

(19) 日本国特許庁(JP)

## (12) 特許公報(B2)

(11) 特許番号

特許第5830449号  
(P5830449)

(45) 発行日 平成27年12月9日(2015.12.9)

(24) 登録日 平成27年10月30日(2015.10.30)

(51) Int.Cl.	F 1
B60L 7/14 (2006.01)	B60L 7/14
B60L 3/00 (2006.01)	B60L 3/00 S
B60L 7/24 (2006.01)	B60L 7/24 D
H02P 27/06 (2006.01)	H02P 5/41 303Z

請求項の数 6 (全 24 頁)

(21) 出願番号	特願2012-190345 (P2012-190345)
(22) 出願日	平成24年8月30日 (2012.8.30)
(65) 公開番号	特開2014-50195 (P2014-50195A)
(43) 公開日	平成26年3月17日 (2014.3.17)
審査請求日	平成26年7月3日 (2014.7.3)

(73) 特許権者	509186579 日立オートモティブシステムズ株式会社 茨城県ひたちなか市高場2520番地
(74) 代理人	100084412 弁理士 永井 冬紀
(72) 発明者	大山 和人 茨城県ひたちなか市高場2520番地 日立オートモティブシステムズ株式会社内
(72) 発明者	宮崎 英樹 茨城県ひたちなか市高場2520番地 日立オートモティブシステムズ株式会社内
(72) 発明者	星野 勝洋 茨城県ひたちなか市高場2520番地 日立オートモティブシステムズ株式会社内

最終頁に続く

(54) 【発明の名称】電動車駆動システム

## (57) 【特許請求の範囲】

## 【請求項1】

回生協調ブレーキ制御装置を備える電動車両に搭載され、前記電動車両に搭載されたバッテリの状態を監視するバッテリ監視部と、前記電動車両の回転電機を制御する回転電機制御部と、を備える電動車駆動システムであって、

前記バッテリ監視部は、回生協調ブレーキ制御中に前記バッテリの状態が充電不可状態であることを検出すると前記バッテリが充電可能か否かを診断し、前記診断の開始とともに予告信号を出力し、診断結果から充電不可と判断すると充電不可信号を出力し、前記診断結果から充電可能と判断すると予告解除信号を出力し、

前記回転電機制御部は、前記回生協調ブレーキ制御中に前記予告信号を受信すると、前記回転電機のトルクを回生ブレーキ力に相当する回生トルクに保持しつつ、前記回転電機の内部損失を増大させて回生ブレーキによる回生電力を減少させる損失増大制御を実行し、前記予告信号の受信後に前記予告解除信号を受信すると前記損失増大制御を中止し、前記予告信号の受信後に前記充電不可信号を受信すると前記損失増大制御を継続することを特徴とする電動車駆動システム。

## 【請求項2】

請求項1に記載の電動車駆動システムにおいて、

前記電動車両は、前記回転電機の固定子コイルの温度を検出する温度センサを備え、

前記回転電機制御部は、前記温度センサの検出温度が低い場合には内部損失量が大きく、前記検出温度が高い場合には内部損失量が小さくなるように、前記検出温度に応じて前

記損失増大制御における前記回転電機の内部損失量を調整することを特徴とする電動車駆動システム。

【請求項3】

請求項2に記載の電動車駆動システムにおいて、  
前記回転電機制御部は、

前記固定子コイルの温度が所定上限温度よりも低く設定された温度閾値以下である場合には、前記回転電機の内部損失量が第1の内部損失量となるように前記損失増大制御を実行し、

前記固定子コイルの温度が前記温度閾値を超えると、前記回転電機の内部損失量が前記第1の内部損失量よりも小さな第2の内部損失量となるように前記損失増大制御を実行する、ことを特徴とする電動車駆動システム。10

【請求項4】

請求項3に記載の電動車駆動システムにおいて、  
前記回転電機制御部は、前記固定子コイルの温度が前記所定上限温度に達した場合には、前記損失増大制御を中止することを特徴とする電動車駆動システム。

【請求項5】

請求項1に記載の電動車駆動システムにおいて、  
前記回転電機制御部は、前記回転電機の回転角速度が小さい場合には内部損失量が小さくなり、前記回転角速度が大きい場合には内部損失量が大きくなるように、前記回転角速度に応じて前記損失増大制御における前記回転電機の内部損失量を調整することを特徴とする電動車駆動システム。20

【請求項6】

請求項1乃至5のいずれか一項に記載の電動車駆動システムにおいて、  
前記回転電機制御部は、前記回転電機のトルクおよび回転角速度と供給電流との関係を表す電流マップを内部損失の大きさに応じて複数備え、  
前記損失増大制御の非実行時には、前記複数の電流マップの内で内部損失が最も小さい最低内部損失電流マップを使用し、  
前記損失増大制御の実行時には、前記最低内部損失電流マップを除く他の電流マップのいずれかを使用することを特徴とする電動車駆動システム。

【発明の詳細な説明】30

【技術分野】

【0001】

本発明は、回生協調ブレーキ制御を行う電動車両に搭載される電動車駆動システムに関する。

【背景技術】

【0002】

回転電機の駆動力をを利用して車輪を駆動するハイブリット自動車や電気自動車などの電動車では、車両速度を制御する際や車両を制動する際に、回転電機を回生動作させて制動力を発生し、そのときの回生電力をバッテリに戻して充電することで、車両運動エネルギーを有効に活用するようにしている。なお、以下では、モータ、ジェネレータ、及びモータジェネレータを総称して回転電機と呼ぶことにする。40

【0003】

すなわち、従来の車両では、制動時に車両の運動エネルギーは摩擦ブレーキにより摩擦熱となって捨てられていたが、回生協調ブレーキ装置の設けられた電動車では、ドライバ要求制動力を摩擦ブレーキ力と回生ブレーキ力に按分して、車両の運動エネルギーの一部を回生電力として回収しバッテリを充電している。しかし、制動力の一部が回転電機の回生ブレーキ力に按分されているために、回生協調ブレーキ動作中にバッテリフェイルが発生して充放電禁止となった場合、ただちに回転電機の回生動作を停止してしまうと制動力が不足し、車両走行が不安定となったりドライバに不安全感を与えたりする。

【0004】50

例えば、バッテリへの電力受け入れが制限されている場合の制御としては、電流の位相を変化させて発電効率を下げ、回転電機のトルクを変化させずに発電量を低下させるようする技術が知られている（例えば、特許文献1参照）。

【先行技術文献】

【特許文献】

【0005】

【特許文献1】特開2000-152409号公報

【発明の概要】

【発明が解決しようとする課題】

【0006】

しかしながら、特許文献1に記載には、回生協調ブレーキ動作中の回生動作停止に伴う車両走行の不安定という課題に関しては、好適な方法は示されていない。

【課題を解決するための手段】

【0007】

請求項1の発明は、回生協調ブレーキ制御装置を備える電動車両に搭載され、電動車両に搭載されたバッテリの状態を監視するバッテリ監視部と、電動車両の回転電機を制御する回転電機制御部と、を備える電動車駆動システムであって、バッテリ監視部は、回生協調ブレーキ制御中に前記バッテリの状態が充電不可状態であることを検出するとバッテリが充電可能か否かを診断し、診断の開始とともに予告信号を出力し、診断結果から充電不可と判断すると充電不可信号を出力し、診断結果から充電可能と判断すると予告解除信号を出力し、回転電機制御部は、回生協調ブレーキ制御中に予告信号を受信すると、回転電機のトルクを回生ブレーキ力に相当する回生トルクに保持しつつ、回転電機の内部損失を増大させて回生ブレーキによる回生電力を減少させる損失増大制御を実行し、予告信号の受信後に予告解除信号を受信すると損失増大制御を中止し、予告信号の受信後に充電不可信号を受信すると損失増大制御を継続することを特徴とする。

10

20

【発明の効果】

【0008】

本発明によれば、回生協調ブレーキ動作中に回生電力を減少させる損失増大制御を行うことにより、回生協調ブレーキ動作中の回生動作停止時において、車両走行の安定性向上を図ることができる。

30

【図面の簡単な説明】

【0009】

【図1】図1は、電動車駆動システムを適用した電動車1の構成を表す図である。

【図2】図2は、電動車両1の要部を示すプロック図である。

【図3】図3は、電力変換装置200の構成を示す図である。

【図4】図4は、回転電機制御部210を示す図である。

【図5】図5は、電流マップの一例を示す図である。

【図6】図6は、回生協調ブレーキ動作中における摩擦ブレーキと回生ブレーキの按分状態の変化を示す図である。

40

【図7】図7は、回生協調ブレーキ動作中における電動車1の速度を示す図である。

【図8】図8は、回生協調ブレーキ動作中の摩擦ブレーキと回生ブレーキと切り替え処理を示す図である。

【図9】図9は、バッテリ制御部310およびバッテリ300を示す図である。

【図10】図10は、バッテリ異常の一例を示す図である。

【図11】図11は、中止動作を瞬時に行った場合の摩擦ブレーキ力と回生ブレーキ力を示す図である。

【図12】図12は、本実施の形態における回生協調ブレーキ中止処理を示す図である。

【図13】図13は、本実施の形態におけるバッテリ制御部310のバッテリ診断過程を示す図である。

50

【図14】図14は、Fail予告信号およびFail信号が出力される場合のバッテリ状態を示す図である。

【図15】図15は、Fail予告信号およびFail解除信号が出力される場合のバッテリ状態を示す図である。

【図16】図16は、回生トルクと電流位相との関係を示す図である。

【図17】図17は、点P<sub>h1</sub>の電流位相におけるd軸電流I<sub>d</sub>、q軸電流I<sub>q</sub>のベクトル図である。

【図18】図18は、点P<sub>j1</sub>の電流位相におけるd軸電流I<sub>d</sub>、q軸電流I<sub>q</sub>をベクトル図である。

【図19】図19は、図4に示した電流指令演算部220における電流マップ220aをより詳細に示す図である。 10

【図20】図20は、保護動作の第1の例を示す図である。

【図21】図21は、第1の例においてFail解除が行われず、バッテリFailが確定した場合を示す図である。

【図22】図22は、保護動作の第2の例を示す図である。

【図23】図23は、保護動作の第3の例を示す図である。

【図24】図24は、第3の例における電流マップを説明する図である。

【図25】図25は、複数の損失増大電流マップを設ける場合の回生トルクと電流位相との関係を示す図である。 20

【図26】図26は、第2の実施の形態を説明する図である。

#### 【発明を実施するための形態】

##### 【0010】

以下、図を参照して本発明を実施するための形態について説明する。

##### - 第1の実施形態 -

図1は、本実施形態の電動車駆動システムを適用した電動車1の構成を表す図である。なお、図1に示す電動車1は電気自動車（以下「EV」と記述する）を例に示しているが、ハイブリッド自動車（以下「HEV」と記述する）等の電動車にも同様に適用することができる。

