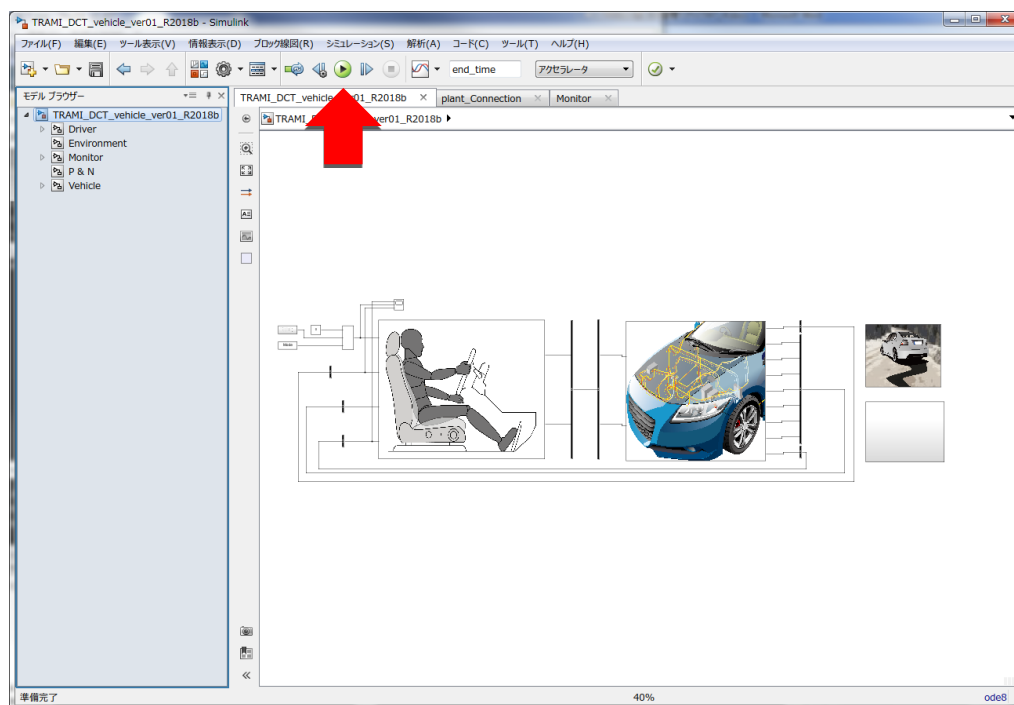


Figure 17 Simulink モデルの実行

2.3.1.3. 結果確認

計算終了後、Monitor モデル内の Monitor14 スコープを開くことで目標車速と現在車速の比較結果と速度誤差の計算結果が表示される。Figure 20 に計算結果例を示す。また Fuel_Scope スコープを開くと燃費や燃料消費量に関する計算結果が表示される。Figure 21 , Figure 22 に計算結果例を示す。

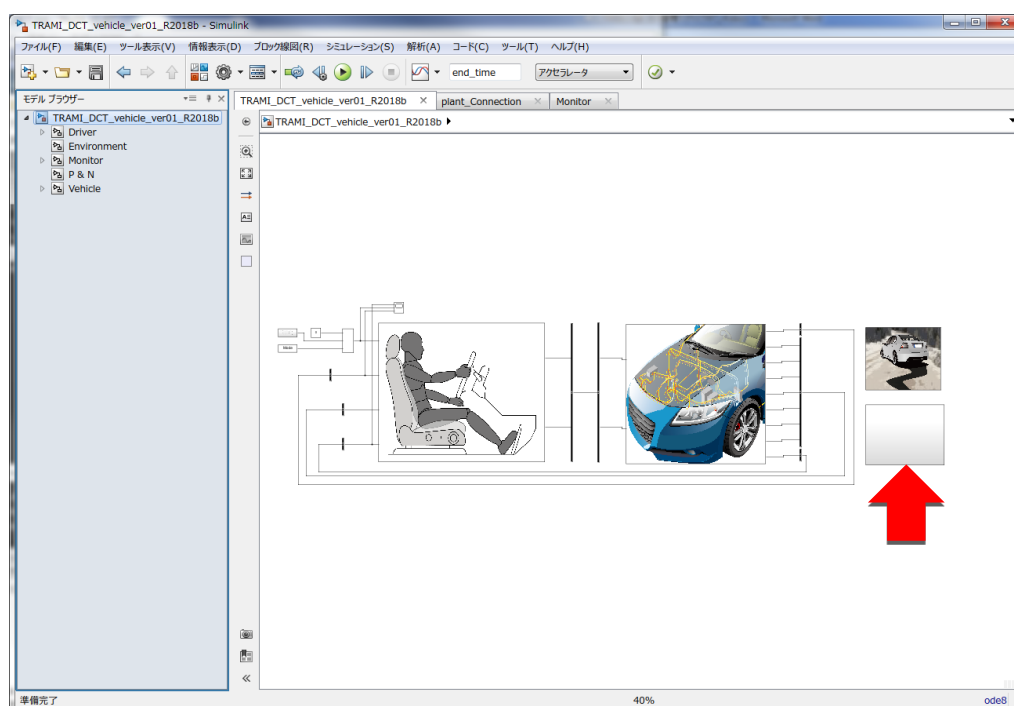


Figure 18 Monitor モデルの位置

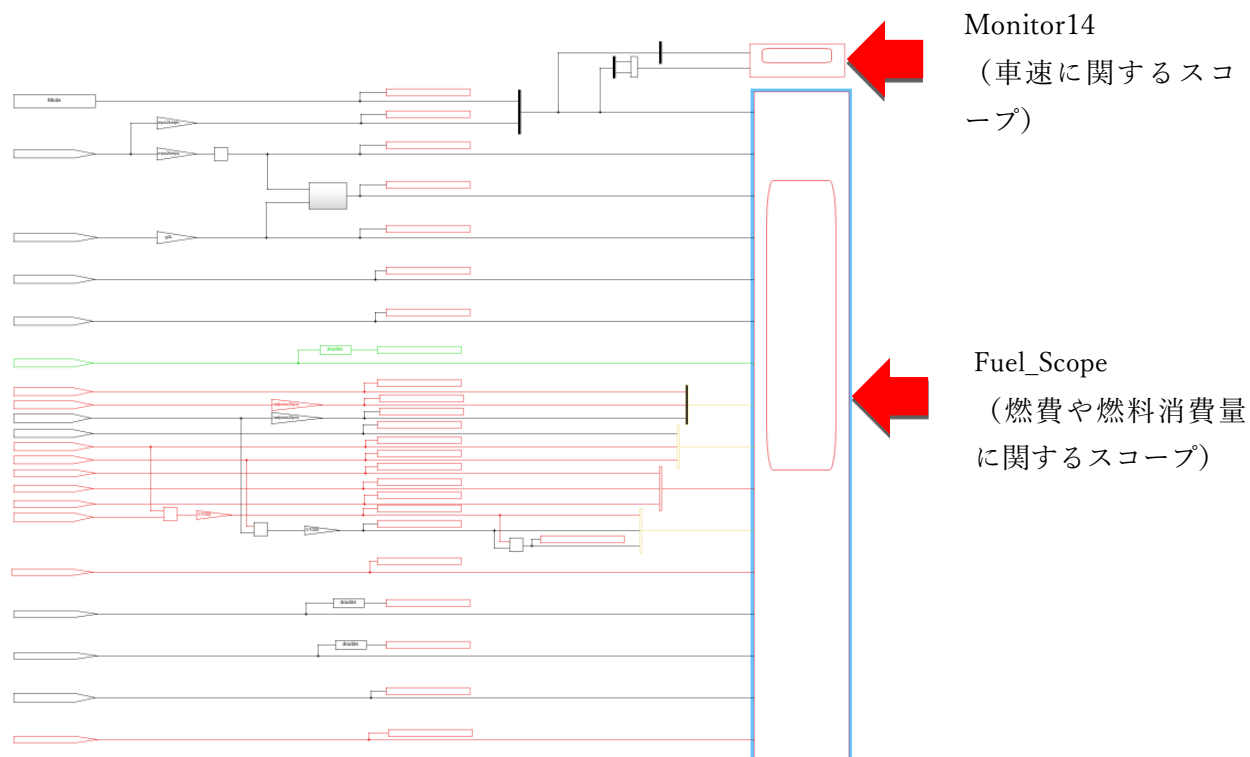


Figure 19 計算結果表示用のスコープの位置

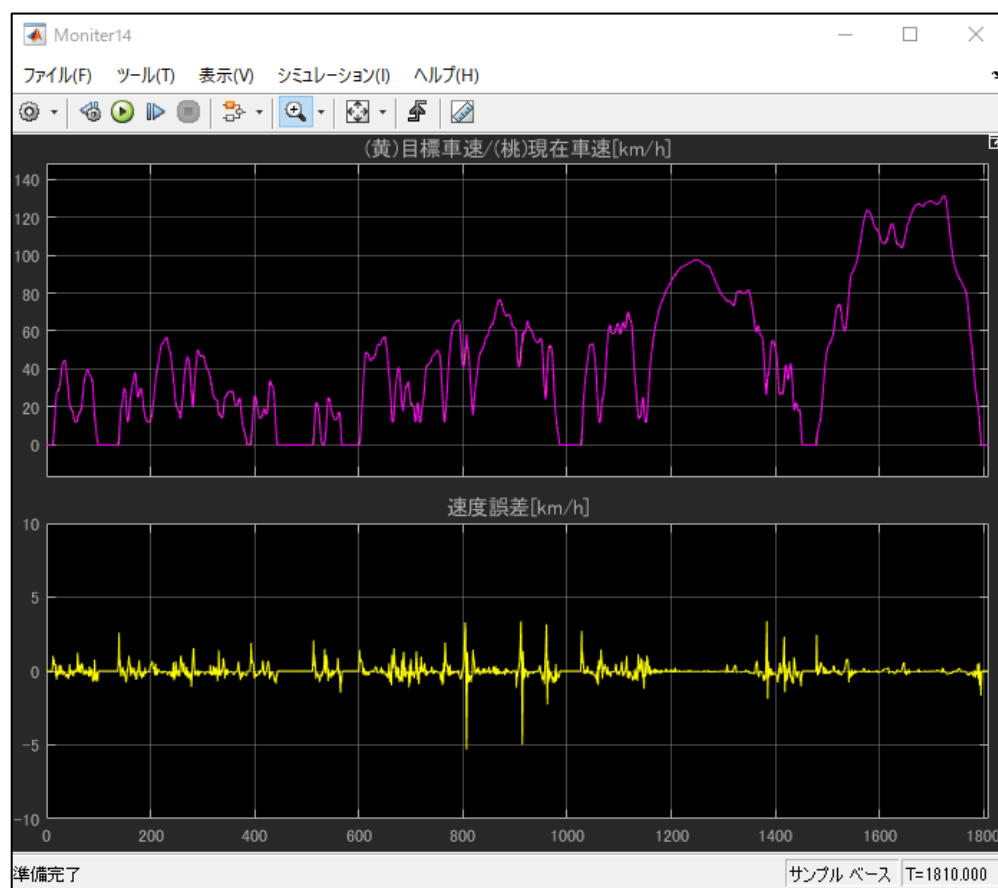


Figure 20 Monitor14 表示例

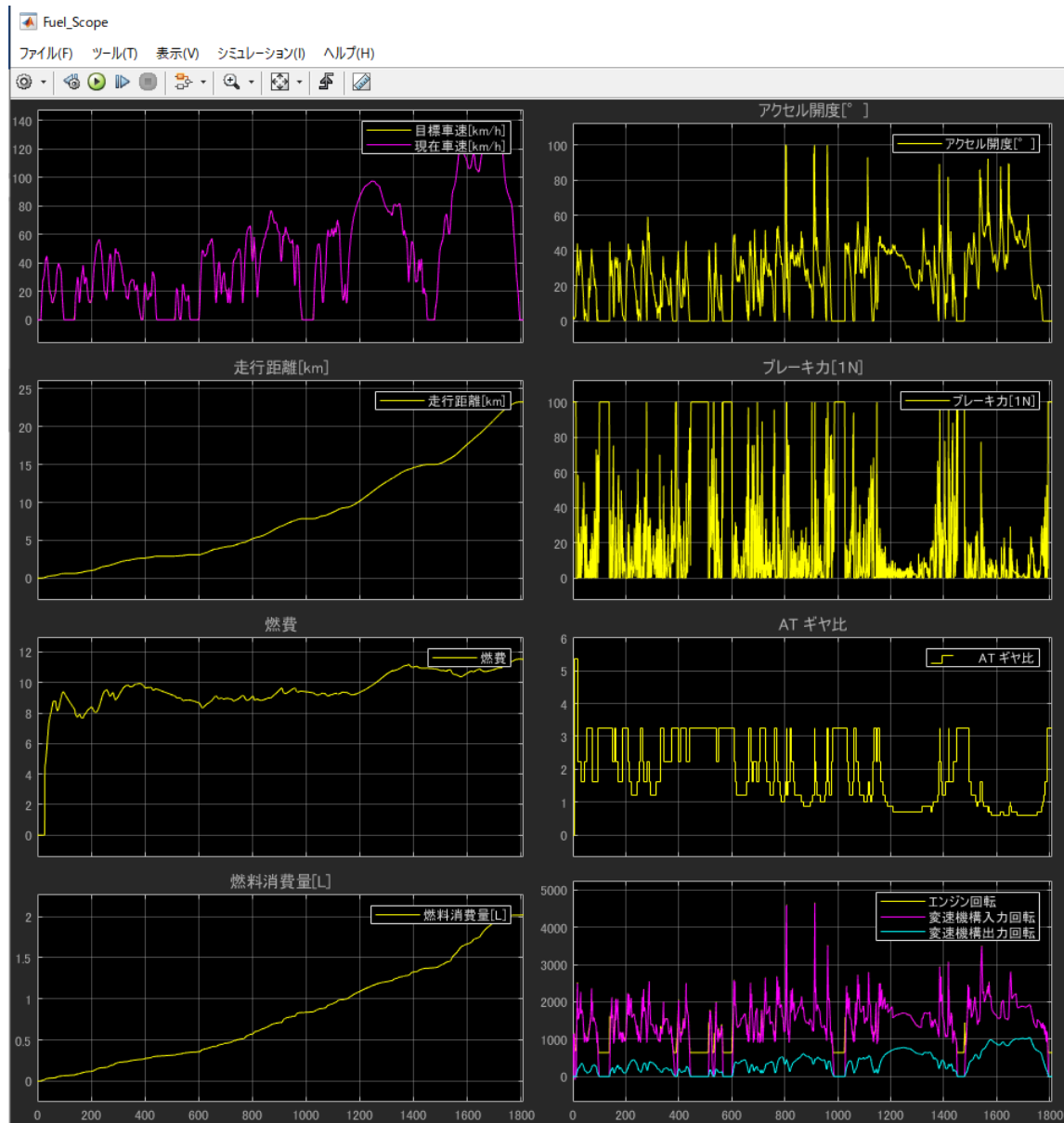


Figure 21 Fuel_Scope スコープの表示例(左 2 列部分)

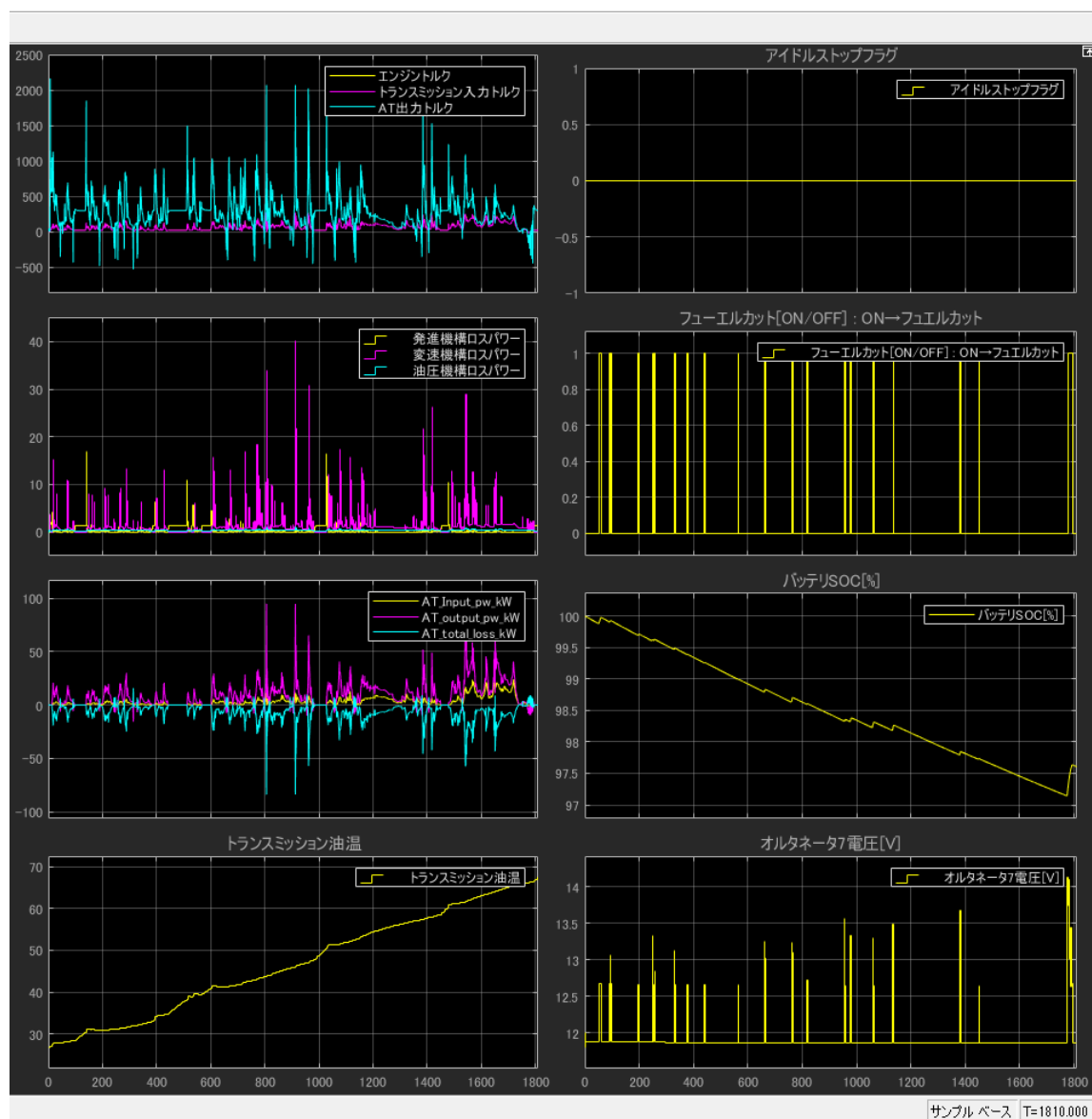


Figure 22 Fuel_Scope スコープの表示例(右 2 列部分)

3. モデル解説(Modelica)

3.1. モデルの初期条件

モデルのシミュレーション実行に必要な初期値および境界条件等について説明する。Figure 23 より、設定が必要な箇所は①走行モードや境界条件データ、②初期温度の設定が必要である。

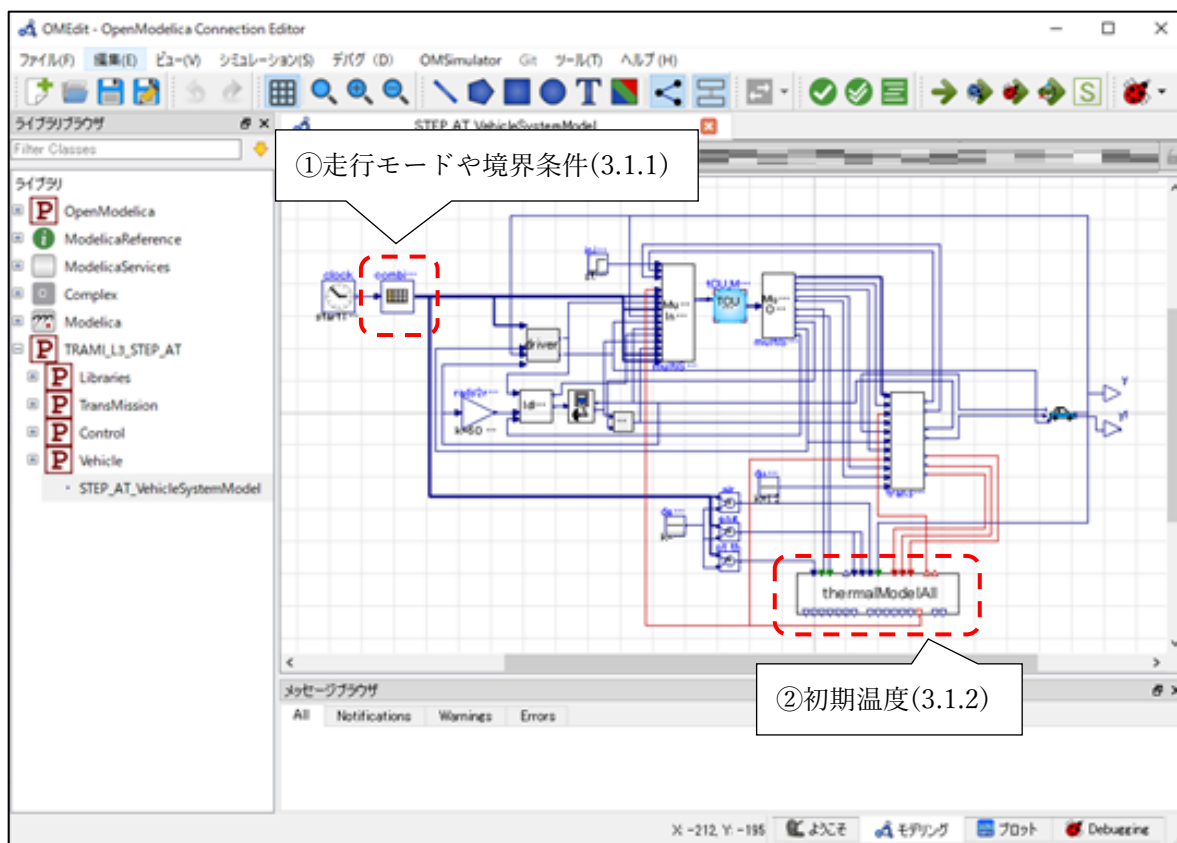


Figure 23 初期条件設定必要な箇所

3.1.1. 走行モードや境界条件の設定

シミュレーションを実施する走行モードや雰囲気温度等々の時系列データを、Figure 6 で示したファイル構成中の「ModelicaInputData.txt」に定義する。必要な変数とその単位を以下表に示す。

変数	単位	備考
走行モード時刻	sec	デフォルトは WLTC 走行モードを設定
走行モード目標車速	km/h	デフォルトは WLTC 走行モードを設定
シフター位置	-	TCU で使用
エンジン出力可能最小トルク	Nm	TCU で使用
エンジン出力可能最大トルク	Nm	TCU で使用
Air 温度	°C	デフォルトは 45 degC を設定
Eng 温度	°C	デフォルトは 56 degC を設定
PT_TH 温度	°C	デフォルトは 27 degC を設定

初期データは以下の Figure 24、Figure 25 のような時系列データである。

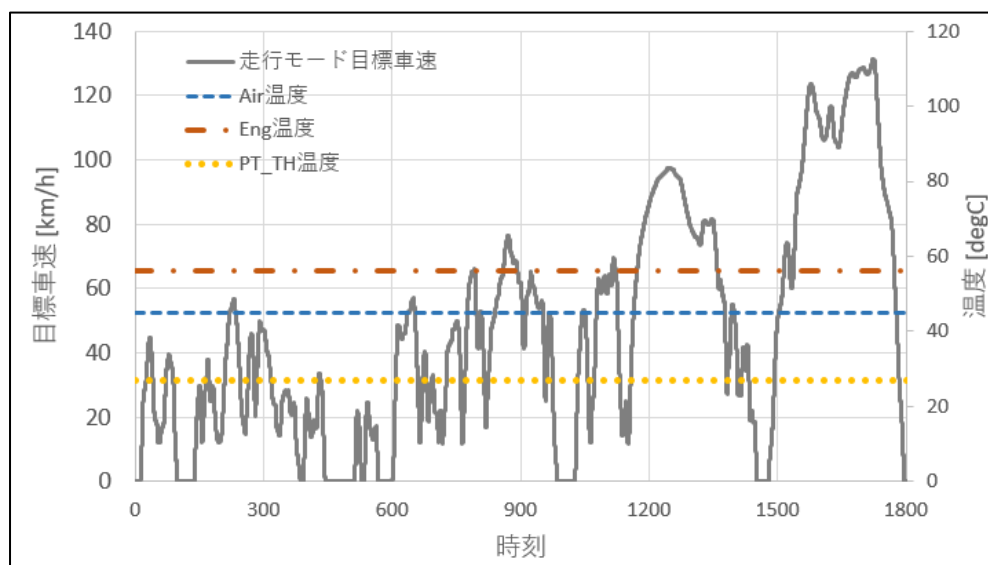


Figure 24 初期条件(走行モード目標車速 各種境界温度)

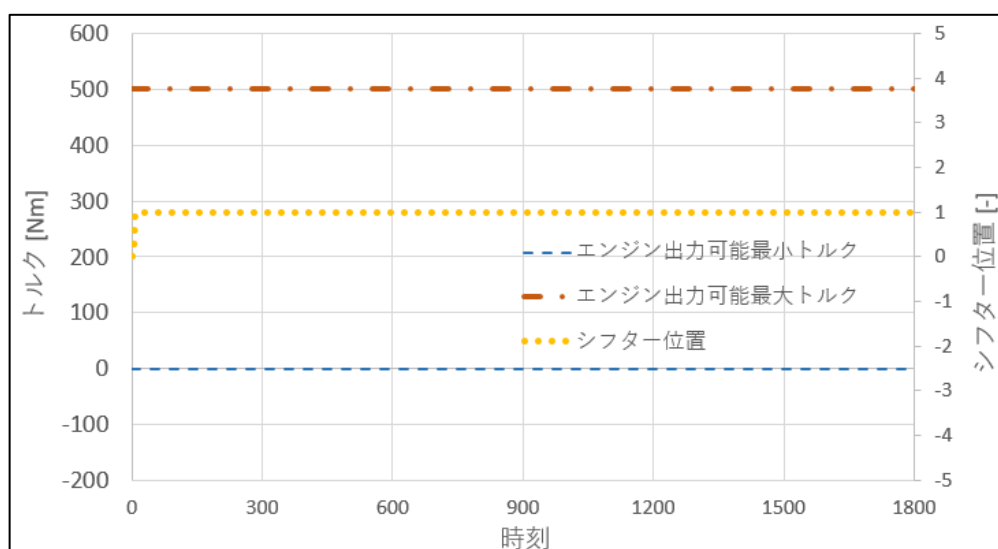


Figure 25 初期条件(TCU で使用)

3.1.2. 初期温度の設定

Figure 23 中の②で示した thermalModelAll をダブルクリックするとパラメータ設定ダイアログが表示される。以下表に示すパラメータ名により各種初期温度を設定する。

パラメータ名	説明	単位	デフォルト値
T0	発進デバイス初期温度	degC	26.85
T1	ケース・ハウジング初期温度	degC	26.85
T2	変速機構初期温度	degC	26.85
T3	オイル初期温度	degC	26.85

3.2. パラメーター一覧

シミュレーションに必要なマップデータの一覧を示す。ファイルは Figure 6 で示したファイル構成中の「Tables」フォルダに格納している。

マップ特性	ファイル名	単位	マップの軸[単位]		
			第 1 軸	第 2 軸	第 3 軸
アクセル開度	Accelerator_open_per_MAP.txt	%	トルク [Nm]	回転数[rpm]	
TM ロストルク	Loss_Compensation.txt	Nm	トルク [Nm]	回転数[rpm]	ギア比[-]
エンジントルク	ENGINE_TRQ_MAP.txt	Nm	回転数[rpm]	アクセル開度[%]	
オイルクーラー熱交換性能	thResistanceOilCollector1.txt	W/°C	オイル流量 [L/min]	LLC 流量[L/min]	
トルコン容量係数	TorqueConverter.txt	Nm/rpm ²	速度比[-]	動粘度[m ² /s]	
トルコントルク比	TorqueConverter.txt	-	速度比[-]	動粘度[m ² /s]	
サンギア 1 損失	PS1s.txt	Nm	トルク [Nm]	回転数[rpm]	動粘度[m ² /s]
リングギア 1 損失	PS1r.txt	Nm	トルク [Nm]	回転数[rpm]	動粘度[m ² /s]
サンギア 1 分力	PS1sK.txt	N	トルク [Nm]		
リングギア 1 分力	PS1rK.txt	N	トルク [Nm]		
サンギア 2 損失	PS2s.txt	Nm	トルク [Nm]	回転数[rpm]	動粘度[m ² /s]
リングギア 2 損失	PS2r.txt	Nm	トルク [Nm]	回転数[rpm]	動粘度[m ² /s]
サンギア 2 分力	PS2sK.txt	N	トルク [Nm]		
リングギア 2 分力	PS2rK.txt	N	トルク [Nm]		
サンギア 3 損失	PS3s.txt	Nm	トルク [Nm]	回転数[rpm]	動粘度[m ² /s]
リングギア 3 損失	PS3r.txt	Nm	トルク [Nm]	回転数[rpm]	動粘度[m ² /s]
サンギア 3 分力	PS3sK.txt	N	トルク [Nm]		
リングギア 3 分力	PS3rK.txt	N	トルク [Nm]		
サンギア 4 損失	PS4s.txt	Nm	トルク [Nm]	回転数[rpm]	動粘度[m ² /s]
リングギア 4 損失	PS4r.txt	Nm	トルク [Nm]	回転数[rpm]	動粘度[m ² /s]
サンギア 4 分力	PS4sK.txt	N	トルク [Nm]		

リングギア 4 分力	PS4rK.txt	N	トルク [Nm]		
オイルポンプ 損失	OP.txt	Nm	回転数[rpm]	ライン圧[kPa]	動粘度[m2/s]
シールリング 1 損失	SR1_1.txt	Nm	差回転[rpm]	差圧[kPa]	
シールリング 1 損失	SR1_2.txt	Nm	差回転[rpm]	差圧[kPa]	
シールリング 1 損失	SR1_3.txt	Nm	差回転[rpm]	差圧[kPa]	
シールリング 1 損失	SR1_4.txt	Nm	差回転[rpm]	差圧[kPa]	
シールリング 1 損失	SR1_5.txt	Nm	差回転[rpm]	差圧[kPa]	
シールリング 2 損失	SR2_1.txt	Nm	差回転[rpm]	差圧[kPa]	
シールリング 2 損失	SR2_2.txt	Nm	差回転[rpm]	差圧[kPa]	
シールリング 2 損失	SR2_3.txt	Nm	差回転[rpm]	差圧[kPa]	
シールリング 2 損失	SR2_4.txt	Nm	差回転[rpm]	差圧[kPa]	
シールリング 3 損失	SR3_1.txt	Nm	差回転[rpm]	差圧[kPa]	
シールリング 3 損失	SR3_2.txt	Nm	差回転[rpm]	差圧[kPa]	
シールリング 4 損失	SR4_1.txt	Nm	差回転[rpm]	差圧[kPa]	
シールリング 4 損失	SR4_2.txt	Nm	差回転[rpm]	差圧[kPa]	
クラッチ 1 引き摺り損失	C1.txt	Nm	回転数(ハブ側) [rpm]	差回転[rpm]	動粘度[m2/s]
クラッチ 2 引き摺り損失	C2.txt	Nm	回転数(ハブ側) [rpm]	差回転[rpm]	動粘度[m2/s]
クラッチ 3 引き摺り損失	C3.txt	Nm	回転数(ハブ側) [rpm]	差回転[rpm]	動粘度[m2/s]
ブレーキ 1 引き摺り損失	B1.txt	Nm	差回転[rpm]	動粘度[m2/s]	
ブレーキ 2 引き摺り損失	B2.txt	Nm	差回転[rpm]	動粘度[m2/s]	
ブレーキ 3 引き摺り損失	B3.txt	Nm	差回転[rpm]	動粘度[m2/s]	
フロント側 攪拌抵抗	Stirr1.txt	Nm	回転数[rpm]	動粘度[m2/s]	
リア側 攪拌抵抗	Stirr2.txt	Nm	回転数[rpm]	動粘度[m2/s]	
ニードル BRG1 損失 1	N1.txt	Nm	動粘度[m2/s]	差回転[rpm]	
ニードル BRG1 損失 2	N1.txt	Nm	ラジアル荷重[N]	スラスト荷重[N]	
ニードル BRG2 損失 1	N2.txt	Nm	動粘度[m2/s]	差回転[rpm]	
ニードル BRG2 損失 2	N2.txt	Nm	ラジアル荷重[N]	スラスト荷重[N]	
ニードル BRG3 損失 1	N3.txt	Nm	動粘度[m2/s]	差回転[rpm]	
ニードル BRG3 損失 2	N3.txt	Nm	ラジアル荷重[N]	スラスト荷重[N]	
ニードル BRG4 損失 1	N4.txt	Nm	動粘度[m2/s]	差回転[rpm]	
ニードル BRG4 損失 2	N4.txt	Nm	ラジアル荷重[N]	スラスト荷重[N]	
ニードル BRG5 損失 1	N5.txt	Nm	動粘度[m2/s]	差回転[rpm]	
ニードル BRG5 損失 2	N5.txt	Nm	ラジアル荷重[N]	スラスト荷重[N]	
ニードル BRG6 損失 1	N6.txt	Nm	動粘度[m2/s]	差回転[rpm]	
ニードル BRG6 損失 2	N6.txt	Nm	ラジアル荷重[N]	スラスト荷重[N]	
ニードル BRG7 損失 1	N7.txt	Nm	動粘度[m2/s]	差回転[rpm]	
ニードル BRG7 損失 2	N7.txt	Nm	ラジアル荷重[N]	スラスト荷重[N]	
ニードル BRG8 損失 1	N8.txt	Nm	動粘度[m2/s]	差回転[rpm]	
ニードル BRG8 損失 2	N8.txt	Nm	ラジアル荷重[N]	スラスト荷重[N]	
ニードル BRG9 損失 1	N9.txt	Nm	動粘度[m2/s]	差回転[rpm]	
ニードル BRG9 損失 2	N9.txt	Nm	ラジアル荷重[N]	スラスト荷重[N]	

