

(19)日本国特許庁(JP)

(12)特許公報(B2)

(11)特許番号
特許第7524888号
(P7524888)

(45)発行日 令和6年7月30日(2024.7.30)

(24)登録日 令和6年7月22日(2024.7.22)

(51)国際特許分類

F I

G 0 5 D 1/65 (2024.01) G 0 5 D 1/65

G 0 5 D 1/83 (2024.01) G 0 5 D 1/83

G 0 5 D 1/43 (2024.01) G 0 5 D 1/43

請求項の数 12 (全23頁)

(21)出願番号	特願2021-207404(P2021-207404)	(73)特許権者	000004260
(22)出願日	令和3年12月21日(2021.12.21)		株式会社デンソー
(65)公開番号	特開2023-92266(P2023-92266A)		愛知県刈谷市昭和町1丁目1番地
(43)公開日	令和5年7月3日(2023.7.3)	(74)代理人	
審査請求日	令和5年9月13日(2023.9.13)		矢作 和行
		(74)代理人	100121991
			弁理士 野々部 泰平
		(74)代理人	100145595
			弁理士 久保 貴則
		(72)発明者	青木 崇
			愛知県刈谷市昭和町1丁目1番地 株式
			会社デンソー内
		審査官	尾形 元

最終頁に続く

(54)【発明の名称】 制御システム、制御装置、制御方法、制御プログラム

(57)【特許請求の範囲】

【請求項1】

プロセッサ(12)を有し、バッテリー(4)から電力供給される個別の電動アクチュエータ(5)により駆動される一対の駆動輪(30)間での回転速度差に応じて直進走行と旋回走行との切り替わる自律走行ロボット(1)を、目標軌道(Tt)に沿って制御する制御システムであって、

前記プロセッサは、

前記バッテリーの電力制約(Lw)が含まれる走行制約(L)を、監視することと、

前記走行制約の条件成立に応じて、最小旋回半径での前記旋回走行時の最大速度である旋回最大速度(Vm)を、前記直進走行時の最大速度である直進最大速度(Vme, Vmw)よりも小さく制限することとを、実行するように構成され、

前記旋回最大速度を制限することは、

前記走行制約の条件成立外となる速度及びヨーレートの相関範囲として、前記旋回最大速度が前記直進最大速度よりも小さくなる速度相関範囲(Cv, Cvw)内に、前記自律走行ロボットの实速度及び実ヨーレートを制御することを、含む制御システム。

【請求項2】

前記プロセッサは、

前記自律走行ロボットに対して、前記目標軌道に追従するための目標速度(Vt)及び目標ヨーレート(YVt)を設定することを、さらに実行するように構成され、

前記旋回最大速度を制限することは、

前記走行制約の条件成立となる前記速度相関範囲外に外れた相関点の前記目標速度及び前記目標ヨーレートを、前記速度相関範囲内のうち限界点（ P_v ）を与える値（ V_l ， Y_{V_l} ）まで共通の制限比率（ R_v ）にて調整することを、含む請求項 1 に記載の制御システム。

【請求項 3】

前記プロセッサは、

前記走行制約の条件成立に応じて、最小旋回半径での前記旋回走行時の最大加速度である旋回最大加速度（ A_m ）を、前記直進走行時の最大加速度である直進最大加速度（ A_{me} ， A_{mw} ）よりも小さく制限することを、さらに実行するように構成される請求項 1 又は 2 に記載の制御システム。

10

【請求項 4】

プロセッサ（12）を有し、バッテリー（4）から電力供給される個別の電動アクチュエータ（5）により駆動される一対の駆動輪（30）間での回転速度差に応じて直進走行と旋回走行との切り替わる自律走行ロボット（1）を、目標軌道（ T_t ）に沿って制御する制御システムであって、

