

(19) 日本国特許庁(JP)

(12) 公開特許公報(A)

(11) 特許出願公開番号

特開2012-171616

(P2012-171616A)

(43) 公開日 平成24年9月10日(2012.9.10)

(51) Int.Cl.	F I	テーマコード (参考)
B60K 17/356 (2006.01)	B60K 17/356	B 3D043
B60L 15/20 (2006.01)	B60L 15/20	S 5H125
	B60L 15/20	Y

審査請求 有 請求項の数 3 O L (全 34 頁)

(21) 出願番号 特願2012-31103 (P2012-31103)
 (22) 出願日 平成24年2月15日 (2012.2.15)
 (62) 分割の表示 特願2012-502050 (P2012-502050) の分割
 原出願日 平成23年2月18日 (2011.2.18)

(71) 出願人 00005016
 パイオニア株式会社
 神奈川県川崎市幸区新小倉1番1号
 (74) 代理人 100104190
 弁理士 酒井 昭徳
 (72) 発明者 加藤 正浩
 神奈川県川崎市幸区新小倉1-1 パイオニア株式会社内
 (72) 発明者 村松 英治
 神奈川県川崎市幸区新小倉1-1 パイオニア株式会社内
 (72) 発明者 川端 千尋
 神奈川県川崎市幸区新小倉1-1 パイオニア株式会社内

最終頁に続く

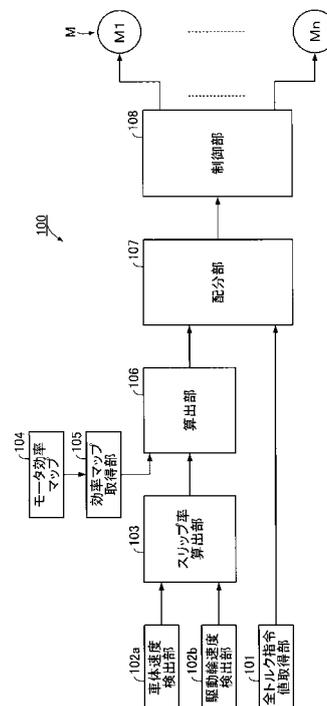
(54) 【発明の名称】 トルク配分装置およびトルク配分方法

(57) 【要約】

【課題】駆動輪のスリップ状態を考慮したトルク配分がおこなえること。

【解決手段】トルク配分装置100は、入力された全トルク指令値を取得する全トルク指令値取得部101と、搭載モータのモータ効率マップ104を取得する効率マップ取得部105と、車両の車体速度を検出する車体速度検出部102aと、駆動輪回転速度を検出する駆動輪回転速度検出部102bと、車体速度及び駆動輪回転速度に基づいて、駆動輪におけるスリップ率を算出するスリップ率算出部103と、スリップ率に基づいて、駆動輪回転速度とトルクの関係を示す動作線上の効率値を示す効率変化式を作成し、動作線上の効率変化式の最適効率トルク値を算出する算出部106と、全トルク指令値と最適効率トルク値に基づいて、各々のモータに対するトルク配分値を算出する配分部107と、算出したトルク配分値に基づいて、各々のモータへトルク配分制御する制御部108と、を備える。

【選択図】図1



【特許請求の範囲】

【請求項 1】

駆動輪に接続された複数個のモータの各々に対して、入力された全トルク指令値を配分するトルク配分装置であって、

前記入力された全トルク指令値を取得する全トルク指令値取得手段と、

前記モータに対応するモータ効率マップを取得する効率マップ取得手段と、

前記モータを搭載する車両の車体速度を検出する車体速度検出手段と、

前記駆動輪における駆動輪回転速度を検出する駆動輪回転速度検出手段と、

前記車体速度及び前記駆動輪回転速度に基づいて、前記駆動輪におけるスリップ率を検出するスリップ率検出手段と、

10

前記スリップ率に基づいて、前記駆動輪回転速度とトルクの関係を示す動作線式を作成し、前記動作線式に基づいて、前記駆動輪回転速度毎に前記トルクと前記モータ効率マップの効率値を示す効率変化式を作成し、前記効率変化式の最適効率トルク値を算出する算出手段と、

前記スリップ率、前記全トルク指令値、および、前記最適効率トルク値に基づいて、総合効率 $total = ((T_n / T) \times d_n \times n)$ (ただし、 T ：全トルク指令値、 T_n ：各モータのトルク配分値、 d_n ：各モータの駆動系効率、 n ：各駆動輪の走行系効率) が最大となるように、各々の前記モータに対するトルク配分値を算出する配分手段と、

算出した前記トルク配分値に基づいて、各々の前記モータへトルク配分制御する制御手段と、

20

を備え、

前記配分手段は、

複数個のモータのうち、いずれか一部のモータのトルク配分値のみに前記最適効率トルク値を配分、あるいは全部または一部のモータに対して、それぞれのトルク配分値が最も前記最適効率トルク値に近づくように前記全トルク指令値を均等配分すること

を特徴とするトルク配分装置。

【請求項 2】

前記全トルク指令値を T 、前記最適効率トルク値を T_o 、駆動輪数を k 、(高トルク側の変化率) / (低トルク側の変化率) を a とすると、前記配分手段は、

30

(1) $T < k \cdot (T_o + (a \cdot T_o) / (a \cdot k + k + 1))$ のとき、($k = 1$)

$T_1 = T$, $T_2 = \dots = T_n = 0$

(2) $k \cdot (T_o - (T_o) / (a \cdot (k - 1) + (k - 1) + 1)) < T < k \cdot (T_o + (a \cdot T_o) / (a \cdot k + k + 1))$ のとき、($k = 2 \sim n - 1$)

$T_1 = T_2 = \dots = T_k = T / k$, $T_{k+1} = \dots = T_n = 0$

(3) $n \cdot (T_o - (T_o) / (a \cdot (n - 1) + (n - 1) + 1)) < T$ のとき、($k = n$)

$T_1 = T_2 = \dots = T_{n-1} = T_n = T / n$

のトルク配分値を算出することを特徴とする請求項 1 に記載のトルク配分装置。

【請求項 3】

40

駆動輪に接続された複数個のモータの各々に対して、入力された全トルク指令値を配分するトルク配分方法であって、

前記入力された全トルク指令値を取得する全トルク指令値取得工程と、

前記モータに対応するモータ効率マップを取得する効率マップ取得工程と、

前記モータを搭載する車両の車体速度を検出する車体速度検出工程と、

前記駆動輪における駆動輪回転速度を検出する駆動輪回転速度検出工程と、

前記車体速度及び前記駆動輪回転速度に基づいて、前記駆動輪におけるスリップ率を検出するスリップ率検出工程と、

前記スリップ率に基づいて、前記駆動輪回転速度とトルクの関係を示す動作線式を作成し、前記動作線式に基づいて、前記駆動輪回転速度毎に前記トルクと前記モータ効率マッ

50

プの効率値を示す効率変化式を作成し、前記効率変化式の最適効率トルク値を算出する算出工程と、

前記スリップ率、前記全トルク指令値、および、前記最適効率トルク値に基づいて、総合効率 $total = ((T_n / T) \times d_n \times n)$ (ただし、 T : 全トルク指令値、 T_n : 各モータのトルク配分値、 d_n : 各モータの駆動系効率、 n : 各駆動輪の走行系効率) が最大となるように、各々の前記モータに対するトルク配分値を算出する配分工程と、

算出した前記トルク配分値に基づいて、各々の前記モータへトルク配分制御する制御工程と、

を含み、

前記配分工程は、

複数個のモータのうち、いずれか一部のモータのトルク配分値のみに前記最適効率トルク値を配分、あるいは全部または一部のモータに対して、それぞれのトルク配分値が最も前記最適効率トルク値に近づくように前記全トルク指令値を均等配分すること

を特徴とするトルク配分方法。

【発明の詳細な説明】

【技術分野】

【0001】

この発明は、移動体の複数の駆動輪を駆動する際のトルクを配分するトルク配分装置およびトルク配分方法に関する。ただし、この発明の利用は、上述したトルク配分装置およびトルク配分方法には限られない。

【背景技術】

【0002】

従来、移動体である電気自動車(EV)に複数のモータを設け、複数の駆動輪(車輪)を駆動するトルクを配分するトルク配分として、下記の各技術が開示されている。

【0003】

一つめの技術は、モータトルクの各組み合わせについて電力消費を演算によって求め、横軸に駆動力配分をとったグラフを得て、トルク配分する構成である。この構成では、出力可能電力 P_{out} [kW] と、トルク制限値の範囲内で過渡要求駆動力を実現するモータトルクの組み合わせを実現した場合の電力消費の最小値(以下、最小電力消費)との大小関係を比較する。出力可能電力 P_{out} [kW] が最小電力消費以上であると判断した場合には、最小電力消費となる前後輪のモータトルクをそのままトルク指令値としている(下記特許文献1参照。)

【0004】

二つめの技術は、合計トルクを複数のモータに配分する構成であり、前部の駆動輪2個同士と、後部の駆動輪2個同士とは互いに等しいトルク配分として、システム効率が最大となるトルク配分比を示すシステム効率マップを作成して用いる構成である(下記特許文献2参照。)

【0005】

三つめの技術は、要求駆動パワーおよび車速に基づいて燃料消費量、蓄電装置の充放電電力および前後輪の駆動力配分の関係を示したマップを検索する。この後に、抽出されたマップの中で蓄電装置の充放電電力に対する燃料消費量が最小になる駆動力配分を抽出することにより、燃費向上前後駆動力配分マップを得る構成である(下記特許文献3参照。)

【0006】

四つめの技術は、駆動力配分決定部が、モータ要求駆動力に対応するモータ要求駆動トルクおよび車両速度と、モータジェネレータの各々のトルクおよび車両速度に対する効率特性とに基づいて、モータジェネレータの間での駆動トルク配分を決定する。この際、低出力域での駆動トルク配分と、高出力域での駆動トルク配分とを異なるパターンを用いて制御し、モータジェネレータ全体の効率を最も高くする構成である(下記特許文献4参照

10

20

30

40

50

。)。

【 0 0 0 7 】

五つめの技術は、左右前車輪に要求される駆動トルクの総和と、モータジェネレータの回転速度とに基づいて、モータジェネレータ全体の駆動効率が最大となるように、右前車輪と、左前車輪との駆動トルク配分を決定する。そして、旋回方向に応じてモータジェネレータのいずれか一方のみを駆動するように右前車輪と、左前車輪との駆動トルク配分を決定する構成である（下記特許文献5参照。）。

【 0 0 0 8 】

六つめの技術は、エネルギー効率に基づいて車輪のトルク配分をおこなう制御（エネルギー効率の制御）と、各車輪の荷重配分に基づいて車輪のトルク配分をおこなう制御（荷重配分の制御）とが選択可能な構成である（下記特許文献6参照。）。

10

【 0 0 0 9 】

このような、4輪駆動車の前輪および後輪を、電動モータにより駆動するにあたり、要求トルクおよびエネルギー効率をパラメータとして用い、エネルギー効率が相対的に高くなるようにする制御は、たとえば、特許文献2等が開示されているように、既に知られている技術である。また、前輪および後輪における荷重の配分比は、たとえば、4輪駆動車の重心の高さ、重心から前輪までの距離、重心から後輪までの距離、前輪の車軸と後輪の車軸との間の距離（ホイールベース）、左右輪の幅（トレッド）、車両の旋回加速度（横加速度）、車両の前後方向の加速度などにより求められ、前輪と後輪との間における荷重の配分比と一致させるように、前輪および後輪におけるトルクの配分比を決定するようになっている。このパラメータを用いて、前輪および後輪の荷重配分比を求め、その荷重の配分比に応じてトルクの配分比を決定する制御については、たとえば、下記特許文献7等により既に知られている技術である。

20

【 先行技術文献 】

【 特許文献 】

【 0 0 1 0 】

【 特許文献1 】 特開 2 0 0 6 - 1 8 0 6 5 7 号公報

【 特許文献2 】 特開 2 0 0 6 - 3 4 5 6 7 7 号公報

【 特許文献3 】 特開 2 0 0 7 - 3 7 2 1 7 号公報

【 特許文献4 】 特開 2 0 0 7 - 3 1 3 9 8 2 号公報

30

【 特許文献5 】 国際公開第 2 0 0 7 / 0 6 4 0 2 5 号パンフレット

【 特許文献6 】 特開 2 0 0 9 - 1 5 9 6 8 2 号公報

【 特許文献7 】 特開 2 0 0 6 - 2 1 3 1 3 0 号公報

【 発明の概要 】

【 発明が解決しようとする課題 】

【 0 0 1 1 】

しかしながら、上記の特許文献1～7に記載の技術は、モータの高効率を目的としてモータトルクを配分するという技術思想であり、モータの効率マップを活用してこのモータ効率マップ上の最適効率トルク値に基づいてトルク配分するものではない。

【 0 0 1 2 】

40

また、特許文献1～3に記載の技術は、いずれも駆動輪を前部と後部の2個ずつに配分する構成であり、各駆動輪を独立して制御することを想定していない。また、特許文献4に記載の技術は、ハイブリッド車に適用され、左右後車輪だけが独立したインホイールモータに適用する構成であり、全駆動輪を独立して制御することを想定していない。このような構成では、たとえば4つの駆動輪を独立して制御することができず、複数の駆動輪に対して最適なトルク配分がおこなえない。

【 0 0 1 3 】

さらに、上記の特許文献1～7では、いずれも駆動輪（車輪）のスリップ状態を考慮していないため、高効率化できない不十分なトルク配分制御であった。路面に対する駆動輪のスリップ状態は、移動体の速度、さらに詳細には駆動輪の回転速度等の要因によって変

50

化する。このため、駆動輪のスリップ状態を考慮しておかないと、各駆動輪に対するトルク配分を効率化できず、駆動輪を実際に駆動したときに最適なトルク配分がおこなえず、駆動系全体の効率を最大限とする最適化ができない。

【課題を解決するための手段】

【0014】

上述した課題を解決し、目的を達成するため、この発明にかかるトルク配分装置は、駆動輪に接続された複数個のモータの各々に対して、入力された全トルク指令値を配分するトルク配分装置であって、前記入力された全トルク指令値を取得する全トルク指令値取得手段と、前記モータに対応するモータ効率マップを取得する効率マップ取得手段と、前記モータを搭載する車両の車体速度を検出する車体速度検出手段と、前記駆動輪における駆動輪回転速度を検出する駆動輪回転速度検出手段と、前記車体速度及び前記駆動輪回転速度に基づいて、前記駆動輪におけるスリップ率を検出するスリップ率検出手段と、前記スリップ率に基づいて、前記駆動輪回転速度とトルクの関係を示す動作線式を作成し、前記動作線式に基づいて、前記駆動輪回転速度毎に前記トルクと前記モータ効率マップの効率値を示す効率変化式を作成し、前記効率変化式の最適効率トルク値を算出する算出手段と、前記スリップ率、前記全トルク指令値、および、前記最適効率トルク値に基づいて、総合効率 $total = ((T_n / T) \times d_n \times \eta_n)$ (ただし、 T ：全トルク指令値、 T_n ：各モータのトルク配分値、 d_n ：各モータの駆動系効率、 η_n ：各駆動輪の走行系効率) が最大となるように、各々の前記モータに対するトルク配分値を算出する配分手段と、算出した前記トルク配分値に基づいて、各々の前記モータへトルク配分制御する制御手段と、を備え、前記配分手段は、複数個のモータのうち、いずれか一部のモータのトルク配分値のみに前記最適効率トルク値を配分、あるいは全部または一部のモータに対して、それぞれのトルク配分値が最も前記最適効率トルク値に近づくように前記全トルク指令値を均等配分することを特徴とする。

