

(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
2023年11月2日(02.11.2023)



(10) 国際公開番号

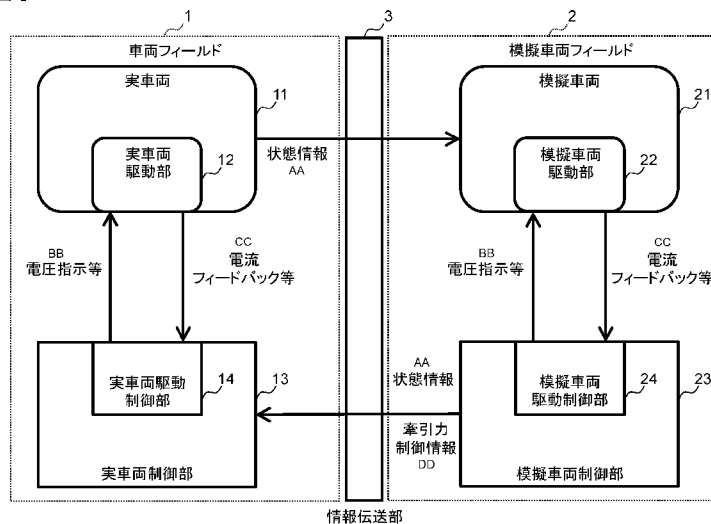
WO 2023/210825 A1

- (51) 国際特許分類:
B61L 27/60 (2022.01) *G01M 17/08* (2006.01)
B60L 3/00 (2019.01) *G06Q 10/30* (2023.01)
- (21) 国際出願番号: PCT/JP2023/016960
- (22) 国際出願日: 2023年4月28日(28.04.2023)
- (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 2022-075515 2022年4月28日(28.04.2022) JP
- (71) 出願人: 株式会社日立製作所(HITACHI, LTD.)
[JP/JP]; 〒1008280 東京都千代田区丸の内一丁目6番6号 Tokyo (JP).
- (72) 発明者: 嶋田 基巳 (SHIMADA, Motomi); 〒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). 岸本 憲樹(KISHIMOTO, Noriki); 〒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). 仲田 清(NAKATA, Kiyoshi); 〒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). 金子 貴志(KANEKO, Takashi); 〒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). 鈴木 暁(SUZUKI, Akira); 〒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). 畑 邦彦(HATA, Kunihiko); 〒1008280 東

(54) Title: RAILWAY UPCYCLE SYSTEM, METHOD OF SAME, AND GENERATION METHOD BY SAME

(54) 発明の名称: 鉄道アップサイクルシステム、その方法及びそれによる生産方法

[図1]



- 1 Car field
2 Simulation car field
3 Information transmission unit
11 Actual car
12 Actual car driving unit
13 Actual car control unit
14 Actual car driving control unit
21 Simulation car
22 Simulation car driving unit
23 Simulation car control unit
24 Simulation car driving control unit
AA State information
BB Voltage indication etc.
CC Current feedback etc.
DD Traction power control information

(57) Abstract: According to the present invention, a controller: configures a first digital twin model which belongs to a railway system and simulates a subject to be value-improved; adjusts parameters of the first digital twin model by fetching operation data of the subject; configures a second digital twin model which simulates a subject to be updated when the value of the subject is improved by improving the accuracy of the first digital twin model; and enables evaluation for value improvement by comparing the simulation results when the first digital twin model and the second digital twin model operate under the same condition. Therefore, a railway upcycle system is provided which can improve the performance

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: 弁理士法人サンネクスト国際特許事務所(SUNNEXT INTERNATIONAL PATENT OFFICE); 〒1400002 東京都品川区東品川二丁目3番12号 シーフォートスクエア センタービルディング16階 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, CV, CZ, DE, DJ, DK, DM, DO, DZ, EC, EE, EG, ES, FI, GB, GD, GE, GH, GM, GT, HN, HR, HU, ID, IL, IN, IQ, IR, IS, IT, JM, JO, JP, KE, KG, KH, KN, KP, KR, KW, KZ, LA, LC, LK, LR, LS, LU, LY, MA, MD, MG, MK, MN, MU, 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, ST, SV, SY, TH, TJ, TM, TN, TR, TT, TZ, UA, UG, US, UZ, VC, VN, WS, 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, CV, GH, GM, KE, LR, LS, MW, MZ, NA, RW, SC, 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, ME, 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:

一 国際調査報告 (条約第21条(3))

of an upcycle target, such as a facility or software related to the railway system, over that of existing specifications by accurately determining whether upcycling is right, and in addition, repetitively execute this performance improvement.

(57) 要約: コントローラは、鉄道システムに属する、価値向上する対象を模擬する第1デジタルツインモデルを設定し、対象の運用データを取り込むことによって第1デジタルツインモデルのパラメータを調整し、第1デジタルツインモデルの精度を向上させ、対象を価値向上した場合の更新対象を模擬する第2デジタルツインモデルを設定し、第1デジタルツインモデルと第2デジタルツインモデルとを同一条件下でそれぞれ運用した場合のシミュレーション結果を比較することによって、価値向上に対する評価を可能とする。これにより、アップサイクル是非に関して正確な判断を行えることによって、鉄道システムに係る、設備やソフトウェア等のアップサイクル対象について、従来の仕様性能より向上させることができ、更にこのような性能向上を繰り返し実行できる鉄道アップサイクルシステムを提供する。

明 細 書

発明の名称：

鉄道アップサイクルシステム、その方法及びそれによる生産方法

技術分野

[0001] 本発明は、鉄道アップサイクルシステム、その方法及びそれによる生産方法に関する。

背景技術

[0002] 近年、持続可能（サステナブル：Sustainable）な社会として、地球環境を壊さず、資源も使い過ぎず、未来の世代も豊かな生活を続けられる社会を目指す動きがある。その一環にアップサイクル（Upcycle）があり、対象となる製品（以下、「対象製品」又は「対象」ともいう）を全体的に性能向上しながら長持ちさせて廃棄物を減少させる。減少させた廃棄物さえもリサイクルしながら継続的に環境保全する循環可能な製品へと品質を変化させる。このようにして製品等の価値を向上させる技術が望まれている。

[0003] ここで、価値とは、環境的価値、経済的価値、社会的価値に分類できることが知られている。環境的価値は、資源循環のほか、鉄道システムでは、低消費エネルギー、低騒音、低振動、などがあげられる。経済的価値としては、低コストのほか、鉄道システムでは、小型軽量、安全性、ユーザ観点の使いやすさ、アクセスしやすさ、などがあげられる。社会的価値は、環境的価値、経済的価値の実現とともに目指すべき目標と考えられ、SDGs（Sustainable Development Goals）等が知られている。

[0004] 特許文献1には、運行中に車両に搭載されたセンサによって監視される車両のサブシステムのフィールドパフォーマンスデータを取得し、シミュレートされたパフォーマンスデータとフィールドパフォーマンスデータとの間の分散に基づいて車両のサブシステムのパフォーマンス複合インデックスを決定するシステムが記載されている。パフォーマンス複合インデックスに基づいて、運行中又はその後の運行中に車両を制御したり、健康スコアに基づいて

て、車両の予防保全を自動的にスケジューリングしたりすることが記載されている。

- [0005] 非特許文献1には、粘着制御のパラメータ設計にタグチメソッド（製品の製作において生じる様々な品質のばらつきを排除するため、設計段階でそれらのばらつきを受け入れ、実際の製品の機能においてばらつきが生じないようにする安定化設計手法）の枠組みをあてはめることで、時々刻々と変化する粘着状態に適切に追従するロバスト粘着制御について記載されている。

先行技術文献

特許文献

- [0006] 特許文献1：US 2018/0257683A1

非特許文献

- [0007] 非特許文献1：「ロバスト粘着制御」、第41回鉄道におけるサイバネティクス利用シンポジウム論文集、論文No. 518（2004-11）

発明の概要

発明が解決しようとする課題

- [0008] 循環可能な製品として、新たな価値（機能、性能、寿命など）を提供しながら使い続けるためには、モジュール化された機器やコンポーネントをプロダクトやマテリアルのレベルで使用来歴や品質情報などのデータを管理、追跡を可能にする必要がある。一方、鉄道分野では、調達→生産→使用→廃棄がリニア型、あるいは、一部のプロダクトやマテリアルのリサイクルは行うものの廃棄物を許容するリサイクル型の経済モデルで運用されており、プロダクトやマテリアルのレベルで使用来歴や品質情報を追跡できる仕組みを確立していない。

- [0009] また、ソフトウェア機能について、制御の性能を向上するため、従来、実車両環境で最終的なパラメータ調整、性能確認をしている。しかし、実車両環境では、路線状態、乗車状態、及び気象状態等が時々刻々変化する。実車両環境における運用状態を繰り返し再現、変化に応じて多数のパラメータ調

整し制御性能を安定に収束、実車両への適用判断まで完了できる、シミュレータ等の模擬車両環境の実現が望まれる。

[0010] このように、従来の鉄道システムでは、アップサイクル是非の判断が難しく、継続的なアップサイクルを円滑に実施することが困難であった。本発明の目的とするところは、アップサイクル是非に関して正確な判断を行えることによって、鉄道システムに関係する、設備やソフトウェア等のアップサイクル対象について、従来の仕様性能より向上させることができ、更にこのような性能向上を繰り返し実行できる鉄道アップサイクルシステムを提供することにある。

課題を解決するための手段

[0011] 上記課題を解決する本発明は、コントローラとメモリとを有し、該コントローラと該メモリとが、鉄道システムをシミュレーションするデジタルツイン環境を構築し、メモリのプログラムに従って、鉄道システムの価値向上を実行する鉄道アップサイクルシステムであって、コントローラは、鉄道システムに属する、価値向上する対象を模擬する第1デジタルツインモデルを設定し、対象の運用データを取り込むことによって第1デジタルツインモデルのパラメータを調整し、第1デジタルツインモデルの精度を向上させ、対象を価値向上した場合の更新対象を模擬する第2デジタルツインモデルを設定し、第1デジタルツインモデルと第2デジタルツインモデルとを同一条件下でそれぞれ運用した場合のシミュレーション結果を比較することによって、価値向上に対する評価を可能とする。

発明の効果

[0012] 本発明によれば、アップサイクル是非に関して正確な判断を行えることによって、鉄道システムに関係する、設備やソフトウェア等のアップサイクル対象について、従来の仕様性能より向上させることができ、更にこのような性能向上を繰り返し実行できる鉄道アップサイクルシステムを提供できる。

図面の簡単な説明

[0013] [図1]本発明の実施例1に係る鉄道アップサイクルシステム（以下、「本アッ

プサイクルシステム」ともいう)における並列解析の概念を示す構成図である。

[図2]図1の本アップサイクルシステムの基本動作を示す機能構成図である。

[図3]図1の本アップサイクルシステムの基本動作(模擬車両モデル更新)の一例を示す機能構成図である。

[図4]図1の本アップサイクルシステムの基本動作(実車両制御更新)の一例を示す機能構成図である。

[図5]図1の本アップサイクルシステムの情報伝送部3の一例を示す模式説明図である。

[図6]本発明の実施例2に係る鉄道アップサイクルシステム(これも「本アップサイクルシステム」という)による蓄電池の循環体制を説明するための概念説明図である。

[図7]図6の循環体制において、パラメータ同定を説明するための模式説明図である。

[図8]図7のパラメータ同定の手順を説明するためのフローチャートである。

[図9]図6の循環体制において、アップサイクル評価を説明するための模式説明図である。

[図10]図9のアップサイクル評価の手順を説明するためのフローチャートである。

[図11]図6の循環体制において、パラメータ同定(アップサイクル後)を説明するための模式説明図である。

[図12]図11のパラメータ同定(アップサイクル後)の手順を説明するためのフローチャートである。

[図13]図6の循環体制において、メンテナンス判断を説明するための模式説明図である。

[図14]図13のメンテナンス判断の手順を説明するためのフローチャートである。

[図15]本アップサイクルシステムにおいて、製品と材料のデータ管理機能の

ほか、メンテナンス計画の提案機能を説明するための概念説明図である。

[図16]図5の実車両11a, 11bを1編成に連結した変形例の構成を示す機能ブロック図である。

[図17]図17は、図16の実車両11aの構成をより詳細に示す機能ブロック図である。

[図18]図1の並列解析システムのハードウェア／ソフトウェアのトレーサビリティ（追跡可能性：traceability）を規定するIDシステムの一例を示す図である。

[図19]実施例3のアップサイクルシステムにより、蓄電池の循環体制を説明するための概念説明図である。

[図20]図5で示した情報伝送部3の他の例を示す模式説明図である。

[図21]図17の主回路蓄電池123が、複数の蓄電池システムからなるときの実車両11の駆動システムの構成について示したブロック図である。

[図22]蓄電池システムの内部構成について示した図である。

[図23]（a）は、蓄電池システムからのデータ収集を行うコントローラの構成を示した図である。（b）は、蓄電池の品質データとして必要とされる必要データについて示した図である。

[図24]実施例3で、トレーサビリティを可能とするIDシステムの一例を示す図である。

[図25]実施例3で、トレーサビリティを可能とするIDシステムの一例を示す図である。

[図26]蓄電池システムの整備交換過程を示すステップ図である。

[図27]蓄電池システムの整備交換過程を示すフロー図である。

[図28]蓄電池システムの充放電動作を模擬するモデル（シミュレーションモデル）の構成を示した図である。

発明を実施するための形態

[0014] 以下、本発明の実施形態に係る本アップサイクルシステムについて、図面を用いて説明する。図1～図5を用いて主にソフトウェアに関する実施例1を

説明し、図6～図18を用いて主にハードウェア（モノ）に関する実施例2を説明する。なお、各図にわたって、同効の部位には同一符号を付して説明の重複を避ける。また、図6は、記載された語句に基づいて、各要件の関連性も図に明示されているため符号を省略する。同様に、図9、図11、図13、図15及び図18も符号を省略する。

[0015] なお、実施例では、コントローラとメモリとを有し、該コントローラと該メモリとが、鉄道システムをシミュレーションするデジタルツイン環境を構築し、メモリのプログラムに従って、鉄道システムの価値向上を実行する鉄道アップサイクルシステム又は鉄道アップサイクル方法であって、コントローラは、鉄道システムに属する、価値向上する対象を模擬する第1デジタルツインモデルを設定し、対象の運用データを取り込むことによって第1デジタルツインモデルのパラメータを調整し、第1デジタルツインモデルの精度を向上させ、対象を価値向上した場合の更新対象を模擬する第2デジタルツインモデルを設定し、第1デジタルツインモデルと第2デジタルツインモデルとを同一条件下でそれぞれ運用した場合のシミュレーション結果を比較することによって、価値向上に対する評価を可能とする、ものを説明する。また、該鉄道アップサイクルシステム又は該鉄道アップサイクル方法を用いて、対象を価値向上した鉄道システムを生産する、鉄道アップサイクル生産方法を説明する。

[0016] また、実施例では、同定済みで既存のデジタルツインモデルに含まれる一以上の機能を新機能により更新して新しいデジタルツインモデルにする、ことを説明する。

[0017] また、実施例では、鉄道システムに属する対象と、これに対応したデジタルツインモデルには、共通のIDが付与され、該IDに運用データが紐づけされる、ことを説明する。

[0018] また、実施例では、デジタルツインモデルのパラメータの調整に用いられる運用データには、列車の運行情報、運転指令若しくは運転操作、列車の構成情報、又は車両の機器動作が含まれる、ことを説明する。

[0019] また、実施例では、デジタルツインモデルのパラメータの調整に用いられる運用データには、対象が駆動制御装置ならば、周波数、入出力電流／電圧、又はパワーユニット温度が含まれ、対象が補助電源制御装置ならば、周波数、入出力電流／電圧、又はパワーユニット温度が含まれ、対象が蓄電池ならば、充放電電流、電圧、SOC、SOH、又は温度が含まれ、対象が列車情報制御装置ならば、各機器状態、乗車率、又は気温室温が含まれ、対象が車両の部材ならば、振動、温度、又は歪みが含まれる、ことを説明する。

[0020] また、実施例では、鉄道システムに属する対象の運用データに事故又は故障に起因した異常データが含まれていないと判断した後、デジタルツインモデルのパラメータを調整する、ことを説明する。

[0021] また、実施例では、性能低下を時刻暦ベースのシミュレーションにより把握して性能劣化時期を予測し、鉄道システムに属する対象の劣化が始まる前に価値向上時期を決定し提案する、ことを説明する。

[0022] また、実施例では、鉄道システムに属する対象の運用データには、自動運転又は運転支援システムを利用した運転のデータを用いる、ことを説明する。また、自動運転の運転パターン、又は運転支援システムの運転パターンの少なくとも何れかにデジタルツインモデルの調整に必要な運転パターンを規定しておく、ことを説明する。

[0023] また、実施例では、実車の運用データ以外の変動データも入力したシミュレーション結果を比較することによって、価値向上に対する評価を可能とする、ことを説明する。

[0024] また、実施例では、価値向上する対象が、実車、蓄電池、駆動制御装置、補助電源制御装置、燃料電池システム、空調装置、車内監視装置、列車情報制御装置、旅客情報提供装置、座席、車両の部材、前方監視装置、安全監視装置、運転支援システム、自動運転の制御機能、又は地上/車上間無線情報伝送の制御機能の何れかである、ことを説明する。

[0025] また、実施例では、鉄道システムに属する対象には、個体認識に用いるIDが付与され、該IDにカルテが紐づけられ、該カルテは、変更作業データと同

じ作業実施内容により更新される、ことを説明する。

- [0026] また、実施例では、運用データに基づいてデジタルツインモデル上で制御ソフトウェアのパラメータを自動調整し、所定トリガに応じて自動調整されたソフトウェアを有効化する、ことを説明する。また、制御ソフトウェアの自動調整されるパラメータが、粘着制御、前方監視感度、運転支援システムパターン、自動列車制御パターン、ハイブリッドエネルギー管理、蓄電池電流制限、蓄電池SOC範囲制限、加速度制限による引張力制御、空制ブレンディング制御、又は機器動作チェンジオーバー地点情報である、ことを説明する。

実施例 1

- [0027] ここでは、鉄道に関連するアップサイクルの対象として、電車の駆動システムの制御ソフトウェアを例示するが、運行管理システム、車両情報制御システム、自動運転システム等の車載機器の制御ソフトウェアも含む。実施例 1 は、鉄道車両駆動制御システムの動作を予測し、制御を最適化する、並列解析システム（図 1 参照）を例示する。すなわち、鉄道車両駆動制御システムを実現するソフトウェアを更新した場合の利害得失を検証し、更新（アップサイクル）の是非について判断を支援する本アップサイクルシステムを例示する。
- [0028] つまり、本アップサイクルシステムは、鉄道車両の駆動制御を、路線状態、乗車状態、気象状態に対応した最適な状態に維持できるように、リアル空間の実車の状況を模擬したデジタルツインにシミュレーションさせた結果、アップサイクルの成果があると判断されたならば、そのように実行する。安定制御パラメータの探索は、可能な限り実車両 11 に近い環境を実現するシミュレーション環境等において、安定制御パラメータを探索し決定する手順とすることが望ましい。
- [0029] 鉄道車両駆動制御システムは、列車を構成する電動車両と付随車両のうち、電動車に搭載する主電動機 117 のトルクを、同一車両あるいは近接車両に搭載する主変換装置で制御して列車を駆動する。
- [0030] 主電動機 117 のトルク制御は、主電動機 117 の機械的・機械的特性や

、駆動系仕様（車輪径、ギヤ比等）、車両仕様（車両質量、走行抵抗、荷重等）等の機器仕様、車両仕様を基に、加速特性、減速特性等所定の車両性能を満たすように機能設計し、主変換装置のコントローラに実装するソフトウェアで実現することが一般的である。

[0031] 上記の様に、車両性能を実現する主変換装置のソフトウェアは、機器・車両仕様を基に機能設計する。設計したソフトウェアで実現する車両性能は、所定の性能を満たしていることを最終的に実車両 11 の走行試験で確認する。

[0032] 仮に、機器や車両仕様が実車両 11 と全く等価であれば、走行試験では設計した車両性能が、所定の性能を満たしていることを確認するだけで良い。しかし、実際は、機器や車両仕様と実車両 11 は、程度の大小はあるが、仕様の差異が必ず存在する。

[0033] 機器仕様については、主電動機 117 の特性定数、その温度変化や車載配線長によるバラツキが存在する。機器効率についても、設計値と実測値が完全に一致することはない。車両仕様については、車両質量の設計値と実測値には、製作誤差が必ず存在する。また、実車両 11 の走行抵抗は車体形状で大きく異なるが、設計ではJIS規格等による走行抵抗式を適用しており、実際、両者は必ずしも一致しない。

[0034] このように、理想的な機器仕様、車両仕様に基づいて設計した車両性能は、実車両 11 とは異なる。このため、実車両 11 の走行試験で両者の違いを認識した上で、所定の性能となる様に制御調整する必要がある。

[0035] 調整が必要な車両性能としては、加速、減速等の運転性能（雨天（レール面がウェット）時の評価を含む）が重要である。ベクトル制御等で駆動される主電動機 117 の基本制御について、主電動機特性定数の設計値と実測値の差異が安定性に影響するため、実車両 11 における制御調整が必要となっている。

[0036] また、高調波帰線電流や電磁環境両立性（EMC : Electro-magnetic compatibility）による信号機器への影響について、実車両 11 での制御調整が必要

な場合もある。実車両 11 での制御調整の一例として、非特許文献 1 に示す「ロバスト粘着制御」が挙げられる。この「ロバスト粘着制御」では、鉄道車両でモータトルクを基に車輪からレールに伝達する踏面力が、雨天時等車輪とレール間の摩擦限界を越えることで発生する空転を踏面力の引下げで抑える粘着制御が開示されている。

[0037] この粘着制御は、降雨状態等の摩擦限界の変動に対して安定に踏面力を伝達する安定制御パラメータを探索するタグチメソッドと、安定制御パラメータを適用した実車両 11 による性能検証と、を実行する。なお、一般的に、加速時は空転、減速時は滑走と区別するが、ここでは総称して「空転」とする。

[0038] 図 1 は、本アップサイクルシステムにおける並列解析の概念を示す構成図である。本アップサイクルシステムにおいて、実車両フィールド 1 は、実車両 11 の走行に必要な設備を備えた環境であり、少なくとも実車両 11 のほか、図示していない線路等の軌条 15（図 5、図 6）を備える。また、実車両 11 が車両外より電力の供給を受けて走行する電気車の場合、架線や第 3 軌条等、車両 11 に電力を供給する電力供給部 16（図 5、図 6）を備える。

[0039] 実車両 11 は、自らを駆動する電動機、インバータ装置等で構成する実車両駆動部 12 を備える。実車両駆動部 12 には、制動時に電動機が発生する回生電力、あるいは燃料電池、エンジン等の発電電力を一時的に蓄電し、適時に電動機に供給し駆動力を得る蓄電部を設けることもある。

[0040] 実車両制御部 13 は、前述した実車両 11 を構成する各部の状態を監視し動作を制御する。実車両駆動部 12 と、実車両駆動制御部 14 は、相互に駆動制御に必要な情報を送受するインタフェースを備える。おもに送受情報として、実車両駆動制御部 14 は、実車両駆動部 12 を構成するインバータ装置のスイッチング回路をオン／オフする PWM 信号 V_p を出力する。実車両駆動部 12 は、PWM 信号 V_p を入力してスイッチング回路を制御した結果として、少なくとも電動機に通流する電動機電流 I_m 、スイッチング回路の入力電圧 E_{cf}

を出力し、模擬車両駆動制御部 24 に入力する。

[0041] 模擬車両フィールド 2 は、模擬車両 21 の走行に必要な設備を備えた環境であり、少なくとも模擬車両 21 のほか、線路等の軌条 15（図 5、図 6）を備える。また、模擬車両 21 が車両外より電力の供給を受けて走行する電気車の場合、架線や第 3 軌条等、車両 11 に電力を供給する電力供給部 16（図 5、図 6）を備える。このように、模擬車両フィールド 2 では、実車両フィールド 1 の実車両 11 を模擬車両 21 に置換える。同じく、実車両駆動部 12 を模擬車両駆動部 22 に、実車両制御部 13 を模擬車両制御部 23 に、実車両駆動制御部 14 を模擬車両駆動制御部 24 に置換えて構成する。

[0042] 模擬車両フィールド 2 を構成する模擬車両 21、模擬車両駆動部 22、模擬車両制御部 23、模擬車両駆動制御部 24 は、電子計算機上のシミュレータであるが、模擬車両 21 を実車両 11 に、模擬車両駆動部 22 を実車両駆動部 12 に、模擬車両制御部 23 を実車両制御部 13 に、模擬車両駆動制御部 24 を実車両駆動制御部 14 に、そのいずれか又は複数の部を実在する部に置換えた混合構成（Hardware In the Loop Simulator）も実現できる。ここで、実車両フィールド 1 と、模擬車両フィールド 2 は、同一の時間スケールで動作するが、両者が動作する絶対時間は必ずしも同一である必要はない。

[0043] 模擬車両 21 は、自らを駆動する電動機、インバータ装置等で構成する模擬車両駆動部 22 を備える。模擬車両駆動部 22 には、制動時に電動機が発生する回生電力、あるいは燃料電池、エンジン等の発電電力を一時的に蓄電し、適時に電動機に供給して駆動力を得る蓄電部を設けることもある。

[0044] 模擬車両制御部 23 は、前述した模擬車両 21 を構成する各部の状態を監視し動作を制御する。模擬車両駆動部 22 と、模擬車両駆動制御部 24 は、相互に駆動制御に必要な情報を送受するインタフェースを備える。おもに送受情報として、模擬車両駆動制御部 24 は、模擬車両駆動部 22 を構成するインバータ装置のスイッチング回路をオン/オフする PWM 信号 V_p を出力する。模擬車両駆動部 22 は、PWM 信号 V_p を入力してスイッチング回路を制御した結

果として、少なくとも電動機に通流する電動機電流 I_m 、スイッチング回路の入力電圧 E_{cf} を出力し、模擬車両駆動制御部24に入力する。

[0045] このように、模擬車両フィールド2は、実車両フィールド1を構成する実車両11、実車両駆動部12、実車両制御部13、実車両駆動制御部14のすべて、又はその一部をCPUとメモリを有する電子計算機で実現するシミュレータで置換え、相互にデータ收受して、実車両フィールド1と模擬車両フィールド2の並列走行を可能とする。ここで、並列走行とは、実車両フィールド1と模擬車両フィールド2に同一の運転指令に基づいて走行したとき、走行データ、例えば車両の加速度、速度、走行距離や車両駆動部の電流値、電圧値等について、両者の差分を最小とする鉄道システムの制御方式である。

[0046] 実車両フィールド1における実車両11を構成する各部の状態は、情報伝送部3を介して模擬車両フィールド2に伝送する。模擬車両フィールド2を構成する模擬車両21は、電子計算機で実現するシミュレータ上の物理理論モデルとして定義される。しかし、物理理論モデルとしての模擬車両環境に対して、実車両環境は路線状態、乗車状態、気象状態等の変動要素が存在する。

[0047] 実車両フィールド1と模擬車両フィールド2が同一の運転指令に基づいて走行した場合の走行データ、例えば車両の加速度、速度、走行距離や車両駆動部の電流値、電圧値について、両者の差分を最小化する図示していない車両動作解析部231を備え、解析結果に基づいて模擬車両21の物理理論モデルを修正する。

[0048] 修正後の物理理論モデルによる模擬車両21によれば、実車両フィールド1と模擬車両フィールド2が同一の運転指令に基づいて走行した場合の走行データは同一と期待できる。すなわち、模擬車両フィールド2で、模擬車両駆動部22と模擬車両制御部23の制御動作が安定であれば、模擬車両フィールド2で、実車両駆動部12と実車両制御部13の制御動作も安定であると期待できる。このため、まずは模擬車両フィールド2で模擬車両駆動部22と模擬車両制御部23の制御動作が安定となるように、駆動制御動作デー

タを修正する。

[0049] 具体的には、模擬車両制御部 2 3 は、模擬車両駆動制御部 2 4 の制御動作を実現する駆動制御動作データを変更し、模擬車両 2 1 を構成する各部の状態を安定化する調整演算部を備える。一例として、車輪とレールの空転/滑走を防ぐ粘着制御は、車輪・レール間の粘着状態（接線力係数）と、粘着制御で実現する車両加速度が比例関係（ $Y = k X$ ）となることが理想であり、模擬車両フィールド 2 で粘着状態を変更して測定した車両加速度が、比例関係（ $Y = k X$ ）となるように駆動制御動作データを変更して駆動制御動作データを最適化し、制御動作の安定性を検証する。

[0050] 最適化した駆動制御動作データは、情報伝送部 3 を介して実車両フィールド 1 に伝送し車両制御部 1 3 ないし車両駆動制御部 1 4 に既に実装されている駆動制御動作データを更新する。車両制御部 1 3 ないし車両駆動制御部 1 4 の駆動制御動作データ更新は、実車両フィールド 1 の実車両 1 1 が停車中、車両駆動制御部 1 4 の動作停止中等、所定条件が成立した時点で自動的に行うことを基本とするが、特別な状況として責任者の判断による手動操作や、責任者に準じた A I 等による判断に基づいて行うことが考えられる。