前記プロセッサは、

前記バッテリーの電力制約（ L_w ）が含まれる走行制約（ L ）を、監視することと、

前記走行制約の条件成立に応じて、最小旋回半径での前記旋回走行時の最大加速度である旋回最大加速度（ A_m ）を、前記直進走行時の最大加速度である直進最大加速度（ A_{me} ， A_{mw} ）よりも小さく制限することとを、実行するように構成され、

20

前記旋回最大加速度を制限することは、

前記走行制約の条件成立外となる加速度及びヨーレート変化率の相関範囲として、前記旋回最大加速度が前記直進最大加速度よりも小さくなる加速度相関範囲（ C_a ， C_{aw} ）内に、前記自律走行ロボットの実加速度及び実ヨーレート変化率を制御することを、含む制御システム。

【請求項 5】

前記プロセッサは、

前記自律走行ロボットに対して、前記目標軌道に追従するための目標加速度（ A_t ）及び目標ヨーレート変化率（ Y_{A_t} ）を設定することを、さらに実行するように構成され、

前記旋回最大加速度を制限することは、

30

前記走行制約の条件成立となる前記加速度相関範囲外に外れた相関点の前記目標加速度及び前記目標ヨーレート変化率を、前記加速度相関範囲内のうち限界点（ P_a ）を与える値（ A_l ， Y_{A_l} ）まで、共通の制限比率（ R_a ）にて調整することを、含む請求項 4 に記載の制御システム。

【請求項 6】

前記走行制約の条件成立を監視することは、

前記電力制約と、前記自律走行ロボットの走行環境に依存する環境制約（ L_e ）とが、含まれる前記走行制約の条件成立を監視することとを、含む請求項 1 ～ 5 のいずれか一項に記載の制御システム。

【請求項 7】

40

プロセッサ（12）を有し、バッテリー（4）から電力供給される個別の電動アクチュエータ（5）により駆動される一対の駆動輪（30）間での回転速度差に応じて直進走行と旋回走行との切り替わる自律走行ロボット（1）に搭載可能に構成され、前記自律走行ロボットを目標軌道（ T_t ）に沿って制御する制御装置であって、

前記プロセッサは、

前記バッテリーの電力制約（ L_w ）が含まれる走行制約（ L ）を、監視することと、

前記走行制約の条件成立に応じて、最小旋回半径での前記旋回走行時の最大速度である旋回最大速度（ V_m ）を、前記直進走行時の最大速度である直進最大速度（ V_{me} ， V_{mw} ）よりも小さく制限することとを、実行するように構成され、

前記旋回最大速度を制限することは、

50

前記走行制約の条件成立外となる速度及びヨーレートの相関範囲として、前記旋回最大速度が前記直進最大速度よりも小さくなる速度相関範囲 (C_v , C_{vw}) 内に、前記自律走行ロボットの実速度及び実ヨーレートを制御することを、含む制御装置。

【請求項 8】

プロセッサ (12) を有し、バッテリー (4) から電力供給される個別の電動アクチュエータ (5) により駆動される一対の駆動輪 (30) 間での回転速度差に応じて直進走行と旋回走行との切り替わる自律走行ロボット (1) に搭載可能に構成され、前記自律走行ロボットを目標軌道 (T_t) に沿って制御する制御装置であって、

前記プロセッサは、

前記バッテリーの電力制約 (L_w) が含まれる走行制約 (L) を、監視することと、

前記走行制約の条件成立に応じて、最小旋回半径での前記旋回走行時の最大加速度である旋回最大加速度 (A_m) を、前記直進走行時の最大加速度である直進最大加速度 (A_{me} , A_{mw}) よりも小さく制限することとを、実行するように構成され、

前記旋回最大加速度を制限することは、

前記走行制約の条件成立外となる加速度及びヨーレート変化率の相関範囲として、前記旋回最大加速度が前記直進最大加速度よりも小さくなる加速度相関範囲 (C_a , C_{aw}) 内に、前記自律走行ロボットの実加速度及び実ヨーレート変化率を制御することを、含む制御装置。

