

(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 I

B60L 7/14 (2006.01)
B60L 3/00 (2006.01)
B60L 7/24 (2006.01)
H02P 27/06 (2006.01)

B60L 7/14
 B60L 3/00 S
 B60L 7/24 D
 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ーの状態を監視するバッテリー監視部と、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、

前記バッテリー監視部は、回生協調ブレーキ制御中に前記バッテリー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ー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

10

20

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中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。

30

【発明の詳細な説明】

【技術分野】

【0001】

本発明は、回生協調ブレーキ制御を行う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ー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ーを充電している。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ー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感を与えたりする。

【0004】

50

例えば、バッテリー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に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】

10

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ーの状態を監視するバッテリー監視部と、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、バッテリー監視部は、回生協調ブレーキ制御中に前記バッテリー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ー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。

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 の要部を示すブロック図である。

【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、バッテリー制御部 310 およびバッテリー 300 を示す図である。

【図 10】図 10 は、バッテリー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とを示す図である。

【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ー制御部 310 のバッテリー診断過程を示す図である。

50

【図 1 4】図 1 4 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ー状態を示す図である。

【図 1 5】図 1 5 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ー状態を示す図である。

【図 1 6】図 1 6 は、回生トルクと電流位相との関係を示す図である。

【図 1 7】図 1 7 は、点 P h 1 の電流位相における d 軸電流 I_d 、q 軸電流 I_q のベクトル図である。

【図 1 8】図 1 8 は、点 P j 1 の電流位相における d 軸電流 I_d 、q 軸電流 I_q をベクトル図である。

【図 1 9】図 1 9 は、図 4 に示した電流指令演算部 2 2 0 における電流マップ 2 2 0 a をより詳細に示す図である。 10

【図 2 0】図 2 0 は、保護動作の第 1 の例を示す図である。

【図 2 1】図 2 1 は、第 1 の例においてFail 解除が行われず、バッテリーFail が確定した場合を示す図である。

【図 2 2】図 2 2 は、保護動作の第 2 の例を示す図である。

【図 2 3】図 2 3 は、保護動作の第 3 の例を示す図である。

【図 2 4】図 2 4 は、第 3 の例における電流マップを説明する図である。

【図 2 5】図 2 5 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。

【図 2 6】図 2 6 は、第 2 の実施の形態を説明する図である。 20

【発明を実施するための形態】

【0 0 1 0】

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。

【0 0 1 1】

回転電機 9 0 0 は車両の走行用トルクを発生する。また、回転電機 9 0 0 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 1 0 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 9 0 0 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 9 0 0 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

【0 0 1 2】

回転電機 9 0 0 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 40

【0 0 1 3】

電動車 1 は、左右の前輪 1 0 F R, 1 0 F L と左右後輪 1 0 R R, 1 0 R L を備える。回転電機 9 0 0 の出力トルクは、トランスミッション 4 0 及びデファレンシャルギヤ 3 0 F を介して左右の前輪 1 0 F R, 1 0 F L 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。

【0 0 1 4】

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 9 0 0 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、バッテリー 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、バッテリー 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ー 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 とバッテリー 300 は、DC ハーネス 450P、450N で結線されている。回転電機 900 からバッテリー 300 へ、または、バッテリー 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】

バッテリー 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、バッテリー制御部 310 を備えている。バッテリー 300 の構成詳細は後述する。電力変換装置 200 とバッテリー 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 とバッテリー 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、ピークルコントローラ 100 に送信する。また、ピークルコントローラ 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】

ピークルコントローラ 100 は、車両を統合的に管理する最上位の制御装置である。ピークルコントローラ 100 とブレーキ制御部 510 とは第 1CAN110 により接続されており、また、ピークルコントローラ 100 と回転電機制御部 210 およびバッテリー制御部 310 とは第 2CAN120 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 の制御ブロック構成について説明する。図 2 は電動車 1 の要部を示すブロック図であり、ピークルコントローラ 100、電力変換装置 200、バッテリー制御装置 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、ピークルコントローラ 100 は電動車 1 を制御するために、バッテリー制御部 310 から第 2CAN120 経由で入手したバッテリー情報（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 C A N 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 C A N 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 C A N 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。

10

【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、バッテリー 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、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、バッテリー 300 へ供給され、バッテリー 300 が充電される。

20

【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 I G B T や M O S F E T 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氣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、バッテリー 300 の正極側と DC ハーネス 450 P を経由して電氣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、バッテリー 300 の負極側と DC ハーネス 450 N とで接続されている。

30

【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。

40

【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 I_u 、 I_v 、 I_w 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、バッテリー診断判定部 220c および電流マップ選定部 220d を備えている。

10

【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 とを算出する。磁極位置 d は、 dq 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 dq 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、それぞ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。

20

【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 dq 軸電流 I_{dc} 、 I_{qc} に変換する。変換された dq 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、 dq 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^* に基づいて、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。

30

【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。

40

【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 dq 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 dq 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

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、バッテリー 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。

【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。

【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られる。

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

【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。

【0038】

[動作 1]

ドライバがブレーキを踏み込むと、ブレーキ踏み量が、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。

【 0 0 3 9 】

[動作 2]

ビークルコントローラ 1 0 0 に設けられた回生摩擦制動力分配演算器 1 0 0 a (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 1 0 0 a 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に、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 2 C A N 1 2 0 経由で回転電気制御部 2 1 0 へ送信される。

【 0 0 4 0 】

[動作 3]