[0051] さらに、実車両フィールド 1 の最適化した駆動制御動作データにより動作した実車両 1 1 の走行データは、情報伝送部 3 を介して模擬車両フィールド 2 に伝送する。実車両フィールド 1 と模擬車両フィールド 2 が同一の運転指令に基づいて走行した場合の走行データ、例えば車両の加速度、速度、走行距離や車両駆動部の電流値、電圧値について、差分を最小化するように模擬車両駆動制御部 2 4、又は模擬車両 2 1 の物理理論モデルの駆動制御動作データを再修正する。駆動制御動作データ、物理理論モデルの何れを修正するかは、以下の基準によりシミュレータが判断する。

[0052] 実車両フィールド 1 と模擬車両フィールド 2 が同一の運転指令に基づいて走行した場合の、実車両 1 1 の走行データと、実車両 1 1 の走行データについて、最適化前後の駆動制御動作データにより動作した実車両 1 1 の走行データ差分と、最適化前後の駆動制御動作データにより動作した実車両 1 1 の

走行データ差分を比較し、以下を実行する。

[0053] (1) 上記差分がゼロに限りなく近い所定値未満の場合：駆動制御動作データを再修正する。

(2) 上記差分がゼロに限りなく近い所定値以上の場合：物理理論モデルを再修正する。

[0054] 実車両フィールド1と模擬車両フィールド2の環境が同一であれば、最適化前後の駆動制御動作データにより動作した実車両11の走行データ差分と、最適化前後の駆動制御動作データにより動作した実車両11の走行データは同一と期待される。ここに差分が生じる原因は、実車両フィールド1と模擬車両フィールド2の環境が同一でないと推定され、このことから模擬車両フィールド2の物理理論モデルに修正が必要という判断する。なお、この判断について最適化前後の駆動制御動作データにより動作した実車両11、模擬車両21の制御性能の良悪は不問である。

[0055] ここで、駆動制御動作データは、実車両駆動部12の動作を制御するために実車両駆動制御部14に実装、あるいは模擬車両駆動部22の動作を制御するために模擬車両駆動制御部24に実装する、ソフトウェア等の制御論理又は制御論理の構成パラメータである。

[0056] 以上の構成により、実車両フィールド1の走行データに基づいて、模擬車両フィールド2を構成するシミュレータのモデル精度を向上できる。また、模擬車両フィールド2を構成するシミュレータのモデル精度向上により、実車両フィールド1で駆動制御動作データを変更した際の動作を、模擬車両フィールド2にて駆動制御動作データを変更した際の動作に基づいて予測し事前検証できる。さらに、模擬車両フィールド2で事前検証した前記駆動制御動作データは、情報伝送部3を介して実車両フィールド1に伝送し、実車両フィールド1の駆動制御動作データを変更して実際の動作を確認できる。

[0057] すなわち、実車両11と動きが同じになるよう模擬車両21の精度を向上し、精度を向上した模擬車両21で駆動制御を調整し、調整した駆動制御動作データを実車両11に適用する手順を実現することで、自律的に駆動制御

の最適化を図る鉄道システムの制御方式を実現する。

[0058] 図2は、図1の本アップサイクルシステムの基本動作を示す機能構成図である。図2において、実車両フィールド1と、模擬車両フィールド2は、情報伝送部3により、情報データを相互に送受できる構成である。運転指令部111は、力行（加速）、ブレーキ（減速/停止）、オフ（惰行）等、実車両11の動作を指令する運転指令COMを出力する。運転士が操作する主幹制御器や、自動運転の場合はATO（Automatic Train Operation）装置等が該当する。

[0059] 運転指令COMは、実車両駆動制御部14に入力され、実車両11が運転指令COMに従い動作するように、図示しない実車両駆動部12が出力する駆動力を制御する。また、実車両駆動制御部14は、実車両11が運転指令COMに従い動作するように、実車両駆動部12が出力する駆動力を制御した結果として、状態情報STARrを出力する。

[0060] 状態情報STARrは、実車両駆動制御部14のソフトウェア演算にて認識している物理量データであり、車両の加速度Acc、速度Vel、位置Pos、主電動機117の回転速度Fr、電流Im、電圧Vm、インバータ装置の直流電流Is、直流電圧Ecf等である。運転指令COMと、状態情報STARrは、情報伝送部3を介して、模擬車両フィールド2に入力される。

[0061] 運転指令COMは、模擬車両21を構成する模擬車両駆動制御部24に入力され、模擬車両21が運転指令COMに従い動作するように、図示しない模擬車両駆動部22が出力する駆動力を制御する。状態情報STARrのうち、特に実車両11の速度データVELr、位置データPOSrは、記憶部（メモリ）233に入力される。

[0062] 記憶部233は、実車両11が走行する路線の勾配データ、曲線データ、駅位置データSTN等を記憶している。勾配データは、実車両11の走行位置データPOSrに対する、その位置の勾配量（走行距離に対する標高増加率）を定めたテーブルデータである。勾配データは、実車両11の走行位置データPOSrに対する、線路の曲率（曲線半径の逆数）を定めたテーブルデータである。

駅位置データSTNは、実車両 1 1 の走行位置データPOSrに対する、走行路線に配置されている駅施設の位置を示すテーブルデータである。駅施設は、停車場、停留所のほか、信号所等を含まれ、通常は各施設の中心位置を示すキロ程で示される。

[0063] 車両動作解析部 2 3 1 は、模擬車両 2 1 が出力する状態情報STAsと、実車両 1 1 が出力して情報伝送部 3 を介して模擬車両フィールド 2 に伝送される状態情報STARrが入力され、状態情報STAsと状態情報STARrを基に、実車両 1 1 の動作と、模擬車両 2 1 の動作が近似する、模擬車両 2 1 の補正パラメータ ΔMDL を算出する。補正パラメータ ΔMDL は、模擬車両 2 1 に入力され、模擬車両 2 1 の構成パラメータを修正する。

[0064] 同様に、実車両駆動部 1 2 と模擬車両駆動部 2 2 の挙動の差異についても、実車両駆動部 1 2 の挙動に追従するように模擬車両駆動部 2 2 の構成パラメータを修正する。制御データ解析部 2 3 2 は、状態情報STAsを入力し、状態情報STAsとその目標とする制御結果である状態値STApが、最も近似する最適制御パラメータを解析し決定する。

[0065] この最適制御パラメータの解析は、運転指令COMに基づいた模擬車両 2 1 の動作の結果である状態情報STAsが、同じく運転指令COMに基づいた実車両 1 1 の動作の結果である状態情報STARrに追従するように、模擬車両 2 1 の構成パラメータの修正が完了した後に行う。構成パラメータ修正完了後の模擬車両 2 1 及び模擬車両駆動部 2 2 は、運転指令COMに対して実車両 1 1、実車両駆動部 1 2 と同等の挙動を示すので、実車両制御部 1 3 と模擬車両制御部 2 3、実車両駆動制御部 1 4 と模擬車両駆動制御部 2 4 の制御動作を等しくすれば、実車両フィールド 1 と模擬車両フィールド 2 の挙動も等しくなる。

[0066] このため、模擬車両フィールド 2 の制御データ解析部 2 3 2 にて決定した最適制御パラメータを実車両フィールド 1 の実車両制御部 1 3、実車両駆動制御部 1 4 に適用することにより、実車両フィールド 1 において目標とする制御結果を実現できる。なお、模擬車両フィールド 2 から、実車両フィールド 1 への最適制御パラメータの伝送は、情報伝送部 3 により実現する。

[0067] 以上の構成により、実車両フィールド１の走行データに基づいて、模擬車両フィールド２を構成するシミュレータのモデル精度を向上できる。また、模擬車両フィールド２を構成するシミュレータのモデル精度向上により、実車両フィールド１で駆動制御動作データを変更した際の動作を、模擬車両フィールド２にて駆動制御動作データを変更した際の動作に基づいて予測し事前検証できる。さらに、模擬車両フィールド２で事前検証した前記駆動制御動作データは、情報伝送部３を介して実車両フィールド１に伝送し、実車両フィールド１の駆動制御動作データを変更して実際の動作を確認できる。

[0068] すなわち、実車両１１と動きが同じになるよう模擬車両２１の精度を向上し、精度を向上した模擬車両２１で駆動制御を調整し、調整した駆動制御動作データを実車両１１に適用する手順を実現することで、自律的に駆動制御の最適化を図る鉄道システムの制御方式を実現する。

[0069] ここで、駆動制御動作データは、実車両駆動部１２の動作を制御するために実車両駆動制御部１４に実装、あるいは模擬車両駆動部２２の動作を制御するために模擬車両駆動制御部２４に実装する、ソフトウェア等の制御論理又は制御論理の構成パラメータである。

[0070] 図３は、図１の本アップサイクルシステムの基本動作（模擬車両モデル更新）の一例を示す機能構成図である。図３において、実車両フィールド１と、模擬車両フィールド２は、情報伝送部３により、情報データを相互に送受できる構成である。運転指令部１１１は、力行（加速）、ブレーキ（減速/停止）、オフ（惰行）等、実車両１１の動作を指令する運転指令COMを出力する。運転士が操作する主幹制御器や、自動運転の場合はAT0装置等が該当する。

[0071] 運転指令COMは、実車両駆動制御部１４に入力され、実車両１１が運転指令COMに従い動作するように、図示しない実車両駆動部１２が出力する駆動力を制御する。また、実車両駆動制御部１４は、実車両１１が運転指令COMに従い動作するように、実車両駆動部１２が出力する駆動力を制御した結果として、状態情報STARrを出力する。これにより、実車両データとして、運転指令、位置、速度を収集することができる。

- [0072] 状態情報STARrは、実車両駆動制御部14のソフトウェア演算にて認識している物理量データであり、車両の加速度Acc、速度Vel、位置Pos、主電動機117の回転速度Fr、電流Im、電圧Vm、インバータ装置の直流電流Is、直流電圧Ecf等である。運転指令COMと、状態情報STARrは、情報伝送部3を介して、模擬車両フィールド2に入力される。
- [0073] 状態情報STARrのうち、特に実車両11の速度データVELr、位置データPOSrは、記憶部233に入力される。記憶部233は、実車両11が走行する路線の勾配データGRD、曲線データCRV、駅位置データSTN等を記憶している。勾配データGRDは、実車両11の走行位置データPOSrに対する、その位置の勾配量（走行距離に対する標高増加率）を定めたテーブルデータである。勾配データGRDは、実車両11の走行位置データPOSrに対する、線路の曲率（曲線半径の逆数）を定めたテーブルデータである。
- [0074] 駅位置データSTNは、実車両11の走行位置データPOSrに対する、走行路線に配置されている駅施設の位置を示すテーブルデータである。駅施設は、停車場、停留所のほか、信号所等を含み、通常は各施設の中心位置を示すキロ程で示される。
- [0075] 車両動作解析部231は、模擬車両21が出力する状態情報STAsと、実車両11が出力して情報伝送部3を介して模擬車両フィールド2に伝送される状態情報STARrが入力され、状態情報STAsと状態情報STARrを基に、実車両11の動作と、模擬車両21の動作が近似する、模擬車両21の補正パラメータ ΔMDL を算出する。補正パラメータ ΔMDL は、模擬車両21に入力され、模擬車両21の構成パラメータを修正する。車両動作解析部231は、実車両11と模擬車両21によるシミュレーションとの速度差を求める。そして、車両動作解析部231は、速度差（ $\div$ 走行抵抗誤差）を補正するように走行抵抗係数を補正する。
- [0076] 模擬車両21が出力する状態情報STAsである位置データPOSrと、勾配データGRDより、勾配抵抗 R_g （POSr）を求める。位置データPOSrと、曲線データCRVより、勾配抵抗 R_c （POSr）を求める。また、速度データVELrと走行抵抗式よ

り R_r (VEL_r) を求める。走行抵抗式は規格等で定められており、例えば下式 (1) が知られている。

$$[0077] \quad R(v) = (1.65 + 0.0247 \cdot V(v)) \cdot m_M + (0.78 + 0.0028 \cdot V(v)) \cdot m_T + 9.81 \cdot [0.028 + 0.0078 \cdot (n-1)] \cdot V^2(v) \cdots (1)$$

[0078] ここで、 R : 走行抵抗 (N)

ΔR : 走行抵抗補正值 (N)

V : 電車の速度 (km/h)

m_M : 編成中の電動車の全質量による荷重 (kN)

m_T : 編成中の制御車及び付随車の全質量による荷重 (kN)

n : 編成両数

[0079] 走行抵抗式として数式 1 を適用した場合、数式 1 の V は前述の速度 VEL_r において、 $R_r(VEL_r) = R(VEL_r)$ である。一方、実車両 11 の運転指令 COM、位置 POS、速度 VEL_r (タイムスタンプ付) をもとに、実車両 11 の走行抵抗 R_{msd} を測定する、走行抵抗式より求めた走行抵抗 $R_r(VEL_r)$ との差分より走行抵抗補正值 ΔR を下式 (2) で求める。

$$[0080] \quad \Delta R = R_r(VEL_r) - R_{msd} \cdots (2)$$

補正後走行抵抗 $R_{rev}(VEL_r)$ は、下式 (3) の走行抵抗より求めた $R_r(VEL_r)$ に、走行抵抗補正值 ΔR を加算して求める。

$$[0081] \quad R_{rev}(VEL_r) = R_r(VEL_r) + \Delta R \cdots (3)$$

[0082] 模擬車両フィールド 2 に、この補正後走行抵抗 $R_{rev}(VEL_r)$ を適用することにより、模擬車両 21 の動作を実車両 11 の動作により近づけることができる。以上の構成により、実車両フィールド 1 の走行データに基づいて、模擬車両フィールド 2 を構成するシミュレータのモデル精度を向上できる。

[0083] また、模擬車両フィールド 2 を構成するシミュレータのモデル精度向上により、実車両フィールド 1 で駆動制御動作データを変更した際の動作を、模擬車両フィールド 2 にて駆動制御動作データを変更した際の動作に基づいて予測し事前検証できる。

[0084] さらに、模擬車両フィールド 2 で事前検証した前記駆動制御動作データは

、情報伝送部 3 を介して実車両フィールド 1 に伝送し、実車両フィールド 1 の駆動制御動作データを変更して実際の動作を確認できる。

[0085] すなわち、実車両 1 1 と動きが同じになるよう模擬車両 2 1 の精度を向上し、精度を向上した模擬車両 2 1 で駆動制御を調整し、調整した駆動制御動作データを実車両 1 1 に適用する手順を実現することで、自律的に駆動制御の最適化を図る鉄道システムの制御方式を実現する。

[0086] ここで、駆動制御動作データは、実車両駆動部 1 2 の動作を制御するために実車両駆動制御部 1 4 に実装、あるいは模擬車両駆動部 2 2 の動作を制御するために模擬車両駆動制御部 2 4 に実装する、ソフトウェア等の制御論理又は制御論理の構成パラメータである。

[0087] 図 4 は、図 1 の本アップサイクルシステムの基本動作（実車両制御更新）の一例を示す機能構成図である。図 4 において、運転指令部 1 1 1 は、力行（加速）、ブレーキ（減速/停止）、オフ（惰行）等、実車両 1 1 の動作を指令する運転指令COMを出力する。運転士が操作する主幹制御器や、自動運転の場合はATO装置等が該当する。

[0088] 運転指令COMは、実車両駆動制御部 1 4 に入力され、実車両 1 1 が運転指令COMに従い動作するように、図示しない実車両駆動部 1 2 が出力する駆動力を制御する。また、実車両駆動制御部 1 4 は、実車両 1 1 が運転指令COMに従い動作するように、実車両駆動部 1 2 が出力する駆動力を制御した結果として、状態情報STARrを出力する。これにより、実車両データとして、運転指令、位置、速度を収集することができる。

[0089] 状態情報STARrは、実車両駆動制御部 1 4 のソフトウェア演算にて認識している物理量データであり、車両の加速度Acc、速度Vel、位置Pos、主電動機 1 1 7 の回転速度Fr、電流Im、電圧Vm、インバータ装置の直流電流Is、直流電圧Ec等である。運転指令COMと、状態情報STARrは、情報伝送部 3 を介して、模擬車両フィールド 2 に入力される。

[0090] 状態情報STARrのうち、特に実車両 1 1 の速度データVELr、位置データPOSrは、記憶部 2 3 3 に入力される。記憶部 2 3 3 は、実車両 1 1 が走行する路

線の勾配データGRD、曲線データCRV、駅位置データSTN等を記憶している。勾配データGRDは、実車両11の走行位置データPOSrに対する、その位置の勾配量（走行距離に対する標高増加率）を定めたテーブルデータである。

[0091] 勾配データGRDは、実車両11の走行位置データPOSrに対する、線路の曲率（曲線半径の逆数）を定めたテーブルデータである。駅位置データSTNは、実車両11の走行位置データPOSrに対する、走行路線に配置されている駅施設の位置を示すテーブルデータである。駅施設は、停車場、停留所のほか、信号所等を含み、通常は各施設の中心位置を示すキロ程で示される。

[0092] 車両動作解析部231は、模擬車両21が出力する状態情報STAsと、実車両11が出力して情報伝送部3を介して模擬車両フィールド2に伝送される状態情報STARrが入力され、状態情報STAsと状態情報STARrを基に、実車両11の動作と、模擬車両21の動作データを算出する。ここで、実車両11と模擬車両21の動作データとは、車両ダイナミクスに関するデータで下記、又はその一部を含む。

[0093] 列車を構成する各車両の加速度： $((d/dt)V_{xv_i}, (d/dt)\theta_{yv_i}$ 、速度： V_{xv_i}, θ_{yv_i}

各車両の台車の加速度： $(d/dt)V_{xt_ji}, (d/dt)\theta_{yt_ji}$ 、速度： $V_{xt_ji}, \theta_{yt_ji}$

各台車の輪軸の加速度： $(d/dt)V_{xw_kji}, (d/dt)\theta_{yw_kji}$ 、速度： $V_{xw_kji}, \theta_{yw_kji}$

なお、 V_x はX軸（レール方向）の速度、 θ_y はY軸（枕木方向）の角速度である。

（ i は車両の号車で $i=1, 2, 3\cdots$ 、 j は各車両の台車で $j=1, 2\cdots$ 、 k は各車両の台車で $k=1, 2\cdots$ ）

[0094] これら、実車両11と模擬車両21の動作データを演算して出力する。制御データ解析部232は、模擬車両制御部23の出力する電動機電流 I_m 、スイッチング回路の入力電圧 E_{cf} 等の制御データとし、制御データを基に模擬車両駆動制御部24の制御をより安定化する制御パラメータを探索する機

能を備える。制御を安定化する制御パラメータ探索の一例として、非特許文献 1 を示す。

[0095] 非特許文献 1 は、鉄道車両でモータトルクを基に車輪からレールに伝達する踏面力が、雨天時等車輪とレール間の摩擦限界を越えることで発生する空転を踏面力の引下げで抑える粘着制御について、降雨状態等の摩擦限界の変動に対して安定に踏面力を伝達する安定制御パラメータをタグチメソッドで探索する手法と、安定制御パラメータを適用した実車両 1 1 による性能検証について紹介している（加速時は空転、減速時は滑走と区別するが、ここでは総称して「空転」とする）。

[0096] 安定制御パラメータの探索は、実車両環境で行うのが望ましい一方、実車両環境は、路線状態、乗車状態、気象状態等時々刻々変化するため、多数のパラメータを変更して収集するデータの再現性確保が難しい。このため、可能な限り実車両 1 1 に近い環境を提供する模擬車両フィールド 2 において、安定制御パラメータを探索し決定する手順とすることが望ましい。

[0097] 上記の手順で決定した安定制御パラメータは、実車両フィールド 1 の実車両駆動制御部 1 4、模擬車両フィールド 2 の模擬車両駆動制御部 2 4 の制御パラメータとして適用され、以後は安定化パラメータにより制御される。安定化パラメータによる制御結果は、車両動作解析部 2 3 1 に集約され、車両の動作データ、制御データが目標範囲に収まることを確認する。

[0098] 車両の動作データ、制御データが目標範囲外である場合は、再度、制御データ解析部 2 3 2 にて、制御パラメータを探索し安定化パラメータを算出し、実車両フィールド 1 の実車両駆動制御部 1 4、模擬車両フィールド 2 の模擬車両駆動制御部 2 4 の制御パラメータに適用するサイクルを繰り返す。車両動作解析部 2 3 1 は、実車両 1 1 と模擬車両 2 1 によるシミュレーションとの速度差を求める。制御データ解析部 2 3 2 は、速度差（ $\div$ 加速度誤差）を補正するようにモータトルク指令を補正する。なお、伝送遅れがあっても全てのデータが同じ時間だけ遅れる分には問題ない。

[0099] 以上の構成により、実車両フィールド 1 の走行データに基づいて、模擬車

両フィールド2を構成するシミュレータのモデル精度を向上できる。また、模擬車両フィールド2を構成するシミュレータのモデル精度向上により、実車両フィールド1で駆動制御動作データを変更した際の動作を、模擬車両フィールド2にて駆動制御動作データを変更した際の動作に基づいて予測し事前検証できる。さらに、模擬車両フィールド2で事前検証した前記駆動制御動作データは、情報伝送部3を介して実車両フィールド1に伝送し、実車両フィールド1の駆動制御動作データを変更して実際の動作を確認できる。

[0100] すなわち、実車両11と動きが同じになるよう模擬車両21の精度を向上し、精度を向上した模擬車両21で駆動制御を調整し、調整した駆動制御動作データを実車両11に適用する手順を実現することで、自律的に駆動制御の最適化を図る鉄道システムの制御方式を実現する。

[0101] なお、駆動制御動作データは、実車両駆動部12の動作を制御するために実車両駆動制御部14に実装、あるいは模擬車両駆動部22の動作を制御するために模擬車両駆動制御部24に実装する、制御論理又は制御論理の構成パラメータである。

[0102] 図5は、図1の本アップサイクルシステムの情報伝送部3の一例を示す模式説明図である。実車両フィールド1は、レール等の軌条15を複数の実車両11が走行している。実車両11a～11e（区別の必要なければ11）が電気車の場合は、架線等の電力供給部16により駆動システムや照明、空調等の補助機器118に電力を供給する。なお、実車両11aの駆動制御機能の構成については、図16及び図17を用いて、より詳細に後述する。また、電気車ではなく、エンジン、燃料電池等の発電装置、蓄電池等の電力蓄積部により駆動システムや補助機器118に電力を供給できる場合、電力供給部16は必須ではない。

[0103] 実車両11は単車両とは限らず、複数の車両を連結して編成される列車の場合もある。軌条15はそれを複数並行させ、上り方向、下り方向等異なる方面への列車が同時に走行できる複線区間を構成する場合もある。模擬車両フィールド2は、実車両フィールド1と、情報伝送部3を介して、前述した

実車両 11 の状態情報STARr、実車両駆動制御部 14 の制御パラメータPARA_ctrlを少なくとも送受する。以下、情報伝送部 3 の構成について説明する。

[0104] 実車両 11 は、広域情報伝送基地 33 と無線通信により情報を送受する。ここで無線通信は、第5世代移動通信システム（5G）等により、複数の限定して通信範囲を移動しながら連続的に通信を継続することを想定した移動体通信システムの適用が考えられる。広域情報伝送部 32 で送受した情報は、広域情報伝送部 32 にて集約し、インターネット等の広域情報伝送部 32 により、模擬車両フィールド 2 の外部情報インタフェース（図示していない）と接続する。これにより、実車両フィールド 1 と模擬車両フィールド 2 の情報を収受できる。

[0105] また、実車両 11 は、区域内情報送受基地 36 と無線通信により情報を送受する。区域内情報送受基地 36 は、駅、車両基地等に設置し、停車している実車両 11 との間で無線通信を可能とする。このため、近距離での機器間通信に適する無線LAN、Bluetooth（登録商標）、赤外線通信等を適用できる。区域内情報送受基地 36 で送受した情報は、広域情報伝送部 32 にて集約し、インターネット等の広域情報伝送路 31 により、模擬車両フィールド 2 の外部情報インタフェース（図示していない）と接続する。これにより、実車両フィールド 1 と模擬車両フィールド 2 の情報を収受できる。

[0106] 以上の構成により、実車両フィールド 1 の走行データに基づいて、模擬車両フィールド 2 を構成するシミュレータのモデル精度を向上できる。また、模擬車両フィールド 2 を構成するシミュレータのモデル精度向上により、実車両フィールド 1 で駆動制御動作データを変更した際の動作を、模擬車両フィールド 2 にて駆動制御動作データを変更した際の動作に基づいて予測し事前検証できる。さらに、模擬車両フィールド 2 で事前検証した前記駆動制御動作データは、情報伝送部 3 を介して実車両フィールド 1 に伝送し、実車両フィールド 1 の駆動制御動作データを変更して実際の動作を確認できる。

[0107] すなわち、実車両 11 と動きが同じになるよう模擬車両 21 の精度を向上し、精度を向上した模擬車両 21 で駆動制御を調整し、調整した駆動制御動

作データを実車両 1 1 に適用する手順を実現することで、自律的に駆動制御の最適化を図る鉄道システムの制御方式を実現する。

[0108] ここで、駆動制御動作データは、実車両駆動部 1 2 の動作を制御するために実車両駆動制御部 1 4 に実装、あるいは模擬車両駆動部 2 2 の動作を制御するために模擬車両駆動制御部 2 4 に実装する、ソフトウェア等の制御論理又は制御論理の構成パラメータである。

[0109] 以上のように、実施例 1 の本アップサイクルシステムは、実車両環境の測定データをシミュレーション環境に測定データを送信し、測定データに基づいて実車両 1 1 の動きに近似するシミュレーションモデルを同定し、路線状態、乗車状態、気象状態等の走行条件を模擬したシミュレーション環境で駆動制御を最適化し、最適化制御データを実車両環境に送信して実車両 1 1 の制御に反映する。

[0110] また、鉄道車両駆動制御システムを実現するソフトウェアを更新した場合の利害得失を検証し、更新（アップサイクル）の是非について判断を支援する。その結果、本アップサイクルシステムは、鉄道車両の駆動制御を、路線状態、乗車状態、気象状態に対応した最適な状態に維持できる。また、本アップサイクルシステムは、省エネルギー（以下、「省エネ」と略す）効果によるカーボンニュートラル、及び空転防止により車輪等を延命させて廃棄物を減らす効果によるサーキュラーエコノミーを推進することにより、持続可能な社会の実現に寄与させる。

実施例 2

[0111] 実施例 2 は、蓄電池電車やハイブリット電車（以下、「蓄電池電車等」という）に用いられる各種部品等を更新した場合の性能向上を検証し、更新の時期や是非について判断を支援する本アップサイクルシステムを例示する。ここでは、鉄道に関連するアップサイクルの対象製品として、蓄電池を例示するが、鉄道車両に搭載される他の構成部、特に、蓄電池電車等における他の搭載機器、そのほか信号システムといった地上機器等でも構わない。

[0112] 鉄道車両に搭載される構成部としては、駆動制御装置、補助電源制御装置

、燃料電池システム、空調装置、車内監視装置、TCMS (Train Control Management System, 列車情報制御装置)、PIS (Passenger Information System, 旅客情報提供装置) などの車載機器、座席等の車内設備、車両の部材、前方監視装置、安全監視装置、運転支援システム、自動運転、地上/車上間無線情報伝送等の制御機能などが考えられる。例えば、蓄電池なら、高性能化によって、省エネ、充電時間短縮、蓄電容量増加、長寿命化、及び廃棄物削減できる。また、駆動装置なら、省エネ、乗心地向上、長寿命化、及び廃棄物削減できる。

[0113] 近年の蓄電池には、めざましい性能向上が見られるので、その交換に際して、更新前の劣化程度と、更新後の性能向上と、をデジタルツインにより比較検証する効果が高い。このように、性能が時系列で継続的に向上する製品、部品モジュールのアップサイクルは、損耗部材を同等仕様の交換部材で置換するだけの単なる保存行為であっても、その交換時期の決定を最適化する効果が得られる。

[0114] 実車両環境の測定データをシミュレーション環境に測定データを送信し、測定データに基づいて実車両 11 の動きに近似するシミュレーションモデルを同定し、路線状態、乗車状態、気象状態等の走行条件を模擬したシミュレーション環境で駆動制御を最適化し、最適化制御データを実車両環境に送信して実車両 11 の制御に反映する。

[0115] 図 6 は、実施例 2 の本アップサイクルシステムにより、蓄電池の循環体制を説明するための概念説明図である。図 6 の循環体制を概ね時系列順に説明する。蓄電池は、生産され、実装され、運用されて稼働し、価値向上可能となった時期にアップサイクルされ、それを反映したアップサイクル品が生産されて循環する。

[0116] 生産の過程は、企画、設計、仕様決定、資材調達、量産品の製造、検査及び出荷の体制を有する。運用の過程は、搬入、及び実装されて稼働するが、価値向上のため、取外された後に搬出される。アップサイクルの過程は、使用済み蓄電池を回収し、劣化程度を品質計測し、アップサイクル設計に基づ

く製造／制作され、格付け評価され、等級分けの管理される等により、アップサイクル品が製品化される。なお、回収とは、使用済み蓄電池を返還することをいう。これに対し、ソフトウェアの回収は、期待される効果を発揮していない状態を意味することもある。

[0117] このようなアップサイクル品も新品供給の販売ルートに便乗されて循環する。アップサイクル品を製品化して循環させるには、製品と材料のデータ管理を要する。このデータ管理の過程は、運用計画、モデル同定、アップサイクル評価、品質管理、及びアップサイクル設計指針が重要である。データ管理の機能は、主に運用データ（指令及び稼働データ）を収集して運用計画を提供することである。

