(12) 特許協力条約に基づいて公開された国際出願

(19) 世界知的所有権機関
国際事務局

(43) 国際公開日
2019年4月4日(04.04.2019)

WIPO | PCT

(10) 国際公開番号
WO 2019/064832 A1

(51) 国際特許分類:
B60L 15/20 (2006.01) *G06F 19/00* (2018.01)

(21) 国際出願番号： PCT/JP2018/026643

(22) 国際出願日： 2018年7月17日(17.07.2018)

(25) 国際出願の言語： 日本語

(26) 国際公開の言語： 日本語

(30) 優先権データ：
特願 2017-191939 2017年9月29日(29.09.2017) JP

(71) 出願人: 日立オートモティブシステムズ株式会社(**HITACHI AUTOMOTIVE SYSTEMS, LTD.**) [JP/JP]; 〒3128503 茨城県ひたちなか市高場２５２０番地 Ibaraki (JP).

(72) 発明者: 山崎 勝 (**YAMASAKI Masaru**); 〒1008280 東京都千代田区丸の内一丁目６番６号 株式会社日立製作所内 Tokyo (JP). 宮崎 泰三 (**MIYAZAKI Taizou**); 〒1008280 東京都千代田区丸の内一丁目６番６号 株式会社日立製作所内 Tokyo (JP).

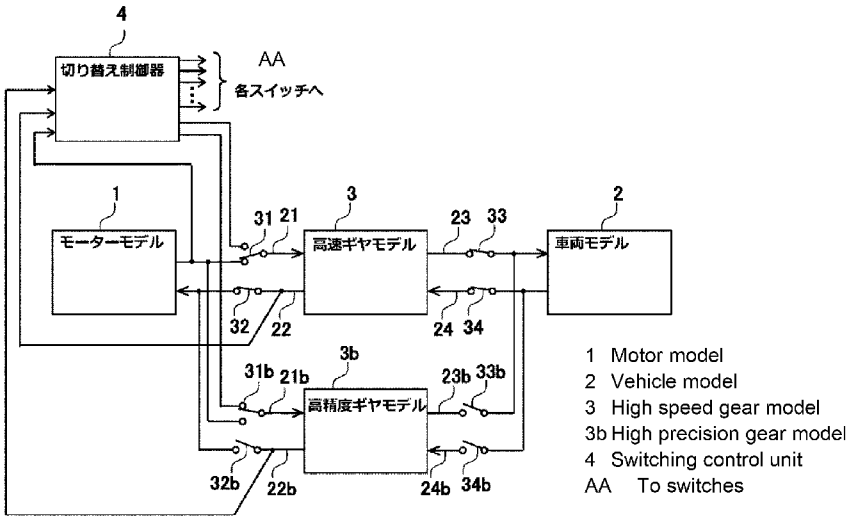
(74) 代理人: 戸田 裕二 (**TODA Yuji**); 〒1008220 東京都千代田区丸の内一丁目６番１号 株式会社日立製作所内 Tokyo (JP).

(81) 指定国(表示のない限り、全ての種類の国内保護が可能): AE, AG, AL, AM, AO, AT, AU, AZ, BA, BB, BG, BH, BN, BR, BW, BY, BZ, CA, CH, CL, CN, CO, CR, CU, CZ, DE, DJ, DK, DM, DO, DZ, EC, EE, EG, ES, FI, GB, GD, GE, GH, GM, GT,

(54) **Title:** SIMULATION METHOD

(54) 発明の名称： シミュレーション方法

【図1】



(57) **Abstract:** Provided is a simulation method with high system development efficiency. In the present invention, a simulator causes a computer to function as a motor model 1 that models a motor, a vehicle model 2 that models a vehicle, and a high speed gear model 3 and a high precision gear model 3b that model individual gears. A switching control unit 4 inputs axle rotation speeds 24, 24b to the high speed gear model 3 and the high precision gear model 3b respectively, and compares a rotor rotation speed 22b outputted from the high precision gear model 3b with a rotor rotation speed 22

WO 2019/064832 A1

[続葉有]

HN, HR, HU, ID, IL, IN, IR, IS, JO, KE, KG, KH, KN, KP, KR, KW, KZ, LA, LC, LK, LR, LS, LU, LY, MA, MD, ME, MG, MK, MN, MW, MX, MY, MZ, NA, NG, NI, NO, NZ, OM, PA, PE, PG, PH, PL, PT, QA, RO, RS, RU, RW, SA, SC, SD, SE, SG, SK, SL, SM, ST, SV, SY, TH, TJ, TM, TN, TR, TT, TZ, UA, UG, US, UZ, VC, VN, ZA, ZM, ZW.

(84) 指定国(表示のない限り、全ての種類の広域保護が可能): ARIPO (BW, GH, GM, KE, LR, LS, MW, MZ, NA, RW, SD, SL, ST, SZ, TZ, UG, ZM, ZW), ユーラシア (AM, AZ, BY, KG, KZ, RU, TJ, TM), ヨーロッパ (AL, AT, BE, BG, CH, CY, CZ, DE, DK, EE, ES, FI, FR, GB, GR, HR, HU, IE, IS, IT, LT, LU, LV, MC, MK, MT, NL, NO, PL, PT, RO, RS, SE, SI, SK, SM, TR), OAPI (BF, BJ, CF, CG, CI, CM, GA, GN, GQ, GW, KM, ML, MR, NE, SN, TD, TG).

添付公開書類:

— 国際調査報告 (条約第21条(3))

outputted from the high speed gear model 3. When the comparison results satisfy a prescribed standard, the switching control unit connects the motor model 1 and the vehicle model 2 to the high precision gear model 3b, and separates the motor model 1 and the vehicle model 2 from the high speed gear model 3, thereby switching from a first mode to a second mode.

(57) 要約:システム開発効率の高いシミュレーション方法を提供する。シミュレーターでは、コンピューターを、モーターをモデル化したモーターモデル１と、車両をモデル化した車両モデル２と、ギヤをそれぞれモデル化した高速ギヤモデル３および高精度ギヤモデル３ｂと、としてそれぞれ機能させる。切り替え制御器４は、車軸回転速度２４、２４ｂを、高速ギヤモデル３および高精度ギヤモデル３ｂにそれぞれ入力し、高精度ギヤモデル３ｂから出力されるローター回転速度２２ｂと、高速ギヤモデル３から出力されるローター回転速度２２との比較を行い、その比較の結果が所定の基準を満たしたときに、モーターモデル１および車両モデル２と高精度ギヤモデル３ｂとを接続すると共に、モーターモデル１および車両モデル２と高速ギヤモデル３とを切り離すことで、第１モードから第２モードへの切り替えを実施する。

明　細　書

発明の名称 ： シミュレーション方法

技術分野

[0001] 本発明は、コンピューターを用いたシミュレーション方法に関する。

背景技術

[0002] 本技術分野の背景技術として、下記特許文献１が知られている。特許文献１に記載の技術では、モデル選択部が、条件入力部から設定された選択条件に基づいて、シミュレーションモデルを選択し、当該シミュレーションモデルをモデルデータベースから読み出す。シミュレーション計算部が、この読み出されたシミュレーションモデルを用い、条件入力部に設定された初期状態及びシミュレーション条件に基づいて、シミュレーション計算を行う。これにより、モデルの選択条件に基づいて、詳細度の異なる各シミュレーションモデルを切り替えてシミュレーション計算を行う。例えば、重要な部分は詳細度の高いモデルを使って高い精度のシミュレーションを行い、あまり重要でない部分は詳細度の低いモデルを使って短時間でシミュレーションを行う。

先行技術文献

特許文献

[0003] 特許文献1：特開２００２－２５９８８８号公報

発明の概要

発明が解決しようとする課題

[0004] 特許文献１には、計算途中にシミュレーションモデルを切り替える際の手法が記載されている。しかしながら、特許文献１の切り替え手法では、シミュレーションに用いられる変数値を切り替えの前後で変換するためのプログラムを別途作成する必要がある。このプログラムの作成には、未知の変数値を推定する必要があるなどの理由から、時間がかかることがある。そのため、シミュレーター作成から計算結果の評価までのシミュレーション全体の時

間を長大化させてしまい、結果として、シミュレーションを利用したシステム開発効率が低下する場合がある。

課題を解決するための手段

[0005] 本発明によるシミュレーション方法は、コンピューターを用いてシミュレーション対象に関する計算を行うものであって、前記シミュレーション対象は、第１要素および第２要素と、前記第１要素と前記第２要素の間に介在する中間要素と、を含み、前記コンピューターを、前記第１要素をモデル化した第１モデルと、前記第２要素をモデル化した第２モデルと、前記中間要素をそれぞれモデル化した第１中間モデルおよび第２中間モデルと、としてそれぞれ機能させ、前記第１モデルと前記第２モデルが前記第１中間モデルを介して情報を送受信する第１モードと、前記第１モデルと前記第２モデルが前記第２中間モデルを介して情報を送受信する第２モードと、のいずれかにより、前記コンピューターに前記計算を実行させ、前記第１モードでは、前記第１モデルから出力される第１パラメーターを前記第１中間モデルに入力し、入力された前記第１パラメーターに応じて前記第１中間モデルから出力される第２パラメーターを前記第２モデルに入力すると共に、前記第２モデルから出力される第３パラメーターを前記第１中間モデルに入力し、入力された前記第３パラメーターに応じて前記第１中間モデルから出力される第４パラメーターを前記第１モデルに入力するように、前記コンピューターを動作させ、前記第２モードでは、前記第１モデルから出力される第１パラメーターを前記第２中間モデルに入力し、入力された前記第１パラメーターに応じて前記第２中間モデルから出力される第２パラメーターを前記第２モデルに入力すると共に、前記第２モデルから出力される第３パラメーターを前記第２中間モデルに入力し、入力された前記第３パラメーターに応じて前記第２中間モデルから出力される第４パラメーターを前記第１モデルに入力するように、前記コンピューターを動作させ、前記第１モードから前記第２モードに切り替える際に、前記第１パラメーターまたは前記第３パラメーターを、前記第１中間モデルおよび前記第２中間モデルに入力し、入力された前記

第１パラメーターまたは前記第３パラメーターに応じて前記第２中間モデルから出力される前記第２パラメーターまたは前記第４パラメーターと、入力された前記第１パラメーターまたは前記第３パラメーターに応じて前記第１中間モデルから出力される前記第２パラメーターまたは前記第４パラメーターと、の比較を行い、前記比較の結果が所定の基準を満たしたときに、前記第１モデルおよび前記第２モデルと前記第２中間モデルとを接続すると共に、前記第１モデルおよび前記第２モデルと前記第１中間モデルとを切り離すことで、前記第１モードから前記第２モードへの切り替えを実施するように、前記コンピューターを動作させる。