回転電気制御部 2 1 0 は、受信した回生トルク指令 T^* に従い回転電機 9 0 0 に回生トルクを発生させる。また、電流演算部 2 2 0 に備えられた実発生トルク演算部 2 2 0 b において、回転電機 9 0 0 に流れる電流 I_{dc} 、 I_{qc} に基づく実発生トルク T_a が演算される。この実発生トルク T_a は、第 2 C A N 1 2 0 経由でビークルコントローラ 1 0 0 へ送信される。実発生トルク T_a は、回転電機 9 0 0 の極対数を P_n 、ロータ磁石磁束を、3 相コイルの d 軸インダクタンスを L_d 、q 軸インダクタンスを L_q とすると、以下の式 (2) で求められる。

$$T_a = P_n \times I_{qc} + P_n \times (L_d - L_q) \times I_{dc} \times I_{qc} \cdots (2)$$

【 0 0 4 1 】

[動作 4]

ビークルコントローラ 1 0 0 の回生摩擦制動力按分演算器 1 0 0 a は、回転電機 9 0 0 の実発生トルク T_a を受信すると、実発生トルク T_a 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 1 C A N 1 1 0 経由でブレーキ制御部 5 1 0 に送信する。ブレーキ制御部 5 1 0 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。

【 0 0 4 2 】

その後、[動作 1] へ戻り、点 B 1 (G 1) ~ B 4 (G 4) 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み力が増減しても追従できる。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 9 0 0 の回生電力に変換し、その回生電力によってバッテリー 3 0 0 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。

【 0 0 4 3 】

図 6 に示した制御は、バッテリー 3 0 0 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ー 3 0 0 に異常 (Fail) が発生した場合について、詳しく説明する。

【 0 0 4 4 】

(バッテリー診断動作)

まず、バッテリー制御部 3 1 0 におけるバッテリー診断について説明する。図 9 は、バッテリー制御部 3 1 0 およびバッテリー 3 0 0 を示す図である。バッテリー 3 0 0 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ー 3 0 0 の総電圧を作り出している。バッテリー制御部 3 1 0 は、バッテリーの各種情報、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ー診断 (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、E V (電気自動車) のようにバッ

10

20

30

40

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。

【 0 0 4 5 】

例えば、図 1 0 に示す例では、バッテリー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 1 0 の上側の図はバッテリー 3 0 0 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 1 1 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。

【 0 0 4 6 】

ピークルコントローラ 1 0 0 は、バッテリー 3 0 0 の診断結果をバッテリー制御部 3 1 0 から第 2 C A N 1 2 0 により入手する。従来、ピークルコントローラ 1 0 0 は第 2 C A N 1 2 0 を経由してバッテリー制御部 3 1 0 からバッテリー 3 0 0 の Fail 信号を受信すると、バッテリー 3 0 0 への充放電を禁止し、回転電機制御部 2 1 0 に指令を送り力行回生動作を制限したり、電力変換装置 2 0 0 のスイッチング動作を中止したり、D C ハーネス 4 5 0 P 及び D C ハーネス 4 5 0 N に設けられたリレー 4 5 0 a の遮断を行ったりしている。

【 0 0 4 7 】

例えば、回生協調ブレーキ中にバッテリー 3 0 0 が総電圧異常で充放電禁止となり、診断結果である Fail 信号をピークルコントローラ 1 0 0 が受信すると、ピークルコントローラ 1 0 0 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。

【 0 0 4 8 】

図 1 1 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 B 2 (G 2) において、バッテリー制御部 3 1 0 からの Fail 信号を受信すると、ピークルコントローラ 1 0 0 は、ライン L 0 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。

【 0 0 4 9 】

そこで、本実施の形態では、図 1 2 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 B 2 (G 2) において、バッテリー制御部 3 1 0 からの Fail 信号を受信すると、ピークルコントローラ 1 0 0 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 G 2 G 3 とするとともに摩擦ブレーキ力を点 B 2 B 3 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。

【 0 0 5 0 】

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ー 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。

【 0 0 5 1 】

ところで、図 1 2 に示した回生協調ブレーキ制御の場合には、点 G 2 から点 G 3 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 9 0 0 で生成された回生電力によってバッテリー 3 0 0 が充電される。そこで、本実施の形態では、図 1 2 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、バッテリー保護の観点から、以下に記載のようなバッテリー保護動作を行うようにした。

【 0 0 5 2 】

図 1 3 ~ 1 5 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 1 4 , 1 5 の実線で示すように、バッテリー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。バッテリー制御部 3 1 0 は、バッテリー総電圧が図 1 4 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 2 C A N 1 2 0 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、バッテリー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ー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。

【 0 0 5 3 】

バッテリー診断には、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 1 4 に示すように、複数回の診断を行ってもバッテリー総電圧異常検出が継続していた場合には、バッテリー制御部 3 1 0 は、診断を終了し第 2 C A N 1 2 0 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 2 1 0 によって受信されると、図 1 2 の B 2 ~ B 3 区間および G 2 ~ G 3 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

【 0 0 5 4 】

一方、図 1 5 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ー総電圧が最大総電圧閾値 V_{th-max} 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ー総電圧異常検出が検出されない状態となったならば、バッテリー制御部 3 1 0 は診断動作を終了し、第 2 C A N 1 2 0 に F a i l 解除信号を送信する。

【 0 0 5 5 】

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 2 1 0 の電流指令演算部 2 2 0 は、バッテリー診断判定部 2 2 0 c を備えており、バッテリー制御部 3 1 0 が第 2 C A N 1 2 0 に送信したバッテリー診断情報（Fail予告信号、Fail信号、Fail解除信号等）をピークルコントローラ 1 0 0 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、ピークルコントローラ 1 0 0 からの指令を待たなくても、回生協調ブレーキ中のバッテリー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