[0118] データ管理のために収集することが必要な情報として、さらに、生産計画、仕様、必要量、品質計測データ、及び来歴（生涯データ等の履歴）等が例示列挙される。データ管理の機能により提供できる情報は、運用計画以外に、生産部門に対するトラストデータ（品質及び寿命）と、アップサイクル部門に対する生産量やレシピの情報等が例示列挙される。

[0119] 図6のアップサイクルの概念において、必ずしも順番どおりとは限らない。蓄電池は、生産され、実装され、稼働し、回収後、アップサイクル設計され、それを反映したアップサイクル品が生産されて循環する。また、図6の循環体制によれば、製品と材料のデータ管理に基づくアップサイクル評価の高い場合のみ、アップサイクルを実行する。蓄電池の交換に際して、更新前の劣化程度と、更新後の性能向上と、をデジタルツインにより比較検証すれば、その時点における交換の是非が判明する。

[0120] 蓄電池は、新品交換が遅れる程にエネルギー効率の低減した状態で長期運用されるため、交換時期が遅い程、同等仕様のものに新品交換するだけで、大きく減少した蓄電容量の回復による劇的な省エネ効果が得られる。逆に、新品交換が早すぎると、エネルギー効率が良好で残存価値の高い蓄電池を廃棄する無駄が生じるものの、交換時期が早い程、交換までに蓄電容量の減少する程度が少なくて省エネ効果は高い。

- [0121] 一方、近年の蓄電池は、交換周期と考えられる数年の間に相当の性能向上が見られるので、蓄電池の交換時期を最適に設定するだけでも、それを用いる蓄電池電車等の対象製品全体を性能向上しながら長持ちさせて廃棄物を減少させる。蓄電池は化学応用製品であるため、その動作特性を特定する複数のパラメータの作用は複雑であるが、それらを系統立てた数式モデルを構成し、補正係数等も電子計算機でのシミュレーションできる程度に整備されつつある。
- [0122] また、本アップサイクルシステムにおいて、蓄電池は、廃棄物の排出量を減少し、かつ抽出可能な有効素材をリサイクルしながら継続的に環境保全する循環可能な製品へと品質を変化させる。このようにして製品の価値を向上させるアップサイクルの観点から、本アップサイクルシステムは、図6の循環体制によって、アップサイクル評価の高い場合のみ、有益なアップサイクルを実行する。以下、図7～図14を用いて、より具体的なアップサイクルについて説明する。なお、本アップサイクルシステムは、運転支援システム（DAS : Driver advisory system）による有人運転によって運転指令を実行する。又は、自動運転によって運転指令を実行する。
- [0123] 図7は、図6の循環体制において、パラメータ同定を説明するための模式説明図である。図7において、本アップサイクルシステムは、アップサイクル以前を「現」で示す現行の実車両1号（ここでは実車両に搭載する機能Aを含む）と、それに対応する現行の物理モデル1号（ここでは物理モデル上の機能Aを含む）と、両方に対して運転指令を実行させる。
- [0124] 本アップサイクルシステムは、性能の一致を目指す、実車両1号と、物理モデル1号について、それぞれの運用データ（速度、温度、振動、動作時間）を同定できるように一対比較し、比較した結果の差 $\Delta Mode$ を無くすように、パラメータ同定する。つまり、パラメータ同定とは、実車両1号と、物理モデル1号と、を同一指令に対して同一動作させるようにモデルのパラメータを調整することをいう。
- [0125] 実車両1号と、物理モデル1号の動作が一致するまでパラメータ同定する

ことが望ましいが、その後の制御性能の最適化過程で必要な精度を保証する範囲で差異を許容してよい。一致（差が所定値以下）とは、シミュレーション結果が許容できるレベルをいう。

[0126] つまり、判定できるレベルにシミュレーション結果が計算・出力できることであるその結果、運転指令を実行することにより、予測可能な運転パターンによりパラメータ同定できるため、同定精度を向上かつ安定化する効果を得られる。ただし、現実的には、駆動制御装置の電流、電圧の動きについて、実車両 1 号に搭載される、電流、電圧検出器の測定誤差を考慮して、実車両 1 号と、物理モデル 1 号の動作の差異をある程度許容することが考えられる。

[0127] なお、実車両 1 号は、図 15 で後述する実車両 1 1（モノ）環境で実際に運用される。これに対する現行の物理モデル 1 号は、図 15 に示す製品と材料のデータ管理のための、仮想（サイバー）空間でリアル空間を再現し、電子計算機でのシミュレーションを駆使しながら、故障予知をはじめ、ソフトウェアや部品の更新結果を予測し評価するためのデジタルツインである。つぎに、図 8 を用いてその手順を説明する。

[0128] 図 8 は、図 7 のパラメータ同定の手順を説明するためのフローチャートである。本アップサイクルシステムは、実車両 1 号を模した物理モデル 1 号を構築する（S 8 1）。つぎに、本アップサイクルシステムは、実車両 1 1 の運転指令に基づいて、運用データの差異を下式のように比較する（S 8 2）。

[0129] $\Delta Model = \text{運用データ（物理モデル 1 号）} - \text{運用データ（実車両 1 号）}$

比較（S 8 2）の結果、 $|\Delta Model| > \gamma$ で差があれば、本アップサイクルシステムは、 $\Delta Model$ に応じて物理モデルを修正する（S 8 3）。その結果、 $|\Delta Model| \leq \gamma$ で差が無くなれば、本アップサイクルシステムは、物理モデル 1 号の同定を完了する。なお、0 は例示とする。

[0130] 図 9 は、図 6 の循環体制において、アップサイクル評価を説明するための模式説明図である。ここでも、主に図 7 との相違点について説明する。図 9

において、本アップサイクルシステムは、アップサイクル以前を「現」で示す現行の物理モデル1号と、それに対応したアップサイクル以後を「新」で示す更新後の物理モデル2号と、両方に対して運転指令を実行させる。

[0131] なお、物理モデル1号、及び物理モデル2号は、図15に示す製品と材料のデータ管理のための、仮想（サイバー）空間におけるシミュレーション用のデジタルツインである。物理モデル1号は、前記実車両1号の運用データをもとにパラメータ同定を完了している。物理モデル2号は、物理モデル1号に対して、「機能A」を「機能A'」に変更している。

[0132] 両者の機能A, A' について、例えば、「A」は、現状の蓄電池モジュールである。また、「A'」は、セルを高性能化（損失低減等）した蓄電池モジュールである。本アップサイクルシステムは、アップサイクルの評価について、例えば、蓄電池劣化指標SOH（State of Health）を評価指標として、劣化の進行度合を測定することが考えられる。この場合、基準値Kは蓄電池の交換を判断するSOHの限界値を設定するのが良い。この設定された基準値Kに対するLow/Highを閾値判定する。この際、本アップサイクルシステムは、前記閾値判定であるLow→Highの遷移のみでなく、その遷移が発生する時点を明らかにする点に特徴がある。これにより、前述の蓄電池劣化指標SOHが限界値に到達した結果に基づく蓄電池交換判断ではなく、限界値に達する時機を予測し、蓄電池が所望の性能を発揮しているうちに、蓄電池のアップサイクル提案を可能とする。また、限界値に基準値Kは、機器仕様書等に基づいて、設計者が決定することを想定しているが、過去の実績等に基づいて、AIシステムが決定しても良い。つぎに、図10を用いてその手順を説明する。

[0133] 図10は、図9のアップサイクル評価の手順を説明するためのフローチャートである。まず、物理モデル1号の機能Aを物理モデル2号の機能A'に変更する（S11）。つぎに、運転指令（変動含む）に基づいて、物理モデルの1号と2号を下式のように比較する（S12）。

[0134] $\Delta \text{Func} = \text{評価指標（物理モデル1号）} - \text{評価指標（物理モデル2号）}$
比較（S12）の結果、図9（1）なら、アップサイクル実施する（S1

3)。一方、比較（S 1 2）の結果、図 9（0）なら、アップサイクル保留する（S 1 4）。

[0135] 図 1 1 は、図 6 の循環体制において、パラメータ同定（アップサイクル後）を説明するための模式説明図である。ここでも、主に図 7 との相違点について説明する。図 1 1 において、本アップサイクルシステムは、アップサイクル以後を「新」で示す更新後の実車両 2 号（ここでは実車両に搭載する機能 A' を含む）と、それに対応した更新後の物理モデル 2 号（ここでは物理モデル上の機能 A' を含む）と、両方に対して運転指令を実行させる。両者の機能は A' , A' である。

[0136] なお、更新後の実車両 2 号は、図 1 5 で後述する実車両 1 1（モノ）環境で実際に運用される。これに対する更新後の物理モデル 2 号は、図 1 5 に示す製品と材料のデータ管理のための、仮想（サイバー）空間におけるシミュレーション用のデジタルツインである。つぎに、図 1 2 を用いてその手順を説明する。

[0137] 図 1 2 は、図 1 1 のパラメータ同定（アップサイクル後）の手順を説明するためのフローチャートである。まず、物理モデル 1 号の機能 A を物理モデル 2 号の機能 A' に変更する（S 2 1）。つぎに、実車両 1 1 の運転指令に基づいて、運用データの差異を下式のように比較（S 2 2）する。

[0138] $\Delta Model = \text{運用データ（物理モデル 2 号）} - \text{運用データ（実車両 2 号）}$
比較（S 2 2）の結果、 $|\Delta Model| > \gamma$ で差があれば、 $\Delta Model$ に応じて物理モデルを修正する（S 2 3）。その結果、 $|\Delta Model| \leq \gamma$ で差が無くなれば、物理モデル 2 号の同定を完了する。

[0139] 上述のパラメータ同定は、通常時の運用データに基づいて行うことを想定しており、事故や故障等の異常時の運用データがパラメータ同定に使用されることを控える必要がある。このため、事故や故障の監視をパラメータ同定と並行して実施する必要がある。この監視に基づく情報を利用してメンテナンス判断することが望ましい。なお、アップサイクルは、価値向上を伴う交換であることに對し、メンテナンスは、経年使用の劣化品等を交換する保存

行為である。ただし、経年使用の劣化品等に、価値向上を伴う交換を施すことはアップサイクルである。

[0140] 図13は、図6の循環体制において、メンテナンス判断を説明するための模式説明図である。ここでも、主に図7との相違点について説明する。図13において、本アップサイクルシステムは、アップサイクル以前を「現」で示す現行の実車両1号（ここでは実車両に搭載する機能Aを含む）と、それに対応した「現」で示す現行の物理モデル1号（ここでは物理モデル上の機能Aを含む）と、両方に対して運転指令を実行させる。

[0141] 本アップサイクルシステムは、性能が一致していることが望ましい両者の機能A、Aについて、それぞれの運用データを一对比較し、比較した結果の差が有れば、異常と判断する。なお、現行の実車両1号は、図15で後述する実車両11（モノ）環境で実際に運用される。これに対する現行の物理モデル1号は、図15に示す製品と材料のデータ管理のための、仮想（サイバー）空間におけるシミュレーション用のデジタルツインである。

[0142] 本アップサイクルシステムは、両者の機能A、Aを比較した評価について、例えば、運用データ（速度、温度、振動、動作時間）を評価指標とし、設定された基準値Kに対するLow/Highを閾値判定し、判定結果が、高ければメンテナンスの実施を促す旨の信号を発報する。本アップサイクルシステムは、異常判断したならば、その旨を運転台の運転士に警告できる。

[0143] また、鉄道車両の特徴として、蓄電池モジュールの故障は、ある特定の車両のみで発生する確率が高く、他車両も同じように故障が発生する確率は低い。このとき、他の車両の情報から自車両の（センサ）故障を判断する。したがって、故障した特定の蓄電池のみを該当車両から接続開放し、他の正常な車両の駆動力を増強して列車の運行を継続させることも可能である。その結果、本アップサイクルシステムは、列車運行の可用性を高められる。

[0144] 図14は、図13のメンテナンス判断の手順を説明するためのフローチャートである。まず、運用投入している全ての実車両1号のデータ収集する（S41）。つぎに、複数車両（最低3以上）にて、実車両11の運転指令に基

づいて、運用データの差異を下式のように比較する（S 4 2）。

[0145] $\Delta Model = \text{運用データ（物理モデル1号）} - \text{運用データ（実車両1号）}$

比較（S 4 2）の結果、全ての車両でMenteyo=1ならば、 $\Delta Model$ に応じて物理モデルを修正する（S 4 3）。また、比較（S 4 2）の結果、全ての車両でMenteyo=0ならば、メンテナンス保留する（S 4 4）。また、比較（S 4 2）の結果、特定の車両でMenteyo=1ならば、メンテナンス実施する（S 4 5）。

なお、全ての車両で $\Delta model > K$ の場合、物理モデルの同定が不十分と判断し、モデル同定のサイクルに戻る。また、特定の車両で $\Delta model < K$ の場合、当該車両の機能Aが性能劣化しているとして異常判断し、メンテナンスを実施する。

[0146] 図15は、本アップサイクルシステムにおいて、製品と材料のデータ管理機能のほか、メンテナンス計画の提案機能を説明するための概念説明図である。本アップサイクルシステムは、図15に示すように、製品と材料のデータ管理する管理部と、実車両11（モノ）環境と、の間でネットワークを介して情報を授受する。データ管理側は、実車両11（モノ）環境から運用データを収取して、運用計画やメンテ計画を提供する。

[0147] 実車両11（モノ）環境は、主要な情報として、運用情報と、アップサイクル情報と、生産情報と、を有する。これらの情報は、それぞれのデータ入出力部を介してネットワークに接続されて、外部に入出力される。管理部は、デジタルツインを用いたシミュレーションによるアップサイクルと、メンテナンス計画と、を策定して実行する。

[0148] アップサイクルは、ハードウェアと、ソフトウェアと、少なくとも何れかに対して実行される。実施例1ではソフトウェアに対するアップサイクルを例示し、実施例2ではハードウェアに対するアップサイクルを例示した。アップサイクルは、品質管理に基づく設計指針へのフィードバックが代表される。また、アップサイクルを適切に評価してデータ蓄積するとともに、運用計画にもフィードバックされる。これらアップサイクルによるフィードバック

クは、データ入出力部を介してネットワークに接続されて、情報を有効利用される。

[0149] メンテナンス計画も、ハードウェアと、ソフトウェアと、少なくとも何れかに対して実行される。ソフトウェアのメンテナンスとは、例えば、ハードウェア変更に伴うソフトウェア変更、他案件での改修項目反映等である。図15に示すアップサイクルと、メンテナンス計画と、は、実車両11（モノ）環境に対して提供する情報が、運用計画からメンテナンス計画に置換された以外は同様の形態である。蓄電池を例示して説明すると、経年使用の劣化品を元通りの新品交換することが保存行為のメンテナンスであり、価値向上を伴う交換がアップサイクルである。何れの場合であっても、管理部は、デジタルツインを用いたシミュレーションによるアップサイクル、又はメンテナンス計画を策定して実行する。

[0150] 図16は、図5の実車両11a、11bを1編成に連結した変形例の構成を示す機能ブロック図である。なお、図5で説明済みの部位は説明を省略し、相違点のみを説明する。図16に示すように、実車両フィールド1において、電車ならば、駆動力を有する実車両11aは、駆動力の無い実車両11bをけん引する列車編成で稼働する。また、実車両11a、11bは、両方共に駆動力を備えても良く、あるいは、電車に限らず、電気機関車であっても良い。

[0151] 実車両11aは、電力供給部16から集電装置114で受けた電流を主変圧器121の一次巻線に入力し、台車112a、112b（区別の必要なければまとめて台車112）、輪軸113a～113d（区別の必要なければまとめて113）、接地装置115及び軌条15を介して変電所へ帰還させるように、電流経路を形成している。実車両11aは、主要な車上装置である、主変圧器121、駆動制御部122、主回路蓄電池123、及び補助電源装置（APS_DC/AC）124を実車両制御部13で制御する。なお、AC/DCコンバータ122a及びDC/ACインバータ122bを、まとめて駆動制御部122という。

[0152] 交流電圧検出器（ACPT）１３１は、集電装置１１４と主変圧器１２１の一次巻線との間に配設され、検出した電圧信号を実車両制御部１３へ入力して制御に供する。交流電流検出器（ACCT）１３２aは、検出した電流信号を実車両制御部１３へ入力して制御に供する。

[0153] 実車両制御部１３は、実車両１１aを力行／回生させるに際し、電力供給部１６からの受電電力を最小にするような省エネ指向の制御を行う。そのため、主電動機１１７（図１８）と、主回路蓄電池１２３との間で入出力する電力のほか、補助電源装置（APS_DC/AC）１２４及び補助機器１１８（図１８）へ出力する電力を適切に加減することにより、主変圧器１２１の二次巻線から出力される電力の消費を最小にして、電力供給部１６からの受電電力を少なくする。その結果、実車両１１aは、鉄道本来のエネルギー効率の良さに加えて、さらなる省エネを追求することによって、持続可能な社会の実現に寄与できる。

[0154] 図１７は、図１６の実車両１１aの構成をより詳細に示す機能ブロック図である。なお、図５又は図１６で説明済みの部位は説明を省略し、相違点のみを説明する。AC/DCコンバータ１２２aと、DC/ACインバータ１２２bと、の間に主直流回路が形成され、直流電圧検出器１３３a、１３３bで検出された直流電圧信号が実車両制御部１３に入力され、制御に供される。

[0155] 実車両制御部１３は、列車情報制御装置１４１と、AC/DCコンバータ制御部１４２aと、DC/ACインバータ制御部１４２bと、蓄電池制御装置１４３と、補助電源制御装置１４４と、を備えている。実車両制御部１３は、図示を省略するが、より上位の制御部から制御される。上位の制御部とは、運転主体であり、運行管理システムや運転士をいう。実車両制御部１３は、制御用のソフトウェアを備え、上位の制御部と制御信号を授受するとともに、下位の被制御部を目的どおりに制御する。

[0156] 主直流回路には、主回路蓄電池１２３、及び補助電源装置１２４が接続されている。これらには、直流電圧検出器１３３c～１３３d、及び直流電流検出器１３４a～１３４cが接続され、それらで検出された直流電圧信号が

実車両制御部 1 3 に入力され、制御に供される。蓄電池制御装置 1 4 3 は、主回路蓄電池 1 2 3 を制御する。補助電源制御装置 1 4 4 は、補助電源装置 1 2 4 を制御し、補助機器 1 1 8 を制御する。補助機器 1 1 8 は、直流電圧検出器 1 3 5 a, 1 3 5 b が接続され、それらで検出された直流電圧信号が実車両制御部 1 3 に入力され、制御に供される。

この構成により、以下のデータの収集を可能である。

AC/DCコンバータ：制御周波数、入力電流/電圧、出力電流/電圧、パワーユニット温度推定値

DC/ACインバータ：制御周波数、入力電流/電圧、出力電流/電圧、パワーユニット温度推定値

補助電源装置：制御周波数、入力電流/電圧、出力電流/電圧、パワーユニット温度推定値

主回路蓄電池：充放電電流、電圧、SOC, SOH、セル温度

列車情報制御装置：各機器状態、乗車率、気温室温

本アップサイクルシステムは、これらデータを収集し、制御用のソフトウェアの機能を向上させるような作用効果を発揮する。

[0157] 図 1 8 は、図 1 の並列解析システムのハードウェア／ソフトウェアのトレーサビリティ（追跡可能性：traceability）を可能とするIDシステムの一例を示す図である。なお、トレーサビリティとは、製品の原材料の調達から、生産、消費、廃棄まで追跡することをいう。図 1 8 のIDシステムは、つぎの要件を備えて、適宜に実行する。

[0158] ・モジュール、部品、材料の各要素に階層構造でIDを割当てて。

・全てIDについて電子カルテ情報を割り付け管理する。

・電子カルテは各構成要素の「戸籍謄本」であり、親子関係をたどれる情報（上位構成要素、下位構成要素）を備える。

・アップサイクルに備え自分の履歴書を実使用データに基づいて記録する。

記録データは別途蓄積のビッグデータが想定され、電子カルテには本データアクセスのための「紐付けデータ」を記録する。つまり、アップサイクル実

施のための履歴へのアクセスを可能にする。

・アップサイクル実施時は自分の変更内容とともに、親子関係の変更点を追加する。つまり、アップサイクル実施時は、変更される親子関係を記録して、トレーサビリティを確保する。

[0159] このように、本アップサイクルシステムは、IDシステムが提供する「電子カルテ」「戸籍謄本」「履歴書」を組み合わせ、アップサイクル実現の効果を得る。また、図18のIDシステムは、ID:1蓄電池モジュール2022年モデルの下位に、ID:1-1 Liイオン電池セルABCタイプ、ID:1-2モジュールケースABCタイプ、ID:1-3セルコントローラABCタイプ、…、との親子関係が形成されている。これら親子関係の位置づけとしては、例えばID:1(レベルA)は最終的な製品、ID:1-1(レベルB)は製品を構成する部品、ID:1-1-1(レベルC)は部品を構成する素材、割り当てられる。これらのレベルは3段階に限られるものではなく、最上位のレベルAの実際の構成により、2段階以下とする場合、4段階以上にする場合も考えられる。

[0160] さらに、ID:1-1の下位には、ID:1-1-1, …, ID:1-1-3, …, との親子関係が形成されている。同様に、ID:1-2の下位には、ID:1-2-1, …, ID:1-2-3, …, との親子関係が形成されている。同様に、ID:1-3の下位には、ID:1-3-1, …, との親子関係が形成されている。したがって、ID:1-1-1, …, ID:1-3-1, …, は、ID:1-1に対して、孫の関係が形成されている。

[0161] 図18のIDシステムにおける第1子ID:1-1は、Liイオン電池セルABCタイプについて、つぎの情報を系統づけて書き換え検索可能に記憶部233で保存されている。記憶部233以外の記憶部から通信により情報利用可能であって構わない。

[0162] α. 履歴書情報__サイズ、質量、特性、使用状況履歴

β. 上位構成要素(親) __ (ID:1) 蓄電池モジュール2022年モデル

γ. 下位構成要素(子) __ (ID:1-1-1) セルケース、Al、／ (ID:1-1-2) 正極材料、LiCoO₂、3g／ (ID:1-1-3) 負極材料、C(黒鉛)、2g

δ. 紐付けデータ__サイズ: Data_ID1_size／質量: Data_ID1_mass／特性: D

ata_ID1_chara／使用状況履歴：Data_ID1_UsageHist

[0163] 以上、説明したように、本アップサイクルシステムは、ソフトウェアのアップサイクルも含めて対象製品全体を性能向上しながら長持ちさせて廃棄物を減少させる。減少させた廃棄物さえもリサイクルしながら継続的に環境保全する循環可能な製品へと品質を変化させながら、製品の価値を向上させる。

[0164] その結果、本アップサイクルシステムは、蓄電池のアップサイクルや最適メンテナンスすることで、省エネ効果によるカーボンニュートラル、及び蓄電池を延命させるほか、リサイクルして廃棄物を減らす効果によるサーキュラーエコノミーを推進することにより、持続可能な社会の実現に寄与させる。

実施例 3

[0165] 実施例 3 は、蓄電池についての性能向上を検証し、更新の時期や是非について判断を支援する本アップサイクルシステムについて、実施例 2 とは異なる他の例により説明する。

[0166] 図 19 は、実施例 3 のアップサイクルシステムにより、蓄電池の循環体制を説明するための概念説明図である。

ここでは、蓄電池は、事業者により使用される。事業者は、鉄道会社（運行部門）であり、蓄電池を車両に搭載し、動力源として使用する。よって、鉄道会社（運行部門）は、この場合、蓄電池適用先であるということもできる。蓄電池は、複数の蓄電池モジュールを格納した蓄電池ユニットの単位で、整備交換が行われる。

[0167] 蓄電池ユニットは、蓄電池ハード整備者により整備される。蓄電池ハード整備者は、蓄電池ハード管理者からの依頼等に基づいて、蓄電池ユニットを分解し、蓄電池ユニットを構成する蓄電池モジュールを交換することで整備を行う。図 19 では、この作業を蓄電池ハード整備として図示している。整備の対象となる蓄電池ユニットは、整備回収ユニットとして車両から取外され、蓄電池管理者に送られる。そして、蓄電池ハード整備者が、整備回収ユ

ニットの蓄電池ハード整備を行う。整備後の蓄電池ユニットは、整備完了ユニットとして事業者に送られ、再び車両に搭載され、使用される。

[0168] また、蓄電池ユニットは、蓄電池ハード管理者により、管理される。蓄電池ハード管理者は、蓄電池ユニットの所有権を有する。蓄電池ハード管理者は、必要に応じ蓄電池ユニットを事業者から回収する（ユニット回収）。また、蓄電池ハード管理者は、必要に応じ蓄電池ユニットを事業者に対し供給する（ユニット供給）。

[0169] 蓄電池ハード管理者が所有する蓄電池ユニットは、蓄電池ハード供給者により、さらに回収、供給される。蓄電池ハード供給者は、蓄電池ユニットの生産およびアップサイクルを行う。「生産」では、蓄電池ハード供給者は、蓄電池ユニットを蓄電池ハード管理者から回収し（ユニット回収）、蓄電池モジュールに分解する（ユニット分解）。一方、再生された蓄電池モジュールを使用して蓄電池ユニットを生産する（ユニット組上げ）。生産された蓄電池ユニットは、蓄電池ハード管理者に供給される（ユニット供給）。また、「アップサイクル」では、蓄電池モジュールを回収し（モジュール回収）、セル材料の再生がなされる（セル材料再生）。これにより蓄電池モジュールの再生がなされ（モジュール再生）、再生された蓄電池モジュールは、蓄電池ユニットの生産のために、供給される（モジュール供給）。

[0170] そして、事業者、蓄電池ハード整備者、蓄電池ハード管理者および蓄電池ハード供給者の間では、蓄電池の管理をするサーバ等を有するアップサイクル手段を使用して蓄電池データ管理が行われる。蓄電池データ管理としては、例えば、製品である蓄電池や蓄電池の材料のデータ管理を行う。具体的には、事業者との間で、蓄電池ユニットの運用データや品質データのやりとりを行う。また、蓄電池データ管理者から整備提案がなされると、事業者に整備提案が送られ、整備提案の日時回答がなされる。さらに、事業者や蓄電池ハード整備者との間で、ユニット整備やユニット調査に関する情報のやりとりを行う。またさらに、蓄電池ハード供給者との間で、蓄電池モジュールの仕様（モジュール仕様）、蓄電池ユニットの仕様（ユニット仕様）および分

析レポートの情報のやりとりを行う。そして、蓄電池ハード管理者との間で、ユニットの供給や回収ならびに整備の記録、分析レポートの情報のやりとりを行う。なお、アップサイクル手段で行われる蓄電池データ管理は、材料調達からリサイクルまでの蓄電池のライフサイクルにかかわる情報を記録するBattery Passport（製品と材料のデータ管理）に即している。事業者、蓄電池ハード整備者、蓄電池ハード管理者および蓄電池ハード供給者の間で、アップサイクル手段にアクセスして情報共有を行う。

[0171] 図20は、図5で示した情報伝送部3の他の例を示す模式説明図である。

以下、図5と異なる点を中心に説明を行う。

図20は、図5で示した模式説明図に対し、広域情報伝送部32の代わりに広域情報送受信部32aを使用する。また、区域内情報伝送部35の代わりに区域内情報送受信部35aを使用する。さらに、模擬車両フィールド2の代わりにアップサイクル手段18を使用する。またここでは、路線を車庫、電化区間、非電化区間の3通りで分類し、それぞれの路線から情報の送受信を行うことを示している。即ち、路線を、路線（車庫）17a、路線（電化）17b、路線（非電化）17cに分類し、情報の送受信を行う。なお、他は、図5と同様である。

[0172] 広域情報伝送部32と広域情報送受信部32aとの機能はほぼ同じであるが、広域情報送受信部32aは、情報の送受信を行う機能を有することを明確化したものである。同様に、区域内情報伝送部35と区域内情報送受信部35aとの機能はほぼ同じであるが、区域内情報送受信部35aは、情報の送受信を行う機能を有することを明確化したものである。

アップサイクル手段18は、ハードウェアおよびソフトウェアに対するアップサイクルを行う。具体的には、実車両11から、広域情報送受信部32a、区域内情報送受信部35aおよび区域内情報送受基地36を介し、無線通信により実走データを受信する。このとき路線（車庫）17a、路線（電化）17b、路線（非電化）17c毎に実走データを受信する。そして、受信した実走データ（受信データ）は、データ解析手段181に備えられる模

擬車両手段 181a により、シミュレーションとの比較がなされる。そして、比較結果を使用し、アップサイクル評価 181b にてアップサイクル評価がなされる。さらに、アップサイクル評価を基に、ハードウェアに対するアップサイクルであるハードウェアアップサイクル 182 や、ソフトウェアに対するアップサイクルであるソフトウェアアップサイクル 183 を実行する。ハードウェアアップサイクル 182 は、例えば、蓄電池ハードウェアの整備や更新である。また、ソフトウェアアップサイクル 183 は、例えば、蓄電池システムを制御する制御ソフトウェアや、蓄電池システムからの電力で駆動する駆動システムを制御する制御ソフトウェアの更新である。

[0173] 図 21 は、図 17 の主回路蓄電池 123 が、複数の蓄電池システムからなるときの実車両 11 の駆動システムの構成について示したブロック図である。

以下、図 17 と異なる点を中心に説明を行う。

ここでは、図 17 の主回路蓄電池 123 が、蓄電池システム (1) 123a、蓄電池システム (2) 123b、蓄電池システム (3) 123c の複数の蓄電池システムからなる場合を示している。なお、これらを区別しない場合、以下、単に蓄電池システムと言う場合がある。これにより、図 17 の直流電流検出器 134b が、直流電流検出器 134b1 ~ 134b3 の 3 つとなる。

