



モータードライブシステムにおける プラントモデルI/Fガイドライン

(ver. 1.0)

目次

1. 本ガイドラインの位置づけ	2
1.1. ガイドラインの位置づけ.....	2
1.2. モデルの階層について.....	2
1.3. モータードライブシステムにおけるサブシステムI/F定義書について.....	2
1.3.1. I/Fの種類.....	2
1.3.2. サブシステムI/F定義書の書式.....	3
1.3.3. 記入方法.....	4
2. モータードライブシステムの第2階層モデルについて.....	6
2.1. ガイドライン適用事例.....	6
2.1.1. 時間軸・過渡軸のユースケースの概要.....	6
2.1.2. 時間軸・過渡軸の全体アーキテクチャ.....	7
2.1.3. 時間軸・過渡軸の深堀事例.....	8
2.2. 第2階層サブシステム定義書.....	9
2.2.1. モータードライブシステムモデル.....	9

1. 本ガイドラインの位置づけ

1.1. ガイドラインの位置づけ

本ガイドラインは、経済産業省が令和2年3月に公開した「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. 3.0)」(以下「METIガイドライン」)にもとづき、株式会社デジタルツインズ(DTWs)が担当するモータードライブシステムのプラントモデルI/Fについて定義したものである。

時間軸・過渡軸の検討を行う為に、時間粒度の短い周期で制御が必要となるモータードライブシステムを例に挙げた。モータードライブシステムはスイッチングやコントロールする電流も大きいことからノイズ源となりうる為、電磁場ノイズなどの解析を行う第3階層を視野に入れたI/Fを作成した。

1.2. モデルの階層について

モータードライブシステムの第2階層(サブシステムレベル)を対象とする。

準拠内容については、下記を参照。

「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. 3.0)」

https://epc.or.jp/wp-content/uploads/2020/03/IFguidelines_ver.3.0.pdf

- ・ガイドラインの位置づけ(目的)、ポイント・・・P. 2
- ・本書の用語・・・P. 6
- ・ガイドライン原則(前提、規定項目)・・・P. 7～P. 13

※表紙をP.1としたページ番号を記載している。

本ガイドラインでは、1.3.において、

- ・モデル化を行う際の
 - － I/Fとして使用する変数の区分における指針
 - － モデル定義の仕方
 - － 「サブシステムI/F定義書」の書き方

を説明する。

2.以降で、この考え方を使ったモデル化事例を「サブシステムI/F定義書」事例とともに示す。

1.3. モータードライブシステムにおけるサブシステムI/F定義書について

1.3.1. I/Fの種類

モデルのI/Fとして、サブシステムI/F定義書では表1に示す3つを定義する。

表1. I/Fの種類

	使用目的	スルー変数/ アクロス変数	例
プラントモデルI/F	プラント間のエネルギー授受を示す。	必ず対で用いる。 一方は入力変数で、他方は出力変数とする。	電流と電圧 トルクと回転速度 熱流量と温度
制御モデルI/F	ECU(Electronic Control Unit)などの制御システムとの授受を示す。	特に区別しない。スルー変数とアクロス変数を対で用いる必要はない。	三相交流電圧 スイッチング周波数 U相電流
外部情報I/F	サブシステム間で計算上必要な情報。	他の変数も認める。	スイッチング周波数

1.3.2. サブシステムI/F定義書の書式

使用する書式を図1に示す。
サブシステム名、モデル機能概要、入力、出力、エネルギーの向き、備考、履歴から構成される。入力、出力は、それぞれプラントモデル、制御モデル、外部情報I/Fを分けて記入する。

サブシステム名

モータードライブシステム

サブシステムI/F定義書 サブシステム名=インバータ

I/Fと機能を記載

モデル機能概要

制御 ECU

インバータ

モータージェネレータ

高圧充放電システム

パワエレ冷却システム

機能概要

プラントモデル非因果接続I/F

非因果接続

名称	物理領域	アクロス	スルー	説明
三相交流 U相	電気系	電圧[V]	電流[A]	モータージェネレータ側とのU相
三相交流 V相	電気系	電圧[V]	電流[A]	モータージェネレータ側とのV相
三相交流 W相	電気系	電圧[V]	電流[A]	モータージェネレータ側とのW相