【請求項 9】

バッテリー (4) から電力供給される個別の電動アクチュエータ (5) により駆動される一対の駆動輪 (30) 間での回転速度差に応じて直進走行と旋回走行との切り替わる自律走行ロボット (1) を、目標軌道 (T_t) に沿って制御するために、プロセッサ (12) により実行される制御方法であって、

前記バッテリーの電力制約 (L_w) が含まれる走行制約 (L) を、監視することと、

前記走行制約の条件成立に応じて、最小旋回半径での前記旋回走行時の最大速度である旋回最大速度 (V_m) を、前記直進走行時の最大速度である直進最大速度 (V_{me} , V_{mw}) よりも小さく制限することとを、含む、

前記旋回最大速度を制限することは、

前記走行制約の条件成立外となる速度及びヨーレートの相関範囲として、前記旋回最大速度が前記直進最大速度よりも小さくなる速度相関範囲 (C_v , C_{vw}) 内に、前記自律走行ロボットの実速度及び実ヨーレートを制御することを、含む制御方法。

【請求項 10】

バッテリー (4) から電力供給される個別の電動アクチュエータ (5) により駆動される一対の駆動輪 (30) 間での回転速度差に応じて直進走行と旋回走行との切り替わる自律走行ロボット (1) を、目標軌道 (T_t) に沿って制御するために、プロセッサ (12) により実行される制御方法であって、

前記バッテリーの電力制約 (L_w) が含まれる走行制約 (L) を、監視することと、

前記走行制約の条件成立に応じて、最小旋回半径での前記旋回走行時の最大加速度である旋回最大加速度 (A_m) を、前記直進走行時の最大加速度である直進最大加速度 (A_{me} , A_{mw}) よりも小さく制限することとを、含む、

前記旋回最大加速度を制限することは、

前記走行制約の条件成立外となる加速度及びヨーレート変化率の相関範囲として、前記旋回最大加速度が前記直進最大加速度よりも小さくなる加速度相関範囲 (C_a , C_{aw}) 内に、前記自律走行ロボットの実加速度及び実ヨーレート変化率を制御することを、含む制御方法。

【請求項 11】

バッテリー (4) から電力供給される個別の電動アクチュエータ (5) により駆動される一対の駆動輪 (30) 間での回転速度差に応じて直進走行と旋回走行との切り替わる自律走行ロボット (1) を、目標軌道 (T_t) に沿って制御するために記憶媒体 (11) に記憶され、プロセッサ (12) により実行される命令を含む制御プログラムであって、

10

20

30

40

50

前記命令は、

前記バッテリーの電力制約 (L_w) が含まれる走行制約 (L) を、監視させることと、

前記走行制約の条件成立に応じて、最小旋回半径での前記旋回走行時の最大速度である旋回最大速度 (V_m) を、前記直進走行時の最大速度である直進最大速度 (V_{me} , V_{mw}) よりも小さく制限させることとを、含み、

前記旋回最大速度を制限させることは、

前記走行制約の条件成立外となる速度及びヨーレートの相関範囲として、前記旋回最大速度が前記直進最大速度よりも小さくなる速度相関範囲 (C_v , C_{vw}) 内に、前記自律走行ロボットの実速度及び実ヨーレートを制御させることを、含む制御プログラム。

【請求項 12】

バッテリー (4) から電力供給される個別の電動アクチュエータ (5) により駆動される一対の駆動輪 (30) 間での回転速度差に応じて直進走行と旋回走行との切り替わる自律走行ロボット (1) を、目標軌道 (T_t) に沿って制御するために記憶媒体 (11) に記憶され、プロセッサ (12) により実行される命令を含む制御プログラムであって、