10

20

【0015】

また、この発明にかかるトルク配分方法は、駆動輪に接続された複数個のモータの各々に対して、入力された全トルク指令値を配分するトルク配分方法であって、前記入力された全トルク指令値を取得する全トルク指令値取得工程と、前記モータに対応するモータ効率マップを取得する効率マップ取得工程と、前記モータを搭載する車両の車体速度を検出する車体速度検出工程と、前記駆動輪における駆動輪回転速度を検出する駆動輪回転速度検出工程と、前記車体速度及び前記駆動輪回転速度に基づいて、前記駆動輪におけるスリップ率を検出するスリップ率検出工程と、前記スリップ率に基づいて、前記駆動輪回転速度とトルクの関係を示す動作線式を作成し、前記動作線式に基づいて、前記駆動輪回転速度毎に前記トルクと前記モータ効率マップの効率値を示す効率変化式を作成し、前記効率変化式の最適効率トルク値を算出する算出工程と、前記スリップ率、前記全トルク指令値、および、前記最適効率トルク値に基づいて、総合効率 $total = ((T_n / T) \times d_n \times \eta_n)$ (ただし、 T ：全トルク指令値、 T_n ：各モータのトルク配分値、 d_n ：各モータの駆動系効率、 η_n ：各駆動輪の走行系効率) が最大となるように、各々の前記モータに対するトルク配分値を算出する配分工程と、算出した前記トルク配分値に基づいて、各々の前記モータへトルク配分制御する制御工程と、を含み、前記配分工程は、複数個のモータのうち、いずれか一部のモータのトルク配分値のみに前記最適効率トルク値を配分、あるいは全部または一部のモータに対して、それぞれのトルク配分値が最も前記最適効率トルク値に近づくように前記全トルク指令値を均等配分することを特徴とする。

30

40

【図面の簡単な説明】

【0016】

【図1】実施の形態にかかるトルク配分装置の機能的構成を示すブロック図である。

【図2】トルク配分装置によるトルク配分処理の手順を示すフローチャートである。

【図3】移動体の構成を示す概要図である。

【図4】トルク配分装置のハードウェア構成を示すブロック図である。

50

- 【図 5】モータ効率マップの一例を示す図である。
- 【図 6】スリップ率と摩擦係数の関係を示す図である。
- 【図 7】スリップ率を考慮した回転速度とトルクの関係を示す図である。
- 【図 8】図 7 に示す変化曲線をモータ効率マップに重ねた状態を示す図である。
- 【図 9 - 1】車体速度毎に異なるトルクと効率との関係を示す図である（その 1）。
- 【図 9 - 2】車体速度毎に異なるトルクと効率との関係を示す図である（その 2）。
- 【図 10】トルクと効率との関係を示す図である。
- 【図 11 - 1】モータに固有のトルク - 効率特性を示す図である（その 1）。
- 【図 11 - 2】モータに固有のトルク - 効率特性を示す図である（その 2）。
- 【図 11 - 3】モータに固有のトルク - 効率特性を示す図である（その 3）。
- 【図 12 - 1】逆 U 型のトルク - 効率特性における各輪の特性を示す図である（その 1）。
- 【図 12 - 2】逆 U 型のトルク - 効率特性における各輪の特性を示す図である（その 2）。
- 【図 12 - 3】逆 U 型のトルク - 効率特性における各輪の特性を示す図である（その 3）。
- 【図 12 - 4】逆 U 型のトルク - 効率特性における各輪の特性を示す図である（その 4）。
- 【図 12 - 5】逆 U 型のトルク - 効率特性における各輪の特性を示す図である（その 5）。
- 【図 12 - 6】逆 U 型のトルク - 効率特性における各輪の特性を示す図である（その 6）。
- 【図 13 - 1】 型のトルク - 効率特性における各輪の特性を示す図である（その 1）。
- 【図 13 - 2】 型のトルク - 効率特性における各輪の特性を示す図である（その 2）。
- 【図 13 - 3】 型のトルク - 効率特性における各輪の特性を示す図である（その 3）。
- 【図 13 - 4】 型のトルク - 効率特性における各輪の特性を示す図である（その 4）。
- 【図 13 - 5】 型のトルク - 効率特性における各輪の特性を示す図である（その 5）。
- 【図 13 - 6】 型のトルク - 効率特性における各輪の特性を示す図である（その 6）。
- 【図 14 - 1】人型のトルク - 効率特性における各輪の特性を示す図である（その 1）。
- 【図 14 - 2】人型のトルク - 効率特性における各輪の特性を示す図である（その 2）。
- 【図 14 - 3】人型のトルク - 効率特性における各輪の特性を示す図である（その 3）。
- 【図 14 - 4】人型のトルク - 効率特性における各輪の特性を示す図である（その 4）。
- 【図 14 - 5】人型のトルク - 効率特性における各輪の特性を示す図である（その 5）。
- 【図 14 - 6】人型のトルク - 効率特性における各輪の特性を示す図である（その 6）。
- 【図 15 - 1】駆動輪が 4 つの場合におけるトルク配分を説明するための図である（その 1）。
- 【図 15 - 2】駆動輪が 4 つの場合におけるトルク配分を説明するための図である（その 2）。
- 【図 15 - 3】駆動輪が 4 つの場合におけるトルク配分を説明するための図である（その 3）。
- 【図 15 - 4】駆動輪が 4 つの場合におけるトルク配分を説明するための図である（その 4）。
- 【図 15 - 5】駆動輪が 4 つの場合におけるトルク配分を説明するための図である（その 5）。
- 【図 16 - 1】トルク - 効率の特性における変化率の違いを説明する図である。
- 【図 16 - 2】トルク - 効率の特性における最適効率トルク値からの離れ量を説明する図である。
- 【図 17】走行パターンに応じた動的トルク配分を説明する図である。
- 【図 18】回転速度 - 全トルク指令値に基づく最適駆動輪数の設定データを示す図表である。

10

20

30

40

50

【図 19】総合効率を説明するための図である。

【図 20】垂直抗力を一定としたときのトルク - 走行効率の関係を示す図である。

【図 21】駆動輪別の垂直抗力が異なる状態を説明する図である。

【図 22】垂直抗力別のトルク - 走行効率を示す図表である。

【図 23】移動体全体の総合効率を説明するための図である。

【図 24】実施例 2 にかかるトルク配分装置の機能的構成を示すブロック図である。

【図 25 - 1】総合効率の計算例を示す図である（その 1）。

【図 25 - 2】総合効率の計算例を示す図である（その 2）。

【発明を実施するための形態】

【0017】

10

以下に添付図面を参照して、この発明にかかるトルク配分装置およびトルク配分方法の好適な実施の形態を詳細に説明する。以下の説明において、「回転速度」とは「駆動輪回転速度」であることとして説明する。

【0018】

（実施の形態）

（トルク配分装置の構成）

図 1 は、実施の形態にかかるトルク配分装置の機能的構成を示すブロック図である。実施の形態にかかるトルク配分装置 100 は、モータ効率マップを用い、このモータ効率マップ上の最適効率トルク値に基づいて複数の駆動輪に対するトルク配分を制御する。

【0019】

20

このトルク配分装置 100 は、全トルク指令値取得部 101 と、車体速度検出部 102 a と、駆動輪速度検出部 102 b と、スリップ率算出部 103 と、モータ効率マップ 104 と、効率マップ取得部 105 と、算出部 106 と、配分部 107 と、制御部 108 とによって構成される。

【0020】

全トルク指令値取得部 101 は、移動体を駆動するための全トルク指令値を取得する。すなわち、駆動輪にそれぞれ設けられた複数個 n のモータ M (M_1, M_2, \dots, M_n) を駆動するために入力された全トルク指令値を取得する。なお、この実施形態において、複数個のモータ M は、同じ種類のモータを使用することを前提として説明する。

【0021】

30

車体速度検出部 102 a は、移動体の速度を検出する。駆動輪速度検出部 102 b は、移動体に設けられた駆動輪速度を検出する。駆動輪速度 v_w は、タイヤの半径 r × 駆動輪回転速度 より算出される ($v_w = r \times$)。

【0022】

スリップ率算出部 103 は、車体速度検出部 102 a により検出された移動体の速度と、駆動輪速度検出部 102 b により検出された駆動輪速度（駆動輪回転速度、およびタイヤ半径）に基づき、後述のように各駆動輪におけるスリップ率を算出する。モータ効率マップ 104 は、後述する図 5 のように各モータ M における速度と、トルクとの関係を示すマップであり、このマップ上にはトルクと速度とに基づいて、略直線状の動作線を引くことができる。効率マップ取得部 105 は、モータ M に対応するモータ効率マップ 104 を

40

取得する。

【0023】

モータ効率マップの取得は、1. モータメーカーあるいは車メーカーがあらかじめ用意したモータ効率マップをメモリ等に保持しておく、2. 移動体を走行させながらモータ効率マップを作成する、等が考えられる。

【0024】

算出部 106 は、スリップ率算出部 103 により算出されたスリップ率に基づいて、回転速度とトルクとの関係を示す動作線上の効率値を示す効率変化式を作成して、前記動作線上の効率変化式における最適効率トルク値を算出する。

【0025】

50

配分部 107 は、後述のように全トルク指令値取得部 101 により取得した全トルク指令値と、算出部 106 により算出した最適効率トルク値に基づいて、各々のモータ M に対するトルク配分値を算出する。制御部 108 は、配分部 107 により算出したトルク配分値に基づいて、各々のモータ M へのトルク配分を制御する。

【0026】

(トルク配分処理について)

図 2 は、トルク配分装置によるトルク配分処理の手順を示すフローチャートである。はじめに、全トルク指令値取得部 101 により、駆動輪にそれぞれ設けられた複数個のモータ M (M1, M2, ... Mn) を駆動するためにアクセルペダルから入力された全トルク指令値 T を取得する (ステップ S201)。次に、車体速度検出部 102a により、移動体の車体速度を検出し (ステップ S202)、駆動輪速度検出部 102b により、駆動輪における車輪速度を検出する (ステップ S203)。そして、スリップ率算出部 103 により、移動体速度、駆動輪速度 (駆動輪回転速度とタイヤ半径) を用いて駆動輪におけるスリップ率を算出する (ステップ S204)。

10

【0027】

次に、効率マップ取得部 105 により、モータ M に対応するモータ効率マップ 104 を取得する (ステップ S205)。次に、算出部 106 により、駆動輪速度検出部 102b により検出された車輪速度と、スリップ率算出部 103 によって算出されたスリップ率に基づいて、回転速度とトルクの関係を示す動作線上の効率値を示す効率変化式を作成して、前記動作線上の効率変化式における最適効率トルク値 T_o を算出する (ステップ S206)。次に、配分部 107 により、全トルク指令値取得部 101 により取得した全トルク指令値 T と、算出部 106 により算出した最適効率トルク値 T_o に基づいて、各々のモータ M に対するトルク配分値を算出する (ステップ S207)。そして、制御部 108 により、配分部 107 が算出したトルク配分値に基づいて、各々のモータ M へのトルク配分を制御する (ステップ S208)。

20

【0028】

一般にモータ効率マップ上の動作線は直線状とされているが、実際には、トルク配分を変更すると駆動輪のトルクが変化し、それに応じて駆動輪の回転速度が変化することになる。したがって、車体速度が一定の条件下では、モータ効率マップ上における動作線は直線状ではなく、後述する図 5 のように傾斜 (厳密には所定の曲線) となる。この動作線上のトルク値に対する効率値は、トルク - 効率の特性として表すことができる。このトルク - 効率の特性は後述する図 10 のように曲線であるから、最も効率が高くなるトルクが現れることになる。この最も効率が高くなる時のトルクを最適効率トルク値 T_o と称する。そして、この最適効率トルク値 T_o を基準として、全トルク指令値 T を複数個 n のモータ M に対して所定のトルク配分で配分する。

30

【0029】

上記の配分部 107 による n 個のモータ M へのトルク配分例について説明する。配分部 107 は、複数個 n のモータのうち、いずれか一部のモータ M のトルク配分値のみに最適効率トルク値 T_o の全てを配分、あるいは全部または一部のモータ M に対して、それぞれのトルク配分値が最も最適効率トルク値 T_o に近づくように全トルク指令値 T を均等配分する。

40

【0030】

ここで、車輪速度およびスリップ率と、回転速度とトルクの関係を示す動作線上の効率地を示す効率変化式は下記の手順によって求められる。

1. 現在の車体速度の検出
2. 現在の駆動輪速度の検出
3. スリップ率の算出
4. モータ駆動電流から現在のトルクを検出
5. 動作線式を算出 (後述する式 (8) を用いる)
6. 動作線を効率マップ上に引いて、動作線に沿って、トルク値と効率値の組合せを複数

50

ポイント取得

7. 複数ポイントのトルク値と効率値より効率変化式を作成

この時、ポイント数が多いほど、効率変化式の近似式の精度を上げることができる。

【0031】

トルク T_d は、 $\mu \cdot N \cdot r$ (μ : 路面とタイヤの摩擦係数、 N : 垂直抗力、 r : タイヤ半径) であるため (後述する式 (5))、トルク T_d が変化すると摩擦係数 μ が変化する。摩擦係数 μ が変化するとスリップ率が変化する (図6に記載)。加速や減速が大きくない場合は、回転速度 v の変化が小さいので、スリップ率が変化すると、回転速度が変化する。つまり、駆動輪に与えるトルク値に応じて、その駆動輪の回転速度が変化するようになる。その関係は後述する式 (8) および図7で表される。この式 (8) を使用する 10

【0032】

自車でスリップ率と摩擦係数との関係の式 (6) を作成するには、下記の手順となる。

1. 現在の車体速度と駆動輪回転速度を検出し、スリップ率を求める。
2. 現在のモータ駆動電流からトルク値を求め、 $T_d = \mu \cdot N \cdot r$ から μ 値を算出する。
3. 走行しながら複数ポイントの μ 値を求めて、図6の μ -特性を作成し、式 (6) を生成する。

なお、トルク値は、予め判っているトルク定数に駆動電流を乗じて求められる。また、この場合、通常はタイヤを空転させずに走行するため、 μ のピーク部を超えない範囲の値と μ 値 (図6では μ が 0.2 以下) が検出可能である。 μ のピーク部を超える範囲 (図6では μ が 0.2 以上) のポイントは検出できないが、本発明において必要とする領域は μ のピーク部を超えない範囲であるため、その領域の μ -特性を作成して式 (6) が生成できれば問題ない。 20

【0033】

以上説明した実施の形態にかかるトルク配分装置 100 は、モータ効率マップ 104 上における最適効率トルク値 T_o を算出する際に、算出されたスリップ率を考慮している。路面に対する駆動輪のスリップ状態は、移動体の速度、さらに詳細には駆動輪の回転速度等の要因によって変化するが、駆動輪のスリップ状態を考慮することにより、各駆動輪 30 に対するトルク配分を効率化できるようになり、駆動輪を実際に駆動したときに最適なトルク配分をおこない、かつ、モータ効率が高い領域で駆動できるようになるため、駆動系の効率が最大となる最適化ができるようになる。この駆動系とは、モータおよびインバータからなる移動体の駆動に関わる構成を指す。

【実施例】

【0034】

(実施例1)