発明の効果

[0006] 本発明によれば、システム開発効率の高いシミュレーション方法を提供できる。

図面の簡単な説明

[0007] [図1]本発明の第１の実施形態に係るシミュレーターの構成例を示す図である。

[図2]本発明の第１の実施形態に関する従来のシミュレーターの構成例を示す図である。

[図3]シミュレーターに用いられる各物理ドメインでのパラメーターの例を示した図である。

[図4]本発明の第１の実施形態に係るシミュレーターを用いて計算されたローター回転速度の例を示す図である。

[図5]本発明の第１の実施形態に係るシミュレーターにおいてモードを切り替える際の制御手順例を示したフロー図である。

[図6]第１モードから第２モードへの切り替えを行ったときのローター回転速度Ｖ、Ｖｂの変化例を示す図である。

[図7]本発明の第２の実施形態に係るシミュレーターの構成例を示す図である。

[図8]本発明の第２の実施形態に係るシミュレーターにおいてモードを切り替

える際の制御手順例を示したフロー図である。

[図9]本発明の第３の実施形態に係るシミュレーターの構成例を示す図である。

[図10]本発明の第４の実施形態に関する従来のシミュレーターの構成例を示す図である。

[図11]本発明の第４の実施形態に係るシミュレーターの構成例を示す図である。

発明を実施するための形態

[0008] （第１の実施形態）

本実施形態では、電気自動車の駆動装置のシステムシミュレーターへの適用例を説明する。

[0009] 図１は、本発明の第１の実施形態に係るシミュレーターの構成例を示す図である。図１に示すシミュレーターは、電気自動車の駆動装置をシミュレーション対象としたシステムシミュレーターであり、たとえばコンピューターを用いて実現される。このシミュレーターは、モーターモデル１の発生する電磁トルク２１を高速ギヤモデル３を通して車軸トルク２３に変換し、車両モデル２に伝達する。また、車両モデル２の運動状態に応じた車軸回転速度２４を高速ギヤモデル３を通してローター回転速度２２に変換し、モーターモデル１に入力する。このときのモーターモデル１、高速ギヤモデル３および車両モデル２の運動をそれぞれ計算することで、電気自動車の駆動装置の動きをシミュレーションする。すなわち、本実施形態のシミュレーターでは、シミュレーション対象である電気自動車の駆動装置を構成する各要素（モーター、ギヤ、車両）を、モーターモデル１、高速ギヤモデル３、車両モデル２としてそれぞれモデル化し、これらのモデル間で相互に影響するパラメーターを互いに受け渡すことで、各要素の連成運動を計算することを可能としている。これにより、シミュレーション対象である電気自動車の駆動装置に関する計算を行うシミュレーターを実現している。

[0010] ここで図１に示すように、本実施形態のシミュレーターでは、さらに高精

度ギヤモデル３ｂが高速ギヤモデル３と並列に配置されている。高精度ギヤモデル３ｂは、高速ギヤモデル３と同様に、シミュレーション対象である電気自動車の駆動装置を構成する要素の一つであるギヤをモデル化したものである。なお、高速ギヤモデル３は、ギヤの減速比によるトルクと回転速度の変換を解く計算内容をモデル化したものであり、計算負荷は軽いが軸振動の現象などを解くことが出来ないモデルである。一方、高精度ギヤモデル３ｂは、ギヤ内部の軸ねじれを考慮した減速比によるトルクと回転速度の変換を解く計算内容をモデル化したものであり、高速ギヤモデル３の計算内容に加えて、内部のギヤの挙動やドライブシャフトの捩れなどの計算も含んでいる。すなわち高精度ギヤモデル３ｂは、計算負荷は重いが軸振動の現象などを解くことができるモデルである。

[0011] なお、図１では、高速ギヤモデル３に入出力される各パラメーターと区別するため、高精度ギヤモデル３ｂに入出力される各パラメーターの符号の末尾に「ｂ」を付している。すなわち、高精度ギヤモデル３ｂは、モーターモデル１から入力された電磁トルク２１ｂを車軸トルク２３ｂに変換し、車両モデル２に伝達する。また、車両モデル２から入力された車軸回転速度２４ｂをローター回転速度２２ｂに変換し、モーターモデル１に伝達する。

[0012] 本実施形態のシミュレーターにおいて、高速ギヤモデル３と高精度ギヤモデル３ｂのどちらを計算に用いるかは、各モデル間に配置されたスイッチ３１，３２，３３，３４，３１ｂ，３２ｂ，３３ｂ，３４ｂをそれぞれ切り替えることで決定される。図１では、モーターモデル１および車両モデル２と高速ギヤモデル３の間にそれぞれ配置されたスイッチ３１，３２，３３，３４が接続状態である一方で、モーターモデル１および車両モデル２と高精度ギヤモデル３ｂの間にそれぞれ配置されたスイッチ３１ｂ，３２ｂ，３３ｂ，３４ｂが切断状態である。すなわち、図１では、モーターモデル１と車両モデル２が高速ギヤモデル３を介して接続されており、高速ギヤモデル３を用いた計算が実施される状態となっている。以下では、高速ギヤモデル３を用いて計算を行う場合を「第１モード」と称する。一方、各スイッチの状態

を入れ換え、モーターモデル１と車両モデル２が高精度ギヤモデル３ｂを介して接続されるようにすると、高精度ギヤモデル３ｂを用いた計算が実施される状態となる。以下では、高精度ギヤモデル３ｂを用いて計算を行う場合を「第２モード」と称する。

[0013] 上記各スイッチの制御は、切り替え制御器４で実施される。切り替え制御器４と各スイッチとは不図示の配線により接続されており、切り替え制御器４から各スイッチを操作できるようになっている。なお、切り替え制御器４と各スイッチ間の配線は、物理的な電線ではなく、コンピューター上で仮想的に実現されるものである。

[0014] 切り替え制御器４には、高速ギヤモデル３から出力されるローター回転速度２２と、高精度ギヤモデル３ｂから出力されるローター回転速度２２ｂとが入力される。また、モーターモデル１から出力される電磁トルク２１、２１ｂも切り替え制御器４に入力される。切り替え制御器４は、これらのパラメーターに基づいて、各スイッチの操作タイミングを決定する。なお、各スイッチの操作タイミングの具体的な決定方法については、後で説明する。

[0015] 本実施形態のシミュレーターでは、以上説明したような各構成がコンピューター上で実現されている。すなわち、本実施形態のシミュレーターでは、コンピューターを、モーターをモデル化したモーターモデル１と、車両をモデル化した車両モデル２と、モーターと車両の間に介在するギヤをそれぞれモデル化した高速ギヤモデル３および高精度ギヤモデル３ｂと、としてそれぞれ機能させている。そして、モーターモデル１と車両モデル２が高速ギヤモデル３を介して情報を送受信する第１モードと、モーターモデル１と車両モデル２が高精度ギヤモデル３ｂを介して情報を送受信する第２モードと、のいずれかにより、コンピューターに計算を実行させる。具体的には、第１モードでは、モーターモデル１から出力される電磁トルク２１を高速ギヤモデル３に入力し、入力された電磁トルク２１に応じて高速ギヤモデル３から出力される車軸トルク２３を車両モデル２に入力すると共に、車両モデル２から出力される車軸回転速度２４を高速ギヤモデル３に入力し、入力された

車軸回転速度２４に応じて高速ギヤモデル３から出力されるローター回転速度２２をモーターモデル１に入力するように、コンピューターを動作させる。また、第２モードでは、モーターモデル１から出力される電磁トルク２１ｂを高精度ギヤモデル３ｂに入力し、入力された電磁トルク２１ｂに応じて高精度ギヤモデル３ｂから出力される車軸トルク２３ｂを車両モデル２に入力すると共に、車両モデル２から出力される車軸回転速度２４ｂを高精度ギヤモデル３ｂに入力し、入力された車軸回転速度２４ｂに応じて高精度ギヤモデル３ｂから出力されるローター回転速度２２ｂをモーターモデル１に入力するように、コンピューターを動作させる。

[0016] 次に、本実施形態のシミュレーターにおいて各モデル間で受け渡されるパラメーターについて説明する。なお、以下では理解を簡単にするため、図２に示す従来のシミュレーターを用いて、各パラメーターについて解説する。

[0017] 図２は、本発明の第１の実施形態に関する従来のシミュレーターの構成例を示す図である。図２に示す従来のシミュレーターでは、モーターモデル１と車両モデル２が高速ギヤモデル３のみを介して接続されており、図１の高精度ギヤモデル３ｂが存在していない。そのため、図１で示した高速ギヤモデル３と高精度ギヤモデル３ｂとを切り替えるための各スイッチは、図２には設けられていない。

[0018] 図２のシミュレーターでは、モーターモデル１と高速ギヤモデル３の間で入出力される電磁トルク２１およびローター回転速度２２と、高速ギヤモデル３と車両モデル２の間で入出力される車軸トルク２３および車軸回転速度２４とが、各モデル間で受け渡されるパラメーターに該当する。なお、図２の矢印の向きは、各パラメーターによる情報の伝達方向を示している。このように、従来のシミュレーターでは、各モデル間での情報伝達をパラメーターの受け渡しによって実現している。この点は、図１に示した本実施形態のシミュレーターについても同様である。

[0019] 図３は、シミュレーターに用いられる各物理ドメインでのパラメーターの例を示した図である。シミュレーターで用いられる各種パラメーターは、ア

クロス変数とスルー変数の２種類に分類される。スルー変数とは、物理ドメインが電気である場合のキルヒホッフの第一法則や、他の物理ドメインに対して成り立つ同様の法則、すなわち一点に流れ込む量の和がゼロとなる法則を満たす変数である。一方、アクロス変数とは，物理ドメインが電気である場合のキルヒホッフの第二法則や、他の物理ドメインに対して成り立つ同様の法則、すなわちモデル内でループを形成する要素の積算値がゼロとなる法則を満たす変数である。これらの変数は、同一の物理ドメインでそれぞれ対応関係にあるものが対にして用いられる。

[0020] 具体的には、図３に示すように、たとえば物理ドメインが機械回転の場合には、アクロス変数である角速度（回転速度）と、スルー変数であるトルクとが、シミュレーターにおいて対になるパラメーターとして利用される。同様に、物理ドメインが機械並進の場合には、アクロス変数である速度と、スルー変数である力とが、シミュレーターにおいて対になるパラメーターとして利用される。また、物理ドメインが電気の場合には、アクロス変数である電圧と、スルー変数である電流とが、シミュレーターにおいて対になるパラメーターとして利用され、物理ドメインが油や空圧の場合には、アクロス変数である圧力と、スルー変数である流量とが、シミュレーターにおいて対になるパラメーターとして利用される。これにより、物理ドメインに応じてシミュレーター内に設定された各モデル同士を連結し、シミュレーション対象を構成する各要素の連成運動の計算を行うことができるようにしている。なお、図３に示した物理ドメインと対応するアクロス変数およびスルー変数とは一例であり、本実施形態のシミュレーターで利用されるパラメーターはこれに限定されない。

[0021] 次に、本実施形態のシミュレーターにおいて計算途中にモードを切り替える場合の動作について解説する。以下の説明では、電気自動車を停止している状態から加速させ、所定の速度に達したらブレーキをかけて減速し停止する走行パターンについて、電力の消費量と減速時に発生する軸振動とを計算する場合での、本実施形態のシミュレーターの動作例を説明する。

[0022] 図４は、本発明の第１の実施形態に係るシミュレーターを用いて計算されたローター回転速度の例を示している。図４のグラフ４１は、電気自動車の加速を開始してからブレーキ開始直後までの前半部分を、高速ギヤモデル３を用いた第１モードにより計算を行い、ブレーキによる減速を開始してから電気自動車が停止するまでの後半部分を、高精度ギヤモデル３ｂを用いた第２モードにより計算を行った場合での、ローター回転速度の時間変化の様子を示している。なお、図４のグラフ４１では、第１モードから第２モードに切り替える際の時間経過を０としているが、実際には後述するように、高精度ギヤモデル３ｂの状態量が切り替え可能な状態へと変化するまでにある程度の時間を要する。したがって、この時間を加味してローター回転速度の時間変化を求めてもよい。

[0023] 上記の走行パターンにおけるローター回転速度を計算する場合、前半の加速部分では、モーターの発生する電磁トルクがどれだけ車両を加速させるかを解くことが課題である。そのため、高速ギヤモデル３を用いた計算で十分である。一方、後半の減速部分では、軸振動が発生するため、この挙動を算出することも課題となる。そのため、高速ギヤモデル３を用いた計算では不十分であり、高精度ギヤモデル３ｂを用いた計算を行うことが必須となる。

[0024] なお、前半部分を含めた全区間で高精度ギヤモデル３ｂを用いた計算を行っても、所望の結果を得ることができる。しかし、高精度ギヤモデル３ｂを用いた計算は時間がかかるため、計算コストを含めて考えた場合、全区間で高精度ギヤモデル３ｂを用いた計算を行うのはあまり好ましくない。そこで、本実施形態のシミュレーターのように、計算途中で第１モードから第２モードに切り替えて計算を行うことにより、効率的なシミュレーションを実現できる。