【 0 0 5 6 】

（バッテリー保護動作）

本実施の形態では、電流指令演算部 2 2 0 のバッテリー診断判定部 2 2 0 c は、回生協調ブレーキ動作中にバッテリー制御部 3 1 0 が第 2 C A N 1 2 0 上に送信したFail予告信号を受信すると、バッテリーFailに備えて回転電機 9 0 0 の内部損失を増大する処理を行う。

【 0 0 5 7 】

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、バッテリー 3 0 0 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 9 0 0 により回生電力（交流電力）に変換し、さらに電力変換装置 2 0 0 で交流電力から直流電力に変換してバッテリー 3 0 0 を充電している。

30

【 0 0 5 8 】

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 9 0 0 の内部損失として消費されてしまう。式（ 3 ）から、回転電機 9 0 0 の回生トルクを変えずに、回転電機 9 0 0 の内部損失を増やすことができれば、バッテリー 3 0 0 への充電電力を減らすことができる。

40

$$\begin{aligned} & \text{（回生電力）} = \text{（バッテリー 3 0 0 への充電電力）} + \text{（回転電機 9 0 0 の内部損失）} \\ & \cdots \text{（ 3 ）} \end{aligned}$$

【 0 0 5 9 】

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 9 0 0 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 1 6 ~ 1 8 は回転電機 9 0 0 の U 相コイル 9 0 0 U、V 相コイル 9 0 0 V、W 相コイル 9 0 0 W 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。

【 0 0 6 0 】

図 1 6 は、回転電機 9 0 0 の U 相コイル 9 0 0 U、V 相コイル 9 0 0 V、W 相コイル 9 0 0 W 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る

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 は回生電機 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

$$\text{相電流} = ((I_d^2 + I_q^2)) / 3 \cdots (4)$$

【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 軸側の電流は回生電機 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 は回生電機 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)

40

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ー診断判定部 220c が Fail 予告信号を受信すると、ピークルコントローラ 100 からの指令が無くともバックグラウンドでバッテリー保護のために回生電機 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。回生電機制御部 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

50

する部分のライン L 2 を示している。図 20 に示す例では、点 G 1 ~ G 4 の過程において、バッテリー制御部 310 からの Fail 予告信号をバッテリー診断判定部 220 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 15 のようにバッテリー総電圧が変化した場合に対応している。

【0068】

バッテリー診断判定部 220 c が Fail 予告信号を受信するまでは、図 19 の電流マップ選定部 220 d は、最大効率点に基づく標準電流マップ 221 a を選定している。このとき、式 (3) における回転電機 900 の内部損失は最も小さい状態となっている。図 20 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 221 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

【0069】

第 1 の例では、バッテリー診断判定部 220 c が Fail 予告信号を受信した場合には、ピークルコントローラ 100 からの指令が無くとも、バックグラウンドでバッテリーの保護のために回転電機 900 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 220 d は、電流マップを標準電流マップ 221 a から損失増大電流マップ 221 e に切り替える。その結果、回転電機 900 の回生トルクをピークルコントローラ 100 からの回生トルク指令 T^* に維持しつつ、かつ、回転電機 900 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 220 から電流制御部 230 に出力される。

20

【0070】

電流マップが標準電流マップ 221 a から損失増大電流マップ 221 e に切り替えられると、回生電力は回転電機 900 の損失増加分だけ減少する。そのため、図 20 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 900 の損失増加分だけ減少する。ライン L 2 の下側の白抜き領域が、回転電機 900 の損失増加分を示している。

【0071】

その後、バッテリー診断判定部 220 c によって Fail 解除信号が受信されると、ピークルコントローラ 100 からの指令が無くとも、バックグラウンドでバッテリー保護の必要性は無くなったと判断して、回転電機 900 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 220 d は、電流マップを損失増大電流マップ 220 e から標準電流マップ 220 a に切り替える。その結果、白抜き領域が無くなって、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、ピークルコントローラ 100 からの回生トルク指令を維持したまま、回転電機 900 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 230 に出力される。

30

【0072】

図 20 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ー総電圧は、図 15 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 900 の損失を増大させることで、バッテリー 300 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）に比べてバッテリー総電圧が減少している。その結果、バッテリー充電に関して余裕が生じ、図 12 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、バッテリー充電に対してバッテリー 300 を保護することができる。

40

【0073】

図 21 は、第 1 の例において Fail 解除が行われず、点 G 2 においてバッテリー 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 221 e から標準電流マップ 221 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ー 300 が充電される。

50

【 0 0 7 4 】

しかしながら、Fail預告信号受信からFail確定まで回転電機 9 0 0 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ー充電に対して余裕を持たせることができ、バッテリー 3 0 0 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、バッテリーFail後に点 G 2 G 3 間で、バッテリー 3 0 0 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。

【 0 0 7 5 】

(第2の例)

図 2 2 は、保護動作の第 2 の例を示す図であり、図 1 4 に示すように、Fail預告信号受信後に、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。ピークルコントローラ 1 0 0 が F a i l 信号を受信すると、回生ブレーキ力がライン L 2 の G 2 ~ G 3 のように減少する回生トルク指令 T * が、第 2 C A N 1 2 0 を介してピークルコントローラ 1 0 0 から回転電機制御部 2 1 0 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 2 2 1 e に維持したままとする。その結果、G 2 ~ G 3 区間においても回転電機 9 0 0 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。