前記命令は、

前記バッテリーの電力制約 (L_w) が含まれる走行制約 (L) を、監視させることと、

前記走行制約の条件成立に応じて、最小旋回半径での前記旋回走行時の最大加速度である旋回最大加速度 (A_m) を、前記直進走行時の最大加速度である直進最大加速度 (A_{me} , A_{mw}) よりも小さく制限させることとを、含み、

前記旋回最大加速度を制限させることは、

前記走行制約の条件成立外となる加速度及びヨーレート変化率の相関範囲として、前記旋回最大加速度が前記直進最大加速度よりも小さくなる加速度相関範囲 (C_a , C_{aw}) 内に、前記自律走行ロボットの実加速度及び実ヨーレート変化率を制御させることを、含む制御プログラム。

【発明の詳細な説明】

【技術分野】

【0001】

本開示は、自律走行ロボットを制御する制御技術に、関する。

【背景技術】

【0002】

特許文献 1 には、個別の電動アクチュエータにより駆動される一対の駆動輪間での回転速度差に応じて直進走行と旋回走行との切り替わる自律走行ロボットを、目標軌道としての経路に沿って制御する技術が、開示している。

【先行技術文献】

【特許文献】

【0003】

【文献】特開 2008 - 129695 号公報

【発明の概要】

【発明が解決しようとする課題】

【0004】

特許文献 1 の開示技術のような電動式の自律走行ロボットは、各駆動輪を駆動する個別の電動アクチュエータを、バッテリーからの電力供給によって作動させる必要がある。しかし、自律走行ロボットに搭載されるバッテリーには、充電量に応じて供給可能な電力に制約が生じることで、各駆動輪の回転速度にも制約が生じる。その結果、特に旋回走行時には、回転速度を増大させる側の駆動輪が制約を受けることで、自律走行ロボットが実際に辿る実軌道は、目標軌道としての経路からずれてしまうおそれがあった。

【0005】

本開示の課題は、自律走行ロボットの軌道ずれを抑制する制御システムを、提供することにある。本開示の別の課題は、自律走行ロボットの軌道ずれを抑制する制御装置を、提供することにある。本開示のまた別の課題は、自律走行ロボットの軌道ずれを抑制する制

10

20

30

40

50

御方法を、提供することにある。本開示のさらに別の課題は、自律走行ロボットの軌道ずれを抑制する制御プログラムを、提供することにある。

【課題を解決するための手段】

【0006】

以下、課題を解決するための本開示の技術的手段について、説明する。尚、特許請求の範囲及び本欄に記載された括弧内の符号は、後に詳述する実施形態に記載された具体的手段との対応関係を示すものであり、本開示の技術的範囲を限定するものではない。

【0007】

本開示の第一態様は、

プロセッサ(12)を有し、バッテリー(4)から電力供給される個別の電動アクチュエータ(5)により駆動される一対の駆動輪(30)間での回転速度差に応じて直進走行と旋回走行との切り替わる自律走行ロボット(1)を、目標軌道(Tt)に沿って制御する制御システムであって、

プロセッサは、

バッテリーの電力制約(Lw)が含まれる走行制約(L)を、監視することと、

走行制約の条件成立に応じて、最小旋回半径での旋回走行時の最大速度である旋回最大速度(Vm)を、直進走行時の最大速度である直進最大速度(Vme, Vmw)よりも小さく制限することとを、実行するように構成され、

旋回最大速度を制限することは、

走行制約の条件成立外となる速度及びヨーレートの相関範囲として、旋回最大速度が直進最大速度よりも小さくなる速度相関範囲(Cv, Cv w)内に、自律走行ロボットの実速度及び実ヨーレートを制御することを、含む。

【0008】

本開示の第二態様は、

プロセッサ(12)を有し、バッテリー(4)から電力供給される個別の電動アクチュエータ(5)により駆動される一対の駆動輪(30)間での回転速度差に応じて直進走行と旋回走行との切り替わる自律走行ロボット(1)に搭載可能に構成され、自律走行ロボットを目標軌道(Tt)に沿って制御する制御装置であって、