[0025] 図２に示した従来のシミュレーターにおいて、第１モードから第２モードへの切り替えを実現する場合には、切り替え前後での変数値の変換を行った上で、高速ギヤモデル３を高精度ギヤモデル３ｂに置き換える必要がある。具体的には、前半の第１モードでの計算が終了した後に、高速ギヤモデル３

内の各状態量を表す変数値、たとえばローターの回転速度、ドライブシャフトの回転速度、内部の伝達トルクなどを、高精度ギヤモデル３ｂ内の各状態量を表す変数値に変換する。そして、変換されたこれらの変数値を高精度ギヤモデル３ｂに設定して、後半の第２モードでの計算を継続すればよい。

[0026] しかし、上記のような変数値の変換計算を実現するためには、高速ギヤモデル３と高精度ギヤモデル３ｂそれぞれの物理特性や拘束条件を加味した変換プログラムを、シミュレーターとは別に作成する必要がある。また、高速ギヤモデル３から高精度ギヤモデル３ｂへの切り替えでは、内部の状態量の数が増加するため、単純な変換式では高精度ギヤモデル３ｂ内の各状態量を表す変数値を求めることができない。そのため、過去の計算履歴を参照して状態量を推定したり、最小二乗法等の手法によりカーブフィッティングを行って状態量を推定したりする作業が必要となる。さらに、高速ギヤモデル３や高精度ギヤモデル３ｂの内容が変更された場合には、それに応じて変換プログラムも作り直す必要が生じる。これらの原因から、変換プログラムの作成に時間がかかってしまい、その結果、シミュレーションを利用したシステム開発効率が低下する場合がある。

[0027] 一方、本実施形態のシミュレーターでは、図１のように高精度ギヤモデル３ｂを高速ギヤモデル３と並列に配置して、各モデル間に配置されたスイッチを適切な操作タイミングで切り替える。これにより、変数値の変換を必要とせずに、計算途中でのモード切り替えを実現している。

[0028] 図５は、本発明の第１の実施形態に係るシミュレーターにおいてモードを切り替える際の制御手順例を示したフロー図である。以下では、図５のフロー図に従って、本実施形態のシミュレーターの動作を説明する。なお、図１のシミュレーターにおいて、切り替え制御器４は、予め設定されたモード切り替えのタイミングになると、図５のフロー図に示す処理を開始する。

[0029] まずステップＳ５１において、切り替え制御器４は、スイッチ３４ｂを切断状態から接続状態に切り替えて、高精度ギヤモデル３ｂへ車軸回転速度２４ｂの入力を接続する。すなわち、それまでは高速ギヤモデル３のみに入力

されていた車両モデル２からの車軸回転速度２４を、高速ギヤモデル３と高精度ギヤモデル３ｂに車軸回転速度２４、２４ｂとしてそれぞれ入力されるようにする。これにより、高速ギヤモデル３での計算結果を用いて、高精度ギヤモデル３ｂにおける内部の状態量の変動が開始される。

[0030] 前述の図３を参照すると、車軸回転速度２４、２４ｂは、物理ドメインが機械回転の場合におけるアクロス変数に相当する。すなわちステップＳ５１では、アクロス変数である車軸回転速度２４、２４ｂを、モードを切り替える際に最初に高速ギヤモデル３と高精度ギヤモデル３ｂに接続するパラメーターとすることで、高速ギヤモデル３内部のアクロス変数と高精度ギヤモデル３ｂ内部のアクロス変数とを合致させるようにしている。ここで、アクロス変数とは、前述のように角速度、速度、電圧、圧力などであり、これらは内部エネルギーと密接な関係がある。すなわち、上記のようにステップＳ５１で高速ギヤモデル３と高精度ギヤモデル３ｂの内部のアクロス変数を合致させることは、これらのモデルの内部エネルギーを合致させることと近似である。したがって、高精度ギヤモデル３ｂ内部の状態量を切り替え可能な状態へと迅速に変化させることができる。

[0031] なお、モードを切り替える際に最初に接続するパラメーターは、必ずしもアクロス変数に限定されるものではない。すなわち、モードを切り替える際に最初に接続するパラメーターをアクロス変数ではなくスルー変数としてもよいし、アクロス変数とスルー変数とを混在させてもよい。

[0032] 次にステップＳ５２において、切り替え制御器４は、入力された車軸回転速度２４に応じて高速ギヤモデル３から出力されるローター回転速度２２と、入力された車軸回転速度２４ｂに応じて高精度ギヤモデル３ｂから出力されるローター回転速度２２ｂとを検出する。なお、以下の説明では、高速ギヤモデル３からのローター回転速度２２の検出値をローター回転速度Ｖとし、高精度ギヤモデル３ｂからのローター回転速度２２ｂの検出値をローター回転速度Ｖｂとする。

[0033] 次にステップＳ５３において、切り替え制御器４は、ステップＳ５２で検

出したローター回転速度Ｖとローター回転速度Ｖｂとを比較する。ここでは、ローター回転速度Ｖｂとローター回転速度Ｖとの差分δｖを計算することで、これらの比較を行う。

[0034] 次にステップＳ５４において、切り替え制御器４は、ステップＳ５３で算出した差分δｖに基づいて、高精度ギヤモデル３ｂに対する制御量Ｔａを計算する。ここでは、モーターモデル１から出力された電磁トルク２１の値を検出し、その電磁トルク２１の値に応じて、差分δｖの絶対値が縮小するように制御量Ｔａを決定する。このとき、たとえば一般的なＰＩＤ制御を用いて制御量Ｔａを演算してもよいし、予め設定されたマップ情報などを用いて制御量Ｔａを決定してもよい。少なくとも差分δｖの絶対値を縮小できるものであれば、どのような方法で制御量Ｔａを決定してもよい。

[0035] 次にステップＳ５５において、切り替え制御器４は、ステップＳ５４で計算した制御量Ｔａを、高精度ギヤモデル３ｂの電磁トルク入力へ供給する。すなわち、制御量Ｔａに応じた電磁トルク２１ｂを、切り替え制御器４からスイッチ３１ｂを介して高精度ギヤモデル３ｂに入力する。なお、スイッチ３１ｂは、モーターモデル１と高精度ギヤモデル３ｂとの間が切断状態であるときには、切り替え制御器４と高精度ギヤモデル３ｂとの間が接続状態になっている。これにより、車軸回転速度２４ｂに加えて、差分δｖに応じて調整した電磁トルク２１ｂをさらに高精度ギヤモデル３ｂに入力して、差分δｖの絶対値が小さくなるように高精度ギヤモデル３ｂを動作させる。

[0036] 次にステップＳ５６において、切り替え制御器４は、ステップＳ５２で検出したローター回転速度Ｖとローター回転速度Ｖｂとがおおよそ等しいか否かを判定する。ここでは、たとえばステップＳ５３で計算した差分δｖの絶対値が所定の基準値以下であるか否かを判断する。その結果、差分δｖの絶対値が基準値以下であれば、ローター回転速度Ｖとローター回転速度Ｖｂとがおおよそ等しいと判定し、ステップＳ５７に進む。一方、差分δｖの絶対値が基準値を超えている場合は、ローター回転速度Ｖとローター回転速度Ｖｂとがおおよそ等しくないと判定し、ステップＳ５２に戻ってステップＳ５

２以降の処理を再度実行する。

[0037] ステップＳ５７において、切り替え制御器４は、高速ギヤモデル３の全端子、すなわちスイッチ３１，３２，３３，３４を接続状態から切断状態に切り替えると共に、高精度ギヤモデル３ｂの全端子、すなわちステップＳ５１で接続済みのスイッチ３４ｂを除いた残りのスイッチ３１ｂ，３２ｂ，３３ｂを切断状態から接続状態に切り替える。これにより、モーターモデル１および車両モデル２と高精度ギヤモデル３ｂとを接続すると共に、モーターモデル１および車両モデル２と高速ギヤモデル３とを切り離して、第１モードから第２モードへの切り替えが実施されるようにする。ステップＳ５７の処理を実行したら、切り替え制御器４は図５のフロー図を終了する。

[0038] 図６は、図５のフロー図に従って第１モードから第２モードへの切り替えを行ったときのローター回転速度Ｖ、Ｖｂの変化例を示す図である。図６において、グラフ６１はローター回転速度Ｖの変化の様子を示し、グラフ６２はローター回転速度Ｖｂの変化の様子を示している。符号６３に示すタイミングで図５のフロー図によりモード切り替えを開始すると、グラフ６２に示すローター回転速度Ｖｂの値が、次第にグラフ６１に示すローター回転速度Ｖの値に近づいていく。そして、ある一定の計算時間が経過した符号６４に示すタイミングで、ローター回転速度Ｖとローター回転速度Ｖｂとがほぼ同一の値になると、図５のステップＳ５６が肯定判定され、第１モードから第２モードへの切り替えが終了する。

[0039] 以上説明した図５のフロー図に示す処理を切り替え制御器４が行うことで、第１モードから第２モードへの切り替えが実施される。第２モードへの切り替え後は、モーターモデル１からの電磁トルク２１ｂが高精度ギヤモデル３ｂに入力されて車軸トルク２３ｂに変換され、車両モデル２に伝達される。また、車両モデル２からの車軸回転速度２４ｂが高精度ギヤモデル３ｂに入力されてローター回転速度２２ｂに変換され、モーターモデル１に伝達される。したがって、前述のような変数値の変換を行わずに、計算途中でのモード切り替えを実現できる。

[0040] 以上説明した本発明の第１の実施形態によれば、以下の作用効果を奏する。

[0041] （１）本実施形態のシミュレーターは、コンピューターを用いて、シミュレーション対象である電気自動車の駆動装置に関する計算を行う。このシミュレーション対象は、モーターおよび車両と、モーターと車両の間に介在するギヤとを含む。本実施形態のシミュレーターでは、コンピューターを、モーターをモデル化したモーターモデル１と、車両をモデル化した車両モデル２と、ギヤをそれぞれモデル化した高速ギヤモデル３および高精度ギヤモデル３ｂと、としてそれぞれ機能させる。そして、モーターモデル１と車両モデル２が高速ギヤモデル３を介して情報を送受信する第１モードと、モーターモデル１と車両モデル２が高精度ギヤモデル３ｂを介して情報を送受信する第２モードと、のいずれかにより、コンピューターに計算を実行させる。第１モードでは、モーターモデル１から出力される電磁トルク２１を高速ギヤモデル３に入力し、入力された電磁トルク２１に応じて高速ギヤモデル３から出力される車軸トルク２３を車両モデル２に入力すると共に、車両モデル２から出力される車軸回転速度２４を高速ギヤモデル３に入力し、入力された車軸回転速度２４に応じて高速ギヤモデル３から出力されるローター回転速度２２をモーターモデル１に入力するように、コンピューターを動作させる。第２モードでは、モーターモデル１から出力される電磁トルク２１ｂを高精度ギヤモデル３ｂに入力し、入力された電磁トルク２１ｂに応じて高精度ギヤモデル３ｂから出力される車軸トルク２３ｂを車両モデル２に入力すると共に、車両モデル２から出力される車軸回転速度２４ｂを高精度ギヤモデル３ｂに入力し、入力された車軸回転速度２４ｂに応じて高精度ギヤモデル３ｂから出力されるローター回転速度２２ｂをモーターモデル１に入力するように、コンピューターを動作させる。さらに、第１モードから第２モードに切り替える際に、車軸回転速度２４、２４ｂを、高速ギヤモデル３および高精度ギヤモデル３ｂにそれぞれ入力し（ステップＳ５１）、入力された車軸回転速度２４ｂに応じて高精度ギヤモデル３ｂから出力されるローター