【 0 0 7 6 】

図 2 2 を図 2 1 と比較すると分かるように、第 2 の例の場合には、Fail預告とFail確定との間で回転電機 9 0 0 の損失が増大しているだけでなく、G 2 ~ G 3 区間においても損失が増大している。その結果、図 2 1 に示す例 1 の場合に比べて、さらにバッテリー保護効果が向上する。

【 0 0 7 7 】

(第3の例)

図 2 3 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 9 0 0 の内部損損失を増大させた場合、内部損損失増大分は、主に U 相コイル 9 0 0 U、V 相コイル 9 0 0 V、W 相コイル 9 0 0 W 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 9 0 0 に設けられたコイル温度センサ 9 3 0 によって検出される。その検出結果は、回転電機制御部 2 1 0 の電流指令演算部 2 2 0 に入力される。

【 0 0 7 8 】

第 3 の例においては、図 2 3 の下側の図に示すように、回転電機 9 0 0 のコイル温度に対して 2 つの閾値 T th1, T th2 が設けられている。図 2 3 の上側に示した図は図 2 2 と同様の図であるが、G 2 ~ G 3 区間における回転電機 9 0 0 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 2 4 に示すように、電流指令演算部 2 2 0 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 2 2 0 d によって、いずれの電流マップを用いるかが選定される。

【 0 0 7 9 】

図 2 4 に示す例では、3 つの損失増大電流マップ 2 2 1 e, 2 2 1 f, 2 2 1 g が設けられている。内部損失の大きさは、(マップ 2 2 1 e) > (マップ 2 2 1 f) > (マップ 2 2 1 g) の順に大きくなっている。例えば、図 2 5 で黒丸印 P j 1、P j 2、P j 3 は損失増大電流マップ 2 2 1 e を適用し、黒丸印 P g 4 は損失増大電流マップ 2 2 0 f を適用し、黒丸印 P e 5 は損失増大電流マップ 2 2 0 g 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。

【 0 0 8 0 】

Fail預告信号を回転電機制御部 2 1 0 のバッテリー診断判定部 2 2 0 c が受信した時から、回転電機 9 0 0 の内部損失増大処理が始まるので、図 2 3 の下側の図に示すようにFail預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 2 4 の損失増大電流マップ 2 2 1 e が選定されているとする。コイル温度が閾値 T th1 に達すると、電流指令演算部 2 2 0 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

10

20

30

40

50

損失増大電流マップ 221 f または 221 g 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 221 e から 221 f または 221 g に切り替わる点 G th1 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 th 2 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 220 d は標準電流マップ 220 a を選択する。このため、点 G th2 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。

【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 221 a から損失の最も大きな損失増大電流マップ 221 e 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 2 ~ G 3 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ー 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、同様のバッテリー保護効果を得ることができる。

【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、バッテリー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ー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ーの状態を監視するバッテリー監視部と、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。

【0085】

(1) バッテリー監視部としてのバッテリー制御部 310 は、回生協調ブレーキ制御中にバッテリー状態が充電不可状態であることを検出するとバッテリー 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。

【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ー 300 の充電量を減少させることができ、バッテリー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ー 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、バッテリー 300 の受け入れ可能な充電量に余裕が生じ、バッテリー保護効果の更なる向上を図ることができる。

【0089】

(3) さらに、バッテリー制御部 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ー 300 に戻る回生電力を減少させるようにすることで、バッテリー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、バッテリー 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_{th2} よりも低く設定された温度閾値 T_{th1} 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_{th1} 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_{th2} 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_{th2} 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も良い。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。

【0096】

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。

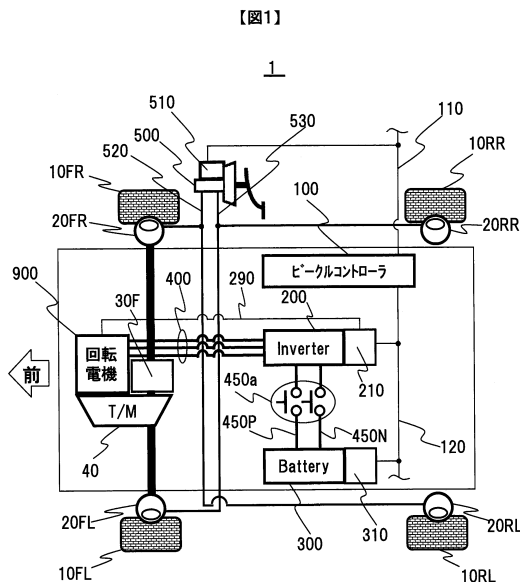
【符号の説明】

【0097】

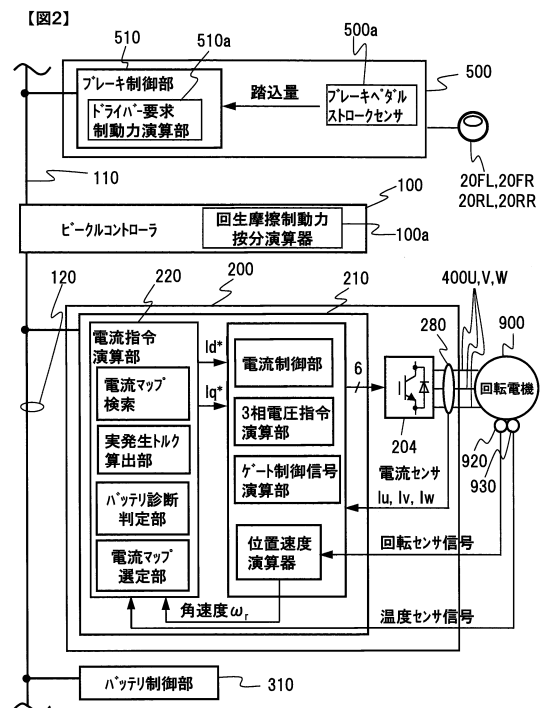
1：電動車、100：ピークルコントローラ、100a：回生摩擦制動力分配演算器、110：第1CAN、120：第2CAN、200：電力変換装置、204：インバータ回路、210：回転電機制御部、220：電流指令演算部、220a：電流マップ、221a：標準電流マップ、220c：バッテリー診断判定部、220d：電流マップ選定部、221e, 221f, 221g：損失増大電流マップ、300：バッテリー、310：バッテリー制御部、500：回生協調ブレーキ装置、900：回転電機、920：回転センサ、930：温度センサ