以下に、本発明の実施例1について説明する。本実施例1では、4つの駆動輪にそれぞれ組み込まれ、独立して駆動されるインホイール型のモータを搭載した車両等の移動体にトルク配分装置を適用した場合の一例について説明する。この場合、モータ M の個数は、 $M_1 \sim M_4$ の4個を用いる。モータ M としては、三相交流モータやDCモータを用いることができる。以下の実施例では4つの駆動輪に同一のモータを用いる。なお、後述のように、駆動輪は、4つに限られず、2つ、3つ、或いは5つ以上にも本発明を適用することが可能である。 40

【0035】

(移動体の構成)

図3は、移動体の構成を示す概要図である。移動体 300 は、左右の前駆動輪 FL , FR と、左右の後駆動輪 RL , RR を有する4輪駆動車である。これら4つの各駆動輪 FL , FR , RL , RR には、それぞれインホイール型のモータ $M_1 \sim M_4$ が設けられ、独立に駆動される。 50

【 0 0 3 6 】

これらモータ M 1 ~ M 4 には、それぞれモータ駆動用のインバータ I N V が設けられ、各インバータ I N V はコントローラ (E C U) 3 0 1 の制御に基づき、モータ M 1 ~ M 4 を駆動する。このコントローラ 3 0 1 には各種情報が入力され、トルク配分された結果、各モータ M 1 ~ M 4 を駆動する。

【 0 0 3 7 】

コントローラ 3 0 1 に対する入力としては、以下がある。ハンドル 3 0 2 からは操舵角が入力される。アクセルペダル 3 0 3 からは、全トルク指令値が入力される。ブレーキペダル 3 0 4 からはブレーキ量が入力される。サイドブレーキ 3 0 5 からはサイドブレーキ量が入力される。ギヤ 3 0 6 からは R , N , D 等のシフトポジションが入力される。

10

【 0 0 3 8 】

また、各駆動輪 F L , F R , R L , R R には、それぞれ回転速度 V を検出するセンサ 3 0 7 a ~ 3 0 7 d が設けられ、各駆動輪 F L , F R , R L , R R の回転速度 V f l , V f r , V r l , V r r がコントローラ 3 0 1 に入力される。また、各駆動輪 F L , F R , R L , R R には、それぞれタイヤが地面から受ける垂直抗力 N を検出するセンサ 3 0 8 a ~ 3 0 8 d が設けられ、各駆動輪 F L , F R , R L , R R の垂直抗力 N f l , N f r , N r l , N r r がコントローラ 3 0 1 に入力される。

【 0 0 3 9 】

また、移動体 3 0 0 には、加速度センサ 3 0 9 が設けられ、検出した加速度がコントローラ 3 0 1 に入力される。また、移動体 3 0 0 には、ヨーレートセンサ 3 1 0 が設けられ、検出したヨーレートがコントローラ 3 0 1 に入力される。

20

【 0 0 4 0 】

コントローラ 3 0 1 は、上記の入力に基づき、各駆動輪 F L , F R , R L , R R を駆動する。駆動のための制御信号は、各駆動輪 F L , F R , R L , R R 毎に適切にトルク配分され、インバータ I N V を介して各モータ M 1 ~ M 4 に供給される。

【 0 0 4 1 】

バッテリー 3 1 2 は、移動体 3 0 0 全体に対して電源供給する。特に、インバータ I N V を介して各駆動輪 F L , F R , R L , R R のモータ M 1 ~ M 4 を駆動するための駆動源となる。このバッテリー 3 1 2 としては、ニッケル水素、リチウムイオン等の二次電池や燃料電池などが適用される。

30

【 0 0 4 2 】

上記のインバータ I N V は、移動体 3 0 0 の回生時に、モータ M 1 ~ M 4 が発電した交流電圧を直流電圧に変換し、その変換した直流電圧をバッテリー 3 1 2 へ供給することができる。この回生とは、移動体 3 0 0 を運転するドライバーによるブレーキペダル 3 0 4 の操作による発電や、走行中にアクセルペダル 3 0 3 の踏み込みを緩和することによる発電を示す。

【 0 0 4 3 】

ところで、駆動効率 = モータ M 出力 / バッテリー 3 1 2 から供給する電力 = (T ×) / (V × I) で表される。

【 0 0 4 4 】

(トルク配分装置のハードウェア構成)

次に、トルク配分装置 4 0 0 のハードウェア構成について説明する。図 4 は、トルク配分装置のハードウェア構成を示すブロック図である。図 4 において、トルク配分装置 4 0 0 は、CPU 4 0 1、ROM 4 0 2、RAM 4 0 3、通信 I / F 4 1 5、GPS ユニット 4 1 6、各種センサ 4 1 7 を備えている。各構成部 4 0 1 ~ 4 1 7 は、バス 4 2 0 によってそれぞれ接続されている。

40

【 0 0 4 5 】

CPU 4 0 1 は、トルク配分装置 4 0 0 の全体の制御を司る。ROM 4 0 2 は、ブートプログラム、トルク配分プログラムなどのプログラムが記録され、また、モータ効率マップなどを保持することができる。RAM 4 0 3 は、CPU 4 0 1 のワークエリアとして使

50

用される。すなわち、CPU 401は、RAM 403をワークエリアとして使用しながら、ROM 402に記録されたプログラムを実行することによって、トルク配分装置 400の全体の制御を司る。

【0046】

通信 I/F 415は、無線を介してネットワークに接続され、トルク配分装置 400およびCPU 401のインターフェースとして機能する。ネットワークとして機能する通信網には、公衆回線網や携帯電話網、DSRC (Dedicated Short Range Communication)、LAN、WANなどがある。通信 I/F 415は、たとえば、公衆回線用接続モジュールやETCユニット、FMチューナー、VICS (Vehicle Information and Communication System (登録商標)) /ビーコンレシーバなどである。

10

【0047】

GPSユニット 416は、GPS衛星からの電波を受信し、移動体の現在位置を示す情報を出力する。GPSユニット 416の出力行情報は、後述する各種センサ 417の出力行とともに、CPU 401による移動体の現在位置の算出に際して利用される。現在位置を示す情報は、たとえば、緯度・経度、高度などの、地図データ上の1点を特定する情報である。

【0048】

ここで、走行路面のスリップ率と摩擦係数 (μ) 特性を移動体外部のサーバから取得する場合は、通信 I/F 415とGPSユニット 416とを用いる。各種センサ 417については、車体速度と垂直抗力の検出に用いる。車体速度は、例えば以下の方法により検出する。

20

1. 加速度センサの出力を積分
2. 非駆動輪の回転速度から算出
3. GPSやその他の位置センサの時間あたりの移動距離から算出

【0049】

また、垂直抗力を検出するためには、各タイヤにそれぞれ設けた荷重センサを用いるか、あるいは以下の方法により検出する。

1. 加速度センサ出力から重心位置のずれを求めて、前輪と後輪の荷重バランスを算出
2. ヨーレートセンサ出力から重心位置のずれを求めて、右輪と左輪の荷重バランスを算出
3. 傾斜センサ(ジャイロ)出力から重心位置のずれを求めて、前輪と後輪および右輪と左輪の荷重バランスを算出

30

【0050】

図1に示したトルク配分装置 100の算出部 106、配分部 107、制御部 108は、上述したトルク配分装置 400におけるROM 402、RAM 403、などに記録されたプログラムやデータを用いて、CPU 401が所定のプログラムを実行し、トルク配分装置 400における各部を制御することによってその機能を実現する。

【0051】

(トルク配分装置によるトルク配分制御)

40

本実施例のトルク配分装置 400は、駆動系効率が最大となる最適化をおこなう。各駆動輪に与えるトルクを T_1 , T_2 , T_3 , T_4 とし、効率を η_1 , η_2 , η_3 , η_4 とすると、4輪分の全体の効率 η は、下記式(1)で示される。

【0052】

$$\eta = (T_1 \cdot \eta_1 + T_2 \cdot \eta_2 + T_3 \cdot \eta_3 + T_4 \cdot \eta_4) / T \quad \dots (1)$$

(全駆動トルク $T = T_1 + T_2 + T_3 + T_4$)

【0053】

図5は、モータ効率マップの一例を示す図である。横軸は回転速度、縦軸はトルクである。図5に示す、車体がある一定速度のときの直線状の動作線C上で得られる効率を用いて以下のような駆動輪選択を考える。

50

- (1) 4 輪で等トルク駆動
 (2) 2 輪で等トルク駆動
 (3) 1 輪のみで駆動

【0054】

(1) 4 輪で等トルク駆動の場合 (4 輪に 1 / 4 (0.25) ずつトルク配分)

$$1 = 0.25 \cdot 0.77 + 0.25 \cdot 0.77 + 0.25 \cdot 0.77 + 0.25 \cdot 0.77 = 0.77$$

(2) 2 輪で等トルク駆動の場合 (2 輪に 1 / 2 (0.5) ずつトルク配分)

$$2 = 0.5 \cdot 0.83 + 0.5 \cdot 0.83 + 0 + 0 = 0.83$$

(3) 1 輪のみで駆動の場合 (1 輪だけに全て (1) のトルク配分)

$$3 = 1 \cdot 0.72 + 0 + 0 + 0 = 0.72$$

10

上記によれば、効率の高い領域でのトルクを多くするようなトルク配分をおこなうことにより、トータルの効率はよくなることわかる。

【0055】

ここでトルクと回転速度との関係について説明する。

各駆動輪の運動方程式と、駆動輪の駆動力は下記式 (2), (3), (4) に示される。

【0056】

【数1】

$$J_w \frac{d\omega}{dt} = T_m - T_d \quad \dots(2)$$

20

$$F_d = \mu \times N \quad \dots(3)$$

$$T_d = F_d \times r \quad \dots(4)$$

【0057】

(T_m : モータへのトルク指令値、 T_d : 駆動輪の駆動トルク、 F_d : 駆動力、 J_w : 駆動輪の慣性モーメント、 μ : 路面とタイヤの摩擦係数、 N : 垂直抗力、 r : タイヤ半径)

30

ここで、駆動輪の駆動トルクとは、駆動輪に搭載しているモータのトルクを意味している。

急加速や急減速をおこなわない場合は、速度の変化が緩やかであるため、回転速度の変化が少ないので、下記式 (5) のようになる。

$$\frac{d\omega}{dt} = 0 \quad \dots(5)$$

ゆえに、モータへのトルク指令値 T_m と駆動輪の駆動トルク T_d がほぼ等しくなり、

$$T_m = T_d = F_d \cdot r = \mu \cdot N \cdot r$$

以下、車両の速度の変化が緩やかであり、モータへのトルク指令値 T_m と駆動輪の駆動トルク T_d がほぼ等しい状態であるものとして説明を進める。

40

【0058】

図6は、スリップ率と摩擦係数の関係を示す図である。横軸はスリップ率、縦軸は摩擦係数 μ である。スリップ率と摩擦係数 μ は図6に示す関係にあり、下記式 (6) で近似できる。図6に示す特性図において、スリップ率が0.2において最も摩擦係数 μ が高い。スリップ率が1のときには駆動輪が空転している状態に相当する。そして、スリップ率が0~0.2の範囲内で収まる制御をおこなうことにより、駆動輪が空転せずに走行できる。なお、図6で示した特性は、 μ の最大値や μ が最大となる β の値がタイヤや路面状態によって変化する。その場合でも、下記式 (6) のパラメータ B、C、D、E の値を変更することで近似できる。ただし、一般的に、タイヤやアスファルト路面は、その物理特性が急激に変化することは少ないため、走行中の μ - β 特性の変化は緩やかなもの

50

である。

【 0 0 5 9 】

【 数 2 】

$$\mu = D \times \sin \left(C \times \tan^{-1}(B \times (1 - E) \times \lambda) + \frac{E}{B} \times \tan^{-1}(B \times \lambda) \right) \quad \dots(6)$$

$$(B = 10, C = 1.5, D = 0.8, E = 0.2)$$

【 0 0 6 0 】

$$\text{また、} \quad = (r \cdot \quad - v) / (r \cdot \quad) = 1 - v / (r \cdot \quad) \quad \dots (7)$$

10

であるから、 T_d は、下記式(8)となる。

【 0 0 6 1 】

$$T_d = F_d \cdot r = \mu \cdot N \cdot r \quad \dots (8)$$

【 0 0 6 2 】

急加速や急減速をおこなわない場合は、速度の変化が緩やかであるため、車体速度 v がほぼ一定と見なせ、 T_d と の関係は上記式(8)により求めることができる。

【 0 0 6 3 】

図7は、スリップ率を考慮した回転速度とトルクの関係を示す図である。上記式に基づきトルクと回転速度を計算した状態を示す。ここで、垂直抗力 $N : 400 [kg] \times 9.8 [m/s^2]$ 、タイヤ半径 $r : 0.3 [m]$ 、車体速度 $v = 25, 50, 75, 100 [km/h]$ とした。

20

【 0 0 6 4 】

したがって、トルク配分を変更することにより、駆動輪のトルクが変化すると、対応して回転速度が変化することになる。図7に示す各車体速度別の特性線は、直線状ではなく、いずれもトルクが高くなるにつれて傾きが緩やかになり、最大トルクの状態で飽和する変化曲線となる。

【 0 0 6 5 】

図8は、図7に示す変化曲線をモータ効率マップに重ねた状態を示す図である。横軸は回転速度、縦軸はトルク T_d である。この実施例では、モータ効率マップは、モータMだけの特性ではなく、駆動系に含まれるインバータINVの特性(効率)も含んだ特性を示すものとしている。

30

【 0 0 6 6 】

図8に示すように、ある速度(たとえば $75 [km/h]$)の動作線Cにおいて、一つの駆動輪のトルクが点aにあったときに、その駆動輪のトルクをトルク配分の変更により、大きく変化させたときには、動作線C上で他のb点やc点に移動する。その際、動作線Cが傾いているから回転速度の値も増加していることになる。したがって、回転速度の変化を考慮せずに、トルク配分をおこなうと、正確な動作点がわからないため、効率の値に誤差を生じることになる。したがって、図8に示すように、モータ効率マップ上には、車体速度毎の動作線を引き、トルク-効率の関係を求めておくことにより、トルク配分を変化させた場合でも効率を正確に算出できるようになる。

40

【 0 0 6 7 】

図9-1および図9-2は、車体速度毎に異なるトルクと効率との関係を示す図である。図9-1は、 $50 [km/h]$ のときの動作線におけるトルク-効率特性であり、図9-2は、 $75 [km/h]$ のときの動作線における、トルク-効率特性である。

【 0 0 6 8 】

また、図9-1に対応する動作線を6次で近似した効率 は、

$$= -1.7088E-14T_d^6 + 1.8521E-11T_d^5 - 7.9786E-09T_d^4 + 1.7336E-06T_d^3 - 2.0447E-04T_d^2 + 1.1782E-02T_d + 4.4673E-01 \quad \dots (9)$$

また、図9-2に対応する動作線を6次で近似した効率 は、

$$= 1.1253E-14T_d^6 - 1.0197E-11T_d^5 + 3.2448E-09T_d^4 - 3.5952E-07T_d^3 - 2.6286E-0$$

50

$$5Td^2 + 7.8911E-03Td + 4.9954E-01 \dots (10)$$

となる。

【0069】

上記の近似式のトルク T_d に値を代入すれば、効率 η を得ることができる。上記式(1)によれば、4輪駆動の場合、 $T_1 + T_2 + T_3 + T_4 = T$ (全トルク指令値)の条件範囲で、 $T_1 \cdot \eta_1 + T_2 \cdot \eta_2 + T_3 \cdot \eta_3 + T_4 \cdot \eta_4$ が最大となるのが最適効率となる。