プロセッサは、

バッテリーの電力制約(Lw)が含まれる走行制約(L)を、監視することと、

走行制約の条件成立に応じて、最小旋回半径での旋回走行時の最大速度である旋回最大速度(Vm)を、直進走行時の最大速度である直進最大速度(Vme, Vmw)よりも小さく制限することとを、実行するように構成され、

旋回最大速度を制限することは、

走行制約の条件成立外となる速度及びヨーレートの相関範囲として、旋回最大速度が直進最大速度よりも小さくなる速度相関範囲(Cv, Cv w)内に、自律走行ロボットの実速度及び実ヨーレートを制御することを、含む。

【0009】

本開示の第三態様は、

バッテリー(4)から電力供給される個別の電動アクチュエータ(5)により駆動される一対の駆動輪(30)間での回転速度差に応じて直進走行と旋回走行との切り替わる自律走行ロボット(1)を、目標軌道(Tt)に沿って制御するために、プロセッサ(12)により実行される制御方法であって、

バッテリーの電力制約(Lw)が含まれる走行制約(L)を、監視することと、

走行制約の条件成立に応じて、最小旋回半径での旋回走行時の最大速度である旋回最大速度(Vm)を、直進走行時の最大速度である直進最大速度(Vme, Vmw)よりも小さく制限することとを、含む、

旋回最大速度を制限することは、

走行制約の条件成立外となる速度及びヨーレートの相関範囲として、旋回最大速度が直進最大速度よりも小さくなる速度相関範囲(Cv, Cv w)内に、自律走行ロボットの実

10

20

30

40

50

速度及び実ヨーレートを制御することを、含む。

【 0 0 1 0 】

本開示の第四態様は、

バッテリー (4) から電力供給される個別の電動アクチュエータ (5) により駆動される一対の駆動輪 (3 0) 間での回転速度差に応じて直進走行と旋回走行との切り替わる自律走行ロボット (1) を、目標軌道 (T t) に沿って制御するために記憶媒体 (1 1) に記憶され、プロセッサ (1 2) により実行される命令を含む制御プログラムであって、

命令は、

バッテリーの電力制約 (L w) が含まれる走行制約 (L) を、監視させることと、

走行制約の条件成立に応じて、最小旋回半径での旋回走行時の最大速度である旋回最大速度 (V m) を、直進走行時の最大速度である直進最大速度 (V m e , V m w) よりも小さく制限させることとを、含む、

旋回最大速度を制限させることは、

走行制約の条件成立外となる速度及びヨーレートの相関範囲として、旋回最大速度が直進最大速度よりも小さくなる速度相関範囲 (C v , C v w) 内に、自律走行ロボットの実速度及び実ヨーレートを制御させることを、含む。

【 0 0 1 1 】

これら第一～第四態様によると、バッテリーの電力制約を含む走行制約が監視されることで、当該走行制約の条件成立に応じて最小旋回半径での旋回最大速度が直進最大速度よりも小さく制限される。これによれば電力制約が生じたとしても、自律走行ロボットの実軌道が目標軌道に沿うように回転速度差を各駆動輪に発生させつつ、旋回走行時には制限された速度を出力することができる。故にバッテリーの電力供給状態に拘らず、自律走行ロボットの軌道ずれを抑制することが可能となる。

【 0 0 1 2 】

本開示の第五態様は、

プロセッサ (1 2) を有し、バッテリー (4) から電力供給される個別の電動アクチュエータ (5) により駆動される一対の駆動輪 (3 0) 間での回転速度差に応じて直進走行と旋回走行との切り替わる自律走行ロボット (1) を、目標軌道 (T t) に沿って制御する制御システムであって、

プロセッサは、

バッテリーの電力制約 (L w) が含まれる走行制約 (L) を、監視することと、

走行制約の条件成立に応じて、最小旋回半径での旋回走行時の最大加速度である旋回最大加速度 (A m) を、直進走行時の最大加速度である直進最大加速度 (A m e , A m w) よりも小さく制限することとを、実行するように構成され、