##### 【0011】

回転電機900は車両の走行用トルクを発生する。また、回転電機900は、回転トルクを発生する機能だけでなく、逆に、車両の走行運動エネルギーが車輪10の回転トルクとして加えられたときに、走行運動エネルギーを電力に変換する機能（回生機能）を有する。回転電機900は、例えば交流同期機あるいは交流誘導機であり、ステータとロータを備え（不図示）、ステータは例えばU相V相W相の3相分のステータコイルを備えている。回転電機900は、上述のごとく、運転方法によりモータとしても発電機としても動作する。 30

##### 【0012】

回転電機900を自動車に搭載する場合には、小型で高出力を得ることが望ましく、ロータ（不図示）にネオジウムなどの磁石を使用した永久磁石型の同期電動機が適している。また、永久磁石型の同期電動機は誘導電動機に比べて回転子の発熱が少なく、この観点でも自動車用として優れている。本実施の形態では、回転電機900を永久磁石型の3相交流同期電動機として説明する。 40

##### 【0013】

電動車1は、左右の前輪10FR, 10FLと左右後輪10RR, 10RLを備える。回転電機900の出力トルクは、トランスミッション40及びデファレンシャルギヤ30Fを介して左右の前輪10FR, 10FLに伝達される。本実施形態では、電動車1は前輪駆動のEVを例に説明しているが、他に後輪駆動や四輪駆動のEVやHEVでも構わない。

##### 【0014】

一方、回生ブレーキ運転時には、車輪から回転トルクが回転電機900に伝達され、回 50

転電機 900 は、供給されてきた回転トルクに基づいて交流電力（回生電力）を発生する。発生した交流電力は、後述するように電力変換装置 200 により直流電力に変換され、バッテリ 300 の充電に用いられる。充電された電力は再び走行エネルギーとして使用される。尚、回転電機 900 に設けられた回転センサ 920 および温度センサ 930 の信号は、信号線 290 を介して電力変換装置 200 の回転電機制御部 210 に取り込まれている。

#### 【 0015 】

電力変換装置 200 は回転電機制御部 210 を備えたインバータである。回転電機 900 を力行動作させるときには、電力変換装置 200 は、バッテリ 300 からの直流電力を交流電力に変換し、回転電機 900 に供給する。回転電機 900 を回生動作させるときは、電力変換装置 200 は、回転電機 900 で生成された交流電力（回生電力）を直流電力に変換してバッテリ 300 を充電する。回転電機 900 と電力変換装置 200 とは、AC ハーネス 400（U 相 V 相 W 相の 3 相分）で結線されている。電力変換装置 200 とバッテリ 300 は、DC ハーネス 450P, 450N で結線されている。回転電機 900 からバッテリ 300 へ、または、バッテリ 300 から回転電機 900 へ、電力変換装置 200 を経由して電力が双方向に授受できるようになっている。

#### 【 0016 】

バッテリ 300 は、例えば NiMH（ニッケルメタルハイドライド）電池や Li-ion（リチウムイオン）電池で構成され、バッテリ制御部 310 を備えている。バッテリ 300 の構成詳細は後述する。電力変換装置 200 とバッテリ 300 を結線する DC ハーネス 450P, 450N にはリレー 450a が設けられており、このリレー 450a によって電力変換装置 200 とバッテリ 300 とを機械的に接続および切断することができる。

#### 【 0017 】

回生協調ブレーキ装置 500 はブレーキ制御部 510 を備えている。回生協調ブレーキ装置 500 は、ブレーキペダルの踏込量に基づいてドライバが要求する制動力を演算し、ビーカルコントローラ 100 に送信する。また、ビーカルコントローラ 100 の指令に応じた制動力を発生させる。回生協調ブレーキ中は、ドライバが要求する総制動力から回生ブレーキ力を引いた分の制動力を発生する。回生協調ブレーキ動作に関する詳細は後述する。回生協調ブレーキ装置 500 は、ブレーキ液圧配管 520 を介して前輪右側キャリパ 20FR、後輪左側キャリパ 20RL と接続されるとともに、ブレーキ液圧配管 530 を介して前輪左側キャリパ 20FR、後輪右側キャリパ 20RL と接続されている。制動力は、ブレーキ液圧によって車輪 10FR、10FL、10RR、10RL に伝えられる。

#### 【 0018 】

ビーカルコントローラ 100 は、車両を統合的に管理する最上位の制御装置である。ビーカルコントローラ 100 とブレーキ制御部 510 とは第 1 CAN 110 により接続されており、また、ビーカルコントローラ 100 と回転電機制御部 210 およびバッテリ制御部 310 とは第 2 CAN 120 により接続されており、それぞれ CAN 通信可能となっている。

#### 【 0019 】

次に、本発明の実施形態の電動車 1 の制御プロック構成について説明する。図 2 は電動車両 1 の要部を示すプロック図であり、ビーカルコントローラ 100、電力変換装置 200、バッテリ制御装置 310、回生協調ブレーキ装置 500 および回転電機 900 を示す。ドライバがアクセル（不図示）を踏み込む又はブレーキを踏み込むと、ビーカルコントローラ 100 は電動車 1 を制御するために、バッテリ制御部 310 から第 2 CAN 120 経由で入手したバッテリ情報（SOC や総電圧）信号等を参照し、回転電機制御部 210 へ力行または回生のトルク指令 T\* を送信する。

#### 【 0020 】

回生協調ブレーキ装置 500 には、ドライバがブレーキを踏み込んだときのブレーキ踏込み量を検出するブレーキペダルストロークセンサ 500a が設けられている。回生協調ブレーキ装置 500 のブレーキ制御部 510 には、ブレーキペダルストロークセンサ 50

10

20

30

40

50

0 a の検出結果に基づいて、ドライバが要求する制動力を演算するドライバ要求制動力演算部 510 a が設けられている。演算されたドライバ要求制動力は、第 1 CAN 110 を経由してピークルコントローラ 100 へ送信される。

#### 【 0021 】

ピークルコントローラ 100 には、回生摩擦制動力分配演算器 100 a が設けられている。回生協調ブレーキ動作時には、ドライバ要求制動力の一部が回生ブレーキ力に按分される。回生摩擦制動力分配演算器 100 a は、受信したドライバ要求制動力に基づいて、電動車 1 の走行安定性が確保されるとともに、ドライバにブレーキ力切り替えの違和感を与えないような按分量を演算する。ピークルコントローラ 100 は、摩擦ブレーキ分の制動力指令を第 1 CAN 110 経由でブレーキ制御部 510 に送信する。また、按分された回生ブレーキ力に関する指令は、トルク指令 T \* として第 2 CAN 120 経由で回転電気制御部 210 へ送信される。なお、ピークルコントローラ 100 は、力行、回生に関わらず、回転電機 900 を駆動するためのトルク指令 T \* を回転電気制御部 210 へ送信する。

#### 【 0022 】

図 3 は、電力変換装置 200 の構成を示す図である。電力変換装置 200 には、インバータ回路 204、回転電機制御部 210、ドライバ回路 210 a、平滑コンデンサ 205、電流センサ 280 が設けられている。回転電機 900 を力行動作させるときは、バッテリ 300 からの直流電力が DC ハーネス 450 P, 450 N から平滑コンデンサ 205 の正極側 205 P および負極側 205 N に送られ、インバータ回路 204 へ供給される。直 20 流電力はインバータ回路 204 により交流電力に変換され、回転電機 900 に供給される。一方、回転電機 900 を回生するときは、車輪からの回転トルクで回転電機 900 が回されることにより交流電力が生成され、その交流電力がインバータ回路 204 によって直流電力に変換される。変換された直流電力は、平滑コンデンサ 205 の正極側 205 P および負極側 205 N から DC ハーネス 450 P, 450 N を経由し、バッテリ 300 へ供給され、バッテリ 300 が充電される。

#### 【 0023 】

図 3 に示すように、直流電力を交流電力に変換するインバータ回路 204 は、6 つのスイッチング素子 201 U, 202 U, 201 V, 202 V, 201 W および 202 W を備えている。スイッチング素子には IGBT や MOSFET 等が用いられる。スイッチング素子 201 U のエミッタ電極とスイッチング素子 202 U のコレクタ電極、スイッチング素子 201 U のエミッタ電極とスイッチング素子 202 U のコレクタ電極、スイッチング素子 201 U のエミッタ電極とスイッチング素子 202 U のコレクタ電極はそれぞれ電的に接続されている。スイッチング素子 201 U, 201 V, 201 W のコレクタ電極は、バッテリ 300 の正極側と DC ハーネス 450 P を経由して電気的に接続されている。スイッチング素子 202 U, 202 V, 202 W のエミッタ電極は、バッテリ 300 の負極側と DC ハーネス 450 N とで接続されている。

#### 【 0024 】

直列接続されたスイッチング素子 201 U, 202 U の接続点 203 U は、回転電機 900 の U 相コイル 900 U の一端に接続されている。同様に、スイッチング素子 201 V, 202 V の接続点 203 V は、回転電機 900 の V 相コイル 900 V の一端に接続され、スイッチング素子 201 W, 202 W の接続点 203 W は、回転電機 900 の W 相コイル 900 W の一端に接続されている。U 相コイル 900 U, V 相コイル 900 V, W 相コイル 900 W の他端は、中性点 900 N にて接続されている。ドライバ回路 210 a は、回転電機制御部 210 のゲート制御信号演算部 250 から出力されるゲート制御信号に基づき、スイッチング素子 201 U, 201 V, 201 W およびスイッチング素子 202 U, 202 V, 202 W を導通または遮断する駆動信号を生成する。

#### 【 0025 】

図 2 に示す電流センサ 280 は、回転電機 900 の U 相コイル 900 U, V 相コイル 900 V, W 相コイル 900 W に流れる 3 相交流電流 Iu, Iv, Iw を検出する。検出さ 50