【0070】

次に、上述したスリップ率の算出方法について説明する。スリップ率 λ は下記式(11)で定義される。

10

【0071】

【数3】

$$\lambda = \frac{v_w - v}{v_w} = \frac{r \times \omega - v}{r \times \omega} \dots(11)$$

【0072】

ここで、(v : 移動体速度、 v_w : 駆動輪速度、 ω : 駆動輪回転速度、 r : タイヤ半径)なお、 v と v_w の大きい方が分母となるため、加速時には分母が上記のように v_w となり、減速時には、分母が v となる。移動体速度、駆動輪速度、および駆動輪回転速度の違いについて補足説明する。タイヤの回転速度にタイヤの半径を乗ざると、タイヤの移動速度になる。モータを駆動して走行しているときは、タイヤの速度は自動車の速度よりも速くなる。一方、モータを制動させて走行している場合は、タイヤの速度は自動車の速度よりも遅くなる。タイヤの速度と自動車の速度の関係を示したものがスリップ率であり、下記式(12)となる。

20

【0073】

$$\begin{aligned} \text{スリップ率} &= (\text{車輪速度} - \text{車体速度}) / \text{車体速度と車輪速度の大きい方} \\ &= (v_w - v) / \text{Max}(v_w, v) \dots(12) \end{aligned}$$

なお、駆動も制動もしないモータの車輪は、スリップ率がほぼゼロとなるため、この車輪の速度は車体速度とほぼ等しくなる($v_w = v$)。

30

【0074】

駆動輪の回転速度は、モータMのレゾルバや、エンコーダ、ホール素子等のパルス出力信号を用いて算出できる。移動体の速度は、1. 非駆動輪のスリップ率がほぼゼロであるため、非駆動輪の速度を車体速度として検出する、2. 加速度センサの出力を積分して車体速度を求める、3. 車体位置をセンサで検出し時間あたりの移動距離速度を求める、等が考えられる。

【0075】

(トルク配分例について)

図10は、トルクと効率との関係を示す図である。図9-1、図9-2と同様に横軸がトルク、縦軸が効率である。この図10に示すように、動作線上で効率 η が最も高い点を最適効率トルク値 T_o とする。また、動作線上で最適効率トルク値 T_o の2倍のトルクに対応した効率を $2T_o$ と表記する。

40

【0076】

(モータ効率マップ上での動作線の特性について)

ここで、モータ毎に固有のトルク-効率特性に対するトルク配分について説明する。上述した図9-1、図9-2等のトルク-効率特性は、モータM毎に固有の特性線を有している。図11-1~図11-3は、それぞれモータに固有のトルク-効率特性を示す図であり、図11-1は逆U型、図11-2は η 型、図11-3は人型と略称する。単純化のために、駆動輪が2輪である場合のトルク配分で考える。全トルク指令値 T を2輪で配分するときの効率 η は、上記式(1)に基づき、

50

$$= (T_1 \cdot \eta_1 + T_2 \cdot \eta_2) / T \dots (13)$$

(駆動輪 1 のトルク : T_1 , そのときの効率 : η_1 、 駆動輪 2 のトルク : T_2 , そのときの効率 : η_2)

となる。

【 0077 】

たとえば、全トルク指令値 T が 160 [Nm] の場合は、 $(T_1 , T_2) = (100 , 60)$ や $(80 , 80)$ 等、多数の組み合わせがあるが、それぞれのトルク値を上記式 (13) に代入することで、効率を算出することができる。よって、効率が最大となるトルク値の組み合わせを選択できればよいことになる。具体例を下記に説明する。

【 0078 】

図 12 - 1 ~ 図 12 - 6 は、それぞれ逆 U 型のトルク - 効率特性における各輪の特性を示す図である。図 12 - 1 は、全トルク指令値 T が 100 [Nm] であり、 $(T_1 , T_2) = (0 , 100)$ 、 $(100 , 0)$ のときに効率が最大となる。なお、トータル効率は、上記式 (13) に代入して得た特性である。図 12 - 2 は、全トルク指令値 T が 120 [Nm] であり、 $(T_1 , T_2) = (0 , 120)$ 、 $(120 , 0)$ のときに効率が最大となる。図 12 - 3 は、全トルク指令値 T が 140 [Nm] であり、 $(T_1 , T_2) = (0 , 140)$ 、 $(140 , 0)$ のときに効率が最大となる。図 12 - 4 は、全トルク指令値 T が 160 [Nm] であり、 $(T_1 , T_2) = (80 , 80)$ のときに効率が最大となる。図 12 - 5 は、全トルク指令値 T が 180 [Nm] であり、 $(T_1 , T_2) = (90 , 90)$ のときに効率が最大となる。図 12 - 6 は、全トルク指令値 T が 200 [Nm] であり、 $(T_1 , T_2) = (100 , 100)$ のときに効率が最大となる。

10

20

【 0079 】

図 13 - 1 ~ 図 13 - 6 は、それぞれ U 型のトルク - 効率特性における各輪の特性を示す図である。図 13 - 1 は、全トルク指令値 T が 100 [Nm] であり、 $(T_1 , T_2) = (0 , 100)$ 、 $(100 , 0)$ のときに効率が最大となる。図 13 - 2 は、全トルク指令値 T が 120 [Nm] であり、 $(T_1 , T_2) = (0 , 120)$ 、 $(120 , 0)$ のときに効率が最大となる。図 13 - 3 は、全トルク指令値 T が 140 [Nm] であり、 $(T_1 , T_2) = (40 , 100)$ 、 $(100 , 40)$ のときに効率が最大となる。図 13 - 4 は、全トルク指令値 T が 160 [Nm] であり、 $(T_1 , T_2) = (60 , 100)$ 、 $(100 , 60)$ のときに効率が最大となる。図 13 - 5 は、全トルク指令値 T が 180 [Nm] であり、 $(T_1 , T_2) = (80 , 100)$ 、 $(100 , 80)$ のときに効率が最大となる。図 13 - 6 は、全トルク指令値 T が 200 [Nm] であり、 $(T_1 , T_2) = (100 , 100)$ のときに効率が最大となる。

30

【 0080 】

図 14 - 1 ~ 図 14 - 6 は、それぞれ人型のトルク - 効率特性における各輪の特性を示す図である。図 14 - 1 は、全トルク指令値 T が 100 [Nm] であり、 $(T_1 , T_2) = (0 , 100)$ 、 $(100 , 0)$ のときに効率が最大となる。図 14 - 2 は、全トルク指令値 T が 120 [Nm] であり、 $(T_1 , T_2) = (20 , 100)$ 、 $(100 , 20)$ のときに効率が最大となる。図 14 - 3 は、全トルク指令値 T が 140 [Nm] であり、 $(T_1 , T_2) = (40 , 100)$ 、 $(100 , 40)$ のときに効率が最大となる。図 14 - 4 は、全トルク指令値 T が 160 [Nm] であり、 $(T_1 , T_2) = (60 , 100)$ 、 $(100 , 60)$ のときに効率が最大となる。図 14 - 5 は、全トルク指令値 T が 180 [Nm] であり、 $(T_1 , T_2) = (80 , 100)$ 、 $(100 , 80)$ のときに効率が最大となる。図 14 - 6 は、全トルク指令値 T が 200 [Nm] であり、 $(T_1 , T_2) = (100 , 100)$ のときに効率が最大となる。

40

【 0081 】

以上のことから、効率が最大となる組み合わせは、以下のいずれかとなる。

$$(T_1 , T_2) = (0 , T)、(T , 0)、(T_0 , T - T_0)、(T - T_0 , T_0)、(T / 2 , T / 2) \dots (14)$$

(T_0 : 最適効率トルク値)

50

ゆえに、トルク - 効率特性の曲線形状が図 1 1 - 1 ~ 図 1 1 - 3 のいずれのタイプであったとしても、上記 (1 4) の組合せの中に、効率が最大となる組合せが存在することに着目した。

【 0 0 8 2 】

つまり、トルク - 効率特性の曲線形状が明確でない場合でも、上記 (1 4) に示す組み合わせを計算した結果が最大となる組み合わせが、効率を最大にするトルク配分の組み合わせとなる。トルク - 効率特性が複雑な曲線形状である場合は、上記 (1 4) の組み合わせ以外が最大効率になることも考えられるが、変極点の多い複雑な特性以外であれば上記 (1 4) に示した組み合わせ中に最大効率をとるものがある。すなわち、トルク配分の組み合わせは無数に存在するが、上記 (1 4) に示した組み合わせを計算するだけで、最適なトルク配分値を求めることが可能となる。なお、上記例では 2 輪に対するトルク配分を例に説明したが、4 輪等の複数の駆動輪に対するトルク配分についても同様である。

10

【 0 0 8 3 】

これにより、以下に説明する図 1 5 - 1 ~ 図 1 5 - 5 に示す配分の中に最大になる組合せがある。また、逆 U 型のトルク - 効率特性を示すモータ効率マップが多いため、後述する図 1 6 - 1 と図 1 6 - 2 で説明するトルク配分の簡略化が可能となる。

【 0 0 8 4 】

モータ M の個数を n 個 (n は自然数) とすると、配分部 1 0 7 は、

(1) 全トルク指令値 T が最適効率トルク値 T_o 未満の場合には、一のモータ M のトルク配分値に全トルク指令値 T を配分する。

20

【 0 0 8 5 】

(2) 全トルク指令値 T が、最適効率トルク値 T_o 以上、かつ、最適効率トルク値 T_o の n 倍未満の場合には、下記 (a) ~ (c) のいずれかでトルク配分する。この際、(a) ~ (c) のいずれかのうち、最適な駆動系効率を有するものを選択する。

(a) 一部のモータ M のそれぞれのトルク配分値に最適効率トルク値 T_o を配分し、さらに全トルク指令値 T を最適効率トルク値 T_o で割った余りを 1 個、あるいは n 個のモータ M のいずれかに均等に割って配分する。

(b) 一部のモータ M のそれぞれのトルク配分値に最適効率トルク値 T_o を配分し、さらに他のモータ M のそれぞれのトルク配分値に一部のモータ M に配分した残りを均等に割って配分する。

30

(c) 全てのモータ M のそれぞれに全トルク指令値 T を均等に割って配分する。

【 0 0 8 6 】

(3) 全トルク指令値 T が最適効率トルク値 T_o の n 倍以上の場合には、 n 個のモータ M のそれぞれのトルク配分値に最適効率トルク値 T_o を配分し、さらに全トルク指令値 T を最適効率トルク値 T_o で割った余りを 1 個、あるいは n 個のモータ M のいずれかに均等に割って配分したうち、最適な駆動系効率を有する組み合わせを選択する。

【 0 0 8 7 】

図 1 5 - 1 ~ 図 1 5 - 5 は、それぞれ駆動輪が 4 つの場合におけるトルク配分を説明するための図である。配分部 1 0 7 により、 $n = 4$ の各モータ M に配分する配分例を説明する。

40

【 0 0 8 8 】

($T < T_o$ のとき)

図 1 5 - 1 に示すように、全トルク指令値 T が最適効率トルク値 T_o 未満の場合には、一のモータのトルク配分値に前記全トルク指令値 T を配分する。

【 0 0 8 9 】

($T_o \leq T < 2 T_o$ のとき)

また、図 1 5 - 2 に示すように、全トルク指令値 T が最適効率トルク値 T_o 以上、かつ最適効率トルク値 T_o の 2 倍未満の場合には、(a) ~ (c) のいずれかのうち、最適な駆動系効率を有する組み合わせを選択する。

(a) いずれか一のモータのトルク配分値に全トルク指令値 T を配分する。

50

(b) いずれか一のモータのトルク配分値に最適効率トルク値 T_o を配分し、別の一のモータのトルク配分値に残りのトルク値を配分する。

(c) いずれか2個のモータのそれぞれのトルク配分値に前記全トルク指令値 T の $1/2$ を配分する。

【0090】

($2T_o < T < 3T_o$ のとき)

また、図15-3に示すように、全トルク指令値 T が最適効率トルク値 T_o の2倍以上、かつ最適効率トルク値 T_o の3倍未満の場合には、(a) ~ (e) のいずれかのうち、最適な駆動系効率を有する組み合わせを選択する。

(a) いずれか一のモータのトルク配分値に最適効率トルク値 T_o を配分し、別の一のモータのトルク配分値に残りのトルク値を配分する。

(b) いずれか2個のモータのそれぞれのトルク配分値に全トルク指令値 T の $1/2$ を配分する。

(c) いずれか2個のモータのそれぞれのトルク配分値に最適効率トルク値 T_o を配分し、別の一のモータのトルク配分値に残りのトルク値を配分する。

(d) いずれか一のモータのトルク配分値に最適効率トルク値 T_o を配分し、残りの2個のモータのそれぞれのトルク配分値に残りのトルク値の $1/2$ を配分する。

(e) いずれか3個のモータのそれぞれのトルク配分値に全トルク指令値 T の $1/3$ を配分する。

【0091】

($3T_o < T < 4T_o$ のとき)

また、図15-4に示すように、全トルク指令値 T が最適効率トルク値 T_o の3倍以上、かつ最適効率トルク値 T_o の4倍未満の場合には、(a) ~ (g) のいずれかのうち、最適な駆動系効率を有する組み合わせを選択する。

(a) いずれか2個のモータのそれぞれのトルク配分値に最適効率トルク値 T_o を配分し、残りのうちのモータのトルク配分値に残りのトルク値を配分する。

(b) いずれか一のモータのトルク配分値に最適効率トルク値 T_o を配分し、残りの2個のモータのそれぞれのトルク配分値に残りのトルク値の $1/2$ を配分する。

(c) いずれか3個のモータのそれぞれのトルク配分値に、全トルク指令値 T の $1/3$ を配分する。

(d) いずれか3個のモータのそれぞれのトルク配分値に最適効率トルク値 T_o を配分し、残りのモータのトルク配分値に残りのトルク値を配分する。

(e) いずれか2個のモータのトルク配分値に最適効率トルク値 T_o を配分し、残りの2個のモータのそれぞれのトルク配分値に残りのトルク値の $1/2$ を配分する。

(f) いずれか一のモータのトルク配分値に最適効率トルク値 T_o を配分し、残りの3個のモータのそれぞれのトルク配分値に残りのトルク値の $1/3$ を配分する。

(g) 4個のモータのそれぞれのトルク配分値に、全トルク指令値 T の $1/4$ を配分する。

【0092】

($4T_o < T$ のとき)

また、図15-5に示すように、全トルク指令値 T が最適効率トルク値 T_o の n (4) 倍以上の場合には、(a) ~ (d) のうち、最適な駆動系効率を有する組み合わせを選択する。

(a) いずれか3個のモータのそれぞれのトルク配分値に最適効率トルク値 T_o を配分し、残りの一のモータのトルク配分値に残りのトルク値を配分する。

(b) いずれか2個のモータのトルク配分値に最適効率トルク値 T_o を配分し、残りの2個のモータのそれぞれのトルク配分値に残りのトルク値の $1/2$ を配分する。

(c) いずれか一のモータのトルク配分値に最適効率トルク値 T_o を配分し、残りの3個のモータのそれぞれのトルク配分値に残りのトルク値の $1/3$ を配分する。