回転速度２２ｂと、入力された車軸回転速度２４に応じて高速ギヤモデル３から出力されるローター回転速度２２と、の比較を行い（ステップＳ５３）、その比較の結果が所定の基準を満たしたときに（ステップＳ５６：Ｙｅｓ）、モーターモデル１および車両モデル２と高精度ギヤモデル３ｂとを接続すると共に、モーターモデル１および車両モデル２と高速ギヤモデル３とを切り離すことで、第１モードから第２モードへの切り替えを実施する（ステップＳ５７）ように、コンピューターを動作させる。このようにしたので、変数値の変換を行わずに計算途中でのモード切り替えを実現でき、その結果、システム開発効率の高いシミュレーション方法を提供できる。

[0042] （２）ステップＳ５３の比較では、高精度ギヤモデル３ｂから出力されるローター回転速度２２ｂの値Ｖｂと、高速ギヤモデル３から出力されるローター回転速度２２の値Ｖとの差分δｖを算出する。そして、算出した差分δｖの絶対値が所定の基準値以下となったときに、ステップＳ５６を肯定判定してステップＳ５７を実行し、モーターモデル１および車両モデル２と高精度ギヤモデル３ｂとを接続すると共に、モーターモデル１および車両モデル２と高速ギヤモデル３とを切り離すことで、第１モードから第２モードへの切り替えを実施するように、コンピューターを動作させる。このようにしたので、適切なタイミングで第１モードから第２モードへの切り替えを行うことができる。

[0043] （３）本実施形態のシミュレーターでは、第１モードから第２モードへの切り替えの際に、高精度ギヤモデル３ｂに入力される電磁トルク２１ｂの値を調整する（ステップＳ５４、Ｓ５５）ことで差分δｖが小さくなるように、コンピューターを動作させる。具体的には、高精度ギヤモデル３ｂから出力されるローター回転速度２２ｂの値Ｖｂと高速ギヤモデル３から出力されるローター回転速度２２の値Ｖとの差分δｖに応じて調整した制御量Ｔａをステップ５４で計算し、この制御量Ｔａに応じた電磁トルク２１ｂをステップＳ５５でさらに高精度ギヤモデル３ｂに入力することで、差分δｖが小さくなるようにコンピューターを動作させる。このようにしたので、第１モー

ドから第２モードへの切り替えをスムーズに行うことができる。

[0044] （４）なお、第１モードから第２モードに切り替える際に、ステップＳ５１で高速ギヤモデル３および高精度ギヤモデル３ｂにそれぞれ入力される車軸回転速度２４、２４ｂは、アクロス変数である。したがって、高速ギヤモデル３と高精度ギヤモデル３ｂとの内部エネルギーを合致させ、高精度ギヤモデル３ｂ内部の状態量を切り替え可能な状態へと迅速に変化させることができる。

[0045] なお、本実施形態では、以下の変形例も可能である。

[0046] （変形例１）

図５のステップＳ５５で制御量Ｔａに応じた電磁トルク２１ｂを高精度ギヤモデル３ｂに入力する際に、その値を徐々に変化させてもよい。具体的には、電磁トルク２１ｂの単位時間当たり、たとえば演算周期当たりの入力変化量を所定値以下に制限することで、高精度ギヤモデル３ｂに入力される電磁トルク２１ｂの値が急激に変化しないようにする。このようにすれば、高精度ギヤモデル３ｂ内部の状態量が急変するのを防いで、第１モードから第２モードへの切り替えをより適切に行うことができる。

[0047] （変形例２）

本実施形態では、第１モードから第２モードへの切り替えを行う前に、図５のステップＳ５３～Ｓ５５の処理を行うことで、高精度ギヤモデル３ｂから出力されるローター回転速度２２ｂの値Ｖｂと、高速ギヤモデル３から出力されるローター回転速度２２の値Ｖとが迅速に近づくようにしたが、これに限定するものではない。たとえば、ステップＳ５３～Ｓ５５の処理を実施しなくてもよい。

[0048] （変形例３）

本実施形態では、図５のステップＳ５６において、ローター回転速度Ｖとローター回転速度Ｖｂとがおおよそ等しいか否かを判定することで、第１モードから第２モードへの切り替えが可能であるか否かを判定したが、判定方法はこれに限定するものではない。たとえば、所定の計算時間が経過するこ

とで判定を行ってもよいし、複数の方法を併用して判定を行ってもよい。

[0049] なお、本実施形態では、第１モードから第２モードへの切り替えを行う際の手順を説明したが、第２モードから第１モードへの切り替えについても、高速ギヤモデル３と高精度ギヤモデル３ｂとを入れ替えることで、同様の手順により行うことが可能である。すなわち、本実施形態で説明したモード切り替えの手法は、第１モードから第２モードへの切り替え、第２モードから第１モードへの切り替えのどちらにも適用可能である。

[0050]（第２の実施形態）

次に本発明の第２の実施形態について説明する。本実施形態では、アクロス変数である車軸回転速度２４、２４ｂではなく、スルー変数である電磁トルク２１、２１ｂを最初に高速ギヤモデル３と高精度ギヤモデル３ｂに接続して、モード切り替えを行う例を説明する。

[0051] 図７は、本発明の第２の実施形態に係るシミュレーターの構成例を示す図である。図７に示すシミュレーターは、第１の実施形態で説明した図１のシミュレーターと同様に、電気自動車の駆動装置をシミュレーション対象としたシステムシミュレーターであり、たとえばコンピューターを用いて実現される。本実施形態のシミュレーターは、第１の実施形態のシミュレーターと比較して、切り替え制御器４に入出力されるパラメーターの種類が異なっている。具体的には、第１の実施形態では、高速ギヤモデル３から出力されるローター回転速度２２と、高精度ギヤモデル３ｂから出力されるローター回転速度２２ｂと、モーターモデル１から出力される電磁トルク２１とが、切り替え制御器４に入力され、切り替え制御器４から高速ギヤモデル３と高精度ギヤモデル３ｂに対して電磁トルク２１、２１ｂがそれぞれ出力されていた。一方、本実施形態では、高速ギヤモデル３から出力される車軸トルク２３と、高精度ギヤモデル３ｂから出力される車軸トルク２３ｂと、車両モデル２から出力される車軸回転速度２４とが、切り替え制御器４に入力され、切り替え制御器４から高速ギヤモデル３と高精度ギヤモデル３ｂに対して車軸回転速度２４、２４ｂがそれぞれ出力されている。これ以外の点では、本

実施形態のシミュレーターは、第１の実施形態のシミュレーターと同様である。

[0052] 図８は、本発明の第２の実施形態に係るシミュレーターにおいてモードを切り替える際の制御手順例を示したフロー図である。以下では、図８のフロー図に従って、本実施形態のシミュレーターの動作を説明する。なお、図７のシミュレーターにおいて、切り替え制御器４は、予め設定されたモード切り替えのタイミングになると、図８のフロー図に示す処理を開始する。

[0053] まずステップＳ７１において、切り替え制御器４は、スイッチ３１ｂを切断状態から接続状態に切り替えて、高精度ギヤモデル３ｂへモータートルク、すなわち電磁トルク２１ｂの入力を接続する。すなわち、それまでは高速ギヤモデル３のみに入力されていたモーターモデル１からの電磁トルク２１を、高速ギヤモデル３と高精度ギヤモデル３ｂに電磁トルク２１、２１ｂとしてそれぞれ入力されるようにする。これにより、高速ギヤモデル３での計算結果を用いて、高精度ギヤモデル３ｂにおける内部の状態量の変動が開始される。

[0054] 次にステップＳ７２において、切り替え制御器４は、入力された電磁トルク２１に応じて高速ギヤモデル３から出力される車軸トルク２３と、入力された電磁トルク２１ｂに応じて高精度ギヤモデル３ｂから出力される車軸トルク２３ｂとを検出する。なお、以下の説明では、高速ギヤモデル３からの車軸トルク２３の検出値を車軸トルクＴとし、高精度ギヤモデル３ｂからの車軸トルク２３ｂの検出値を車軸トルクＴｂとする。

[0055] 次にステップＳ７３において、切り替え制御器４は、ステップＳ７２で検出した車軸トルクＴと車軸トルクＴｂとを比較する。ここでは、車軸トルクＴｂと車軸トルクＴとの差分δｔを計算することで、これらの比較を行う。

[0056] 次にステップＳ７４において、切り替え制御器４は、ステップＳ７３で算出した差分δｔに基づいて、高精度ギヤモデル３ｂに対する制御量Ｖａを計算する。ここでは、車両モデル２から出力された車軸回転速度２４の値を検出し、その車軸回転速度２４の値に応じて、差分δｔの絶対値が縮小するよ

うに制御量Ｖａを決定する。このとき、たとえば一般的なＰＩＤ制御を用いて制御量Ｖａを演算してもよいし、予め設定されたマップ情報などを用いて制御量Ｖａを決定してもよい。少なくとも差分δｔの絶対値を縮小できるものであれば、どのような方法で制御量Ｖａを決定してもよい。

[0057] 次にステップＳ７５において、切り替え制御器４は、ステップＳ７４で計算した制御量Ｖａを、高精度ギヤモデル３ｂの車軸回転速度入力へ供給する。すなわち、制御量Ｖａに応じた車軸回転速度２４ｂを、切り替え制御器４からスイッチ３４ｂを介して高精度ギヤモデル３ｂに入力する。なお、スイッチ３４ｂは、車両モデル２と高精度ギヤモデル３ｂとの間が切断状態であるときには、切り替え制御器４と高精度ギヤモデル３ｂとの間が接続状態になっている。これにより、電磁トルク２１ｂに加えて、差分δｔに応じて調整した車軸回転速度２４ｂをさらに高精度ギヤモデル３ｂに入力して、差分δｔの絶対値が小さくなるように高精度ギヤモデル３ｂを動作させる。

[0058] 次にステップＳ７６において、切り替え制御器４は、ステップＳ７２で検出した車軸トルクＴと車軸トルクＴｂとがおおよそ等しいか否かを判定する。ここでは、たとえばステップＳ７３で計算した差分δｔの絶対値が所定の基準値以下であるか否かを判断する。その結果、差分δｔの絶対値が基準値以下であれば、車軸トルクＴと車軸トルクＴｂとがおおよそ等しいと判定し、ステップＳ７７に進む。一方、差分δｔの絶対値が基準値を超えている場合は、車軸トルクＴと車軸トルクＴｂとがおおよそ等しくないと判定し、ステップＳ７２に戻ってステップＳ７２以降の処理を再度実行する。

[0059] ステップＳ７７において、切り替え制御器４は、高速ギヤモデル３の全端子、すなわちスイッチ３１，３２，３３，３４を接続状態から切断状態に切り替えると共に、高精度ギヤモデル３ｂの全端子、すなわちステップＳ７１で接続済みのスイッチ３１ｂを除いた残りのスイッチ３２ｂ，３３ｂ，３４ｂを切断状態から接続状態に切り替える。これにより、モーターモデル１および車両モデル２と高精度ギヤモデル３ｂとを接続すると共に、モーターモデル１および車両モデル２と高速ギヤモデル３とを切り離して、第１モード

から第２モードへの切り替えが実施されるようにする。ステップＳ７７の処理を実行したら、切り替え制御器４は図８のフロー図を終了する。

[0060] 以上説明した本発明の第２の実施形態によれば、以下の作用効果を奏する。

[0061] （１）本実施形態のシミュレーターでは、第１モードと第２モードのそれぞれにおいて、第１の実施形態と同様の動作をコンピューターに行わせる。さらに、第１モードから第２モードに切り替える際に、電磁トルク２１、２１ｂを、高速ギヤモデル３および高精度ギヤモデル３ｂにそれぞれ入力し（ステップＳ７１）、入力された電磁トルク２１ｂに応じて高精度ギヤモデル３ｂから出力される車軸トルク２３ｂと、入力された電磁トルク２１に応じて高速ギヤモデル３から出力される車軸トルク２３と、の比較を行い（ステップＳ７３）、その比較の結果が所定の基準を満たしたときに（ステップＳ７６：Ｙｅｓ）、モーターモデル１および車両モデル２と高精度ギヤモデル３ｂとを接続すると共に、モーターモデル１および車両モデル２と高速ギヤモデル３とを切り離すことで、第１モードから第２モードへの切り替えを実施する（ステップＳ７７）ように、コンピューターを動作させる。このようにしたので、第１の実施形態で説明したのと同様に、変数値の変換を行わずに計算途中でのモード切り替えを実現でき、その結果、システム開発効率の高いシミュレーション方法を提供できる。