10

【図1】

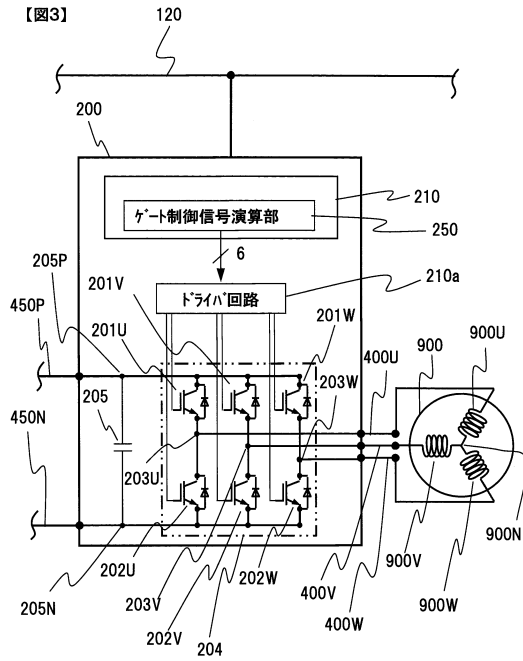


【図2】



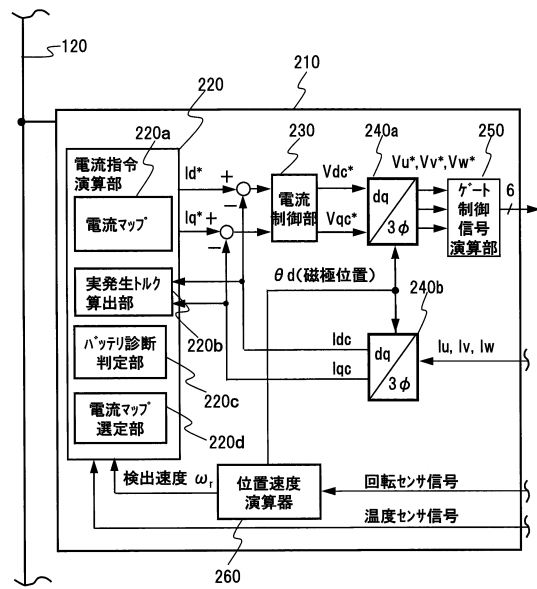
【 図 3 】

【図3】



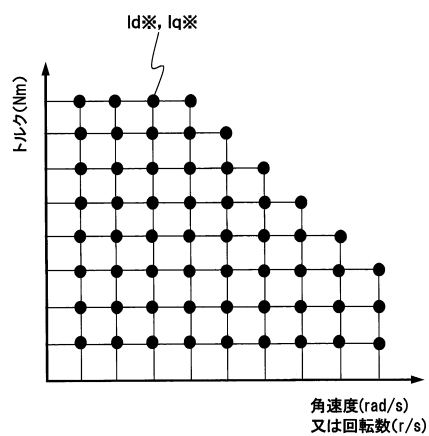
【 図 4 】

【図4】



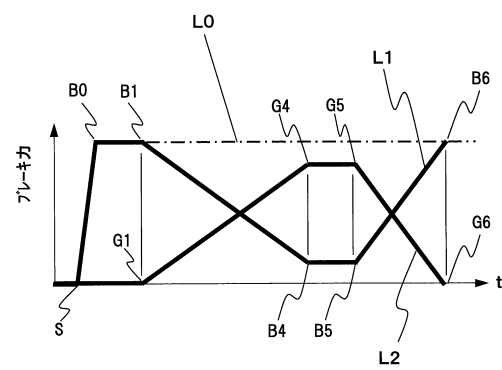
【 図 5 】

【図5】

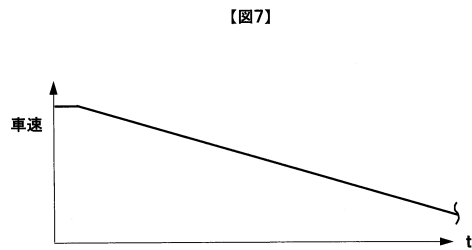


【圖 6】

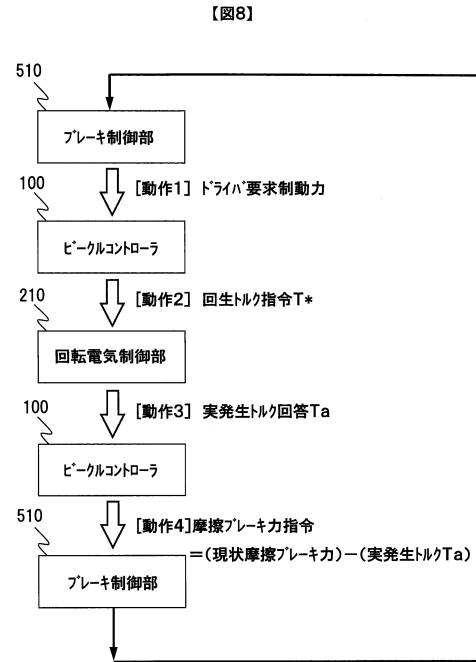
【図6】



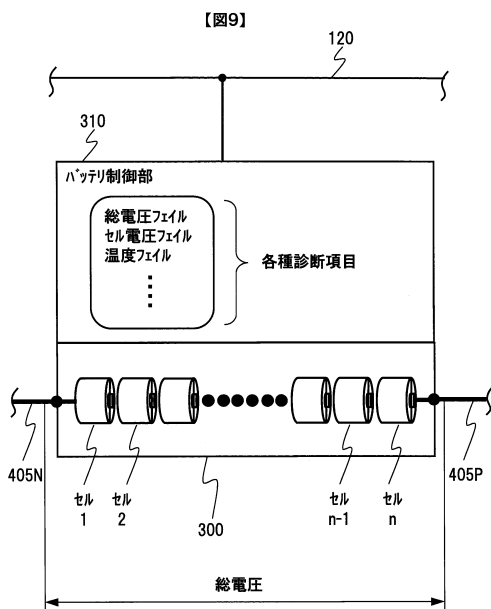
【図 7】



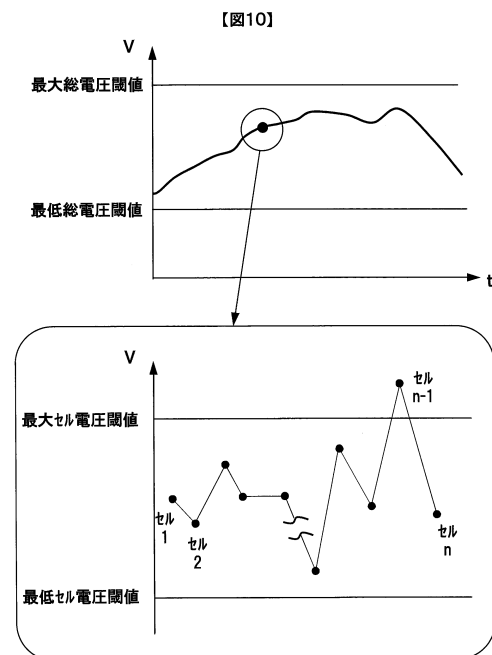