れた電流値  $I_u$ 、 $I_v$ 、 $I_w$  は回転電機制御部 210 に入力される。回転電機 900 には回転センサ 920 および温度センサ 930 が設けられている。回転センサ 920 から出力された回転センサ信号は、回転電機制御部 210 の位置速度演算器 260 に入力される。また、温度センサ 930 は、回転電機 900 のステータ（不図示）に設けられた U 相コイル 900U、V 相コイル 900V、W 相コイル 900W の少なくとも一つのコイル温度を検出する。検出されたコイル温度（温度センサ信号）は、モータ制御部 210 の電流指令演算部 220 に入力される。

#### 【0026】

図 4 は、回転電機制御部 210 を示す図である。回転電機制御部 210 は、電流指令演算部 220、電流制御部 230、2 相 - 3 相変換器 240a、3 相 - 2 相変換器 240b、ゲート制御信号演算器 250 および位置速度演算器 260 を備えている。また、電流指令演算部 220 は、電流マップ 220a、実発生トルク算出部 220b、バッテリ診断判定部 220c および電流マップ選定部 220d を備えている。

#### 【0027】

位置速度演算器 260 は、回転センサ 920 から入力された回転センサ信号に基づいて、回転電機 900 のロータ（不図示）の磁極位置  $d$  と角速度  $r$  を算出する。磁極位置  $d$  は、 $d$  q 軸（2 相）系から UVW（3 相）系へ変換する 2 相 - 3 相変換器 240a、および UVW（3 相）系から  $d$  q 軸（2 相）系へ変換する 3 相 - 2 相変換器 240b にそれぞれ入力され、それにおける変換計算に用いられる。また、算出された角速度  $r$  は、電流指令演算部 220 に入力される。

#### 【0028】

3 相 - 2 相変換器 240b では、位置速度演算器 260 から入力された磁極位置  $d$  に基づいて、電流センサ 280 から入力された電流値  $I_u$ 、 $I_v$ 、 $I_w$  を  $d$  q 軸電流  $I_{dc}$ 、 $I_{qc}$  に変換する。変換された  $d$  q 軸電流  $I_{dc}$ 、 $I_{qc}$  は、電流制御部 230 に入力される前の  $d$  軸電流指令  $I_{d*}$ 、 $q$  軸電流指令  $I_{q*}$  にフィードバック（負帰還）される。また、 $d$  q 軸電流  $I_{dc}$ 、 $I_{qc}$  は、実発生トルク算出部 220b にも入力される。実発生トルク算出部 220b は、回転電機 900 に実際に流れている電流  $I_{dc}$ 、 $I_{qc}$  から実発生トルク  $T_a$  を演算する。算出された実発生トルク  $T_a$  は、第 2 CAN 120 経由でピークルコントローラ 100 へ送信される。

#### 【0029】

回転電機制御部 210 の電流指令演算部 220 は、位置速度演算器 260 から入力された磁極位置  $d$  およびピークルコントローラ 100 から入力されるトルク指令  $T^*$  に基いて、回転電機 900 への  $d$  軸電流指令  $I_{d*}$ 、 $q$  軸電流指令  $I_{q*}$  を、電流マップ 220a から検索する。電流マップ 220a は、角速度  $r$  とトルク指令  $T^*$  とから決まる回転電機 900 の各動作点ごとに必要な  $d$  軸電流指令  $I_{d*}$ 、 $q$  軸電流指令  $I_{q*}$  を、予めマップ化したものである。なお、電流指令演算部 220 は、温度センサ 930 から入力されたコイル温度に応じて、ピークルコントローラ 100 からのトルク指令  $T^*$  に対して、力行または回生時における回転電機 900 の出力を 0 ~ 100 % の間で制限している。

#### 【0030】

図 5 は、電流マップの一例を示す図である。横軸は角速度  $r$ （または、回転数）、縦軸はトルク指令値  $T^*$  である。各動作点は格子状に分割され、それぞれの動作点には、角速度  $r$  でトルク指令値  $T^*$  を出すために必要な  $d$  軸電流指令  $I_{d*}$ 、 $q$  軸電流指令  $I_{q*}$  が格納されている。なお、各動作点間のデータは、線形補間などを活用して算出される。

#### 【0031】

電流指令演算部 220 において電流マップ 220a から検索された  $d$  軸電流指令  $I_{d*}$ 、 $q$  軸電流指令  $I_{q*}$  は、上述したように  $d$  q 軸電流  $I_{dc}$ 、 $I_{qc}$  がフィードバック（負帰還）された後、電流制御部 230 に入力される。電流制御部 230 は、入力された  $d$  q 軸電流指令を、電圧指令値（ $d$  軸電圧指令  $V_{dc*}$ 、 $q$  軸電圧指令  $V_{qc*}$ ）に変換し、それらを 2 相 - 3 相変換器 240a に出力する。2 相 - 3 相変換器 240a は、磁極位

10

20

30

40

50

置 d に基づいて、d 軸電圧指令  $V_{dc}^*$ 、q 軸電圧指令  $V_{qc}^*$  を 3 相電圧指令  $V_u^*$ 、 $V_v^*$ 、 $V_w^*$  に変換する。ゲート制御信号演算部 250 は、その 3 相電圧指令  $V_u^*$ 、 $V_v^*$ 、 $V_w^*$  に基づいて、インバータ回路 204 に設けられたスイッチング素子を導通または遮断するための制御信号を生成する。

#### 【0032】

##### (回生協調ブレーキの説明)

次に、通常動作時、すなわち、回生充電に対して、バッテリ 300 の充電受け入れに十分余裕がある場合の、回生協調ブレーキ制御について説明する。通常動作時の回生協調ブレーキ制御においては、本実施の形態においても従来と同様の制御が行われる。前述したように、回生協調ブレーキ中は、ドライバが要求する制動力が摩擦ブレーキと回生ブレーキとに按分される。図 6 は、回生協調ブレーキ動作中における摩擦ブレーキと回生ブレーキの按分状態の変化を示す図である。図 6 において、縦軸は摩擦ブレーキおよび回生ブレーキのブレーキ力を示し、横軸は時間を示している。ライン L1 は摩擦ブレーキのブレーキ力を示しており、ライン L2 は回生ブレーキのブレーキ力を示している。また、一点鎖線で示すライン L0 はドライバ要求制動力を示している。ライン L1 上の点 B1 ~ B6 とライン L2 上の対応する点 G1 ~ G6 はそれぞれ同一時刻における点を示している。

10

#### 【0033】

また、図 7 は、図 6 に示す回生協調ブレーキ動作中における電動車 1 の速度を示す図である。なお、以下では、ドライバがブレーキペダルを一定の力で踏み込んでいる場合を、すなわち、図 6 のライン L0 で示すように要求制動力が一定の場合を例に説明する。

20

#### 【0034】

図 6 の点 S でドライバがブレーキを踏み込むと、回生協調ブレーキ装置 500 はブレーキ踏込み量に応じて点 B0 まで摩擦ブレーキ力を立ち上げ、まずドライバの要求制動力を確保する。点 B1 (G1) までは、摩擦ブレーキ力のみによってドライバの要求制動力が確保される。

#### 【0035】

点 B1 (G1) ~ B4 (G4) の間は、摩擦ブレーキ分の一部を回生ブレーキ分に切替えるいわゆる回生協調ブレーキの切り替え動作が行われる区間である。この区間においては、式(1)で表されるドライバ要求制動力を維持したまま、図 8 に示す [動作 1] ~ [動作 4] が繰り返し実行され、摩擦ブレーキ力の一部が回生ブレーキ力へと徐々に切り替える。

30

$$( \text{ドライバ要求制動力} ) = ( \text{摩擦ブレーキ力} ) + ( \text{回生ブレーキ力} ) \cdots \quad (1)$$

#### 【0036】

図 6 の点 B4 (G4)において切替え動作は終了するが、このときの按分量、すなわち、ドライバ要求制動力を摩擦ブレーキ力からどこまで回生ブレーキ力に切替えるかの目標は、ピークルコントローラ 100 によって決定される。ピークルコントローラ 100 は、電動車 1 の走行安定性を考慮するとともに、ドライバに違和感を与えないことを考慮して、按分の目標値を決定する。

#### 【0037】

図 7 に示すように電動車 1 の車速が減少すると、ピークルコントローラ 100 は、点 B5 (G5) ~ B6 (G6) の間で、ドライバ要求制動力を維持したまま、区間 B1 (G1) ~ B4 (G4) とは逆に、回生ブレーキ力の一部を摩擦ブレーキ力へと徐々に切り替える。この切替え動作も図 8 の [動作 1] ~ [動作 4] を繰り返すことで達成される。

40

#### 【0038】

##### [動作 1]

ドライバがブレーキを踏み込むと、ブレーキ踏込み量が、回生協調ブレーキ装置 500 のブレーキペダルストロークセンサ 500a により検出される。ブレーキ制御部 510 のドライバ要求制動力演算部 510a は、ブレーキペダルストロークセンサ 500a の検出結果に基づいて、ドライバが要求する制動力を演算する。その演算結果であるドライバ要求制動力は、第 1 CAN 110 を経由してピークルコントローラ 100 へ送信される。

50

## 【0039】

## [動作2]

ビーグルコントローラ100に設けられた回生摩擦制動力分配演算器100a(図2参照)がドライバ要求制動力を受信すると、回生摩擦制動力分配演算器100aは、電動車1の走行安定性を考慮するとともに、ドライバにブレーキ力切り替えの違和感を与えないよう、ドライバ要求制動力の一部を回生ブレーキ力に按分する際の按分量を決定する。その按分情報である回生トルク指令T\*は、第2CAN120経由で回転電気制御部210へ送信される。

## 【0040】

## [動作3]

10

回転電気制御部210は、受信した回生トルク指令T\*に従い回転電機900に回生トルクを発生させる。また、電流演算部220に備えられた実発生トルク演算部220bにおいて、回転電機900に流れる電流Idc、Iqcに基づく実発生トルクTaが演算される。この実発生トルクTaは、第2CAN120経由でビーグルコントローラ100へ送信される。実発生トルクTaは、回転電機900の極対数をPn、ロータ磁石磁束を、3相コイルのd軸インダクタンスをLd、q軸インダクタンスをLqとすると、以下の式(2)で求められる。

$$Ta = Pn \times \times Iqc + Pn \times (Ld - Lq) \times Idc \times Iqc \dots (2)$$

## 【0041】

## [動作4]

20

ビーグルコントローラ100の回生摩擦制動力按分演算器100aは、回転電機900の実発生トルクTaを受信すると、実発生トルクTaによる回生ブレーキ力を演算する。そして、ドライバ要求制動力から回生ブレーキ力を差し引いて得られる摩擦ブレーキ力を、摩擦ブレーキ力指令として第1CAN110経由でブレーキ制御部510に送信する。ブレーキ制御部510は、受信した摩擦ブレーキ力指令に従い摩擦ブレーキ力を変化させる。