[0062] （２）ステップＳ７３の比較では、高精度ギヤモデル３ｂから出力される車軸トルク２３ｂの値Ｔｂと、高速ギヤモデル３から出力される車軸トルク２３の値Ｔとの差分δｔを算出する。そして、算出した差分δｔの絶対値が所定の基準値以下となったときに、ステップＳ７６を肯定判定してステップＳ７７を実行し、モーターモデル１および車両モデル２と高精度ギヤモデル３ｂとを接続すると共に、モーターモデル１および車両モデル２と高速ギヤモデル３とを切り離すことで、第１モードから第２モードへの切り替えを実施するように、コンピューターを動作させる。このようにしたので、第１の実施形態で説明したのと同様に、適切なタイミングで第１モードから第２モー

ドへの切り替えを行うことができる。

[0063] （３）本実施形態のシミュレーターでは、第１モードから第２モードへの切り替えの際に、高精度ギヤモデル３ｂに入力される車軸回転速度２４ｂの値を調整する（ステップＳ７４、Ｓ７５）ことで差分δｔが小さくなるように、コンピューターを動作させる。具体的には、高精度ギヤモデル３ｂから出力される車軸トルク２３ｂの値Ｔｂと高速ギヤモデル３から出力される車軸トルク２３の値Ｔとの差分δｔに応じて調整した制御量Ｖａをステップ７４で計算し、この制御量Ｖａに応じた車軸回転速度２４ｂをステップＳ７５でさらに高精度ギヤモデル３ｂに入力することで、差分δｔが小さくなるようにコンピューターを動作させる。このようにしたので、第１の実施形態で説明したのと同様に、第１モードから第２モードへの切り替えをスムーズに行うことができる。

[0064] なお、本実施形態においても、第１の実施形態で説明した各変形例が可能である。また、第２モードから第１モードへの切り替えについても、高速ギヤモデル３と高精度ギヤモデル３ｂとを入れ替えることで、同様の手順により行うことが可能である。

[0065] （第３の実施形態）

以上説明した第１および第２の実施形態では、単独のコンピューター上で実行されるシミュレーターの例を説明したが、本発明はこれに限定されず、複数のコンピューターに分散させてシミュレーターを実現してもよい。本実施形態では、それぞれ部分的に計算を実行する複数のコンピューターを用いたシミュレーターの例を説明する。

[0066] 図９は、本発明の第３の実施形態に係るシミュレーターの構成例を示す図である。図９に示すシミュレーターは、第１の実施形態で説明した図１のシミュレーターと比較して、高速ギヤモデル３と高精度ギヤモデル３ｂが配置されていた部分にメイン通信Ｉ／Ｆ８３が配置されており、このメイン通信Ｉ／Ｆ８３と、モーターモデル１、車両モデル２および切り替え制御器４とが、メインコンピューター８１上で実現されている。また、高速ギヤモデル

３と高精度ギヤモデル３ｂとは、それぞれ別個のサブコンピューター８２、８２ｂ上で実現されている。サブコンピューター８２では、高速ギヤモデル３がサブ通信Ｉ／Ｆ８４に接続されており、サブコンピューター８２ｂでは、高精度ギヤモデル３ｂがサブ通信Ｉ／Ｆ８４ｂに接続されている。メイン通信Ｉ／Ｆ８３、サブ通信Ｉ／Ｆ８４およびサブ通信Ｉ／Ｆ８４ｂは、不図示のネットワーク等を介して相互に接続されており、互いに通信を行って各パラメーターの受け渡しを実施できるように構成されている。

[0067] 以上説明した本発明の第３の実施形態によれば、複数のコンピューターを用いて、第１の実施形態と同様の計算結果を得ることができる。また、複数のコンピューターに計算負荷を分散させることにより、少ないハードウェア資源でも高速に計算結果を得ることができる。さらに、各コンピューターの設置場所には制約がないため、物理的な専有面積や電力消費を分散させることも可能である。そのため、シミュレーション実行効率のさらなる向上を図ることができる。

[0068] なお、本実施形態では、第１の実施形態で説明したシミュレーターを複数のコンピューターに分散させた例を説明したが、第２の実施形態で説明したシミュレーターを複数のコンピューターに分散させることも可能である。また、本実施形態においても、第１の実施形態で説明した各変形例が可能である。

[0069] （第４の実施形態）

以上説明した第１～第３の実施形態では、電気自動車の駆動装置をシミュレーション対象としたシステムシミュレーターの例を説明したが、本発明はこれに限定されず、様々な種類のシミュレーターに適用可能である。本実施形態では、電気モーターを用いた電動装置をシミュレーション対象としたシステムシミュレーターの例を説明する。

[0070] 図１０は、本発明の第４の実施形態に関する従来のシミュレーターの構成例を示す図である。図１０に示す従来のシミュレーターでは、バッテリーモデル５と機構モデル６が高精度モーターモデル１ｂを介して接続されている

。バッテリーモデル５、高精度モーターモデル１ｂおよび機構モデル６は、シミュレーション対象である電動装置を構成する各要素（バッテリー、モーター、駆動機構）をそれぞれモデル化したものである。なお、モーターが交流モーターである場合、高精度モーターモデル１ｂはインバーターを含んでモデル化することが好ましい。

[0071] 図１０のシミュレーターでは、各モデル間の情報伝達用のパラメーターとして、電磁トルク２１、ローター回転速度２２、直流電圧２５、直流電流２６が用いられる。図１０の矢印の向きは、各パラメーターによる情報の伝達方向を示している。すなわち、図１０のシミュレーターは、バッテリーモデル５の発生する直流電圧２５を高精度モーターモデル１ｂを通して電磁トルク２１に変換し、機構モデル６に伝達する。また、機構モデル６の状態に応じたローター回転速度２２を高精度モーターモデル１ｂを通して直流電流２６に変換し、バッテリーモデル５に入力する。このときのバッテリーモデル５、高精度モーターモデル１ｂおよび機構モデル６の状態をそれぞれ計算することで、電動装置の動きをシミュレーションする。

[0072] 図１１は、本発明の第４の実施形態に係るシミュレーターの構成例を示す図である。図１１に示すシミュレーターは、図１０に示した従来のシミュレーターと比較して、さらに高速モーターモデル１ｃが高精度モーターモデル１ｂと並列に配置されている。高速モーターモデル１ｃは、高精度モーターモデル１ｂと同様に、シミュレーション対象である電動装置を構成する要素の一つであるモーターをモデル化したものである。

[0073] 図１１のシミュレーターは、第１の実施形態で説明した図１のシミュレーターと同様に、切り替え制御器４を有している。この切り替え制御器４の制御により、高精度モーターモデル１ｂを用いて計算を行うモードと、高速モーターモデル１ｃを用いて計算を行うモードとを、第１の実施形態と同様の手法で切り替えることができる。

[0074] 以上説明した本発明の第４の実施形態によれば、電気モーターを用いた電動装置をシミュレーション対象としたシステムシミュレーターにおいても、

第１の実施形態で説明したのと同様の効果を得ることができる。

[0075] なお、本実施形態では、第１の実施形態と同様の手法でモード切り替えを行う電動装置のシミュレーターの例を説明したが、第２の実施形態で説明したのと同様の手法でモード切り替えを行う電動装置のシミュレーターにも適用可能である。また、本実施形態においても、第１の実施形態で説明した各変形例が可能である。さらに、単独のコンピューター上で実現されるシミュレーターとしてもよいし、あるいは第３の実施形態で説明したように、複数のコンピューターに分散されたシミュレーターとしてもよい。

[0076] なお、本発明は上記した各実施形態や各種変形例に限定されるものではなく、それ以外にも様々な変形が可能である。たとえば、上記の各実施形態は本発明を分かりやすく説明するために詳細に説明したものであり、必ずしも説明した全ての構成を備えるものに限定されない。また、ある実施形態の構成の一部を他の実施形態の構成に置き換えたり、ある実施形態の構成に他の実施形態の構成を加えたりすることも可能である。すなわち、各実施形態の構成の一部について、他の構成の追加・削除・置換をすることが可能である。

[0077] また、上記の各構成、機能、処理部、処理手段等は、それらの一部又は全部を、例えば集積回路のハードウェアで実現してもよい。あるいは、上記の各構成、機能等をソフトウェアで実現し、プロセッサがそれぞれの機能を実現するプログラムを解釈して実行することとしてもよい。また、上記の各実施形態において、制御線や情報線は説明上必要と考えられるものを示しており、製品上必ずしも全ての制御線や情報線を示しているとは限らない。実際には殆ど全ての構成が相互に接続されていると考えてもよい。

[0078] 以上説明した各実施形態や各種変形例はあくまで一例であり、発明の特徴が損なわれない限り、本発明はこれらの内容に限定されるものではない。また、上記では種々の実施形態や変形例を説明したが、本発明はこれらの内容に限定されるものではない。本発明の技術的思想の範囲内で考えられるその他の態様も本発明の範囲内に含まれる。

符号の説明

[0079] １　　モーターモデル

１ｂ　　高精度モーターモデル

１ｃ　　高速モーターモデル

２　　車両モデル

３　　高速ギヤモデル

３ｂ　　高精度ギヤモデル

４　　切り替え制御器

５　　バッテリーモデル

６　　機構モデル

２１，２１ｂ　電磁トルク

２２，２２ｂ　ローター回転速度

２３，２３ｂ　車軸トルク

２４，２４ｂ　車軸回転速度

３１，３２，３３，３４，３１ｂ，３２ｂ，３３ｂ，３４ｂ　スイッチ

請求の範囲

[請求項1] コンピューターを用いてシミュレーション対象に関する計算を行うシミュレーション方法であって、

前記シミュレーション対象は、第１要素および第２要素と、前記第１要素と前記第２要素の間に介在する中間要素と、を含み、

前記コンピューターを、前記第１要素をモデル化した第１モデルと、前記第２要素をモデル化した第２モデルと、前記中間要素をそれぞれモデル化した第１中間モデルおよび第２中間モデルと、としてそれぞれ機能させ、

前記第１モデルと前記第２モデルが前記第１中間モデルを介して情報を送受信する第１モードと、前記第１モデルと前記第２モデルが前記第２中間モデルを介して情報を送受信する第２モードと、のいずれかにより、前記コンピューターに前記計算を実行させ、

前記第１モードでは、前記第１モデルから出力される第１パラメーターを前記第１中間モデルに入力し、入力された前記第１パラメーターに応じて前記第１中間モデルから出力される第２パラメーターを前記第２モデルに入力すると共に、前記第２モデルから出力される第３パラメーターを前記第１中間モデルに入力し、入力された前記第３パラメーターに応じて前記第１中間モデルから出力される第４パラメーターを前記第１モデルに入力するように、前記コンピューターを動作させ、

前記第２モードでは、前記第１モデルから出力される第１パラメーターを前記第２中間モデルに入力し、入力された前記第１パラメーターに応じて前記第２中間モデルから出力される第２パラメーターを前記第２モデルに入力すると共に、前記第２モデルから出力される第３パラメーターを前記第２中間モデルに入力し、入力された前記第３パラメーターに応じて前記第２中間モデルから出力される第４パラメーターを前記第１モデルに入力するように、前記コンピューターを動作

させ、

前記第１モードから前記第２モードに切り替える際に、

前記第１パラメーターまたは前記第３パラメーターを、前記第１中間モデルおよび前記第２中間モデルに入力し、

入力された前記第１パラメーターまたは前記第３パラメーターに応じて前記第２中間モデルから出力される前記第２パラメーターまたは前記第４パラメーターと、入力された前記第１パラメーターまたは前記第３パラメーターに応じて前記第１中間モデルから出力される前記第２パラメーターまたは前記第４パラメーターと、の比較を行い、