(d) 4個のモータのそれぞれのトルク配分値に、全トルク指令値 T の $1/4$ を配分する

10

20

30

40

50

。

【0093】

上記の各配分例を数式で示すと下記のようになる。

($T < T_0$ のとき)

$$T_1 = T, T_2 = T_3 = T_4 = 0$$

【0094】

($T_0 < T < 2T_0$ のとき)

以下の(a)～(c)の3通りで効率を計算し、最適な効率となる組み合わせを選択する。

$$(a) T_1 = T_0 + (T - T_0), T_2 = T_3 = T_4 = 0$$

$$(b) T_1 = T_0, T_2 = T_0 - (2T_0 - T), T_3 = T_4 = 0$$

$$(c) T_1 = T_2 = T_0 - (2T_0 - T) / 2, T_3 = T_4 = 0$$

【0095】

($2T_0 < T < 3T_0$ のとき)

以下の(a)～(e)の5通りで効率を計算し、最適な効率となる組み合わせを選択する。

$$(a) T_1 = T_0 + (T - 2T_0), T_2 = T_0, T_3 = T_4 = 0$$

$$(b) T_1 = T_2 = T_0 + (T - 2T_0) / 2, T_3 = T_4 = 0$$

$$(c) T_1 = T_2 = T_0, T_3 = T_0 - (3T_0 - T), T_4 = 0$$

$$(d) T_1 = T_0, T_2 = T_3 = T_0 - (3T_0 - T) / 2, T_4 = 0$$

$$(e) T_1 = T_2 = T_3 = T_0 - (3T_0 - T) / 3, T_4 = 0$$

【0096】

($3T_0 < T < 4T_0$ のとき)

以下の(a)～(g)の7通りで効率を計算し、最適な効率となる組み合わせを選択する。

$$(a) T_1 = T_0 + (T - 3T_0), T_2 = T_3 = T_0, T_4 = 0$$

$$(b) T_1 = T_2 = T_0 + (T - 3T_0) / 2, T_3 = T_0, T_4 = 0$$

$$(c) T_1 = T_2 = T_3 = T_0 + (T - 3T_0) / 3, T_4 = 0$$

$$(d) T_1 = T_2 = T_3 = T_0, T_4 = T_0 - (4T_0 - T)$$

$$(e) T_1 = T_2 = T_0, T_3 = T_4 = T_0 - (4T_0 - T) / 2$$

$$(f) T_1 = T_0, T_2 = T_3 = T_4 = T_0 - (4T_0 - T) / 3$$

$$(g) T_1 = T_2 = T_3 = T_4 = T_0 - (4T_0 - T) / 4$$

【0097】

($4T_0 < T$ のとき)

以下の(a)～(d)の4通りで効率を計算し、最適な効率となる組み合わせを選択する。

$$(a) T_1 = T_0 + (T - 4T_0), T_2 = T_3 = T_4 = T_0$$

$$(b) T_1 = T_2 = T_0 + (T - 4T_0) / 2, T_3 = T_4 = T_0$$

$$(c) T_1 = T_2 = T_3 = T_0 + (T - 4T_0) / 3, T_4 = T_0$$

$$(d) T_1 = T_2 = T_3 = T_4 = T_0 + (T - 4T_0) / 4$$

【0098】

次に、 n 個のモータ M を用いた駆動時におけるトルク配分の一般式を示す。

($T < k \cdot T_0$ のとき ($k = 1$))

$$T_1 = T, T_2 = T_3 = \dots = T_n = 0$$

【0099】

($(k - 1) \cdot T_0 < T < k \cdot T_0$ のとき、以下の($2k - 1$)通りで効率を計算し、最適な効率となる組み合わせを選択する ($k = 2 \sim n$))

$$T_1 = T_0 + (T - (k - 1) \cdot T_0) / 1, T_2 = T_3 = \dots = T_{k-1} = T_0, T_k = T_{k+1} = \dots = T_n = 0$$

$$T_1 = T_2 = T_0 + (T - (k - 1) \cdot T_0) / 2, T_3 = T_4 = \dots = T_{k-1} = T_0,$$

10

20

30

40

50

$$T_k = T_{k+1} = \dots = T_n = 0$$

...

$$T_1 = T_2 = \dots = T_{k-2} = T_o + (T - (k-1) \cdot T_o) / (k-2), T_{k-1} = T_o$$

$$, T_k = T_{k+1} = \dots = T_n = 0$$

$$T_1 = T_2 = \dots = T_{k-1} = T_o + (T - (k-1) \cdot T_o) / (k-1), T_k = T_{k+1}$$

$$= \dots = T_n = 0$$

以上で $k-1$ 通り。

【0100】

$$T_1 = T_2 = \dots = T_{k-1} = T_o, T_k = T_o - (k \cdot T_o - T) / 1, T_{k+1} = \dots = T_n = 0$$

$$T_1 = T_2 = \dots = T_{k-2} = T_o, T_{k-1} = T_k = T_o - (k \cdot T_o - T) / 2, T_{k+1} = \dots = T_n = 0$$

...

$$T_1 = T_o, T_2 = \dots = T_{k-1} = T_k = T_o - (k \cdot T_o - T) / (k-1), T_{k+1} =$$

$$\dots = T_n = 0$$

$$T_1 = T_2 = \dots = T_{k-1} = T_k = T_o - (k \cdot T_o - T) / k, T_{k+1} = \dots = T_n = 0$$

以上で k 通り。

上記の $k-1$ 通りと合わせて $2k-1$ 通りとなる。

【0101】

($n \cdot T_o < T$ のとき、以下の n 通りで効率を計算し、最適な効率となる組み合わせを選択する)

$$T_1 = T_o + (T - n \cdot T_o) / 1, T_2 = T_3 = \dots = T_{n-1} = T_n = T_o$$

$$T_1 = T_2 = T_o + (T - n \cdot T_o) / 2, T_3 = T_4 = \dots = T_{n-1} = T_n = T_o$$

...

$$T_1 = T_2 = \dots = T_{n-1} = T_o + (T - n \cdot T_o) / (n-1), T_n = T_o$$

$$T_1 = T_2 = \dots = T_{n-1} = T_n = T_o + (T - n \cdot T_o) / n$$

以上で n 通り。

【0102】

上記によれば、4輪駆動に限らず、6輪駆動や8輪駆動などの移動体におけるトルク配分に適用することができる。

【0103】

(4輪駆動におけるトルク配分の簡易化)

一般的に、図11-1のような逆U型のトルク-効率特性を示すモータ効率マップが多いため、トルク配分の簡略化が可能となる。ある速度におけるトルクに対する効率の関係は、最適効率を得るトルク値 T_o より離れるほど、効率の劣化が大きい。よって、各駆動輪のトルクが最適効率トルク値 T_o に近くなるように等配分する。トルク-効率の特性図における効率曲線が最適効率トルク値 T_o を中心として、非対称の場合があるため、最適効率トルク値 T_o よりトルクが小さい側の効率変化と、最適効率トルク値 T_o よりトルクが大きい側の効率変化に違いがある。よって、最適効率トルク値 T_o より低トルク側と、最適効率トルク値 T_o より高トルク側の効率変化率の比を用いて、指令された全トルク指令値 T と最適効率トルク値 T_o との関係により、簡易的トルク配分をおこなうことができる。

【0104】

図16-1は、トルク-効率の特性における変化率の違いを説明する図である。図に示す最適効率トルク値 T_o を中心として高トルク側の変化率に対して、低トルク側の変化率は2倍である。このような場合、駆動輪が4輪である場合における簡易的トルク配分は下記(1)~(4)のおこなう。なお、図16-1において、150 [Nm]と75 [Nm]は同じ効率、128.6 [Nm]と85.7 [Nm]は同じ効率、120 [Nm]と90 [Nm]は同じ効率である。

【0105】

10

20

30

40

50

(1) $T < T_o + 2 T_o / 4$ のとき (図 16 - 1 に示す例では $T < 150$ [Nm] のとき)

$$T_1 = T, T_2 = T_3 = T_4 = 0$$

(2) $2 (T_o - T_o / 4) < T < 2 (T_o + 2 T_o / 7)$ のとき (図 16 - 1 に示す例では 75 [Nm] $\cdot 2 < T < 128.6$ [Nm] $\cdot 2$ のとき)

$$T_1 = T_2 = T / 2, T_3 = T_4 = 0$$

(3) $3 (T_o - T_o / 7) < T < 3 (T_o + 2 T_o / 10)$ のとき (図 16 - 1 に示す例では 85.7 [Nm] $\cdot 3 < T < 120$ [Nm] $\cdot 3$ のとき)

$$T_1 = T_2 = T_3 = T / 3, T_4 = 0$$

(4) $4 (T_o - T_o / 10) < T$ のとき (図 16 - 1 に示す例では 90 [Nm] $\cdot 4 < T$ のとき)

$$T_1 = T_2 = T_3 = T_4 = T / 4$$

なお、図 16 - 1 のトルク - 効率特性は、逆 U 型のトルク - 効率特性のトルク配分を説明した図 11 - 1 と同じ特性を用いている。上記の場合分けの式の T に $100 \sim 200$ [Nm] の値を代入してみると、 $T < 150$ [Nm] のときは、 $(T_1, T_2) = (T, 0)$ が最適効率配分であり、 $150 < T < 257.2$ [Nm] のときは、 $(T_1, T_2) = (T / 2, T / 2)$ が最適効率配分となるため、逆 U 型のトルク - 効率特性のトルク配分を説明した図 12 - 1 ~ 図 12 - 6 の結果と一致することが確認できる。

ゆえに、トルク - 効率特性が逆 U 型であることがわかっていれば、このような簡易的なトルク配分によって最適トルク配分が可能となる。

【0106】

(n 輪駆動の場合の一般系でみたトルク配分の簡易化)

図 16 - 2 は、トルク - 効率の特性における最適効率トルク値からの離れ量を説明する図である。ここで、 k : 駆動輪数、 X : 低トルク側の最適効率トルク値 T_o からの離れ量、 Y : 高トルク側の最適効率トルク値 T_o からの離れ量、 a : (高トルク側の変化率) / (低トルク側の変化率) とすると、トルク配分の場合分けは、下記の (1) ~ (3) となる。

(1) $T < k \cdot (T_o + (a \cdot T_o) / (a \cdot k + k + 1))$ のとき、($k = 1$)

$$T_1 = T, T_2 = \dots = T_n = 0$$

(2) $k \cdot (T_o - (T_o) / (a \cdot (k - 1) + (k - 1) + 1)) < T < k \cdot (T_o + (a \cdot T_o) / (a \cdot k + k + 1))$ のとき、($k = 2 \sim n - 1$)

$$T_1 = T_2 = \dots = T_k = T / k, T_{k+1} = \dots = T_n = 0$$

(3) $n \cdot (T_o - (T_o) / (a \cdot (n - 1) + (n - 1) + 1)) < T$ のとき、($k = n$)

$$T_1 = T_2 = \dots = T_{n-1} = T_n = T / n$$

となる。

【0107】

なお、 k 輪で駆動した場合と、 $k + 1$ 輪で駆動した場合で同じ効率となるトルク値が上記 (1) ~ (3) の場合分けの境界値となる。これを式で表すと、

$$(k + 1) \cdot (T_o - X) = k \cdot (T_o + Y) \quad \dots (15)$$

$$Y = a \cdot X \quad \dots (16)$$

となる。上記式 (15)、(16) を解いて X, Y を求めると以下となる。

$$X = T_o / (a \cdot k + k + 1) \quad \dots (17)$$

$$Y = (a \cdot T_o) / (a \cdot k + k + 1) \quad \dots (18)$$

これらの式 (17)、(18) を用いて n 輪駆動時における場合分けが可能となる。

【0108】

(動的トルク配分について)

次に、移動体 (駆動輪) の速度によって最適効率トルク値 T_o が異なるため、速度の変化に応じて動的なトルク配分をおこなう例について説明する。図 17 は、走行パターンに応じた動的トルク配分を説明する図である。横軸が回転速度、縦軸がトルクのモータ効率

10

20

30

40

50

マップ上に移動体の走行パターンを記載してある。

【0109】

図17の走行パターンのときには、加速してA点に至るまでの間は、 $T_1 = T$, $T_2 = T_3 = T_4 = 0$ のトルク配分とする。また、A点～B点の間では、 $T_1 = T_2 = T/2$, $T_3 = T_4 = 0$ とする。B点～C点の間では、 $T_1 = T_2 = T_3 = T/3$, $T_4 = 0$ とする。C点～D点の間では、 $T_1 = T_2 = T/2$, $T_3 = T_4 = 0$ とする。D点以降では、 $T_1 = T$, $T_2 = T_3 = T_4 = 0$ とする。このように、時々刻々と変化する速度や負荷トルクに対して、常に最適トルク配分をおこなうため、広帯域な制御による動的なトルク配分をおこなうことができる。

【0110】

図18は、回転速度 - 全トルク指令値に基づく最適駆動輪数の設定データを示す図表である。移動体（駆動輪）の速度と全トルク指令値Tに応じて、総合的な効率が最もよくなる駆動輪数を求めるための表、あるいは算出式を作成しておくことにより、走行中にリアルタイムに最適トルク配分をおこなうことができる。

【0111】

たとえば、図18に示す走行パターンの場合の動的トルク配分について説明する。A点に至るまでの間は、 $T_1 = T$, $T_2 = T_3 = T_4 = 0$ のトルク配分であり、1輪駆動となる。また、A点～B点の間では、 $T_1 = T_2 = T/2$, $T_3 = T_4 = 0$ であり、2輪駆動となる。B点～C点の間では、 $T_1 = T_2 = T_3 = T/3$, $T_4 = 0$ であり、3輪駆動となる。C点～D点の間では、 $T_1 = T_2 = T_3 = T_4 = T/4$ であり、4輪駆動となる。D点～E点の間では、 $T_1 = T_2 = T_3 = T/3$, $T_4 = 0$ であり、3輪駆動となる。E点以降では、 $T_1 = T_2 = T/2$, $T_3 = T_4 = 0$ であり、2輪駆動となる。

【0112】

上記説明したトルク配分のアルゴリズムの結果、すなわち、モータ効率マップをメモリに保持せず、入力が速度およびトルクのときにおける出力である駆動輪数および各駆動輪のトルク値を、図18に示す表、あるいは算出式としてメモリに保持しておけばよい。

【0113】

以上説明した実施例1によれば、モータ効率マップ上でスリップ率を考慮した傾きのある動作線を引くことにより、回転速度とトルクの動作点を正確に検出することができる。これにより、トルク配分による効率計算を精度よくおこなうことができるようになる。また、各駆動輪に対して最適なトルク配分をおこなえるようになる。なお、左側駆動輪の合計トルクと右側駆動輪の合計トルクが異なるトルク値で走行している際、ハンドル302の角度とヨーレートセンサ310による車体の角度を検出し、その差異が大きいと判断した場合は、左右のトルク差を少なくするようにトルク配分量を調節して走行安定性を確保すればよい。

【0114】

(実施例2)

(総合効率の向上のための構成)

実施例2では、総合効率の向上のための構成について説明する。図19は、総合効率を説明するための図である。移動体は、バッテリー312から供給された電源によりモータMを駆動して走行する。このモータMは、コイルの抵抗分による銅損や、渦電流や磁気ヒステリシスによる鉄損等によるロスが発生する。電源からモータM出力までの効率は、駆動系の効率である。このモータMの駆動力により走行する移動体1900は、実際には、モータMの出力を受けてタイヤの回転駆動により走行する走行系1901を有する。この走行系1901においても、タイヤと路面間のスリップによるロスが発生する。モータMの出力から走行パワーとして出力されるまでの効率が走行系の効率である。移動体の総合効率は、これら駆動系の効率×走行系の効率で示される。