## 【0042】

その後、[動作1]へ戻り、点B1(G1)～B4(G4)の切り替え動作区間においては、[動作1]～[動作4]が繰り返し実行される。この切り替え動作においては、[動作1]でドライバ要求制動力を常に演算しているので、ドライバのブレーキ踏込み力が変化しても追隨できる。このように、回生協調ブレーキ制御においては、摩擦ブレーキによって摩擦熱となって捨てられる電動車1の運動エネルギーの一部を回転電機900の回生電力に変換し、その回生電力によってバッテリ300を充電するようにしているので、電動車1の電費アップに貢献する。

30

## 【0043】

図6に示した制御は、バッテリ300が正常状態における動作を示したものであり、基本的には従来の回生協調ブレーキ制御と同様のものである。次に、本実施の形態の特徴である、回生協調ブレーキ中にバッテリ300に異常(Fail)が発生した場合について、詳しく説明する。

## 【0044】

40

## (バッテリ診断動作)

まず、バッテリ制御部310におけるバッテリ診断について説明する。図9は、バッテリ制御部310およびバッテリ300を示す図である。バッテリ300の内部には複数のセル(図9ではn個)が配置されており、n個のセルが直列又は並列に接続されバッテリ300の総電圧を作り出している。バッテリ制御部310は、バッテリの各種情報、例えば、総電圧、温度、セル電圧等を常に監視しており、異常を検出するとバッテリ診断(例えば、セル電圧診断、総電圧診断等を含む)を開始する。より詳細には、セル電圧診断では、図9のn個の各セルの電圧が許容最大電圧と許容最小電圧の閾値内にあるかどうかを監視している。総電圧診断で、n個の各セルの電圧の和である総電圧が許容最大電圧と許容最小電圧の閾値内にあるかどうか監視している。特に、EV(電気自動車)のようにバッ

50

テリが大容量化してくると、セルの数量も増加して個々のセル電圧ばらつきも大きくなるため、セル電圧の監視も重要になってくる。

#### 【0045】

例えば、図10に示す例では、バッテリ総電圧は正常範囲であるが、 $n - 1$ 番のセル電圧が閾値を超えている。なお、図10の上側の図はバッテリ300の総電圧の時間的な変化を示したものであり、下側の図は、上側の図の黒丸の時刻における1番目のセルから $n$ 番目のセルまでのセル電圧を示したものである。このように、いずれかのセルのセル電圧が閾値を超えている場合には、そのセルを保護するために、従来は、図11に示すような回生協調ブレーキを中止する処理が実行されている。

#### 【0046】

ビークルコントローラ100は、バッテリ300の診断結果をバッテリ制御部310から第2CAN120により入手する。従来、ビークルコントローラ100は第2CAN120を経由してバッテリ制御部310からバッテリ300のFail信号を受信すると、バッテリ300への充放電を禁止し、回転電機制御部210に指令を送り力行回生動作を制限したり、電力変換装置200のスイッチング動作を中止したり、DCハーネス450P及びDCハーネス450Nに設けられたリレー450aの遮断を行ったりしている。

#### 【0047】

例えば、回生協調ブレーキ中にバッテリ300が総電圧異常で充放電禁止となり、診断結果であるFail信号をビークルコントローラ100が受信すると、ビークルコントローラ100は直ちに回生動作を停止するために、回生協調ブレーキ中止の動作に入る。

#### 【0048】

図11は、中止動作を瞬時に行った場合の摩擦ブレーキ力と回生ブレーキ力とを示す図である。点B2(G2)において、バッテリ制御部310からのFail信号を受信すると、ビークルコントローラ100は、ラインL0で示すドライバ要求制動力を維持しながら、瞬時に回生ブレーキ力をゼロにするとともに、摩擦ブレーキ力をドライバ要求制動力まで増加させる。しかしながら、完全に瞬時にかつ同時に切り替えを行うことは現実的には難しく、ドライバにブレーキ力切り替えショックの違和感を与えるだけでなく、電動車1の走行安定性も悪化し、特に路面状態の悪いところでは走行安定性の悪化が顕著に現れる。

#### 【0049】

そこで、本実施の形態では、図12に示すような回生協調ブレーキ中止処理を行うようにした。点B2(G2)において、バッテリ制御部310からのFail信号を受信すると、ビークルコントローラ100は、ドライバ要求制動力を維持しながら図8に示す動作を繰り返し実行して、回生ブレーキ力を点G2 G3とするとともに摩擦ブレーキ力を点B2

B3へと変化させ、電動車1の走行安定性を優先しつつ極力早く摩擦ブレーキ力に切り替える。

#### 【0050】

このような回生協調ブレーキ制御を行うことにより、回生協調ブレーキ中にバッテリFailが発生した場合でもドライバ要求制動力は維持され、安全に電動車1の回生協調ブレーキ動作を中止できる。

#### 【0051】

ところで、図12に示した回生協調ブレーキ制御の場合には、点G2から点G3に至るまでの間は回生ブレーキ力が残っているため、回転電機900で生成された回生電力によってバッテリ300が充電される。そこで、本実施の形態では、図12に示すような回生協調ブレーキ中止処理を行うとともに、バッテリ保護の観点から、以下に記載のようなバッテリ保護動作を行うようにした。

#### 【0052】

図13～15は、本実施の形態における診断動作を説明する図である。ここでは、図14, 15の実線で示すように、バッテリ総電圧異常を検出して診断動作に入る場合を例に説明する。バッテリ制御部310は、バッテリ総電圧が図14に示す最大総電圧閾値 $V_{th-max}$ を超えたことを検出すると、診断を開始するとともに、第2CAN120にFail予告

10

20

30

40

50

信号を送信する。このFail予告信号とは、バッテリ状態は未だ異常状態(Fail状態)にはなっていないが、このまま回生ブレーキを使用するとバッテリ異常状態になるので、保護動作が必要であることを知らせる信号である。

#### 【0053】

バッテリ診断には、上述したようにセル電圧診断、総電圧診断等が含まれており、所定時間間隔で複数回診断が行われる。そして、図14に示すように、複数回の診断を行ってもバッテリ総電圧異常検出が継続していた場合には、バッテリ制御部310は、診断を終了し第2CAN120にFail信号を送信する。そして、このFail信号が回転電機制御部210によって受信されると、図12のB2～B3区間およびG2～G3区間に示すラインのように、ドライバ要求制動力を満足したまま摩擦ブレーキ力および回生ブレーキ力が制御され、最終的には、摩擦ブレーキ力のみとされる。10

#### 【0054】

一方、図15の実線で示すように、複数回の診断を終了する前にバッテリ総電圧が最大総電圧閾値V<sub>th-max</sub>よりも低下した場合には、すなわち、複数回診断中にバッテリ総電圧異常検出が検出されない状態となつたならば、バッテリ制御部310は診断動作を終了し、第2CAN120にFail解除信号を送信する。

#### 【0055】

なお、本発明の実施形態では、図2に示すように、回転電気制御部210の電流指令演算部220は、バッテリ診断判定部220cを備えており、バッテリ制御部310が第2CAN120に送信したバッテリ診断情報(Fail予告信号、Fail信号、Fail解除信号等)をビーカルコントローラ100を経由しなくても直接受信できるように構成されている。このように構成することで、ビーカルコントローラ100からの指令を待たなくとも、回生協調ブレーキ中のバッテリFailを事前に検出でき、あらかじめ対処できるといった効果がある。20

#### 【0056】

##### (バッテリ保護動作)

本実施の形態では、電流指令演算部220のバッテリ診断判定部220cは、回生協調ブレーキ動作中にバッテリ制御部310が第2CAN120上に送信したFail予告信号を受信すると、バッテリFailに備えて回転電機900の内部損失を増大する処理を行う。

#### 【0057】

前述したように回生協調ブレーキ中は、ドライバ要求制動力を摩擦ブレーキ力と回生ブレーキ力に按分し、従来は全てが摩擦ブレーキの熱となって捨てられていた車両の運動エネルギーの一部を、バッテリ300に戻すようにしている。すなわち、車両の運動エネルギーの一部を、回転電機900により回生電力(交流電力)に変換し、さらに電力変換装置200で交流電力から直流電力に変換してバッテリ300を充電している。30

#### 【0058】

ここで、回生電力は全て充電電力となるわけではなく、式(3)に示すように一部が回転電機900の内部損失として消費されてしまう。式(3)から、回転電機900の回生トルクを変えずに、回転電機900の内部損失を増やすことができれば、バッテリ300への充電電力を減らすことができる。40

$$( \text{回生電力} ) = ( \text{バッテリ } 300 \text{ への充電電力} ) + ( \text{回転電機 } 900 \text{ の内部損失} )$$

・・・(3)

#### 【0059】

本実施の形態では、以下に説明するような方法により、回転電機900の回生トルクを変えずに内部損失を増加させるようにしている。図16～18は回転電機900のU相コイル900U、V相コイル900V、W相コイル900Wに流れる相電流と回生トルクとの関係を説明する図である。

#### 【0060】

図16は、回転電機900のU相コイル900U、V相コイル900V、W相コイル900Wに流れる相電流と回生トルクとの関係が、d q 軸上の電流位相でどのように変化す50

るかを示したものである。ライン a は、相電流が a のときの電流位相と回生トルクとの関係を示したものである。同様に、ライン b ~ j は相電流が b ~ j のときの電流位相と回生トルクとの関係を示している。相電流は a ~ j になるにつれて大きくなり、相電流 j は回転電機 900 に流せる最大の相電流である。図 16 に示すように、相電流が同じでも電流位相が異なれば、発生する回生トルクの大きさは変化する。図 16 において、白丸印で示した点は相電流の電流位相を変化させたときに最大の回生トルクを発生する点、つまり最高効率点である。