プラントモデル入力I/F

入力

名称	単位	極性向き	説明
電圧V1	V	—	高圧充放電システム側の電圧
温度T1	K	—	パワエレ冷却システム側の温度

制御モデル入力I/F

制御モデルI/F

名称	単位	範囲	説明
三相交流電圧3φ1	V	—	制御モデルからの目標電圧
スイッチング周波	Hz	—	制御モデルからのスイッチング周波数

プラントモデル出力I/F

出力

名称	単位	極性向き	説明
電流I1	A	出力側が正	高圧充放電システム側への電流
熱流量φ1	W	出力側が正	パワエレ冷却システム側への熱流量

エネルギーの向き

エネルギーの向き

名称	エネルギー正の向き	説明
電気E1	モデルへの入力	高圧充放電システム側からの電気エネルギー
電気E2	モデルからの出力	モータージェネレータ側への電気エネルギー
熱E1	モデルからの出力	パワエレ冷却システム側への熱エネルギー

ガイドラインの原則と異なる場合の注記等を記載

備考

インバータとモータージェネレータ間の接続は収束や計算時間などの問題から因果接続より非因果接続を推奨する。

履歴

ver	内容	会社名	作成者	日付
01	初版	DTWs	辻 公壽	2021/2/28

図1. 書式と記入項目

1.3.3. 記入方法

■モデル機能概要

- ・原則、左側にソースモデル、中央に対象モデル、右側にシンクモデルを配置する。
接続されるサブシステムの数が多く、記載できない場合は反対側への記載も可とする。

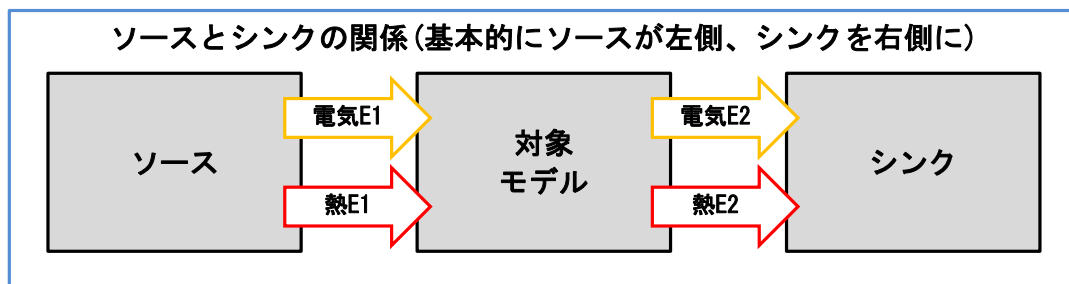


図2. 概要図内の配置

- ・ソース/シンクモデルはモデルを特定できる場合はその名称を、できない場合はソース/シンクとする。
- ・対象モデル内には、右側の機能概要と相関を持った項目を記入する。枠の色は、関連エネルギーと合わせる。
- ・機能概要は回転系、並進系、熱系、電気系に分け、“△△△を算出”などと記入する。

■プラントモデルI/F

名称	物理量の名称と量記号を記載し、各シート内で連番を付与する。
単位	第5原則に従い、SI単位系を用いる。べき数は上付き文字は使用せずに、“m2”と表記する。単位の区切りは“.”(ピリオド)と“/”(スラッシュ)を使用する。 例：“m2/s”、“Pa. s”
極性向き	エネルギーの向きに対する正負を記載する。スルー変数は図3に従って記載。アクロス変数は向き不要のため、“-”を記載する。
説明	スルー変数は、「(入力元側名)からの」、または「(出力先側名)への」物理量の名称を記載する。 アクロス変数は、「(入力元側名)の」、または「(出力先側名)の」物理量の名称を記載する。