ニードル BRG10 損失 1	N10.txt	Nm	動粘度[m2/s]	差回転[rpm]	
ニードル BRG10 損失 2	N10.txt	Nm	ラジアル荷重[N]	スラスト荷重[N]	
ニードル BRG11 損失 1	N11.txt	Nm	動粘度[m2/s]	差回転[rpm]	
ニードル BRG11 損失 2	N11.txt	Nm	ラジアル荷重[N]	スラスト荷重[N]	
ニードル BRG12~15 損失 1	N12_15.txt	Nm	動粘度[m2/s]	差回転[rpm]	
ニードル BRG12~15 損失 2	N12_15.txt	Nm	ラジアル荷重[N]	スラスト荷重[N]	
ニードル BRG16~19 損失 1	N16_19.txt	Nm	動粘度[m2/s]	差回転[rpm]	
ニードル BRG16~19 損失 2	N16_19.txt	Nm	ラジアル荷重[N]	スラスト荷重[N]	
ニードル BRG20~23 損失 1	N20_23.txt	Nm	動粘度[m2/s]	差回転[rpm]	
ニードル BRG20~23 損失 2	N20_23.txt	Nm	ラジアル荷重[N]	スラスト荷重[N]	
ニードル BRG24~27 損失 1	N24_27.txt	Nm	動粘度[m2/s]	差回転[rpm]	
ニードル BRG24~27 損失 2	N24_27.txt	Nm	ラジアル荷重[N]	スラスト荷重[N]	
スラスト BRG1 損失 1	SN1.txt	Nm	動粘度[m2/s]	差回転[rpm]	
スラスト BRG1 損失 2	SN1.txt	Nm	ラジアル荷重[N]	スラスト荷重[N]	
スラスト BRG2 損失 1	SN2.txt	Nm	動粘度[m2/s]	差回転[rpm]	
スラスト BRG2 損失 2	SN2.txt	Nm	ラジアル荷重[N]	スラスト荷重[N]	
スラスト BRG3 損失 1	SN3.txt	Nm	動粘度[m2/s]	差回転[rpm]	
スラスト BRG3 損失 2	SN3.txt	Nm	ラジアル荷重[N]	スラスト荷重[N]	
スラスト BRG5 損失 1	SN5.txt	Nm	動粘度[m2/s]	差回転[rpm]	
スラスト BRG5 損失 2	SN5.txt	Nm	ラジアル荷重[N]	スラスト荷重[N]	
スラスト BRG6 損失 1	SN6.txt	Nm	動粘度[m2/s]	差回転[rpm]	
スラスト BRG6 損失 2	SN6.txt	Nm	ラジアル荷重[N]	スラスト荷重[N]	
スラスト BRG7 損失 1	SN7.txt	Nm	動粘度[m2/s]	差回転[rpm]	
スラスト BRG7 損失 2	SN7.txt	Nm	ラジアル荷重[N]	スラスト荷重[N]	
スラスト BRG8 損失 1	SN8.txt	Nm	動粘度[m2/s]	差回転[rpm]	
スラスト BRG8 損失 2	SN8.txt	Nm	ラジアル荷重[N]	スラスト荷重[N]	
スラスト BRG9 損失 1	SN9.txt	Nm	動粘度[m2/s]	差回転[rpm]	
スラスト BRG9 損失 2	SN9.txt	Nm	ラジアル荷重[N]	スラスト荷重[N]	
スラスト BRG10 損失 1	SN10.txt	Nm	動粘度[m2/s]	差回転[rpm]	
スラスト BRG10 損失 2	SN10.txt	Nm	ラジアル荷重[N]	スラスト荷重[N]	
スラスト BRG11 損失 1	SN11.txt	Nm	動粘度[m2/s]	差回転[rpm]	
スラスト BRG11 損失 2	SN11.txt	Nm	ラジアル荷重[N]	スラスト荷重[N]	
アンギュラ軸受 1 損失 1	BB1.txt	Nm	動粘度[m2/s]	差回転[rpm]	
アンギュラ軸受 1 損失 2	BB1.txt	Nm	ラジアル荷重[N]	スラスト荷重[N]	
オイルシール 1 損失	OS1.txt	Nm	回転数[rpm]		
オイルシール 2 損失	OS2.txt	Nm	回転数[rpm]		
終減速機 アンギュラ軸受 1 損失 1	D_AGB1.txt	Nm	動粘度[m2/s]	差回転[rpm]	
終減速機 アンギュラ軸受 1 損失 2	D_AGB1.txt	Nm	ラジアル荷重[N]	スラスト荷重[N]	
終減速機 アンギュラ軸受 2 損失 1	D_AGB2.txt	Nm	動粘度[m2/s]	差回転[rpm]	
終減速機 アンギュラ軸受 2 損失 2	D_AGB2.txt	Nm	ラジアル荷重[N]	スラスト荷重[N]	
終減速機 テーパー軸受 1 損失 1	D_TRB1.txt	Nm	動粘度[m2/s]	差回転[rpm]	

終減速機 テーパー軸受 1 損失 2	D_TRB1.txt	Nm	ラジアル荷重[N]	スラスト荷重[N]	
終減速機 テーパー軸受 2 損失 1	D_TRB2.txt	Nm	動粘度[m2/s]	差回転[rpm]	
終減速機 テーパー軸受 2 損失 2	D_TRB2.txt	Nm	ラジアル荷重[N]	スラスト荷重[N]	
終減速機 オイルシール 1 損失	D_OS1.txt	Nm	回転数[rpm]		
終減速機 オイルシール 2 損失	D_OS2.txt	Nm	回転数[rpm]		
終減速機 オイルシール 3 損失	D_OS3.txt	Nm	回転数[rpm]		
終減速機 損失	DF_LoadLoss.txt	Nm	トルク [Nm]	回転数[rpm]	動粘度[m2/s]
終減速機 攪拌抵抗	DF_StirringLoss.txt	Nm	回転数[rpm]	動粘度[m2/s]	
終減速機 分力	DF_LoadK.txt	N	トルク [Nm]		
クラッチ LC トルク-油圧変換	TPMAP_LC.txt	kPa	クラッチトルク指示値[Nm]		
クラッチ 1 トルク-油圧変換	TPMAP_CL1.txt	kPa	クラッチトルク指示値[Nm]		
クラッチ 2 トルク-油圧変換	TPMAP_CL2.txt	kPa	クラッチトルク指示値[Nm]		
クラッチ 3 トルク-油圧変換	TPMAP_CL3.txt	kPa	クラッチトルク指示値[Nm]		

3.3. サブシステムレベル モデル構造と設定パラメータ仕様

以下にトランスミッションのサブシステムレベルのモデルが第3階層部品レベルのモデルでどのように構成されているかのモデル構造を示す。また、モデル可読性のため複数部品を組み合わせたブロックの構成について示す。

3.3.1. 発進デバイス

3.3.1.1. 概要

以下に発進デバイスの機能を示す。なお、軸受け等の発熱と流体伝達装置の発熱は分けて出力しているため注意すること。

A. 回転系の機能

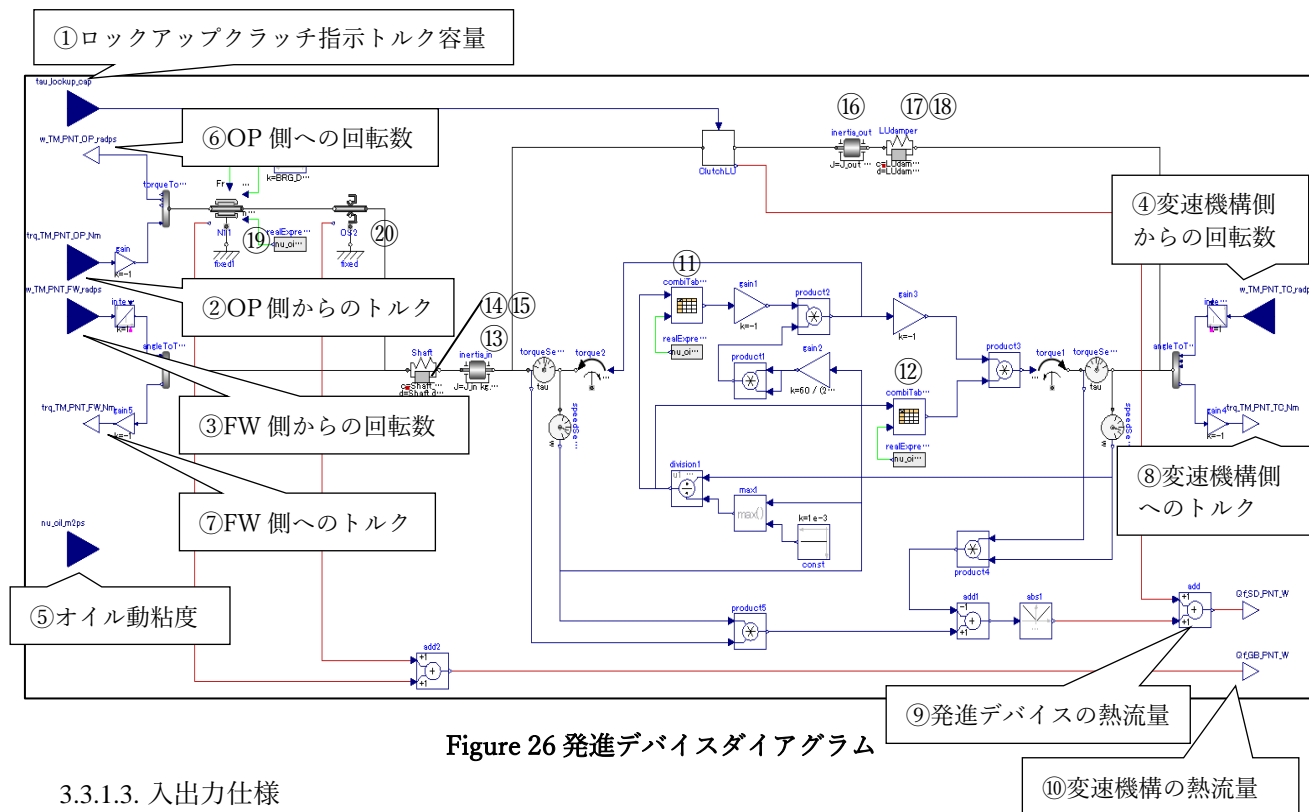
- ・ 差回転、締結状態に応じた伝達トルクを算出
- ・ 発進デバイスの損失を算出
- ・ 軸受け等の損失トルクを算出

B. 熱系の機能

- ・ 発進デバイスの発熱量を算出
- ・ 軸受け等の発熱量を算出(変速機構の発熱量の一部と合算する)

3.3.1.2. ダイアグラム

Figure 26 に発進デバイスのダイアグラムを示す。



3.3.1.3. 入出力仕様

以下に発進デバイスの入出力仕様を示す。

入力				
No.	名称	単位	範囲	説明
①	tau_lockup_cap	Nm	-	ロックアップクラッチへの指示トルク容量 (制御モデル I/F)
②	trq_TM_PNT_OP_Nm	Nm	-	オイルポンプ側からのトルク
③	w_TM_PNT_FW_radps	rad/s	-	フライホイール側からの回転数
④	w_TM_PNT_TC_radps	rad/s	-	変速機構側からの回転数
⑤	nu_oil_m2ps	m2/s	-	オイル動粘度 (外部情報 I/F)
出力				
No.	名称	単位	範囲	説明
⑥	w_TM_PNT_OP_radps	rad/s	-	オイルポンプ側への回転数
⑦	trq_TM_PNT_FW_Nm	Nm	-	フライホイール側へのトルク
⑧	trq_TM_PNT_TC_Nm	Nm	-	変速機構側へのトルク
⑨	Qf_SD_PNT_W	W	-	発進デバイス(熱モデル)への熱流量
⑩	Qf_GB_PNT_W	W	-	変速機構(熱モデル)への熱流量

3.3.1.4. 構成要素

発進デバイスを構成するクラスを以下に示す。各クラスの解説はクラス説明章を参照のこと。

発進デバイス構成クラス			
クラス名	部品名	説明章	機能
Clutch	クラッチ	3.4.4	トルク容量信号に応じたトルクを伝達
BRG_RadialNeedle	ニードル BRG	3.4.8	オイル動粘度・回転数、ラジアル荷重・スラスト荷重によるテーブルで決定する損失トルクを付与
OilSeal	オイルシール	3.4.9	回転数によるテーブルで決定する損失トルクを付与
Inertia	内部イナーシャ	3.4.13	慣性項の算出
SpringDamper	内部シャフト	3.4.12	バネ・ダンパ項の算出

3.3.1.5. パラメータ仕様

以下に発進デバイスの構成オブジェクトとパラメータ設定ファイル・値を示す。

No	変数名	設定ファイル・値	単位	説明
-	StartDeviceFileName	TorqueConverter.txt	-	トルクコンバータ特性テーブルファイル名
⑪	CapacityCoefficientTabName	CapacityCoefficient	-	容量係数テーブル名
⑫	TorqueRatioTabName	TorqueRatio	-	トルク係数テーブル名
⑬	J_in	0.08	kgm2	入力軸イナーシャ
⑭	Shaft_c	1e5	Nm/rad	入力軸剛性
⑮	Shaft_d	1e3	Nms/rad	入力軸減衰係数
⑯	J_out	0.08	kgm2	ロックアップ-出力軸間イナーシャ
⑰	LUdamper_c	1e3	Nm/rad	ロックアップ-出力軸間剛性
⑱	LUdamper_d	1e1	Nms/rad	ロックアップ-出力軸間減衰係数
⑲	N11	N11.txt	-	ニードル軸受 11 損失テーブルファイル
⑳	OS2	OS2.txt	-	オイルシール 2 損失テーブルファイル

3.3.2. 変速機構

3.3.2.1. 概要

以下に変速機構の機能を示す。

A. 回転系の機能

- ・ 変速比に応じた伝達トルクや回転数を算出
- ・ 変速機構の損失を算出
- ・ 変速機構の慣性項を算出

B. 熱系の機能

- ・ 変速機構の発熱量を算出

3.3.2.2. ダイアグラム

Figure 27 に変速機構モデルのダイアグラムを示す。

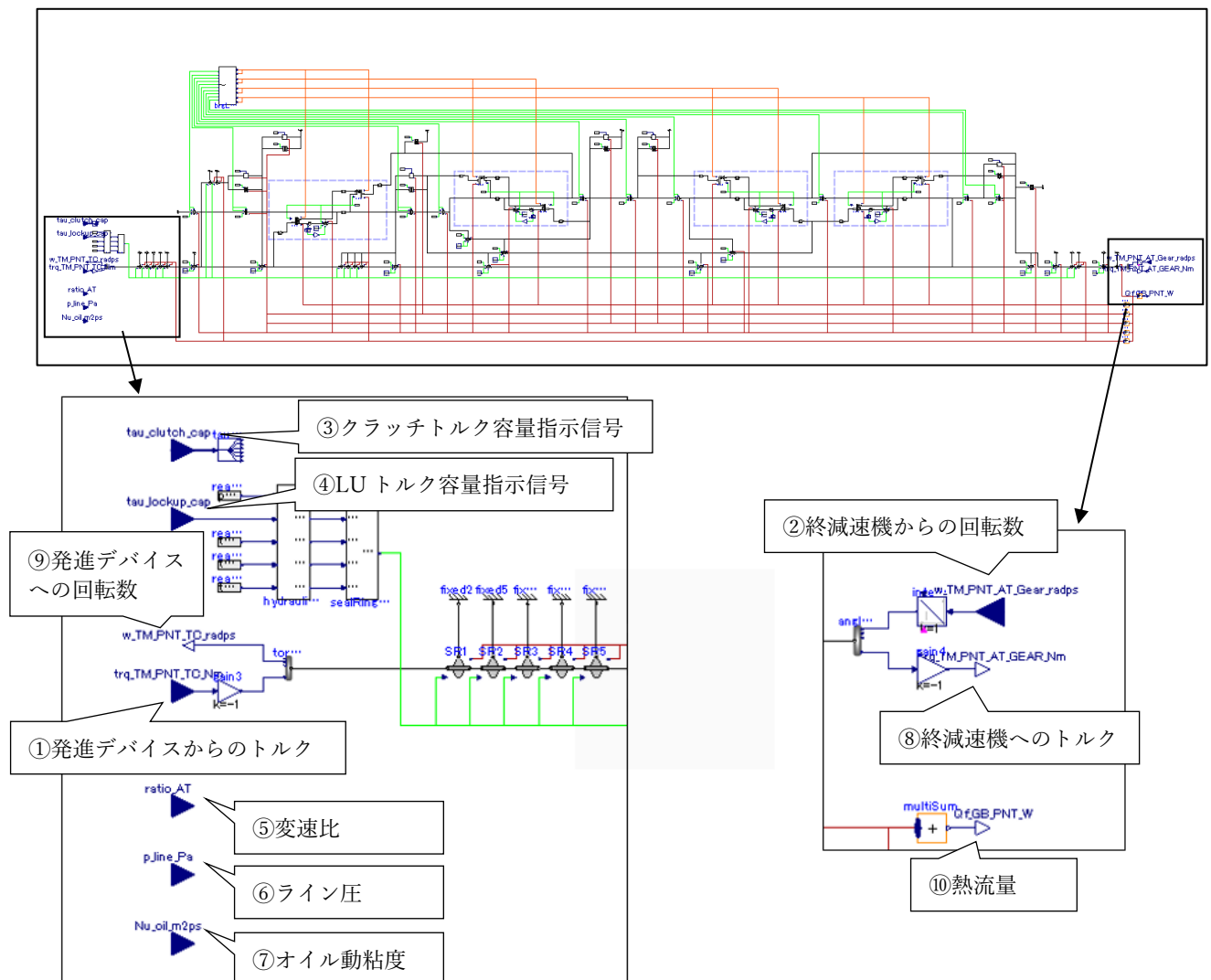


Figure 27 変速機構ダイアグラム

3.3.2.3. 入出力仕様

以下に変速機構モデルの入出力仕様を示す。

入力				
No.	名称	単位	範囲	説明
①	trq_TM_PNT_TC_Nm	Nm	-	発進デバイスからのトルク
②	w_TM_PNT_AT_Gear_radps	rad/s	-	終減速機からの回転数
③	tau_clutch_cap	Nm	-	クラッチの指示トルク容量 (制御モデル I/F)
④	tau_lockup_cap	Nm	-	ロックアップクラッチへの指示トルク容量 (制御モデル I/F)
⑤	ratio_AT	-	-	変速比 (制御モデル I/F)
⑥	p_line_Pa	Pa	-	ライン圧 (制御モデル I/F)
⑦	Nu_oil_m2ps	m2/s	-	オイル動粘度 (外部情報 I/F)
出力				
No.	名称	単位	範囲	説明
⑧	trq_TM_PNT_AT_GEAR_Nm	Nm	-	終減速機へのトルク
⑨	w_TM_PNT_TC_radps	rad/s		発進デバイスへの回転数
⑩	Qf_GB_PNT_W	W	-	変速機構(熱モデル)への熱流量

3.3.2.4. 構成要素

変速機構を構成するクラスを以下に示す。各クラスの解説はクラス説明章を参照のこと。

変速機構構成クラス			
クラス名	部品名	説明章	機能
PlanetPlanet	PlanetPlanet	3.4.1	設定ギヤ比での回転運動伝達 ギヤ入力トルク・回転数・オイル動粘度によるテーブルで決定する損失トルクを付与 ギヤ入力トルクにより決定するギヤ軸へ与えるスラスト荷重を出力
PlanetRing	PlanetRing	3.4.2	設定ギヤ比での回転運動伝達 ギヤ入力トルク・回転数・オイル動粘度によるテーブルで決定する損失トルクを付与 ギヤ入力トルクにより決定するギヤ軸へ与えるスラスト荷重を出力
Clutch	変速用クラッチ	3.4.4	トルク容量信号に応じたトルクを伝達
SealRing	シールリング	3.4.6	油圧・回転数によるテーブルで決定する損失トルクを付与
Stirring	攪拌抵抗	3.4.7	回転数・オイル動粘度によるテーブルで決定する損失トルクを付与
BRG_Angular	アンギュラ BRG	3.4.8	オイル動粘度・回転数、ラジアル荷重・スラスト荷重によるテーブルで決定する損失トルクを付与
BRG_RadialNeedle	ニードル BRG	3.4.8	オイル動粘度・回転数、ラジアル荷重・スラスト荷重によるテーブルで決定する損失トルクを付与
BRG_ThrustNeedle	スラスト BRG	3.4.8	オイル動粘度・回転数、ラジアル荷重・スラスト荷重によるテーブルで決定する損失トルクを付与
OilSeal	オイルシール	3.4.9	回転数によるテーブルで決定する損失トルクを付与
Inertia	内部イナーシャ	3.4.13	慣性項の算出
BrgLoadDistribution_TM	スラスト軸受荷重配分計算モデル	3.5	各ギヤスラスト力から各スラスト軸受荷重配分を算出

HydraulicSystem	トルク-油圧変換モデル	3.7	トルク容量指示値から油圧指示値へ変換
SealRingPrsDistribution	シールリングへの油圧計算モデル	3.8	各シールリングにかかる油圧を出力

3.3.2.5. パラメータ仕様(入力軸～ブレーキ B1)

以下に変速機構の構成オブジェクトとパラメータ設定ファイル・値を示す。ただし、モデル化範囲が広大であるため複数の拡大範囲領域に分けて示す。変速機構の入力軸～ブレーキ B1 までの構成オブジェクトとパラメータ設定ファイル・値をダイアグラムと共に示す。

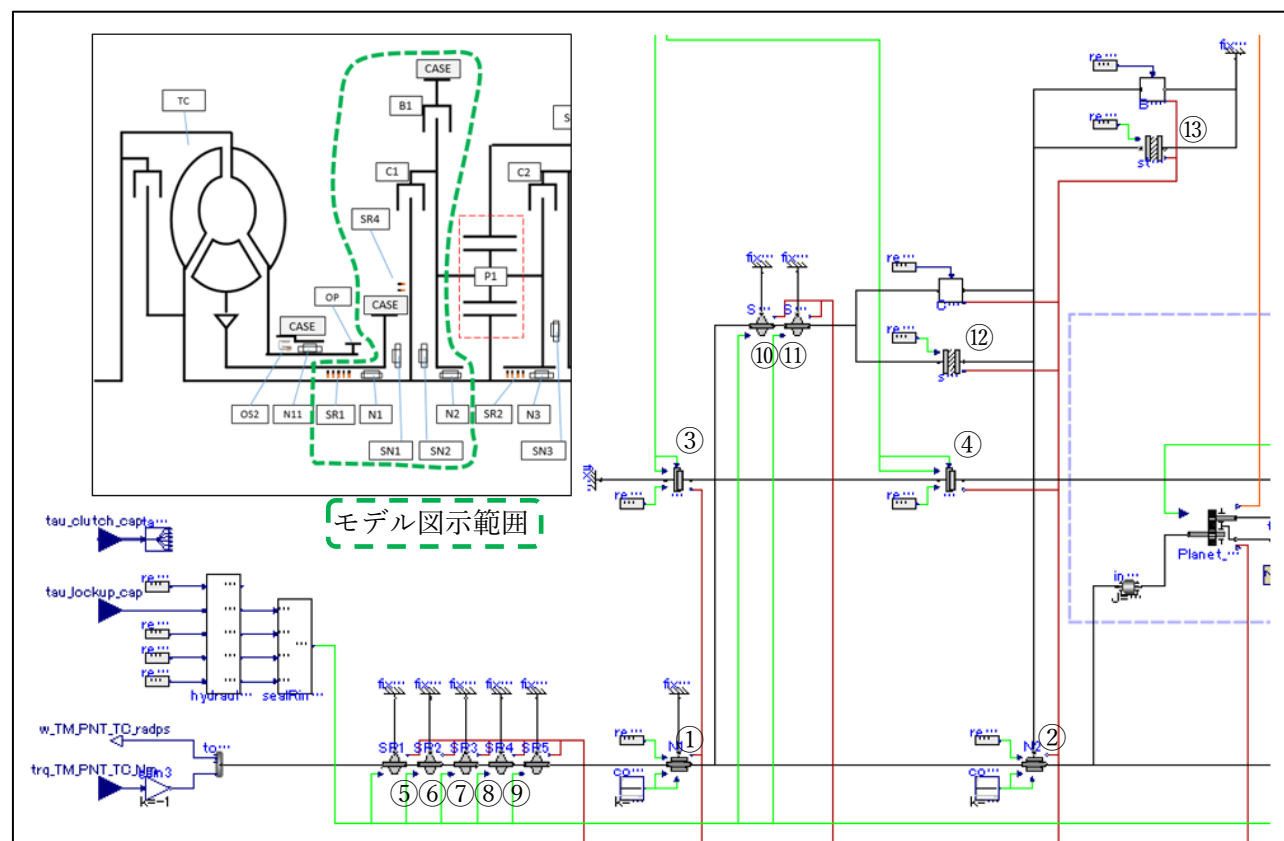


Figure 28 変速機構ダイアグラム(入力軸～ブレーキ B1)

No	変数名	設定ファイル・値	単位	説明
①	N1	N1.txt	-	ニードル軸受 1 損失テーブルファイル
②	N2	N2.txt	-	ニードル軸受 2 損失テーブルファイル
③	SN1	SN1.txt	-	スラスト軸受 1 損失テーブルファイル
④	SN2	SN2.txt	-	スラスト軸受 2 損失テーブルファイル
⑤	SR1	SR1_1.txt	-	シールリング 1-1 損失テーブルファイル
⑥	SR2	SR1_2.txt	-	シールリング 1-2 損失テーブルファイル
⑦	SR3	SR1_3.txt	-	シールリング 1-3 損失テーブルファイル
⑧	SR4	SR1_4.txt	-	シールリング 1-4 損失テーブルファイル
⑨	SR5	SR1_5.txt	-	シールリング 1-5 損失テーブルファイル
⑩	SR12	SR4_1.txt	-	シールリング 4-1 損失テーブルファイル

⑪	SR13	SR4_2.txt	-	シールリング 4-2 損失テーブルファイル
⑫	stirring3D_C1	C1.txt	-	クラッチ C1 引き摺り損失テーブルファイル
⑬	stirring2D_B1	B1.txt	-	ブレーキ B1 引き摺り損失テーブルファイル

3.3.2.6. パラメータ仕様(プラネタリギヤ P1～スラスト軸受 3)

以下に変速機構のプラネタリギヤ P1～スラスト軸受 3 までの構成オブジェクトとパラメータ設定ファイル・値をダイアグラムと共に示す。

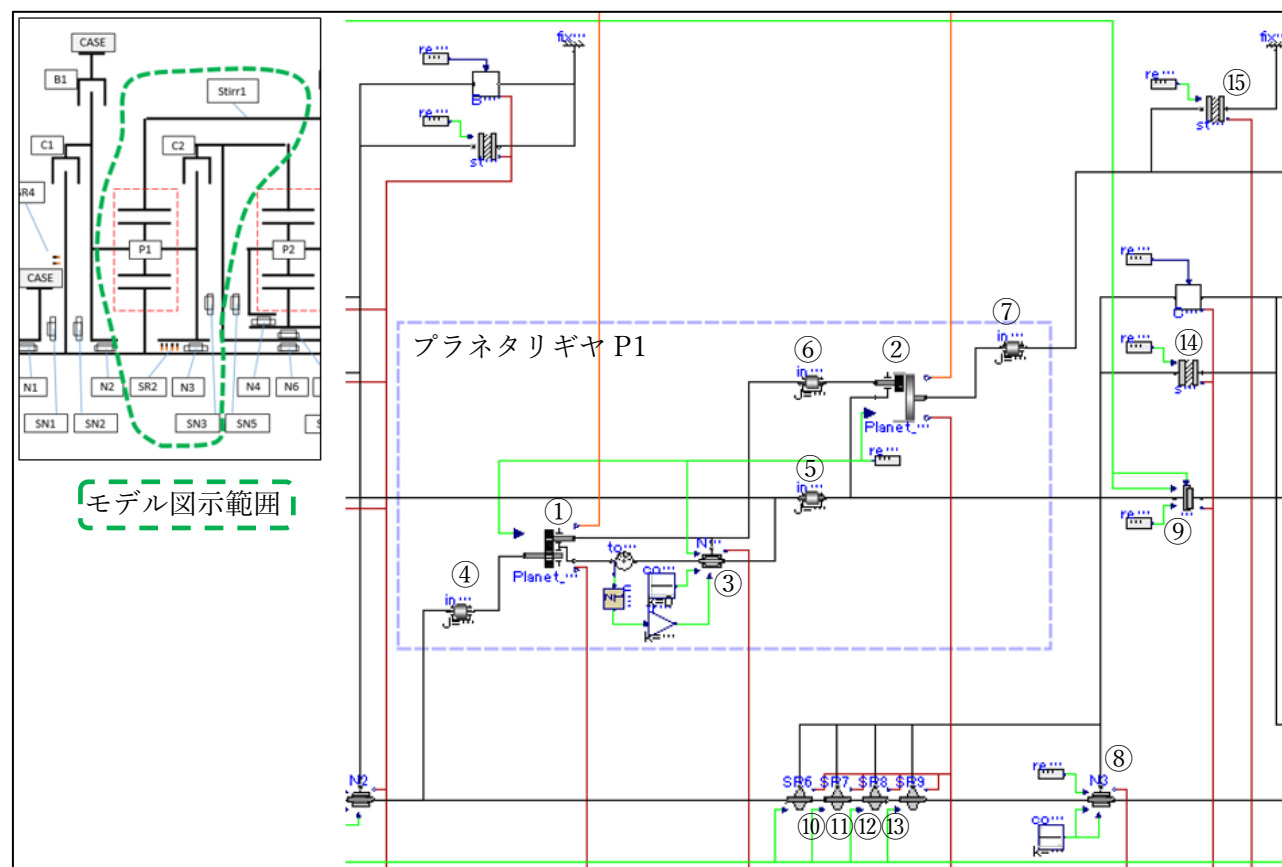


Figure 29 変速機構ダイアグラム(プラネタリギヤ P1～スラスト軸受 3)

No	変数名	設定ファイル・値	単位	説明
①	Planet_Planet_P1	-26 / 46	-	PlanetPlanet1 減速比
		PS1s.txt	-	PlanetPlanet1 損失テーブルファイル
		PS1sK.txt	-	PlanetPlanet1 分力テーブルファイル
		Oil_Viscosity_Breakpoint	m2/s	PlanetPlanet1 オイル動粘度ブレイクポイント
②	Planet_Ring_P1	98 / 26	-	PlanetRing1 減速比
		PS1r.txt	-	PlanetRing1 損失テーブルファイル
		PS1rK.txt	-	PlanetRing1 分力テーブルファイル
		Oil_Viscosity_Breakpoint	m2/s	PlanetRing1 オイル動粘度ブレイクポイント
③	N12_15	N12_15.txt	-	ニードル軸受 12-15 損失テーブルファイル
④	inertia_SunGear_P1	0.0001	kgm2	プラネタリギヤ P1 サンギアイナーシャ

⑤	inertia_Carrier_P1	0.002	kgm2	プラネタリギヤ P1 キャリアイナーシャ
⑥	inertia_PlanetGear_P1	0.0001	kgm2	プラネタリギヤ P1 ピニオンイナーシャ
⑦	inertia_RingGear_P1	0.002	kgm2	プラネタリギヤ P1 リングギヤイナーシャ
⑧	N3	N3.txt	-	ニードル軸受 3 損失テーブルファイル
⑨	SN3	SN3.txt	-	スラスト軸受 3 損失テーブルファイル
⑩	SR6	SR2_1.txt	-	シールリング 2-1 損失テーブルファイル
⑪	SR7	SR2_2.txt	-	シールリング 2-2 損失テーブルファイル
⑫	SR8	SR2_3.txt	-	シールリング 2-3 損失テーブルファイル
⑬	SR9	SR2_4.txt	-	シールリング 2-4 損失テーブルファイル
⑭	stirring3D_C2	C2.txt	-	クラッチ C2 引き摺り損失テーブルファイル
⑮	stirring2D	Stirr1.txt	-	攪拌抵抗(Ft) 損失テーブルファイル

3.3.2.7. パラメータ仕様(スラスト軸受 5～スラスト軸受 7)