前記比較の結果が所定の基準を満たしたときに、前記第１モデルおよび前記第２モデルと前記第２中間モデルとを接続すると共に、前記第１モデルおよび前記第２モデルと前記第１中間モデルとを切り離すことで、前記第１モードから前記第２モードへの切り替えを実施するように、前記コンピューターを動作させるシミュレーション方法。

[請求項2] 請求項１に記載のシミュレーション方法において、

前記比較では、前記第２中間モデルから出力される前記第２パラメーターまたは前記第４パラメーターと、前記第１中間モデルから出力される前記第２パラメーターまたは前記第４パラメーターとの差分を算出し、

算出した前記差分の絶対値が所定の基準値以下となったときに、前記第１モデルおよび前記第２モデルと前記第２中間モデルとを接続すると共に、前記第１モデルおよび前記第２モデルと前記第１中間モデルとを切り離すことで、前記第１モードから前記第２モードへの切り替えを実施するように、前記コンピューターを動作させるシミュレーション方法。

[請求項3] 請求項２に記載のシミュレーション方法において、

前記第２中間モデルに入力される前記第１パラメーターおよび前記第３パラメーターの少なくとも一方の値を調整することで前記差分が

小さくなるように、前記コンピューターを動作させるシミュレーション方法。

[請求項4] 請求項３に記載のシミュレーション方法において、

前記第１モードから前記第２モードに切り替える際に、前記第３パラメーターを前記第１中間モデルおよび前記第２中間モデルに入力する場合には、前記第２中間モデルから出力される前記第４パラメーターと前記第１中間モデルから出力される前記第４パラメーターとの差分に応じて調整した前記第１パラメーターをさらに前記第２中間モデルに入力することで、前記差分が小さくなるように前記コンピューターを動作させ、

前記第１モードから前記第２モードに切り替える際に、前記第１パラメーターを前記第１中間モデルおよび前記第２中間モデルに入力する場合には、前記第２中間モデルから出力される前記第２パラメーターと前記第１中間モデルから出力される前記第２パラメーターとの差分に応じて調整した前記第３パラメーターをさらに前記第２中間モデルに入力することで、前記差分が小さくなるように前記コンピューターを動作させるシミュレーション方法。

[請求項5] 請求項４に記載のシミュレーション方法において、

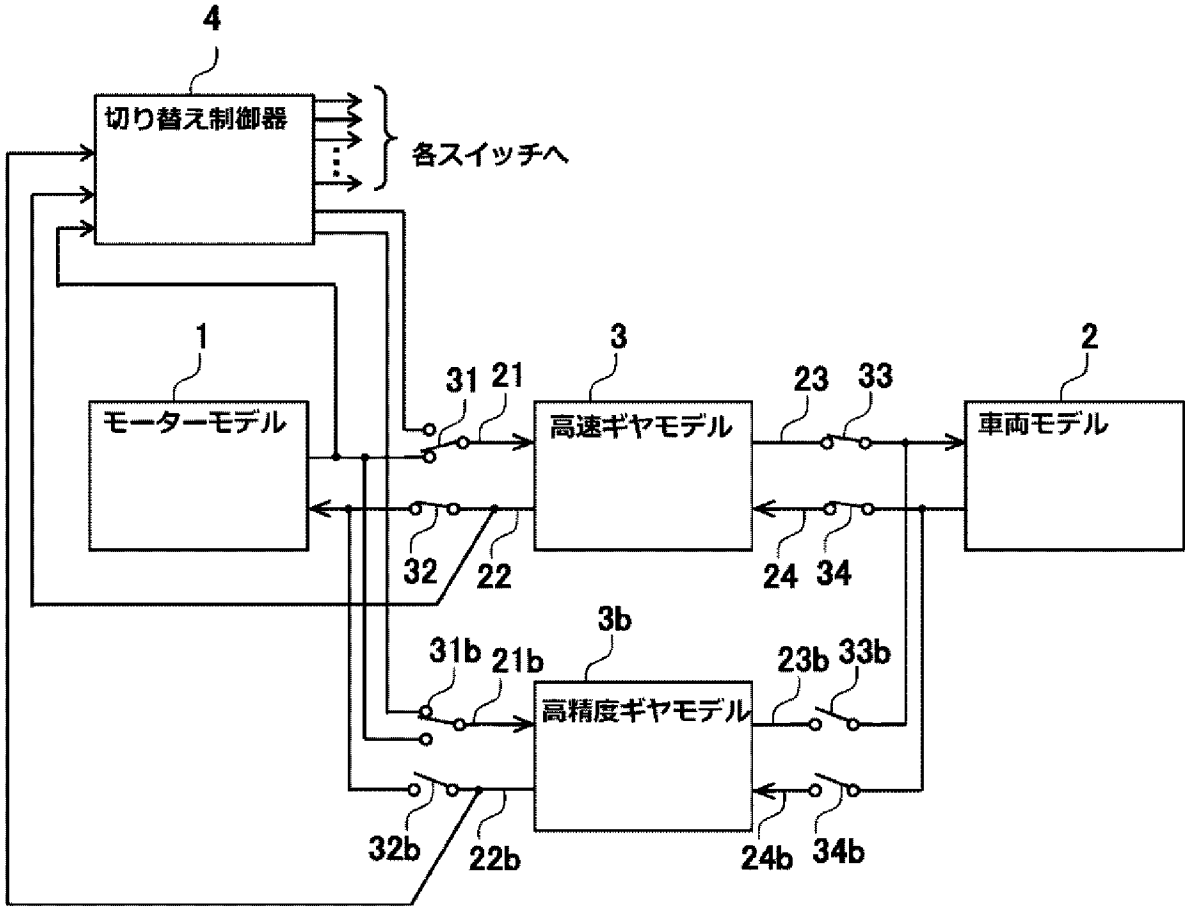
調整した前記第１パラメーターまたは前記第３パラメーターをさらに前記第２中間モデルに入力する際には、単位時間当たりの入力変化量を所定値以下に制限するシミュレーション方法。

[請求項6] 請求項１から請求項５までのいずれか一項に記載のシミュレーション方法において、

前記第１モードから前記第２モードに切り替える際に前記第１中間モデルおよび前記第２中間モデルに入力される前記第１パラメーターまたは前記第３パラメーターは、アクロス変数であるシミュレーション方法。

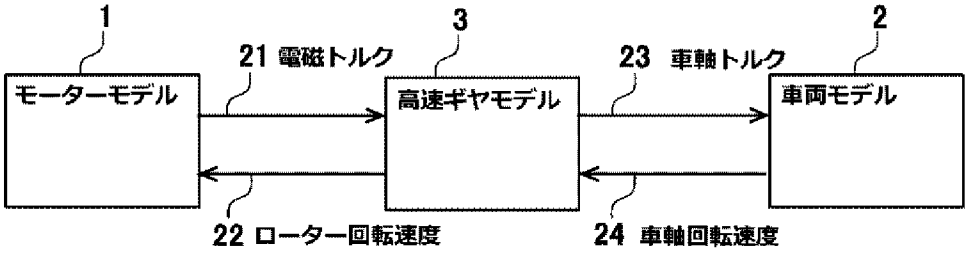
[図1]

【図1】


4
切り替え制御器
各スイッチへ
1
モーターモデル
31
21
3
高速ギヤモデル
23
33
2
車両モデル
32
22
24
34
3b
31b
21b
高精度ギヤモデル
23b
33b
32b
22b
24b
34b

[図2]

【図2】


1
モーターモデル
21 電磁トルク
3
高速ギヤモデル
23 車軸トルク
2
車両モデル
22 ローター回転速度
24 車軸回転速度

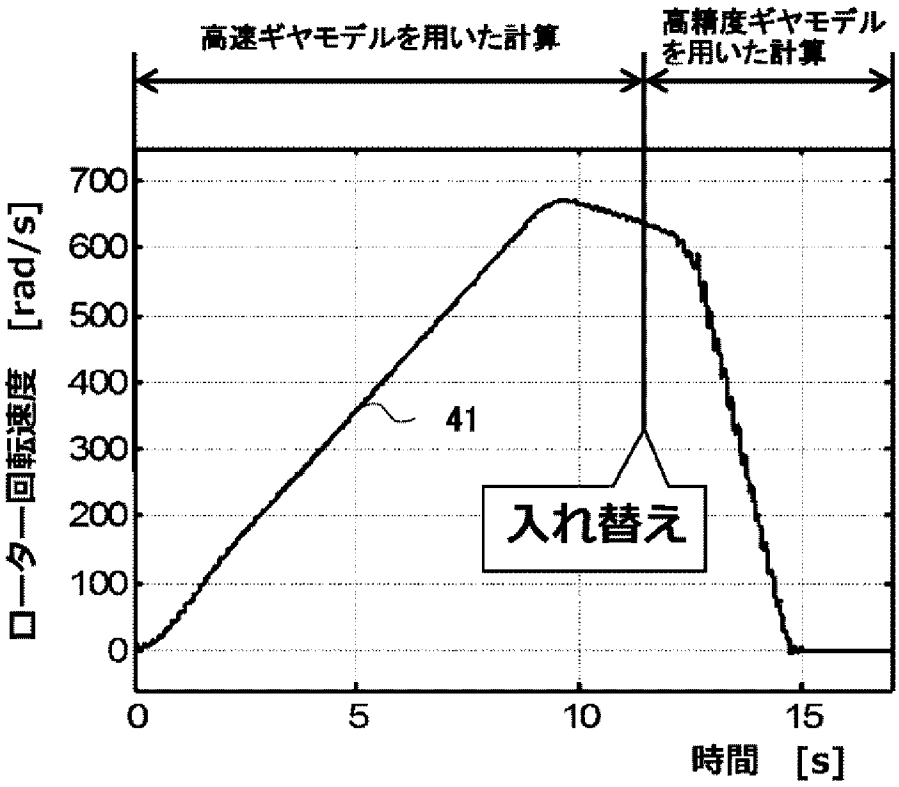
[図3]

【図3】

物理ドメイン	アクロス変数	スルー変数
機械回転	角速度(回転速度)	トルク
機械並進	速度	力
電気	電圧	電流
油・空圧	圧力	流量
熱	温度	熱流量
磁力	起磁力	磁束

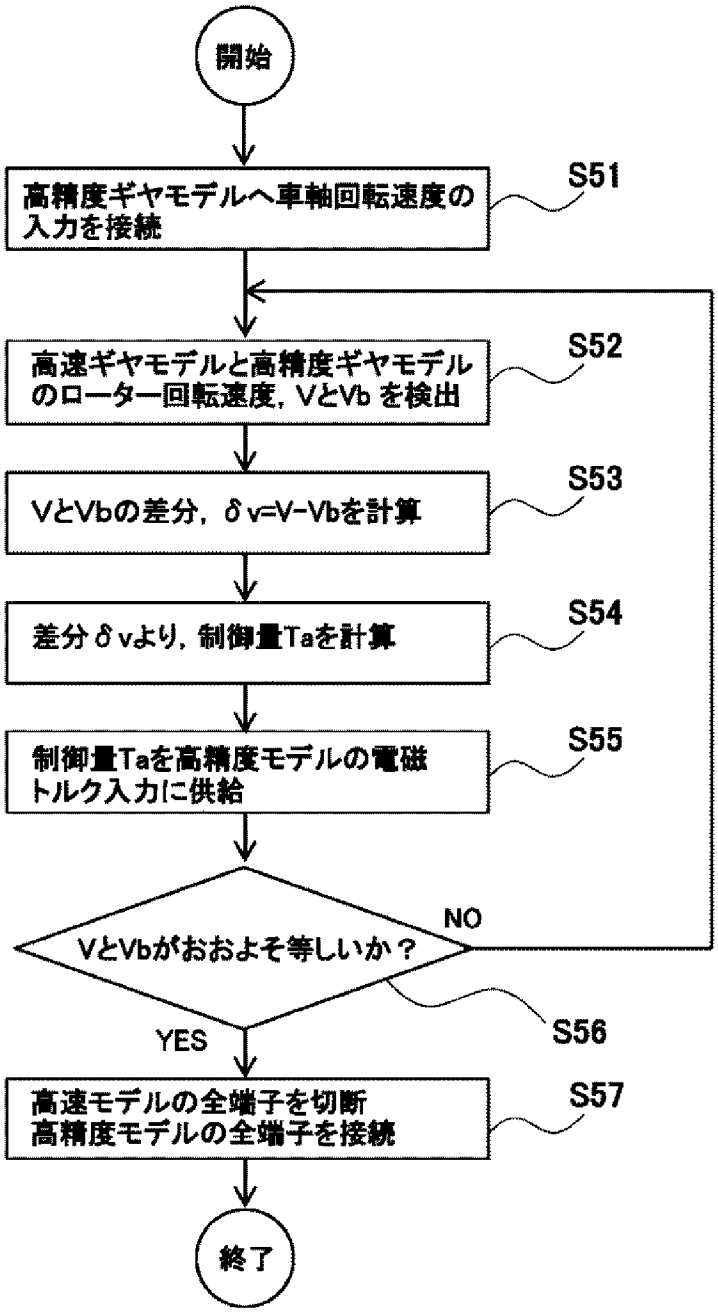
[図4]