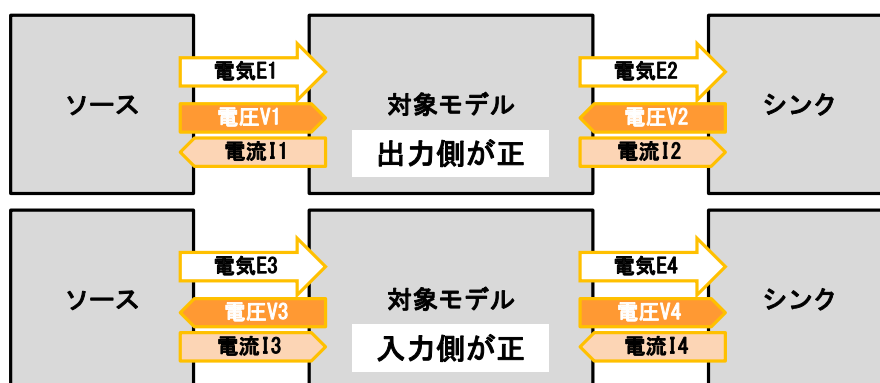


図3. 変数の極性向き

■制御モデルI/F、外部情報I/F

名称	物理量の名称と量記号を記載し、各シート内で連番を付与する。
単位	第5原則に従い、SI単位系を用いる。べき数は上付き文字は使用せずに、“m2”と表記する。 単位の区切りは“.”(ピリオド)と“/”(スラッシュ)を使用する。 例：“m2/s”、“Pa. s”
範囲	値のとり範囲を記入する。
説明	物理量等の内容を記入する。

記入例

名称	単位	範囲	説明
三相交流電圧3φ1	V	—	制御モデルからの目標電圧
スイッチング周波数f1	Hz	—	制御モデルからのスイッチング周波数
U相電流Ui1	A	—	制御モデルへのU相電流

■エネルギーの向き

名称	エネルギーの名称と量記号を記載し、各シート内で連番を付与する。
エネルギー正の向き	入力エネルギーは「モデルへの入力」、出力エネルギーは「モデルからの出力」と記載する。
説明	ソース名やシンク名、物理量の説明等を記入する。 記入例 入力：インバータモデルからの電気エネルギー 出力：パワエレ冷却システムへの熱エネルギー

2. モータードライブシステムの第2階層モデルについて

第2階層では、サブシステムのレベルでモデルを構築する。本ガイドラインでは、モータードライブシステムのサブシステムとして以下を定義した。

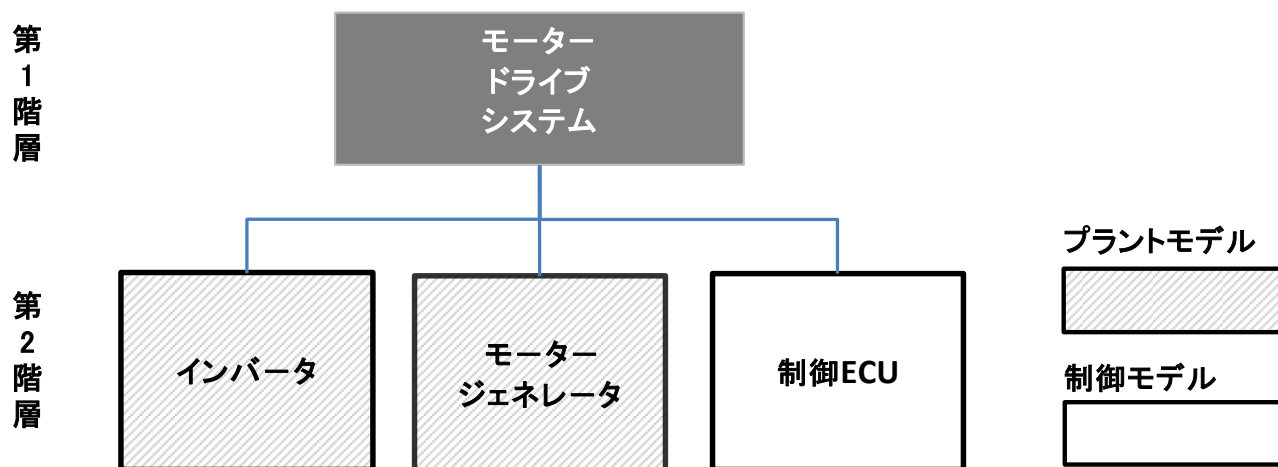


図4. 第2階層(サブシステム)の事例

2.1. ガイドライン適用事例

2.1.1. 時間軸・過度軸のユースケースの概要

時間軸・過度軸粒度の第2階層のイメージをモータードライブシステムを例に示す。第1階層で扱うものは静的な或いは平均的な時間軸での解析に留まっていたが、ここでは第2階層の時間軸・過度軸での深掘りを行いたいのので、インバータの中IGBTなどの素子のスイッチング制御（第3階層以降で検討）を行うことを想定して、モータードライブシステムの挙動を示した。