またここでは、図 17 の列車情報制御装置 141 が、ディスプレイ (Display) 150 およびアンテナ (Antenna) 160 と接続する場合を示す。ディスプレイ 150 は、収集したデータの表示を行う。このデータは、例えば、図 17 で説明したように、AC/DC コンバータや DC/AC インバータの、制御周波数、入力電流/電圧、出力電流/電圧、パワーユニット温度推定値などである。アンテナ 160 は、図 20 で説明した、広域情報送受信部 32a、区域内情報送受信部 35a および区域内情報送受基地 36 との間で通信を行う。なお、ディスプレイ 150 は、実車両 11 に必ずしも必要ではない。

[0174] そして、列車情報制御装置 141 は、コントローラ 141a およびルータ

(Router) 141b1、141b2、141b3、141b4を備える。コントローラ141aは、AC/DCコンバータ制御部142a、DC/ACインバータ制御部142b、蓄電池制御装置143および補助電源制御装置144の制御を行う。ルータ141b1、141b2、141b3、141b4は、それぞれAC/DCコンバータ制御部142a、DC/ACインバータ制御部142b、蓄電池制御装置143、補助電源制御装置144からデータを収集するとともに、コントローラ141aからの制御信号を出力する。

[0175] 図22は、蓄電池システムの内部構成について示した図である。

蓄電池システムは、蓄電池箱とも呼ばれる。蓄電池システムは、複数の蓄電池ユニットが直列に接続するとともに、直列に接続した複数の蓄電池ユニットがさらに並列に接続する。各蓄電池ユニットは、複数の蓄電池モジュールから構成される。なお、図示はしていないが、各蓄電池モジュールは、複数の蓄電池セルから構成される。図22では、直列に接続した複数の蓄電池ユニットを直列ユニットUとして示す。またこの場合、直列ユニットUが複数並列に接続することを示している。直列ユニットUにはそれぞれ電流検出手段が備わっている。また、直流電圧検出手段(DCPT)は、蓄電池システム(直列ユニットU)の出力電圧を検出する。電流制御手段は、蓄電池システムの出力電流を制御する。蓄電池システムの制御装置(Controller)は、電流検出手段および直流電圧検出手段に基づいて、電流制御手段を制御する。これにより、蓄電池システムの出力電流の通流と遮断を連続的に制御できる。なお、電流制御手段は、通流と遮断を切り替える遮断器でもよい。

[0176] 図23(a)は、蓄電池システムからのデータ収集を行うコントローラの構成を示した図である。

図21、22で説明したように、主回路蓄電池123は、複数の蓄電池システムから構成される。複数の蓄電池システムは、例えば、図21の蓄電池システム(1)123a~蓄電池システム(3)123cである。また、各蓄電池システムは、複数の蓄電池ユニットから構成される。さらに、各蓄電池ユニットは、複数の蓄電池モジュールから構成される。またさらに、各蓄

電池モジュールは、複数の蓄電池セルから構成される。

[0177] そして、各蓄電池システムには、それぞれボックスコントローラが備えられる。また、各蓄電池ユニットには、それぞれユニットコントローラが備えられる。さらに、各蓄電池モジュールには、それぞれモジュールコントローラが備えられる。またさらに、各蓄電池セルには、セルコントローラが備えられる。ボックスコントローラ、ユニットコントローラ、モジュールコントローラおよびセルコントローラには、通信 I/F（通信インタフェース、図 23（a）では、「通信」として図示）およびタグが備えられる。通信 I/F は、これらのコントローラとの間でデータのやりとりを行う。また、タグは、蓄電池システム、各蓄電池ユニット、蓄電池モジュールおよび蓄電池セルの型式や型番をタグ情報として有し、収集されるデータの出力元を特定できる。なお、タグ情報は、図 18 や後述する図 24, 25 で示す ID とすることもできる。またそしてこれらのコントローラで取得されるデータは、主変換装置に備えられるコントローラで収集され、さらに、車両情報制御装置に備えられるコントローラで取得されて、図 20 で説明したような無線通信を利用してアップサイクル手段 18 に送られる。ここでは、無線通信として、OTA（Over The Air）クラウド通信を利用する場合を示している。

[0178] 図 23（b）は、蓄電池の品質データとして必要とされる必要データについて示した図である。

ここでは、No.1～No.10 に対応し、item として示すデータが、必要データであることを示している。つまり、タグ情報（型式、型番）、蓄電池ユニットの SOH（State of Health：蓄電池劣化指標）であるユニット SOH、蓄電池モジュールの SOH であるモジュール SOH、蓄電池ユニットの電圧であるユニット電圧、蓄電池ユニットの電流であるユニット電流、蓄電池モジュールの電圧であるモジュール電圧、蓄電池モジュールの電流であるモジュール電流、蓄電池セルの電圧であるセル電圧、蓄電池セルの電流であるセル電流、および蓄電池セルや蓄電池モジュールの温度であるセル／モジュール温度を、必要データとしている。なお、Remarks は、備考欄である。ここでは、タグ情報（型

式、型番)は、周期伝送され、ユニットSOHは、1 s 毎に取得することを意味する。

[0179] 図24、25は、実施例3で、トレーサビリティを可能とするIDシステムの一例を示す図である。

このうち図24は、蓄電池モジュール以上のIDシステムの例を示す。即ち、図24では、蓄電池システム、蓄電池システムを構成する蓄電池ユニット、蓄電池ユニットを構成する蓄電池モジュールについてのIDシステムの例を示す。

また、図25では、蓄電池モジュール以下のIDシステムの例を示す。この場合、蓄電池モジュール、蓄電池モジュールを構成する蓄電池セル、蓄電池モジュールのケースである蓄電池モジュールケース、セルコントローラ、セルのケースであるセルケース、セルの正極材料、セルの負極材料についてのIDシステムの例を示す。

このIDシステムは、図18に示したIDシステムと同様の構成を有する。つまり、蓄電池システム、部品、材料の各要素に階層構造でIDを割当て、全てIDについて電子カルテ情報を割り付け管理する。さらに、電子カルテは、親子関係をたどれるカルテ情報(上位構成要素、下位構成要素)を備える。

[0180] 具体的には、図24では、各蓄電池システム、各蓄電池ユニット、各蓄電池モジュールについて、それぞれ階層構造でIDを割当てる。この場合、蓄電池システムのIDは、Aである。また、この蓄電池システムを構成する各蓄電池ユニットのIDは、A-U1、A-U2、A-U3である。さらに、例えば、A-U1のIDを有する蓄電池ユニットを構成する蓄電池モジュールのIDは、A-U1-MD11、A-U1-MD12、A-U1-MD21、…、であり、これらのIDに対応した電子カルテを有する。そして、それぞれの電子カルテについて、カルテ情報 $\alpha \sim \delta$ が割り付けられる。この電子カルテは、親子関係をたどれるカルテ情報として、カルテ情報 β 、 γ を有する。カルテ情報 β は、親である上位構成要素を示す情報である。また、カルテ情報 γ は、子である下位構成要素を示す情報である。なお、カルテ情報 α は、サイズ、質量、特性、使用状況履歴を含む履歴書情報であ

る。そして、カルテ情報 δ は、サイズ、質量、特性、使用状況履歴を記録する紐付けデータを示す情報である。

- [0181] また、図 25 では、各蓄電池システム、各蓄電池ユニット、各蓄電池モジュールについてそれぞれ階層構造で ID を割当てて。蓄電池モジュール、蓄電池セル、蓄電池モジュールケース、セルコントローラ、セルケース、セルの正極材料、セルの負極材料について、それぞれ階層構造で ID を割当てて。この場合、「*」には、蓄電池モジュールが入る蓄電池ユニットの ID が入る。例えば、蓄電池ユニットの ID が A-U1 の場合、この蓄電池ユニットを構成する蓄電池モジュールの ID として図示する *-MD11 は、実際には、A-U1-MD11 となる。また、蓄電池セル、蓄電池モジュールケース、セルコントローラ、セルケース、セルの正極材料、セルの負極材料のそれぞれの ID は、ここでは、*-MD11-1、*-MD11-2、*-MD11-3、*-MD11-1-1、*-MD11-1-2、*-MD11-1-3 としている。

- [0182] 図 26 は、蓄電池システムの整備交換過程を示すステップ図である。

図 26 では、蓄電池システムの整備交換過程を Step 1 ~ Step 3 の 3 段階で示している。そしてここでは、蓄電池を使用する事業者、蓄電池を整備する蓄電池ハード整備者、アップサイクル管理を行う蓄電池データ管理者との間のやりとりを図示している。

- [0183] Step 1 は、蓄電池ハード整備者が蓄電池の整備交換提案をするまでの過程である。Step 1 では、事業者から蓄電池データ管理者に運用データが伝送される。次に、蓄電池データ管理者は、運用データの解析を行う。そして、解析結果として、蓄電池の交換が必要になったときは、蓄電池データ管理者は、蓄電池ハード整備者に対し、蓄電池の整備交換指示を出す。蓄電池ハード整備者は、代替ユニットを確認し、事業者に対し蓄電池の整備交換提案をする。代替ユニットは、車両 11 に搭載された蓄電池ユニットの替わりとして用意される蓄電池ユニットである。

- [0184] Step 2 は、蓄電池ハード整備者が蓄電池の代替ユニットを送付するまでの過程である。Step 2 では、蓄電池ハード整備者から蓄電池の整備交換提案をされた事業者が、蓄電池ハード整備者に対し、交換日時の回答をす

る。次に、蓄電池ハード整備者は、代替ユニットの手配をする。そして、蓄電池ハード整備者は、蓄電池ユニットの保管場所から事業者の車庫に代替ユニットを送付する。さらに、蓄電池ハード整備者は、事業者の車庫で、蓄電池ユニットの交換を行う。

[0185] Step 3は、蓄電池データ管理者が整備交換完了記録を受取るまでの過程である。Step 3では、事業者の車庫で、蓄電池ハード整備者が、取外した交換ユニットを、蓄電池ユニットの保管場所に返送する。交換ユニットは、車両11に搭載されていた蓄電池ユニットであり、代替ユニットを取付けるために車両11から取外された蓄電池ユニットである。次に、蓄電池ハード整備者は、蓄電池ユニットの保管場所で、交換ユニットの調査を行う。調査結果は、事業者に提示され、事業者は、調査結果を確認する。そして、蓄電池ハード整備者は、蓄電池データ管理者に対し、整備交換完了記録を送る。これにより、整備交換完了記録は、蓄電池ハード管理者にも閲覧可能な状態となる。

[0186] 図27は、蓄電池システムの整備交換過程を示すフロー図である。

まず、事業者が、蓄電池を運用する(S701)。即ち、事業者は、車両11に搭載された蓄電池ユニットを、動力源として使用する。

蓄電池を運用したときの運用データは、蓄電池データ管理者のアップサイクル手段に送られ、蓄電池データ管理者は、アップサイクル手段にて運用データを解析する(S702)。

そして、解析結果として、蓄電池の交換が必要になったときは、蓄電池データ管理者は、蓄電池ハード整備者に対し、アップサイクル手段を介して蓄電池の整備交換指示を出す。またこのとき、蓄電池データ管理者は、交換／代替ユニットの準備の指示を併せて行う(S703)。

蓄電池ハード整備者は、アップサイクル手段を介して事業者に対し蓄電池の整備交換提案をする(S704)。

[0187] 事業者は、蓄電池の交換実施日時をアップサイクル手段で設定し(S705)、蓄電池ハード整備者に対し、アップサイクル手段を介して交換実施日

時の回答をする（S 7 0 6）。

蓄電池ハード整備者は、事業者から交換実施日時をアップサイクル手段を介して受理して確認し（S 7 0 7）、蓄電池ユニットの倉庫から、顧客（事業者）の車庫に代替ユニットを送付する（S 7 0 8）。

事業者の車庫で、代替ユニットを受け取ると（S 7 0 9）、事業者の倉庫で、蓄電池ハード整備者は、交換ユニットを取外し、代替ユニットを取付ける（S 7 1 0）。

[0188] さらに、蓄電池ハード整備者は、事業者の倉庫で取外した交換ユニットを、蓄電池ユニットの倉庫に対し返送する（S 7 1 1）。

蓄電池ハード整備者は、蓄電池ユニットの倉庫で、交換ユニットを受取る（S 7 1 2）。

蓄電池ハード整備者は、受取った交換ユニットの調査を行い（S 7 1 3）、調査結果をアップサイクル手段に入力して、事業者に提示する（S 7 1 3）。

事業者は、アップサイクル手段から調査結果を確認し（S 7 1 4）、アップサイクル手段を介して調査結果（作業完了）を了承する（S 7 1 5）。

事業者が調査結果を了承すると、蓄電池ハード整備者は、アップサイクル手段を介して蓄電池の整備交換の完了を確認する（S 7 1 6）。

蓄電池ハード整備者は、アップサイクル手段を介して、蓄電池データ管理者に対し、整備交換完了記録を送り、蓄電池データ管理者が受け取る（S 7 1 7）。これにより、整備交換完了記録は、蓄電池ハード管理者にも閲覧可能な状態となる。電池ハード管理者は、アップサイクル手段により、所定のユニットの供給や回収の記録を確認することができ、所望のユニットの状態（搭載されている車両や保管場所等）を確認できる。

[0189] 次に、蓄電池データ管理者は、必要に応じ、アップサイクル手段を介して、蓄電池ハード整備者に対し、交換ユニットの蓄電池モジュールの交換の指示を出す（S 7 1 8）。

アップサイクル手段から指示を受けた蓄電池ハード整備者は、蓄電池モジ

ジュールの交換をする（S 7 1 9）。そして、蓄電池ハード整備者は、蓄電池モジュールの交換をした蓄電池ユニットの検査を実施する（S 7 2 0）。そして、蓄電池ハード整備者は、蓄電池ユニットの検査記録と蓄電池モジュールの交換が完了した旨とをアップサイクル手段に入力して、蓄電池ユニットを倉庫に保管する（S 7 2 1）。

そして、蓄電池データ管理者は、アップサイクル手段から蓄電池ユニットの保管完了記録を受け取る（S 7 2 2）。これにより、蓄電池ユニットの検査記録や蓄電池モジュールの交換が完了した旨の記録は、蓄電池ハード管理者にも閲覧可能な状態となる。電池ハード管理者は、アップサイクル手段により、所定のユニットの整備の記録を確認することができ、所望のユニットの状態（蓄電池モジュールの構成等）を確認できる。

[0190] 図 2 8 は、蓄電池システムの充放電動作を模擬するモデル（シミュレーションモデル）の構成を示した図である。

まず、運用データ（Real train operation data）が入力される。

入力された運用データは、シミュレーションモデルインタフェース（Simulation model Interface(Input)）にて所定のデータ形式に変換される。

そして、運用データを基に、車両モデル（vehicle model）によるシミュレーションが行われ、走行パターン（Running Profile）が算出される。走行パターンは、時間（Time）に対する速度（Velocity）を表す。この走行パターンは、運用データを基に、時間に対する車両の速度変化をシミュレーションした結果である。算出された走行パターンは、車両の実際の動作と比較し、両者の差分に基づいて、車両モデルの同定が行われる（Model identification）。

一方、運用データを基に、蓄電池モデル（Battery model）によるシミュレーションが行われ、充放電パターン（Charging Profile）が算出される。充放電パターンは、時間（Time）に対する充放電電流（Current）を表す。この充放電パターンは、図 2 2 で示した直列ユニット U ごとに求められる。この充放電パターンは、上記走行パターンで車両を走行させたときに、直列ユニット U に流れる充放電電流の変化をシミュレーションした結果である。算出された充放

電パターンは、実際の充放電電流と比較し、両者の差分に基づいて、蓄電池モデルの同定が行われる (Model identification)。

[0191] また、走行パターンおよび充放電パターンは、シミュレーションモデルインタフェース (Simulation model Interface(Output)) にて所定のデータ形式に変換される。

そして、走行パターンや充放電パターンの分析 (Analysis) が行われる。充放電パターンの分析としては、例えば、直列ユニットごとのSOHを算出する。このSOHにより、蓄電池ユニットの交換の時期を判断することができる。なお、充放電パターンの分析として、蓄電池システムのSOHを算出するようにしてもよい。また、蓄電池モジュールや蓄電池セルの電圧を測定すれば、蓄電池モジュールや蓄電池セルのSOHも算出できる。

[0192] 実施例3では、鉄道アップサイクルシステムや鉄道アップサイクル方法が適用される対象は、蓄電池である。そして、第1デジタルツインモデルは、車両11に搭載された蓄電池の充放電電流を模擬する。これは、図28の充放電パターンを求める処理に相当する。車両11に搭載された蓄電池は、図26、27の交換ユニットに対応する。

また、第2デジタルツインモデルは、車両11に搭載された蓄電池の代わりに交換する蓄電池の充放電電流を模擬する。車両11に搭載された蓄電池の代わりに交換する蓄電池は、図26、27の代替ユニットに対応する。代替ユニットの充放電電流は、代替ユニットが新品または再生した蓄電池ユニットであるときは、予め定められた充放電パターンを適用することができる。また、再生の必要がないと判断された蓄電池ユニットについては、以前、車両11に搭載されていたときに算出された充放電パターンを適用することができる。

そして、実施例3の鉄道アップサイクルシステム、鉄道アップサイクル方法は、アップサイクルの評価について、例えば、実施例2と同様に、SOHを評価指標として、蓄電池の劣化の進行度合を測定する。このSOHは、図28で説明した方法により算出できる。これにより、実施例2と同様に、SOHが限界値

に到達した結果に基づく蓄電池交換判断ではなく、限界値に達する時機を予測し、蓄電池が所望の性能を発揮しているうちに、蓄電池のアップサイクル提案を可能とする。

[0193] 実施例3によるアップサイクルシステムにおいても、蓄電池のアップサイクルや最適メンテナンスすることで、省エネ効果によるカーボンニュートラル、及び蓄電池を延命させるほか、リサイクルして廃棄物を減らす効果によるサーキュラーエコノミーを推進することにより、持続可能な社会の実現に寄与させる。

実施例3では、図19で説明した循環体制により、製品と材料のデータ管理に基づくアップサイクル評価の高い場合のみ、アップサイクルを実行する。蓄電池の交換に際して、更新前の劣化程度と、更新後の性能向上と、をデジタルツインにより比較検証すれば、その時点における交換の是非が判明する。更新前の劣化程度は、図28で説明したSOHにより判断できる。

また、実施例3では、アップサイクル手段に、事業者、蓄電池管理者、蓄電池ハード管理者および蓄電池ハード供給者がアクセスし、蓄電池に関する情報共有を行う。これにより、蓄電池の状態、整備交換提案、整備結果等の動きの情報を共有、操作可能とする。これにより、蓄電池の状態、将来の動きを決めるバーチャルな空間を提供できる。また、Battery Passportに対応した資源の履歴管理が可能となる。

[0194] 本アップサイクルシステムは、例えば、つぎのように総括できる。

[1] 本アップサイクルシステムは、コントローラとメモリ（記憶部）とを有し、メモリのプログラムに従って、鉄道システムのアップサイクルを実行するための鉄道アップサイクルシステムである。本アップサイクルシステムにおいて、メモリには、シミュレーションするためのデジタルツインモデルを保持する。コントローラは、鉄道システムに属する、アップサイクルする対象の運用データを取り込む。コントローラは、対象の運用シミュレーションを実行するための第1デジタルツインモデルを設定する。コントローラは、パラメータを調整することにより、第1デジタルツインモデルの精度を向

上させる。コントローラは、対象をアップサイクルした更新対象のための第2デジタルツインモデルを構築する。そして、コントローラは、第1デジタルツインモデルと第2デジタルツインモデルとを同一条件下でそれぞれ運用した場合のシミュレーション結果を比較する。このようにして、コントローラは、アップサイクルに対する評価を可能とする。

[0195] 本アップサイクルシステムは、対象製品と、デジタルツインと、記憶部と、を備え、電子計算機でデジタルツインによるシミュレーションすることにより、対象製品を改善することに利用される。対象製品は、鉄道システム全般、すなわち、鉄道に関連する製品であり、製品にはソフトウェアも含む。本アップサイクルシステムは、そのような製品の一部、又はその製品を制御するためのソフトウェアをアップサイクルするか否かをシミュレーションした結果に基づいて決定する。

[0196] デジタルツインは、対象製品の動作をシミュレーションできるように、対象製品を仮想する数式モデルとソフトウェアと少なくとも何れかで構成される。記憶部は、対象製品の動作に関わるパラメータ及び状態の情報を記憶可能な電子計算機用のメモリであり、アップサイクルの成果を評価する基準値をさらに記憶している。

[0197] 本アップサイクルシステムにおいて、基準値Kは、記憶部に記憶された過去の実績情報と、機器仕様と、少なくとも何れかに基づいて、AIシステム又は人が決定する。アップサイクルは、対象製品の一部とソフトウェアとの少なくとも何れかを更新する。このアップサイクルの前後それぞれで、デジタルツインによるシミュレーションする。

[0198] そのシミュレーションの評価が基準値（図9のK）を超える場合に、対象製品を実際にアップサイクルする。しかも、そのアップサイクルは、対象製品の運用データに基づいて、デジタルツインのパラメータを変更して精度を向上させる。このように、デジタルツインの精度が十分となった後に、対象製品のデジタルツインと、対象製品の一部を新しい装置や制御とした場合の新しいデジタルツインと、について同一条件下で運用した場合のシミュレー

ション結果を比較する。その結果が良ければ、対象製品の一部を新しい装置や制御に交換する。

[0199] このような本アップサイクルシステムによれば、従前の対象製品の仕様性能と比べ、それ以上の性能を繰り返し確保できるという効果がある。このように、本アップサイクルシステムは、環境保全、性能向上、リサイクルまで含めて、各部の更新前後をデジタルツインでシミュレーション検証しながらアップサイクルの是非を判断し、有益な更新計画を提案可能である。

[0200] また、本アップサイクルシステムは、アップサイクルした後も、さらにアップサイクルできるので、そのように繰り返しアップサイクルした結果、シミュレーションの精度を向上させる効果がある。鉄道の実車を高性能化することは、持続可能な環境づくりに寄与するので、その観点からも、本アップサイクルシステムは有益である。

[0201] [2] 本アップサイクルシステムは、部材とソフトウェアと少なくとも何れかアップサイクル可能な単位毎に、同定済みで既存のデジタルツインと、新機能により更新して新規作成したデジタルツインと、を組み合わせることで1つのデジタルツインにする。これによれば、実車と同定済みモデル（既知部分）に、アップサイクル部分（新機能）モデルのみ変更しすることで、新機能部分の効果に着目して評価できる。

[0202] [3] 鉄道システムに属する対象と、これに対応したデジタルツインモデルには、共通のIDが付与され、IDに運用データが紐づけされる。

[0203] [4] デジタルツインモデルのパラメータの調整に用いられる運用データには、列車の運行情報、運転指令若しくは運転操作、列車の構成情報、又は車両の機器動作が含まれる。本アップサイクルシステムは、以下の運用データに対し、製品、部品、又は素材のトレーサビリティを可能にするID（戸籍データ）が付与される。運用データは、列車の運行情報（ダイヤ相当）と、運転指令（運転操作）と、列車の構成情報と、車両／機器動作（モデルによって変わる可能性あり）と、の少なくとも何れかを、異なる実車のデジタルツインに共通の紐づけされる。使用状況について、図18の α 履歴書情報とし

て、各モデル（車体、INV、制御等に対応したもの）に共通する運用データがあり、つぎのとおりである。

[0204] すなわち、運用データは、CI（周波数、入出力電流／電圧、PU（power unit）温度）と、APS（補助電源装置：Auxiliary Power Systemの周波数、入出力電流／電圧、PU（power unit）温度）と、蓄電池（充放電電流、電圧、SOC、SOH、温度）と、TCMS（各機器状態、乗車率、気温室温）と、車両の部材情報（振動、温度、歪み）と、の少なくとも何れかを、異なる実車のデジタルツインそれぞれに特有の紐づけされる。また、モデル同定、及び評価に必要なデータは、アップサイクルに必要な製品、部品、素材のトレーサビリティを実現するID（戸籍データ）と紐づけされる。

[0205] これらは、使い終わる前にアップサイクルするかしないかの判断に使える。また、アップサイクルする場合、レシピを作ることができるようになる。レシピは、部品そのまま使うときや、材料として他と組み合わせて再生産するときに用いられる。本アップサイクルシステムは、上述の運用データに対してデジタルツインを同定し、評価し、アップサイクルするので、多様な状況に対応できる。

[0206] なお、また、TCMS（列車情報制御装置：Train control and Monitoring System）は、情報技術の進展によって高性能化・高機能化が進み、車両に不可欠となった管理システムであり、地上装置との連携する等により、車両単独でなく、列車全体の情報を統括して制御することにより、省エネルギー化などを実現する。

[0207] [5] デジタルツインモデルのパラメータの調整に用いられる運用データには、対象がCIならば、周波数、入出力電流／電圧、又はパワーユニット温度が含まれ、対象がAPSならば、効率化計画法が含まれ、対象が蓄電池ならば、充放電電流、電圧、SOC、SOH、又は温度が含まれ、対象がTCMSならば、各機器状態、乗車率、又は気温室温が含まれ、対象が車両の部材ならば、振動、温度、又は歪みが含まれる。

[0208] [6] 本アップサイクルシステムは、鉄道システムに属する対象の運用デー

タに事故又は故障に起因した異常データが含まれていないと判断した後、デジタルツインモデルのパラメータを調整する。これによれば、一車両の履歴データだけでなく、複数車両（自編成内又は他編成車両）のデータを相互比較して異常箇所を判別し、異常データを除去することにより、デジタルツインモデルの精度が向上する。

[0209] [7] 本アップサイクルシステムは、性能低下を時刻暦ベースのシミュレーションで把握して性能劣化時期を予測し、鉄道システムに属する対象の劣化が始まる前に価値向上時期を決定し提案する。これによれば、劣化とみなす状態に遷移する前に、機能向上することで、継続的な機能向上を長期間提供することにより、循環型社会を構築できる。継続的な機能向上とは、劣化を発生させず、新製時と同等以上の価値を提供し続けることをいう。

[0210] [8] 本アップサイクルシステムは、鉄道システムに属する対象の運用データは、自動運転又は運転支援システムを利用しての運転のデータを用いる。これにより、安定した（既知の）運転パターンでモデルパラメータを合わせ込むため、効率よく短時間で高精度にデジタルツインを同定する。これに対し、手動パターンだと、人によって操作タイミングが異なる等の原因でモデル同定に不適切な操作が含まれるので、同定に時間を要する上に、バラツキが拡大するので精度が低くなる。

[0211] [9] 本アップサイクルシステムは、自動運転の運転パターン、又は運転支援システムの運転パターンの少なくとも何れかにデジタルツインパターンの調整に必要な運転パターンを規定しておく。これにより、効率良く短時間で高精度にデジタルツインを同定する。上記[7]の効果が高められる。

[0212] [10] 本アップサイクルシステムは、実車の運用データ以外の変動データも入力したシミュレーションの結果を比較することによって、価値向上に対する評価を可能とする。変動データは、実車運用データに含まれないが、仕様上の許容範囲内のデータである。これによれば、通常時以外も考慮してアップサイクル是非を判断できる。想定されうる範囲の運用データを入力として、アップサイクル可否判断（制御では調整結果）の頑健性を向上する。

[0213] [11] 本アップサイクルシステムは、価値向上する対象が、実車、蓄電池、駆動制御装置、補助電源制御装置、燃料電池システム、空調装置、車内監視装置、列車情報制御装置、旅客情報提供装置、座席、車両の部材、前方監視装置、安全監視装置、運転支援システム、自動運転の制御機能、又は地上/車上間無線情報伝送の制御機能の何れかである。

[0214] 本アップサイクルシステムは、製品又はソフトウェアをアップサイクルする。アップサイクルする製品は、例えば、蓄電池、及びモジュール製品である。アップサイクルするソフトウェアは、路線ごとにカスタマイズが必要な機能として、粘着制御と、前方監視感度と、DASパタンと、ATOパタンと、ハイブリッドエネルギー管理と、蓄電池電流制限と、蓄電池SOC範囲制限と、加速度制限による引張り制御と、空制ブレンディング制御と、機器動作チェンジオーバー地点情報と、の少なくとも何れかである。また、アップサイクル対象のモジュール製品、ソフトウェアやシステムとして、安全監視装置、座席、5G_OTA（第5世代移動通信_無線送受信：Over-the-air）、空調装置、ドライバレスシステム、燃料電池、駆動装置、蓄電池、TCMS、及びPISが例示列挙される。

[0215] このような、本アップサイクルシステムは、ソフトウェアに対し、劣化とみなす状態に遷移する前に、機能向上することで、継続的な機能向上を長期間提供できる。また、本アップサイクルシステムは、ハードウェアに対し、基本機能とカスタム機能切り分けられ、例えば、路線ごとのカスタマイズ、や性能向上が期待できる。つまり、本アップサイクルシステムは、顧客、路線状況にマッチした機能向上（モジュール更新）と、最高性能の追求（パラメータ調整）と、の少なくとも何れかを図れる。これにより、循環型社会を実現できる。

[0216] [12] 本アップサイクルシステムは、鉄道システムに属する対象には、個体認識に用いるIDが付与され、IDにカルテが紐づけられ、カルテは、変更作業データと同じ作業実施内容により更新される。そのカルテは、変更作業データ（製品の一部部品を交換等）と同じ作業実施内容により更新される。こ