以下に変速機構のスラスト軸受 5～スラスト軸受 7 までの構成オブジェクトとパラメータ設定ファイル・値をダイアグラムと共に示す。

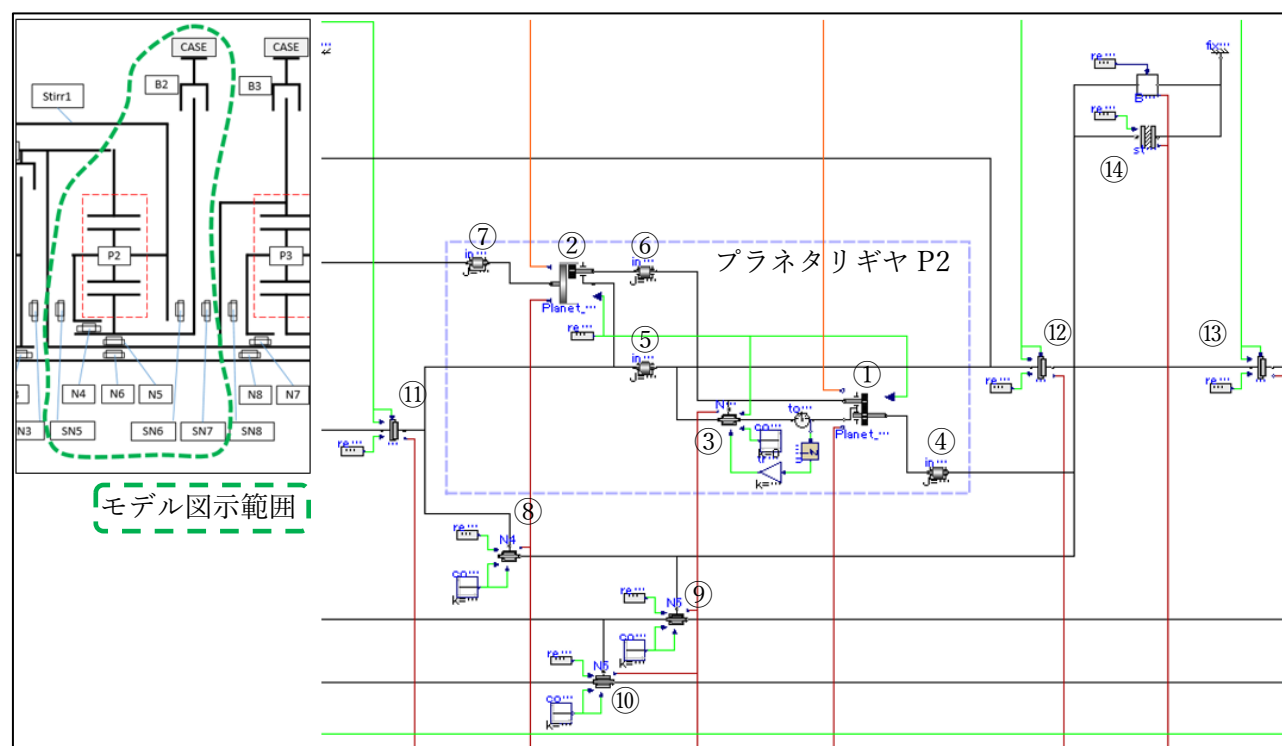


Figure 30 変速機構ダイアグラム(スラスト軸受 5～スラスト軸受 7)

No	変数名	設定ファイル・値	単位	説明
①	Planet_Planet_P2	-27 / 44	-	PlanetPlanet2 減速比
		PS2s.txt	-	PlanetPlanet2 損失テーブルファイル
		PS2sK.txt	-	PlanetPlanet2 分力テーブルファイル
		Oil_Viscosity_Breakpoint	m2/s	PlanetPlanet2 オイル動粘度ブレイクポイント
②	Planet_Ring_P2	100 / 27	-	PlanetRing2 減速比
		PS2r.txt	-	PlanetRing2 損失テーブルファイル

		PS2rK.txt	-	PlanetRing2 分力テーブルファイル
		Oil_Viscosity_Breakpoint	m2/s	PlanetRing2 オイル動粘度ブレイクポイント
③	N16_19	N16_19.txt	-	ニードル軸受 16-19 損失テーブルファイル
④	inertia_SunGear_P2	0.0001	kgm2	プラネタリギヤ P2 サンギアイナーシャ
⑤	inertia_Carrier_P2	0.002	kgm2	プラネタリギヤ P2 キャリアイナーシャ
⑥	inertia_PlanetGear_P2	0.0001	kgm2	プラネタリギヤ P2 ピニオンイナーシャ
⑦	inertia_RingGear_P2	0.002	kgm2	プラネタリギヤ P2 リングギアイナーシャ
⑧	N4	N4.txt	-	ニードル軸受 4 損失テーブルファイル
⑨	N5	N5.txt	-	ニードル軸受 5 損失テーブルファイル
⑩	N6	N6.txt	-	ニードル軸受 6 損失テーブルファイル
⑪	SN5	SN5.txt	-	スラスト軸受 5 損失テーブルファイル
⑫	SN6	SN6.txt	-	スラスト軸受 6 損失テーブルファイル
⑬	SN7	SN7.txt	-	スラスト軸受 7 損失テーブルファイル
⑭	stirring2D_B2	B2.txt	-	ブレーキ B2 引き摺り損失テーブルファイル

3.3.2.8. パラメータ仕様(スラスト軸受 8～スラスト軸受 9)

以下に変速機構のスラスト軸受 8～スラスト軸受 9 までの構成オブジェクトとパラメータ設定ファイル・値をダイアグラムと共に示す。

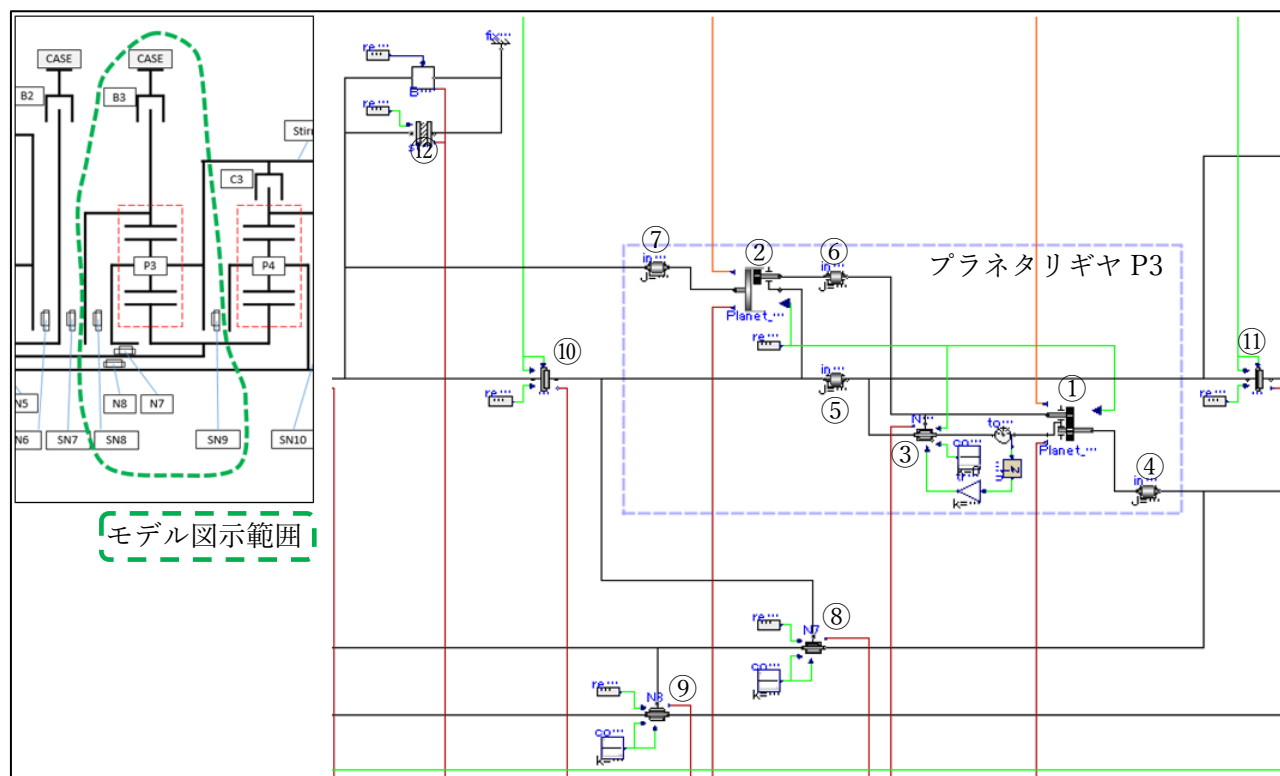


Figure 31 変速機構ダイアグラム(スラスト軸受 8～スラスト軸受 9)

No	変数名	設定ファイル・値	単位	説明
①	Planet_Planet_P3	-23 / 37	-	PlanetPlanet3 減速比
		PS3s.txt	-	PlanetPlanet3 損失テーブルファイル

②	Planet_Ring_P3	PS3sK.txt	-	PlanetPlanet3 分力テーブルファイル
		Oil_Viscosity_Breakpoint	m2/s	PlanetPlanet3 オイル動粘度ブレイクポイント
		83 / 23	-	PlanetRing3 減速比
		PS3r.txt	-	PlanetRing3 損失テーブルファイル
③	N20_23	PS3rK.txt	-	PlanetRing3 分力テーブルファイル
		Oil_Viscosity_Breakpoint	m2/s	PlanetRing3 オイル動粘度ブレイクポイント
		N20_23.txt	-	ニードル軸受 20-23 損失テーブルファイル
		0.0001	kgm2	ブラネタリギヤ P3 サンギアイナーシャ
④	inertia_SunGear_P3	0.0001	kgm2	ブラネタリギヤ P3 キャリアイナーシャ
⑤	inertia_Carrier_P3	0.002	kgm2	ブラネタリギヤ P3 ピニオンイナーシャ
⑥	inertia_PlanetGear_P3	0.0001	kgm2	ブラネタリギヤ P3 リングギアイナーシャ
⑦	inertia_RingGear_P3	0.002	kgm2	ニードル軸受 7 損失テーブルファイル
⑧	N7	N7.txt	-	ニードル軸受 8 損失テーブルファイル
⑨	N8	N8.txt	-	スラスト軸受 8 損失テーブルファイル
⑩	SN8	SN8.txt	-	スラスト軸受 9 損失テーブルファイル
⑪	SN9	SN9.txt	-	スラスト軸受 9 損失テーブルファイル
⑫	stirring2D_B3	B3.txt	-	ブレーキ B3 引き摺り損失テーブルファイル

3.3.2.9. パラメータ仕様(プラネタリギヤ P4～スラスト軸受 11)

以下に変速機構のプラネタリギヤ P4～スラスト軸受 11 までの構成オブジェクトとパラメータ設定ファイル・値をダイアグラムと共に示す。

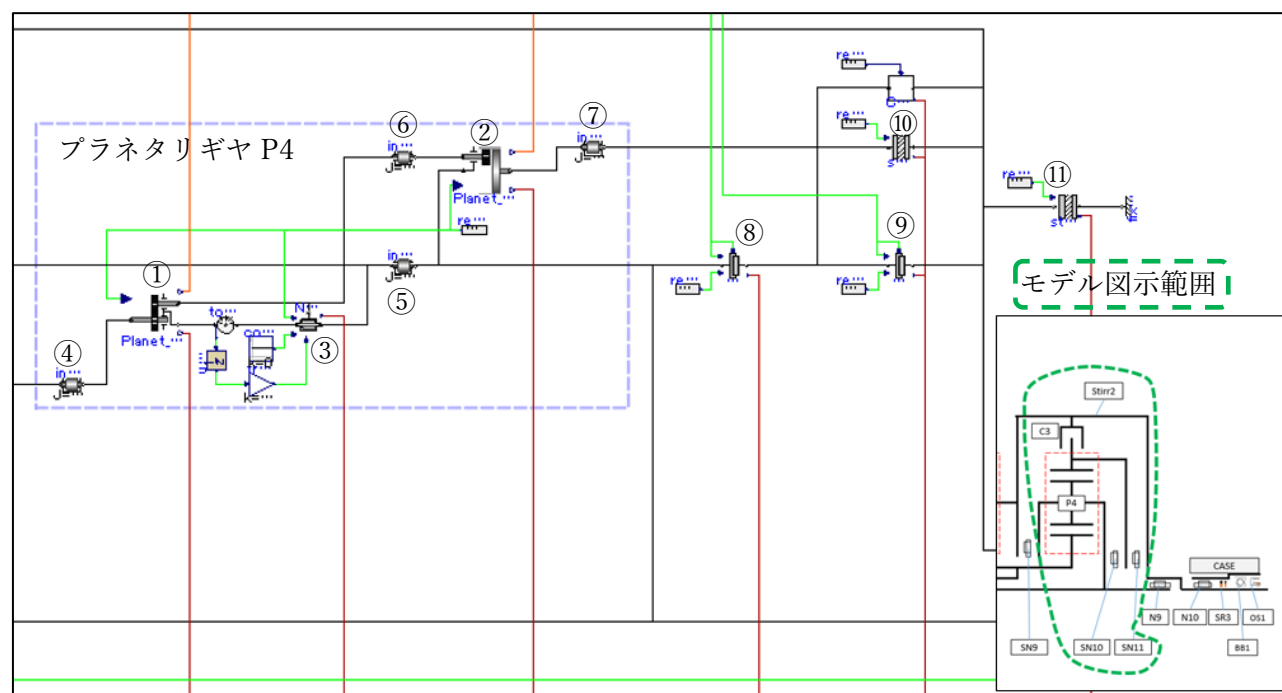


Figure 32 変速機構ダイアグラム(プラネタリギヤ P4～スラスト軸受 11)

No	変数名	設定ファイル・値	単位	説明
①	Planet_Planet_P4	-26 / 34	-	PlanetPlanet4 減速比
		PS4s.txt	-	PlanetPlanet4 損失テーブルファイル

		PS4sK.txt	-	PlanetPlanet4 分力テーブルファイル
		Oil_Viscosity_Breakpoint	m2/s	PlanetPlanet4 オイル動粘度ブレイクポイント
②	Planet_Ring_P4	86 / 26	-	PlanetRing4 減速比
		PS4r.txt	-	PlanetRing4 損失テーブルファイル
		PS4rK.txt	-	PlanetRing4 分力テーブルファイル
		Oil_Viscosity_Breakpoint	m2/s	PlanetRing4 オイル動粘度ブレイクポイント
③	N24_27	N24_27.txt	-	ニードル軸受 24-27 損失テーブルファイル
④	inertia_SunGear_P4	0.0001	kgm2	プラネタリギヤ P4 サンギアイナーシャ
⑤	inertia_Carrier_P4	0.002	kgm2	プラネタリギヤ P4 キャリアイナーシャ
⑥	inertia_PlanetGear_P4	0.0001	kgm2	プラネタリギヤ P4 ピニオンイナーシャ
⑦	inertia_RingGear_P4	0.002	kgm2	プラネタリギヤ P4 リングギアイナーシャ
⑧	SN10	SN10.txt	-	スラスト軸受 10 損失テーブルファイル
⑨	SN11	SN11.txt	-	スラスト軸受 11 損失テーブルファイル
⑩	stirring3D_C3	C3.txt	-	クラッチ C3 引き摺り損失テーブルファイル
⑪	stirring2D1	Stirr2.txt	-	攪拌抵抗(Rr) 損失テーブルファイル

3.3.2.10. パラメータ仕様(ニードル軸受 9～出力軸)

以下に変速機構のニードル軸受 9～出力軸までの構成オブジェクトとパラメータ設定ファイル・値をダイアグラムと共に示す。

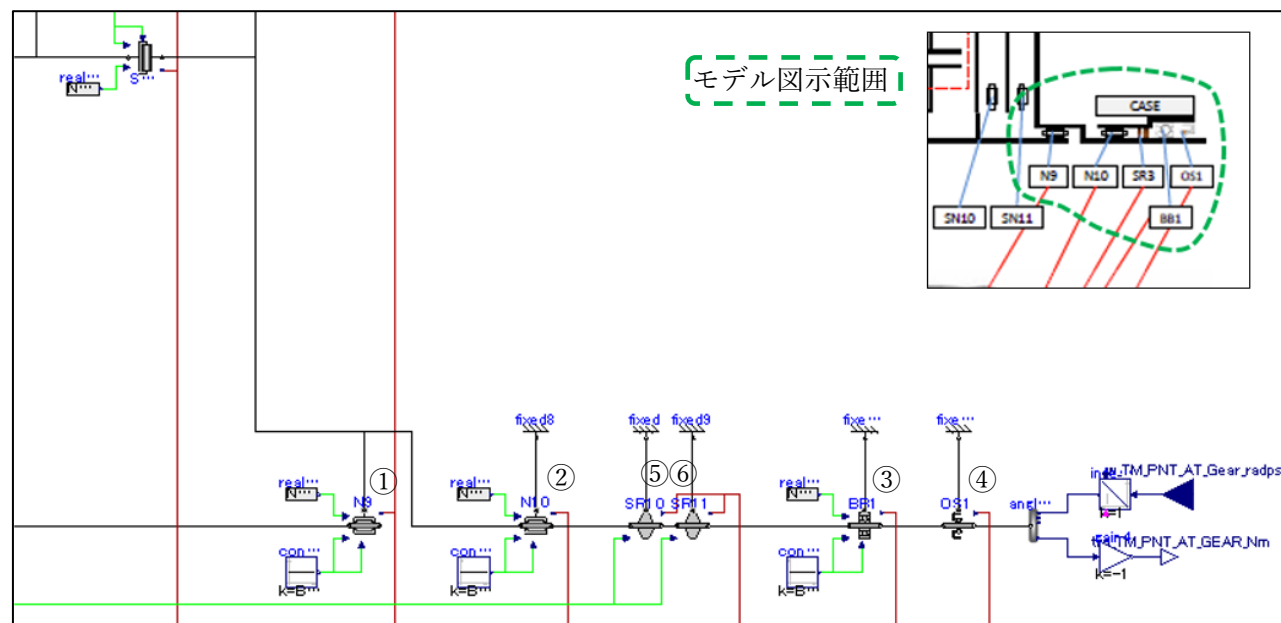


Figure 33 変速機構ダイアグラム(ニードル軸受 9～出力軸)

No	変数名	設定ファイル・値	単位	説明
①	N9	N9.txt	-	ニードル軸受 9 損失テーブルファイル
②	N10	N10.txt	-	ニードル軸受 10 損失テーブルファイル
③	BB1	BB1.txt	-	アンギュラ軸受 10 損失テーブルファイル
④	OS1	OS1.txt	-	オイルシール 1 損失テーブルファイル
⑤	SR10	SR3_1.txt	-	シールリング 3-1 損失テーブルファイル

⑥	SR11	SR3_2.txt	-	シールリング 3-2 損失テーブルファイル
---	------	-----------	---	-----------------------

3.3.3. 終減速機

3.3.3.1. 概要

以下に終減速機の機能を示す。

A. 回転系の機能

- ・ 変速比に応じた伝達トルクや回転数を算出
- ・ 終減速機の損失を算出

B. 熱系の機能

- ・ 終減速機の発熱量を算出

3.3.3.2. ダイアグラム

以下に終減速機ダイアグラムを示す。

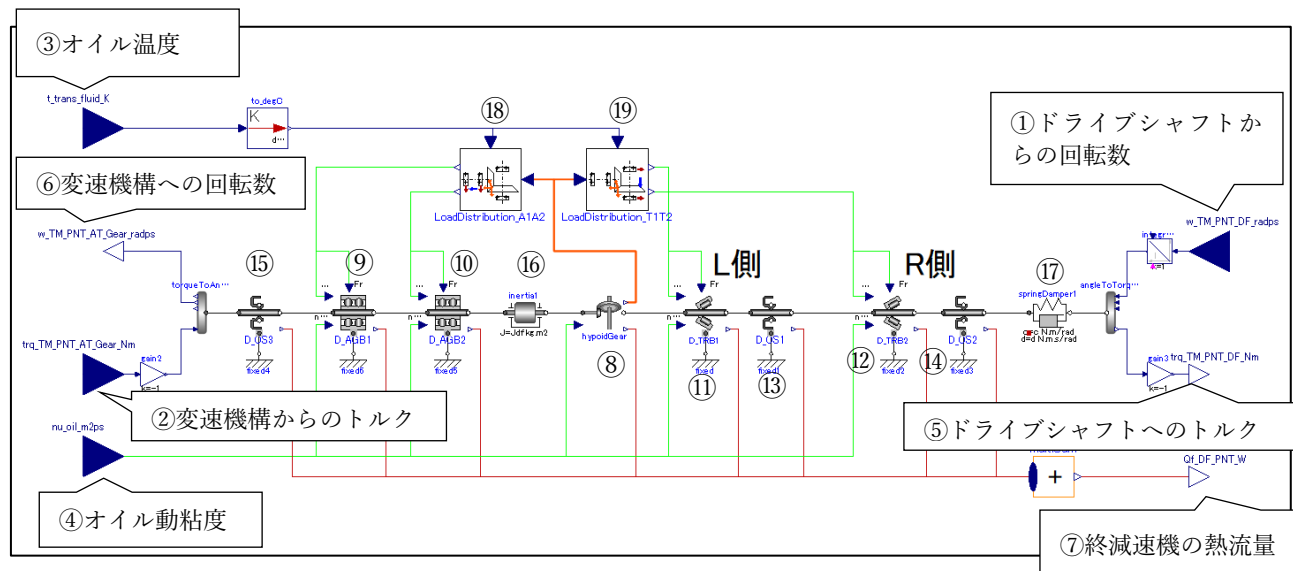


Figure 34 終減速機ダイアグラム

3.3.3.3. 入出力仕様

以下に終減速機の入出力仕様を示す。

入力				
No.	名称	単位	範囲	説明
①	w_TM_PNT_DF_radps	rad/s	-	ドライブシャフトからの回転数
②	trq_TM_PNT_AT_Gear_Nm	Nm	-	変速機構からのトルク
③	t_trans_fluid_K	K	-	オイル温度
④	nu_oil_m2ps	m2/s	-	オイル動粘度 (外部情報 I/F)
出力				
	名称	単位	範囲	説明
⑤	trq_TM_PNT_DF_Nm	Nm	-	ドライブシャフトへのトルク
⑥	w_TM_PNT_AT_Gear_radps	rad/s	-	変速機構への回転数
⑦	Qf_DF_PNT_W	W	-	終減速機の熱流量

3.3.3.4. 構成要素

終減速機を構成するクラスを以下に示す。各クラスの解説はクラス説明章を参照のこと。

構成クラス			
クラス名	部品名	説明章	機能
HypoidGear	ギヤ(ハイポイド)	3.4.3	設定ギヤ比での回転運動伝達 ギヤ入力トルク・回転数・オイル動粘度によるテーブルで決定する損失トルクを付与 ギヤ入力トルクにより決定するギヤ軸へ与えるスラスト荷重・ラジアル荷重・モーメントを出力
BRG_DoubleRowAngular	複列アンギュラ BRG	3.4.8	オイル動粘度・回転数、ラジアル荷重・スラスト荷重によるテーブルで決定する損失トルクを付与
BRG_Taper	テーパBRG	3.4.8	オイル動粘度・回転数、ラジアル荷重・スラスト荷重によるテーブルで決定する損失トルクを付与
OilSeal	オイルシール	3.4.9	回転数によるテーブルで決定する損失トルクを付与
Inertia	内部イナーシャ	3.4.13	慣性項の算出
SpringDamper	内部シャフト	3.4.12	バネ・ダンパ項の算出
BrgLoadDistribution_DF_A1A2	軸受 AGB1AGB2 荷重配分計算ブロック	3.6.2	各ギヤ分力から各軸受荷重配分を算出
BrgLoadDistribution_DF_T1T2	軸受 TRB1TRB2 荷重配分計算ブロック	3.6.3	各ギヤ分力から各軸受荷重配分を算出

3.3.3.5. パラメータ仕様

以下に終減速機の構成オブジェクトとパラメータ設定ファイル・値を示す。

No	変数名	設定ファイル・値	単位	説明
⑧	hypoidGear	3.066	-	終減速機 ギヤ比
		DF_LoadK.txt	-	終減速機 分力テーブルファイル
		DF_LoadLoss.txt	-	終減速機 ロステーブルファイル
		DF_StirringLoss.txt	-	終減速機 攪拌ロステーブルファイル
		Oil_Viscosity _Breakpoint	m2/s	終減速機のオイル動粘度ブレイクポイント
⑨	D_AGB1	D_AGB1.txt	-	複列アンギュラ軸受 1 損失テーブルファイル
⑩	D_AGB2	D_AGB2.txt	-	複列アンギュラ軸受 2 損失テーブルファイル
⑪	D_TRB1	D_TRB1.txt	-	テーパ軸受 1 損失テーブルファイル
⑫	D_TRB2	D_TRB2.txt	-	テーパ軸受 2 損失テーブルファイル
⑬	D_OS1	D_OS1.txt	-	オイルシール 1 損失テーブルファイル
⑭	D_OS2	D_OS2.txt	-	オイルシール 2 損失テーブルファイル
⑮	D_OS3	D_OS3.txt	-	オイルシール 3 損失テーブルファイル
⑯	Jdf	0.01	kgm2	終減速機 イナーシャ
⑰	c	1e4	Nm/rad	終減速機 剛性
	d	1e6	Nms/rad	終減速機 減衰係数
⑱	brgLoadDistribution_DF_A1A2	(3.6.2.4 に記載)	-	ギヤ分力から各軸受荷重を計算・出力
⑲	brgLoadDistribution_DF_T1T2	(3.6.3.4 に記載)	-	ギヤ分力から各軸受荷重を計算・出力

3.3.4. ドライブシャフト

3.3.4.1. 概要

以下にドライブシャフトの機能を示す。

A. 回転系の機能

- ・ 慣性項の算出
- ・ バネ・ダンパ項の算出

3.3.4.2. ダイアグラム

以下にドライブシャフトのダイアグラムを示す。

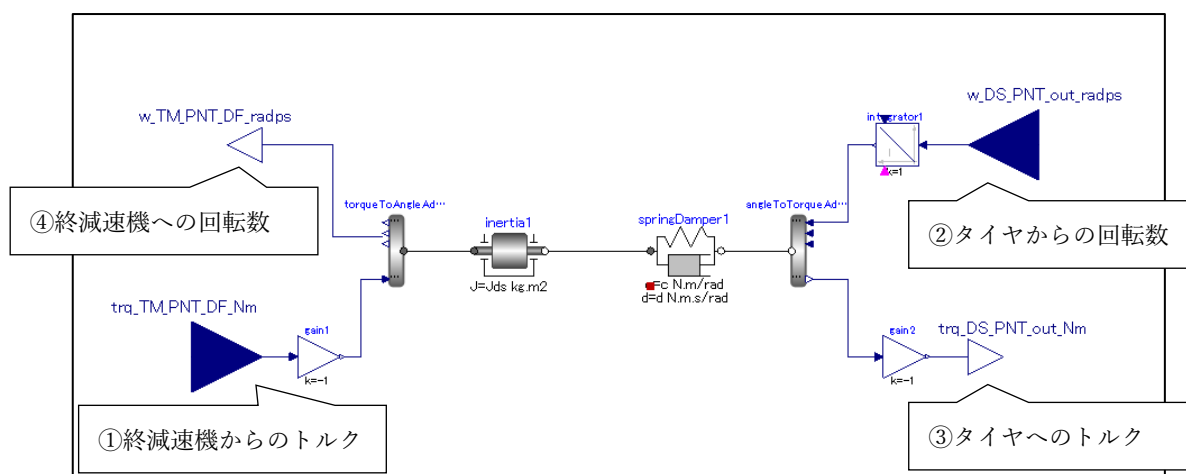


Figure 35 ドライブシャフトダイアグラム

3.3.4.3. 入出力仕様

以下にドライブシャフトの入出力仕様を示す。

入力				
No.	名称	単位	範囲	説明
①	trq_TM_PNT_DF_Nm	Nm	-	終減速機からのトルク
②	w_DS_PNT_out_radps	rad/s	-	タイヤからの回転数
出力				
No.	名称	単位	範囲	説明
③	tau_DS_PNT_out_Nm	Nm	-	タイヤへのトルク
④	w_TM_PNT_DF_radps	rad/s	-	終減速機への回転数

3.3.4.4. 構成要素

ドライブシャフトを構成するクラスを以下に示す。各クラスの解説はクラス説明章を参照のこと。

発進デバイス構成クラス			
クラス名	部品名	説明章	機能
Inertia	内部イナーシャ	3.4.13	慣性項の算出
SpringDamper	内部シャフト	3.4.12	バネ・ダンパ項の算出

3.3.4.5. パラメータ仕様

以下にドライブシャフトのパラメータ設定ファイル・値を示す。

変数名	設定ファイル・値	単位	説明
Jds	0.01	kgm2	イナーシャ
c	1e4	Nm/rad	ドライブシャフト剛性(左右 2 本分の合成値)
d	1e3	Nms/rad	ドライブシャフト減衰係数

3.4. 第3階層モデル機能仕様

以下に、第3階層モデル機能仕様について解説する。第3階層モデルでは Modelica の非因果回転ドメイン接続で運動モデルを構築している。因果接続とする場合は、Figure 37・ Figure 38 に示す様にアダプターを設け、回転数・トルクを分離した接続とする。

本解説書では、第3階層要素の回転ドメイン接続を、「入出力」として解説する。



Figure 36 Modelica 回転ドメイン非因果接続

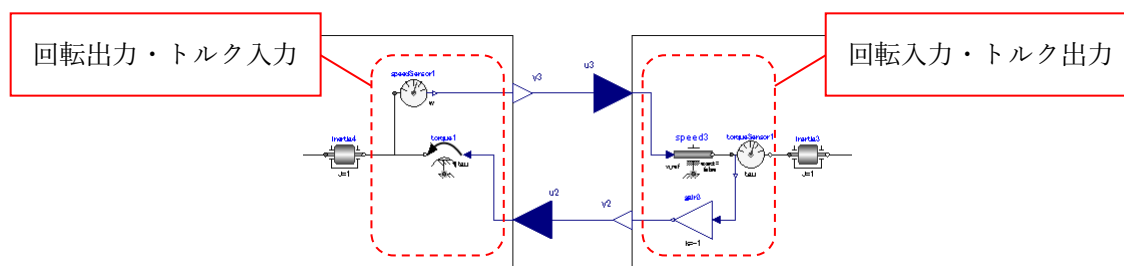


Figure 37 因果接続(1)

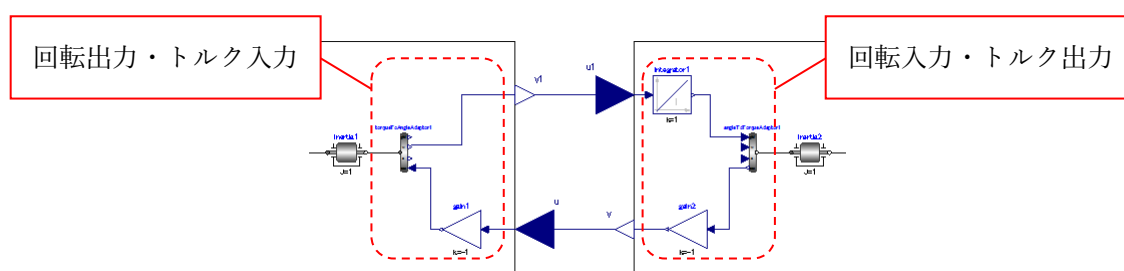


Figure 38 因果接続(2)

3.4.1. PlanetPlanet

3.4.1.1. 概要

以下に PlanetPlanet の機能を示す。

A. 回転系の機能

- ・ ギヤ比に応じた伝達トルクや回転数を算出
- ・ ギヤの損失を算出

B. 熱系の機能

- ・ ギヤの発熱量を算出

3.4.1.2. ダイアグラム

以下に PlanetPlanet のダイアグラムを示す。

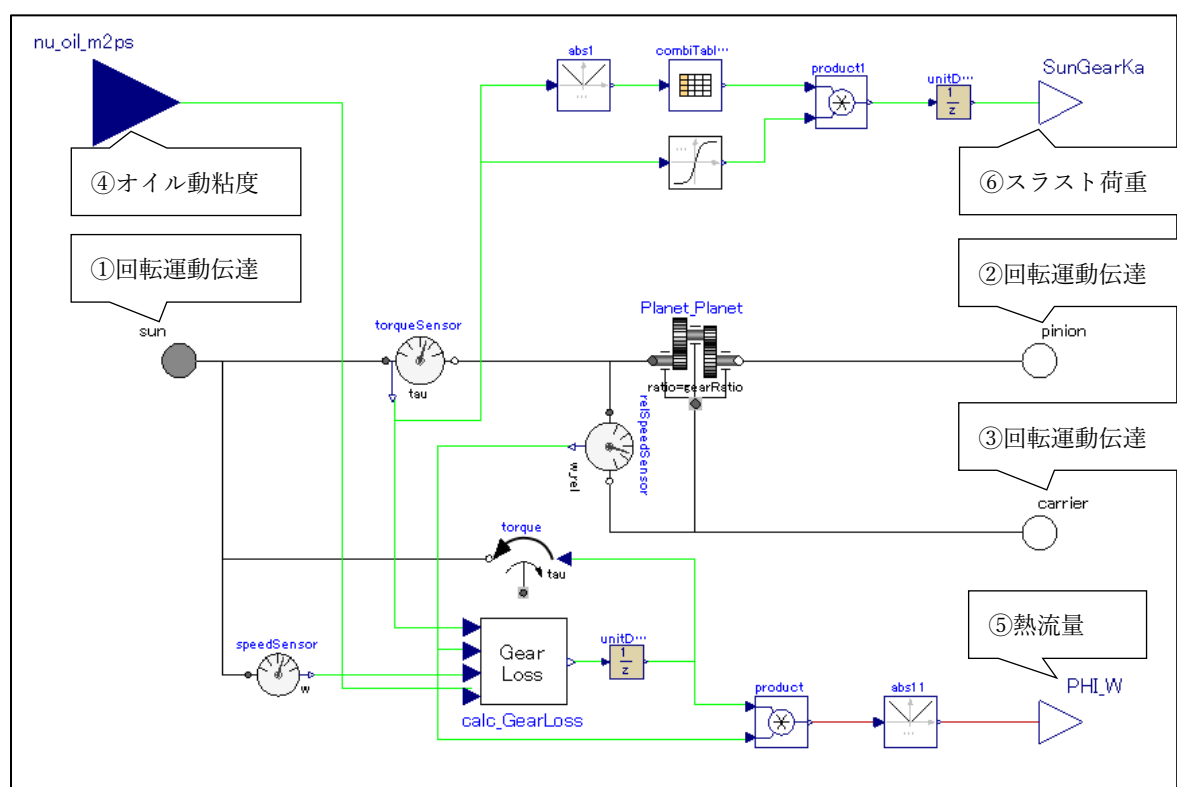


Figure 39 PlanetPlanet ダイアグラム

3.4.1.3. 入出力仕様

以下に PlanetPlanet の入出力仕様を示す。

入出力				
No	名称	単位	範囲	説明
①	sun	Nm, rad/s	-	ソースへの回転運動伝達
②	pinion	Nm, rad/s	-	シンク 1 への回転運動伝達
③	carrier	Nm, rad/s	-	シンク 2 への回転運動伝達
入力				