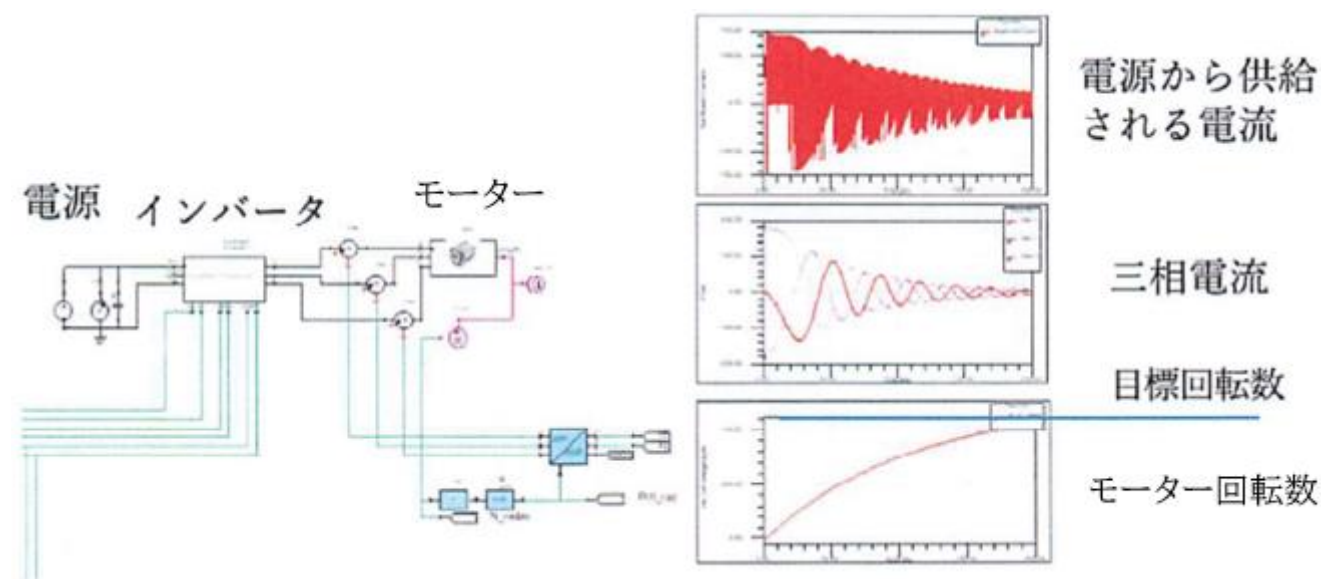


図5. 時間軸・過度軸の第2階層のイメージ

2.1.2. 時間軸・過度軸の全体アーキテクチャ

電気自動車のモーター駆動制御の検討を行う上での事例を示した下記アーキテクチャの破線内について深堀を行った。詳細については次頁以降に記す。今回はインバータ、モーターを軸としたEVの電動主機に関わる部分をモデル化する。このモデルの過度的な電圧電流の情報を活用して、電磁場ノイズなどの解析の第3階層につなぐ事が可能となる。