れにより、アップサイクルの実現していることを示すためのトレーサビリティ確保の方法を示せる。また、アップサイクルの実現により、素材のグレード（品質）を維持又は向上させることができる。

[0217] その結果、品質保証に寄与できる。なお、「実車両の製品、部品、及び素材」と、「データ空間の製品、部品、及び素材」とは、ID等により一対一に関連付けされ、アップサイクルで構成が変化しても、その変化を追跡し初期の品質を保持または向上していることを保証できる。なお、構成が変化するのは、素材レベルから組直すことをいう。

[0218] [13] 本アップサイクルシステムは、運用データに基づいてデジタルツインモデル上で制御ソフトウェアのパラメータを自動調整し、所定トリガに応じて自動調整されたソフトウェアを有効化する。所定トリガは、手動操作だけでなく、カレンダーやダイヤ対応、保守その他、何かの機会毎で良い。しかも、本アップサイクルシステムは、デジタルツイン機能により走行状態に応じてリアルタイムで制御最適化する。その際、セキュリティ担保方法として、ソフトウェアは実車コントローラメモリにダウンロードされても、責任者が「確認」ボタンを押さないと有効化されない等の運用面で補完すると良い。

[0219] 制御機能を標準機能（カスタマイズ不要、PWM等基本制御）とカスタム機能（路線の特徴により調整必要、粘着制御、DAS等）に分離でき、後者を自動同定化してソフトウェア制作を低コスト化できる。仮に列車や装置をサブスク対応できる。サブスクリプション（subscription）方式とは、契約期間のみ自由に利用できる定額制課金方式として知られる。サブスク化した場合、各路線に応じたパラメータ調整が自動化されるため、効率化が図れる。

[0220] [14] 本アップサイクルシステムは、制御ソフトウェアの自動調整されるパラメータが、粘着制御、前方監視感度、運転支援システムボタン、自動列車制御ボタン、ハイブリッドエネルギー管理、蓄電池電流制限、蓄電池SOC範囲制限、加速度制限による引張力制御、空制ブレンディング制御、又は機器動作チェンジオーバー地点情報である。

[0221] [15] 本アップサイクルシステムで、対象となるのは、蓄電池であり、第1デジタルツインモデルは、車両11に搭載された蓄電池の充放電電流を模擬する。実際には、直列ユニットごとに充放電電流を模擬する。また、この場合、第2デジタルツインモデルは、車両11に搭載された蓄電池の代わりに交換する蓄電池の充放電電流を模擬する。この場合、アップサイクルの評価について、例えば、SOHを評価指標として、蓄電池の劣化の進行度合を測定する。これにより、SOHが限界値に到達した結果に基づく蓄電池交換判断ではなく、限界値に達する時機を予測し、蓄電池が所望の性能を発揮しているうちに、蓄電池のアップサイクル提案を可能とする。

[0222] 本発明の実施形態に係る鉄道のアップサイクル生産方法（以下「本生産方法」という）は、つぎのように総括できる。なお、以下の説明において、「本生産方法」を「アップサイクル方法」に読み替えても良い。

[16] 本生産方法は、シミュレーションの結果に応じて対象製品をアップサイクルしながら鉄道関連のソフトウェアを含む製品の生産方法である。すなわち、本生産方法は、つぎの工程を有して対象製品を生産する。

[0223] 予め、デジタルツインは、対象製品を仮想する数式モデルとソフトウェアと少なくとも何れかで構成しておく。また、鉄道に関連する対象製品の動作に関わるパラメータ、及び状態の情報を読み出し可能に電子計算機の記憶部に記憶する。そこには、アップサイクルの成果を評価する基準値をさらに記憶する。この基準値は、記憶された過去の実績情報と、機器仕様と、少なくとも何れかに基づいて、AIシステム又は人が決定する。準備が整ったならば、デジタルツインにより対象製品の動作をシミュレーションする。

[0224] デジタルツインによるシミュレーションは、対象製品の一部と、ソフトウェアと、の少なくとも何れかを更新するアップサイクルの前後それぞれで実行する。そのシミュレーションの結果に基づいてアップサイクルの要否（「要」の場合はその実施時機）を判断、アップサイクルが必要と判断した場合は、その実施時機に対象製品を更新する。

[0225] このような本生産方法によれば、従前の対象製品の仕様性能と比べ、それ

以上の性能を繰り返し確保できるという効果がある。また、本生産方法は、アップサイクルした後も、さらにアップサイクルできるので、そのように繰り返しアップサイクルした結果、シミュレーションの精度を向上させる効果がある。

符号の説明

[0226] 1…実車両フィールド、2…模擬車両フィールド、3…情報伝送部、11…実車両、12…実車両駆動部、13…実車両制御部、14…実車両駆動制御部、15…軌条、16…電力供給部、21…模擬車両、22…模擬車両駆動部、23…模擬車両制御部、24…模擬車両駆動制御部、31…広域情報伝送路、32…広域情報伝送部、33…広域情報送受基地、34…区域内情報伝送路、35…区域内情報伝送部、36…区域内情報送受基地、111…運転指令出力部、112, 112a, 112b…台車、113, 113a～113d…輪軸、114…集電装置、115…接地装置、117…主電動機、118…補助機器、121…主変圧器、122a…AC/DCコンバータ、122b…DC/ACインバータ、123…主回路蓄電池、123a, 123b, 123c…蓄電池システム、124…補助電源装置 (APS_DC/AC)、131…交流電圧検出器 (ACPT)、132, 132a～132e…交流電流検出器 (ACCCT)、133, 133a～133d, 135a, 135b…直流電圧検出器、134, 134a～134c…直流電流検出器、141…列車情報制御装置、142a…AC/DCコンバータ制御部、142b…DC/ACインバータ制御部、143…蓄電池制御装置、144…補助電源制御装置、231…車両動作解析部、232…制御データ解析部、233…記憶部、U…直列ユニット

請求の範囲

- [請求項1] コントローラとメモリとを有し、該コントローラと該メモリとが、
鉄道システムをシミュレーションするデジタルツイン環境を構築し、
前記メモリのプログラムに従って、前記鉄道システムの価値向上を実
行する鉄道アップサイクルシステムであって、
 前記コントローラは、
 前記鉄道システムに属する、価値向上する対象を模擬する第1 デジ
タルツインモデルを設定し、
 前記対象の運用データを取り込むことによって前記第1 デジタルツ
インモデルのパラメータを調整し、前記第1 デジタルツインモデルの
精度を向上させ、
 前記対象を価値向上した場合の更新対象を模擬する第2 デジタルツ
インモデルを設定し、
 前記第1 デジタルツインモデルと前記第2 デジタルツインモデルと
を同一条件下でそれぞれ運用した場合のシミュレーション結果を比較
することによって、前記価値向上に対する評価を可能とする、
 鉄道アップサイクルシステム。
- [請求項2] 同定済みで既存のデジタルツインモデルに含まれる一以上の機能を
新機能により更新して新しいデジタルツインモデルにする、
 請求項1 に記載の鉄道アップサイクルシステム。
- [請求項3] 鉄道システムに属する対象と、これに対応したデジタルツインモデ
ルには、共通のIDが付与され、該IDに運用データが紐づけされる、
 請求項1 又は2 に記載の鉄道アップサイクルシステム。
- [請求項4] デジタルツインモデルのパラメータの調整に用いられる運用データ
には、
 列車の運行情報、運転指令若しくは運転操作、列車の構成情報、又
は車両の機器動作が含まれる、
 請求項1 ～3 の何れかに記載の鉄道アップサイクルシステム。

- [請求項5] デジタルツインモデルのパラメータの調整に用いられる運用データには、
- 前記対象が駆動制御装置ならば、周波数、入出力電流／電圧、又はパワーユニット温度が含まれ、
- 前記対象が補助電源制御装置ならば、周波数、入出力電流／電圧、又はパワーユニット温度が含まれ、
- 前記対象が蓄電池ならば、充放電電流、電圧、SOC、SOH、又は温度が含まれ、
- 前記対象が列車情報制御装置ならば、各機器状態、乗車率、又は気温室温が含まれ、
- 前記対象が車両の部材ならば、振動、温度、又は歪みが含まれる、
- 請求項1～4の何れかに記載の鉄道アップサイクルシステム。
- [請求項6] 前記鉄道システムに属する対象の運用データに事故又は故障に起因した異常データが含まれていないと判断した後、デジタルツインモデルのパラメータを調整する、
- 請求項1～5の何れかに記載の鉄道アップサイクルシステム。
- [請求項7] 性能低下を時刻暦ベースのシミュレーションにより把握して性能劣化時期を予測し、前記鉄道システムに属する対象の劣化が始まる前に価値向上時期を決定し提案する、
- 請求項1～6の何れかに記載の鉄道アップサイクルシステム。
- [請求項8] 前記鉄道システムに属する対象の運用データには、自動運転又は運転支援システムを利用した運転のデータを用いる、
- 請求項1～7の何れかに記載の鉄道アップサイクルシステム。
- [請求項9] 前記自動運転の運転パターン、又は前記運転支援システムの運転パターンの少なくとも何れかにデジタルツインモデルの調整に必要な運転パターンを規定しておく、
- 請求項8に記載の鉄道アップサイクルシステム。
- [請求項10] 実車の運用データ以外の変動データも入力した前記シミュレーショ

ンの結果を比較することによって、前記価値向上に対する評価を可能とする、

請求項 1 ～ 9 の何れかに記載の鉄道アップサイクルシステム。

[請求項11] 前記価値向上する対象が、

実車、蓄電池、駆動制御装置、補助電源制御装置、燃料電池システム、空調装置、車内監視装置、列車情報制御装置、旅客情報提供装置、座席、車両の部材、前方監視装置、安全監視装置、運転支援システム、自動運転の制御機能、又は地上/車上間無線情報伝送の制御機能の何れかである、

請求項 1 ～ 10 の何れかに記載の鉄道アップサイクルシステム。

[請求項12] 前記鉄道システムに属する対象には、個体認識に用いるIDが付与され、該IDにカルテが紐づけられ、該カルテは、変更作業データと同じ作業実施内容により更新される、

請求項 1 ～ 11 の何れかに記載の鉄道アップサイクルシステム。

[請求項13] 運用データに基づいてデジタルツインモデル上で制御ソフトウェアのパラメータを自動調整し、所定トリガに応じて前記自動調整されたソフトウェアを有効化する、

請求項 1 ～ 12 の何れかに記載の鉄道アップサイクルシステム。

[請求項14] 前記制御ソフトウェアの自動調整されるパラメータが、粘着制御、前方監視感度、運転支援システムパターン、自動列車制御パターン、ハイブリッドエネルギー管理、蓄電池電流制限、蓄電池SOC範囲制限、加速度制限による引張り制御、空制ブレンディング制御、又は機器動作チェンジオーバー地点情報である、

請求項 13 に記載の鉄道アップサイクルシステム。

[請求項15] 前記対象は、蓄電池であり、

前記第 1 デジタルツインモデルは、車両に搭載された前記蓄電池の充放電電流を模擬する、

請求項 1 に記載の鉄道アップサイクルシステム。

- [請求項16] 前記第2デジタルツインモデルは、車両に搭載された前記蓄電池の代わりに交換する前記蓄電池の充放電電流を模擬する、
請求項15に記載の鉄道アップサイクルシステム。
- [請求項17] コントローラとメモリとを有し、該コントローラと該メモリとが、
鉄道システムをシミュレーションするデジタルツイン環境を構築し、
前記メモリのプログラムに従って、前記鉄道システムの価値向上を実行する鉄道アップサイクル方法であって、
前記コントローラは、
前記鉄道システムに属する、価値向上する対象を模擬する第1デジタルツインモデルを設定し、
前記対象の運用データを取り込むことによって前記第1デジタルツインモデルのパラメータを調整し、前記第1デジタルツインモデルの精度を向上させ、
前記対象を価値向上した場合の更新対象を模擬する第2デジタルツインモデルを設定し、
前記第1デジタルツインモデルと前記第2デジタルツインモデルとを同一条件下でそれぞれ運用した場合のシミュレーション結果を比較することによって、前記価値向上に対する評価を可能とする、
鉄道アップサイクル方法。
- [請求項18] 同定済みで既存のデジタルツインモデルに含まれる一以上の機能
新機能により更新して新しいデジタルツインモデルにする、
請求項17に記載の鉄道アップサイクル方法。
- [請求項19] 鉄道システムに属する対象と、これに対応したデジタルツインモデルには、共通のIDが付与され、該IDに運用データが紐づけされる、
請求項17又は18に記載の鉄道アップサイクル方法。
- [請求項20] デジタルツインモデルのパラメータの調整に用いられる運用データには、
列車の運行情報、運転指令若しくは運転操作、列車の構成情報、又

は車両の機器動作が含まれる、

請求項 17～19の何れかに記載の鉄道アップサイクル方法。

[請求項21] デジタルツインモデルのパラメータの調整に用いられる運用データには、

前記対象が駆動制御装置ならば、周波数、入出力電流／電圧、又はパワーユニット温度が含まれ、

前記対象が補助電源制御装置ならば、周波数、入出力電流／電圧、又はパワーユニット温度が含まれ、

前記対象が蓄電池ならば、充放電電流、電圧、SOC、SOH、又は温度が含まれ、

前記対象が列車情報制御装置ならば、各機器状態、乗車率、又は気温室温が含まれ、

前記対象が車両の部材ならば、振動、温度、又は歪みが含まれる、

請求項 17～20の何れかに記載の鉄道アップサイクル方法。

[請求項22] 前記鉄道システムに属する対象の運用データに事故又は故障に起因した異常データが含まれていないと判断した後、デジタルツインモデルのパラメータを調整する、

請求項 17～21の何れかに記載の鉄道アップサイクル方法。

[請求項23] 性能低下を時刻暦ベースのシミュレーションにより把握して性能劣化時期を予測し、前記鉄道システムに属する対象の劣化が始まる前に価値向上時期を決定し提案する、

請求項 17～22の何れかに記載の鉄道アップサイクル方法。

[請求項24] 前記鉄道システムに属する対象の運用データには、自動運転又は運転支援システムを利用した運転のデータを用いる、

請求項 17～23の何れかに記載の鉄道アップサイクル方法。

[請求項25] 前記自動運転の運転パターン、又は前記運転支援システムの運転パターンの少なくとも何れかにデジタルツインモデルの調整に必要な運転パターンを規定しておく、

請求項 2 4 に記載の鉄道アップサイクル方法。

[請求項26] 実車の運用データ以外の変動データも入力した前記シミュレーションの結果を比較することによって、前記価値向上に対する評価を可能とする、

請求項 1 7 ～ 2 5 の何れかに記載の鉄道アップサイクル方法。

[請求項27] 前記価値向上する対象が、

実車、蓄電池、駆動制御装置、補助電源制御装置、燃料電池システム、空調装置、車内監視装置、列車情報制御装置、旅客情報提供装置、座席、車両の部材、前方監視装置、安全監視装置、運転支援システム、自動運転の制御機能、又は地上/車上間無線情報伝送の制御機能の何れかである、

請求項 1 7 ～ 2 6 の何れかに記載の鉄道アップサイクル方法。

[請求項28] 前記鉄道システムに属する対象には、個体認識に用いるIDが付与され、該IDにカルテが紐づけられ、該カルテは、変更作業データと同じ作業実施内容により更新される、

請求項 1 7 ～ 2 7 の何れかに記載の鉄道アップサイクル方法。

[請求項29] 運用データに基づいてデジタルツインモデル上で制御ソフトウェアのパラメータを自動調整し、所定トリガに応じて前記自動調整されたソフトウェアを有効化する、

請求項 1 7 ～ 2 8 の何れかに記載の鉄道アップサイクル方法。

[請求項30] 前記制御ソフトウェアの自動調整されるパラメータが、粘着制御、前方監視感度、運転支援システムパタン、自動列車制御パタン、ハイブリッドエネルギー管理、蓄電池電流制限、蓄電池SOC範囲制限、加速度制限による引張り制御、空制ブレンディング制御、又は機器動作チェンジオーバー地点情報である、

請求項 2 9 に記載の鉄道アップサイクル方法。

[請求項31] 前記対象は、蓄電池であり、

前記第 1 デジタルツインモデルは、車両に搭載された前記蓄電池の

充放電電流を模擬する、

請求項 17 に記載の鉄道アップサイクル方法。

[請求項32] 前記第2 デジタルツインモデルは、車両に搭載された前記蓄電池の代わりに交換する前記蓄電池の充放電電流を模擬する、

請求項 31 に記載の鉄道アップサイクル方法。

[請求項33] コントローラとメモリとを有し、該コントローラと該メモリとが、鉄道システムをシミュレーションするデジタルツイン環境を構築し、前記メモリのプログラムに従って、前記鉄道システムの価値向上を実行する鉄道アップサイクル生産方法であって、

前記コントローラは、

前記鉄道システムに属する、価値向上する対象を模擬する第1 デジタルツインモデルを設定し、

前記対象の運用データを取り込むことによって前記第1 デジタルツインモデルのパラメータを調整し、前記第1 デジタルツインモデルの精度を向上させ、

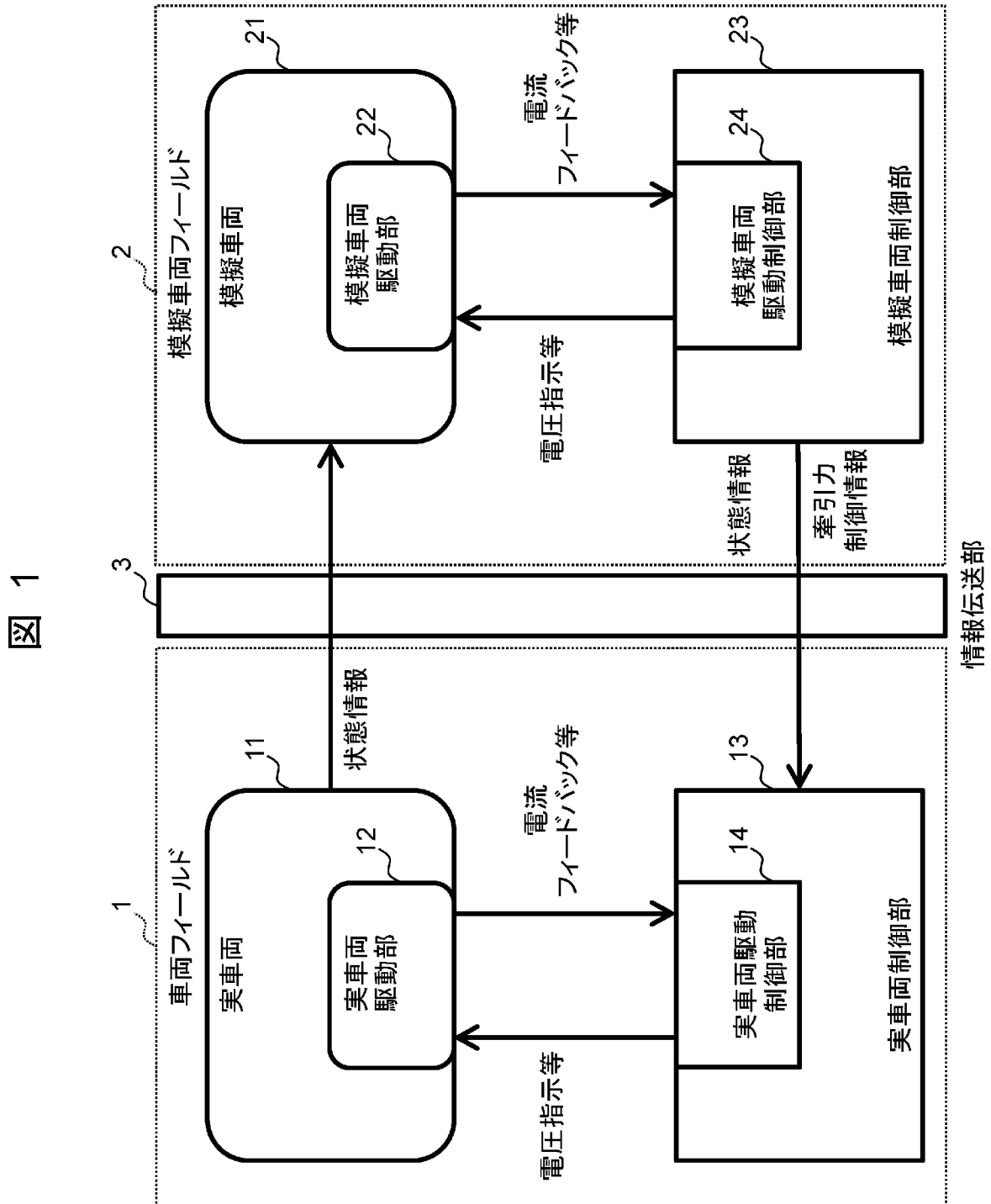
前記対象を価値向上した場合の更新対象を模擬する第2 デジタルツインモデルを設定し、

前記第1 デジタルツインモデルと前記第2 デジタルツインモデルとを同一条件下でそれぞれ運用した場合のシミュレーション結果を比較することによって、前記価値向上に対する評価を可能とし、

前記対象を価値向上した鉄道システムを生産する、

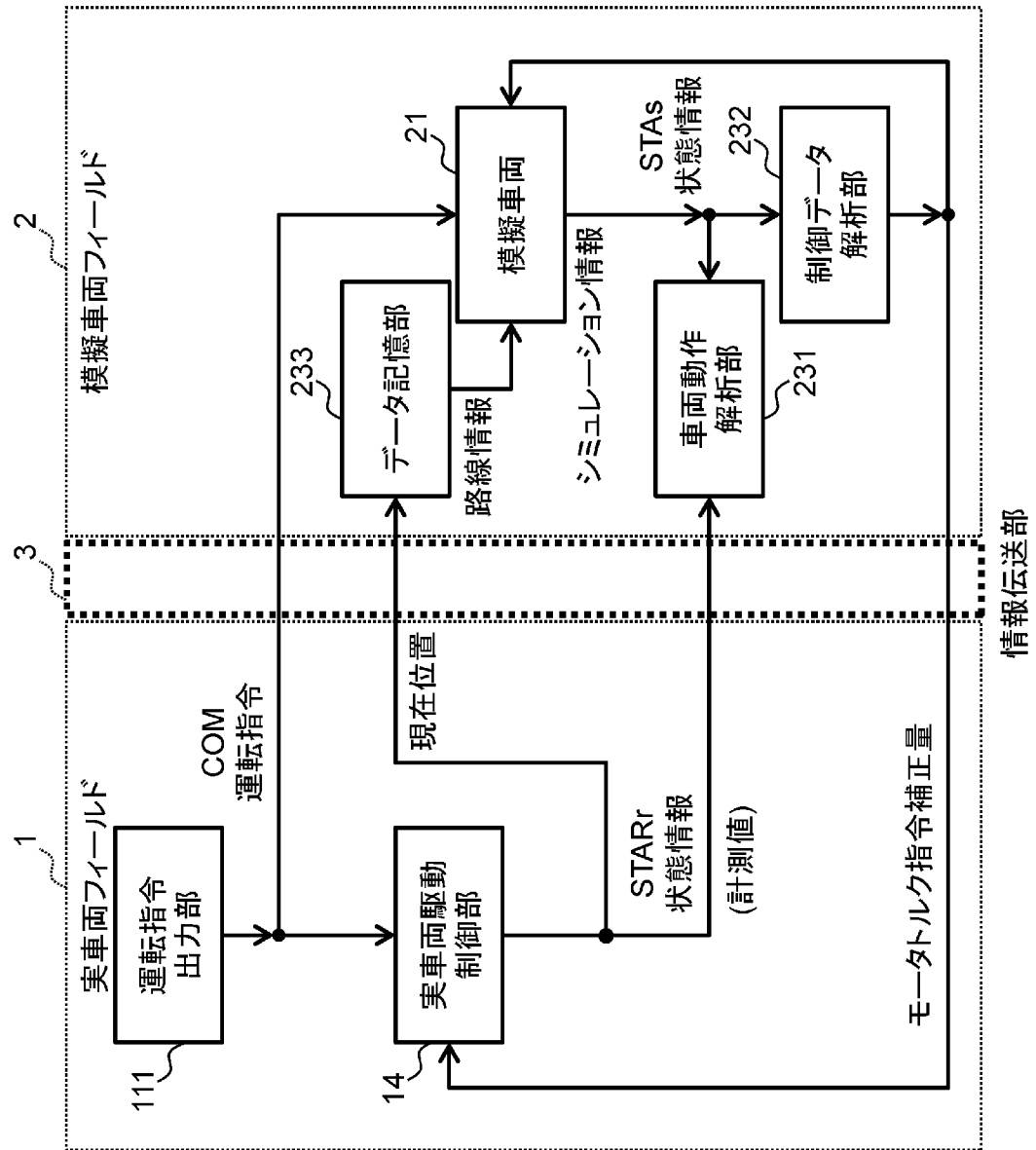
鉄道アップサイクル生産方法。

[図1]



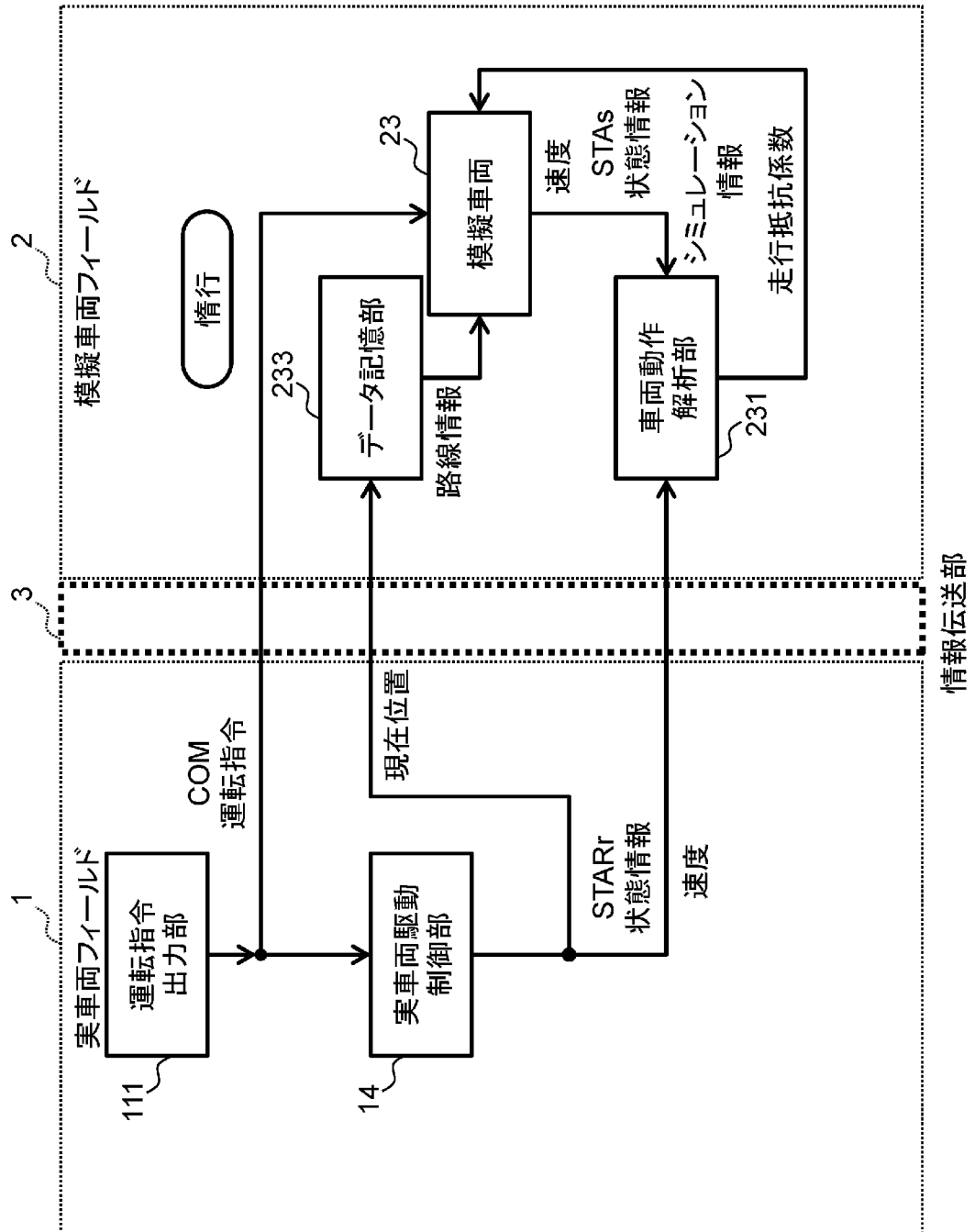
[図2]