【図 8】



【図 9】

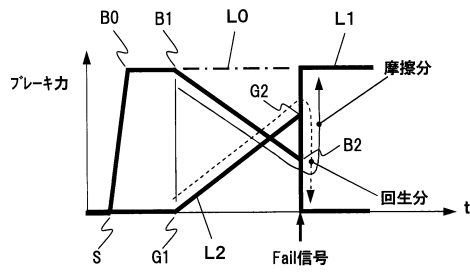


【図 10】



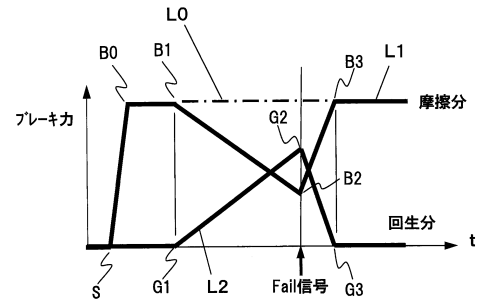
【図 1 1】

【図11】



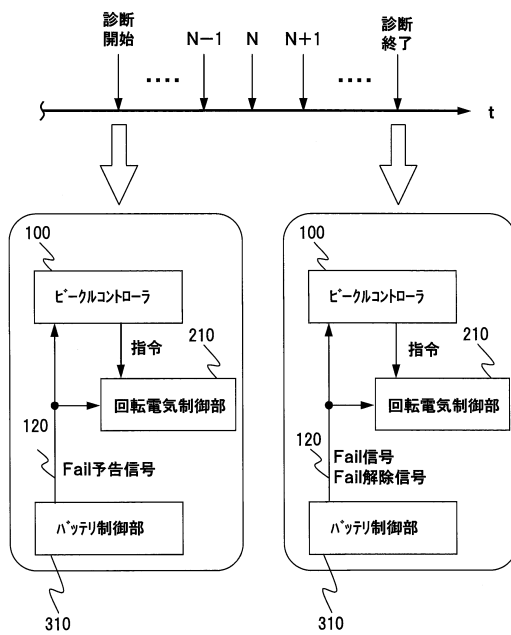
【図 1 2】

【図12】



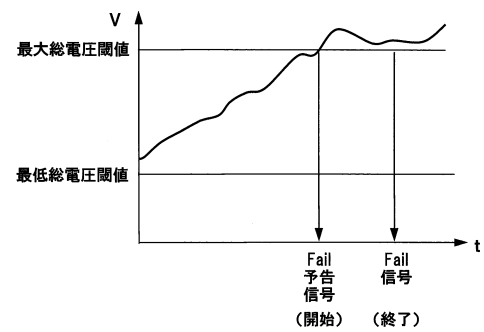
【図 1 3】

【図13】

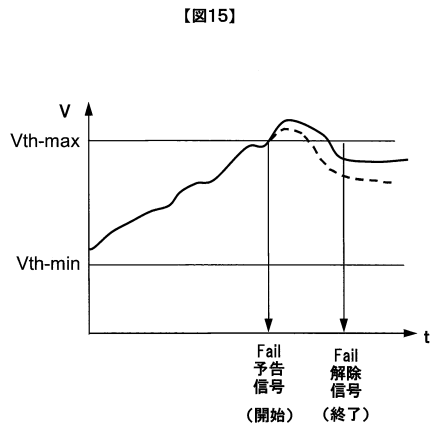


【図 1 4】

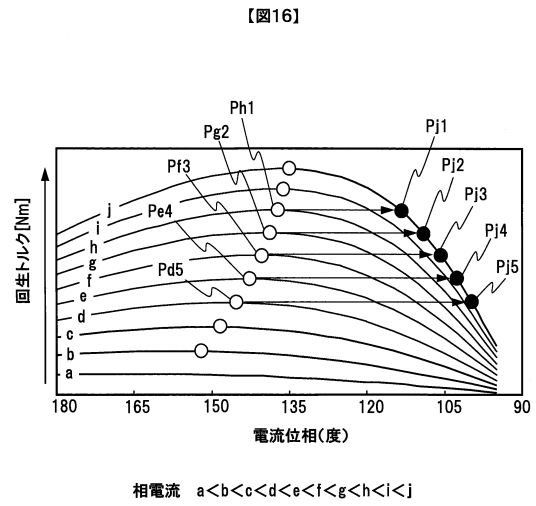
【図14】



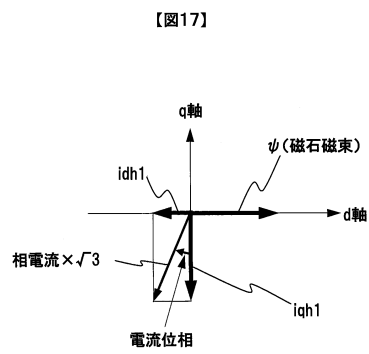
【図 15】