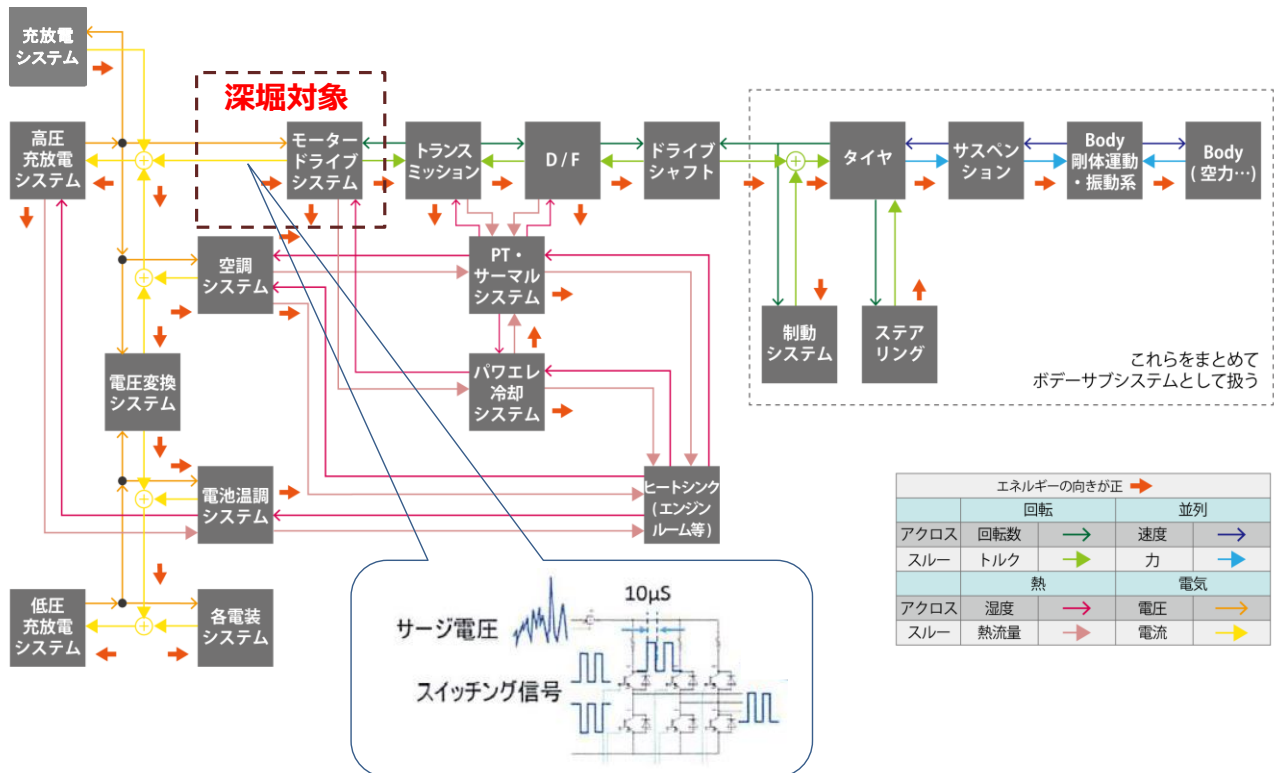


図6. ガイドライン事例

2.1.3. 時間軸・過渡軸の深堀事例

全体としてのエネルギーフローは、エネルギーを生成する高圧充電システムをソースとし、電気エネルギーを消費する部品をシンクとする。

モータードライブシステムは、インバータとモーター間のI/Fを三相交流（UVW相）にすることにより、時間軸・過渡軸の深堀が可能となる。

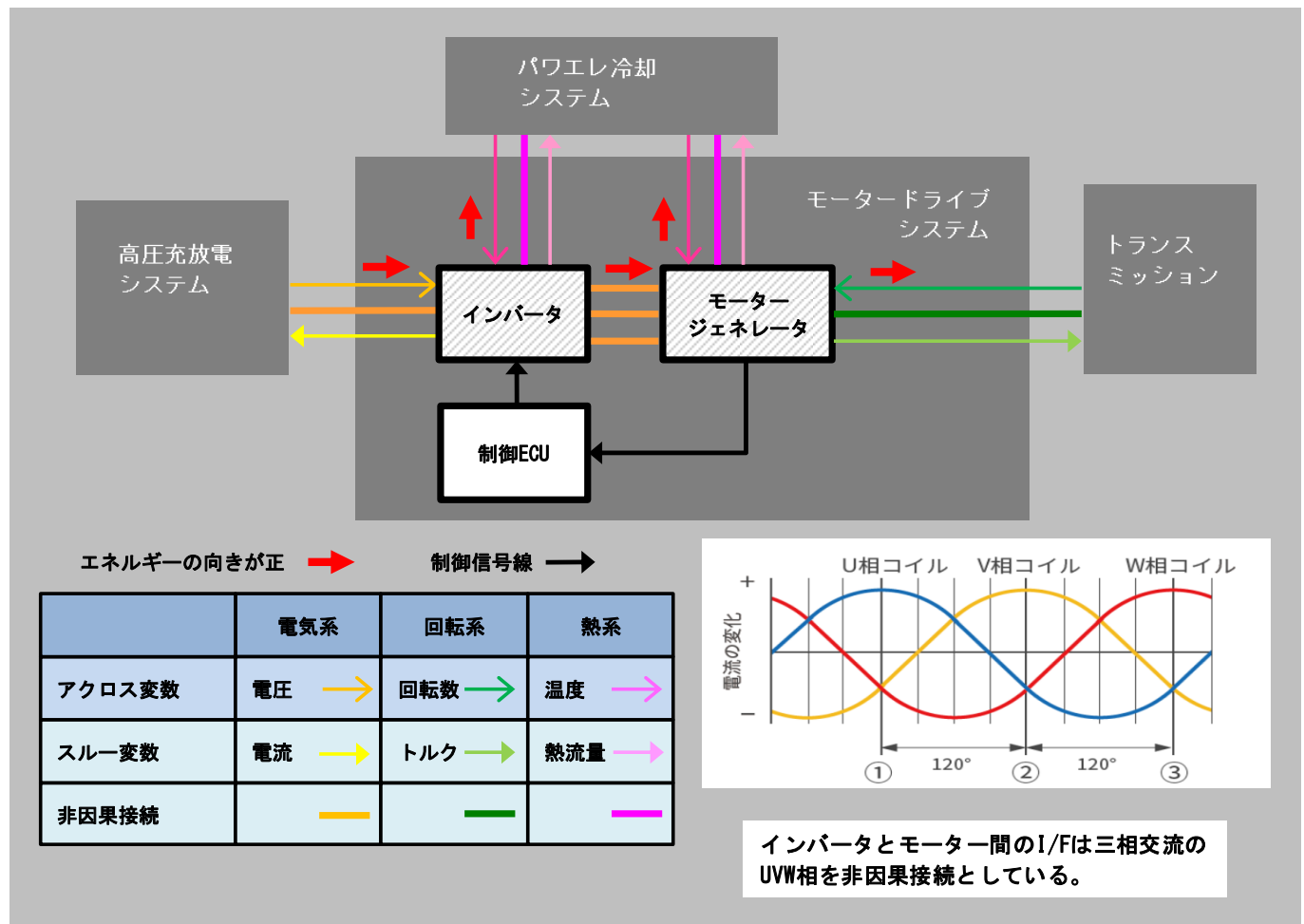


図7. 時間軸、過渡軸の深堀事例

時間軸・過渡軸での深堀部分は定常損失、スイッチング損失を想定し、それぞれの損失演算のために電気系のI/Fは三相交流（UVW相）とする。

定常損失、スイッチング損失は、インバータ素子の特性データを元に算出し、第3階層以降で検討できるように、U相、V相、W相で個別に設定する。