【0115】

駆動効率 $d = \text{モータM出力} / \text{バッテリー312から供給する電力} = (T \times \quad) / (V \times I)$ で表される。

10

20

30

40

50

【0116】

上述した実施例1で説明したトルク配分は、駆動効率に關与するものである。実施例2では、走行系の効率を向上させることにより、全体の総合効率を最大にする構成について説明する。

【0117】

駆動輪あたりの駆動力 F_d は次式で示される。

$$F_d = \mu \cdot N \quad \dots (19)$$

(μ : 摩擦係数、 N : 垂直抗力)

$$\text{よって、} T_d = F_d \cdot r = \mu \cdot N \cdot r \quad \dots (20)$$

(r : タイヤ半径)

10

【0118】

走行系の効率 η は、

$$\eta = \text{走行パワー} / \text{モータ出力} = (F_d \cdot v) / (T_d \cdot \omega) = (F_d \cdot v) / (F_d \cdot r \cdot \omega) = v / (r \cdot \omega) = v / v_w \quad \dots (21)$$

(v : 車体速度 [m/s]、 v_w : 車輪速度 [m/s])

また、スリップ率 s は、上記式(11)で示される。したがって、走行系の効率 η は、スリップ率 s を用いて表すことができる。

$$\eta = 1 - s \quad \dots (22)$$

【0119】

上述した図6のスリップ率と摩擦係数の特性より、スリップ率 s を摩擦係数 μ の関数とみなし、 $s = f(\mu)$ と表すと、走行系の効率 η は、以下のように表せる。

20

$$\eta = 1 - s = 1 - f(\mu) = 1 - f(T_d / (N \cdot r)) \quad \dots (23)$$

$$\mu = T_d / (N \cdot r) \quad \dots (24)$$

【0120】

式(20)より、 N が一定のときは、 T_d が大きくなると μ が大きくなる。図6の関係より、 s が0.2以下の領域では、 μ が大きくなると s が大きくなる。ゆえに、 $1 - s$ が小さくなる。

【0121】

図20は、垂直抗力を一定としたときのトルク - 走行効率の関係を示す図である。この場合、図示のように、トルク T_d が大きくなると、走行効率 η は低下し、その低下度合いは、トルク T_d が大きくなるほど大きく現れる。すなわち、駆動輪のトルク T_d を大きくすると、走行効率 η が低下し、駆動輪のトルク T_d を小さくすると、走行効率 η が増加する。このように、実施例1で説明したトルク配分をおこなう際に、総合効率を向上させるためには、駆動効率だけでなく走行効率も考慮する必要がある。走行効率 η は、上述したように、あらかじめ作成したスリップ率 - 摩擦係数 μ の特性マップをメモリ等に保持して用いる構成とするに限らない。他の構成としては、たとえば、移動体を走行させながら、その際の車体速度をセンサ(あるいは推定算出)で検出し、また、駆動輪の速度をセンサで検出してスリップ率 s を近似計算し、走行効率 η のパラメータとして用いることも考えられる。

30

【0122】

40

(荷重変化による走行効率の変化について)

トルクを示す上記式(20)を変形すると、下記式となる。

$$\mu = T_d / (N \cdot r) \quad \dots (25)$$

【0123】

図21は、駆動輪別の垂直抗力が異なる状態を説明する図である。上記式(25)により、ある駆動輪に一定のトルク指令値が与えられている場合、そのタイヤへの路面からの垂直抗力 N の変化に応じて摩擦係数 μ が変化する。図21に示すように、移動体が登坂、傾斜、加速、カーブを走行する場合等には、移動体の荷重バランスが変わり、ある駆動輪の垂直抗力 N が減少すると、摩擦係数 μ が大きくなり、スリップ率 s も大きくなる。結果として、上記式(22)に示す $1 - s$ が小さくなり、走行系の効率 η が低下することに

50

なる。

【0124】

図22は、垂直抗力別のトルク - 走行効率を示す図表である。上記式(23)により、垂直抗力Nが大きいほど走行系の効率は大きく、トルク T_d の増加に伴う走行系の効率の低下度合いも緩くなる。よって、各駆動輪の垂直抗力Nが変化した場合、垂直抗力Nの大きい駆動輪は、走行系の効率が增加し、垂直抗力Nの小さい駆動輪は走行系の効率が低下する。これにより、荷重の大きい駆動輪のトルクを増やし、荷重の小さい駆動輪のトルクを少なくすることにより、走行効率を向上させることができるようになる。

【0125】

(総合効率について)

図23は、移動体全体の総合効率を説明するための図である。移動体300の各駆動輪FL, FR, RL, RRに全トルク指令値Tを T_1, T_2, T_3, T_4 で分配する。そして、移動体300の総合効率は、各駆動輪FL, FR, RL, RRのトルク分配比×駆動効率 η_d ×走行効率の総和により得ることができる。

【0126】

図23の駆動輪FLを例に説明すると、モータ効率マップ2301を用いて、駆動輪FLに配分されたトルク T_1 と、回転速度 ω_1 に基づき、駆動効率 η_{d1} を得る。また、トルク - 走行効率特性2302に基づいて、駆動輪FLに配分されたトルク T_1 から走行効率 η_{w1} を得る。同様に、他の駆動輪FR, RL, RRについても、それぞれ駆動効率 $\eta_{d2}, \eta_{d3}, \eta_{d4}$ と、走行効率 $\eta_{w2}, \eta_{w3}, \eta_{w4}$ を得る。

【0127】

総合効率 η_{total} は、下記式により得られる。

$$\eta_{total} = (T_1 / T) \cdot \eta_{d1} \cdot \eta_{w1} + (T_2 / T) \cdot \eta_{d2} \cdot \eta_{w2} + (T_3 / T) \cdot \eta_{d3} \cdot \eta_{w3} + (T_4 / T) \cdot \eta_{d4} \cdot \eta_{w4} \dots (26)$$

【0128】

そして、各駆動輪FL, FR, RL, RRの垂直抗力を検出、あるいは推定し、この垂直抗力に応じて上記式(26)の値が最大になるようにトルク配分をおこなうことにより、走行効率を向上させることができる。

【0129】

図24は、実施例2にかかるトルク配分装置の機能的構成を示すブロック図である。図1と同様の構成部には同一の符号を付してある。そして、配分部107には、各駆動輪FL, FR, RL, RRの垂直抗力 $N_{fl}, N_{fr}, N_{rl}, N_{rr}$ がセンサ308a~308d(図3参照)から入力され、配分部107は、各駆動輪の垂直抗力に基づき、垂直抗力N(荷重)が大きい駆動輪に対するトルク配分比を大きくし、垂直抗力N(荷重)が小さい駆動輪に対するトルク配分比を小さくする。

【0130】

(総合効率の計算例)

図25-1、図25-2は、それぞれ総合効率の計算例を示す図である。いずれも移動体300の車体重量は、1600[kg]、全トルク指令値Tが800[Nm]であり、登坂あるいは加速によって荷重バランスが後方に移動し、前輪荷重が各300[kg]、後輪荷重が各500[kg]であるとする。

【0131】

図25-1に示す例では、各駆動輪のトルク配分を200[Nm]で4輪駆動した場合である。モータ効率マップ2501を用いて、前輪FL, FRに配分されたトルク $T_d = 200$ [Nm]と、回転速度 $\omega = 80$ [rad/s]に基づき、駆動効率 $\eta_d = 0.82$ を得る。また、トルク - 走行効率特性2502に基づいて、駆動輪FLに配分されたトルク $T_d = 200$ [Nm]から走行効率 $\eta_w = 0.976$ を得る。同様に、後輪RL, RRについては、駆動効率 $\eta_d = 0.82$ と、走行効率 $\eta_w = 0.986$ を得る。この結果、総合効率 η_{total} は、上記式(26)に基づき、

10

20

30

40

50

total = ((200 / 800) · 0.82 · 0.976) · 2 + ((200 / 800) · 0.82 · 0.986) · 2 = 0.80442
 となる。

【0132】

図25-2に示す例では、後輪のトルク配分を400 [Nm]で2輪駆動した場合である。モータ効率マップ2501を用いて、前輪FL, FRに配分されたトルク $T_d = 0$ [Nm]と、回転速度 $\omega = 80$ [rad/s]に基づき、駆動効率 $\eta_d = 0.69$ を得る。また、トルク-走行効率特性2502に基づいて、駆動輪FLに配分されたトルク $T_d = 400$ [Nm]から走行効率 $\eta_w = 1$ を得る。同様に、後輪RL, RRについては、駆動効率 $\eta_d = 0.93$ と、走行効率 $\eta_w = 0.971$ を得る。この結果、総合効率 totalは

10

、上記式(26)に基づき、
 total = ((0 / 800) · 0.69 · 1) · 2 + ((400 / 800) · 0.93 · 0.971) · 2 = 0.90303
 となる。

【0133】

上記計算例に限らず、駆動輪に対する垂直抗力が各々異なる場合であっても、各駆動輪毎に駆動効率と走行効率を算出することができるため、これら駆動効率と走行効率に基づいて総合効率を算出することができる。なお、実施例1のトルク配分アルゴリズムが最適な駆動系効率を有する組み合わせを選択するのに対して、実施例2のトルク配分アルゴリズムは、最適な総合効率を有する組み合わせを選択している。

20

【0134】

以上説明した実施例2によれば、上述した実施例1同様に、モータ効率マップ上でスリップ率を考慮した傾きのある動作線を引くことにより、回転速度とトルクの動作点を正確に検出することができる。これにより、トルク配分による効率計算を精度よくおこなうことができるようになる。また、各駆動輪に対して最適なトルク配分をおこなえるようになる。加えて、実施例2では、各駆動輪に対する垂直抗力(荷重)を考慮しているから、走行系の効率を正確に検出でき、総合効率を向上できるようになる。また、各駆動輪に対して総合効率を向上させる最適なトルク配分をおこなえるようになる。なお、上述した実施例1同様に、左側駆動輪の合計トルクと右側駆動輪の合計トルクが異なるトルク値で走行している際、ハンドル302の角度とヨーレートセンサ310による車体の角度を検出し、その差異が大きいと判断した場合は、左右のトルク差を少なくするようにトルク配分量を調節して走行安定性を確保すればよい。

30

【0135】

なお、本実施の形態で説明したトルクの配分にかかる方法は、あらかじめ用意されたプログラムをパーソナル・コンピュータやワークステーションなどのコンピュータで実行することにより実現することができる。このプログラムは、ハードディスク、フレキシブルディスク、CD-ROM、MO、DVDなどのコンピュータで読み取り可能な記録媒体に記録され、コンピュータによって記録媒体から読み出されることによって実行される。またこのプログラムは、インターネットなどのネットワークを介して配布することが可能な伝送媒体であってもよい。

40

【符号の説明】

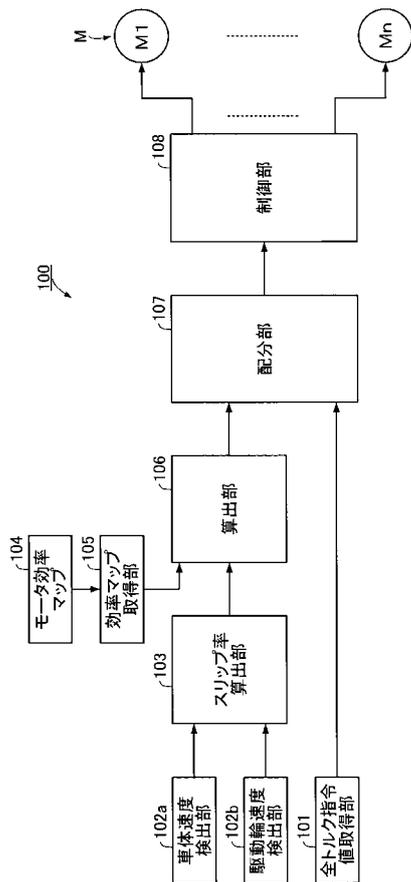
【0136】

- 100, 400 トルク配分装置
- 101 全トルク指令値取得部
- 102 a 車体速度検出部
- 102 b 駆動輪速度検出部
- 103 スリップ率算出部
- 104 モータ効率マップ
- 105 効率マップ取得部
- 106 算出部

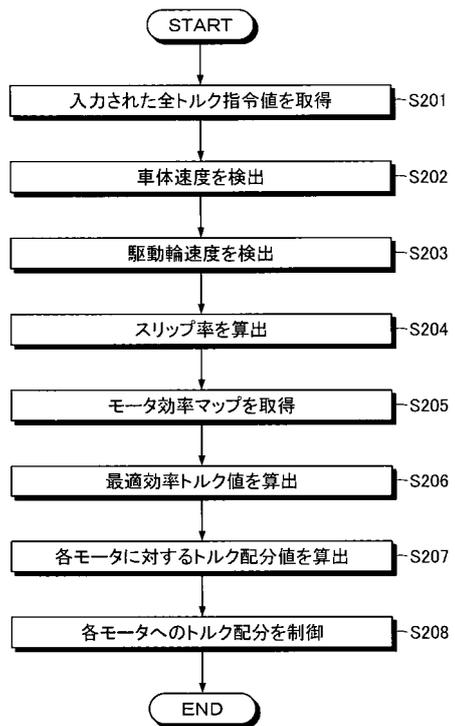
50

- 107 配分部
- 108 制御部
- 300 移動体
- 301 コントローラ
- 307 a ~ 307 d (回転速度) センサ
- 308 a ~ 308 d (垂直抗力) センサ
- 309 加速度センサ
- 310 ヨーレートセンサ
- 312 バッテリ
- FL, FR, RL, RR 駆動輪
- M (M1 ~ M4) モータ
- INV インバータ