【図4】


高速ギヤモデルを用いた計算
高精度ギヤモデルを用いた計算
ローター回転速度 [rad/s]
700
600
500
400
300
200
100
0
41
入れ替え
0
5
10
15
時間 [s]

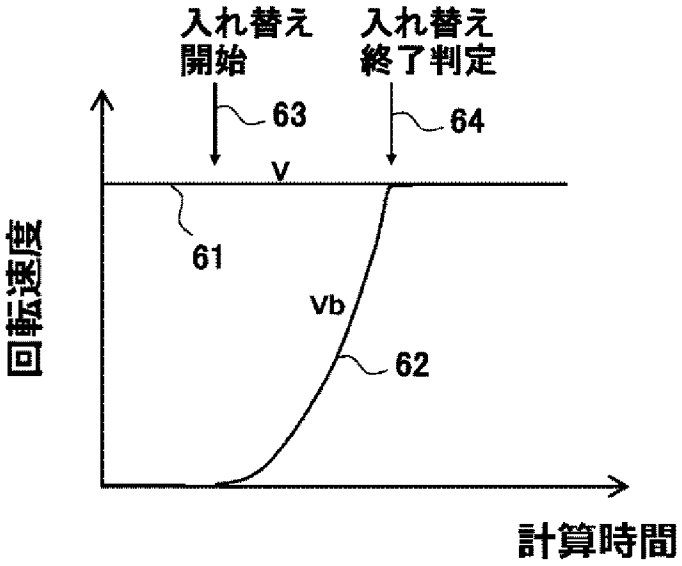
[図5]

【図5】


開始
高精度ギヤモデルへ車軸回転速度の入力を接続
S51
高速ギヤモデルと高精度ギヤモデルのローター回転速度，VとVb を検出
S52
VとVbの差分，δv=V-Vbを計算
S53
差分δvより，制御量Taを計算
S54
制御量Taを高精度モデルの電磁トルク入力に供給
S55
VとVbがおおよそ等しいか？
NO
S56
YES
高速モデルの全端子を切断
高精度モデルの全端子を接続
S57
終了

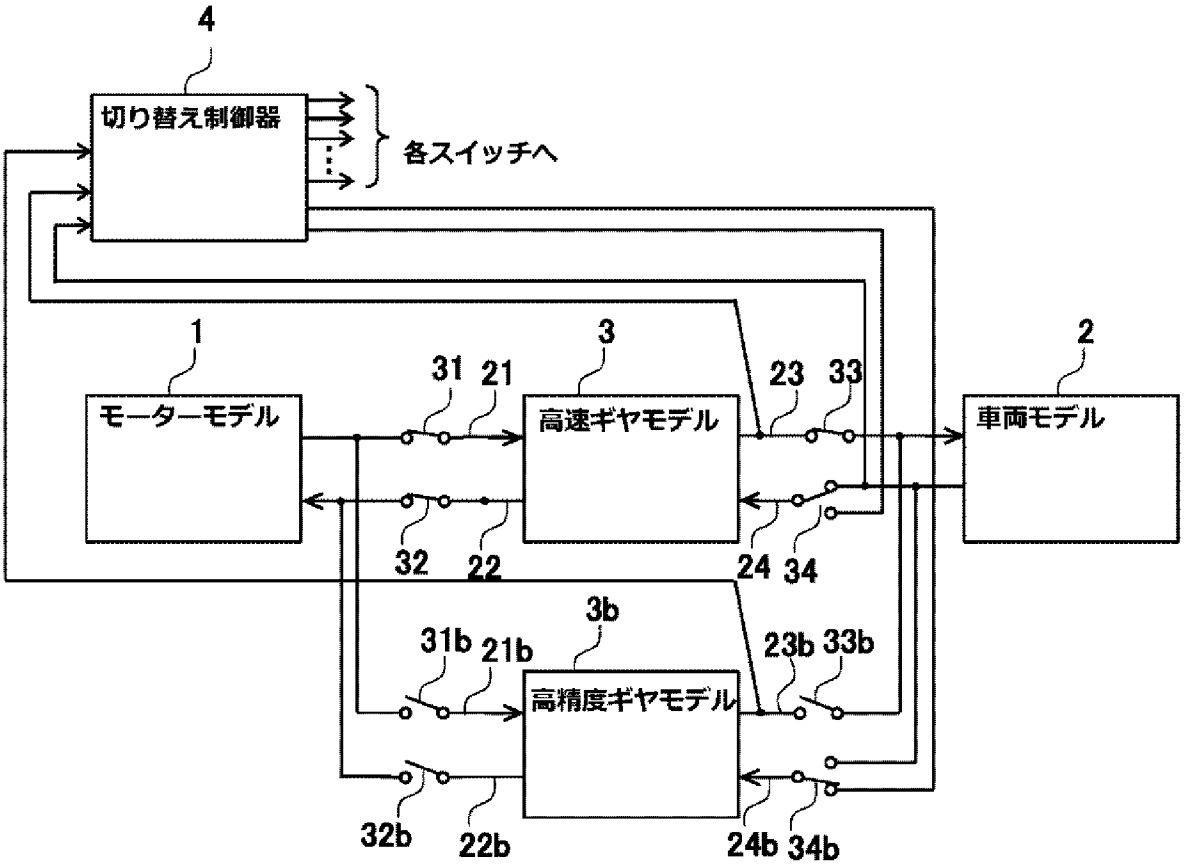
[図6]

【図6】



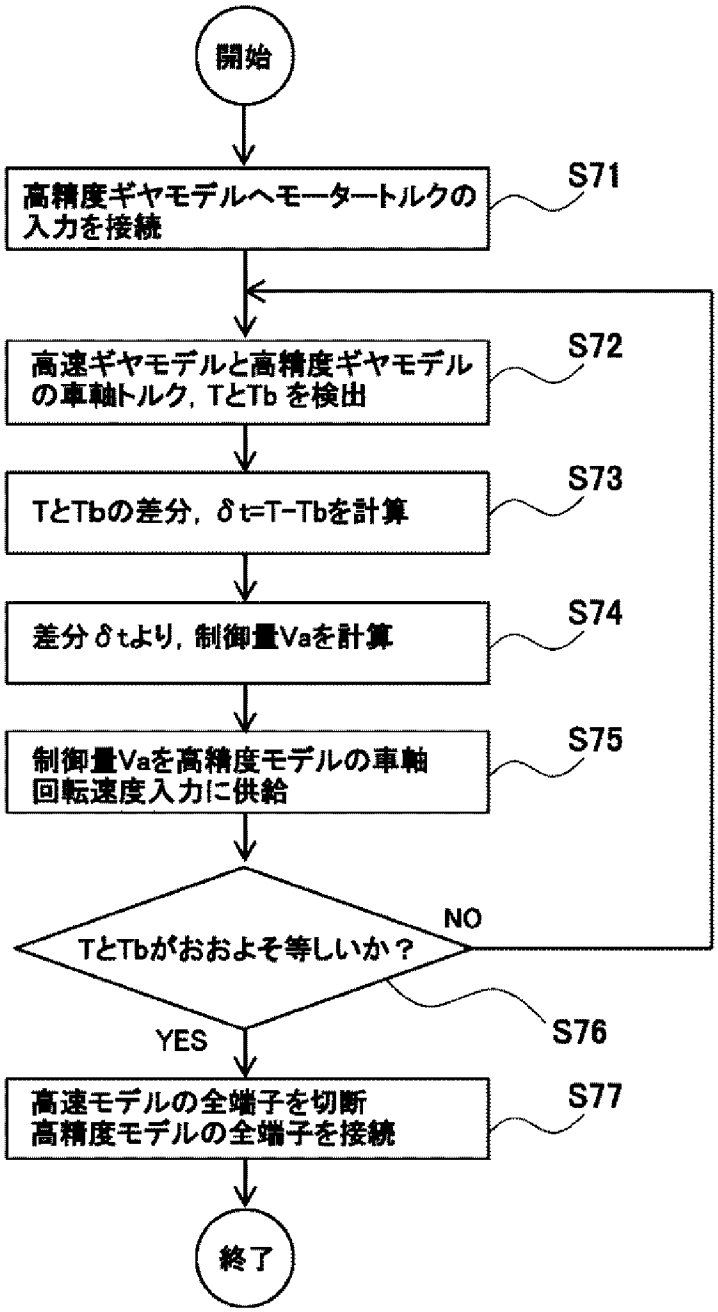
[図7]

【図7】


4
切り替え制御器
各スイッチへ
1
モーターモデル
31
21
3
高速ギヤモデル
23
33
2
車両モデル
32
22
24
34
3b
31b
21b
高精度ギヤモデル
23b
33b
32b
22b
24b
34b

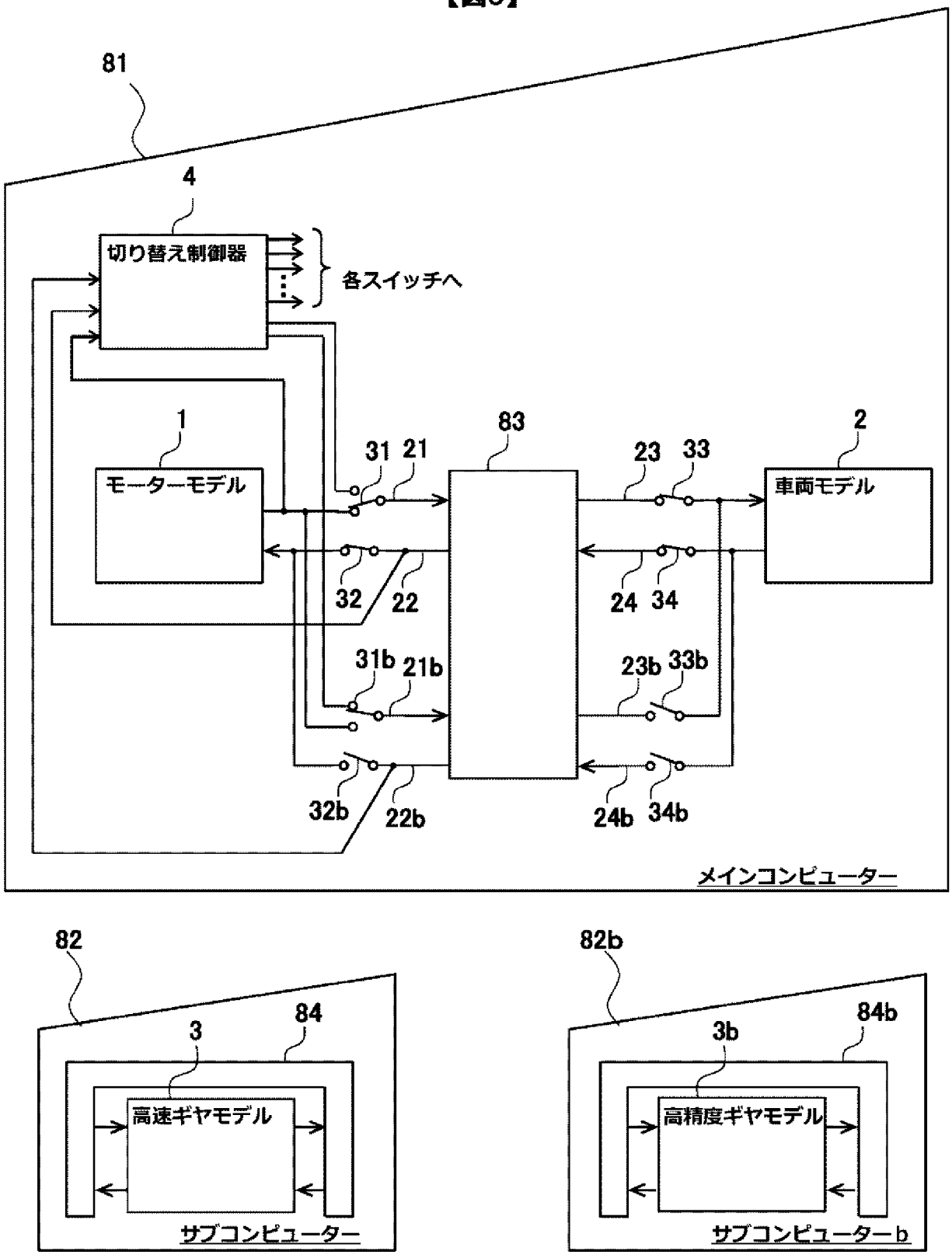
[図8]