三相交流（UVW相）で繋ぐことにより時間粒度は、機能軸にて数十ms程度で十分であったが、時間軸・過渡軸は三相ベクトル制御や各素子の違いにおける損失・効率の算出などを行う目的で設定され、数十μsオーダーの精度が必要となる。それを踏まえたシミュレーションを行う為には、収束問題や計算時間などの問題から、インバータとモータージェネレータ間は因果的な接続よりも非因果的な接続の方が適している。

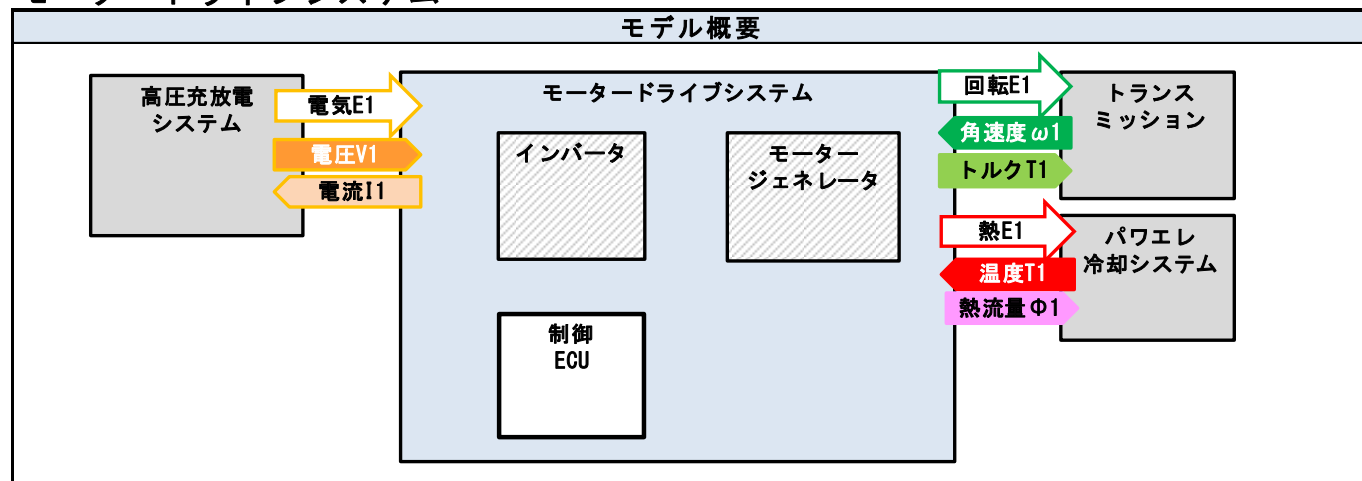
モーターベンチを想定した、エネルギー負荷のシミュレーションを推奨する。

2. 2. 第2階層サブシステム定義書

各システムモデルのサブシステム定義書を以降に記す。

2. 2. 1. モータードライブシステムモデル

モータードライブシステム



入力			
プラントモデルI/F			
名称	単位	極性向き	説明
電圧V1	V	—	高圧充放電システム側の電圧
角速度 $\omega 1$	rad/s	—	トランスミッション側の角速度
温度T1	K	—	パワエレ冷却システム側の温度