No	名称	単位	範囲	説明
④	nu_oil_m2ps	m2/s	-	オイル動粘度 (外部情報 I/F)
出力				
No	名称	単位	範囲	説明
⑤	PHI_W	W	-	外部(熱モデル)への熱流量
⑥	SunGearKa	N	-	ギヤスラスト荷重 (外部情報 I/F)

3.4.1.4. 構成要素

PlanetPlanet を構成するクラスを以下に示す。クラスの解説はクラス説明章を、Modelica Standard Library(以下 MSL)は MSL ドキュメントを参照のこと。

PlanetPlanet 構成クラス			
クラス名	部品名	説明章	機能
Calc_GearLoss	ギヤ損失計算ブロック	3.4.1.6	トルク・回転数・オイル動粘度によるギヤ損失算出
IdealGear	ギヤ(損失なし)	MSL	設定したギヤ比で回転運動を伝達

3.4.1.5. パラメータ仕様

以下に PlanetPlanet の構成オブジェクトとパラメータ設定ファイル・値を示す。

変数名	単位	説明
Gear_Ratio	-	ギヤ比
Gear_Friction_Filename	-	PlanetPlanet 損失テーブルファイル名
Gear_K_Filename	-	PlanetPlanet 分力テーブルファイル名
Oil_Viscosity_Breakpoint	m2/s	PlanetPlanet オイル動粘度ブレイクポイント

※分力テーブルの設定とモデル上の計算について

分力テーブルで定義するスラスト荷重は、ギヤに正トルクを入力した場合のマップで定義している。スラスト荷重の符号は終減速機側を正、Eng 側を負とする。

スラスト荷重の発生方向は、ギヤの回転数の正負によらずトルク方向で決まる(Figure 40)ため、モデル(Figure 39)では、トルクの絶対値で参照したスラスト荷重に対して、トルクの正負で乗算した処理としている。

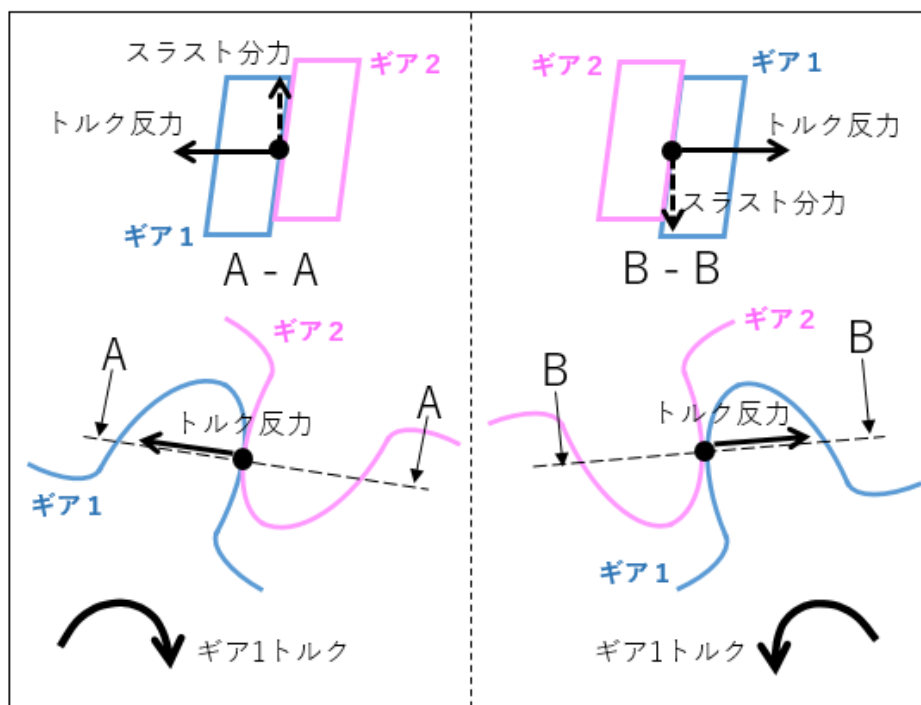


Figure 40 スラスト分力の方向(右ねじれギヤの場合)

3.4.1.6. Calc_GearLoss (ギヤ損失計算ブロック)

3.4.1.6.1. 概要

以下に Calc_GearLoss の機能を示す。

- ・ トルク・回転数・オイル動粘度によるギヤ損失算出

3.4.1.6.2. ダイアグラム

以下に Calc_GearLoss のダイアグラムを示す。

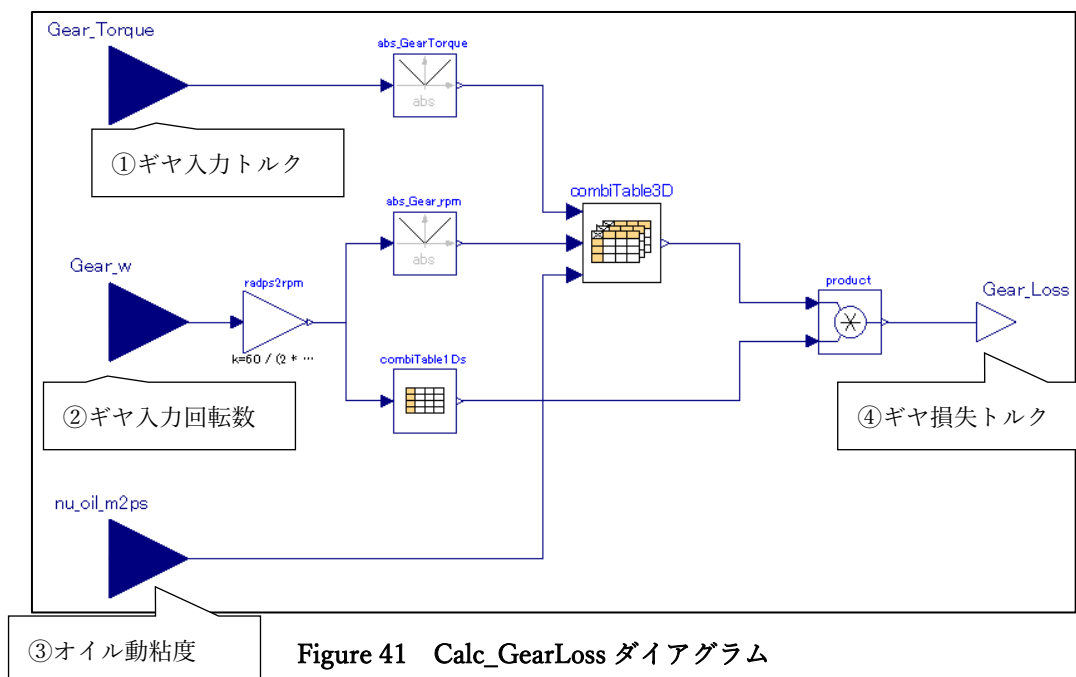


Figure 41 Calc_GearLoss ダイアグラム

3.4.1.6.3. 入出力仕様

以下に Calc_GearLoss の入出力仕様を示す。

入力				
No.	名称	単位	範囲	説明
①	Gear_Torque	Nm	-	ギヤ入力トルク
②	Gear_w	rad/s	-	ギヤ入力回転数
③	nu_oil_m2ps	m2/s	-	オイル動粘度 (外部情報 I/F)
出力				
No.	名称	単位	範囲	説明
④	Gear_Loss	Nm	-	ギヤ損失トルク

3.4.1.6.4. 構成要素

Calc_GearLoss を構成するクラスを以下に示す。クラスの解説はクラス説明章を参照のこと。

構構成クラス			
クラス名	部品名	説明章	機能
CombiTable3D	3D テーブル(カスタムコンポーネント)	3.9.1	3 次元入力に対し指定されたテーブルファイルから出力を算出

3.4.1.6.5. パラメータ仕様

以下に Calc_GearLoss のパラメータを示す。

変数名	単位	説明
Gear_Friction_Filename	-	ギヤ損失テーブルファイル
Oil_Viscosity_Breakpoint	-	オイル動粘度ブレイクポイント

3.4.2. PlanetRing

3.4.2.1. 概要

以下に PlanetRing の機能を示す。

A. 回転系の機能

- ・ ギヤ比に応じた伝達トルクや回転数を算出
- ・ ギヤの損失を算出

B. 熱系の機能

- ・ ギヤの発熱量を算出

3.4.2.2. ダイアグラム

以下に PlanetRing のダイアグラムを示す。

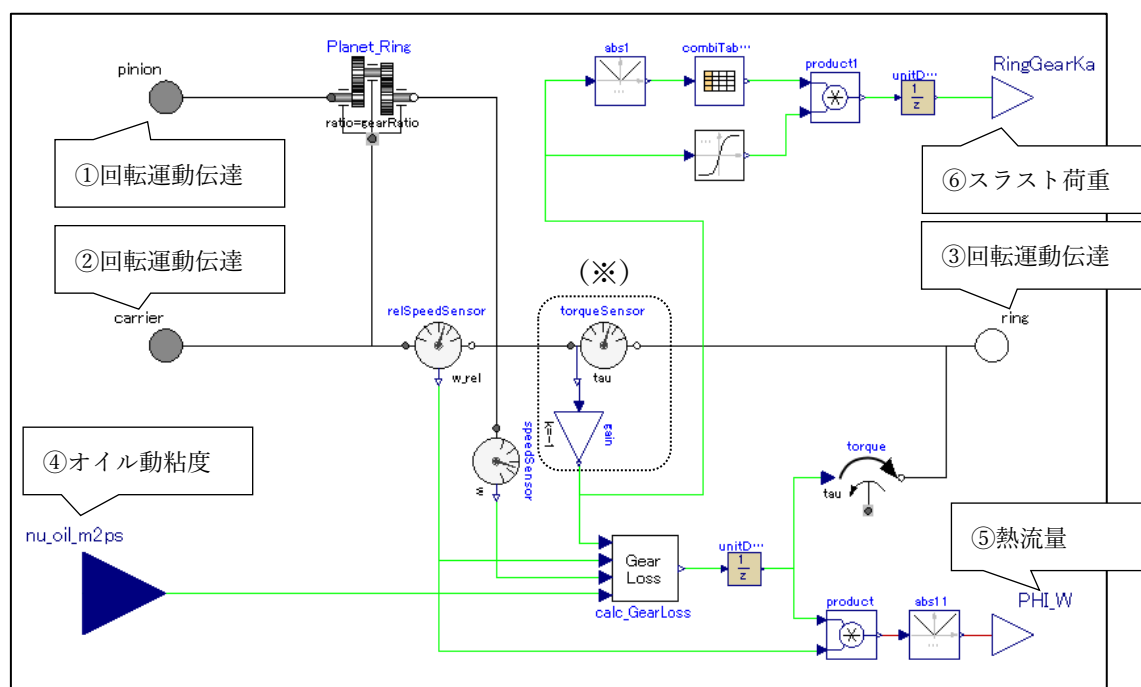


Figure 42 PlanetRing ダイアグラム

3.4.2.3. 入出力仕様

以下に PlanetRing の入出力仕様を示す。

入出力				
No	名称	単位	範囲	説明
①	pinion	Nm, rad/s	-	ソース 1 への回転運動伝達
②	carrier	Nm, rad/s	-	ソース 2 への回転運動伝達
③	ring	Nm, rad/s	-	シンクへの回転運動伝達
入力				
No	名称	単位	範囲	説明
④	nu_oil_m2ps	m2/s	-	オイル動粘度 (外部情報 I/F)

出力				
No	名称	単位	範囲	説明
⑤	PHI_W	W	-	外部(熱モデル)への熱流量
⑥	RingGearKa	N	-	ギヤスラスト荷重 (外部情報 I/F)

3.4.2.4. 構成要素

PlanetRing を構成するクラスを以下に示す。

PlanetRing 構成クラス			
クラス名	部品名	説明章	機能
Calc_GearLoss	ギヤ損失計算ブロック	3.4.1.6	トルク・回転数・オイル動粘度によるギヤ損失算出
IdealGear	ギヤ(損失なし)	MSL	設定したギヤ比で回転運動を伝達

3.4.2.5. パラメータ仕様

以下に PlanetRing の構成オブジェクトとパラメータ設定ファイル・値を示す。

変数名	単位	説明
Gear_Ratio	-	ギヤ比
Gear_Friction_Filename	-	PlanetRing 損失テーブルファイル名
Gear_K_Filename	-	PlanetRing 分力テーブルファイル名
Oil_Viscosity_Breakpoint	m2/s	PlanetRing オイル動粘度ブレイクポイント

※分力テーブルの設定とモデル上の計算について

分力テーブルの定義方法モデル上での計算については 3.4.1.5 参照。

ただし、PlanetRing モデルでは torqueSensor で読み取られるトルク値の正負の関係上、Gain クラスを用いて torqueSensor 読み取り値を反転した値で使用している(図中※)。

3.4.3. ギヤ(ハイポイド)

3.4.3.1. 概要

以下にギヤの機能を示す。

A. 回転系の機能

- ・ ギヤ比に応じた伝達トルクや回転数を算出
- ・ ギヤの損失を算出

B. 熱系の機能

- ・ ギヤの発熱量を算出

3.4.3.2. ダイアグラム

以下にギヤ(ハイポイド)のダイアグラムを示す。

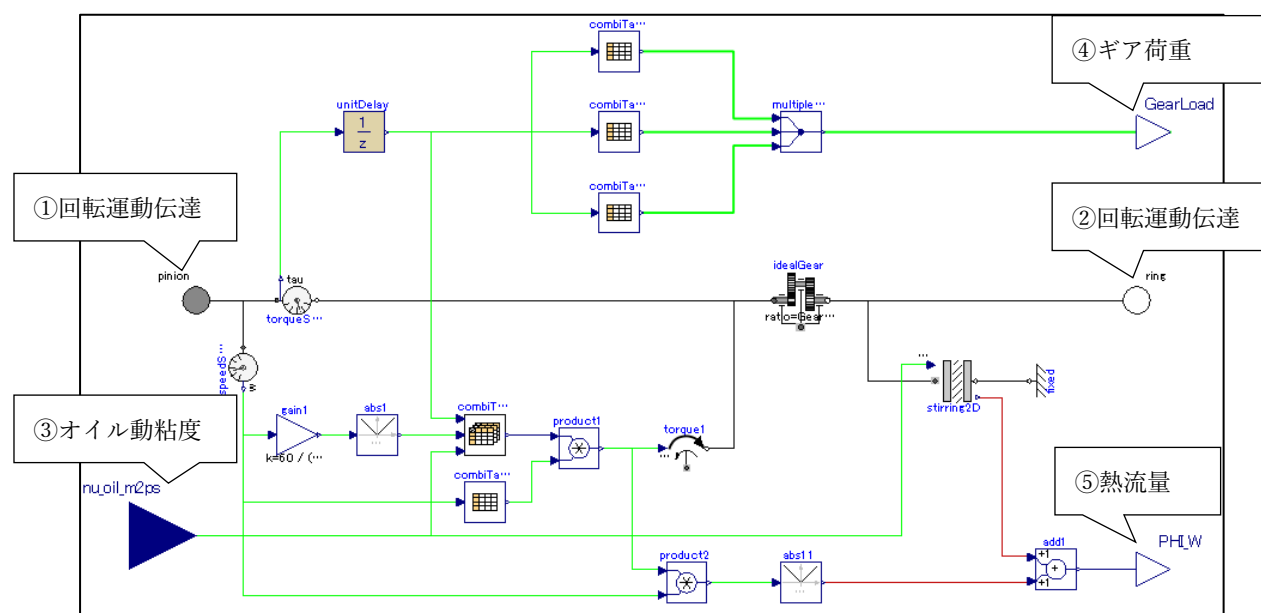


Figure 43 ギヤ(ハイポイド)ダイアグラム

3.4.3.3. 入出力仕様

以下にギヤ(ハイポイド)の入出力仕様を示す。

入出力				
No.	名称	単位	範囲	説明
①	flange_a	Nm, rad/s	-	ソースへの回転運動伝達
②	flange_b	Nm, rad/s	-	シンクへの回転運動伝達
入力				
No.	名称	単位	範囲	説明
③	nu_oil_m2ps	m2/s	-	オイル動粘度 (外部情報 I/F)
出力				
No.	名称	単位	範囲	説明
④	GearLoad	N,N,N	-	ギヤラジアル・スラスト・接線方向荷重 (外部情報 I/F) <1x3>
⑤	PHI_W	W	-	外部(熱モデル)への熱流量

3.4.3.4. 構成要素

以下にギヤ(ハイポイド)を構成するクラスを以下に示す。

構成クラス			
クラス名	部品名	説明章	機能
CombiTable3D	3D テーブル(カスタムコンポーネント)	3.9.1	3次元入力に対し指定されたテーブルファイルから出力を算出
Stirring2D	攪拌抵抗(2D)	3.4.7.1	回転数・オイル動粘度によるテーブルで決定する損失トルクを付与
IdealGear	ギヤ(損失なし)	MSL	設定したギヤ比で回転運動を伝達

3.4.3.5. パラメータ仕様

以下にギヤ(ハイポイド)のパラメータを示す。

変数名	単位	説明
GearRatio	-	ギヤ比
Gear_K_Filename	-	分力テーブルファイル
LoadLossFilename	-	負荷ロステーブルファイル
StirringLossFilename	-	スピンロステーブルファイル
Oil_Viscosity_Breakpoint	-	オイル動粘度ブレイクポイント

3.4.4. 変速用クラッチ

3.4.4.1. 概要

以下に変速用クラッチの機能を示す。

A. 回転系の機能

- ・ 締結状態に応じた伝達トルクを算出

B. 熱系の機能

- ・ クラッチの発熱量を算出

3.4.4.2. ダイアグラム

以下に変速用クラッチのダイアグラムを示す。

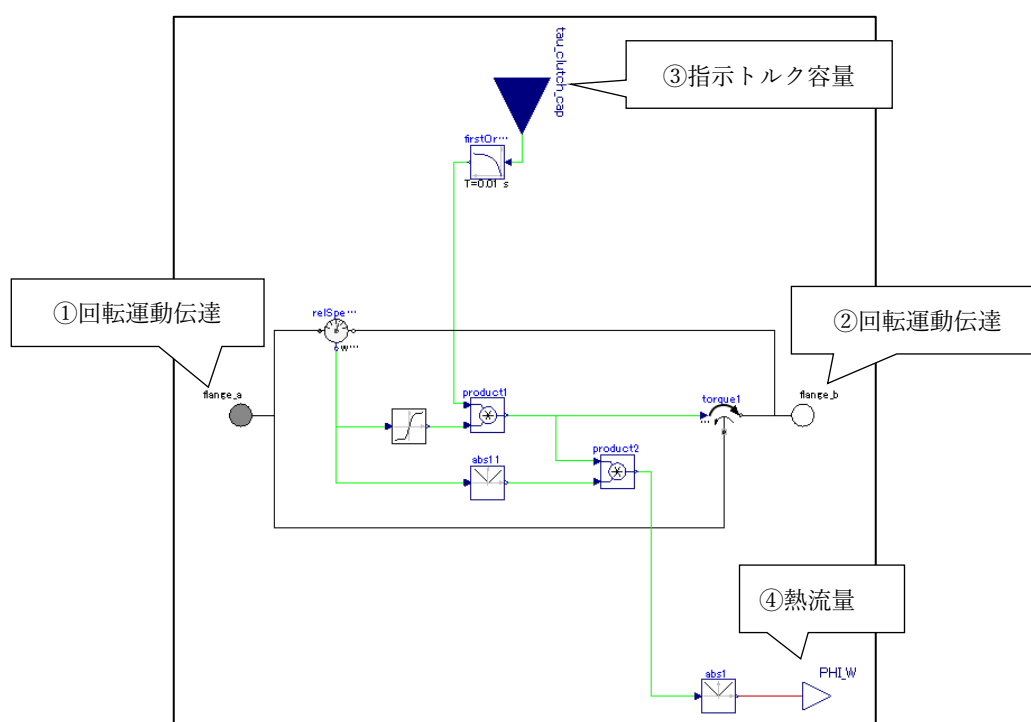


Figure 44 変速用クラッチダイアグラム

3.4.4.3. 入出力仕様

以下に変速用クラッチの入出力仕様を示す。

入出力				
No.	名称	単位	範囲	説明
①	flange_a	Nm, rad/s	-	ソースへの回転運動伝達
②	flange_b	Nm, rad/s	-	シンクへの回転運動伝達
入力				
No.	名称	単位	範囲	説明
③	tau_clutch_cap	Nm	-	各クラッチへの指示トルク容量 (制御モデル I/F)
出力				
No.	名称	単位	範囲	説明
④	PHI_W	W	-	外部(熱モデル)への熱流量

3.4.5. オイルポンプ

3.4.5.1. 概要

以下にオイルポンプの機能を示す。

A. 回転系の機能

- ・ オイルポンプの駆動トルクを算出

B. 熱系の機能

- ・ オイルポンプの発熱量を算出

3.4.5.2. ダイアグラム

以下にオイルポンプモデルのダイアグラムを示す。

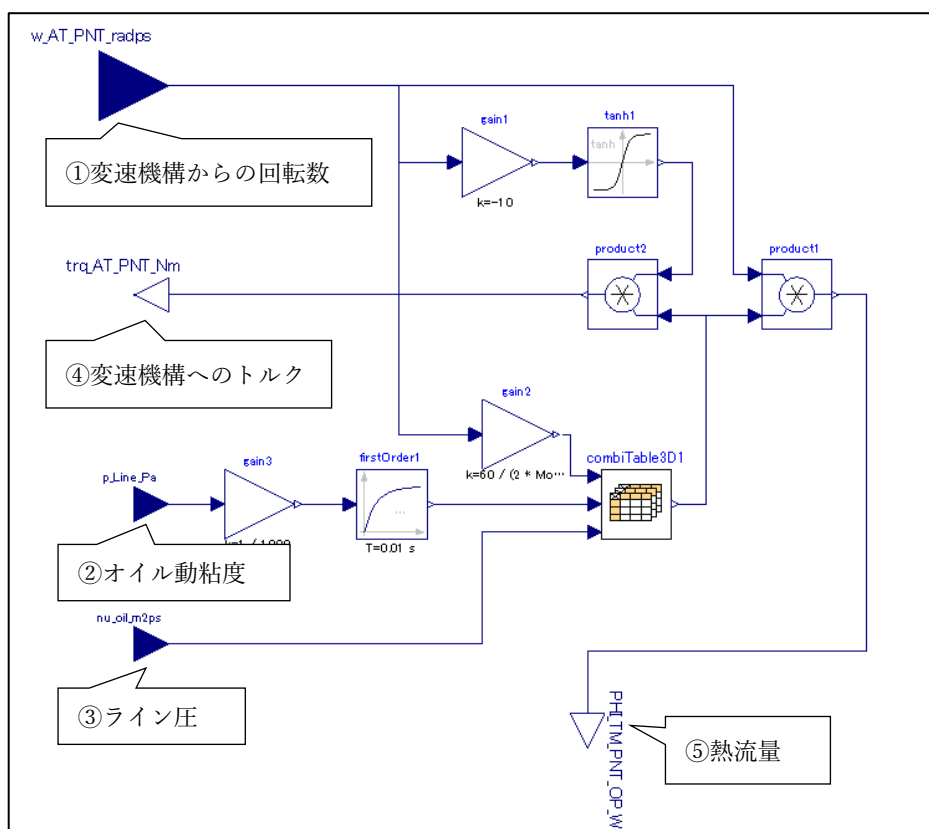


Figure 45 オイルポンプダイアグラム

3.4.5.3. 入出力仕様

以下にオイルポンプモデルの入出力仕様を示す。

入力				
No.	名称	単位	範囲	説明
①	w_AT_PNT_radps	rad/s	-	変速機構からの回転数
②	nu_oil_m2ps	m2/s	-	オイル動粘度 (外部情報 I/F)
③	p_Line_Pa	Pa	-	ライン圧 (制御モデル I/F)
出力				

No.	名称	単位	範囲	説明
④	trq_AT_PNT_Nm	Nm	-	変速機構へのトルク
⑤	PHI_TM_PNT_OP_W	W	-	オイルポンプから熱モデルへの熱流量

3.4.5.4. 構成要素

オイルポンプを構成するクラスを以下に示す。クラスの解説はクラス説明章を参照のこと。

構成クラス			
クラス名	部品名	説明章	機能
CombiTable3D	3D テーブル(カスタムコンポーネント)	3.9.1	3次元入力に対し指定されたテーブルファイルから出力を算出

3.4.5.5. パラメータ仕様

以下にオイルポンプのパラメータ設定ファイル・値を示す。

変数名	設定ファイル・値	単位	説明
Oil_Pump_Loss_Table_Filename	OP.txt	-	オイルポンプ 損失テーブルファイル
Oil_Viscosity_Breakpoint	Oil_Viscosity_Breakpoint	m2/s	オイルポンプのオイル動粘度ブレイクポイント

3.4.6. シールリング

3.4.6.1. 概要

以下にシールリングの機能を示す。

A. 回転系の機能

- ・ シールリングの損失を算出

B. 熱系の機能

- ・ シールリングの発熱量を算出

3.4.6.2. ダイアグラム

以下にシールリングのダイアグラムを示す。

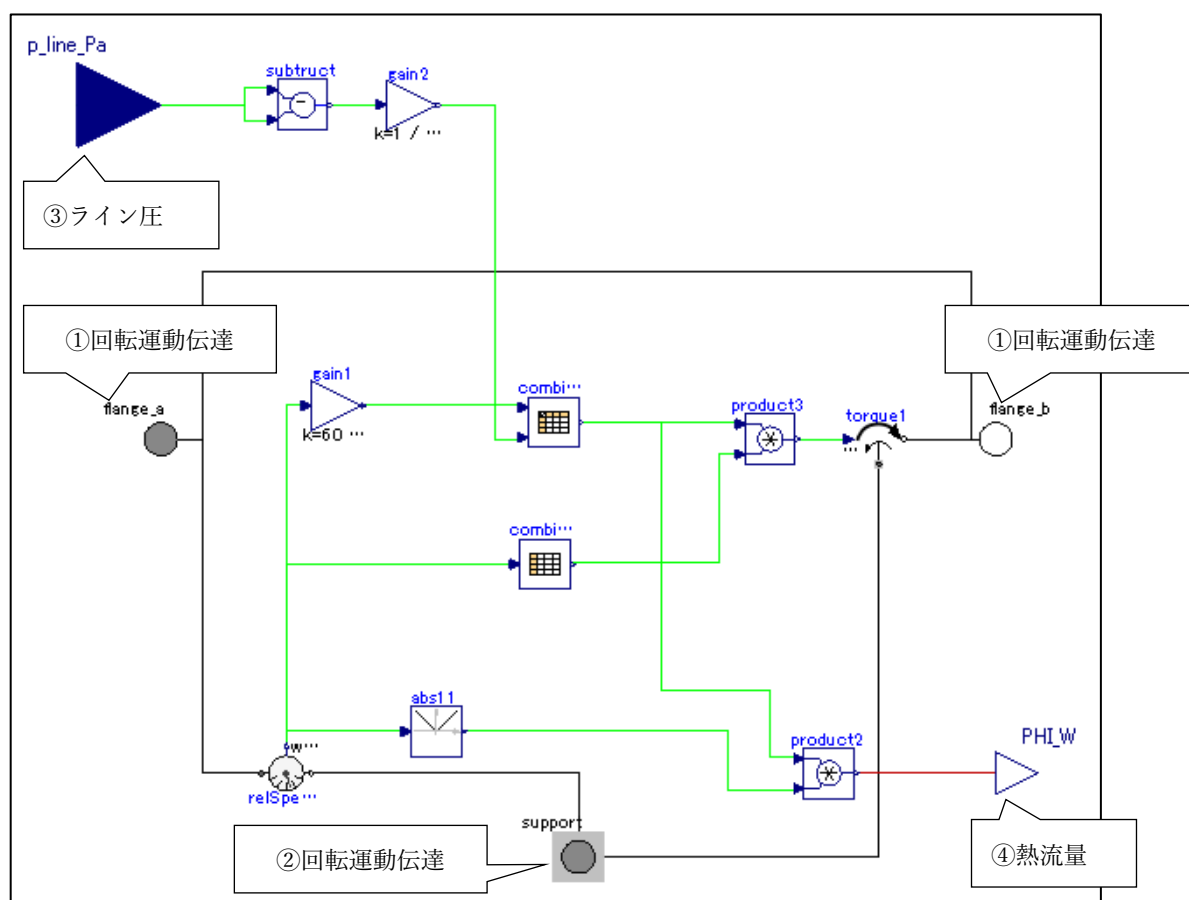


Figure 46 シールリングダイアグラム

3.4.6.3. 入出力仕様

以下にシールリングの入出力仕様を示す。

入出力				
No.	名称	単位	範囲	説明
①	flange_a・flange_b(共通)	Nm, rad/s	-	ソース 1 への回転運動伝達
②	support	Nm, rad/s	-	ソース 2 への回転運動伝達
入力				

No.	名称	単位	範囲	説明
③	p_line_Pa	Pa	-	ライン圧 (制御モデル I/F) <1x2>
出力				
No.	名称	単位	範囲	説明
④	PHI_W	W	-	外部(熱モデル)への熱流量

3.4.6.4. パラメータ仕様

以下にシールリングのパラメータを示す。

変数名	単位	説明
SealRing_friction_filename	-	シールリング損失テーブルファイル

3.4.7. 攪拌抵抗

攪拌抵抗の損失トルクを決めるマップは 2D マップと 3D マップの場合があり、それぞれモデルを設けている。また、2D マップのモデルは、損失トルクを決める回転数を絶対値で参照するモデルと相対回転数で参照するモデルと 2 種類設けている。

3.4.7.1. 攪拌抵抗(Stirring2D)

3.4.7.1.1. 概要

以下に攪拌抵抗(Stirring2D)の機能を示す。

A. 回転系の機能

- ・ 攪拌抵抗の損失トルクを算出

B. 熱系の機能

- ・ 攪拌抵抗の発熱量を算出

3.4.7.1.2. ダイアグラム

以下に攪拌抵抗(Stirring2D)のダイアグラムを示す。

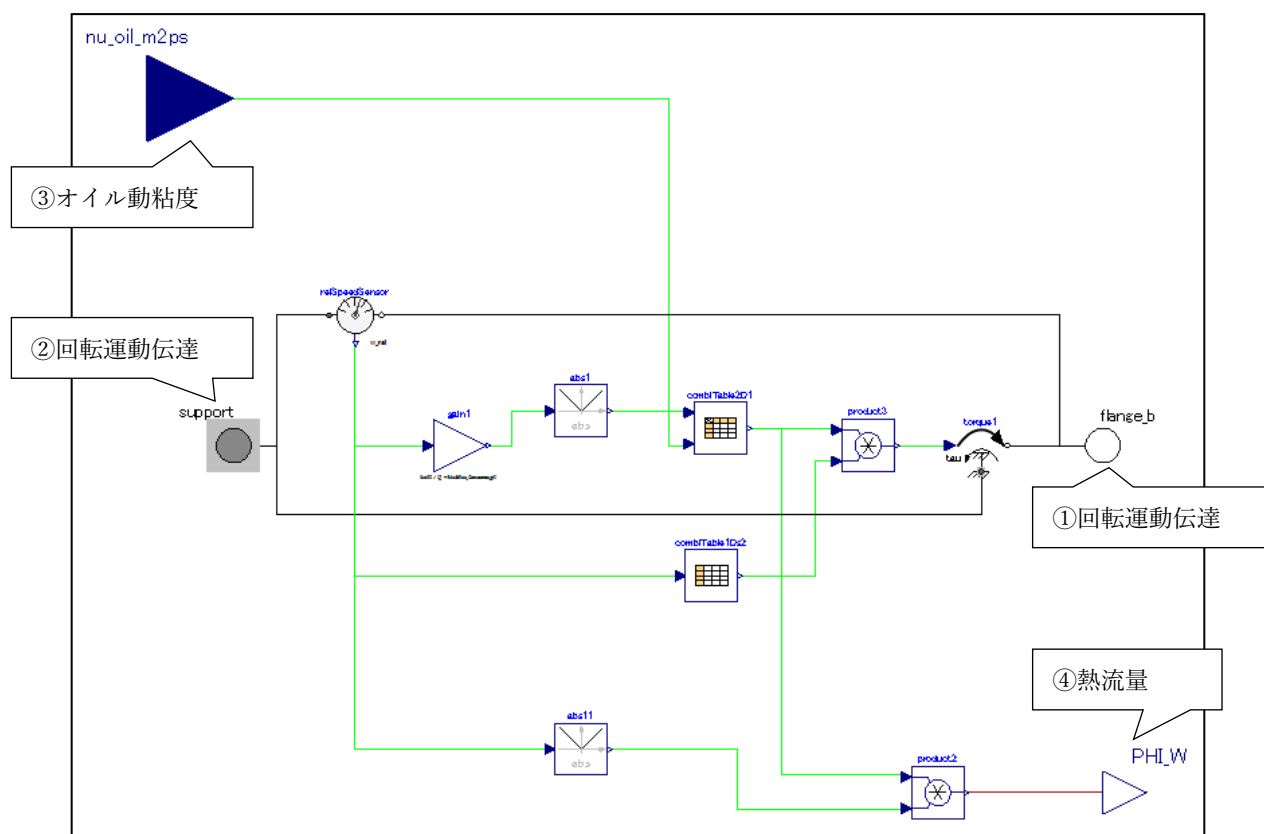


Figure 47 攪拌抵抗(Stirring2D)ダイアグラム

3.4.7.1.3. 入出力仕様

以下に攪拌抵抗(Stirring2D)の入出力仕様を示す。

入出力				
No.	名称	単位	範囲	説明
①	flange_b	Nm, rad/s	-	ソース 1 への回転運動伝達
②	support	Nm, rad/s	-	ソース 2 への回転運動伝達
入力				
No.	名称	単位	範囲	説明
③	nu_oil_m2ps	m2/s	-	オイル動粘度 (外部情報 I/F)
出力				
No.	名称	単位	範囲	説明
④	PHI_W	W	-	外部(熱モデル)への熱流量