図 2



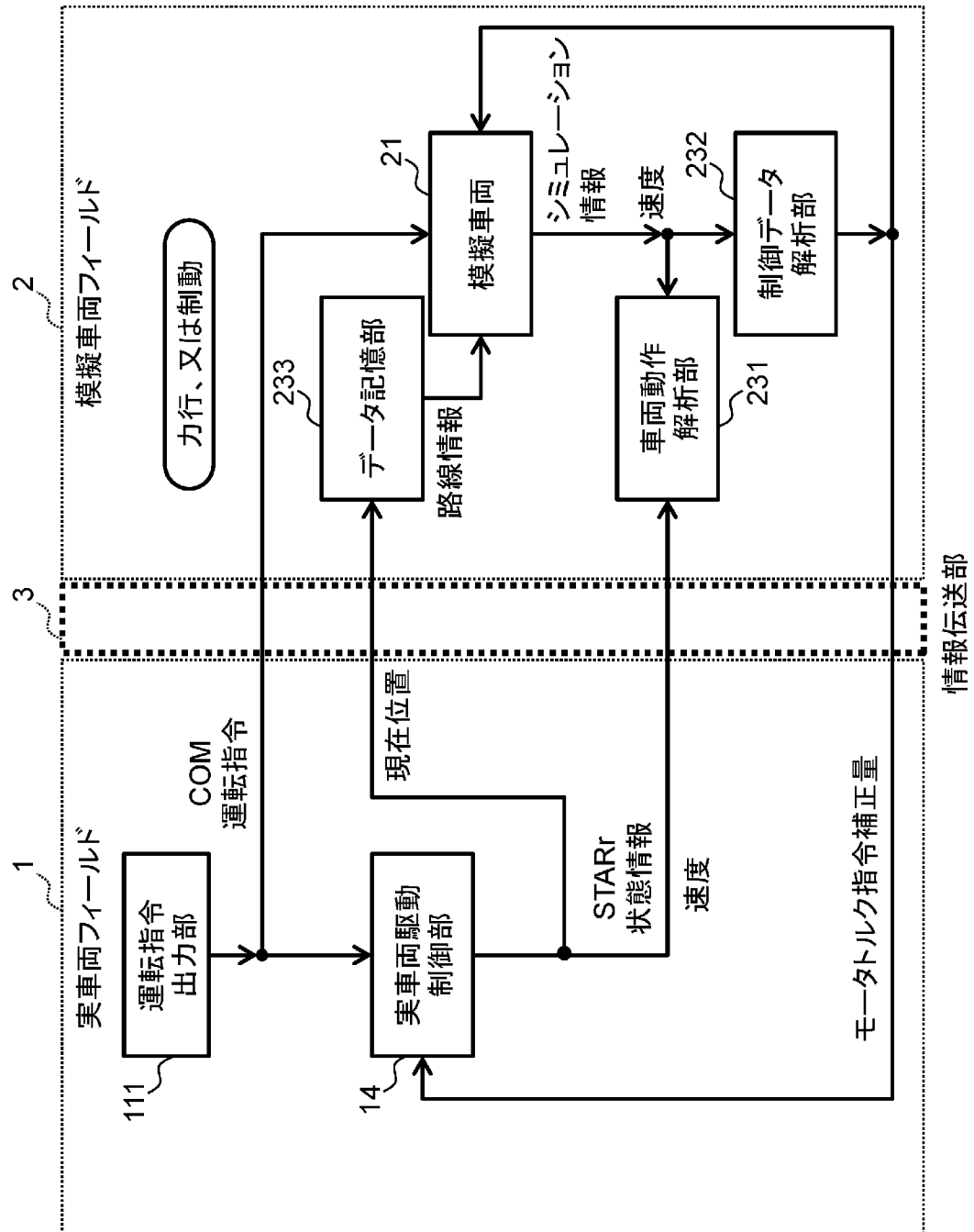
[図3]

図 3

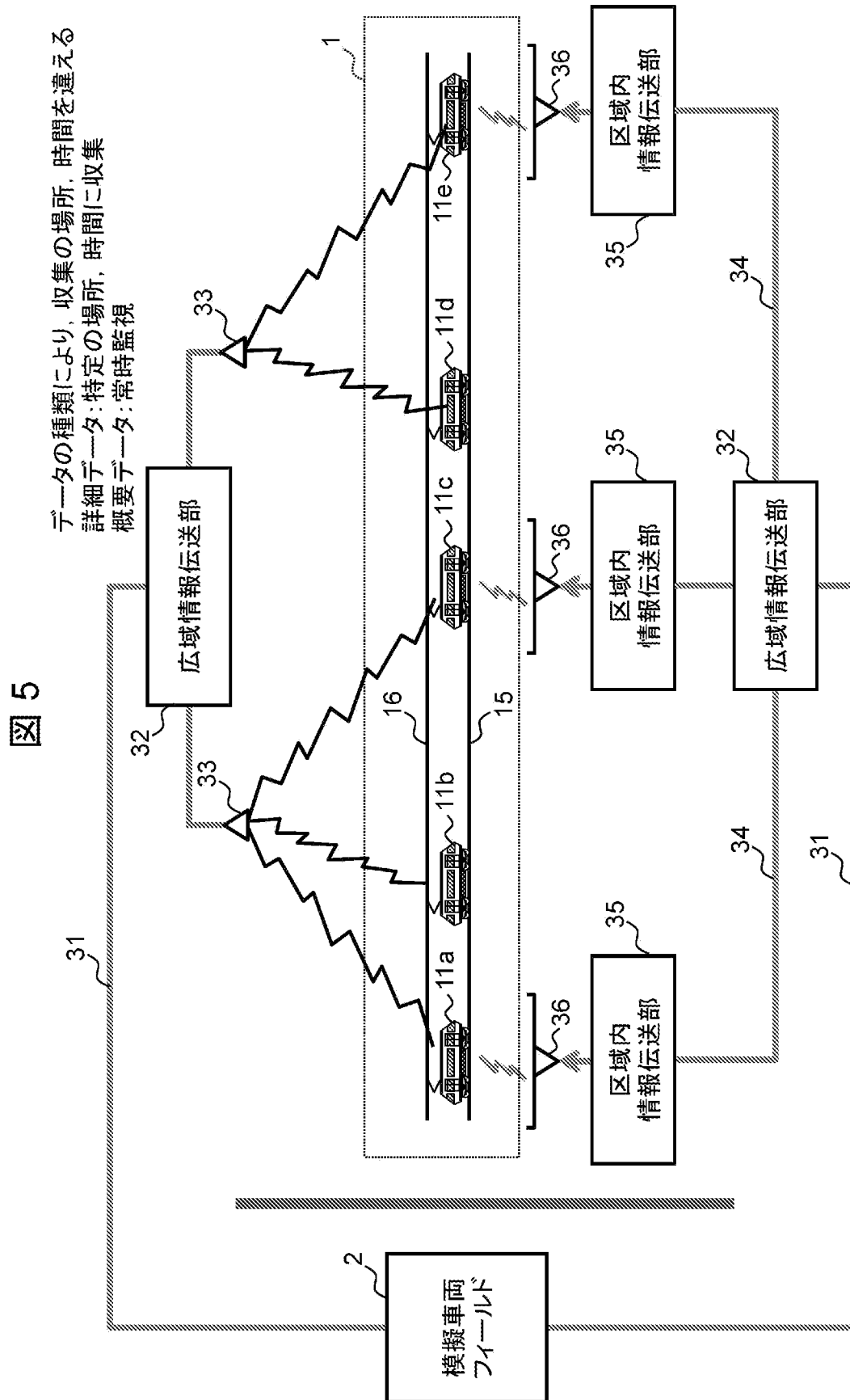


[図4]

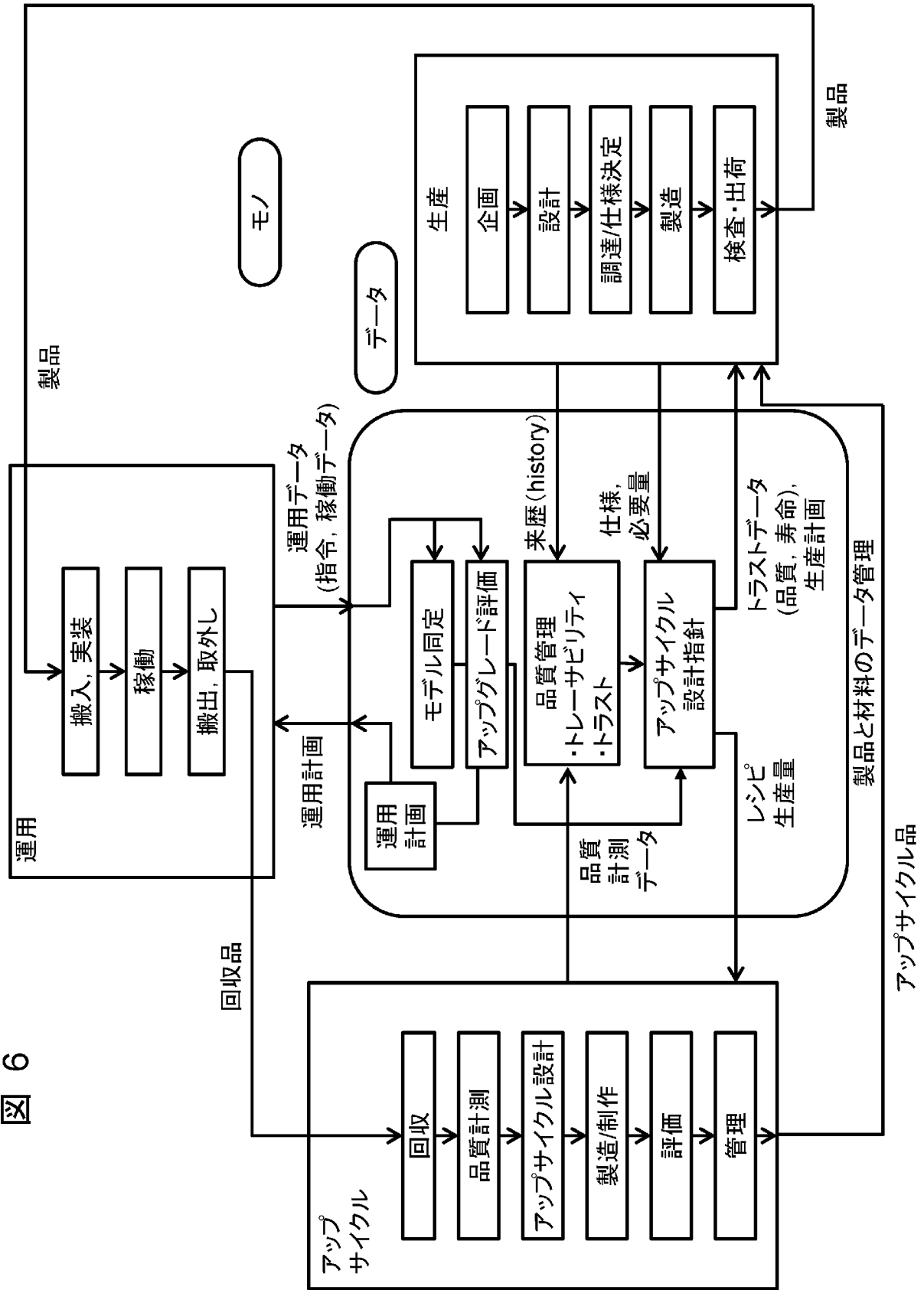
図 4



【図5】

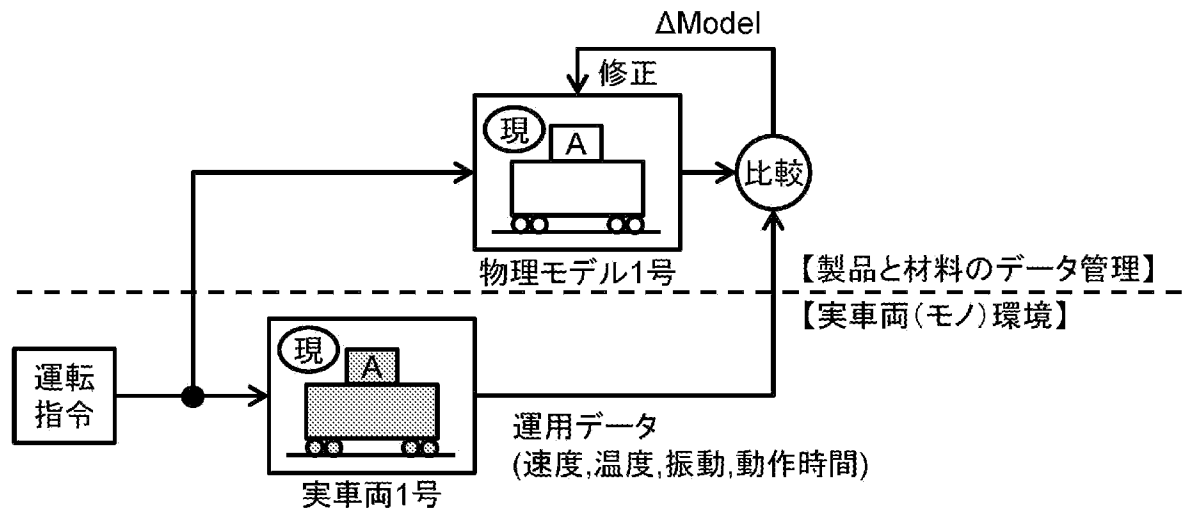


[図6]



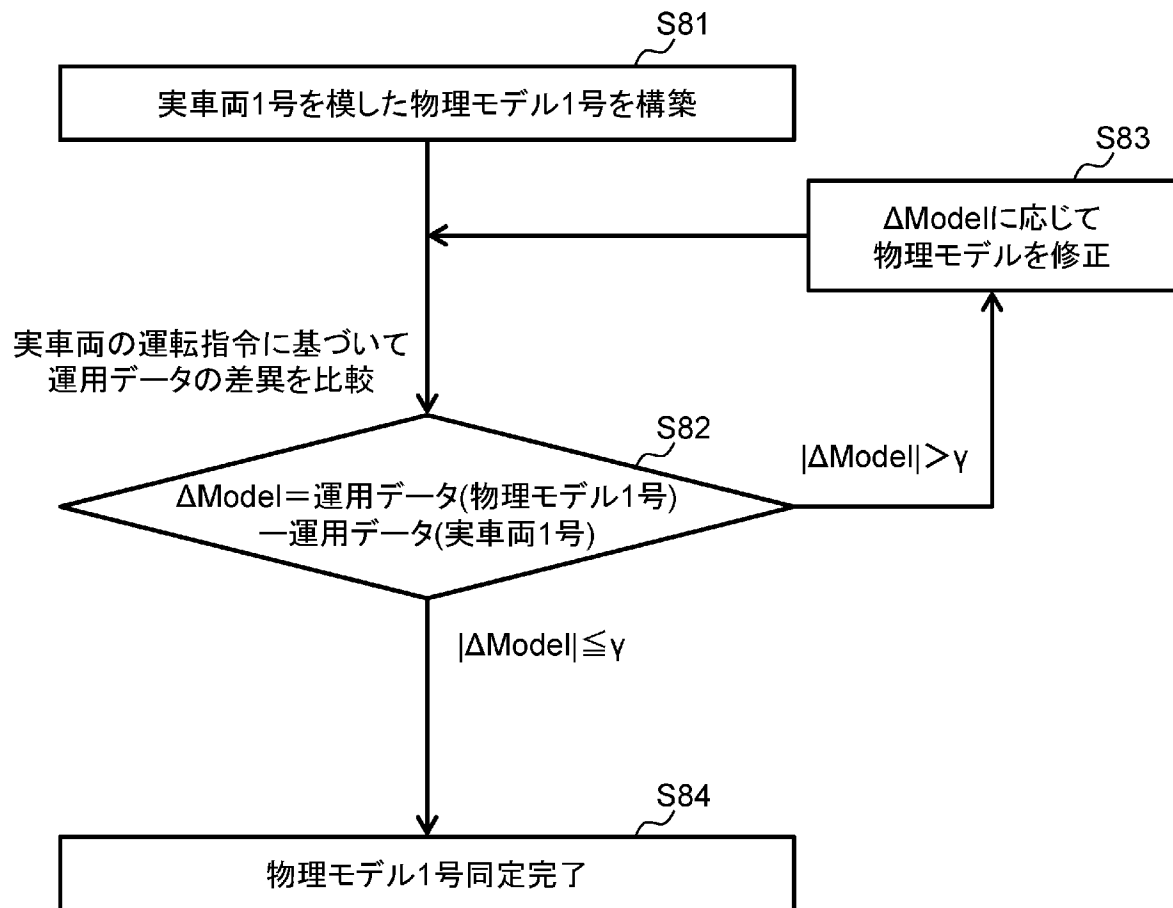
[図7]

図 7



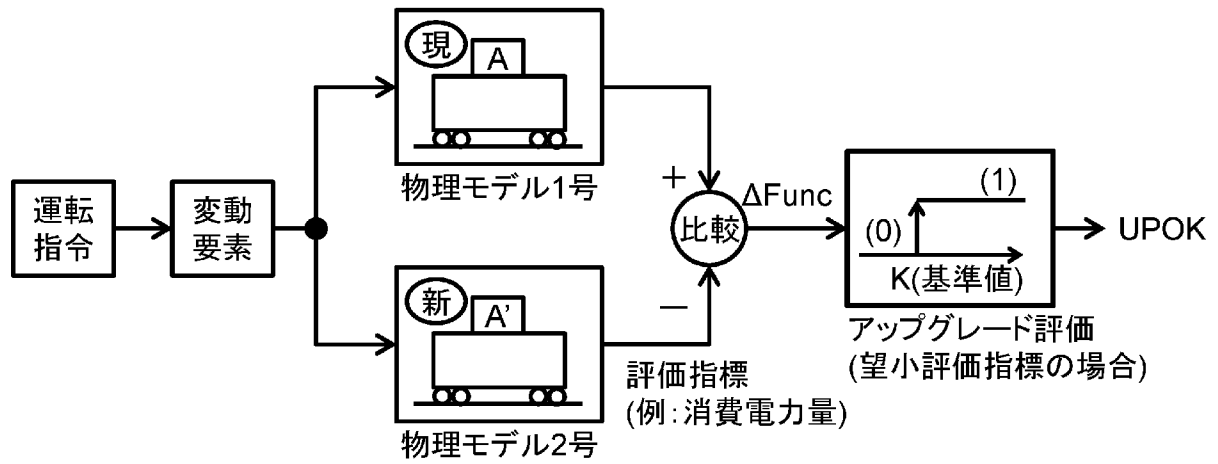
[図8]

図 8



[図9]

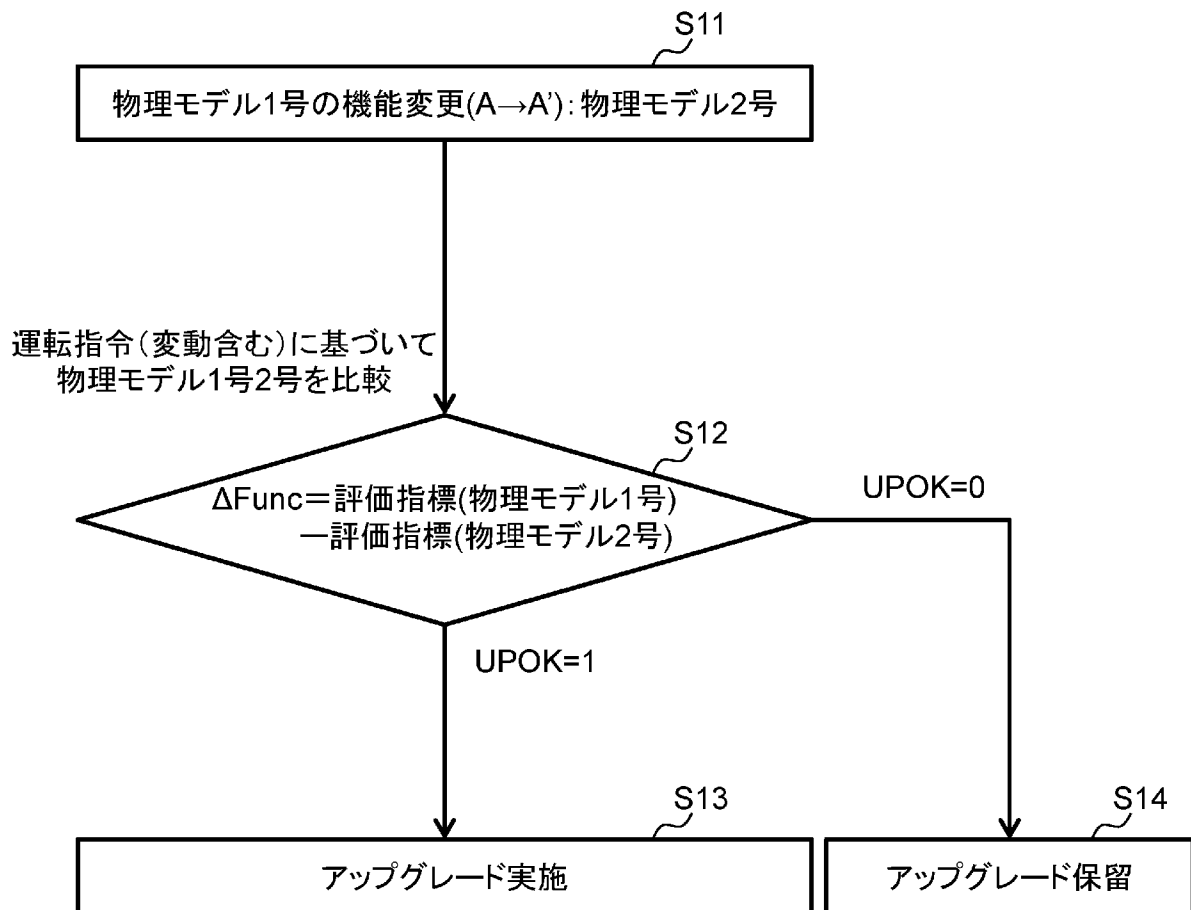
図 9



【製品と材料のデータ管理】

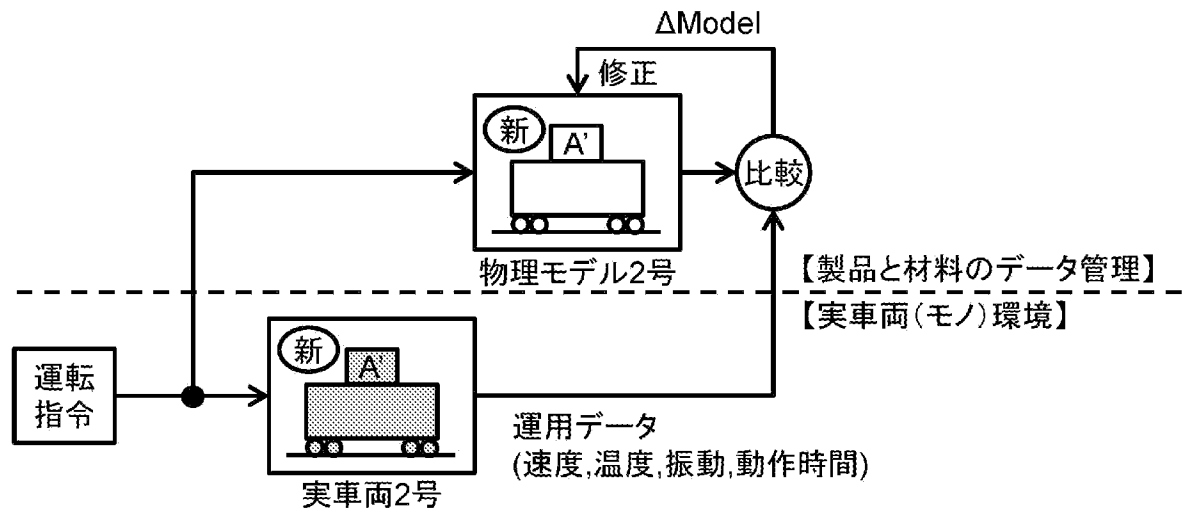
[図10]

図 10



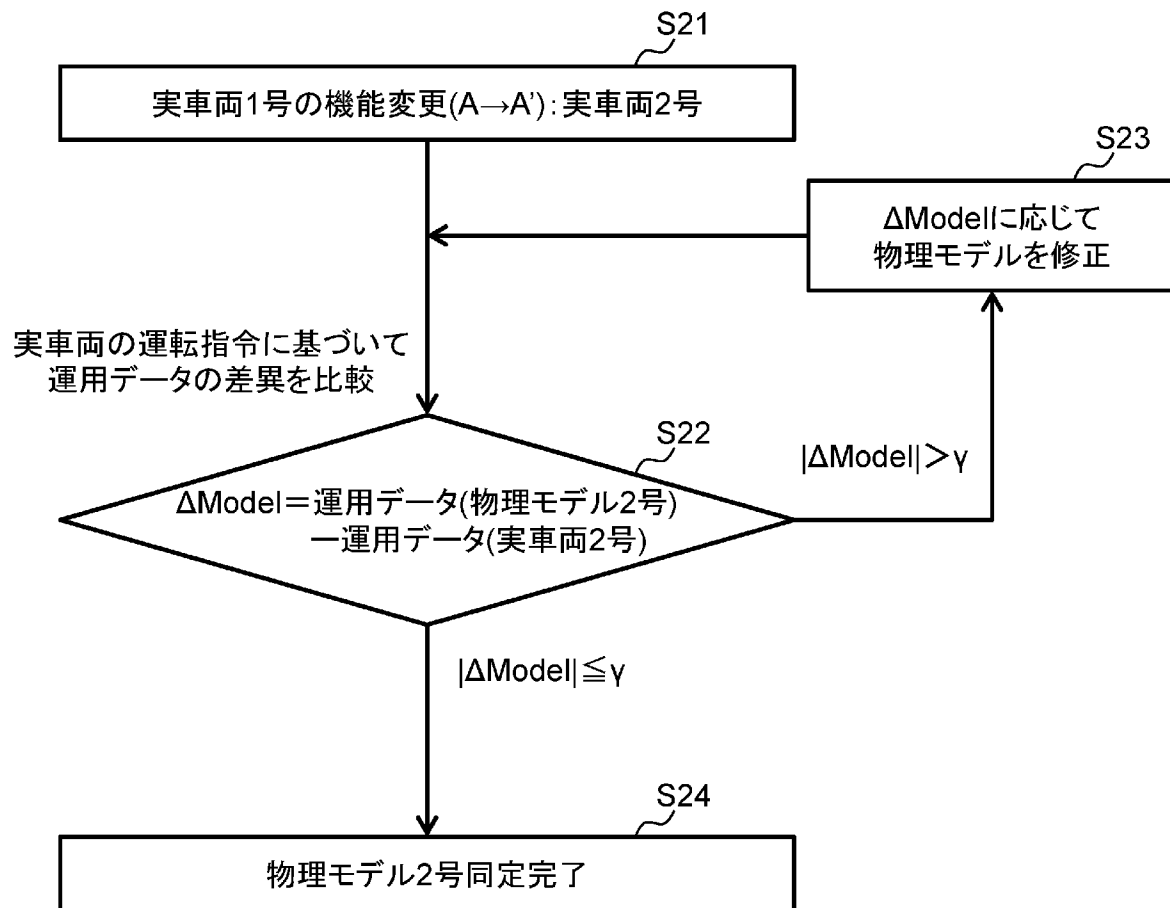
[図11]

図 11



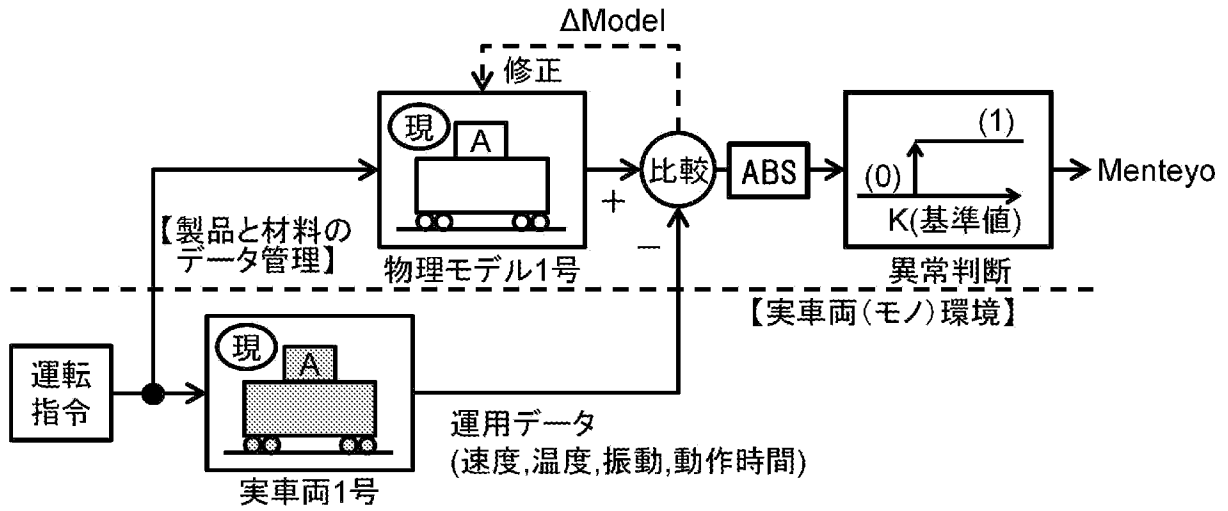
[図12]