旋回最大加速度を制限することは、

走行制約の条件成立外となる加速度及びヨーレート変化率の相関範囲として、旋回最大加速度が直進最大加速度よりも小さくなる加速度相関範囲 (C a , C a w) 内に、自律走行ロボットの実加速度及び実ヨーレート変化率を制御することを、含む。

【 0 0 1 3 】

本開示の第六態様は、

プロセッサ (1 2) を有し、バッテリー (4) から電力供給される個別の電動アクチュエータ (5) により駆動される一対の駆動輪 (3 0) 間での回転速度差に応じて直進走行と旋回走行との切り替わる自律走行ロボット (1) に搭載可能に構成され、自律走行ロボットを目標軌道 (T t) に沿って制御する制御装置であって、

プロセッサは、

バッテリーの電力制約 (L w) が含まれる走行制約 (L) を、監視することと、

走行制約の条件成立に応じて、最小旋回半径での旋回走行時の最大加速度である旋回最大加速度 (A m) を、直進走行時の最大加速度である直進最大加速度 (A m e , A m w) よりも小さく制限することとを、実行するように構成され、

旋回最大加速度を制限することは、

10

20

30

40

50

走行制約の条件成立外となる加速度及びヨーレート変化率の相関範囲として、旋回最大加速度が直進最大加速度よりも小さくなる加速度相関範囲 (C_a , C_{aw}) 内に、自律走行ロボットの実加速度及び実ヨーレート変化率を制御することを、含む。

【0014】

本開示の第七態様は、

バッテリー(4)から電力供給される個別の電動アクチュエータ(5)により駆動される一対の駆動輪(30)間での回転速度差に応じて直進走行と旋回走行との切り替わる自律走行ロボット(1)を、目標軌道(T_t)に沿って制御するために、プロセッサ(12)により実行される制御方法であって、

バッテリーの電力制約(L_w)が含まれる走行制約(L)を、監視することと、

10

走行制約の条件成立に応じて、最小旋回半径での旋回走行時の最大加速度である旋回最大加速度(A_m)を、直進走行時の最大加速度である直進最大加速度(A_{me} , A_{mw})よりも小さく制限することとを、含む、

旋回最大加速度を制限することは、

走行制約の条件成立外となる加速度及びヨーレート変化率の相関範囲として、旋回最大加速度が直進最大加速度よりも小さくなる加速度相関範囲 (C_a , C_{aw}) 内に、自律走行ロボットの実加速度及び実ヨーレート変化率を制御することを、含む。

【0015】

本開示の第八態様は、

バッテリー(4)から電力供給される個別の電動アクチュエータ(5)により駆動される一対の駆動輪(30)間での回転速度差に応じて直進走行と旋回走行との切り替わる自律走行ロボット(1)を、目標軌道(T_t)に沿って制御するために記憶媒体(11)に記憶され、プロセッサ(12)により実行される命令を含む制御プログラムであって、

20

命令は、

バッテリーの電力制約(L_w)が含まれる走行制約(L)を、監視させることと、

走行制約の条件成立に応じて、最小旋回半径での旋回走行時の最大加速度である旋回最大加速度(A_m)を、直進走行時の最大加速度である直進最大加速度(A_{me} , A_{mw})よりも小さく制限させることとを、含む、

旋回最大加速度を制限させることは、

走行制約の条件成立外となる加速度及びヨーレート変化率の相関範囲として、旋回最大加速度が直進最大加速度よりも小さくなる加速度相関範囲 (C_a , C_{aw}) 内に、自律走行ロボットの実加速度及び実ヨーレート変化率を制御させることを、含む。