3.4.7.1.4. パラメータ仕様

以下に攪拌抵抗(Stirring2D)のパラメータを示す。

変数名	単位	説明
Stirring_Resistance_Filename	-	攪拌抵抗損失テーブルファイル

3.4.7.2. 攪拌抵抗(Stirring2D_Brake)

3.4.7.2.1. 概要

以下に攪拌抵抗(Stirring2D_Brake)の機能を示す。本モデルは 3.4.7.1 攪拌抵抗(Stirring2D)に対して、損失トルクの算出に使用する回転数が相対回転数で算出するという違いのみである。

A. 回転系の機能

- ・ 攪拌抵抗の損失トルクを算出

B. 熱系の機能

- ・ 攪拌抵抗の発熱量を算出

3.4.7.3. 攪拌抵抗(Stirring3D)

3.4.7.3.1. 概要

以下に攪拌抵抗(Stirring3D)の機能を示す。

A. 回転系の機能

- ・ 攪拌抵抗の損失トルクを算出

B. 熱系の機能

- ・ 攪拌抵抗の発熱量を算出

3.4.7.3.2. ダイアグラム

以下に攪拌抵抗(Stirring3D)のダイアグラムを示す。

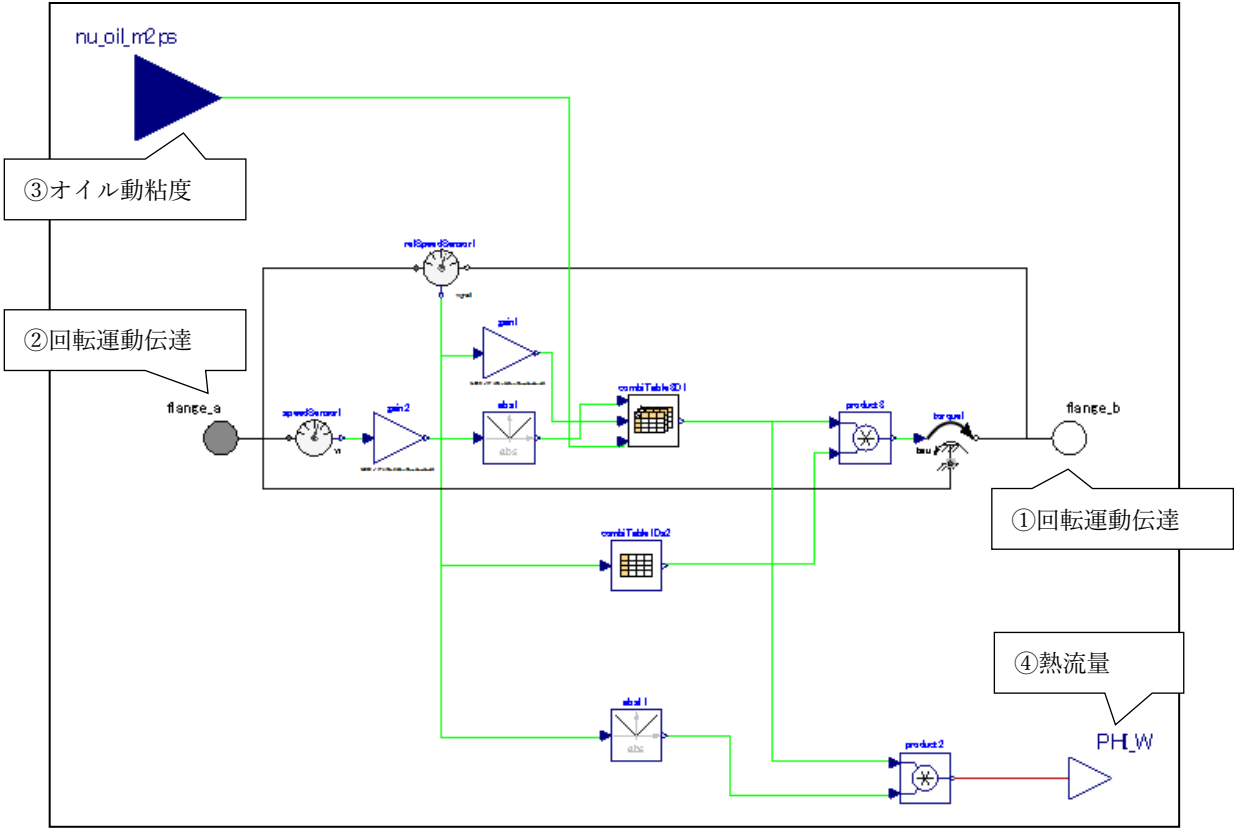


Figure 49 攪拌抵抗(3D)ダイアグラム

3.4.7.3.3. 入出力仕様

以下に攪拌抵抗(Stirring3D)の入出力仕様を示す。

入出力				
No.	名称	単位	範囲	説明
①	flange_b	Nm, rad/s	-	ソース 1 への回転運動伝達
②	support	Nm, rad/s	-	ソース 2 への回転運動伝達
入力				
No.	名称	単位	範囲	説明
③	nu_oil_m2ps	m2/s	-	オイル動粘度 (外部情報 I/F)

出力				
No.	名称	単位	範囲	説明
④	PHI_W	W	-	外部(熱モデル)への熱流量

3.4.7.3.4. 構成要素

攪拌抵抗(Stirring3D)を構成するクラスを以下に示す。各クラスの解説はクラス説明章を参照のこと。

構成クラス			
クラス名	部品名	説明章	機能
CombiTable3D	3D テーブル(カスタム コンポーネント)	3.9.1	3次元入力に対し指定されたテーブルファイルから出力を算出

3.4.7.3.5. パラメータ仕様

以下に攪拌抵抗(Stirring3D)のパラメータを示す。

変数名	単位	説明
Stirring_Resistance_Filename	-	攪拌抵抗損失テーブルファイル

3.4.8. 転がり軸受

転がり軸受は、その種類によらず機能は同一である。スラスト BRG は、回転軸の物理配置が異なるため、回転入出力ポートの配置が異なるモデルを設けており、3.4.8.2 で示す。また、ラジアル BRG・テーパ BRG・アンギュラ BRG・複列アンギュラ BRG は形状の違いからアイコン違いのモデルを設けているが、中身は全く同じものである。

3.4.8.1. 転がり軸受(BRG_RadialNeedle、BRG_Taper、BRG_Angular、BRG_DoubleRowAngular)

3.4.8.1.1. 概要

以下に転がり軸受(BRG_RadialNeedle、BRG_Taper、BRG_Angular、BRG_DoubleRowAngular)の機能を示す。

A. 回転系の機能

- ・ 転がり軸受の損失を算出

B. 熱系の機能

- ・ 転がり軸受の発熱量を算出

3.4.8.1.2. ダイアグラム

以下に転がり軸受(BRG_RadialNeedle、BRG_Taper、BRG_Angular、BRG_DoubleRowAngular)のダイアグラムを示す。

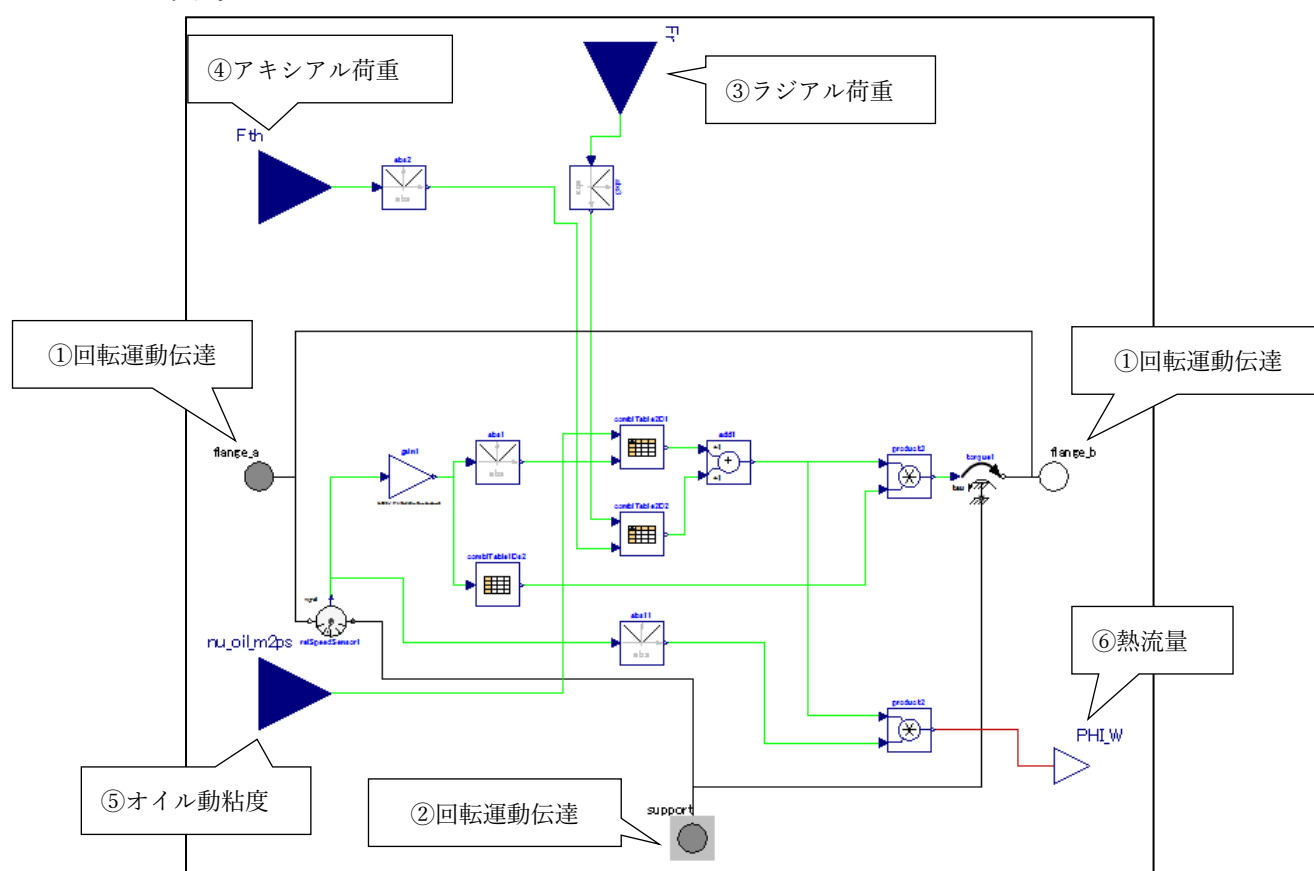


Figure 50 転がり軸受(BRG_RadialNeedle、BRG_Taper、BRG_Angular、BRG_DoubleRowAngular)ダイアグラム

3.4.8.1.3. 入出力仕様

以下に転がり軸受(BRG_RadialNeedle、BRG_Taper、BRG_Angular、BRG_DoubleRowAngular)の入出力仕様を示す。

入出力				
No	名称	単位	範囲	説明
①	flange_a・flange_b(共通)	Nm, rad/s	-	ソース 1 への回転運動伝達
②	support	Nm, rad/s	-	ソース 2 への回転運動伝達
入力				
No	名称	単位	範囲	説明
③	Fr	N	-	軸受にかかるラジアル荷重 (外部情報 I/F)
④	Fth	N		軸受にかかるアキシアル荷重 (外部情報 I/F)
⑤	nu_oil_m2ps	m2/s	-	オイル動粘度 (外部情報 I/F)
出力				
No	名称	単位	範囲	説明
⑥	PHI_W	W	-	外部(熱モデル)への熱流量

3.4.8.1.4. パラメータ仕様

以下に転がり軸受(BRG_RadialNeedle、BRG_Taper、BRG_Angular、BRG_DoubleRowAngular)のパラメータを示す。

変数名	単位	説明
BRG_Friction_Filename	-	軸受損失テーブルファイル

3.4.8.2. 転がり軸受(BRG_ThrustNeedle)

3.4.8.2.1. 概要

以下に転がり軸受(BRG_ThrustNeedle)の機能を示す。

A. 回転系の機能

- ・ 転がり軸受の損失を算出

B. 熱系の機能

- ・ 転がり軸受の発熱量を算出

3.4.8.2.2. ダイアグラム

以下に転がり軸受(BRG_ThrustNeedle)のダイアグラムを示す。

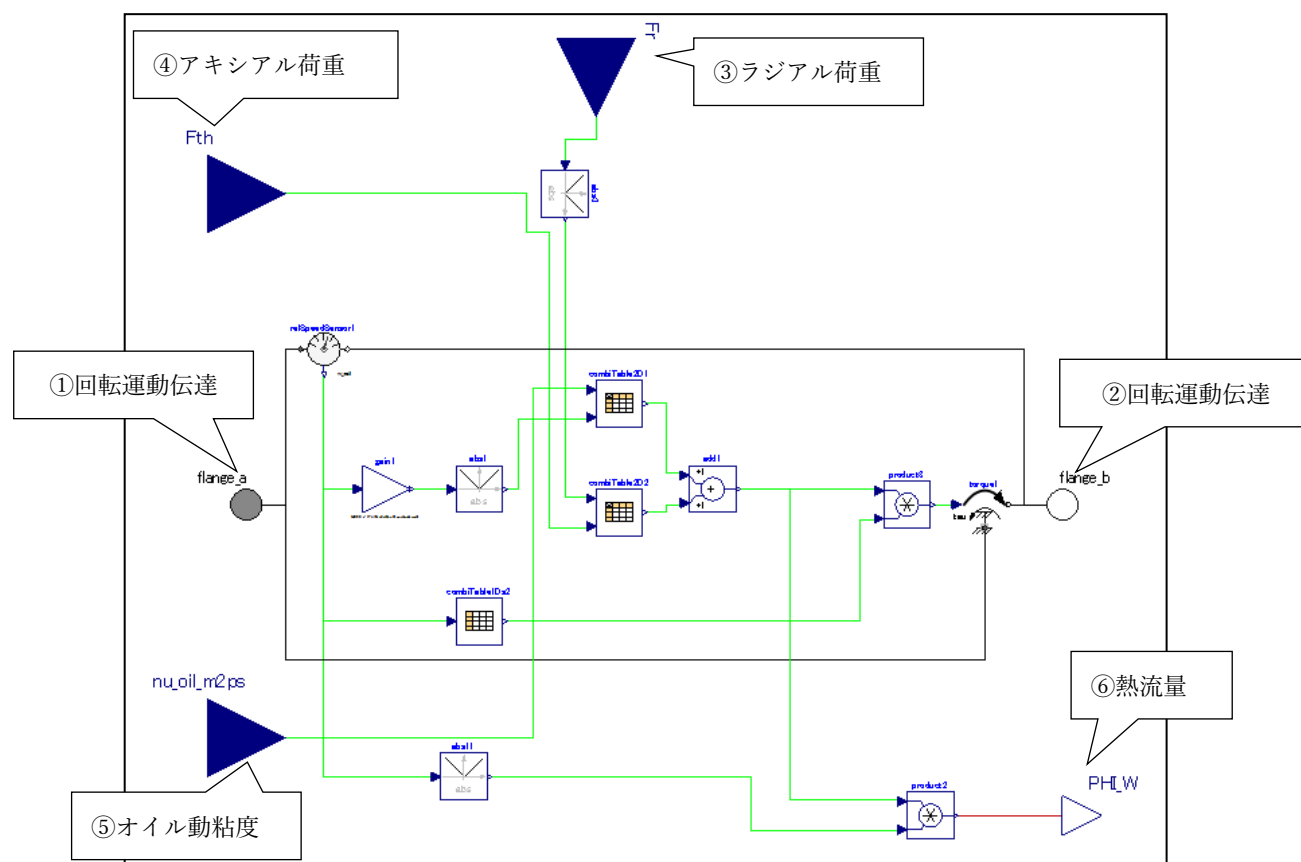


Figure 51 BRG_ThrustNeedle ダイアグラム

3.4.8.2.3. 入出力仕様

以下に転がり軸受(BRG_ThrustNeedle)の入出力仕様を示す。

入出力				
No.	名称	単位	範囲	説明
①	flange_a	Nm, rad/s	-	ソース 1 への回転運動伝達
②	flange_b	Nm, rad/s	-	ソース 2 への回転運動伝達
入力				
No.	名称	単位	範囲	説明
③	Fr	N	-	軸受にかかるラジアル荷重 (外部情報 I/F)
④	Fth	N		軸受にかかるアキシャル荷重 (外部情報 I/F)
⑤	nu_oil_m2ps	m2/s	-	オイル動粘度 (外部情報 I/F)
出力				
No.	名称	単位	範囲	説明
⑥	PHI_W	W	-	外部(熱モデル)への熱流量

3.4.8.2.4. パラメータ仕様

以下に転がり軸受(BRG_ThrustNeedle)のパラメータを示す。

変数名	単位	説明
BRG_Friction_Filename	-	軸受損失テーブルファイル

3.4.9. オイルシール

3.4.9.1. 概要

以下にオイルシールの機能を示す。

A. 回転系の機能

- ・ オイルシールの損失を算出

B. 熱系の機能

- ・ オイルシールの発熱量を算出

3.4.9.2. ダイアグラム

以下にオイルシールのダイアグラムを示す。

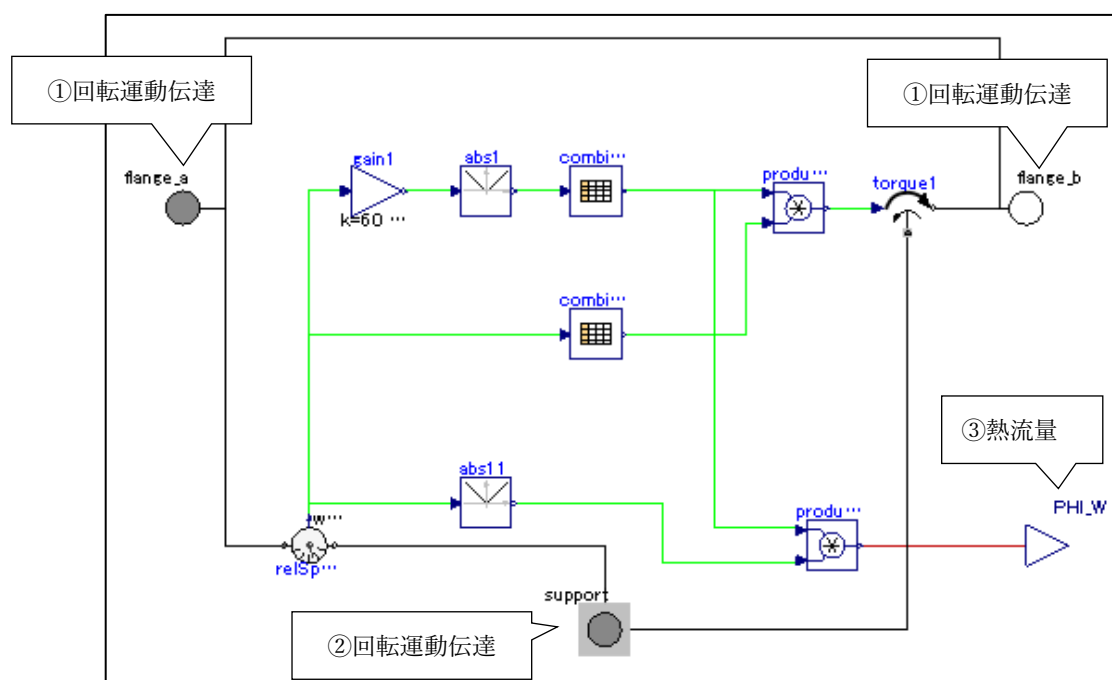


Figure 52 オイルシールダイアグラム

3.4.9.3. 入出力仕様

以下にオイルシールの入出力仕様を示す。

入出力				
No.	名称	単位	範囲	説明
①	flange_a・flange_b(共通)	Nm, rad/s	-	ソース 1 への回転運動伝達
②	support	Nm, rad/s	-	ソース 2 への回転運動伝達
入力				
No.	名称	単位	範囲	説明
-	-	-	-	-
出力				
No.	名称	単位	範囲	説明
③	PHI_W	W	-	外部(熱モデル)への熱流量

3.4.9.4. パラメータ仕様

以下にオイルシールのパラメータを示す。

変数名	単位	説明
OilSeal_friction_filename	-	オイルシール損失テーブルファイル

3.4.10. 電動アクチュエータ

3.4.10.1. 概要

以下に電動アクチュエータの機能を示す。

A. 熱系の機能

- ・ アクチュエータの発熱量を算出

3.4.10.2. ダイアグラム

以下に電動アクチュエータのダイアグラムを示す。

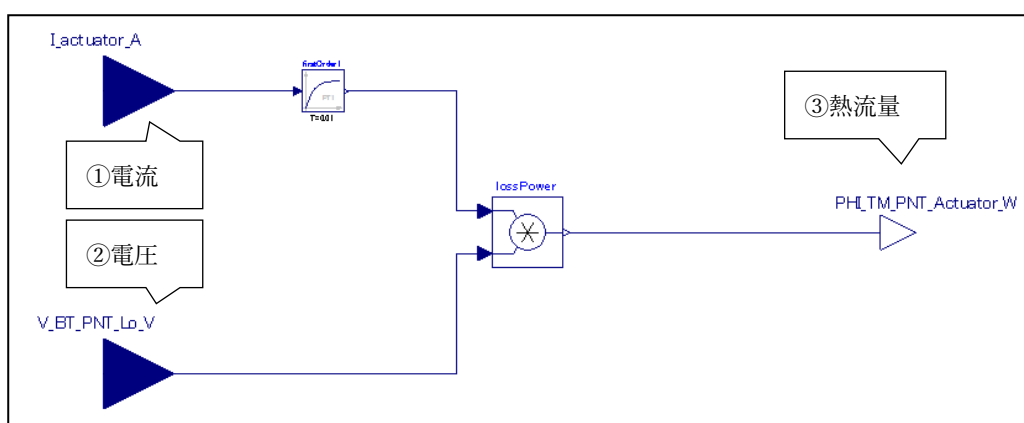


Figure 53 電動アクチュエータダイアグラム

3.4.10.3. 入出力仕様

以下に電動アクチュエータの入出力仕様を示す。

入力				
No.	名称	単位	範囲	説明
①	I_actuator_A	A	-	電動アクチュエータ制御電流
②	V_BT_PNT_Lo_V	V	-	電動アクチュエータ供給電圧
出力				
No.	名称	単位	範囲	説明
③	PHI_TM_PNT_Actuator_W	W	-	熱モデルへの熱流量

3.4.11. 電動オイルポンプ

3.4.11.1. 概要

以下に電動オイルポンプの機能を示す。

A. 熱系の機能

- ・ 電動オイルポンプの発熱量を算出

3.4.11.2. ダイアグラム

以下に電動オイルポンプのダイアグラムを示す。

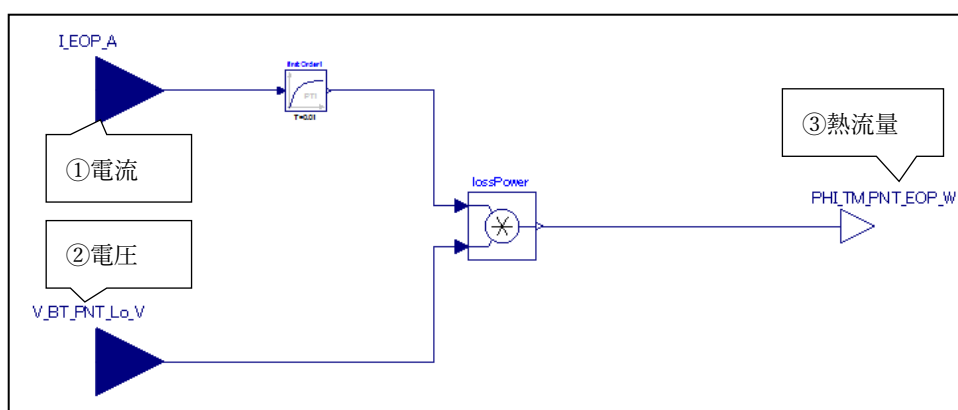


Figure 54 電動オイルポンプダイアグラム

3.4.11.3. 入出力仕様

以下に電動オイルポンプの入出力仕様を示す。

入力				
No.	名称	単位	範囲	説明
①	I_EOP_A	A	-	電動オイルポンプ制御電流
②	V_BT_PNT_Lo_V	V	-	電動オイルポンプ供給電圧
出力				
No.	名称	単位	範囲	説明
③	PHI_TM_PNT_EOP_W	W	-	熱モデルへの熱流量

3.4.12. 内部シャフト

3.4.12.1. 概要

以下に内部シャフトの機能を示す。

A. 熱系の機能

- ・ バネ・ダンパ項の算出

本モデルは MSL の SpringDamper をそのまま使用している。詳細は MSL ドキュメントを参照のこと。

3.4.12.2. ダイアグラム

以下に内部シャフトのダイアグラムを示す。

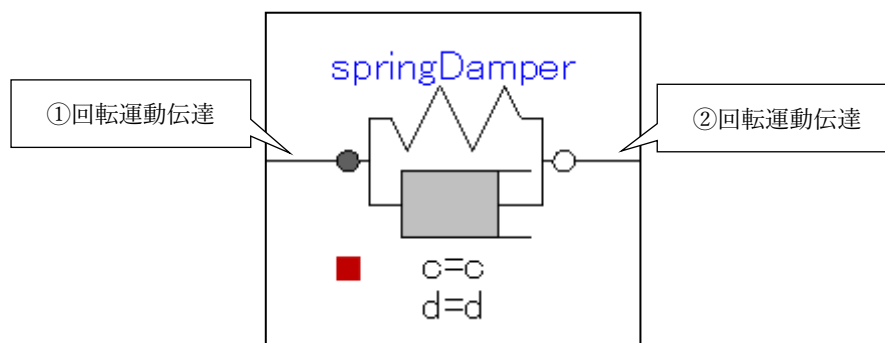


Figure 55 内部シャフトダイアグラム

3.4.12.3. 入出力仕様

以下に内部シャフトの入出力仕様を示す。

入出力				
No.	名称	単位	範囲	説明
①	flange_a	Nm, rad/s	-	ソース 1 への回転運動伝達
②	flange_b	Nm, rad/s	-	ソース 2 への回転運動伝達

3.4.12.4. パラメータ仕様

以下に内部シャフトのパラメータを示す。(MSL パラメータより内部シャフトとしての主要パラメータを抜粋)

変数名	単位	説明
c	Nm/rad	内部シャフト剛性
d	Nms/rad	内部シャフト減衰係数

3.4.13. 内部イナーシャ

3.4.13.1. 概要

以下に内部イナーシャの機能を示す。

A. 熱系の機能

- ・ 慣性項の算出

本モデルは MSL の Inertia をそのまま使用している。詳細は MSL ドキュメントを参照のこと。

3.4.13.2. ダイアグラム

以下に内部イナーシャのダイアグラムを示す。

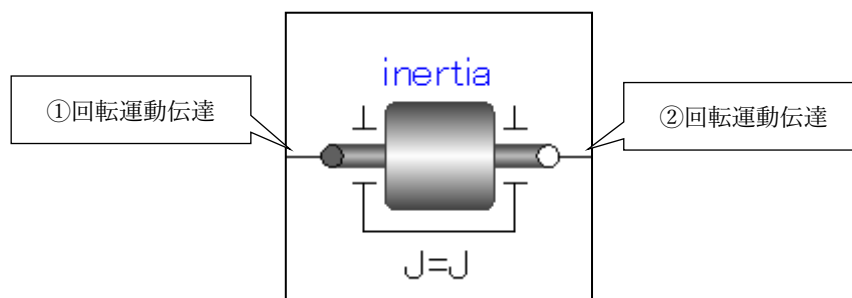


Figure 56 内部イナーシャダイアグラム

3.4.13.3. 入出力仕様

以下に内部イナーシャの入出力仕様を示す。

入出力				
No.	名称	単位	範囲	説明
①	flange_a	Nm, rad/s	-	ソース 1 への回転運動伝達
②	flange_b	Nm, rad/s	-	ソース 2 への回転運動伝達

3.4.13.4. パラメータ仕様

以下に内部イナーシャのパラメータを示す。(MSL パラメータより内部イナーシャとしての主要パラメータを抜粋)

変数名	単位	説明
J	Nm/rad	内部シャフトイナーシャ

3.5. スラスト軸受荷重配分計算モデル

以下に STEP_AT モデル内で使用している、スラスト軸受に各ギヤから掛かる荷重を計算する軸受荷重配分計算モデルについて解説する。

3.5.1. 概要

STEP_AT モデルは内部にスラスト軸受荷重配分計算モデルを持つ。これはギヤの外部情報 I/F 出力であるスラスト荷重 F_a からスラスト軸受に掛かる荷重 F_r 、 F_{th} を計算するモデルである。ただし、各ギヤからの荷重はスラスト方向のみを考慮し、スラストニードル BRG はラジアル荷重として受け取るとする。算出した荷重は軸受の外部情報 I/F 入力として軸受に入力される。Figure 57 に入出力構成を示す。

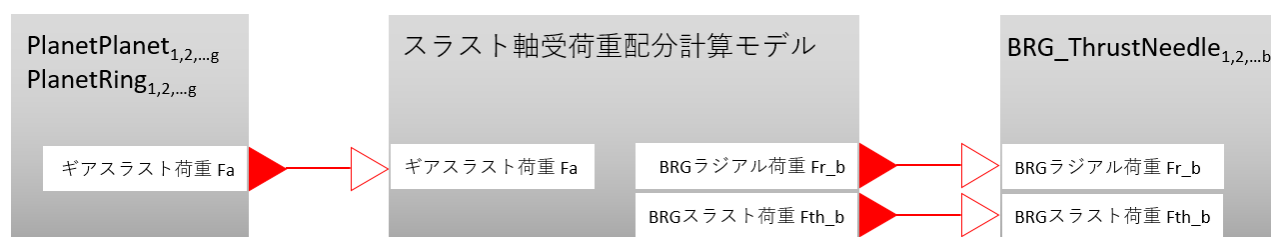


Figure 57 スラスト軸受荷重配分計算 入出力構成

3.5.2. ダイアグラム

以下にスラスト軸受荷重配分計算モデルのダイアグラムを示す。

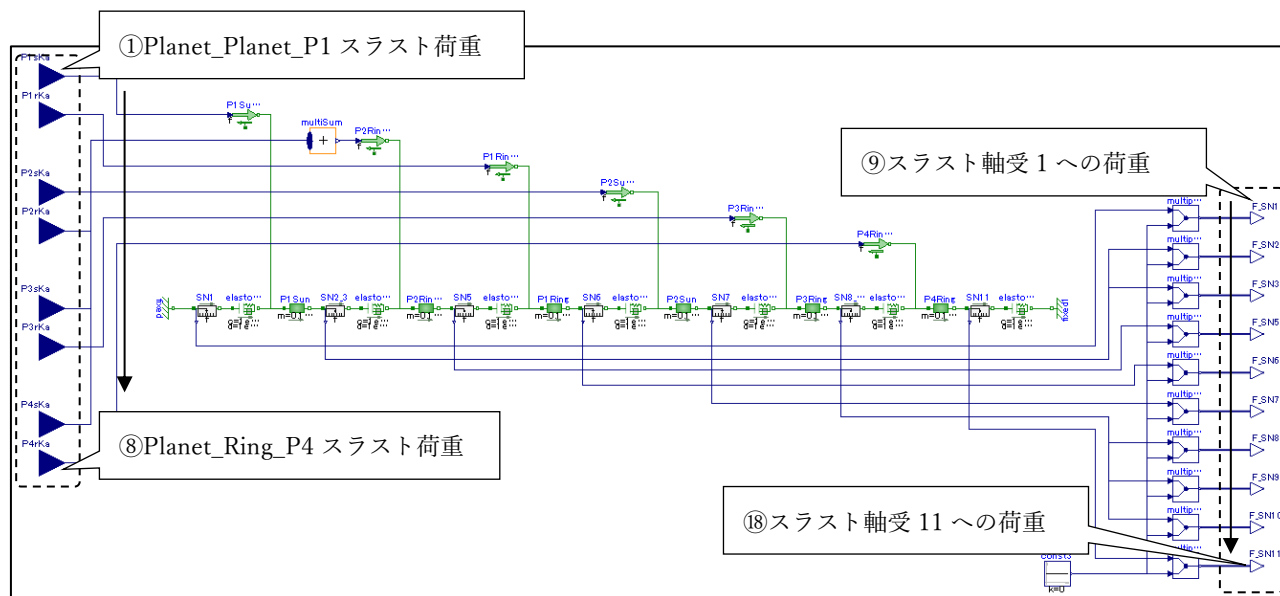


Figure 58 スラスト軸受荷重配分計算モデルダイアグラム

3.5.3. 入出力仕様

以下にスラスト軸受荷重配分計算モデルの入出力仕様を示す。

入力				
No.	名称	単位	範囲	説明
①	P1sKa	N	-	Planet_Planet_P1 スラスト荷重 (外部情報 I/F)
②	P1rKa	N	-	Planet_Ring_P1 スラスト荷重 (外部情報 I/F)
③	P2sKa	N	-	Planet_Planet_P2 スラスト荷重 (外部情報 I/F)
④	P2rKa	N	-	Planet_Ring_P2 スラスト荷重 (外部情報 I/F)
⑤	P3sKa	N	-	Planet_Planet_P3 スラスト荷重 (外部情報 I/F)
⑥	P3rKa	N	-	Planet_Ring_P3 スラスト荷重 (外部情報 I/F)
⑦	P4sKa	N	-	Planet_Planet_P4 スラスト荷重 (外部情報 I/F)
⑧	P4rKa	N	-	Planet_Ring_P4 スラスト荷重 (外部情報 I/F)
出力				
	名称	単位	範囲	説明
⑨	F_SN1	N,N	-	スラスト軸受 1 ラジアル・スラスト荷重 (外部情報 I/F) <1x2>
⑩	F_SN2	N,N	-	スラスト軸受 2 ラジアル・スラスト荷重 (外部情報 I/F) <1x2>
⑪	F_SN3	N,N	-	スラスト軸受 3 ラジアル・スラスト荷重 (外部情報 I/F) <1x2>
⑫	F_SN5	N,N	-	スラスト軸受 5 ラジアル・スラスト荷重 (外部情報 I/F) <1x2>
⑬	F_SN6	N,N	-	スラスト軸受 6 ラジアル・スラスト荷重 (外部情報 I/F) <1x2>
⑭	F_SN7	N,N	-	スラスト軸受 7 ラジアル・スラスト荷重 (外部情報 I/F) <1x2>
⑮	F_SN8	N,N	-	スラスト軸受 8 ラジアル・スラスト荷重 (外部情報 I/F) <1x2>
⑯	F_SN9	N,N	-	スラスト軸受 9 ラジアル・スラスト荷重 (外部情報 I/F) <1x2>
⑰	F_SN10	N,N	-	スラスト軸受 10 ラジアル・スラスト荷重 (外部情報 I/F) <1x2>
⑱	F_SN11	N,N	-	スラスト軸受 11 ラジアル・スラスト荷重 (外部情報 I/F) <1x2>