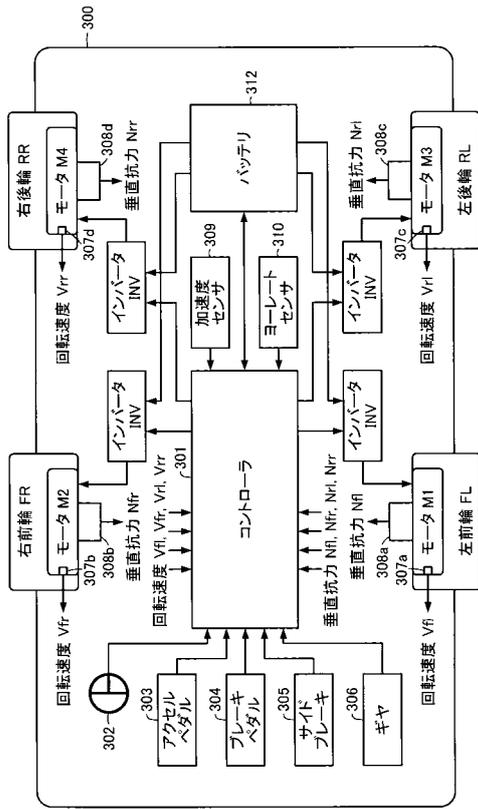
【 図 1 】



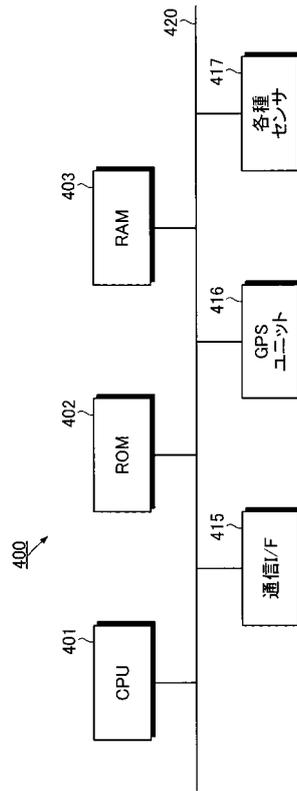
【 図 2 】



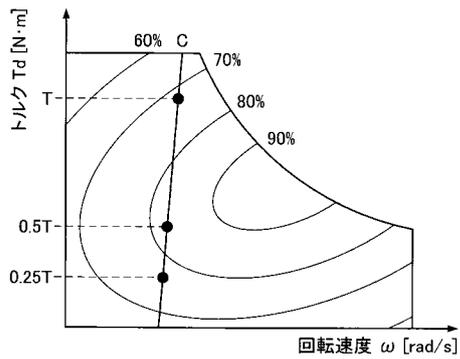
【 図 3 】



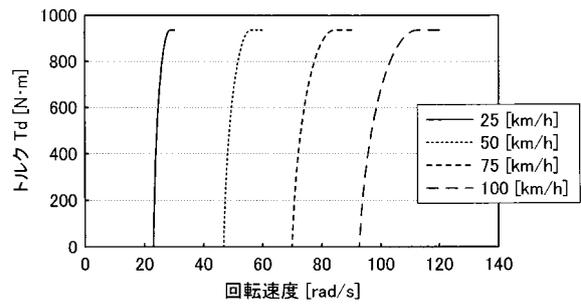
【 図 4 】



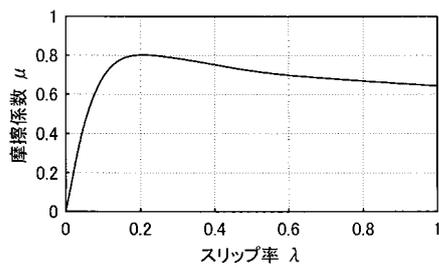
【 図 5 】



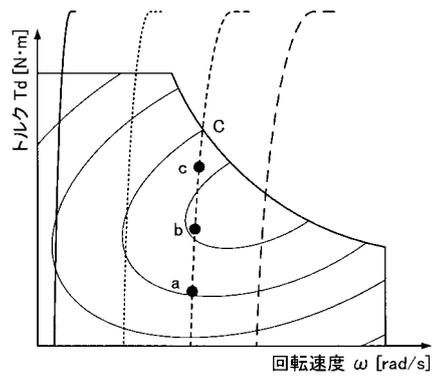
【 図 7 】



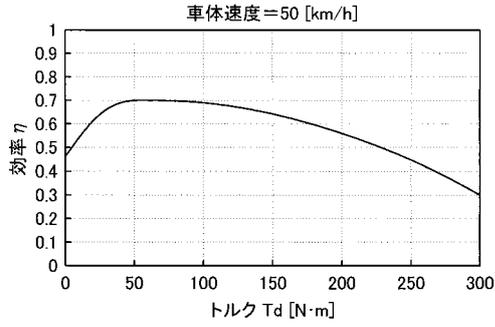
【 図 6 】



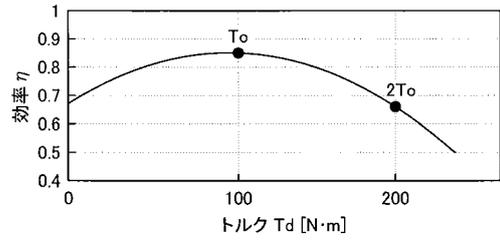
【 図 8 】



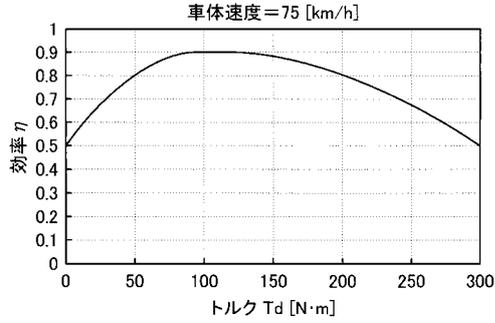
【 図 9 - 1 】



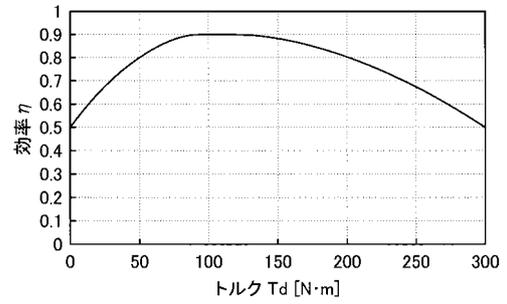
【 図 1 0 】



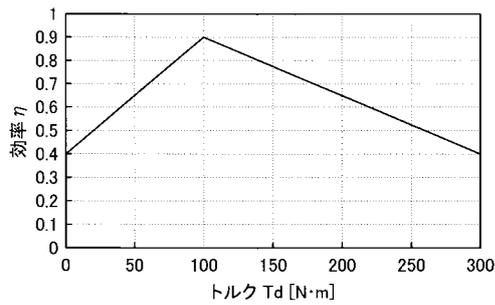
【 図 9 - 2 】



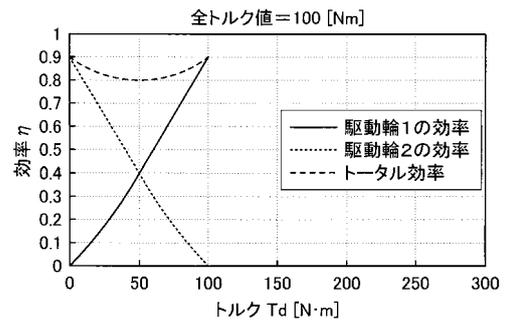
【 図 1 1 - 1 】



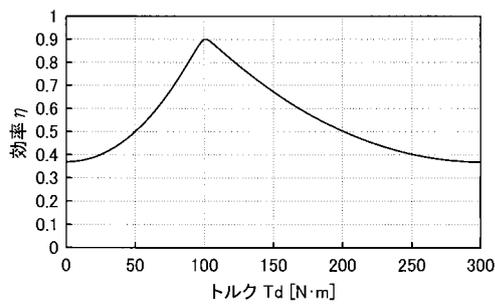
【 図 1 1 - 2 】



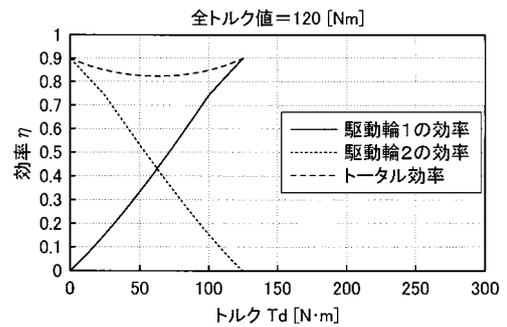
【 図 1 2 - 1 】



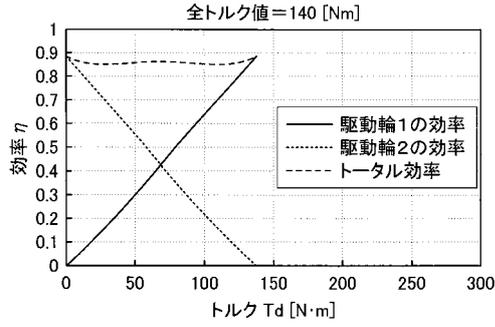
【 図 1 1 - 3 】



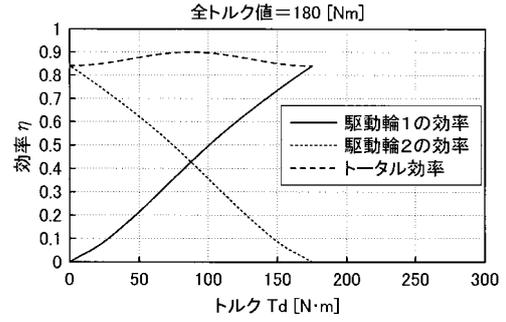
【 図 1 2 - 2 】



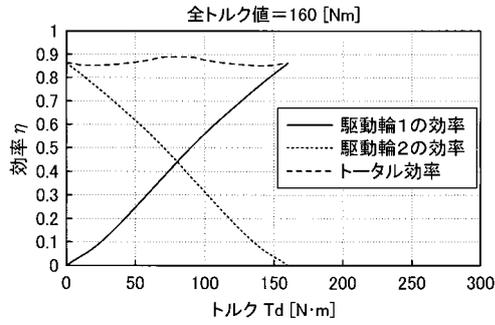
【 図 1 2 - 3 】



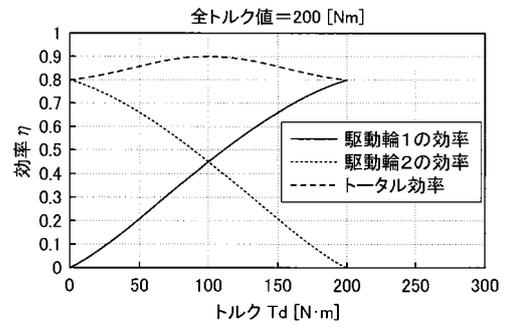
【 図 1 2 - 5 】



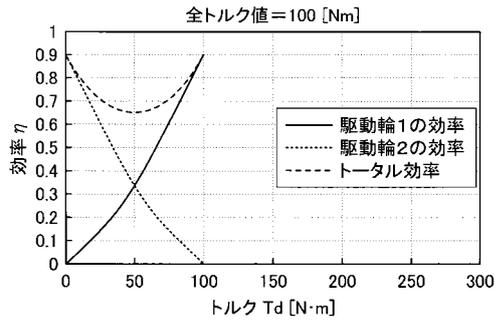
【 図 1 2 - 4 】



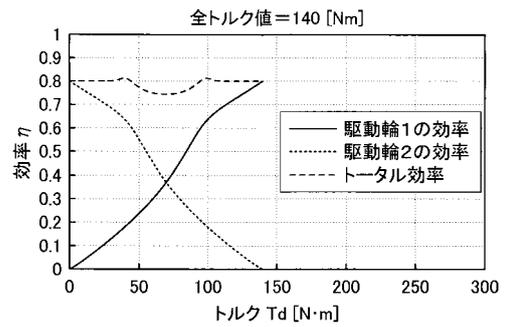
【 図 1 2 - 6 】



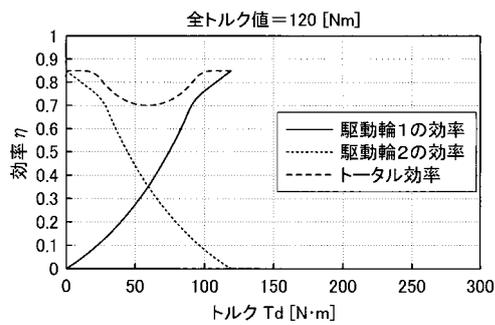
【 図 1 3 - 1 】



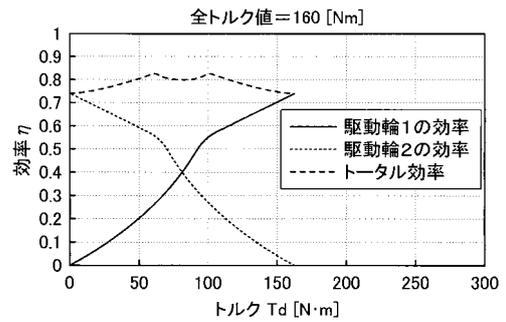
【 図 1 3 - 3 】



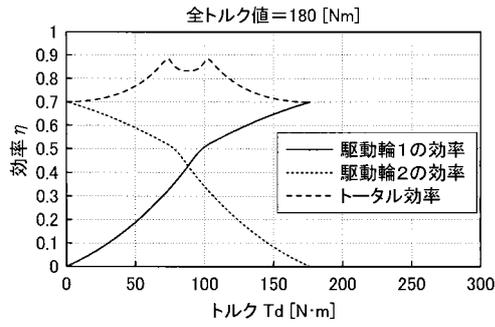
【 図 1 3 - 2 】



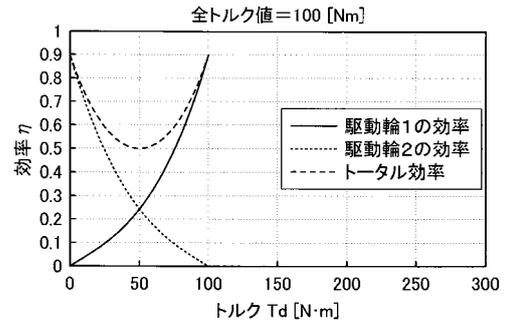
【 図 1 3 - 4 】



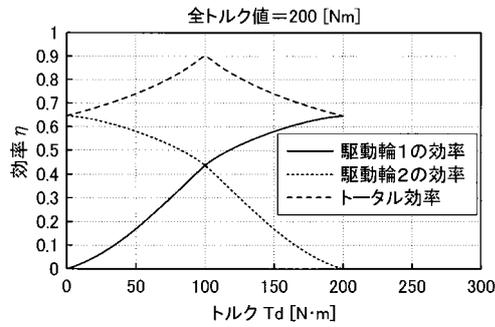
【 図 1 3 - 5 】



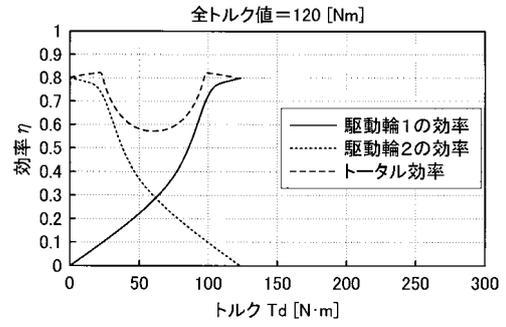
【 図 1 4 - 1 】