30

【0016】

これら第五～第八態様によると、バッテリーの電力制約を含む走行制約が監視されることで、当該走行制約の条件成立に応じて最小旋回半径での旋回最大加速度が直進最大加速度よりも小さく制限される。これによれば電力制約が生じたとしても、自律走行ロボットの実軌道が目標軌道に沿うように回転速度差を各駆動輪に発生させつつ、旋回走行時には制限された加速度を出力することができる。故にバッテリーの電力供給状態に拘らず、自律走行ロボットの軌道ずれを抑制することが可能となる。

【図面の簡単な説明】

40

【0017】

【図1】一実施形態による制御システムの全体構成を示すブロック図である。

【図2】一実施形態の適用される自動走行ロボットの構成を示すブロック図である。

【図3】一実施形態による制御システムの機能構成を示すブロック図である。

【図4】一実施形態による第一速度相関ブロックを説明するためのグラフである。

【図5】一実施形態による第二速度相関ブロックを説明するためのグラフである。

【図6】一実施形態による合成速度相関ブロックを説明するためのグラフである。

【図7】一実施形態による速度制限ブロックを説明するためのグラフである。

【図8】一実施形態による速度制限ブロックを説明するためのグラフである。

【図9】一実施形態による第一加速度相関ブロックを説明するためのグラフである。

50

【図 1 0】一実施形態による第二加速度相関ブロックを説明するためのグラフである。
【図 1 1】一実施形態による合成加速度相関ブロックを説明するためのグラフである。
【図 1 2】一実施形態による加速度制限ブロックを説明するためのグラフである。
【図 1 3】一実施形態による加速度制限ブロックを説明するためのグラフである。
【図 1 4】一実施形態による制御フローを示すフローチャートである。
【図 1 5】変形例による制御システムの機能構成を示すブロック図である。
【図 1 6】変形例による制御システムの機能構成を示すブロック図である。
【図 1 7】変形例による制御システムの機能構成を示すブロック図である。
【発明を実施するための形態】

【0018】

以下、本開示の一実施形態を図面に基づき説明する。

【0019】

図 1 に示す一実施形態の制御システム 10 は、図 2 に示す自律走行ロボット 1 を制御する。自律走行ロボット 1 は、前後左右の任意方向に自律走行する。自律走行ロボット 1 は、道路を自律走行して荷物を宅配する、宅配ロボットであってもよい。自律走行ロボット 1 は、倉庫内外を自律走行して荷物を運搬する、物流ロボットであってもよい。自律走行ロボット 1 は、災害地を自律走行して物資を運搬又は情報を収集する、災害支援ロボットであってもよい。自律走行ロボット 1 は、これら以外のロボットであっても勿論よい。さらにいずれの種の自律走行ロボット 1 であっても、外部センサによりリモートでの走行支援又は走行制御を受けてもよい。

【0020】

自律走行ロボット 1 は、車体 2、車輪 3、バッテリー 4、電動アクチュエータ 5、センサ系 6、地図データベース 7、及び情報提示系 8 を備えている。車体 2 は、例えば金属等により、中空状に形成されている。

【0021】

車輪 3 は、車体 2 により複数支持されている。各車輪 3 は、それぞれ独立して回転可能に構成されている。複数車輪 3 のうち、車体 2 の左右に一つずつとなる一対の駆動輪 30 は、それぞれ個別の電動アクチュエータ 5 により独立して駆動される。これら各駆動輪 30 間での回転速度差（即ち、単位時間当たりの回転数差）に応じて、自律走行ロボット 1 の走行状態が直進走行と旋回走行とのいずれかに切り替わる。具体的には、各駆動輪 30 間での回転速度差が零値、又は零値と擬制可能な範囲では、自律走行ロボット 1 が直進走行する。一方、各駆動輪 30 間での回転速度差が増大する範囲では、自律走行ロボット 1 の旋回走行する旋回半径が、当該回転速度差の増大に応じて縮小する。ここで旋回半径とは、車体 2 の鉛直中心線と旋回走行の旋回中心との距離を意味する。尚、複数車輪 3 には、駆動輪 30 に従動して回転する少なくとも一つの従動輪が、含まれていてもよい。