出力			
プラントモデルI/F			
名称	単位	極性向き	説明
電流I1	A	出力側が正	高圧充放電システム側への電流
トルクT1	Nm	出力側が正	トランスミッション側へのトルク
熱流量 $\Phi 1$	W	出力側が正	パワエレ冷却システム側への熱流量

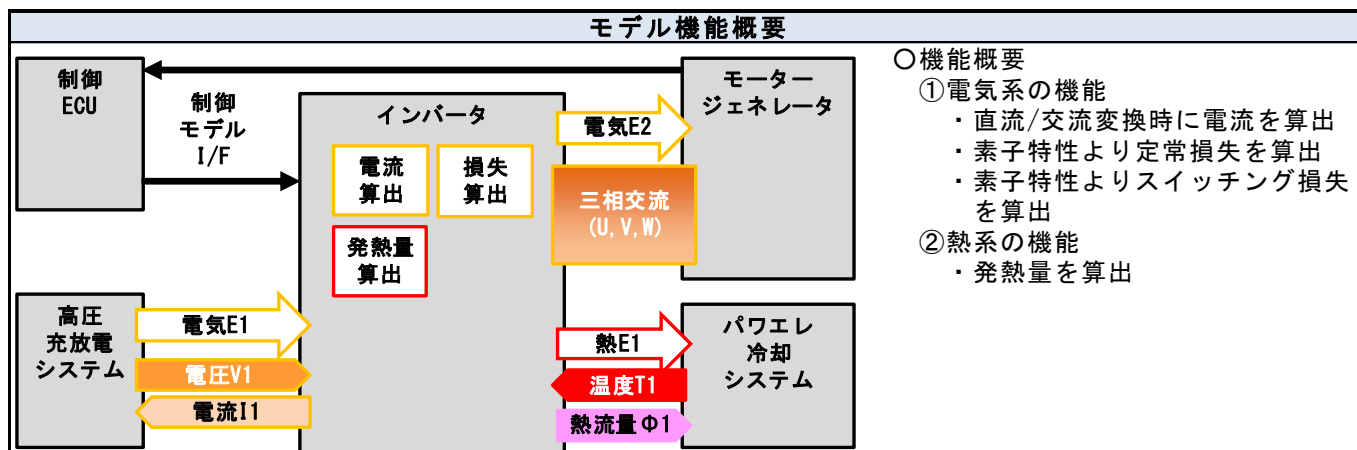
エネルギーの向き		
名称	エネルギー正の向き	説明
電気E1	モデルへの入力	高圧充放電システム側からの電気エネルギー
回転E1	モデルからの出力	トランスミッション側への回転エネルギー
熱E1	モデルからの出力	パワエレ冷却システム側への熱エネルギー

備考

ver	内容	会社名	作成者	日付
01	初版	DTWs	辻 公壽	2021/2/28

モータードライブシステム

サブシステムI/F定義書	サブシステム名=インバータ
--------------	---------------



非因果接続					
プラントモデルI/F					
名称	物理領域	アクロス	スルー	説明	
三相交流 U相	電気系	電圧[V]	電流[A]	モータージェネレータ側とのU相	
三相交流 V相	電気系	電圧[V]	電流[A]	モータージェネレータ側とのV相	
三相交流 W相	電気系	電圧[V]	電流[A]	モータージェネレータ側とのW相	

入力			
プラントモデルI/F			
名称	単位	極性向き	説明
電圧V1	V	—	高圧充放電システム側の電圧
温度T1	K	—	パワエレ冷却システム側の温度
制御モデルI/F			
名称	単位	範囲	説明
三相交流電圧3φ1	V	—	制御モデルからの目標電圧
スイッチング周波数f1	Hz	—	制御モデルからのスイッチング周波数

出力			
プラントモデルI/F			
名称	単位	極性向き	説明
電流I1	A	出力側が正	高圧充放電システム側への電流
熱流量Φ1	W	出力側が正	パワエレ冷却システム側への熱流量