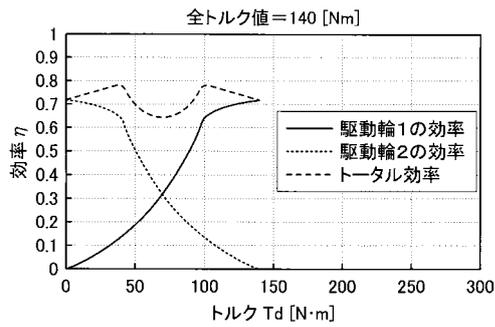
【 図 1 3 - 6 】



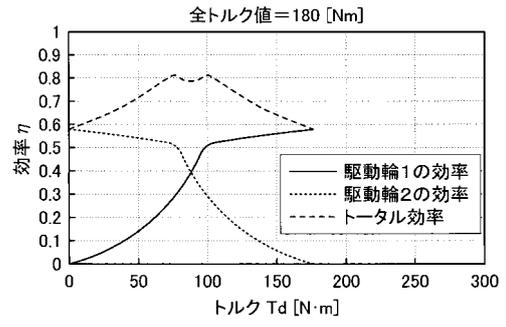
【 図 1 4 - 2 】



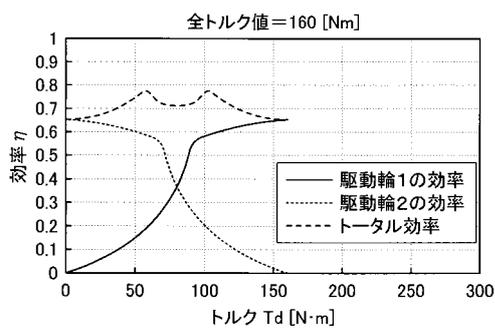
【 図 1 4 - 3 】



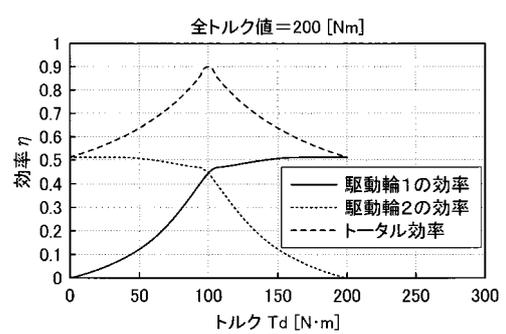
【 図 1 4 - 5 】



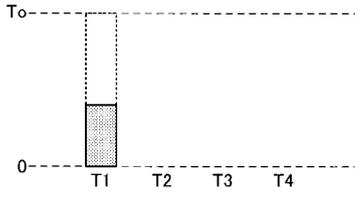
【 図 1 4 - 4 】



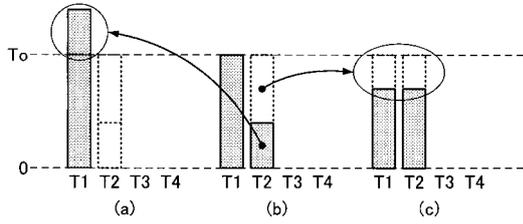
【 図 1 4 - 6 】



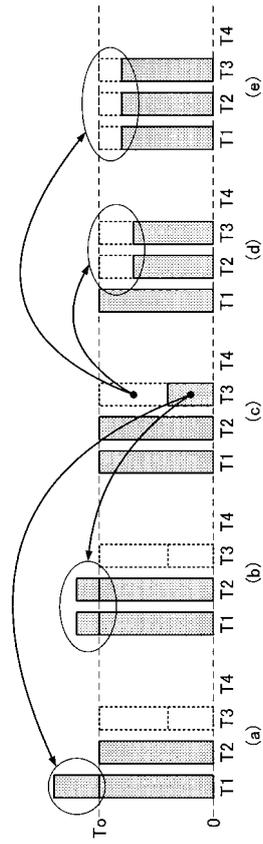
【 図 15 - 1 】



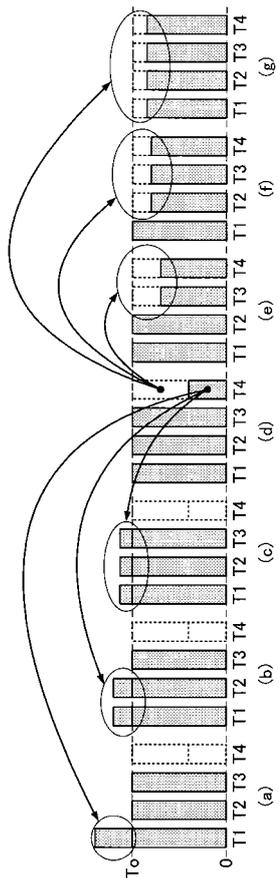
【 図 15 - 2 】



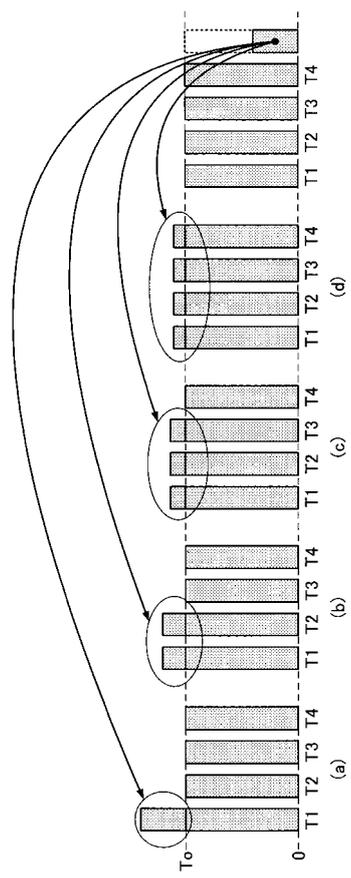
【 図 15 - 3 】



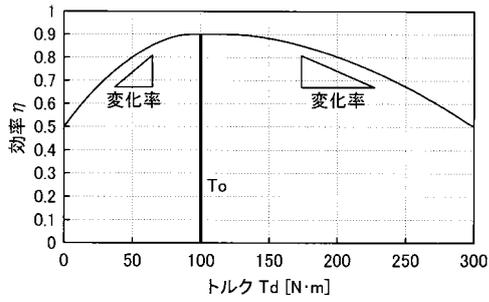
【 図 15 - 4 】



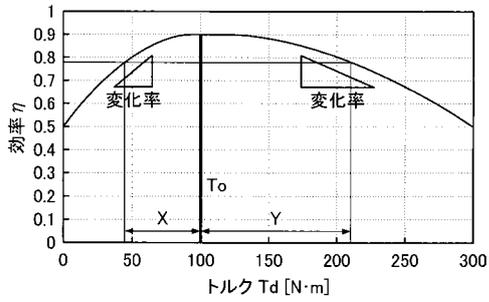
【 図 15 - 5 】



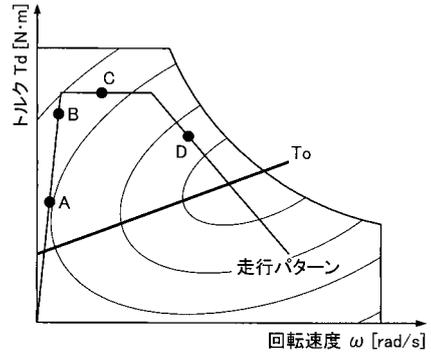
【 図 1 6 - 1 】



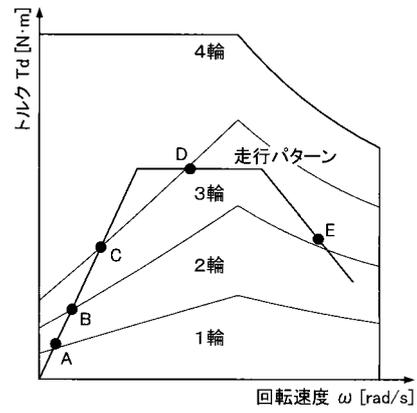
【 図 1 6 - 2 】



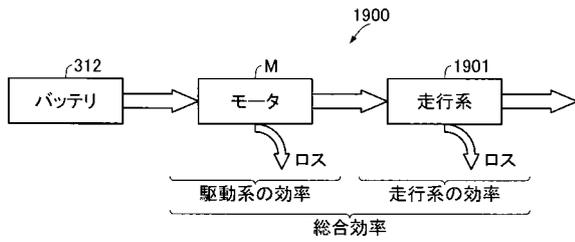
【 図 1 7 】



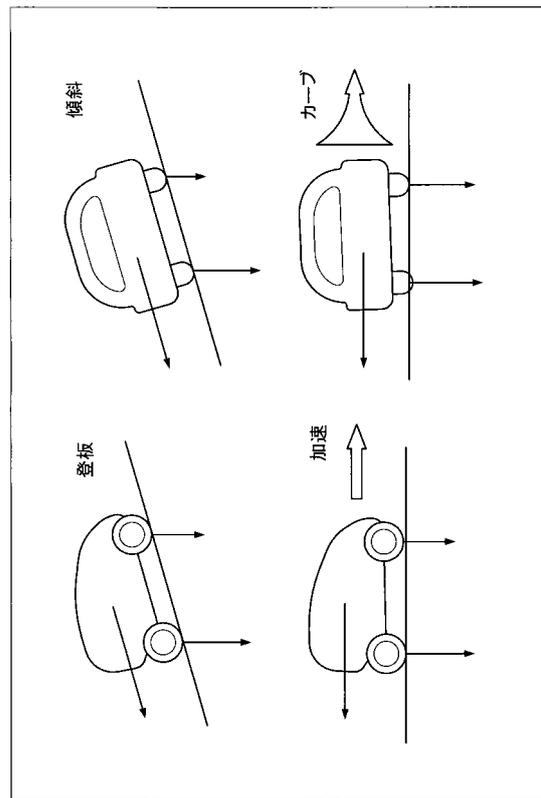
【 図 1 8 】



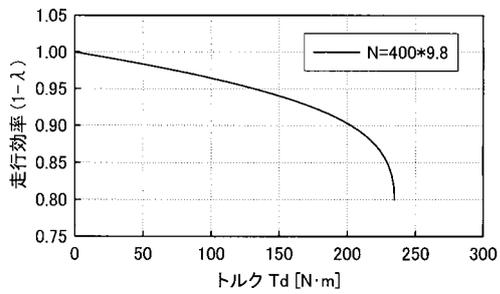
【 図 1 9 】



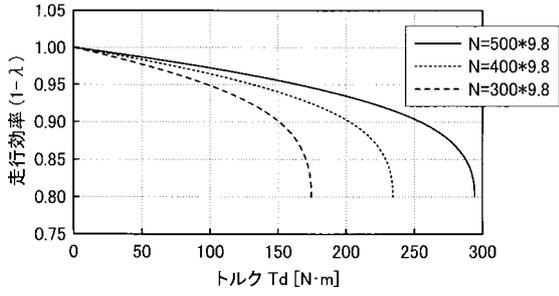
【 図 2 1 】



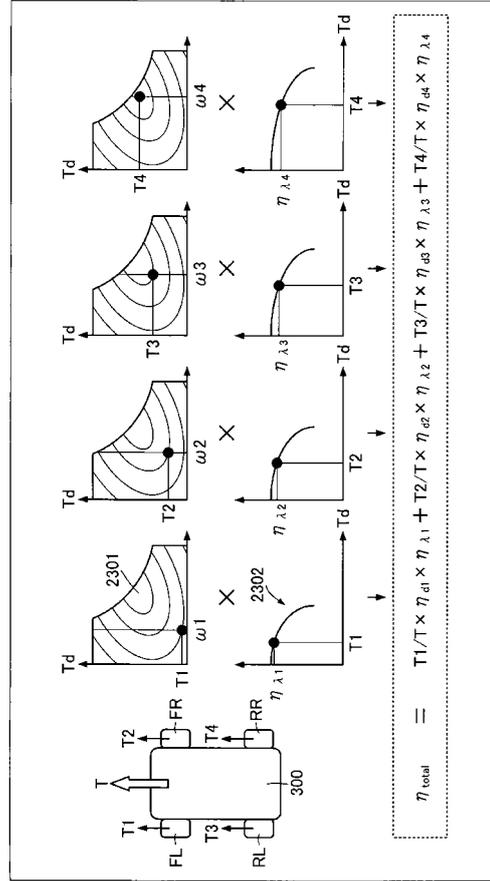
【 図 2 0 】



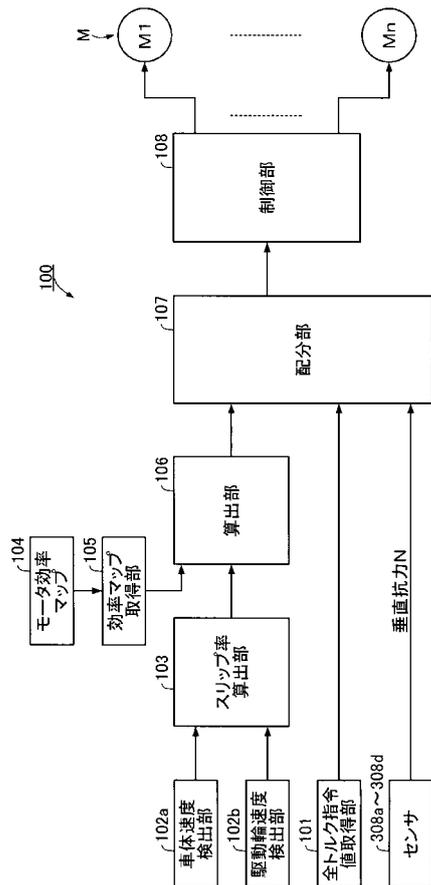
【 図 2 2 】



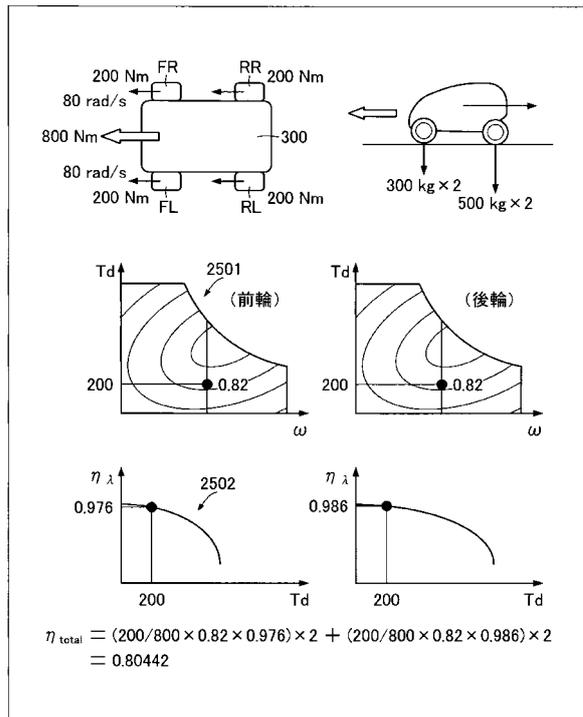
【 図 2 3 】



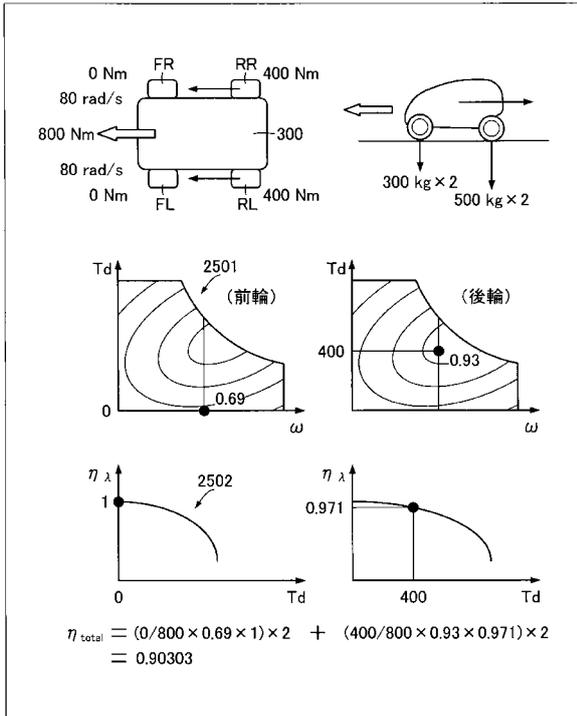
【 図 2 4 】



【 図 2 5 - 1 】



【 図 2 5 - 2 】



フロントページの続き

(72)発明者 北野 和俊

神奈川県川崎市幸区新小倉 1 - 1 パイオニア株式会社内

(72)発明者 橋本 和信

神奈川県川崎市幸区新小倉 1 - 1 パイオニア株式会社内

(72)発明者 竹内 吉和

神奈川県川崎市幸区新小倉 1 - 1 パイオニア株式会社内

Fターム(参考) 3D043 AB17 EA05 EB03 EB07 EB11 EE06 EF11 EF24

5H125 AA01 AB01 AC12 BA07 CA02 CA15 EE08 EE41 EE52