3.5.4. 動作説明

スラスト軸受荷重配分計算モデルの計算概要を説明する。各スラスト軸受への荷重計算概要を Figure 59 に示す。ギヤスラスト荷重の正負方向(定義は 3.4.1.5 参照)により mass が Eng 側あるいは終減速機側へ動かされ、elastoGap モデルとの接触により発生する力がスラスト軸受への荷重となる。Figure 58 は各ギヤで発生するスラスト荷重を支持するスラスト軸受の位置関係に従って並べたものである。

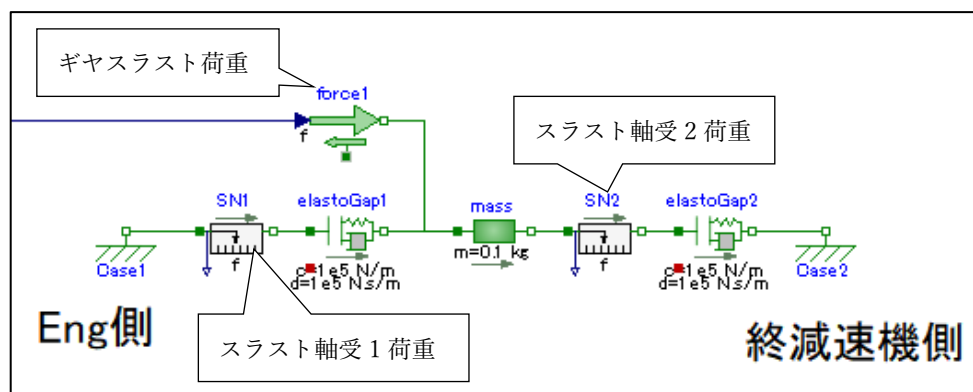


Figure 59 スラスト軸受荷重の計算概要

3.6. 軸受荷重配分計算ブロック

以下に STEP_AT モデルの終減速機で使用している、ギヤシャフト支持軸受に掛かる荷重を各ギヤ荷重から計算する軸受荷重配分計算ブロックについて解説する。

3.6.1. 概要

終減速機は内部に軸受荷重配分計算ブロックを持つ。これはギヤの外部情報 I/F 出力である Fr 、 Fa 、 Ft からギヤシャフトを支持する各軸受に掛かる Fr 、 Fth を算出するブロックである。算出した荷重は軸受の外部情報 I/F 入力として軸受に入力される。Figure 60 に入出力概構成を示す。

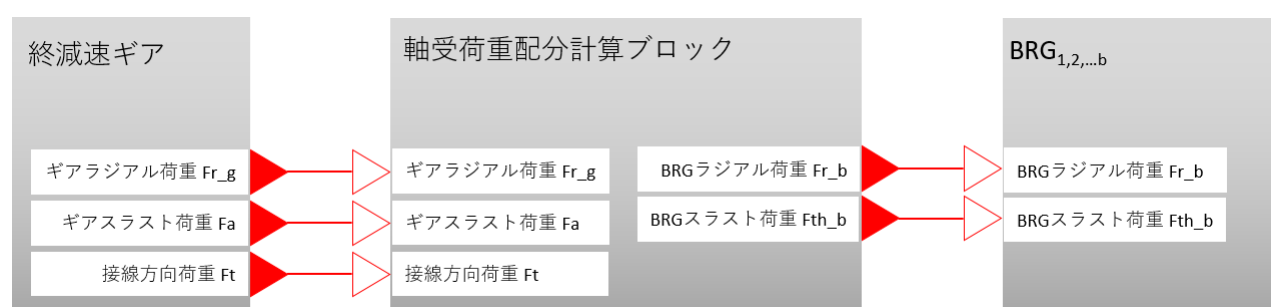


Figure 60 軸受荷重配分計算入出力構成

また、終減速機のギヤとそのギヤシャフトを支持する軸受の構成図を Figure 61 に示す。終減速機はハイポイドギヤを使用し、駆動側のシャフトを複列アンギュラ BRG である AGB1, AGB2 で支持し、ドライブシャフト側をテーパベアリング TRB1, TRB2 で支持している。

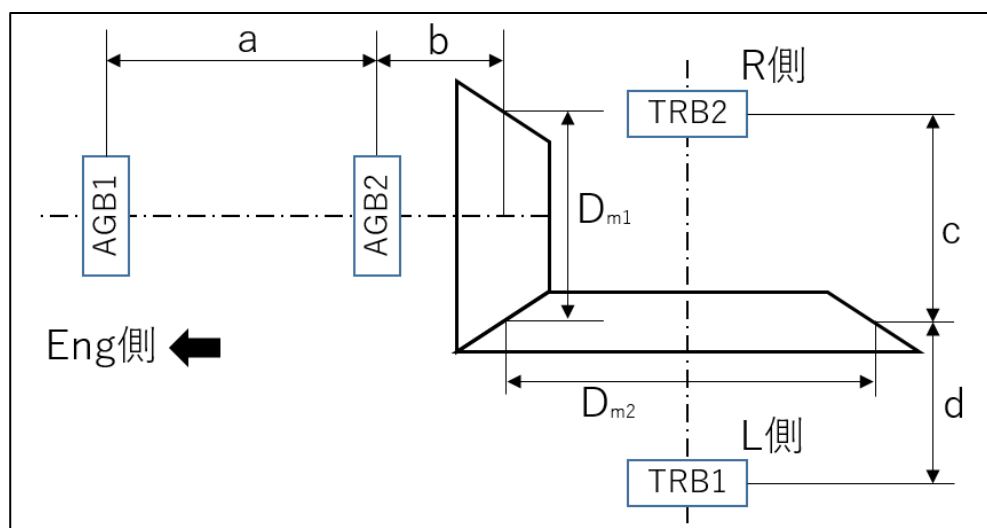


Figure 61 終減速機の構成

3.6.2. 軸受 AGB1AGB2 荷重配分計算ブロック

3.6.2.1. 概要

以下に軸受 AGB 1 AGB 2 荷重配分計算ブロックの機能を示す。

- ・ 各ギヤ分力から各軸受荷重配分を算出

3.6.2.2. ダイアグラム

以下に軸受 AGB 1 AGB 2 荷重配分計算ブロックのダイアグラムを示す。内部は数式処理のため入出力ポートのみである。

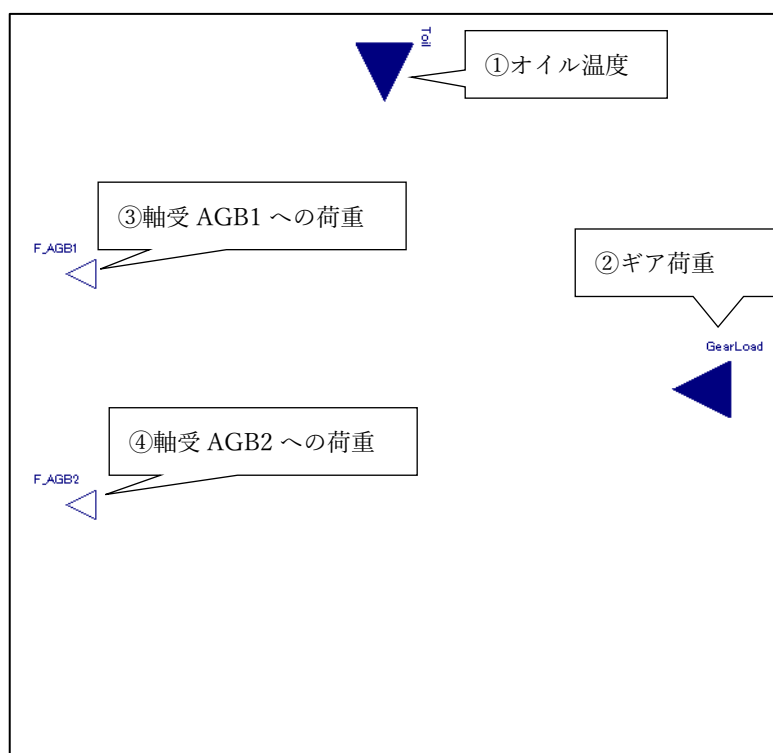


Figure 62 軸受 AGB1AGB2 荷重配分計算ブロックダイアグラム

3.6.2.3. 入出力仕様

以下に軸受 AGB 1 AGB 2 荷重配分計算ブロックの入出力仕様を示す。

入力				
No.	名称	単位	範囲	説明
①	Toil	°C	-	オイル温度
②	GearLoad	N	-	ギヤラジアル・スラスト・接線方向荷重 (外部情報 I/F) <1x3>
出力				
No	名称	単位	範囲	説明
③	F_AGB1	N,N	-	軸受 AGB1 ラジアル・スラスト荷重 (外部情報 I/F) <1x2>
④	F_AGB2	N,N	-	軸受 AGB2 ラジアル・スラスト荷重 (外部情報 I/F) <1x2>

3.6.2.4. パラメータ仕様

以下に軸受 AGB 1 AGB 2 荷重配分計算ブロックのパラメータ値を示す。

変数名	設定値	単位	説明
a	36.38	mm	ベアリング端面距離
b	51.87	mm	ピニオンギヤ幅+ベアリング端面距離
D	56.92798	mm	Figure 61 中の Dm1
alpha_AGB1	-13.317	N/°C	軸受 AGB1 のプリロード算出用の定数
alpha_AGB2	-13.317	N/°C	軸受 AGB2 のプリロード算出用の定数
beta_AGB1	2266.3	N	軸受 AGB1 のプリロード算出用の定数
beta_AGB2	2266.3	N	軸受 AGB2 のプリロード算出用の定数
Y_1	1.24	-	軸受 AGB1 のアキシアル係数
Y_2	1.24	-	軸受 AGB2 のアキシアル係数

3.6.2.5. 動作説明

軸受 AGB1AGB2 へのラジアル・スラスト荷重は以下の計算式で算出する。まず、入力であるギヤラジアル・スラスト・接線方向荷重 GearLoad を以下変数とする。

$$F_{xp} = GearLoad[1]$$

$$F_{yp} = GearLoad[2]$$

$$F_{zp} = GearLoad[3]$$

ギヤで発生するラジアル荷重は以下の式で計算する。

$$Fr_{AGB1} = \sqrt{\left(\frac{b}{a}F_{zp}\right)^2 + \left(\frac{b}{a}F_{yp} - \frac{D}{2a}F_{xp}\right)^2}$$

$$Fr_{AGB2} = \sqrt{\left(\frac{a+b}{a}F_{zp}\right)^2 + \left(\frac{a+b}{a}F_{yp} - \frac{D}{2a}F_{xp}\right)^2}$$

ギヤで発生するスラスト荷重(誘起スラストなし)は以下の式で計算する。

$$Fth_{out} = F_{xp}$$

軸受の受け持ちスラスト荷重(誘起スラスト考慮)は以下の式で計算する。

$$Fpre_{AGB1} = alpha_AGB1 \times Toil + beta_AGB1$$

$$Fpre_{AGB2} = alpha_AGB2 \times Toil + beta_AGB2$$

(i) $Fth_{out} < 0.5 \times \left(\frac{Fr_{AGB2}}{Y2} - \frac{Fr_{AGB1}}{Y1} \right)$ の場合

$$Fth_{AGB1} = 0.5 \times \frac{Fr_{AGB2}}{Y2} - Fth_{out} + Fpre_{AGB1}$$

$$Fth_{AGB2} = 0.5 \times \frac{Fr_{AGB2}}{Y2} + Fpre_{AGB2}$$

(ii) (i)以外

$$Fth_{AGB1} = 0.5 \times \frac{Fr_{AGB1}}{Y1} + Fpre_{AGB1}$$

$$Fth_{AGB2} = 0.5 \times \frac{Fr_{AGB1}}{Y1} + Fth_{out} + Fpre_{AGB2}$$

3.6.3. 軸受 TRB1TRB2 荷重配分計算ブロック

3.6.3.1. 概要

以下に軸受 TRB1TRB 2 荷重配分計算ブロックの機能を示す。

- ・ 各ギヤ分力から各軸受荷重配分を算出

3.6.3.2. ダイアグラム

以下に軸受 TRB1TRB 2 荷重配分計算ブロックのダイアグラムを示す。内部は数式処理のため入出力ポートのみである。

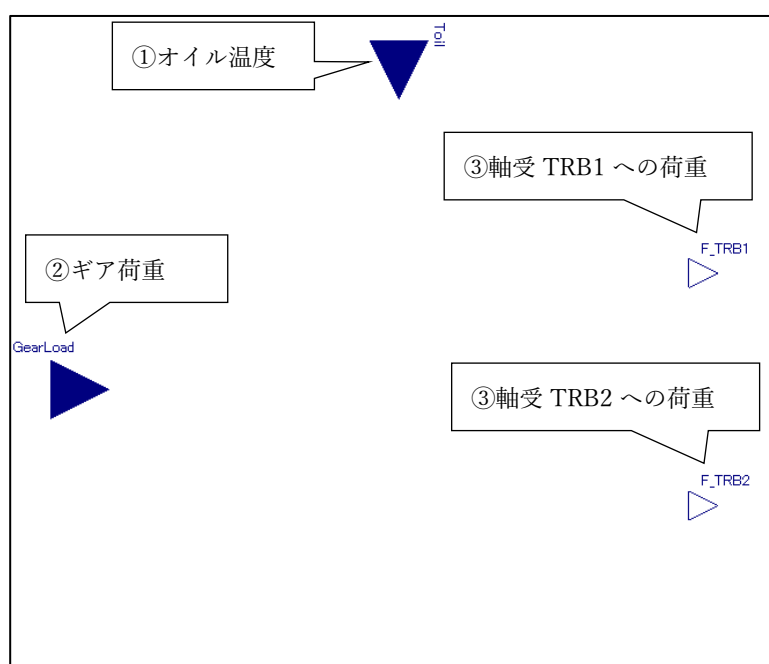


Figure 63 軸受 TRB1TRB2 荷重配分計算ブロックダイアグラム

3.6.3.3. 入出力仕様

以下に軸受 TRB 1 TRB 2 荷重配分計算ブロックの入出力仕様を示す。

入力				
No.	名称	単位	範囲	説明
①	Toil	°C	-	オイル温度
②	GearLoad	N	-	ギヤラジアル・スラスト・接線方向荷重 (外部情報 I/F) <1x3>
出力				
No	名称	単位	範囲	説明
③	F_TRB1	N,N	-	軸受 TRB1 ラジアル・スラスト荷重 (外部情報 I/F) <1x2>
④	F_TRB2	N,N	-	軸受 TRB2 ラジアル・スラスト荷重 (外部情報 I/F) <1x2>

3.6.3.4. パラメータ仕様

以下に軸受 TRB 1 TRB 2 荷重配分計算ブロックのパラメータ値を示す。

変数名	設定値	単位	説明
c	85.16	mm	ベアリング端面距離
d	79.225	mm	ピニオンギヤ幅+ベアリング端面距離
D	147.9573	mm	Figure 61 中の Dm2
alpha_TRB1	-63.136	N/°C	軸受 TRB1 のプリロード算出用の定数
alpha_TRB2	-63.136	N/°C	軸受 TRB2 のプリロード算出用の定数
beta_TRB1	6329.4	N	軸受 TRB1 のプリロード算出用の定数
beta_TRB2	6329.4	N	軸受 TRB2 のプリロード算出用の定数
Y_1	1.10	-	軸受 TRB1 のアキシャル係数
Y_2	1.10	-	軸受 TRB2 のアキシャル係数

3.6.3.5. 動作説明

軸受 TRB1TRB2 へのラジアル・スラスト荷重は以下の計算式で算出する。まず、入力であるギヤラジアル・スラスト・接線方向荷重 GearLoad を以下変数とする。

$$F_{xp} = GearLoad[1]$$

$$F_{yp} = GearLoad[2]$$

$$F_{zp} = GearLoad[3]$$

ギヤで発生するラジアル荷重は以下の式で計算する。

$$Fr_{TRB1} = \sqrt{\left(\frac{c}{c+d}F_{zp}\right)^2 + \left(\frac{c}{c+d}F_{xp} + \frac{D}{2(c+d)}F_{yp}\right)^2}$$

$$Fr_{TRB2} = \sqrt{\left(\frac{d}{c+d}F_{zp}\right)^2 + \left(\frac{d}{c+d}F_{xp} - \frac{D}{2(c+d)}F_{yp}\right)^2}$$

ギヤで発生するスラスト荷重(誘起スラストなし)は以下の式で計算する。

$$Fth_{out} = F_{yp}$$

軸受の受け持ちスラスト荷重(誘起スラスト考慮)は以下の式で計算する。

$$Fpre_{TRB1} = \alpha_{TRB1} \times Toil + \beta_{TRB1}$$

$$Fpre_{TRB2} = \alpha_{TRB2} \times Toil + \beta_{TRB2}$$

(i) $Fth_{out} < 0.5 \times \left(\frac{Fr_{TRB1}}{Y1} - \frac{Fr_{TRB2}}{Y2} \right)$ の場合

$$Fth_{TRB1} = 0.5 \times \frac{Fr_{TRB1}}{Y1} + Fpre_{TRB1}$$

$$Fth_{TRB2} = 0.5 \times \frac{Fr_{TRB1}}{Y1} - Fth_{out} + Fpre_{TRB2}$$

(ii) (i)以外

$$Fth_{TRB1} = 0.5 \times \frac{Fr_{TRB2}}{Y2} + Fth_{out} + Fpre_{TRB1}$$

$$Fth_{TRB2} = 0.5 \times \frac{Fr_{TRB2}}{Y2} + Fpre_{TRB2}$$

3.7. トルク-油圧変換モデル

3.7.1. 概要

以下にトルク-油圧変換モデルの機能を示す。

- ・ 各クラッチへの指示トルク容量を油圧へ変換

3.7.2. ダイアグラム

以下にトルク-油圧変換モデルのダイアグラムを示す。

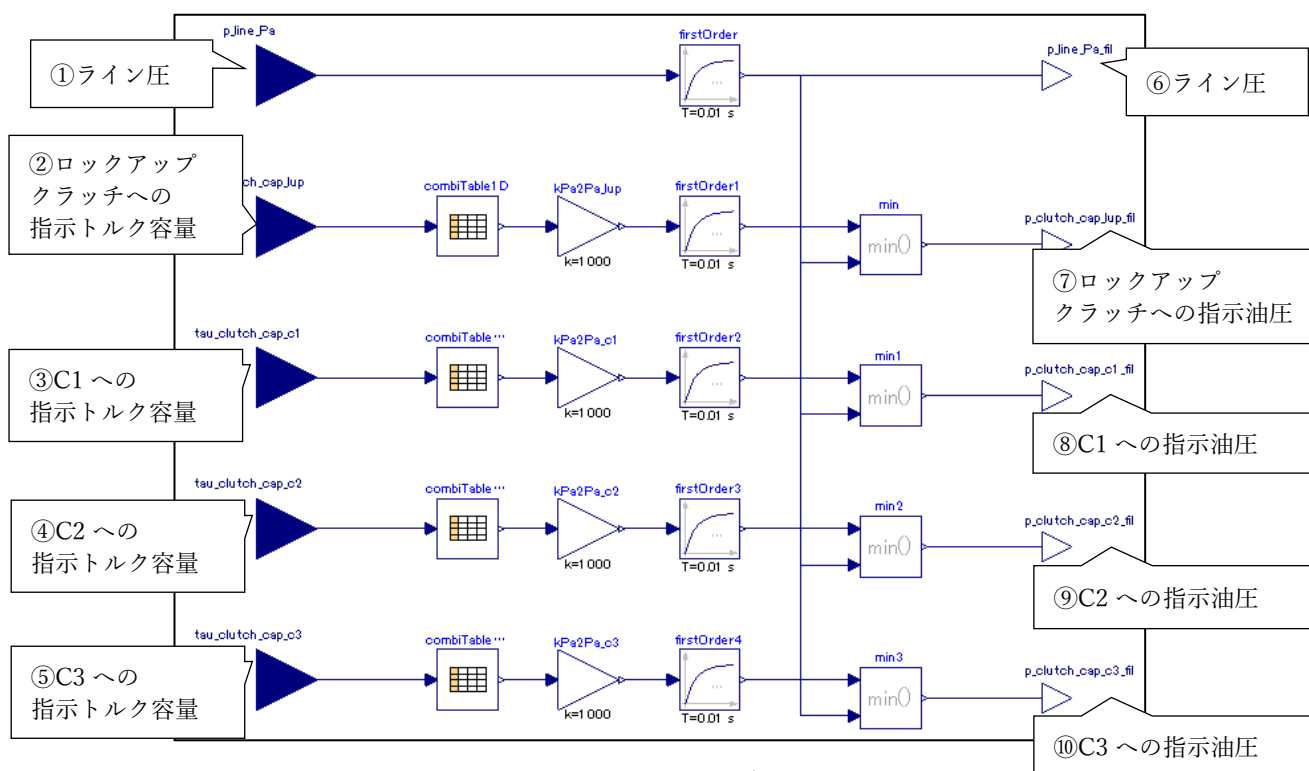


Figure 64 トルク-油圧変換モデルダイアグラム

3.7.3. 入出力仕様

以下にトルク-油圧変換モデルの入出力仕様を示す。

入力				
No.	名称	単位	範囲	説明
①	p_line_Pa	Pa	-	ライン圧
②	tau_clutch_cap_lup	Nm	-	ロックアップクラッチへの指示トルク容量
③	tau_clutch_cap_c1	Nm	-	クラッチ C1 への指示トルク容量
④	tau_clutch_cap_c2	Nm	-	クラッチ C2 への指示トルク容量
⑤	tau_clutch_cap_c3	Nm	-	クラッチ C3 への指示トルク容量
出力				
No	名称	単位	範囲	説明
⑥	p_line_Pa_fil	Pa	-	ライン圧

⑦	p_clutch_cap_lup_fil	Pa	-	ロックアップクラッチへの指示油圧
⑧	p_clutch_cap_c1_fil	Pa	-	クラッチ C1 への指示油圧
⑨	p_clutch_cap_c2_fil	Pa	-	クラッチ C2 への指示油圧
⑩	p_clutch_cap_c3_fil	Pa	-	クラッチ C3 への指示油圧

3.7.4. パラメータ仕様

以下にトルク-油圧変換モデルのパラメータ値を示す。

変数名	設定値	単位	説明
TPMAP_LC_Filename	TPMAP_LC.txt	kPa	ロックアップクラッチトルク-油圧変換テーブル
TPMAP_CL1_Filename	TPMAP_CL1.txt	kPa	クラッチ C1 トルク-油圧変換テーブル
TPMAP_CL2_Filename	TPMAP_CL2.txt	kPa	クラッチ C2 トルク-油圧変換テーブル
TPMAP_CL3_Filename	TPMAP_CL3.txt	kPa	クラッチ C3 トルク-油圧変換テーブル

3.8. シールリングへの油圧計算モデル

3.8.1. 概要

以下にシールリングへの油圧計算モデルの機能を示す。

- ・ 各シールリングにかかる油圧を算出

3.8.2. ダイアグラム

以下にシールリングへの油圧計算モデルのダイアグラムを示す。

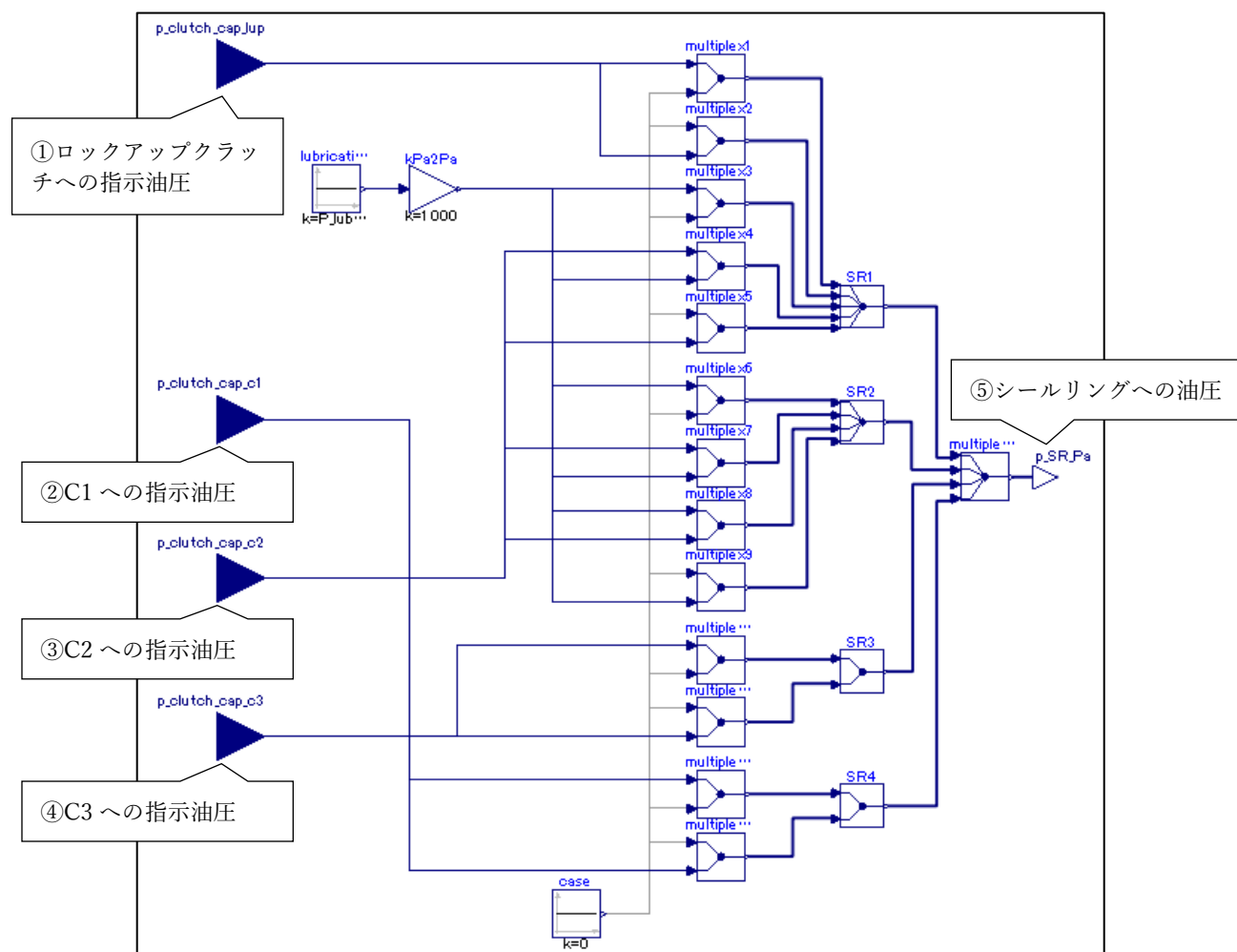


Figure 65 シールリングへの油圧計算モデルダイアグラム

3.8.3. 入出力仕様

以下にシールリングへの油圧計算モデルの入出力仕様を示す。

入力				
No.	名称	単位	範囲	説明
①	p_clutch_cap_lup	Pa	-	ロックアップクラッチへの指示油圧
②	p_clutch_cap_c1	Pa	-	クラッチ C1 への指示油圧
③	p_clutch_cap_c2	Pa	-	クラッチ C2 への指示油圧

④	p_clutch_cap_c3	Pa	-	クラッチ C3 への指示油圧
出力				
No	名称	単位	範囲	説明
⑤	p_SR_Pa	Pa	-	シールリングへの油圧<2x13>

3.8.4. パラメータ仕様

以下にシールリングへの油圧計算モデルのパラメータ値を示す。

変数名	設定値	単位	説明
P_lubrication	500	kPa	潤滑油圧

3.8.5. 動作説明

本モデルは以下のような油路を想定している。シールリングの Ft 側/Rr 側にどのような油圧がかかるかを、該当する油圧に○印で示している。シールリングでは Ft 側と Rr 側の差圧により損失トルクを算出する。なお、潤滑圧は一定油圧としている。-(ハイフン)は油圧がかかっていないことを示しており、モデルでは差圧計算のために便宜上 0Pa としている。

シールリング番号		LU 油圧	クラッチ C1 油圧	クラッチ C2 油圧	クラッチ C3 油圧	潤滑圧
SR1-1	Ft 側	-	-	-	-	-
	Rr 側	○	-	-	-	-
SR1-2	Ft 側	○	-	-	-	-
	Rr 側	-	-	-	-	-
SR1-3	Ft 側	-	-	-	-	-
	Rr 側	-	-	-	-	○
SR1-4	Ft 側	-	-	-	-	○
	Rr 側	-	-	○	-	-
SR1-5	Ft 側	-	-	○	-	-
	Rr 側	-	-	-	-	-
SR2-1	Ft 側	-	-	-	-	-
	Rr 側	-	-	-	-	○
SR2-2	Ft 側	-	-	-	-	○
	Rr 側	-	-	○	-	-
SR2-3	Ft 側	-	-	○	-	-
	Rr 側	-	-	-	-	○
SR2-4	Ft 側	-	-	-	-	○
	Rr 側	-	-	-	-	-
SR3-1	Ft 側	-	-	-	-	-
	Rr 側	-	-	-	○	-
SR3-2	Ft 側	-	-	-	○	-
	Rr 側	-	-	-	-	-

SR4-1	Ft 側	-	-	-	-	-
	Rr 側	-	○	-	-	-
SR4-2	Ft 側	-	○	-	-	-
	Rr 側	-	-	-	-	-

3.9. 構成要素モデル仕様

以下では第3階層モデルを構成する要素モデルについて解説する。

3.9.1. CombiTable3D (3D テーブル)

3.9.1.1. 概要

以下に CombiTable3D の機能を示す。

- ・ 3 入力に対し、設定した 3 次元テーブル線形補間値を出力

3.9.1.2. ダイアグラム

以下に CombiTable3D のダイアグラムを示す。

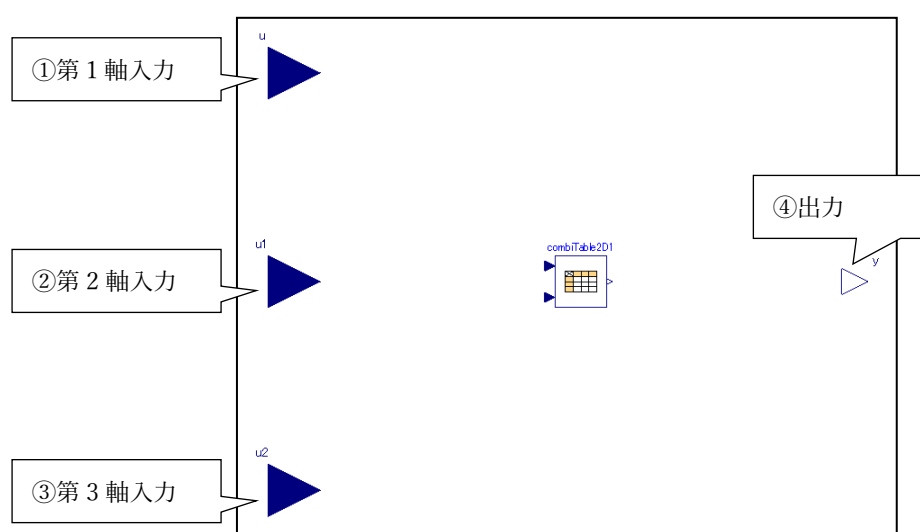


Figure 66 CombiTable3D ダイアグラム

3.9.1.3. 入出力仕様

以下に CombiTable3D の入出力仕様を示す。

入力				
No.	名称	単位	範囲	説明
①	u	-	-	第1軸入力
②	u1	-	-	第2軸入力
③	u2	-	-	第3軸入力
出力				
No.	名称	単位	範囲	説明
④	y	-	-	テーブル出力

3.9.1.4. パラメータ仕様

以下に CombiTable3D のパラメータを示す

変数名	単位	説明
filename	-	3D テーブルを設定するファイル名
z_ax	-	z 軸に設定するブレイクポイント

noExtrapolate	-	z 軸の外挿有無 (true:外挿無し)
nz	-	z 軸のブレイクポイント数 (z_ax から自動取得)

3.9.1.5. 設定方法

OpenModelica の一般的なテーブル記述仕様は 3.11.1 に示し、ここでは CombiTable3D テーブル特有の記述ルールを以下に示す。

- ・ テーブル名は tab1、tab2、・・・tab(n)とすること。
- ・ テーブルの数 tab(n)と z 軸ブレイクポイントの数 nz は同じにすること。

Figure 67 CombiTable3D テーブル記述例に<3x4x3>のテーブルファイルの例を示す。z_ax = {5e-6, 15e-6, 30e-6}とした場合、tab1 テーブルが z = 5e-6、tab2 テーブルが z = 15e-6、・・・となる。