図 12



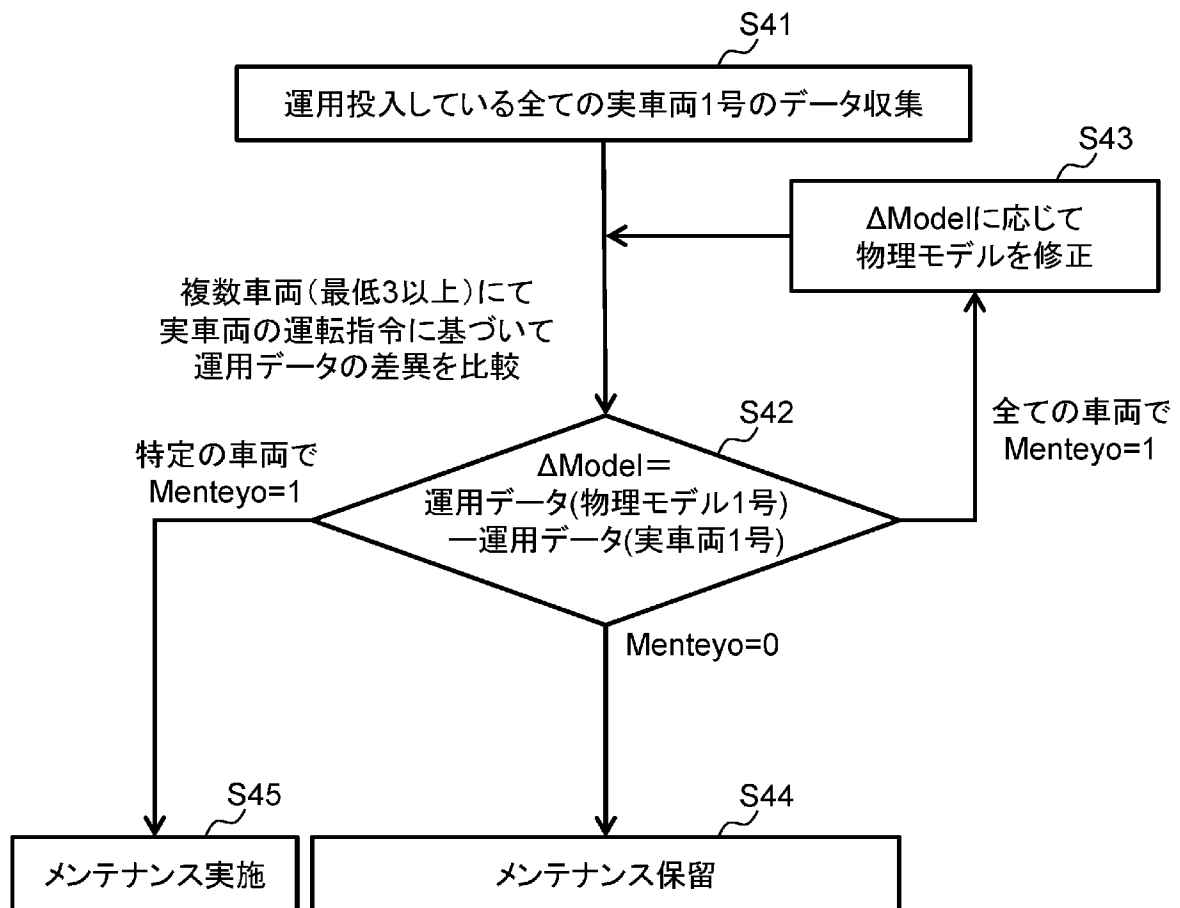
[図13]

図 13



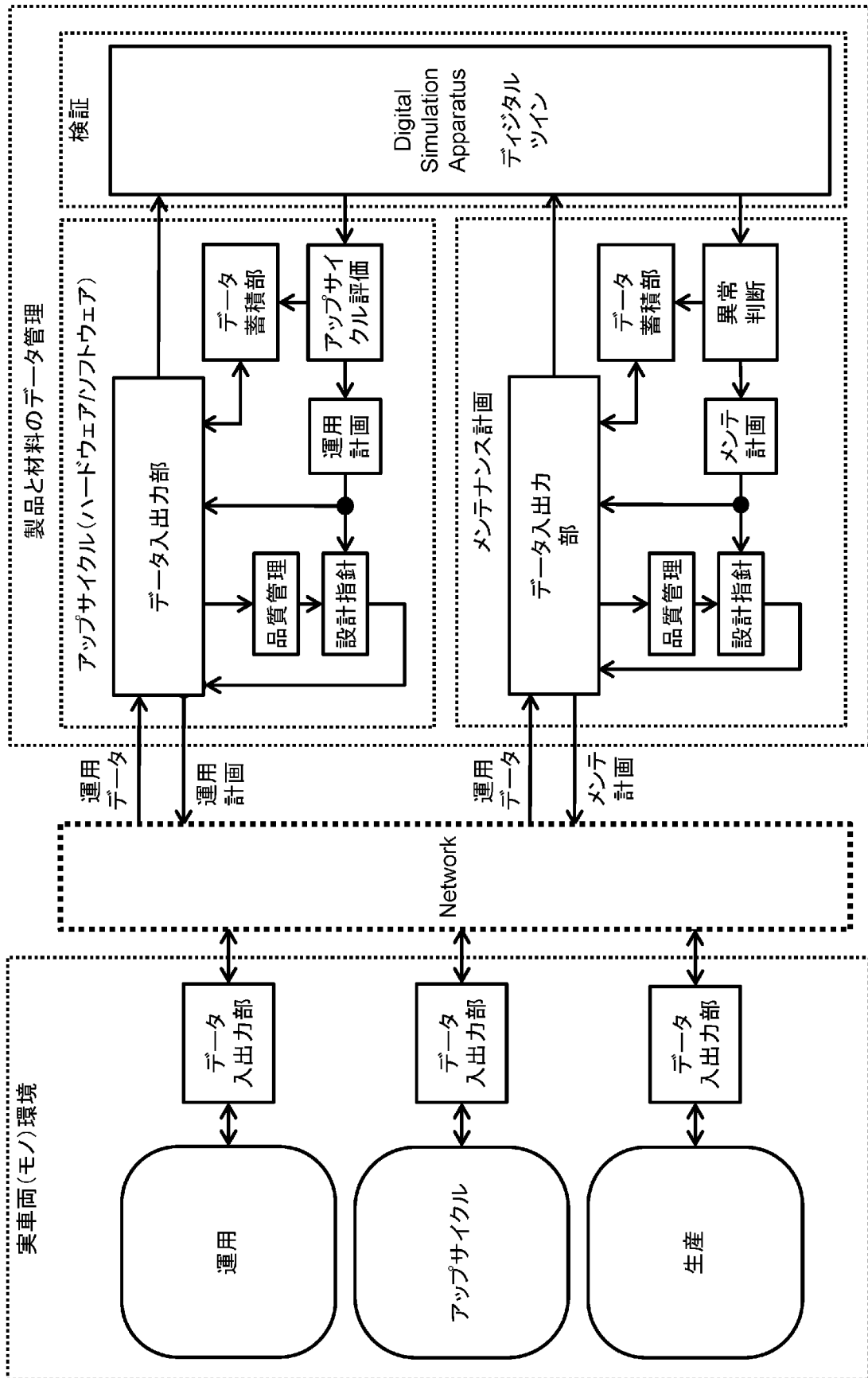
[図14]

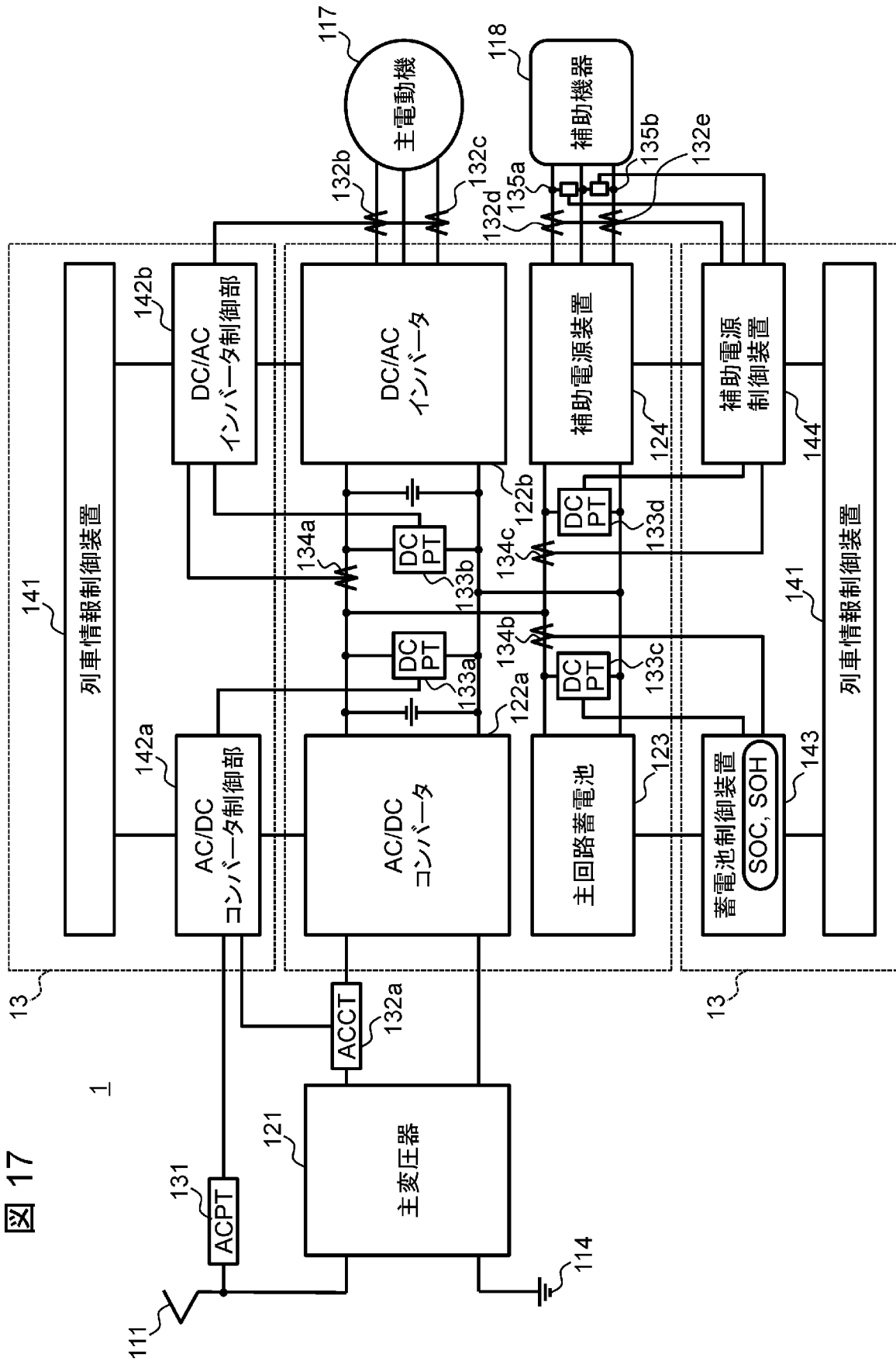
図 14



[図15]

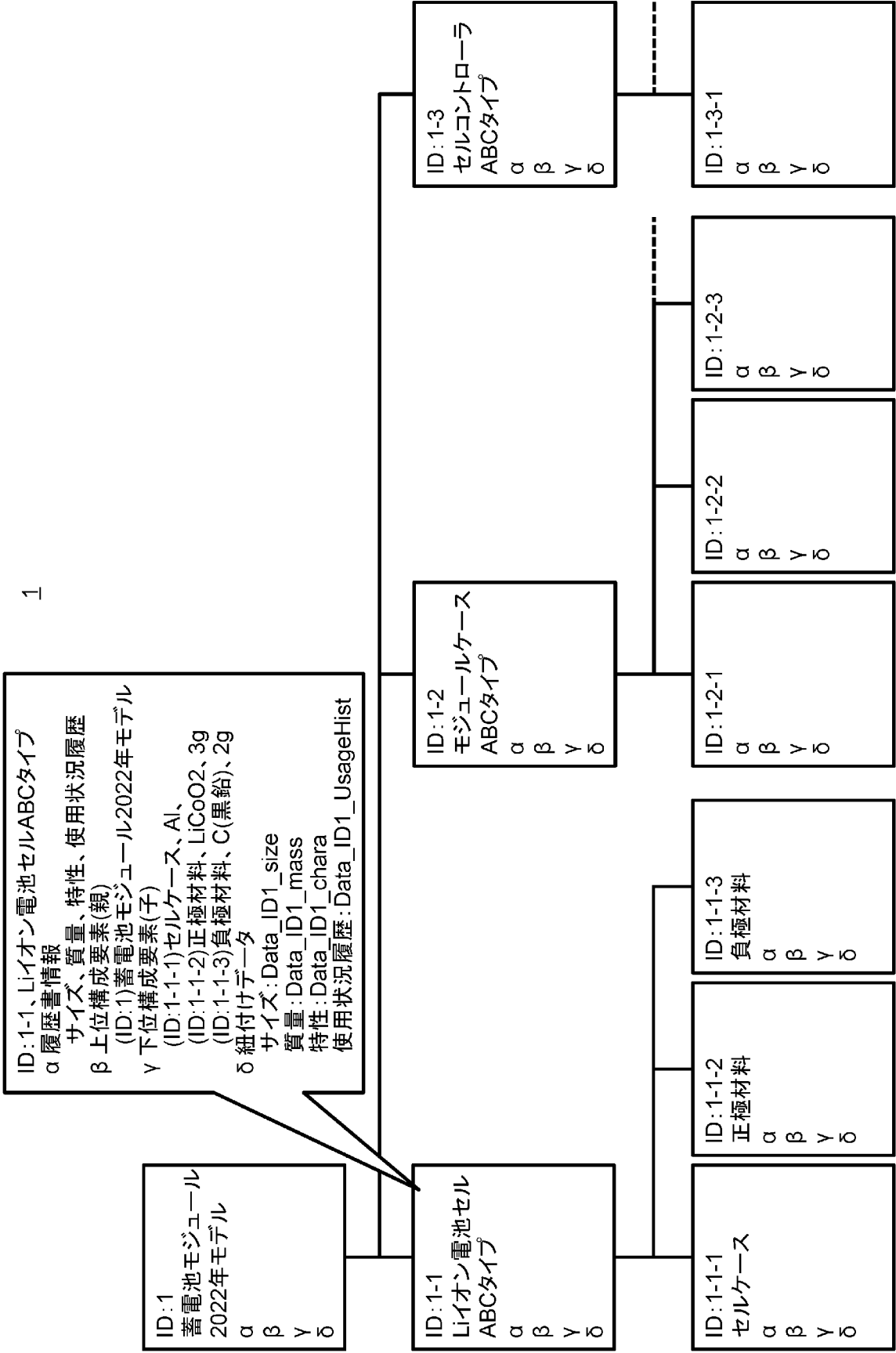
図 15



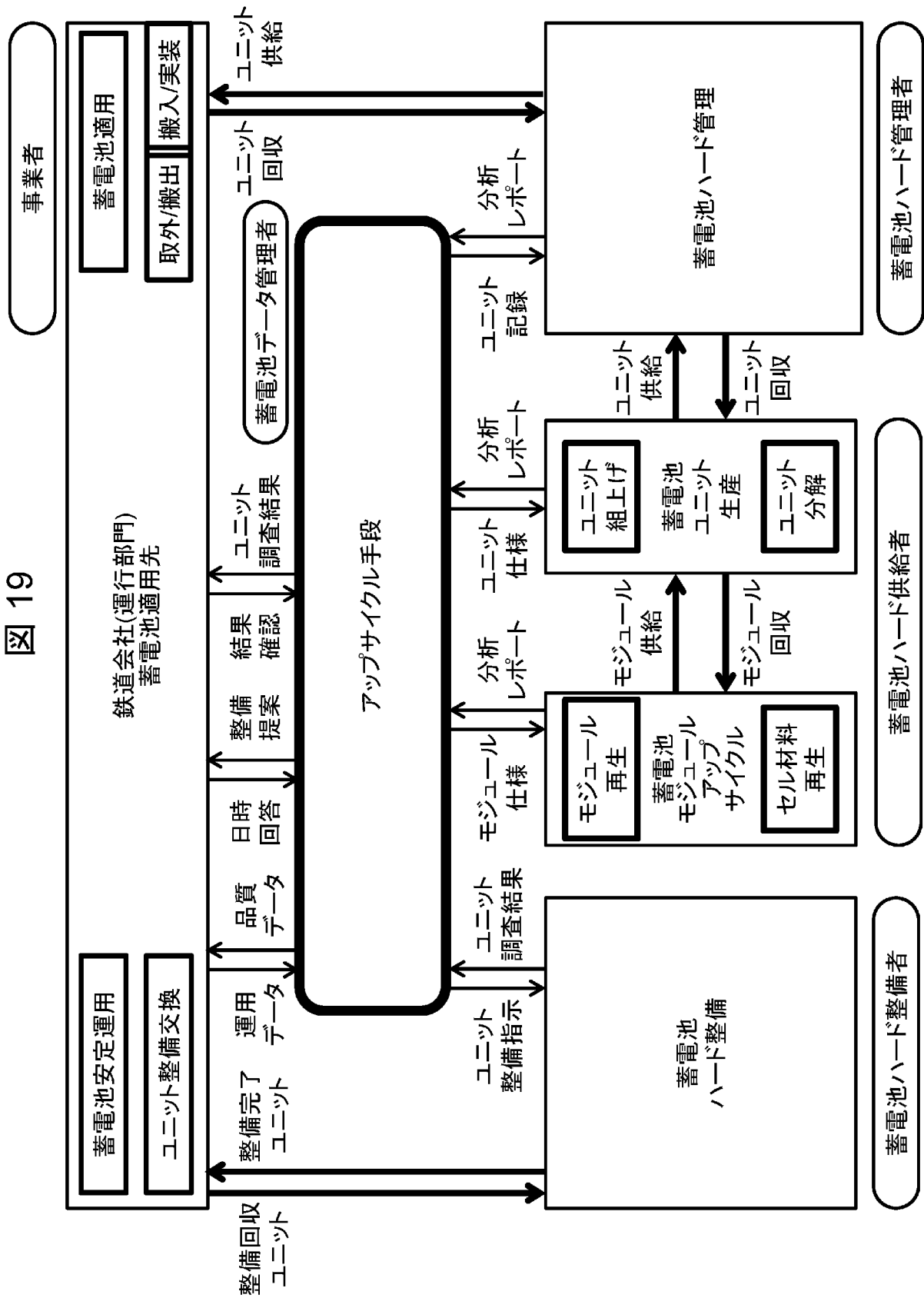
17 

[図18]

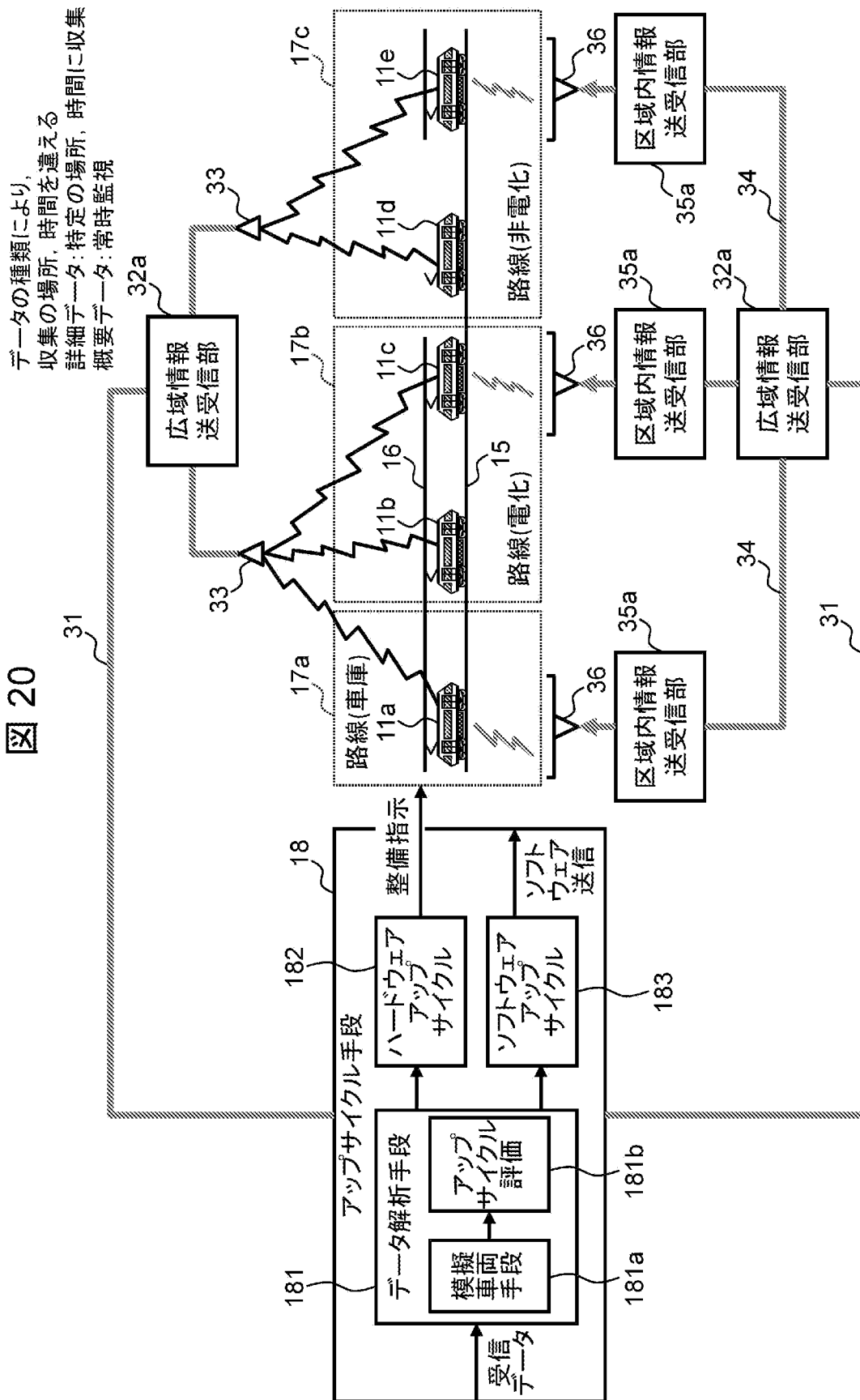
図 18



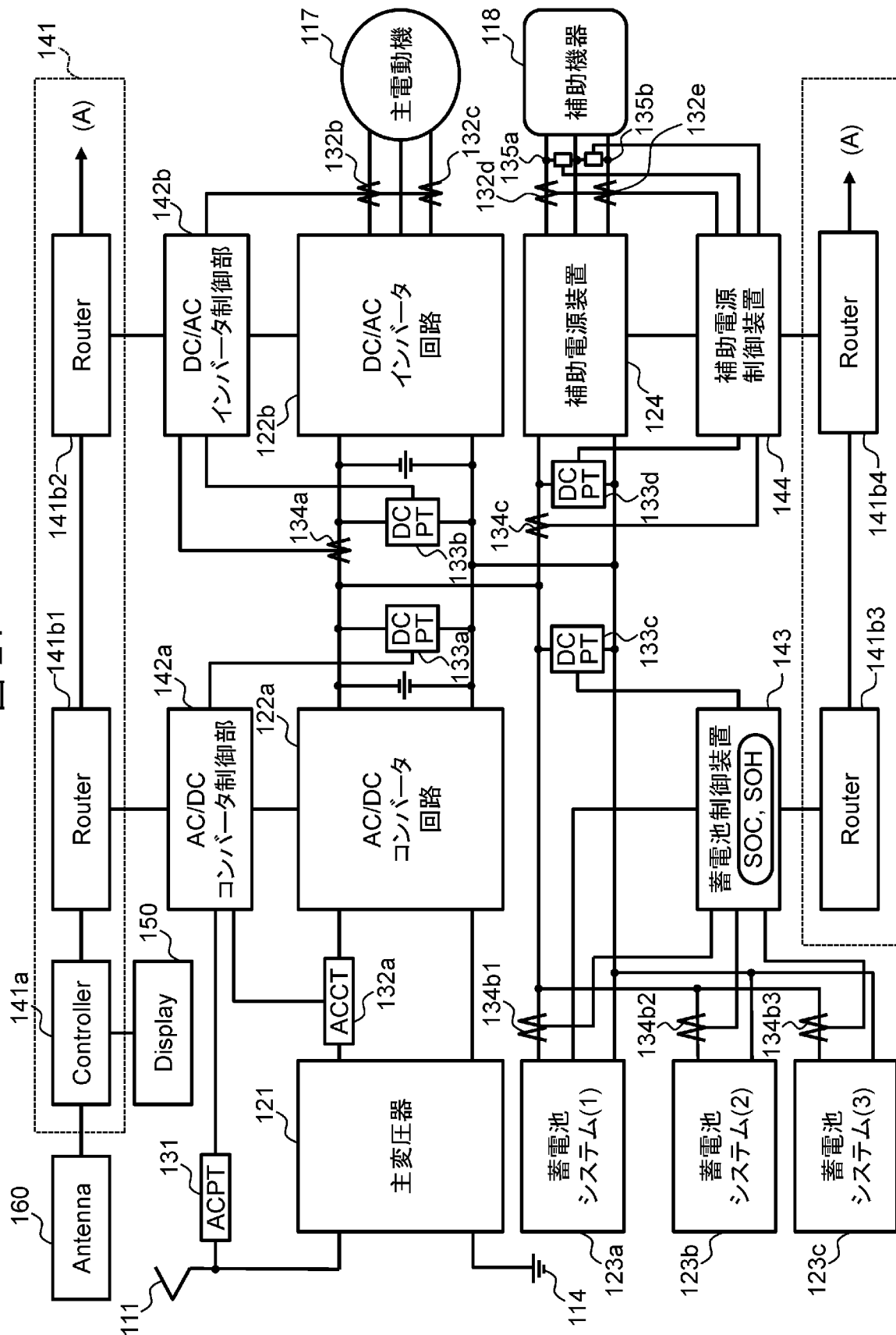
19



[図20]

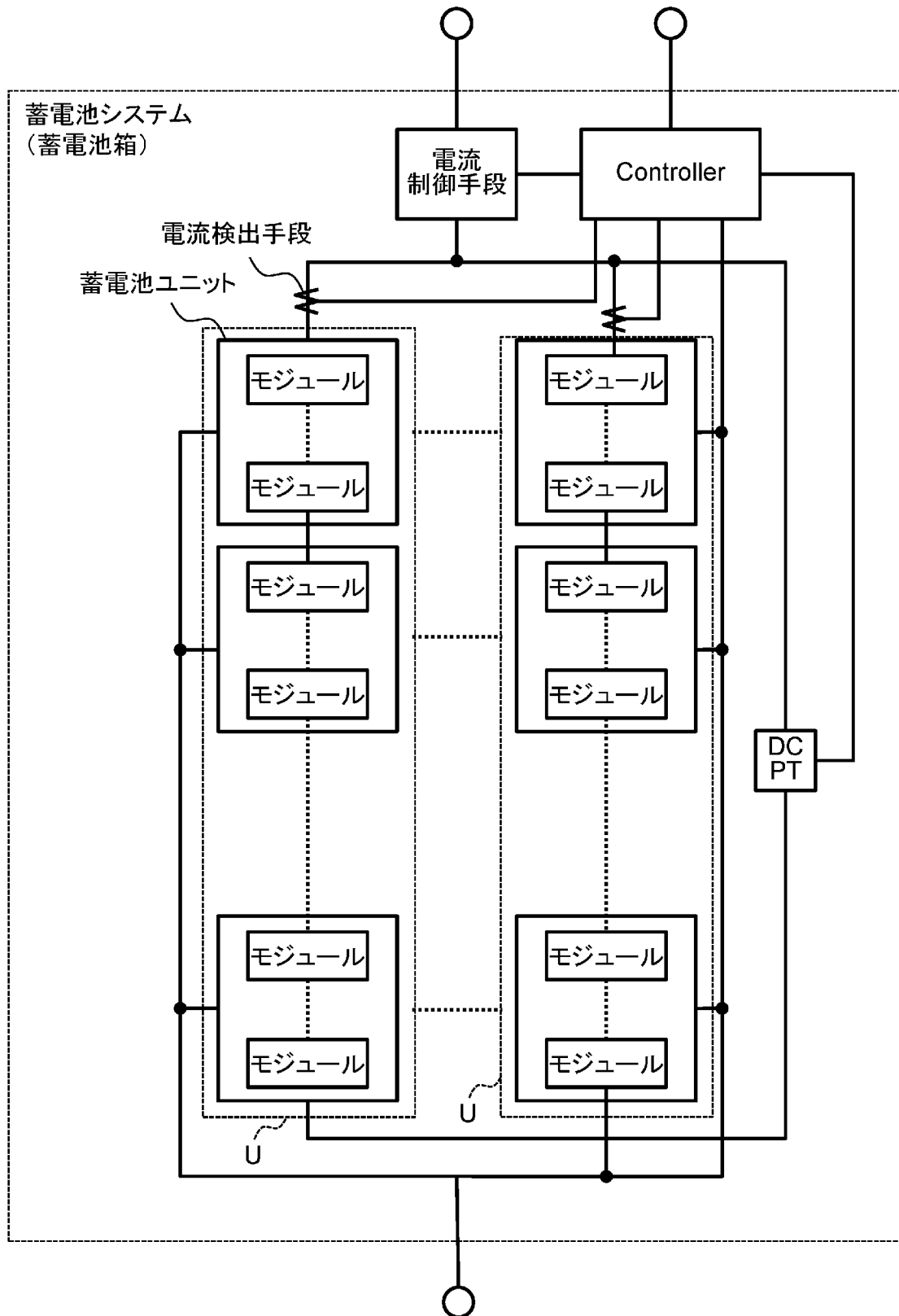


21



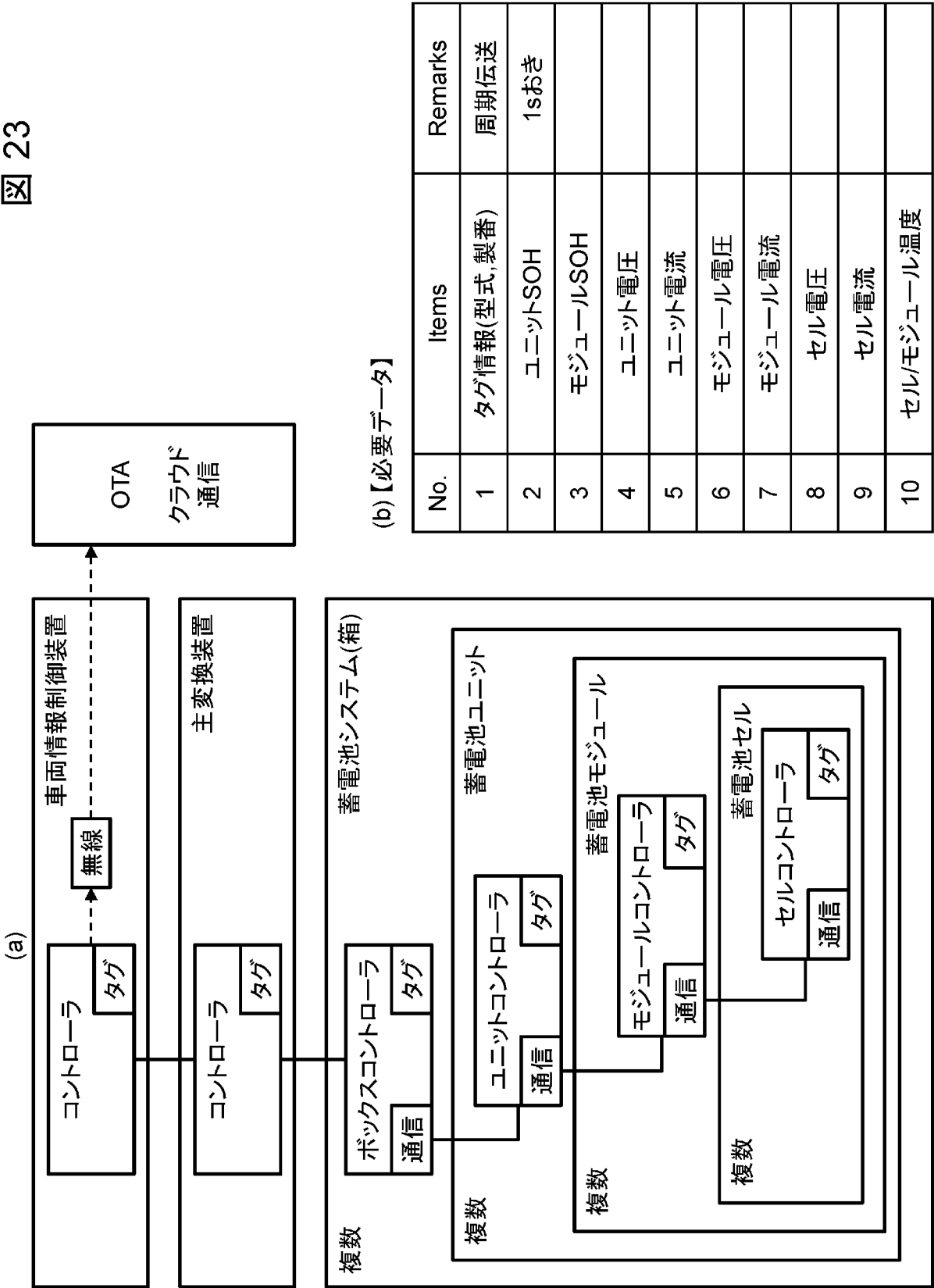
[図22]