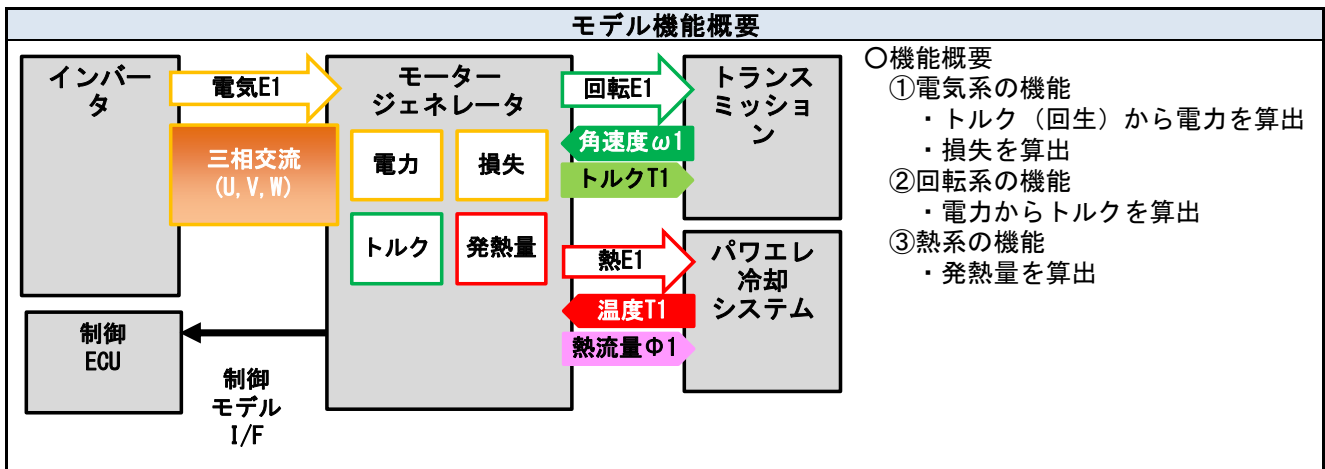
エネルギーの向き		
名称	エネルギー正の向き	説明
電気E1	モデルへの入力	高圧充放電システム側からの電気エネルギー
電気E2	モデルからの出力	モータージェネレータ側への電気エネルギー
熱E1	モデルからの出力	パワエレ冷却システム側への熱エネルギー

備考
インバータとモータージェネレータ間の接続は収束や計算時間などの問題から因果接続より非因果接続を推奨する。

ver	内容	会社名	作成者	日付
01	初版	DTWs	辻 公壽	2021/2/28

モータードライブシステム

サブシステムI/F定義書	サブシステム名=モータージェネレータ
--------------	--------------------



非因果接続				
プラントモデルI/F				
名称	物理領域	アクロス	スルー	説明
三相交流 U相	電気系	電圧 [V]	電流 [A]	インバータ側とのU相
三相交流 V相	電気系	電圧 [V]	電流 [A]	インバータ側とのV相
三相交流 W相	電気系	電圧 [V]	電流 [A]	インバータ側とのW相

入力			
プラントモデルI/F			
名称	単位	極性向き	説明
角速度 ω_1	rad/s	—	トランスミッション側の角速度
温度T1	K	—	パワエレ冷却システム側の温度
外部情報I/F			
名称	単位	範囲	説明
スイッチング周波数f1	Hz	—	制御モデルからのスイッチング周波数

出力			
プラントモデルI/F			
名称	単位	極性向き	説明
トルクT1	Nm	出力側が正	トランスミッション側へのトルク
熱流量 Φ_1	W	出力側が正	パワエレ冷却システム側への熱流量
制御モデルI/F			
名称	単位	範囲	説明
U相電流Ui1	A	—	制御ECUへのU相電流のセンサ値
V相電流Vi1	A	—	制御ECUへのV相電流のセンサ値
W相電流Wi1	A	—	制御ECUへのW相電流のセンサ値

エネルギーの向き		
名称	エネルギー正の向き	説明
電気E1	モデルへの入力	インバータ側からの電気エネルギー
回転E1	モデルからの出力	トランスミッション側への回転エネルギー
熱E1	モデルからの出力	パワエレ冷却システム側への熱エネルギー

備考
インバータとモータージェネレータ間の接続は収束や計算時間などの問題から因果接続より非因果接続を推奨する。

ver	内容	会社名	作成者	日付
01	初版	DTWs	辻 公壽	2021/2/28