【図8】


開始
高精度ギヤモデルへモータートルクの入力を接続
S71
高速ギヤモデルと高精度ギヤモデルの車軸トルク，TとTb を検出
S72
TとTbの差分，δt=T-Tbを計算
S73
差分δtより，制御量Vaを計算
S74
制御量Vaを高精度モデルの車軸回転速度入力に供給
S75
TとTbがおおよそ等しいか？
NO
YES
S76
高速モデルの全端子を切断
高精度モデルの全端子を接続
S77
終了

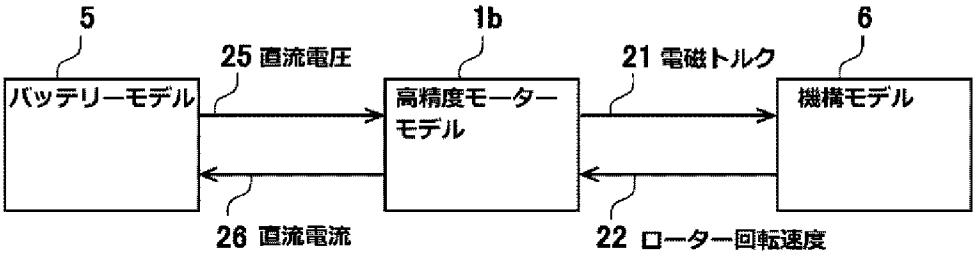
[図9]

【図9】


81
4
切り替え制御器
各スイッチへ
1
モーターモデル
83
2
車両モデル
31
21
23
33
32
22
24
34
31b
21b
23b
33b
32b
22b
24b
34b
メインコンピューター
82
3
84
高速ギヤモデル
サブコンピューター
82b
3b
84b
高精度ギヤモデル
サブコンピューターb

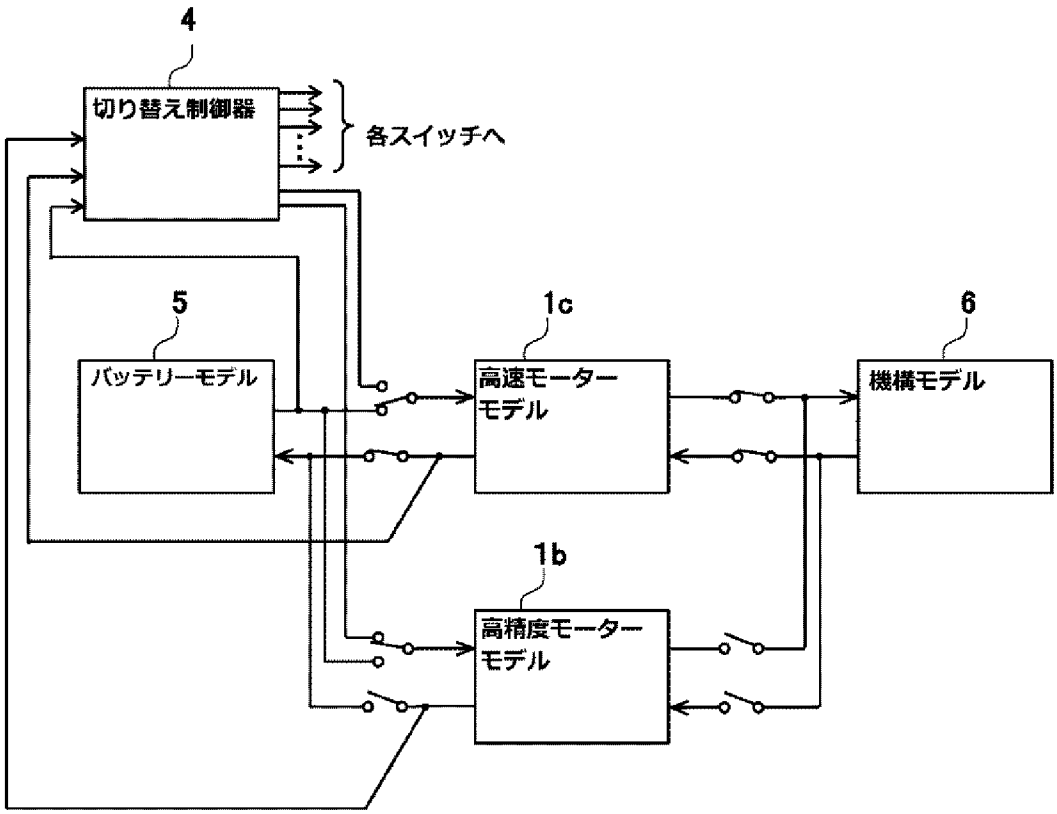
[図10]

【図10】


5
バッテリーモデル
25 直流電圧
1b
高精度モーターモデル
21 電磁トルク
6
機構モデル
26 直流電流
22 ローター回転速度

[図11]

【図11】


4
切り替え制御器
各スイッチへ
5
バッテリーモデル
1c
高速モーター
モデル
6
機構モデル
1b
高精度モーター
モデル

INTERNATIONAL SEARCH REPORT

International application No.
PCT/JP2018/026643

A. CLASSIFICATION OF SUBJECT MATTER
Int. Cl. B60L15/20(2006.01)i, G06F19/00(2018.01)i

According to International Patent Classification (IPC) or to both national classification and IPC

B. FIELDS SEARCHED

Minimum documentation searched (classification system followed by classification symbols)
Int. Cl. B60L15/20, G06F19/00

Documentation searched other than minimum documentation to the extent that such documents are included in the fields searched
Published examined utility model applications of Japan 1922-1996
Published unexamined utility model applications of Japan 1971-2018
Registered utility model specifications of Japan 1996-2018
Published registered utility model applications of Japan 1994-2018

Electronic data base consulted during the international search (name of data base and, where practicable, search terms used)

C. DOCUMENTS CONSIDERED TO BE RELEVANT

Category*	Citation of document, with indication, where appropriate, of the relevant passages	Relevant to claim No.
Y	JP 2006-209491 A (MATSUSHITA ELECTRIC INDUSTRIAL CO., LTD.) 10 August 2006, paragraphs [0017]-[0038], fig. 1-11 (Family: none)	1-6
Y	JP 2014-115520 A (TOSHIBA CORP.) 26 June 2014, paragraphs [0041]-[0058] (Family: none)	1-6

☐ Further documents are listed in the continuation of Box C.

☐ See patent family annex.

* Special categories of cited documents:
"A" document defining the general state of the art which is not considered to be of particular relevance
"E" earlier application or patent but published on or after the international filing date
"L" document which may throw doubts on priority claim(s) or which is cited to establish the publication date of another citation or other special reason (as specified)
"O" document referring to an oral disclosure, use, exhibition or other means
"P" document published prior to the international filing date but later than the priority date claimed
"T" later document published after the international filing date or priority date and not in conflict with the application but cited to understand the principle or theory underlying the invention
"X" document of particular relevance; the claimed invention cannot be considered novel or cannot be considered to involve an inventive step when the document is taken alone
"Y" document of particular relevance; the claimed invention cannot be considered to involve an inventive step when the document is combined with one or more other such documents, such combination being obvious to a person skilled in the art
"&" document member of the same patent family

Date of the actual completion of the international search	Date of mailing of the international search report
22.10.2018	30.10.2018
Name and mailing address of the ISA/ Japan Patent Office 3-4-3, Kasumigaseki, Chiyoda-ku, Tokyo 100-8915, Japan	Authorized officer Telephone No.

国際調査報告

国際出願番号　ＰＣＴ／ＪＰ２０１８／０２６６４３

Ａ．　発明の属する分野の分類（国際特許分類（ＩＰＣ））

Int.Cl.　B60L15/20(2006.01)i, G06F19/00(2018.01)i

Ｂ．　調査を行った分野

調査を行った最小限資料（国際特許分類（ＩＰＣ））

Int.Cl.　B60L15/20, G06F19/00

最小限資料以外の資料で調査を行った分野に含まれるもの

日本国実用新案公報	１９２２－１９９６年
日本国公開実用新案公報	１９７１－２０１８年
日本国実用新案登録公報	１９９６－２０１８年
日本国登録実用新案公報	１９９４－２０１８年

国際調査で使用した電子データベース（データベースの名称、調査に使用した用語）

Ｃ．　関連すると認められる文献

引用文献のカテゴリー＊	引用文献名　及び一部の箇所が関連するときは、その関連する箇所の表示	関連する請求項の番号
Y	JP 2006-209491 A（松下電器産業株式会社）2006.08.10, 段落［0017］－［0038］, 第1-11図（ファミリーなし）	1-6
Y	JP 2014-115520 A（株式会社東芝）2014.06.26, 段落［0041］－［0058］（ファミリーなし）	1-6

☐　Ｃ欄の続きにも文献が列挙されている。

☐　パテントファミリーに関する別紙を参照。

＊　引用文献のカテゴリー
「Ａ」特に関連のある文献ではなく、一般的技術水準を示すもの
「Ｅ」国際出願日前の出願または特許であるが、国際出願日以後に公表されたもの
「Ｌ」優先権主張に疑義を提起する文献又は他の文献の発行日若しくは他の特別な理由を確立するために引用する文献（理由を付す）
「Ｏ」口頭による開示、使用、展示等に言及する文献
「Ｐ」国際出願日前で、かつ優先権の主張の基礎となる出願の日の後に公表された文献
「Ｔ」国際出願日又は優先日後に公表された文献であって出願と矛盾するものではなく、発明の原理又は理論の理解のために引用するもの
「Ｘ」特に関連のある文献であって、当該文献のみで発明の新規性又は進歩性がないと考えられるもの
「Ｙ」特に関連のある文献であって、当該文献と他の１以上の文献との、当業者にとって自明である組合せによって進歩性がないと考えられるもの
「＆」同一パテントファミリー文献

国際調査を完了した日	国際調査報告の発送日
２２．１０．２０１８	３０．１０．２０１８

国際調査機関の名称及びあて先
日本国特許庁（ＩＳＡ／ＪＰ）
郵便番号１００－８９１５
東京都千代田区霞が関三丁目４番３号

特許庁審査官（権限のある職員）　３Ｈ　５７８０
笹岡　友陽
電話番号　０３－３５８１－１１０１　内線　３３１６