#### 【0061】

相電流の実効値は、d 軸電流  $I_d$  と q 軸電流  $I_q$  を用いて表すと式(4)のようになる。なお、式(4)において、「 $\wedge 2$ 」は2乗を表している。図 17 は、図 16 の白丸印で示した最高効率点となる電流位相における d 軸電流  $I_d$ 、q 軸電流  $I_q$  をベクトル図で表したものである。10

$$\text{相電流} = \sqrt{(I_d^2 + I_q^2)} \quad \dots (4)$$

#### 【0062】

ここで、点 Ph1 に着目する。この点 Ph1 から水平に点 Pj1 に移行すると、発生する回生トルクは同一で相電流値は h < j に変化(増大)する。図 18 は、点 Pj1 の電流位相における d 軸電流  $I_d$ 、q 軸電流  $I_q$  をベクトル図で表したものである。相電流は h < j であり、点 Ph1 ～点 Pj1 への移行により主に d 軸側の電流が増加している。d 軸側の電流は回転電機 900 の磁石磁束 方向に流れる電流であり、トルクではなくモータの内部損失となる電流である。20

#### 【0063】

図 16 において、点 Pj1 は回転電機 900 に流せる最大の相電流であるにもかかわらず、点 Ph1 と同じ回生トルクである。つまり、点 Pj1 は最低効率点である。同様に、黒丸印 Pj1、Pj2、Pj3、Pj4、Pj5 で示す点は、最高効率点 Ph1、Pg2、Pf3、Pe4、Pd5 に対応する最低効率点であり、対応するもの同士は同一回生トルクとなっている。

#### 【0064】

図 19 は、図 4 に示した電流指令演算部 220 における電流マップ 220a をより詳細に示したものであり、標準電流マップ 221a には、白丸印 Ph1、Pg2、Pf3、Pe4、Pd5 で示した最高効率点となる電流位相に基づいて、d 軸電流  $I_d$ 、q 軸電流  $I_q$  がマップ化されている。一方、損失増大電流マップ 221e には、黒丸印 Pj1、Pj2、Pj3、Pj4、Pj5 で示した最低効率点となる電流位相に基づいて、d 軸電流  $I_d$ 、q 軸電流  $I_q$  がマップ化されている。30

#### 【0065】

図 19 に示す電流マップ選定部 220d は、状況に応じて標準電流マップ 221a および損失増大電流マップ 221e のいずれかを選定する。本実施の形態の場合、通常は標準電流マップ 221a が選定されており、以下に説明する回生協調ブレーキ動作中の保護動作の場合には、損失増大電流マップ 221e を選定する。

#### 【0066】

##### (第 1 の例)

図 20 は、保護動作の第 1 の例を示す図である。第 1 の例における保護動作では、回生協調ブレーキ動作中においてバッテリ診断判定部 220c が Fail 予告信号を受信すると、ビーカルコントローラ 100 からの指令が無くともバックグラウンドでバッテリ保護のために回転電機 900 の内部損失増大の必要性を認識し、電流マップ選定部 220d は電流マップを標準電流マップ 221a から損失増大電流マップ 221e に切り替える。回転電機制御部 210 の電流指令演算部 220 は、トルク指令  $T^*$  および角速度  $r$  に基づいて、d 軸電流指令  $I_d^*$ 、q 軸電流指令  $I_q^*$  を損失増大電流マップ 221e から探索する。

#### 【0067】

図 20 は、図 6 の点 B1 (G1) から点 B4 (G4) の過程における回生ブレーキに関40

する部分のライン L 2 を示している。図 2 0 に示す例では、点 G 1 ~ G 4 の過程において、バッテリ制御部 3 1 0 からの Fail 予告信号をバッテリ診断判定部 2 2 0 c が受信し、その後、Fail 解除信号を受信した場合の処理を示す。これは、図 1 5 のようにバッテリ総電圧が変化した場合に対応している。

#### 【 0 0 6 8 】

バッテリ診断判定部 2 2 0 c が Fail 予告信号を受信するまでは、図 1 9 の電流マップ選定部 2 2 0 d は、最大効率点に基づく標準電流マップ 2 2 1 a を選定している。このとき、式(3)における回転電機 9 0 0 の内部損失は最も小さい状態となっている。図 2 0 では、この時の回生電力は、ライン L 2 の下側のハッチングを施した領域で表している。Fail 予告信号を受信するまでの標準電流マップ 2 2 1 a を使用している状態では、ライン L 2 の下側全体にハッチングが施されている。10

#### 【 0 0 6 9 】

第 1 の例では、バッテリ診断判定部 2 2 0 c が Fail 予告信号を受信した場合には、ビーグルコントローラ 1 0 0 からの指令が無くとも、バックグラウンドでバッテリの保護のために回転電機 9 0 0 の内部損失増大を図る。そのため、Fail 予告信号を受信したならば、電流マップ選定部 2 2 0 d は、電流マップを標準電流マップ 2 2 1 a から損失増大電流マップ 2 2 1 e に切り替える。その結果、回転電機 9 0 0 の回生トルクをビーグルコントローラ 1 0 0 からの回生トルク指令  $T^*$  に維持しつつ、かつ、回転電機 9 0 0 の内部損失を増大させるような d 軸電流指令  $I_{d^*}$  および q 軸電流指令  $I_{q^*}$  が、図 4 の電流指令演算部 2 2 0 から電流制御部 2 3 0 に出力される。20

#### 【 0 0 7 0 】

電流マップが標準電流マップ 2 2 1 a から損失増大電流マップ 2 2 1 e に切り替えられると、回生電力は回転電機 9 0 0 の損失增加分だけ減少する。そのため、図 2 0 に示すように、回生電力を表しているハッチング領域の面積が、回転電機 9 0 0 の損失增加分だけ減少する。ライン L 2 の下側の白抜き領域が、回転電機 9 0 0 の損失增加分を示している。

#### 【 0 0 7 1 】

その後、バッテリ診断判定部 2 2 0 c によって Fail 解除信号が受信されると、ビーグルコントローラ 1 0 0 からの指令が無くとも、バックグラウンドでバッテリ保護の必要性は無くなつたと判断して、回転電機 9 0 0 の内部損失増大処理を中止する。そして、電流マップ決定部 2 2 0 d は、電流マップを損失増大電流マップ 2 2 0 e から標準電流マップ 2 2 0 a に切り替える。その結果、白抜き領域が無くなつて、ライン L 2 の下側の全てが回生電力を表すハッチング領域となる。このようにすることで、ビーグルコントローラ 1 0 0 からの回生トルク指令を維持したまま、回転電機 9 0 0 の内部損失増大処理が中止され、効率の良い状態の d 軸電流指令  $I_{d^*}$  および q 軸電流指令  $I_{q^*}$  が電流制御部 2 3 0 に出力される。30

#### 【 0 0 7 2 】

図 2 0 に示すような制御を行うと、Fail 予告信号受信後のバッテリ総電圧は、図 1 5 の破線で示すように変化する。Fail 予告信号の受信をきっかけに回転電機 9 0 0 の損失を増大させることで、バッテリ 3 0 0 に戻される回生電力が減少し、電流マップの切り替えを行わない場合(実線)に比べてバッテリ総電圧が減少している。その結果、バッテリ充電に関して余裕が生じ、図 1 2 の G 2 ~ G 3 (B 2 ~ B 3) に示すような切り替え動作があった場合でも、バッテリ充電に対してバッテリ 3 0 0 を保護することができる。40

#### 【 0 0 7 3 】

図 2 1 は、第 1 の例において Fail 解除が行われず、点 G 2 においてバッテリ Fail が確定した場合(Fail 信号を受信した場合)を示す図である。ここでは、Fail 解除の場合と同様に、Fail 信号を受信したならば、電流マップは損失増大電流マップ 2 2 1 e から標準電流マップ 2 2 1 a に切り替えられている。そのため、G 2 ~ G 3 間においては、ライン L 2 の下側は全領域にハッチングが施されており、回生電力によってバッテリ 3 0 0 が充電される。50

## 【0074】

しかしながら、Fail予告信号受信からFail確定まで回転電機900の損失を増大させたことにより、この間の充電量が減少されているので、Fail確定以後のバッテリ充電に対して余裕を持たせることができ、バッテリ300を保護することができる。このように充電量を減少させるような制御を予め行っておくことで、電動車1の走行安定性を維持しながら、バッテリFail後に点G2～G3間で、バッテリ300に戻る回生電力を余裕を持って受け入れることができる。

## 【0075】

## (第2の例)

図22は、保護動作の第2の例を示す図であり、図14に示すように、Fail予告信号受信後に、さらにFail信号を受信した場合の動作を示したものである。ビークルコントローラ100がFail信号を受信すると、回生ブレーキ力がラインL2のG2～G3のように減少する回生トルク指令T\*が、第2CAN120を介してビークルコントローラ100から回転電機制御部210に送信される。そして、第2の例では、Fail確定以後も、電流マップの選定を損失増大電流マップ221eに維持したままとする。その結果、G2～G3区間ににおいても回転電機900の損失が増大し、白抜き領域で示す損失増加分だけ回生電力が減少する。

10

## 【0076】

図22を図21と比較すると分かるように、第2の例の場合には、Fail予告とFail確定との間で回転電機900の損失が増大しているだけでなく、G2～G3区間ににおいても損失が増大している。その結果、図21に示す例1の場合に比べて、さらにバッテリ保護効果が向上する。

20

## 【0077】

## (第3の例)

図23は、保護動作の第3の例を示す図である。上述したように回転電機900の内部損失を増大させた場合、内部損失増加分は、主にU相コイル900U、V相コイル900V、W相コイル900Wのジュール熱となり、コイル温度が上昇する。この温度上昇は、回転電機900に設けられたコイル温度センサ930によって検出される。その検出結果は、回転電機制御部210の電流指令演算部220に入力される。

30

## 【0078】

第3の例においては、図23の下側の図に示すように、回転電機900のコイル温度に対して2つの閾値T<sub>th1</sub>、T<sub>th2</sub>が設けられている。図23の上側に示した図は図22と同様の図であるが、G2～G3区間ににおける回転電機900の損失増大のさせ方が異なっている。ここでは、コイル温度に応じて損失の大きさを変えている。そのため、図24に示すように、電流指令演算部220には複数の損失増大電流マップが設けられている。電流マップ選定部220dによって、いずれの電流マップを用いるかが選定される。

## 【0079】

図24に示す例では、3つの損失増大電流マップ221e、221f、221gが設けられている。内部損失の大きさは、(マップ221e) > (マップ221f) > (マップ221g)の順に大きくなっている。例えば、図25で黒丸印Pj1、Pj2、Pj3は損失増大電流マップ221eを適用し、黒丸印Pg4は損失増大電流マップ220fを適用し、黒丸印Pe5は損失増大電流マップ220gを適用した場合である。なお、本発明の実施形態では損失増大電流マップを3種類設けたが、3種類に制限するものではなくもっと多く設けても構わない。