図 22



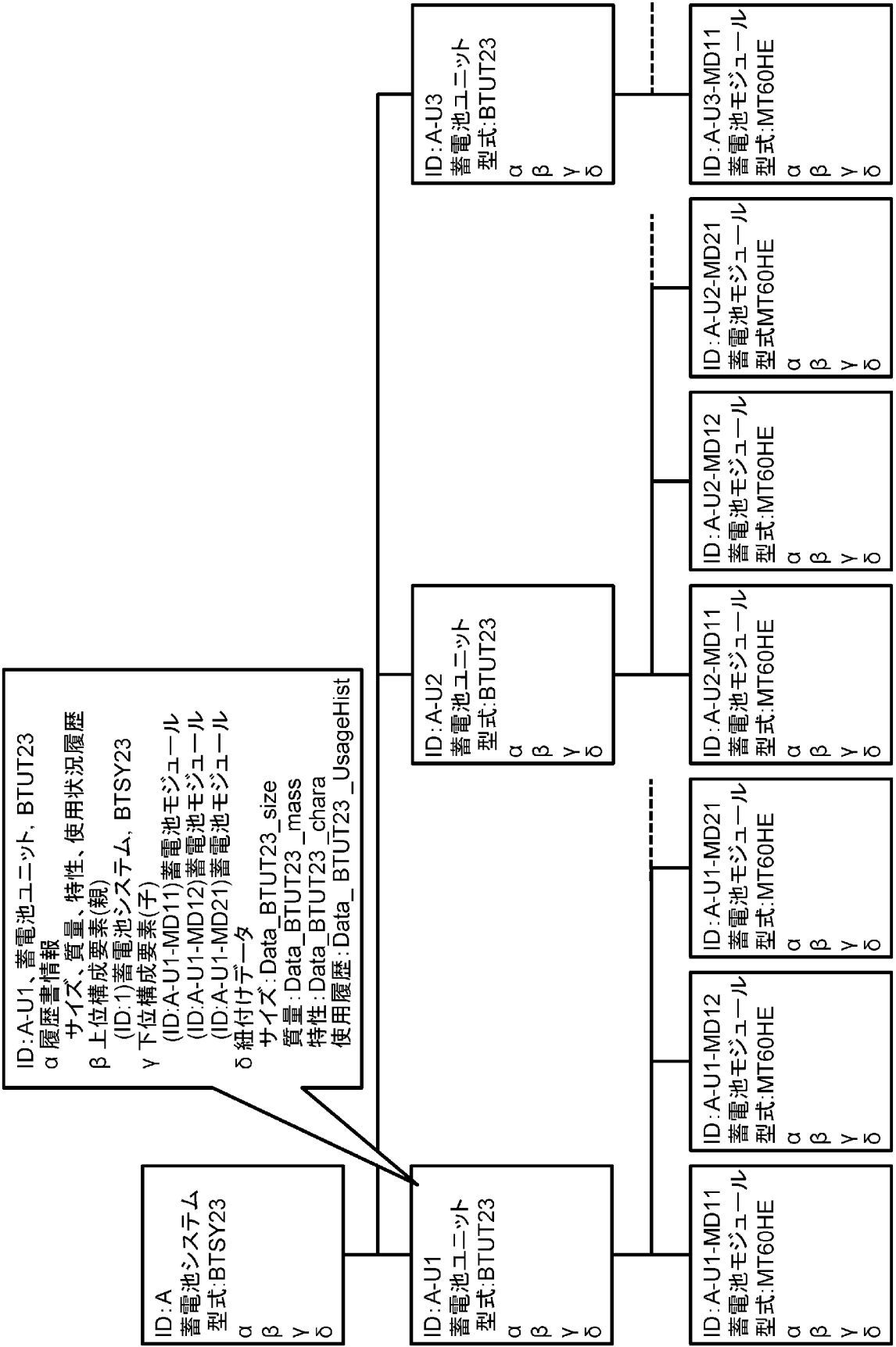
[図23]

図 23



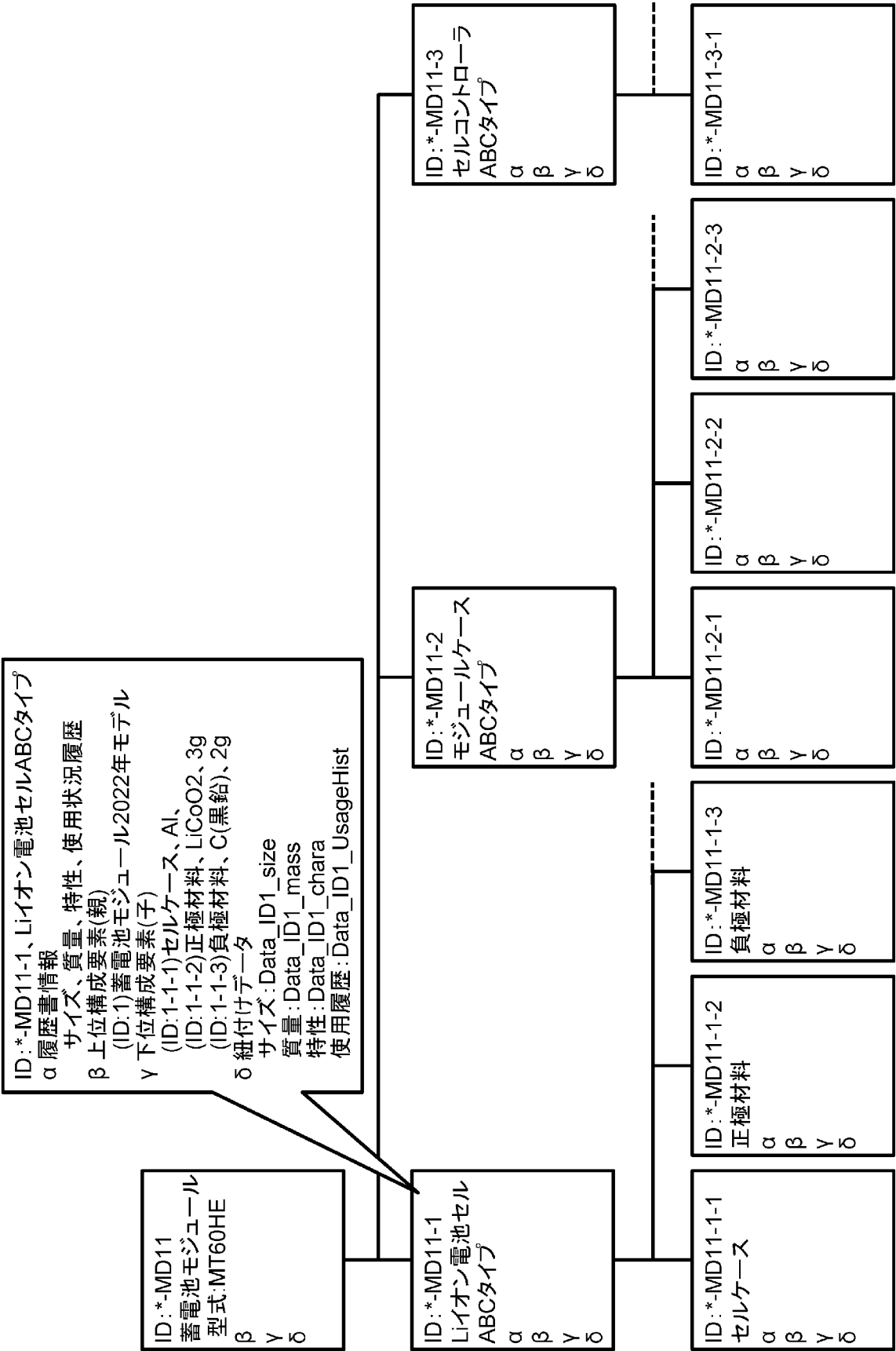
[図24]

図 24



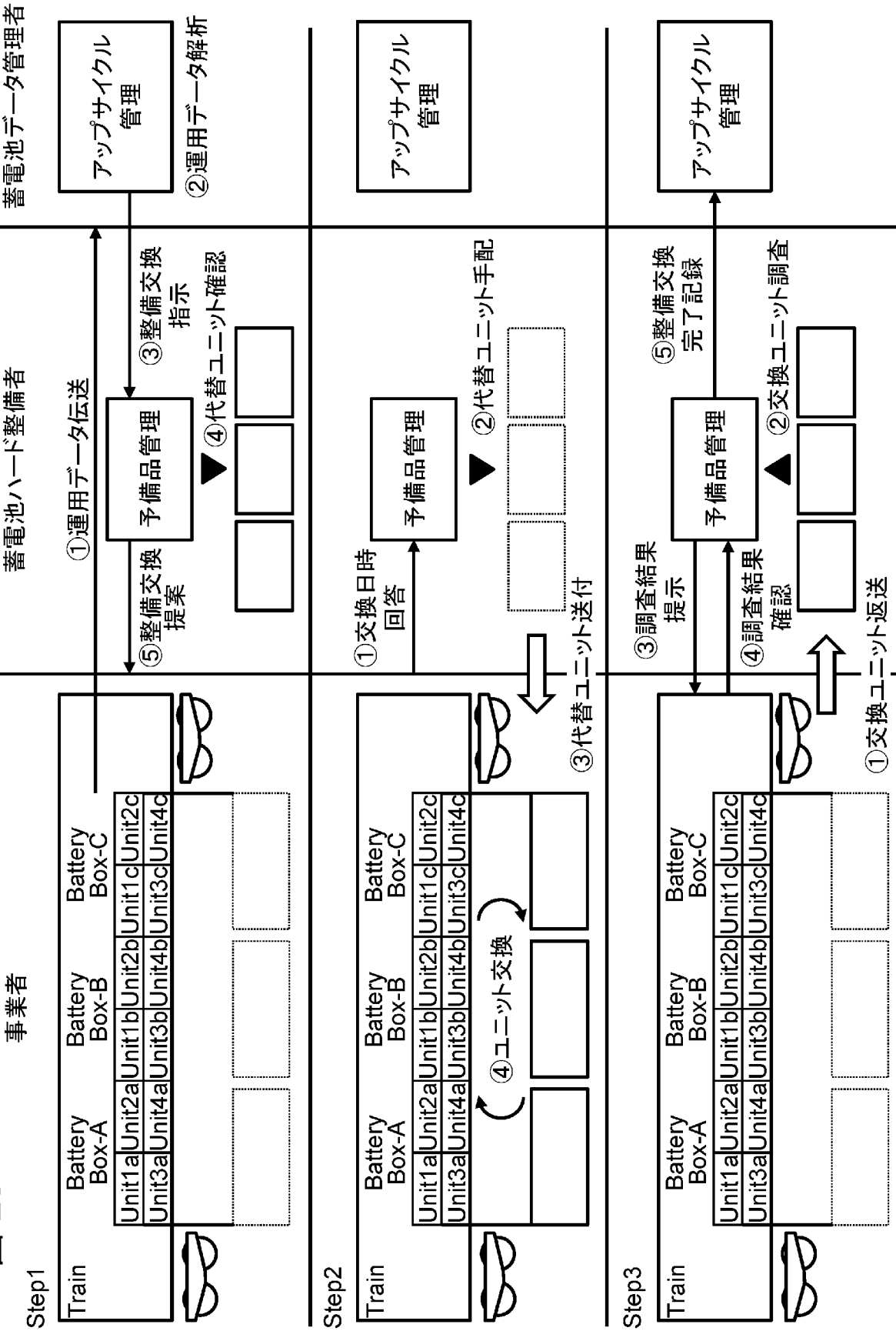
[図25]

図 25

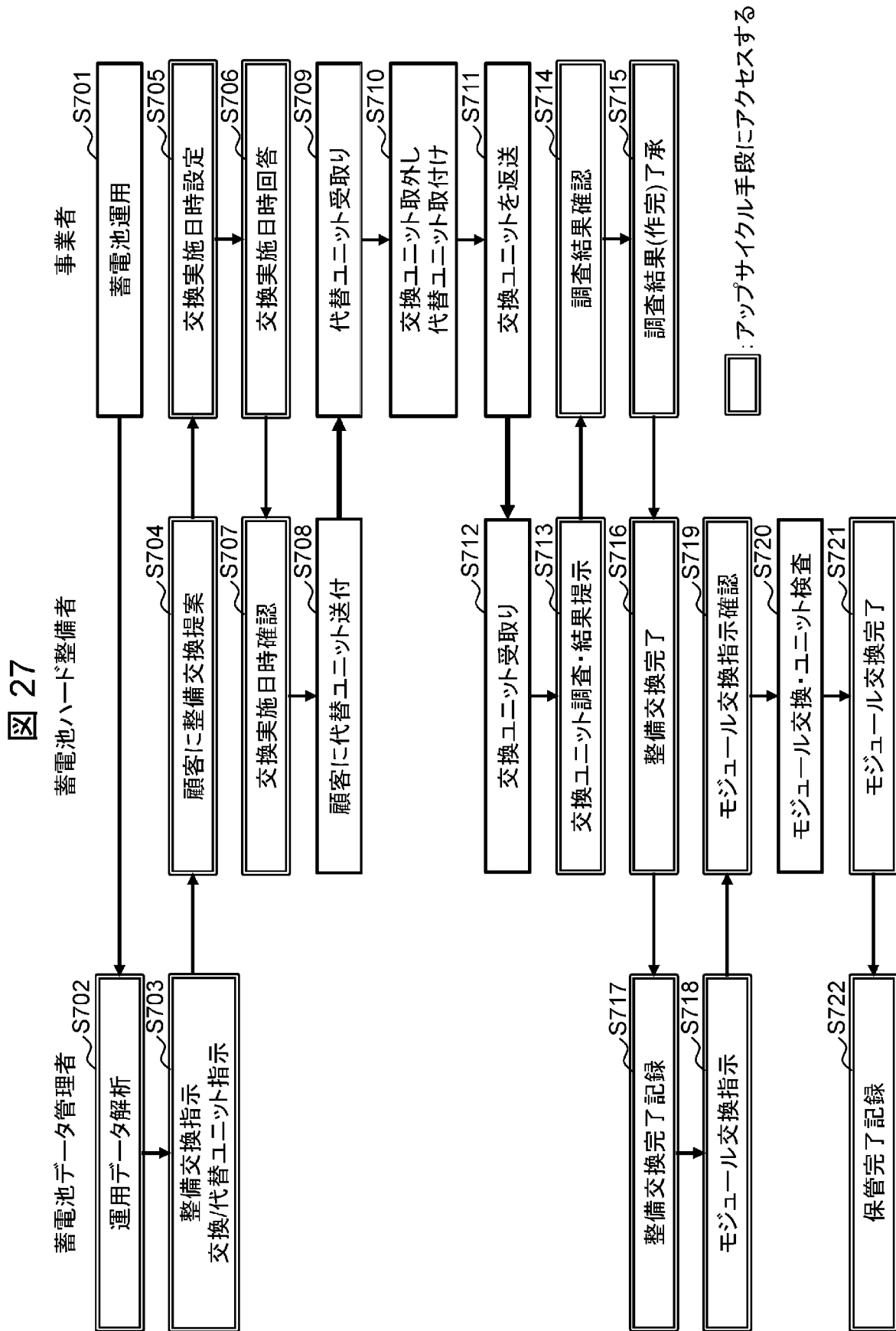


[図26]

図 26

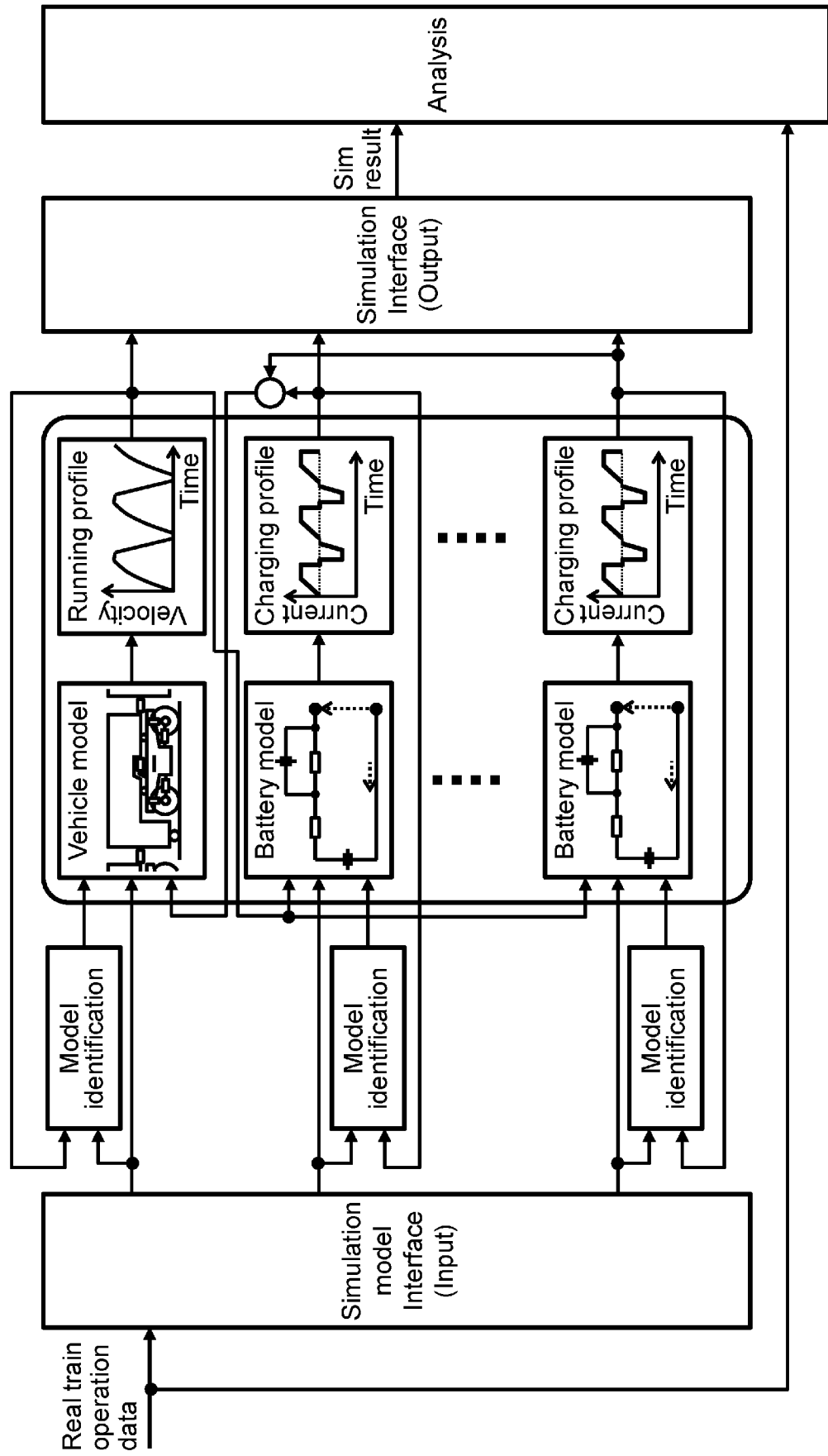


[図27]



[図28]

図 28



INTERNATIONAL SEARCH REPORT

International application No.

PCT/JP2023/016960

A. CLASSIFICATION OF SUBJECT MATTER**B61L 27/60**(2022.01)i; **B60L 3/00**(2019.01)i; **G01M 17/08**(2006.01)i; **G06Q 10/30**(2023.01)i

FI: B61L27/60; B60L3/00 N; G01M17/08; G06Q10/30

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)

B61L27/60; B60L3/00; G01M17/08; G06Q10/30

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 1971-2023
 Registered utility model specifications of Japan 1996-2023
 Published registered utility model applications of Japan 1994-2023

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.
A	JP 2005-041321 A (MITSUBISHI ELECTRIC CORP) 17 February 2005 (2005-02-17) paragraphs [0003]-[0039], fig. 1-6	1-33
A	JP 2022-065636 A (INTERNATIONAL BUSINESS MACHINES CORPORATION) 27 April 2022 (2022-04-27) paragraphs [0014]-[0018]	1-33
A	JP 2019-114450 A (TOYOTA MOTOR CORP) 11 July 2019 (2019-07-11) paragraphs [0033]-[0132], fig. 1-13	1-33
A	JP 2010-215158 A (TOSHIBA CORP) 30 September 2010 (2010-09-30) entire text, all drawings	1-33
A	JP 2020-166928 A (HONDA MOTOR CO LTD) 08 October 2020 (2020-10-08) entire text, all drawings	1-33
A	JP 2020-061335 A (GS YUASA CORP) 16 April 2020 (2020-04-16) entire text, all drawings	1-33



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

03 July 2023

Date of mailing of the international search report

11 July 2023

Name and mailing address of the ISA/JP

Japan Patent Office (ISA/JP)
 3-4-3 Kasumigaseki, Chiyoda-ku, Tokyo 100-8915
 Japan

Authorized officer

Telephone No.

INTERNATIONAL SEARCH REPORT
Information on patent family members

International application No.

PCT/JP2023/016960

Patent document cited in search report			Publication date (day/month/year)	Patent family member(s)	Publication date (day/month/year)
JP	2005-041321	A	17 February 2005	(Family: none)	
JP	2022-065636	A	27 April 2022	US 11200045 B1 column 2, line 39 to column 3, line 27	
				GB 2600820 A	
				DE 102021123135 A1	
				CN 114371857 A	
JP	2019-114450	A	11 July 2019	US 2019/0195953 A1 paragraphs [0043]-[0142], fig. 1-13	
				CN 109962303 A	
JP	2010-215158	A	30 September 2010	(Family: none)	
JP	2020-166928	A	08 October 2020	US 2020/0307413 A1 entire text, all drawings	
				CN 111755762 A	
JP	2020-061335	A	16 April 2020	(Family: none)	

A. 発明の属する分野の分類（国際特許分類（IPC）） B61L 27/60(2022.01)i; B60L 3/00(2019.01)i; G01M 17/08(2006.01)i; G06Q 10/30(2023.01)i FI: B61L27/60; B60L3/00 N; G01M17/08; G06Q10/30														
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）） B61L27/60; B60L3/00; G01M17/08; G06Q10/30														
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 <table border="0"> <tr> <td>日本国実用新案公報</td> <td>1922-1996年</td> </tr> <tr> <td>日本国公開実用新案公報</td> <td>1971-2023年</td> </tr> <tr> <td>日本国実用新案登録公報</td> <td>1996-2023年</td> </tr> <tr> <td>日本国登録実用新案公報</td> <td>1994-2023年</td> </tr> </table>			日本国実用新案公報	1922-1996年	日本国公開実用新案公報	1971-2023年	日本国実用新案登録公報	1996-2023年	日本国登録実用新案公報	1994-2023年				
日本国実用新案公報	1922-1996年													
日本国公開実用新案公報	1971-2023年													
日本国実用新案登録公報	1996-2023年													
日本国登録実用新案公報	1994-2023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												
A	JP 2005-041321 A（三菱電機株式会社）17.02.2005（2005-02-17） 段落 [0003] - [0039]，図1-6	1-33												
A	JP 2022-065636 A（インターナショナル・ビジネス・マシーンズ・コーポレーション）27.04.2022（2022-04-27） 段落 [0014] - [0018]	1-33												
A	JP 2019-114450 A（トヨタ自動車株式会社）11.07.2019（2019-07-11） 段落 [0033] - [0132]，図1-13	1-33												
A	JP 2010-215158 A（株式会社東芝）30.09.2010（2010-09-30） 全文，全図	1-33												
A	JP 2020-166928 A（本田技研工業株式会社）08.10.2020（2020-10-08） 全文，全図	1-33												
A	JP 2020-061335 A（株式会社GSユアサ）16.04.2020（2020-04-16） 全文，全図	1-33												
☐ 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。														
<table border="0"> <tr> <td>* 参考文献のカテゴリー</td> <td>"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抵触するものではなく、発明の原理又は理論の理解のために引用するもの</td> </tr> <tr> <td>"A" 特に関連のある文献ではなく、一般的な技術水準を示すもの</td> <td>"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</td> </tr> <tr> <td>"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</td> <td>"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</td> </tr> <tr> <td>"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）</td> <td>"&" 同一パテントファミリー文献</td> </tr> <tr> <td>"O" 口頭による開示、使用、展示等に言及する文献</td> <td></td> </tr> <tr> <td>"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</td> <td></td> </tr> </table>			* 参考文献のカテゴリー	"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抵触するものではなく、発明の原理又は理論の理解のために引用するもの	"A" 特に関連のある文献ではなく、一般的な技術水準を示すもの	"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	"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	"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	"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）	"&" 同一パテントファミリー文献	"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	
* 参考文献のカテゴリー	"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抵触するものではなく、発明の原理又は理論の理解のために引用するもの													
"A" 特に関連のある文献ではなく、一般的な技術水準を示すもの	"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													
"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	"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													
"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）	"&" 同一パテントファミリー文献													
"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														
国際調査を完了した日 03.07.2023	国際調査報告の発送日 11.07.2023													
名称及びあて先 日本国特許庁(ISA/JP) 〒100-8915 日本国 東京都千代田区霞が関三丁目4番3号	権限のある職員（特許庁審査官） 上野 力 3H 3748 電話番号 03-3581-1101 内線 3316													

国際調査報告
 パテントファミリーに関する情報

国際出願番号

PCT/JP2023/016960

引用文献			公表日	パテントファミリー文献	公表日
JP	2005-041321	A	17.02.2005	(ファミリーなし)	
JP	2022-065636	A	27.04.2022	US 11200045 B1	
				第2欄39行-第3欄27行	
				GB 2600820 A	
				DE 102021123135 A1	
				CN 114371857 A	
JP	2019-114450	A	11.07.2019	US 2019/0195953 A1	
				段落 [0043] - [0142]、図1-13	
				CN 109962303 A	
JP	2010-215158	A	30.09.2010	(ファミリーなし)	
JP	2020-166928	A	08.10.2020	US 2020/0307413 A1	
				全文, 全図	
				CN 111755762 A	
JP	2020-061335	A	16.04.2020	(ファミリーなし)	