ここで、入力 u=100、u1=1000、u2=10e-6 に対する出力は、0.2 と 0.3 の線形補間値 0.25 となる。

#1				
double tab1(3,4)				
0	0	1000	2000	} z=5e-6
100	0.1	0.2	0.3	
200	0.2	0.3	0.4	
double tab2(3,4)				
0	0	1000	2000	} z=15e-6
100	0.2	0.3	0.4	
200	0.3	0.4	0.5	
double tab3(3,4)				
0	0	1000	2000	} z=30e-6
100	0.4	0.5	0.6	
200	0.6	0.7	0.8	

Figure 67 CombiTable3D テーブル記述例

3.10. 解析実行環境で構築したモデル概要

第3階層ステップATプラントモデル化範囲外で、車両システム解析実行環境として構築したモデル仕様を以下に示す。

3.10.1. トランスミッション制御

3.10.1.1. 概要

制御Cソースコードを読み込み、入力に対するステップAT制御出力を算出する。読み込むCソースは下記3ファイル。

/library_etc/TCU_Main_AT_DCT.c

/library_etc/TRAMI_Standare_AT_Strategy_v211.c

/library_etc/TRAMI_Standare_AT_StrategyData_v211_L3_9AT_d01.c

3.10.1.2. ダイアグラム

以下にトランスミッション制御のダイアグラムを示す。内部はCソース読み込み処理のため入出力ポートのみである。

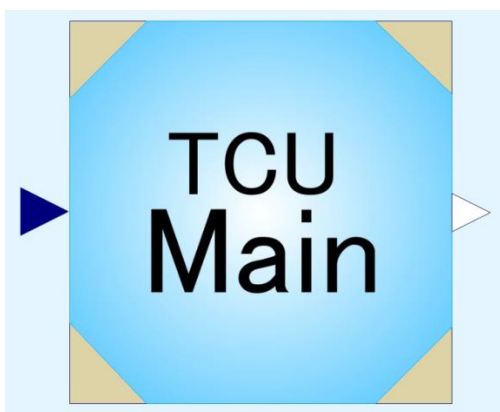


Figure 68 トランスミッション制御ダイアグラム

3.10.1.3. 入出力仕様

以下にトランスミッション制御の入出力仕様を示す。入力 は 26 要素、出力 は 34 要素の配列である。

各入出力は 2019 年度に作成された別紙「C 言語ソース解説書 有段変速機の汎用制御 Ver.1.0」4.1.1. TCU_Main 関数に示す各引数である。

入力			
名称	単位	範囲	説明
flag_initialize	-	[0 1]	イニシャライズ要求
w_gearbox_input_radps	rad/s	-	Gearbox input speed
w_gearbox_output_radps	rad/s	-	Gearbox output speed
w_synchro_dif_radps	rad/s	-	各シンクロ差回転数 <1x11>
t_trans_fluid_k	K	-	トランスミッション油温
t_engine_water_k	K	-	Eng.冷却水温
accel_position_per	%	[0 100]	アクセル開度
trans_shifter_position	-	[-1 1]	シフター位置(Rev = -1; N = 0; D = 1)
v_vehicle_mps	m/s	-	車速
tau_brake	Nm	-	ブレーキトルク
w_engine_radps	rad/s	-	Engine 回転数
w_engine_idle_radps	rad/s	-	Engine アイドルトルク
tau_engine_target	Nm	-	Engine 目標トルク
tau_engine	Nm	-	Engine トルク
tau_engine_min_pos	Nm	-	Eng.出力可能最小トルク
tau_engine_max_pos	Nm	-	Eng.出力可能最大トルク
出力			
名称	単位	範囲	説明
tau_clutch_cap	Nm	-	各クラッチのトルク容量 <1x12>
f_synchro_n	N	-	シンクロの操作力 <1x11>
p_line_pa	Pa	-	ライン圧
i_actuator_ampere	A	-	アクチュエータ電流
i_eop_ampere	A	-	電動オイルポンプ電流
qv_cooler_trans_fluid_m3ps	m3/s	-	クーラーの ATF 流量
qv_cooler_eng_water_m3ps	m3/s	-	クーラーの冷却水流量
tau_engine_max_req	Nm	-	エンジントルクリダクション要求
tau_engine_min_req	Nm	-	エンジントルクアップ要求
w_engine_target_radps	rad/s	-	エンジン回転要求値
tau_trans_input	Nm	-	トランスミッション入力軸トルク
trans_gear_ratio	-	-	ギヤ比
flag_trans_lock_up	-	[0 1]	ロックアップ判定

制御 C ソースの変更方法を別紙「OpenModelica 変更手順書.xlsx」に示す。

3.10.2. フライホイール

3.10.2.1. 概要

以下にフライホイールの機能を示す。

- ・ フライホイールの慣性項を算出

3.10.2.2. ダイアグラム

以下にフライホイールモデルのダイアグラムを示す。

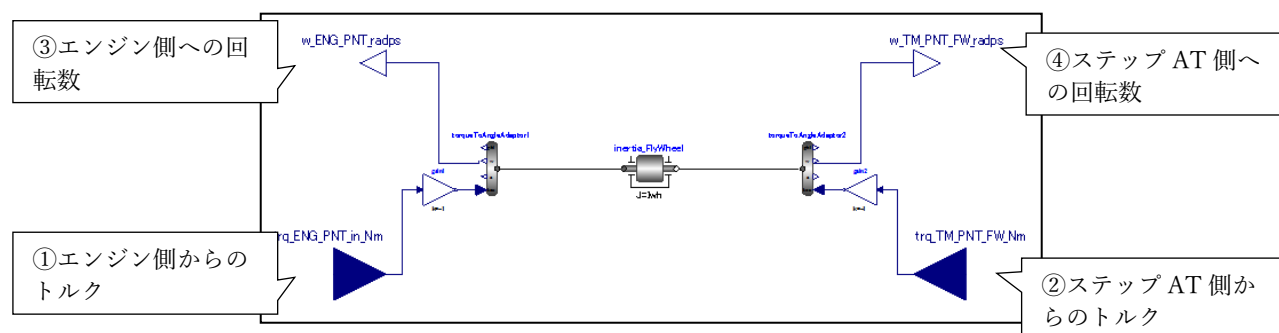


Figure 69 フライホイールダイアグラム

3.10.2.3. 入出力仕様

以下にフライホイールモデルの入出力仕様を示す。

入力				
No.	名称	単位	範囲	説明
①	trq_ENG_PNT_in_Nm	Nm	-	エンジン側からのトルク
②	trq_TM_PNT_FW_Nm	Nm	-	ステップ AT 側からのトルク
出力				
No.	名称	単位	範囲	説明
③	w_ENG_PNT_radps	rad/s	-	エンジン側への回転数
④	w_TM_PNT_FW_radps	rad/s	-	ステップ AT 側への回転数

3.10.2.4. パラメータ仕様

以下にフライホイールのパラメータ設定ファイル・値を示す。

変数名	設定ファイル・値	単位	説明
Jfw	0.4	-	フライホイールイナーシャ

3.10.3. ドライバー

3.10.3.1. 概要

以下にドライバーの機能を示す。

- ・ 目標速度に追従するアクセル開度・ブレーキトルクの算出

3.10.3.2. ダイアグラム

以下にドライバーモデルのダイアグラムを示す。

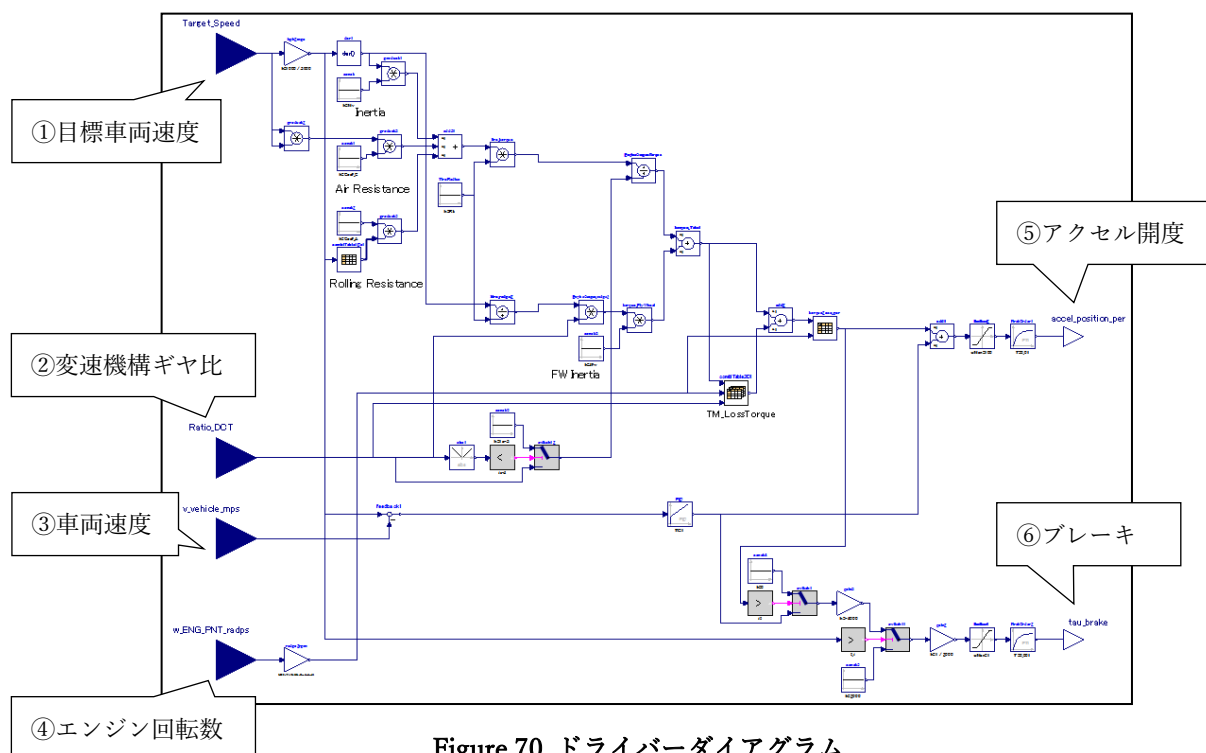


Figure 70 ドライバーダイアグラム

3.10.3.3. 入出力仕様

以下にドライバーモデルの入出力仕様を示す。

入力				
No.	名称	単位	範囲	説明
①	Target_Speed	km/h	-	目標車両速度
②	Ratio_AT	-	-	変速機構ギヤ比
③	v_vehicle_mps	m/s	-	車両速度
④	w_ENG_PNT_radps	rad/s	-	エンジン回転数
出力				
No.	名称	単位	範囲	説明
⑤	accel_position_per	%	[0 100]	アクセル開度
⑥	tau_brake	2e3 Nm	[0 1]	正規化ブレーキトルク(1 出力時に 2000Nm のブレーキトルク)

3.10.3.4. パラメータ仕様

以下にドライバーモデルのパラメータ設定ファイル・値を示す。

変数名	設定ファイル・値	単位	説明
Jfw	transMission.Flywheel.Jwh	kgm2	フライホイールイナーシャ
Mv	vehicle.Mv	kg	車両重量
Rt	vehicle.Rt	m	タイヤ半径
Coef_A	vehicle.Coef_A	N	転がり抵抗
Coef_C	vehicle.Coef_C	Nh2/km2	空気抵抗の係数 ($1/2 \cdot \rho \cdot Cd \cdot A$)
Accelerator_FileName	Accelerator_open_per_MAP.txt	-	アクセル開度マップ 目標トルク・回転数より算出
Accelerator_tabName	Accelerator_open_per_MAP	-	アクセル開度マップテーブル名

3.10.4. エンジン

3.10.4.1. 概要

以下にエンジンの機能を示す。

- ・ アクセル開度と回転速度からエンジントルクを出力する機能

3.10.4.2. ダイアグラム

以下にエンジンモデルのダイアグラムを示す。

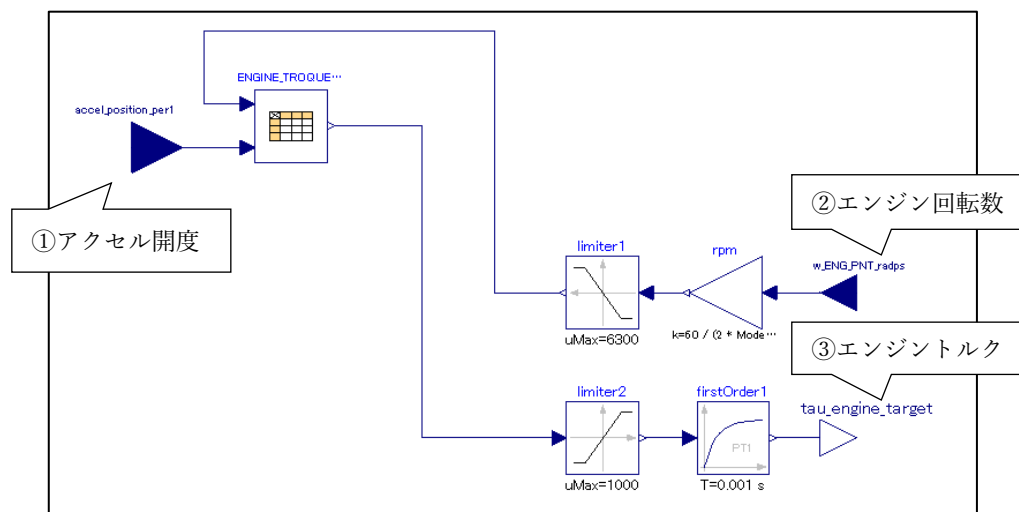


Figure 71 エンジンダイアグラム

3.10.4.3. 入出力仕様

以下にエンジンの入出力仕様を示す。

入力				
No.	名称	単位	範囲	説明
①	accel_position_per1	%	[0 100]	アクセル開度
②	w_ENG_PNT_radps	rad/s	-	フライホイール回転速度
出力				
No.	名称	単位	範囲	説明
③	tau_engine_target	Nm	-	エンジントルク

3.10.4.4. パラメータ仕様

以下にエンジンのパラメータ設定ファイル・値を示す。

変数名	設定ファイル・値	単位	説明
Engine_Trq_Map	ENGINE_TRQ_MAP.txt	-	エンジントルクテーブルファイル名
Engine_Trq_Table	ENGINE_TRQ_MAP	-	参照テーブル名

3.10.5. エンジンアイドル制御

3.10.5.1. 概要

以下にエンジンアイドル制御の機能を示す。

- ・ エンジン回転速度をアイドル回転数以上に維持する機能

3.10.5.2. ダイアグラム

以下にエンジンアイドル制御のダイアグラムを示す。

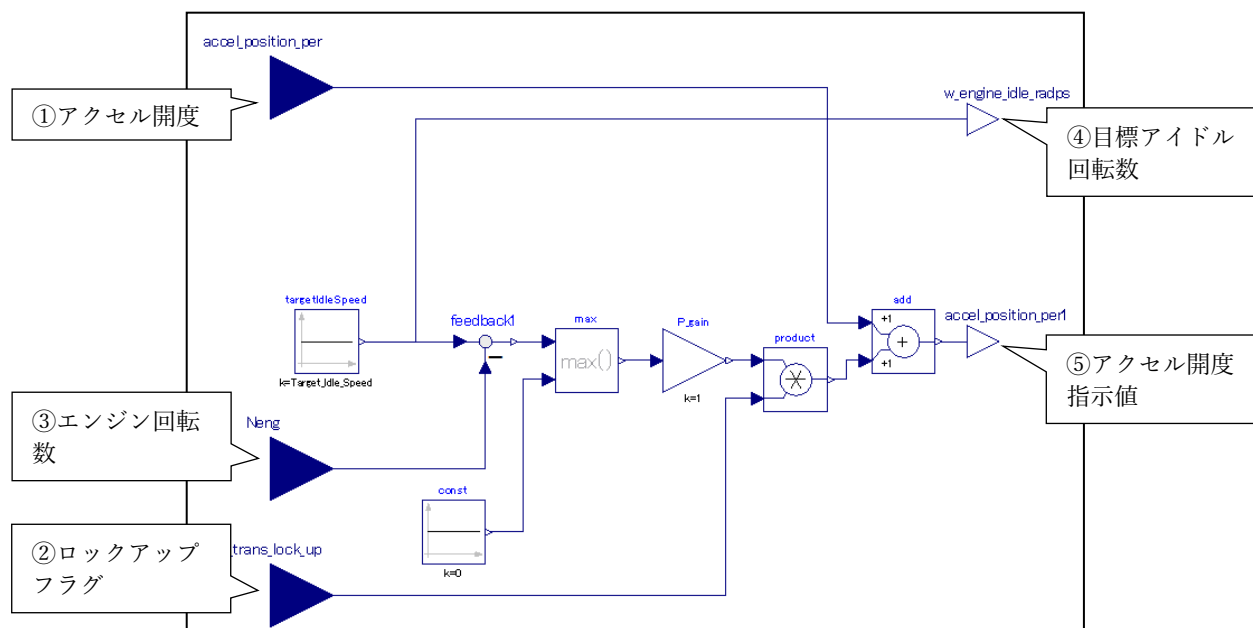


Figure 72 エンジンアイドル制御ダイアグラム

3.10.5.3. 入出力仕様

以下にエンジンアイドル制御の入出力仕様を示す。

入力				
No.	名称	単位	範囲	説明
①	accel_position_per	%	[0 100]	ドライバーモデルからのアクセル開度指示値
②	flag_trans_lock_up	-	[0 1]	トランスミッションロックアップフラグ
③	Neng	rpm	-	エンジン回転数
出力				
No.	名称	単位	範囲	説明
④	w_engine_idle_radps	rpm	-	目標アイドル回転数
⑤	accel_position_per1	%	[0 100]	アクセル開度指示値

3.10.5.4. パラメータ仕様

以下にエンジンアイドル制御モデルのパラメータ設定ファイル・値を示す。

変数名	設定ファイル・値	単位	説明
Target_Idle_Speed	650	rpm	目標アイドル回転数

3.10.6. タイヤ・走行抵抗

3.10.6.1. 概要

以下にタイヤ・走行抵抗の機能を示す。

- ・ 車両慣性・走行抵抗と入力トルクから車両速度を算出

3.10.6.2. ダイアグラム

以下にタイヤ・走行抵抗モデルのダイアグラムを示す。

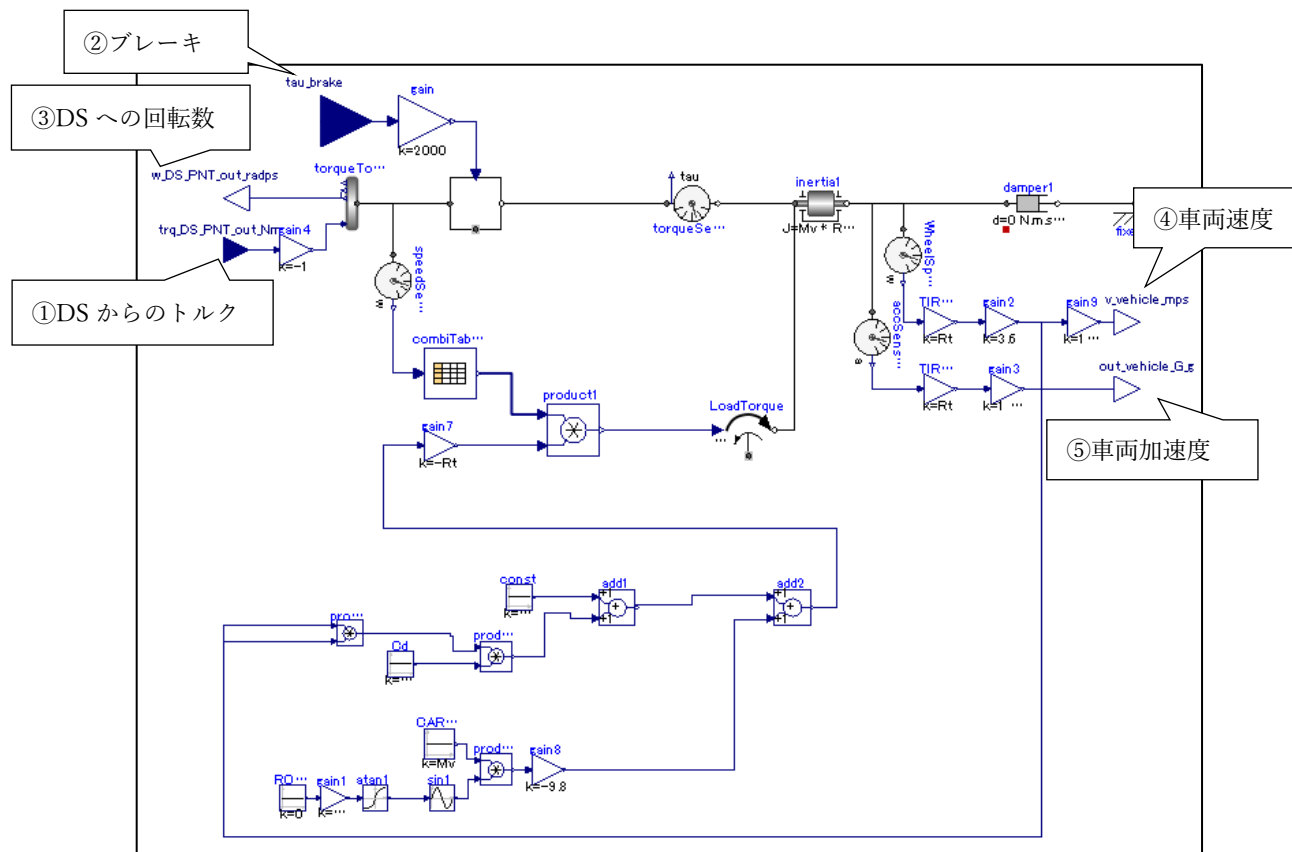


Figure 73 タイヤ・走行抵抗ダイアグラム

3.10.6.3. 入出力仕様

以下にタイヤ・走行抵抗モデルの入出力仕様を示す。

入力				
No.	名称	単位	範囲	説明
①	tau_DS_PNT_out_Nm	Nm	-	ドライブシャフトからのトルク
②	tau_brake	2e3 Nm	[0 1]	正規化ブレーキトルク指示値
出力				
No.	名称	単位	範囲	説明
③	w_DS_PNT_out_radps	rad/s	-	ドライブシャフトへの回転数
④	v_vehicle_mps	m/s	-	車両速度
⑤	out_vehicle_G_g	G	-	車両加速度

3.10.6.4. パラメータ仕様

以下に車両モデルのパラメータ設定ファイル・値を示す。

変数名	設定ファイル・値	単位	説明
Mv	1471.5	kg	車両重量
Rt	0.31	m	タイヤ半径
Coef_A	179.5	N	転がり抵抗
Coef_C	0.0351	Nh2/km2	空気抵抗の係数 ($1/2 \cdot \rho \cdot C_d \cdot A$)

3.10.7. 熱モデル

3.10.7.1. 概要

本熱モデルは平成 30 年度に TRAMI ガイドライン準拠モデルとして公開されたモデルである。詳細は「動力伝達システムにおけるプラントモデル I/F ガイドライン準拠モデル解説書 3.2.6.熱系統合モデルの機能仕様」を参照のこと。

3.10.7.2. ダイアグラム

以下に熱モデルのダイアグラムを示す。

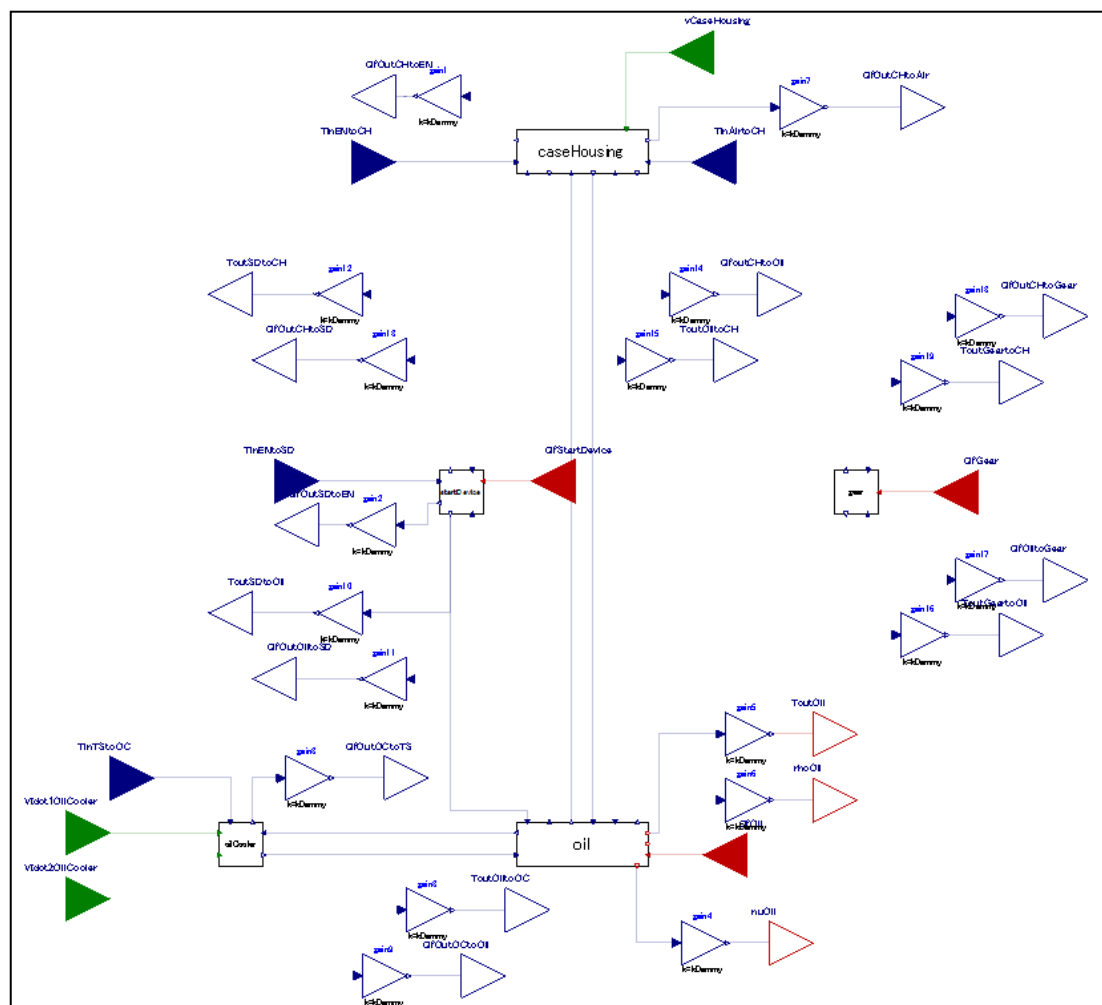


Figure 74 熱モデルダイアグラム

3.10.7.3. 入出力仕様

以下に熱モデルの入出力仕様を示す。

入力			
名称	単位	範囲	説明
QfStartDevice	W	—	発進デバイスからの熱流量
QfGear	W	—	変速機構からの熱流量
QfOil	W	—	オイルポンプからの熱流量
vCaseHousing	m/s	—	車両モデルからの車速
TinAirtoCH	K	—	トランスミッション雰囲気温度
TinENtoSD	K	—	エンジン（熱モデル）側の温度

TinENGtoCH	K	—	エンジン（熱モデル）側の温度
VIdot1OilCooler	m3/s	—	オイル流量（制御信号）
VIdot2OilCooler	m3/s	—	LLC 流量（制御信号）
TinTStoOC	K	—	PT サーマルシステム側の温度
出力			
名称	単位	範囲	説明
rhoOil	kg/m3	—	運動エネルギーモデルへのオイル（熱モデル）密度
nuOil	m2/s	—	運動エネルギーモデルへのオイル（熱モデル）動粘度
QfOutCHtoEN	W	—	ケース・ハウジング（熱モデル）からエンジン（熱モデル）への熱流量
QfOutSDtoEN	W	—	発進デバイス（熱モデル）からエンジン（熱モデル）への熱流量
QfOutOCtoTS	W	—	オイルクーラ（熱モデル）から PT サーマルシステム（熱モデル）への熱流量
ToutOil	K	—	オイル温度
ToutOiltoOC	K	—	オイル（熱モデル）側の温度
ToutSDtoOil	K	—	発進デバイス（熱モデル）側の温度
ToutSDtoCH	K	—	発進デバイス（熱モデル）側の温度
ToutOiltoCH	K	—	オイル（熱モデル）側の温度
ToutGeartoOil	K	—	変速機構（熱モデル）側の温度
ToutGeartoCH	K	—	変速機構（熱モデル）側の温度
QfoutCHtoAir	W	—	ケース・ハウジング（熱モデル）から外気への熱流量
QfOutOCtoOil	W	—	オイルクーラ（熱モデル）からオイル（熱モデル）への熱流量
QfOutOiltoSD	W	—	オイル（熱モデル）から発進デバイス（熱モデル）への熱流量
QfoutCHtoOil	W	—	ケース・ハウジング（熱モデル）からオイル（熱モデル）への熱流量
QfOiltoGear	W	—	オイル（熱モデル）から変速機構（熱モデル）への熱流量
QfOutCHtoGear	W	—	ケース・ハウジング（熱モデル）から変速機構（熱モデル）への熱流量

3.10.7.4. パラメータ仕様

以下に熱モデルのパラメータ設定ファイル・値を示す。

変数名	設定ファイル・値	単位	説明
c1	10000	J/K	発進デバイス熱容量
T0	26.85	°C	発進デバイス初期温度
R1	100	K/W	発進デバイスとエンジン熱モデルとの熱抵抗
T1	26.85	°C	ケース・ハウジング初期温度
R2	0.340	K/W	ケース・ハウジングとエンジン熱モデルとの熱抵抗
R3	100	K/W	ケース・ハウジングと発進デバイス熱モデルとの熱抵抗
R4	100	K/W	ケース・ハウジングと変速機構熱モデルとの熱抵抗
R5	0.004	K/W	ケース・ハウジングとオイル熱モデルとの熱抵抗
table1	<17x2>	-	車速 x 外気熱モデル熱抵抗テーブル
c3	15000	J/K	変速機構熱容量
T2	26.85	°C	変速機構初期温度
fileName1	thResitanceOilColler1.txt	-	オイルクーラ熱交換性能テーブルのテーブルデータファイル名
tableName1	thResitanceOilColler1	-	オイルクーラ熱交換性能テーブルのテーブル名
T3	26.85	°C	オイル初期温度
c4	10000	J/K	オイル熱容量
R6	0.0001	K/W	オイルと発進デバイス熱モデルとの熱抵抗
R7	0.07	K/W	オイルと変速機構熱モデルとの熱抵抗
Nutable1	<8x2>	-	オイル温度から動粘度への換算テーブル
EtaTable1	<8x2>	-	オイル温度から絶対粘度への換算テーブル
kDummy	1	-	ダミーゲイン（変更不可）
c2	30000	J/K	ケース・ハウジング熱容量

3.11. Modelica モデル共通仕様

3.11.1. 特性マップ・テーブル設定

以下に Modelica モデルにおける特性マップの設定について示す。

- ・特性マップは最初に「#1」を、その後データ型、テーブル名、データサイズ(Row, Column)、データマトリクスを記述する。
- ・データマトリクスの 1 列目 2 行目以降が入力 u1、1 行目 2 列目以降が入力 u2 の参照軸となる。
- ・データマトリクス内では線形補完を行う。
- ・入力値が参照軸の範囲を超える、または下回る場合、テーブル要素は最後の 2 点データを用いた線形外挿を行う。このため、外挿を行わせたくない場合は、データマトリクスの外側に外端データをコピーした一回り大きなデータマトリクスを作成する。
- ・データマトリクス列間の区切りにはタブを用いること。(,(コンマ)は使用できないツールがあるため)
- ・1 行 1 列目は任意の値とできる。ここでは 0(ゼロ)とする。
- ・最初の「#1」以外の#は以降から改行まではコメント文となる。

Figure 75 マップファイルの記述例に特性マップファイルの記述例を示す。

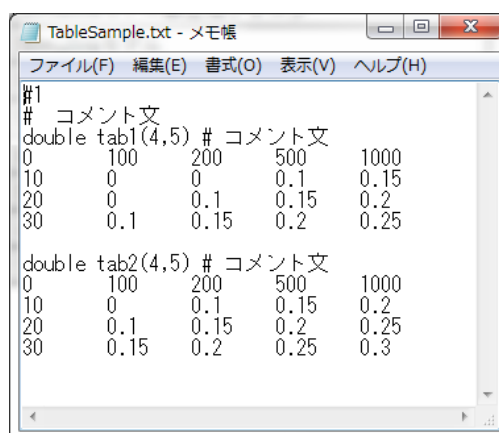


Figure 75 マップファイルの記述例

3.11.2. 1 次遅れ要素の使用

本モデルでは、制御信号など離散値を物理入力として使用する場合に計算を安定化させるため 1 次遅れ要素を使用している。

4. モデル解説(Simulink)

本モデルは Modelica で構築した第3階層ステップ AT プラントモデルから FMU を生成し、平成 30 年度公開の TRAMI ガイドライン準拠 Simulink モデルに組み込んだモデルである。また、制御モデルについては、有段変速機汎用制御モデルを組み込んでいる。

4.1. ファイル構成

以下に Simulink モデルのファイル構成を示す。

	TRAMI_L3_STEP_AT_Simulink	Simulinkモデル最上位フォルダ
	TRAMI_STEP_AT_vehicle_ver01_R2018b.slx	Simulinkモデル
	init_setting_TRAMI.m	初期設定用スクリプト
	DATA	FMUパラメータデータ格納フォルダ
	FMU	FMU格納フォルダ
	lib	ライブラリ格納フォルダ
	param	パラメータデータ格納フォルダ
	picture	ブロック画像データ格納フォルダ

Figure 76 Simulink モデルファイル構成

4.2. モデル構造

平成 30 年度公開 TRAMI ガイドライン準拠 Simulink モデル「TM_CNT」と「TM_PNT」を、それぞれ有段変速機汎用制御モデル、第 3 階層ステップ AT プラント FMU モデルと組み替えている。組み替え部以外の経産省ガイドライン準拠モデルからの変更点は平成 30 年度公開の「動力伝達システムにおけるプラントモデル I/F ガイドライン準拠モデル解説書」、「5.4.TM 関連以外のモデルの改造」を参照のこと。