40

## 【0080】

Fail予告信号を回転電機制御部210のバッテリ診断判定部220cが受信した時から、回転電機900の内部損失増大処理が始まるので、図23の下側の図に示すようにFail予告信号時からコイル温度も上昇している。このとき、電流マップは、例えば、図24の損失増大電流マップ221eが選定されているとする。コイル温度が閾値T<sub>th1</sub>に達すると、電流指令演算部220はコイルのジュール熱を下げるために内部損失量のより少ない

50

損失増大電流マップ 221f または 221g に切替える。その結果、図 23 の上側の図に示すように、損失増大電流マップが 221e から 221f または 221g に切り替わる点 G<sub>th1</sub> から内部損失の割合が小さくなり、回生電力の割合が大きくなっている。また、コイル温度の上昇の度合いが小さくなっている。

#### 【0081】

さらに、コイル温度が上昇してコイル温度が閾値 T<sub>th2</sub> を超えた場合には、電流指令演算部 220 は回転電機 900 を保護するために内部損失増大処理を中止する。すなわち、電流マップ選定部 220d は標準電流マップ 220a を選択する。このため、点 G<sub>th2</sub> から内部損失増加分はゼロとなり、コイル温度は低下傾向となる。このように、第 3 の例では、回転電機 900 のコイル温度を監視しながら内部損失増大制御を行い、コイル温度に応じて損失増大電流マップを切り替えて内部損失増加分を調整しているので、回転電機 900 が許容できる内部損失分を有効に活用できるとともに、回転電機 900 の破損を防止できるという効果がある。10

#### 【0082】

なお、図 24 の構成を用いた場合、Fail 予告信号におけるマップの切り替えにおいては、図 19 を用いた場合と同様に、標準電流マップ 221a から損失の最も大きな損失増大電流マップ 221e に切り替えるようにする。

#### 【0083】

##### - 第 2 の実施形態 -

上述した第 1 の実施の形態では、Fail 予告信号の受信により回転電機 900 の内部損失を増大させて回生電流を減少させる制御を開始することで、回生ブレーキが中止されるまでの G<sub>2</sub> ~ G<sub>3</sub> 区間における充電に備えるようにした。第 2 の実施の形態では、図 26 のように、Fail 信号を受信した時に回転電機 900 の内部損失を増大させて回生電流を減少させる制御を開始する。このような制御であっても、回生ブレーキが中止されるまでのバッテリ 300 の充電量を減少させることができるので、上述した実施の形態に比べて効果は小さいが、同様のバッテリ保護効果を得ることができる。20

#### 【0084】

以上説明した本実施の形態をまとめると、以下のようになる。

まず、本実施形態の電動車両システムは、バッテリ電力によるモータ動作、および車両走行エネルギーによる発電動作が選択的に可能な回転電機と、ドライバ要求制動力を摩擦ブレーキ力と回生ブレーキ力とに按分する回生協調ブレーキ制御を行うとともに、回生協調ブレーキ動作中に前記バッテリが充電不可となると、制動力を前記ドライバ要求制動力に保持するように、回生ブレーキ力を減少させるとともに摩擦ブレーキ力を増加させて、回生協調ブレーキ制御を中止する回生協調ブレーキ制御装置と、を有する電動車両に搭載され、電動車両に搭載されたバッテリの状態を監視するバッテリ監視部と、電動車両の回転電機を制御する回転電機制御部と、を備える。30

#### 【0085】

(1) バッテリ監視部としてのバッテリ制御部 310 は、回生協調ブレーキ制御中にバッテリ状態が充電不可状態であることを検出するとバッテリ 300 が充電可能か否かを診断し、診断結果から充電不可と判断すると Fail 信号を出力し、回転電機制御部 210 は、回生協調ブレーキ制御中に Fail 信号を受信すると、回転電機 900 のトルクを回生ブレーキ力に相当する回生トルクに保持しつつ、回転電機 900 の内部損失を増大させて回生ブレーキによる回生電力を減少させる損失増大制御を、実行する。40

#### 【0086】

このような制御を行うことにより、回生ブレーキが中止されるまでのバッテリ 300 の充電量を減少させることができ、バッテリの過剰な充電を低減することができる。その結果、回生協調ブレーキ制御中に図 12 に示すような回生動作停止処理を行うことが可能となり、回生協調ブレーキ制御中の回生動作停止時において、車両走行の安定性向上を図ることができる。

#### 【0087】

10

20

30

40

50

(2) バッテリ制御部310は、診断の開始とともにFail予告信号を出力する。そして、回転電機制御部210は、回生協調ブレーキ制御中にFail予告信号を受信すると、損失増大制御を実行する。

#### 【0088】

このように、回転電機900の内部損失を増大させてバッテリ300に戻る回生電力を減少させる損失増大制御を、Fail予告信号を受信した時から開始するので、バッテリ300の受け入れ可能な充電量に余裕が生じ、バッテリ保護効果の更なる向上を図ることができる。

#### 【0089】

(3) さらに、バッテリ制御部310は、診断結果から充電可能と判断するとFail解除信号を出力する。そして、回転電機制御部210は、Fail予告信号受信後にFail解除信号を受信すると損失増大制御を中止し、Fail予告信号受信後にFail信号を受信すると損失増大制御を継続する。Fail解除信号を受信した場合には損失増大制御が中止されるので、エネルギー消費の節約を効果的に行うことができる。また、Fail信号を受信した後も、上述した損失増大制御を継続してバッテリ300に戻る回生電力を減少させるようにすることで、バッテリ保護をより確実に行うことができる

10

#### 【0090】

(4) さらに、回転電機900の固定子コイル(900U~900W)の温度を検出する温度センサ930を電動車1に備え、温度センサ930の検出温度が低い場合には内部損失量が大きく、検出温度が高い場合には内部損失量が小さくなるように、検出温度に応じて損失増大制御における回転電機の内部損失量を調整するようにしたので、回転電機900のコイル温度の過度な上昇を防止することができ、バッテリ300の保護に加えて回転電機900の保護を図ることができる。

20

#### 【0091】

なお、このようにコイル温度に応じた内部損失量を調整は、損失増大制御中であれば、図23のG2~G3の区間に限らず、いずれの区間においても実行することができる。

#### 【0092】

(5) 例えば、図23に示すように、固定子コイル(900U~900W)の温度が所定上限温度T<sub>th2</sub>よりも低く設定された温度閾値T<sub>th1</sub>以下である場合には、複数の電流マップの内の最も内部損失の大きな最大損失電流マップ221eを用いて損失増大制御を実行し、コイル温度が温度閾値T<sub>th1</sub>を超えると、最大損失電流マップ221eよりも内部損失の小さな電流マップを用いて損失増大制御を実行する。なお、図23においては、温度の閾値が2つの場合を例に説明したが、3つ以上の閾値を設けて、それぞれにおいて電流マップを切り替えるような構成としても良い。

30

#### 【0093】

(6) さらに、コイル温度が所定上限温度T<sub>th2</sub>に達した場合には、電流マップを最低損失電流マップ(標準電流マップ221a)に切り替えて損失増大制御を中止するようにしても良い。このような制御を行うことで、コイル発熱が最低となり、コイル温度が所定上限温度T<sub>th2</sub>を大きく超えるのを防止することができる。

#### 【0094】

40

(7) また、電動車1の車速が低いときは、回生協調ブレーキにおける回転電機900の回生電力も低い。そのため、回転電機900の回転角速度が小さい場合には内部損失量が小さく、回転角速度が大きい場合には内部損失量が大きくなるように、回転角速度に応じて損失増大制御実行時の内部損失量を調整するようにするのが好ましい。このように回転電機900の回転角速度を考慮することで、より効果的な損失増大制御を行うことが可能となる。

#### 【0095】

(8) 回転電機制御部210は、図24に示すように、回転電機900のトルクおよび回転角速度と供給電流との関係を表す電流マップ221a~221gを内部損失の大きさに応じて複数備え、損失増大制御の非実行時には、複数の電流マップ221a~221gの

50

内で最も内部損失の小さな標準電流マップ 221a を使用し、損失増大制御の実行時には他の電流マップ 221e, 221f, 221g のいずれかを使用するようにして良い。このような電流マップを予め用意しておくことで、回転電機制御部 210 における演算負荷増大を抑えることができる。

〔 0 0 9 6 〕

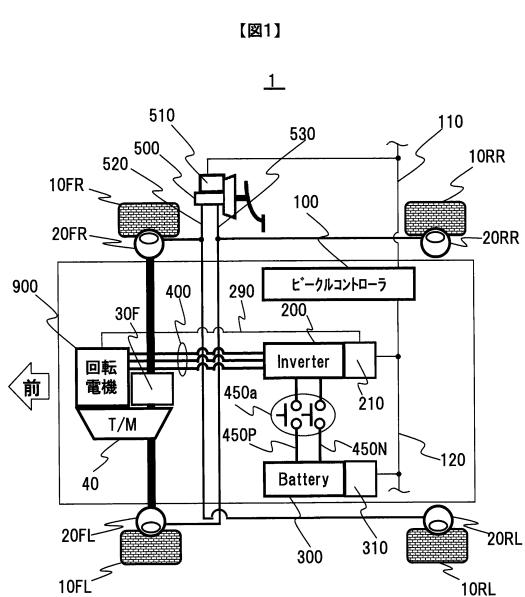
上述した各実施形態はそれぞれ単独に、あるいは組み合わせて用いても良い。それぞれの実施形態での効果を単独あるいは相乗して奏することができるからである。また、本発明の特徴を損なわない限り、本発明は上記実施の形態に何ら限定されるものではない。