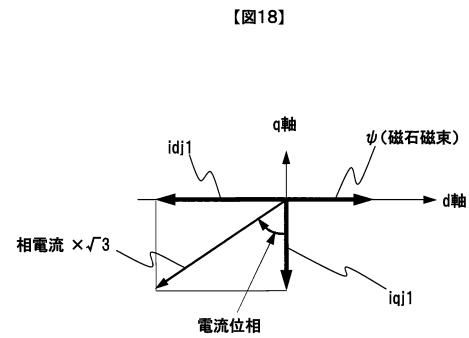
【図 16】



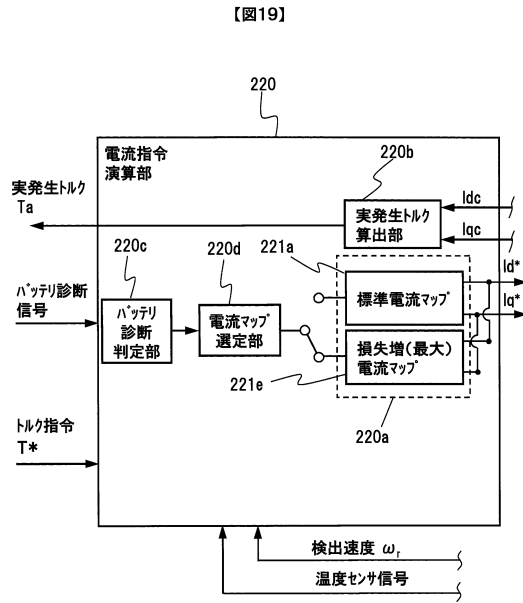
【図 17】



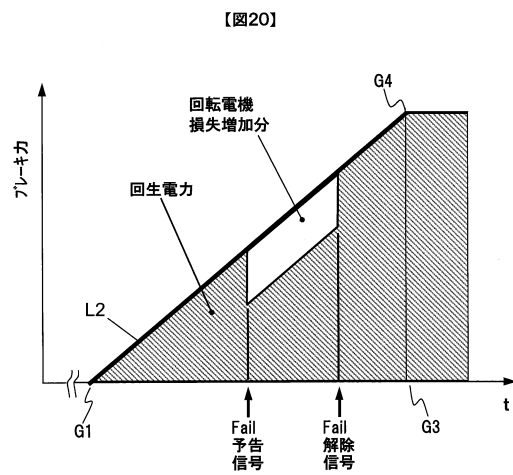
【図 18】



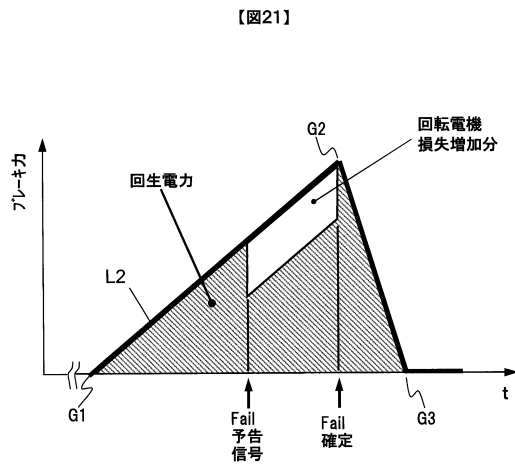
【図 19】



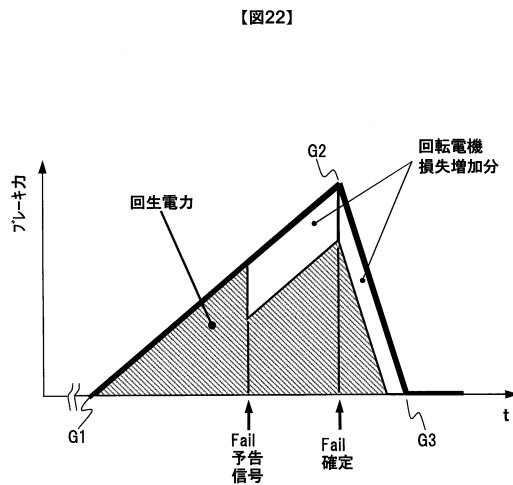
【図 20】



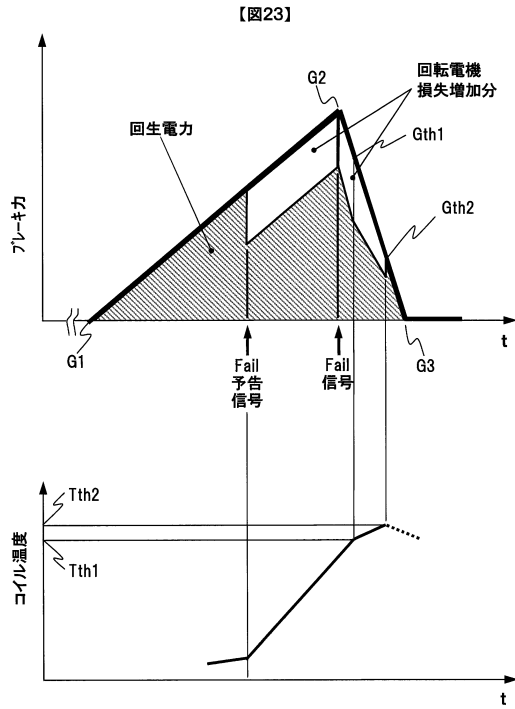
【図 21】



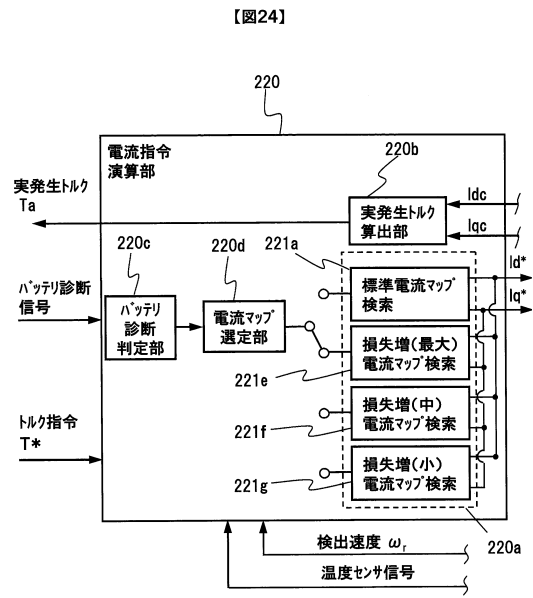
【図 22】



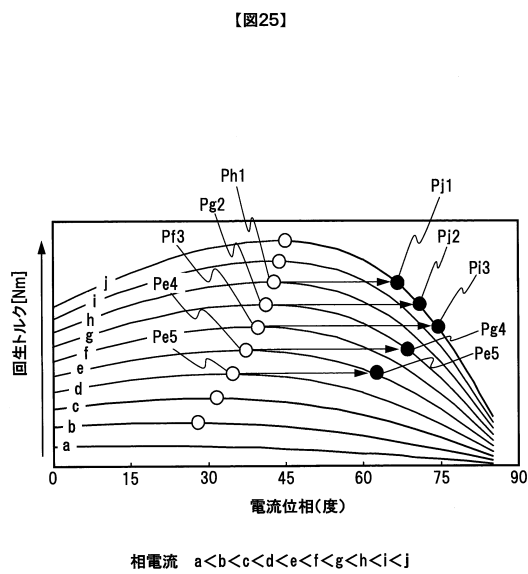
【図23】



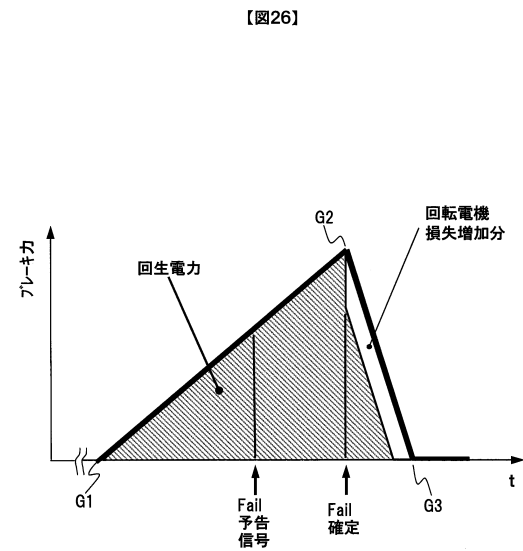
【図24】



【図25】



【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 2 0 0 5 - 3 2 9 7 4 0 (J P , A)
特開 2 0 0 3 - 1 3 4 6 0 2 (J P , A)
特開 2 0 0 0 - 1 5 2 4 0 9 (J P , A)
特開 2 0 1 2 - 0 6 0 8 7 1 (J P , A)
特開 2 0 1 1 - 0 9 7 6 6 6 (J P , A)
特開平 1 1 - 2 1 5 6 1 0 (J P , A)

(58)調査した分野(Int.Cl. , D B 名)

B 6 0 L	1 / 0 0	-	3 / 1 2
B 6 0 L	7 / 0 0	-	1 3 / 0 0
B 6 0 L	1 5 / 0 0	-	1 5 / 4 2
H 0 2 P	2 7 / 0 6		