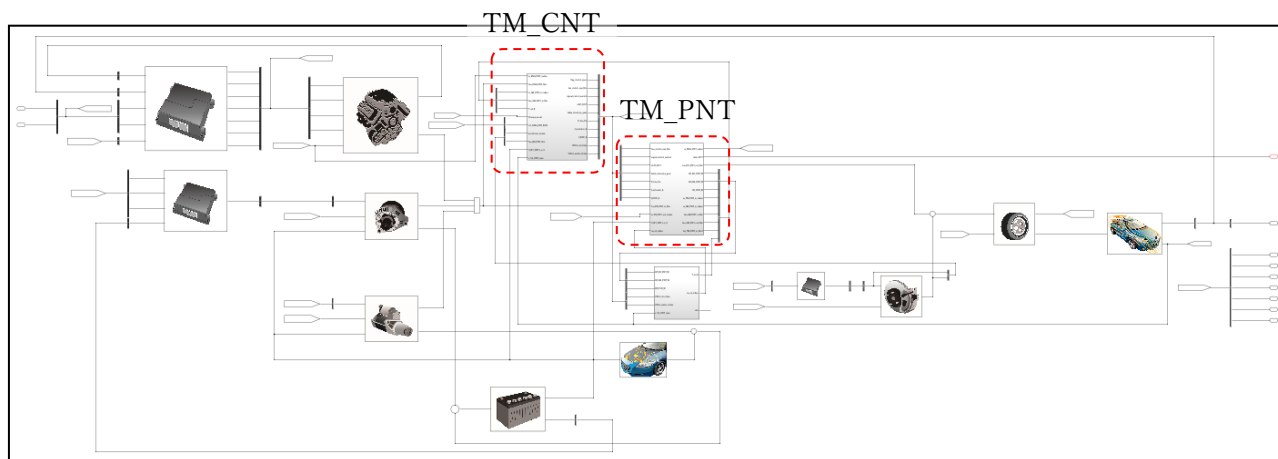


Figure 77 TRAMI ガイドライン準拠 Simulink モデル(平成 30 年度公開版)

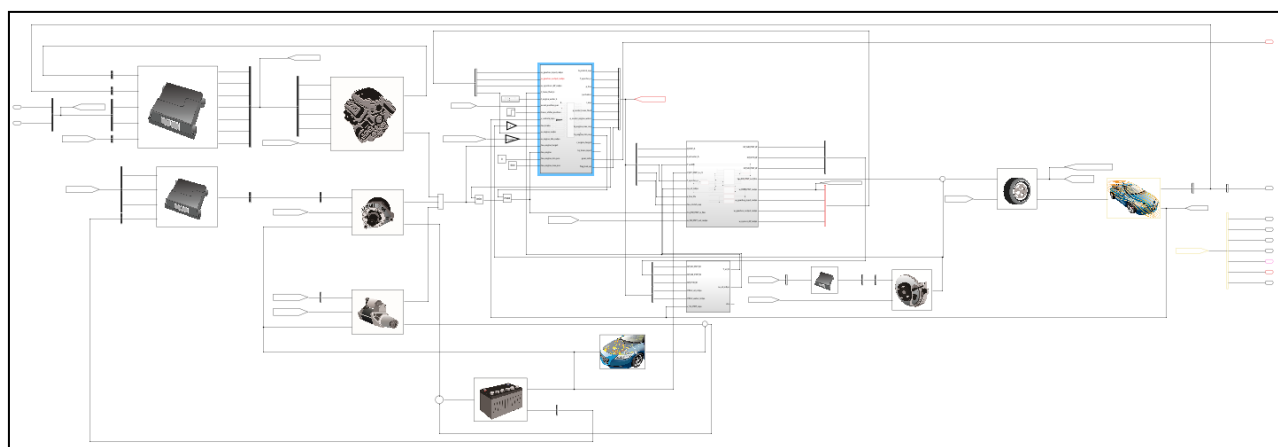


Figure 78 TM プラント・制御組み替え後

4.3. FMU の生成

提供しているFMU はModelica ツールで作成されたWindowsOS の64bit 版である。次のような場合にFMU を再生成する必要がある。

- ・異なるOS 上で実行するとき
- ・モデルを変更するとき
- ・パラメータ、出力を変更する場合
- ・配列サイズを変更する場合

4.3.1. 生成する FMU の種類（タイプとビット数）

FMU はFMI 規格 ver2.0 に基づくFMU である。

生成手順は使用するModelica ツールにより異なる。例えばOpenModelicaでは「ファイル->Export->FMU」で開いているモデルをFMU 化することができる。生成するFMUは、FMUを実行するSimulink と同じOS、ビット数でなければならない。またソルバーを組み込んだCS（Co-Simulation）タイプであることが必要である。また、通信間隔の設定は、FMUを実行するSimulinkの計算ステップ間隔と同一の設定とする。

OpenModelicaからCSタイプのFMU生成は、現状ではソルバーとしてForward Eulerのみサポートされているが、Forward Eulerによる計算が発散してしまうため、本モデルをOpenModelicaからFMU生成しMETIモデルに組み込み解析を行うことは出来ない。

4.3.2. FMU 化の対象部品

提供している Simulink モデルは以下の部品を FMU 生成し組み込んでいる。Figure 79 に示すようにTransMission クラスで使用している以下5部品をFMU化している。

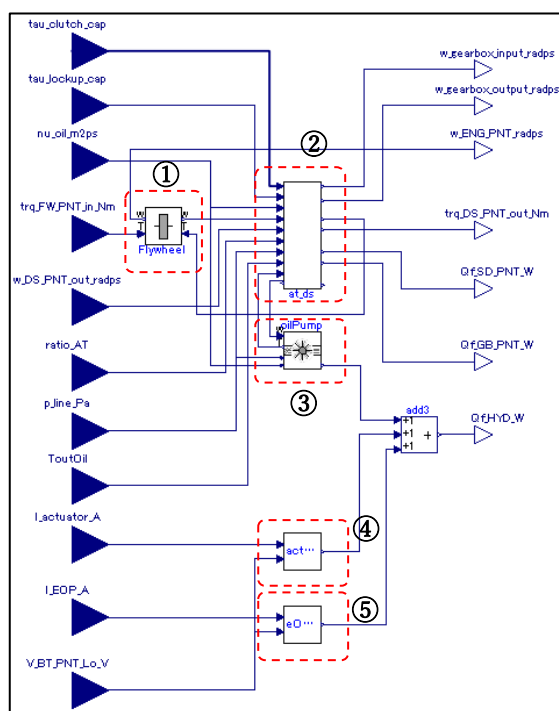


Figure 79 FMU 化対象部品

No.	部品名	ライブラリパス(TRAMI_L3_STEP_AT 以降)
①	フライホイール	Vehicle/Flywheel
②	トランスミッション	TransMission/Mechanics/AT_DS
③	オイルポンプ	TransMission/Mechanics/OilPump
④	電動アクチュエータ	TransMission/Electric/Actuator_eLoss
⑤	電動オイルポンプ	TransMission/Electric/EOP_eLoss

上記の②の部品は計算安定性の観点から第3階層ステップ AT モデル全体となっているため、下記に IF を記す。

②トランスミッション FMU 入力			
名称	単位	範囲	説明
tau_clutch_cap	Nm	-	クラッチへの指示トルク容量
tau_lockup_cap	Nm	-	ロックアップクラッチへの指示トルク容量
nu_oil_m2ps	m2/s	-	オイル動粘度
w_TM_PNT_FW_radps	rad/s	-	フライホイールからの回転数
w_DS_PNT_out_radps	rad/s	-	タイヤからの回転数
ratio_AT	-	-	変速機構ギヤ比
p_line_Pa	Pa	-	ライン圧
t_trans_fluid_K	K	-	オイル温度
trq_TM_PNT_OP_Nm	Nm	-	オイルポンプからのトルク
②トランスミッション FMU 出力			
名称	単位	範囲	説明
w_gearbox_input_radps	rad/s	-	変速機構 入力軸回転数
w_gearbox_output_radps	rad/s	-	変速機構 出力軸回転数
trq_TM_PNT_FW_Nm	Nm	-	フライホイールへのトルク
trq_DS_PNT_out_Nm	Nm	-	タイヤへのトルク
Qf_SD_PNT_W	W	-	発進デバイス 熱流量
Qf_GB_PNT_W	W	-	変速機構 熱流量
Qf_DF_PNT_W	W	-	終減速機 熱流量
w_TM_PNT_OP_radps	rad/s	-	オイルポンプへの回転数

Simulink 上での FMU 接続例を Figure 80 に示す。

手順1：TRAMI_L3_STEP_AT.Utilities パッケージをダブルクリックする

手順2：テキストビューを表示する

手順3：テキストビュー115行目～151行目、通常の3Dテーブル処理のコメントアウトを解除する。

(Figure 82 参照、CombiTable3D の前後の “/*” と “*/” を削除する)

手順4：テキストビュー153行目～236行目、高速化3Dテーブル処理をコメントアウトする。

(Figure 83 参照、CombiTable3D の前後に “/*” と “*/” を付与する)

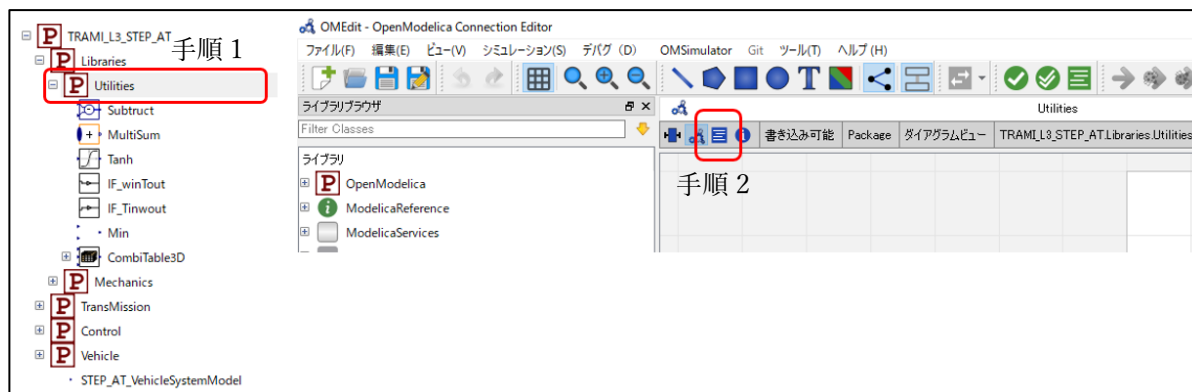


Figure 81 CombiTable3D 変更手順 1～2

変更前	変更後
<pre> 100 equation 101 connect(switch1.y, y) annotation(102 connect(u2, switch1.u3) annotation(103 connect(u1, switch1.u1) annotation(104 connect(lessEqual1.y, switch1.u2) annot 105 connect(u2, lessEqual1.u2) annotation(106 connect(u1, lessEqual1.u1) annotation(107 end Min; 108 /* model CombiTable3D 109 parameter String filename; 110 constant String currDir = Modelic 111 parameter Real z_ax[:] = {10, 20, 112 113 114 115 116 117 118 119 120 121 122 123 124 125 126 127 128 129 130 131 132 133 134 135 136 137 138 139 140 141 142 143 144 145 146 147 148 149 Diagram(coordinatesSystem(150 uses(Modelica(version = "3.2.3") 151 end CombiTable3D; 152 153 model CombiTable3D 154 Modelica.Blocks.Interfaces.RealInput u 155 Modelica.Blocks.Interfaces.RealInput u1 156 Modelica.Blocks.Interfaces.RealInput u2 157 Modelica.Blocks.Interfaces.RealOutput y </pre>	<pre> 100 equation 101 connect(switch1.y, y) annotation(102 connect(u2, switch1.u3) annotation(103 connect(u1, switch1.u1) annotation(104 connect(lessEqual1.y, switch1.u2) annot 105 connect(u2, lessEqual1.u2) annotation(106 connect(u1, lessEqual1.u1) annotation(107 end Min; 108 model CombiTable3D 109 parameter String filename; 110 constant String currDir = Modelic 111 parameter Real z_ax[:] = {10, 20, 112 113 114 115 116 117 118 119 120 121 122 123 124 125 126 127 128 129 130 131 132 133 134 135 136 137 138 139 140 141 142 143 144 145 146 147 148 149 Diagram(coordinatesSystem(150 uses(Modelica(version = "3.2.3") 151 end CombiTable3D; 152 153 model CombiTable3D 154 Modelica.Blocks.Interfaces.RealInput u 155 Modelica.Blocks.Interfaces.RealInput u1 156 Modelica.Blocks.Interfaces.RealInput u2 157 Modelica.Blocks.Interfaces.RealOutput y </pre>

Figure 82 CombiTable3D 変更手順 3

```

149 |         Diagram(coordinateSystem(initial
150 |             uses(Modelica(version = "3.2.3")
151 |                 end CombiTable3D;
152 |
153 |         model CombiTable3D
154 |             Modelica.Blocks.Interfaces.RealInput u a
155 |             Modelica.Blocks.Interfaces.RealInput u1
156 |             Modelica.Blocks.Interfaces.RealInput u2
157 |             Modelica.Blocks.Interfaces.RealOutput y
158 |
159 |             ..
160 |
161 |             protected
162 |                 parameter Boolean tableOnFile = true "= t
163 |                 parameter Real table[:, :] = fill(0.0, 0,
164 |                 parameter ExternalCombiTable3D tableID = 1
165 |                 "NoName" and not Modelica.Utilities.Strings.i
166 |                 extrapolation, if tableOnFile then verboseRea
167 |                 equation
168 |                     y = CombiTable3D_getValue(tableID, u, u1,
169 |                     annotation(
170 |                         end CombiTable3D;
171 |                 end Utilities;

```

```

149 |         Diagram(coordinateSystem(initial
150 |             uses(Modelica(version = "3.2.3")
151 |             end CombiTable3D;
152 |
153 |         /* model CombiTable3D
154 |         Modelica.Blocks.Interfaces.RealInput u a
155 |         Modelica.Blocks.Interfaces.RealInput u1
156 |         Modelica.Blocks.Interfaces.RealInput u2
157 |         Modelica.Blocks.Interfaces.RealOutput y
158 |
159 |         ..
160 |
161 |         protected
162 |         parameter Boolean tableOnFile = true "= tr
163 |         parameter Real table[:, :] = fill(0.0, 0,
164 |         parameter ExternalCombiTable3D tableID = F
165 |         "NoName" and not Modelica.Utilities.Strings.is
166 |         extrapolation, if tableOnFile then verboseReac
167 |         equation
168 |         y = CombiTable3D_getValue(tableID, u, u1,
169 |         annotation(
170 |         end CombiTable3D; */
171 |     end Utilities;

```

※処理内容を変更しているため、モデル上で部品を入れ替える必要は無い。

5. OpenModelica モデルを用いた解析事例

提供した OpenModelica モデルを使用して、第3階層ステップ AT で使用している部品が車両特性に及ぼす影響を解析する事例を示す。例として、WLTC モード走行においてシールリング損失 50%低減した場合のトランスミッションオイル温度低減効果をシミュレーション解析する場合について手順を示す。

5.1. 現状把握

現状の性能を確認するためにまずは変更を加えない状態でモデルの計算シミュレーションを実行する。シミュレーション実行手順等は 2.2 を参考にすること。トランスミッションオイル温度は thermalModelAll-ToutOil

で確認できる。今回の WLTC モード走行後の最終値は 330.32K であった。

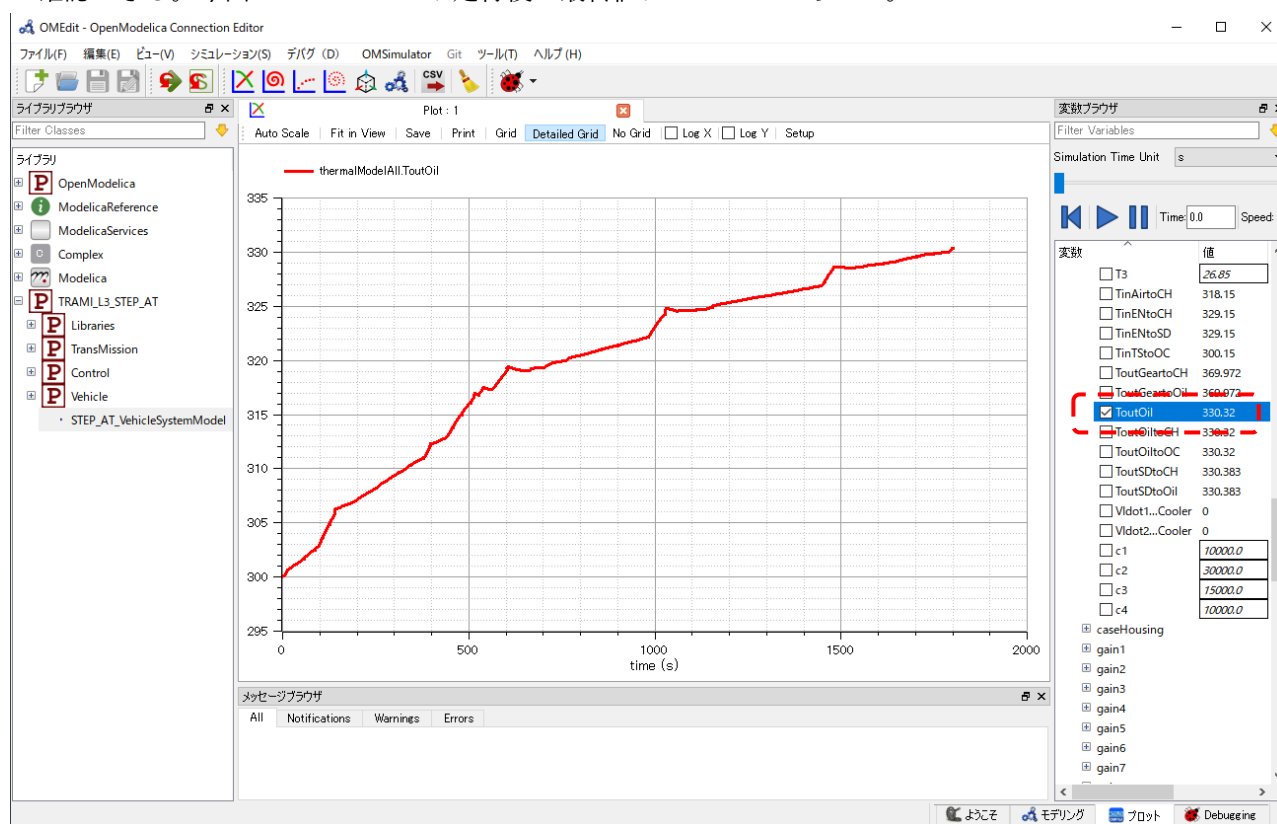


Figure 84 シールリング変更前のトランスミッション温度推移

損失低減モデルとの結果を比較するため、今回のシミュレーション結果を別のファイル名で保存しておく。結果の保存先フォルダ(Figure 12 結果ファイルの保存場所設定 参照)に保存されている.mat ファイルを別のファイル名で保存する。シミュレーション結果ファイル名は設定やモデル名変更等をしていなければ「TRAMI_L3_STEP_AT.STEP_AT_VehicleSystemModel_res.mat」というファイル名で保存されている。今回は、上記ファイルをコピーして「TRAMI_L3_STEP_AT_result1.mat」というファイル名で保存した。例を Figure 85 に示す。

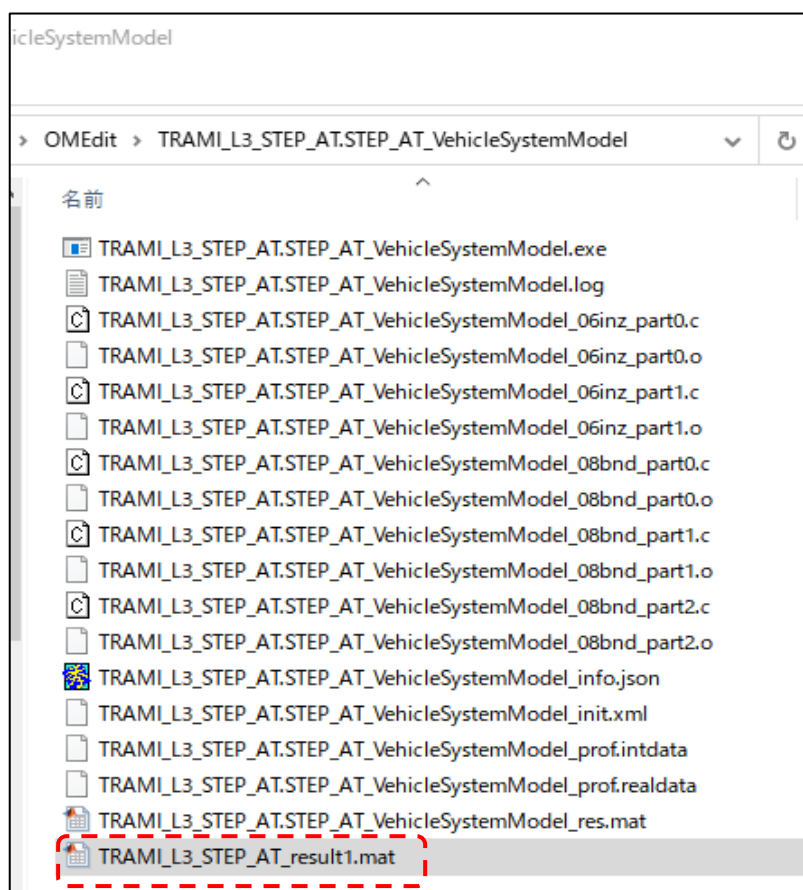


Figure 85 変更前のシミュレーション結果の保存

5.2. 損失低減モデルの作成

シールリング損失 50%低減したモデルを用意する。第3階層ステップ AT の各要素部品の損失はテキストデータでマップ定義しているため、テキストデータのマップ値を書き換えることにより損失低減モデルを作成可能である。今回は損失 50%低減した例であるため、テキストデータの損失トルク値を半減させる。シールリング SR1-1 の損失マップは SR1_1.txt で定義されており、変更例を以下に示す。

変更前

SR1_1.txt - メモ帳								
ファイル(F) 編集(E) 書式(O) 表示(V) ヘルプ(H)								
#1								
#Temperature	20	40	60	80	90	100	degreeC	
#OilViscosity	39.4	18	9.7	6.0	5.1	4.1	E-06m ² /s	
#								
double tab1(3,6) # 1st column : Angular Velocity [rpm], 1st row : Oil Pressure [kPa]								
0	-2001	-2000	0	2000	2001			
-7000	0.2	0.2	0	0.2	0.2			
7000	0.2	0.2	0	0.2	0.2			



変更後

SR1_1.txt - メモ帳								
ファイル(F) 編集(E) 書式(O) 表示(V) ヘルプ(H)								
#1								
#Temperature	20	40	60	80	90	100	degreeC	
#OilViscosity	39.4	18	9.7	6.0	5.1	4.1	E-06m ² /s	
#								
double tab1(3,6) # 1st column : Angular Velocity [rpm], 1st row : Oil Pressure [kPa]								
0	-2001	-2000	0	2000	2001			
-7000	0.1	0.1	0	0.1	0.1			
7000	0.1	0.1	0	0.1	0.1			

Figure 86 損失マップ変更例

低減を想定するシールリングの損失マップに対しても同様にテキストデータの変更を実施する。今回は全てのシールリング(SR1-1～SR4-2)に対して適用した。テキストデータの変更後、再度シミュレーションを実行する。

5.3. 損失低減効果の確認

シミュレーション終了後、トランスミッションオイル温度の結果を表示させる。(5.1 で出力結果を削除していなければ既に損失低減モデルを用いた場合のトランスミッションオイル温度の結果が表示されている。) WLTC モード走行後の最終値は 329.73K であった。

効果を比較するために変更前の結果と重ねて表示させる。まず、変更前のシミュレーション結果を読み込む。画面上部左の「ファイル」→「結果ファイルを開く」を選択し、5.1 で保存した mat ファイルを選択する。

読み込みが完了した画面を Figure 88 に示す。画面右の変数ブラウザに読み込んだシミュレーション結果が追加されていることを確認する。

読み込んだシミュレーション結果から同様にトランスミッションオイル温度の変数を表示させると、Figure 89 のように青線で同じグラフ上に追加される。これにより損失低減モデルの使用前後におけるトランスミッションオイル温度への影響を比較確認することができる。

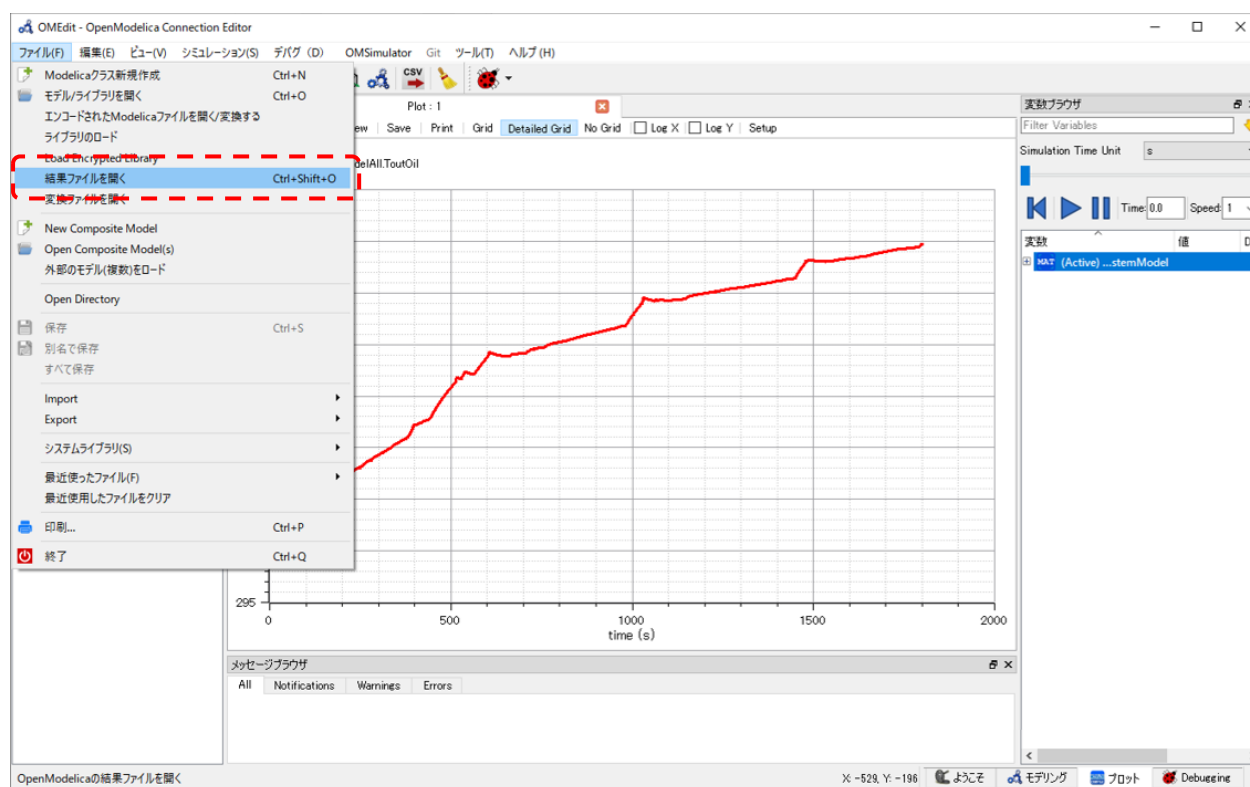


Figure 87 結果ファイルを開く

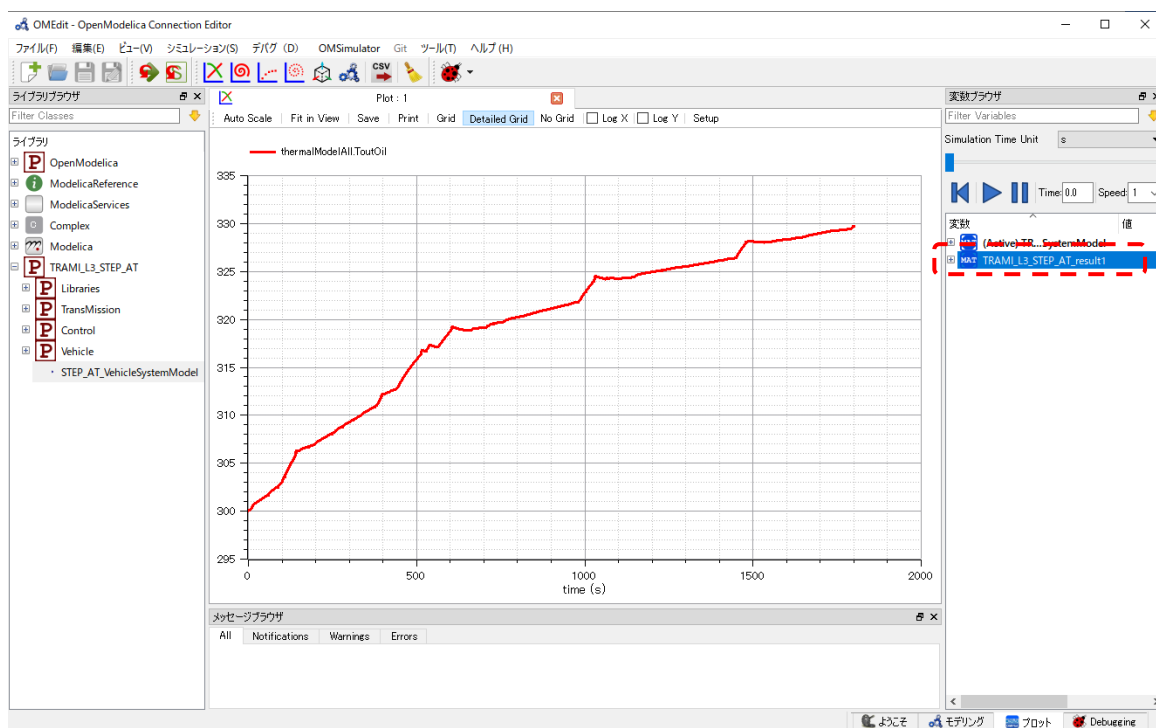


Figure 88 結果ファイルの読み込み完了画面

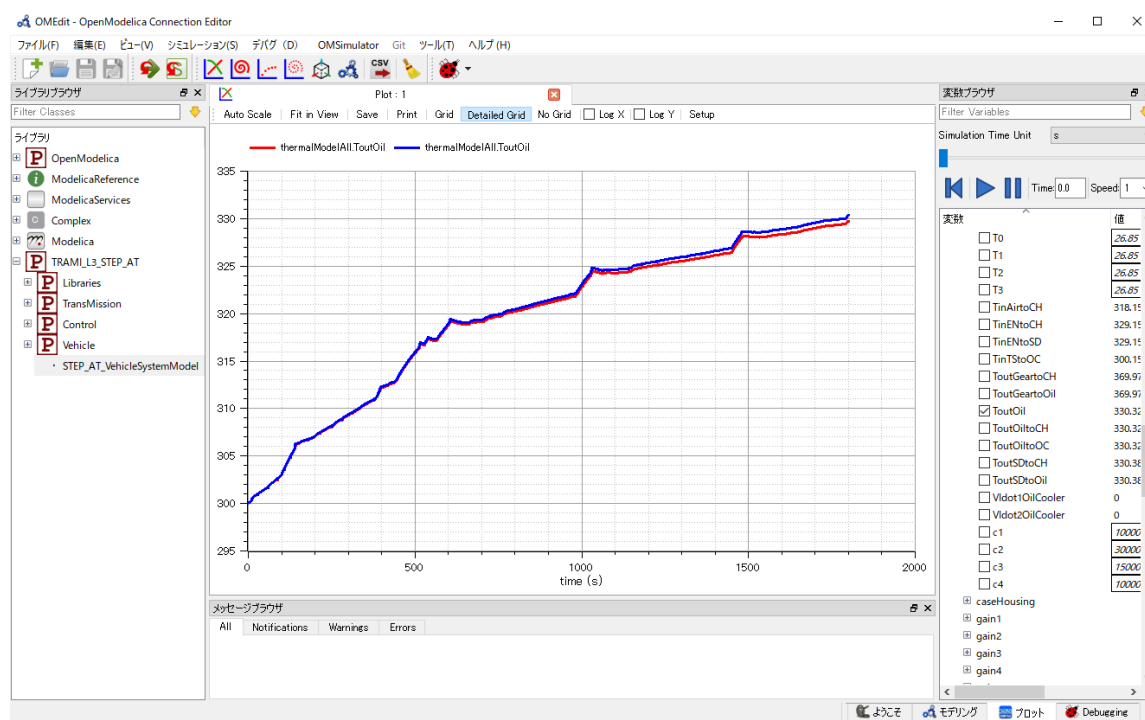


Figure 89 損失低減モデル使用前後の比較（青：変更前 赤：損失低減後）

なお、今回は出力結果ファイル形式を mat ファイルとした場合の説明であったが、2.2.4 や 2.2.5 に示したように CSV 形式にて結果出力可能であるため、損失低減モデルの使用前後で CSV 出力し、エクセルグラフ上で同様の解析が実施可能である。

6. 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(ver.2.0)”

出展元：<https://epc.or.jp/wp-content/uploads/2019/03/IFguidelinever2.0.pdf>

[2] “動力伝達システムにおけるプラントモデル I/F ガイドライン”

出展元：https://epc.or.jp/wp-content/uploads/2019/03/TRAMI_IFguideline_ver.1.0.1.pdf

[3] “動力伝達システムにおけるプラントモデル I/F ガイドライン準拠モデル解説書(ver.1.0)”

出展元：https://epc.or.jp/wp-content/uploads/2019/03/TRAMI_IFguideline_manual_ver.1.0.1.pdf