## 【符号の説明】

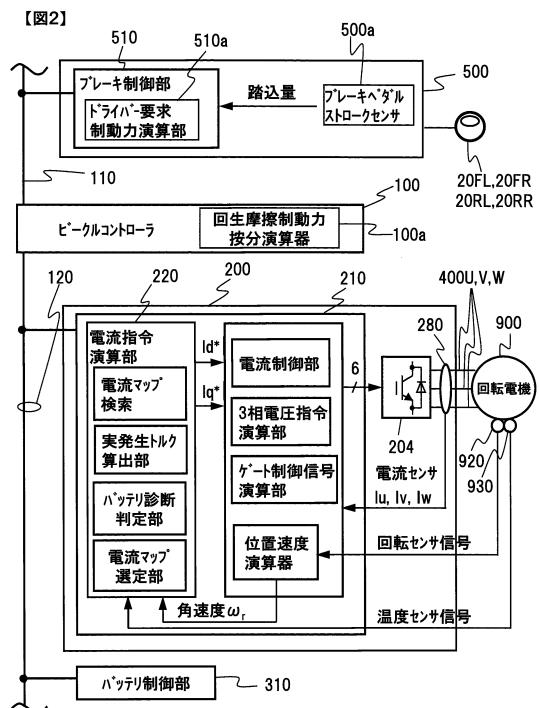
【 0 0 9 7 】

1 : 電動車、100 : ピークルコントローラ、100a : 回生摩擦制動力分配演算器、  
110 : 第1CAN、120 : 第2CAN、200 : 電力変換装置、204 : インバータ回路、210 : 回転電機制御部、220 : 電流指令演算部、220a : 電流マップ、221a : 標準電流マップ、220c : バッテリ診断判定部、220d : 電流マップ選定部、  
221e, 221f, 221g : 損失増大電流マップ、300 : バッテリ、310 : バッテリ制御部、500 : 回生協調ブレーキ装置、900 : 回転電機、920 : 回転センサ、  
930 : 温度センサ

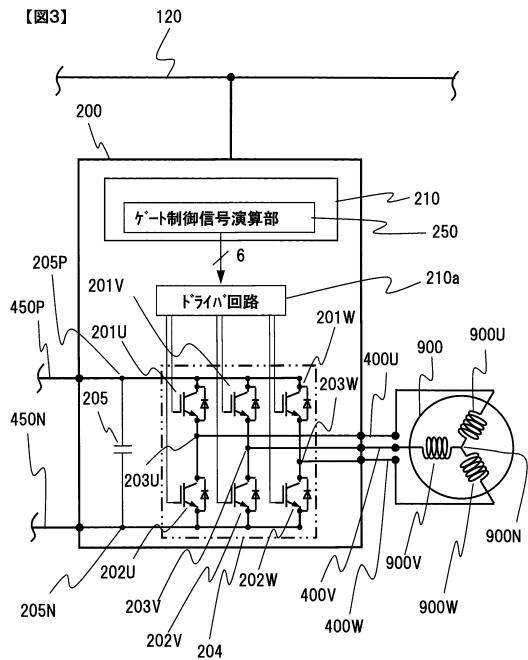
【 図 1 】



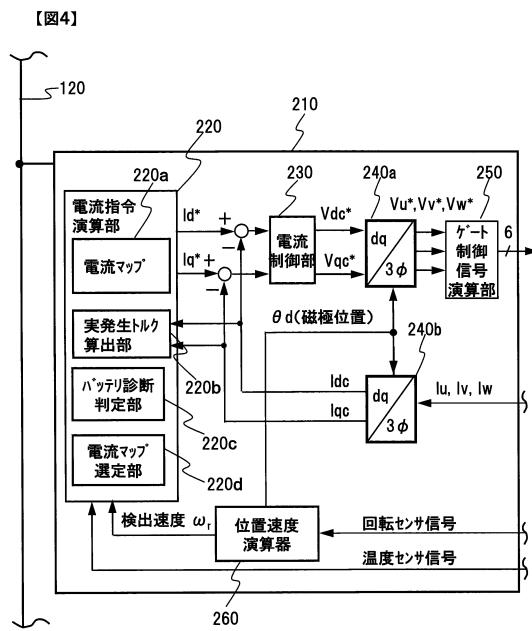
【 四 2 】



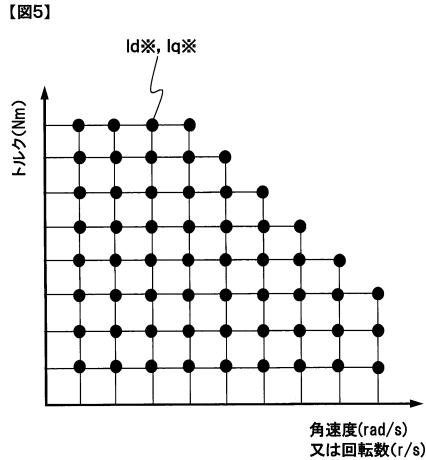
【図3】



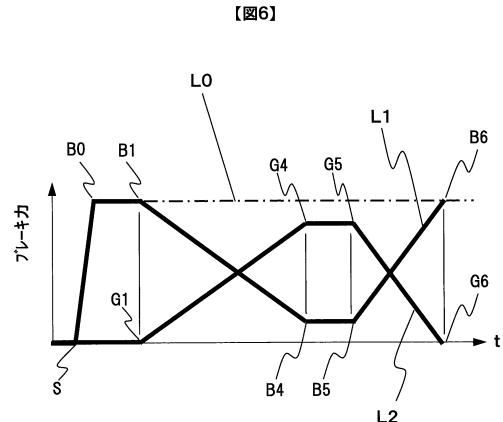
【図4】



【図5】

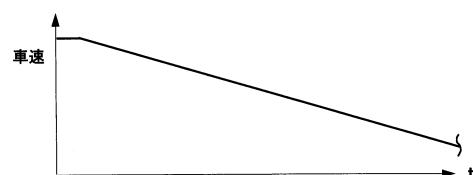


【図6】



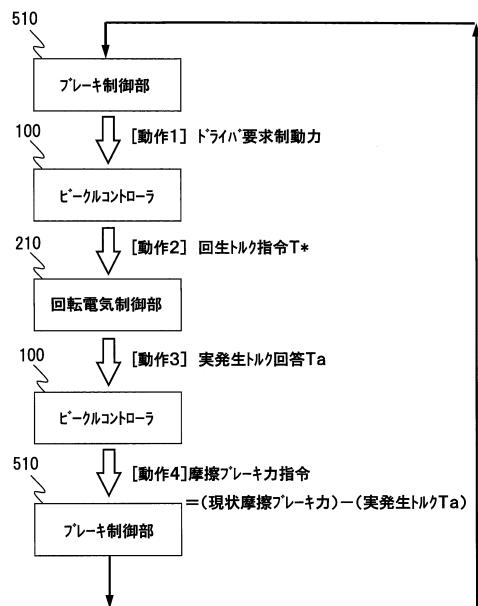
【図7】

【図7】



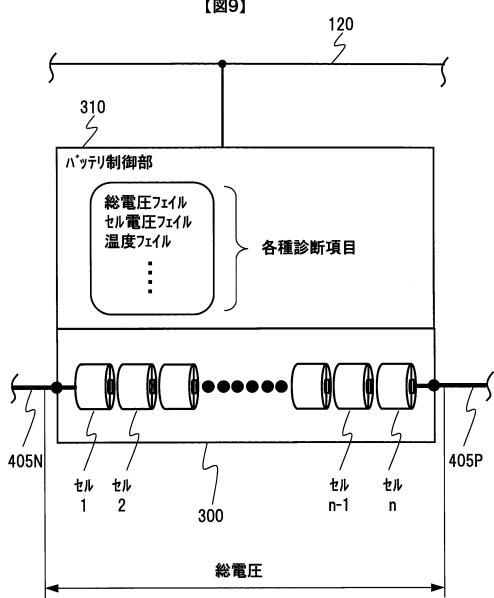
【図8】

【図8】



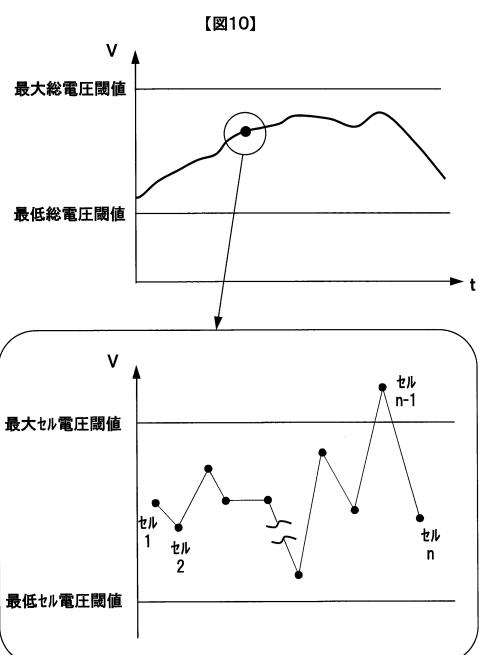
【図9】

【図9】



【図10】

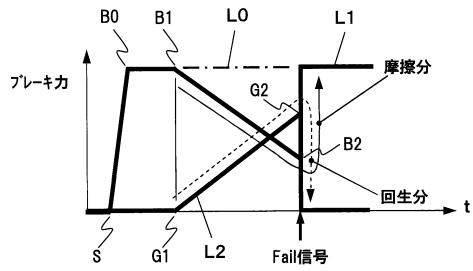
【図10】



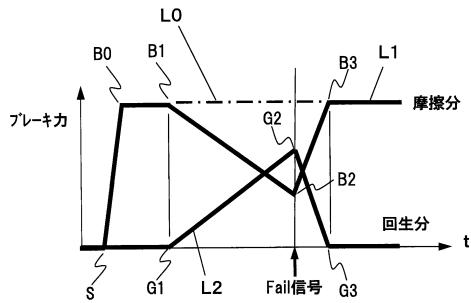
【図 1 1】

【図 1 2】

【図11】

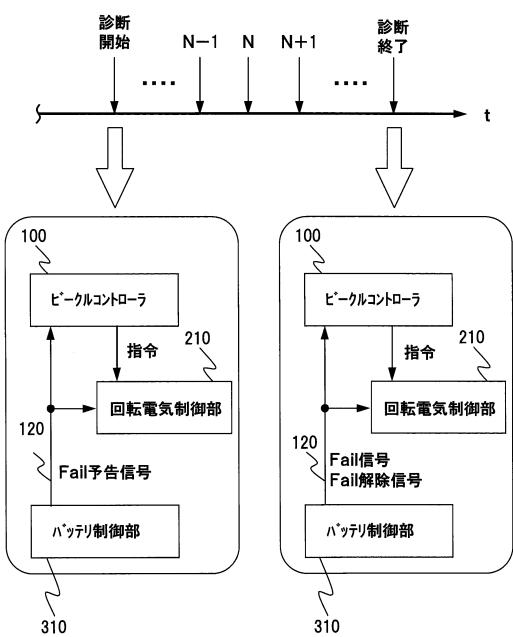


【図12】



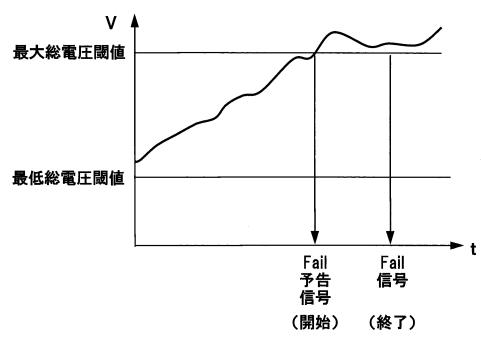
【図 1 3】

【図13】

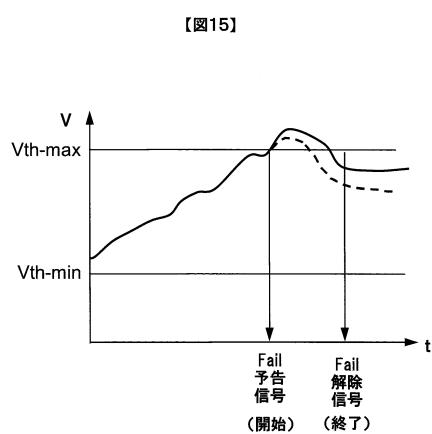


【図 1 4】

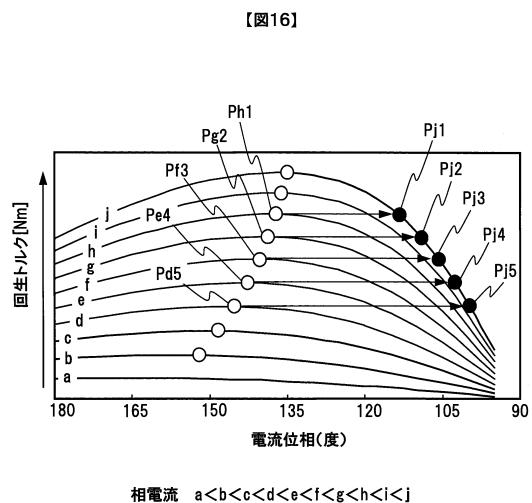
【図14】



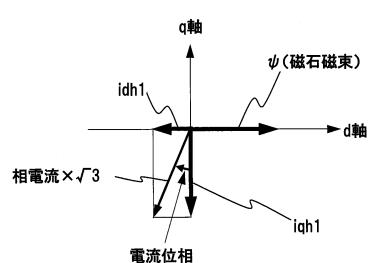
【図 1 5】



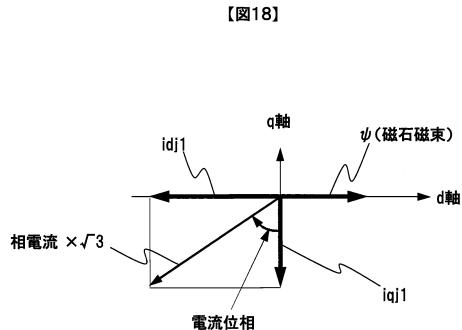
【図 1 6】



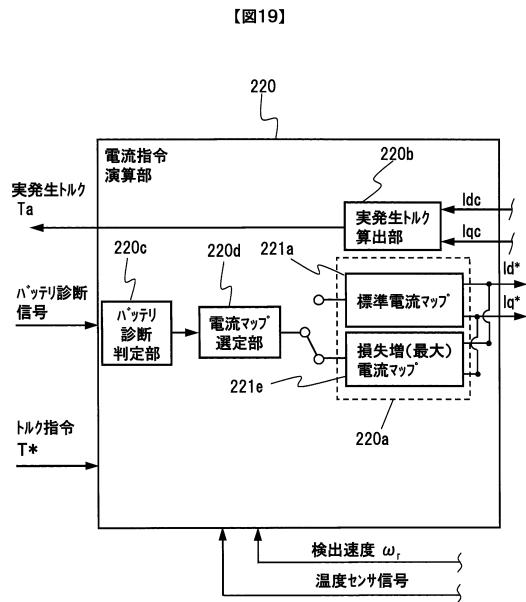
【図 1 7】



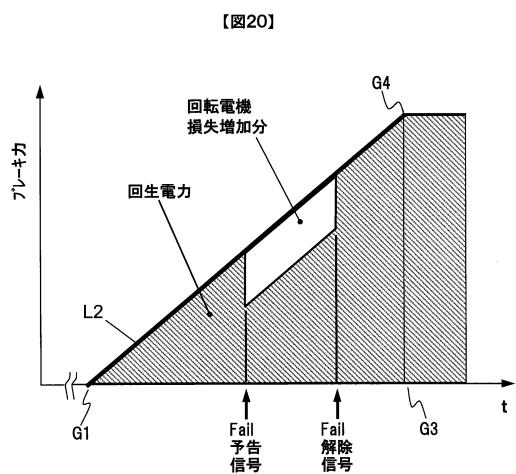
【図 1 8】



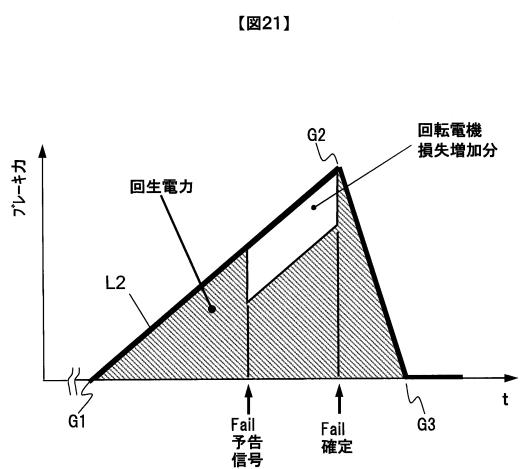
【図19】



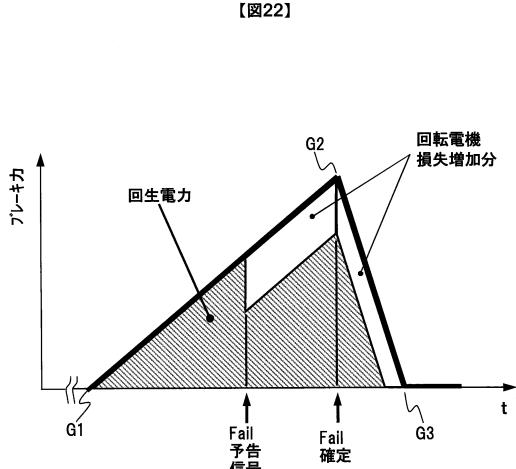
【図20】



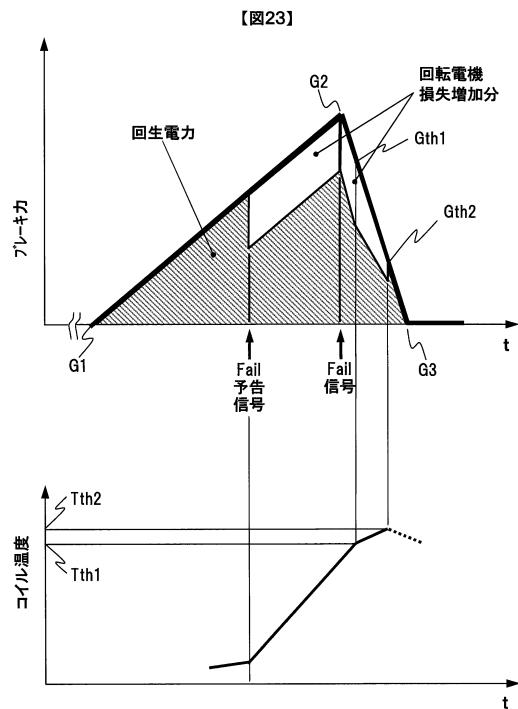
【図21】



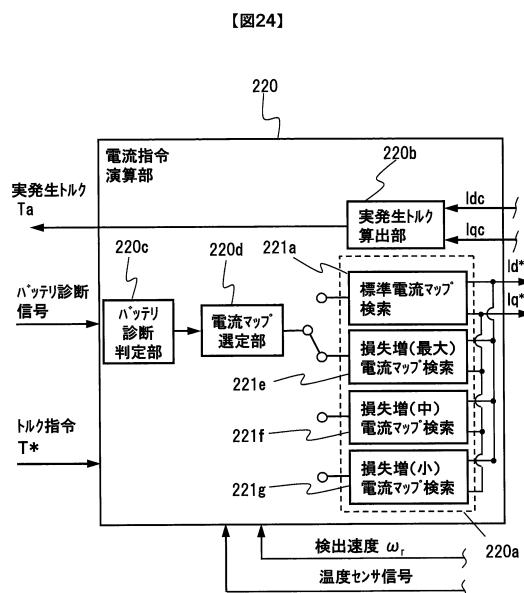
【図22】



【図23】

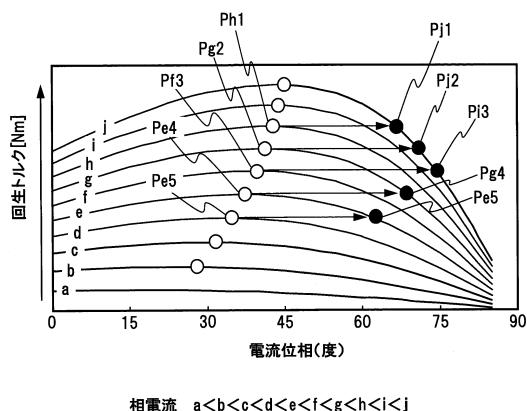


【図24】



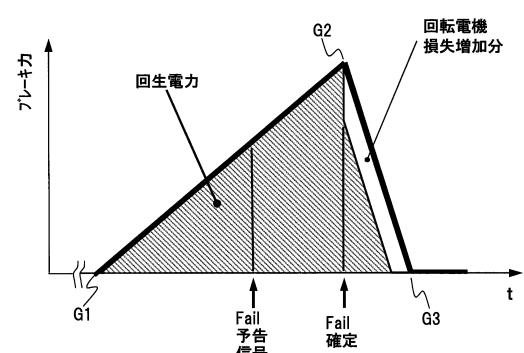
【図25】

【図25】



【図26】

【図26】



---

フロントページの続き

審査官 前原 義明

(56)参考文献 特開2005-329740(JP,A)

特開2003-134602(JP,A)

特開2000-152409(JP,A)

特開2012-060871(JP,A)

特開2011-097666(JP,A)

特開平11-215610(JP,A)

(58)調査した分野(Int.Cl., DB名)

B60L 1/00 - 3/12

B60L 7/00 - 13/00

B60L 15/00 - 15/42

H02P 27/06