【0022】

バッテリー 4 は、車体 2 内に搭載されている。バッテリー 4 は、例えばリチウムイオン電池等の蓄電池を主体に、構成されている。バッテリー 4 は、放電によって車体 2 内の電装品へ供給する電力を、外部からの充電により蓄える。バッテリー 4 は、電動アクチュエータ 5 からの回生電力を、蓄えてもよい。バッテリー 4 は、電力の供給先となる電動アクチュエータ 5、センサ系 6、地図データベース 7、及び情報提示系 8 に対し、ワイヤハーネスを介して電力供給可能に接続されている。

【0023】

電動アクチュエータ 5 は、車体 2 内に一対搭載されている。各電動アクチュエータ 5 は、それぞれ電動モータ 50 及びモータドライバ 52 の組を主体に構成されている。各電動アクチュエータ 5 において電動モータ 50 は、それぞれ対応する駆動輪 30 を独立して回転駆動する。各電動アクチュエータ 5 においてモータドライバ 52 は、同一組の電動モータ 50 へ印加する電流を制御システム 10 からの電流指令値に応じて制御することで、それぞれ対応する駆動輪 30 に対して当該電流指令値に従う回転速度（即ち、単位時間当たりの回転数）を発生させる。各電動アクチュエータ 5 は、それぞれ対応する駆動輪 30 の

10

20

30

40

50

回転中に制動を与える、ブレーキユニットを備えていてもよい。各電動アクチュエータ 5 は、それぞれ対応する駆動輪 30 を停止中にロックする、ロックユニットを備えていてもよい。

【0024】

センサ系 6 は、制御システム 10 により利用可能なセンシング情報を、自律走行ロボット 1 における外界及び内界のセンシングにより取得する。そのためにセンサ系 6 の構成要素は、車体 2 の複数箇所に搭載されている。具体的にセンサ系 6 は、外界センサ 60 と内界センサ 61 とを含んで構成されている。

【0025】

外界センサ 60 は、自律走行ロボット 1 の周辺環境となる外界から、センシング情報としての外界情報を取得する。外界センサ 60 は、自律走行ロボット 1 の外界に存在する物標を検知することで、外界情報を取得する。物標検知タイプの外界センサ 60 は、例えばカメラ、LiDAR (Light Detection and Ranging / Laser Imaging Detection and Ranging)、レーダ、及びソナー等のうち、少なくとも一種類である。

【0026】

外界センサ 60 は、自律走行ロボット 1 の外界に存在する GNSS (Global Navigation Satellite System) の人工衛星から測位信号を受信することで、外界情報を取得してもよい。測位タイプの外界センサ 60 は、例えば GNSS 受信機等である。外界センサ 60 は、自律走行ロボット 1 の外界に存在する V2X システムとの間において通信信号を送受信することで、外界情報を取得してもよい。通信タイプの外界センサ 60 は、例えば DSRC (Dedicated Short Range Communications) 通信機、セルラ V2X (C-V2X) 通信機、ブルートゥース (Bluetooth: 登録商標) 機器、Wi-Fi (登録商標) 機器、及び赤外線通信機器等のうち、少なくとも一種類である。

【0027】

内界センサ 61 は、自律走行ロボット 1 の内部環境となる内界から、センシング情報としての内界情報を取得する。内界センサ 61 は、自律走行ロボット 1 の内界において特定の運動物理量を検知することで、内界情報を取得する。物理量検知タイプの内界センサ 61 は、例えば速度センサ、加速度センサ、及びヨーレートセンサを少なくとも含んだ、複数種類である。

【0028】

地図データベース 7 は、制御システム 10 により利用可能な地図情報を、記憶する。地図データベース 7 は、例えば半導体メモリ、磁気媒体、及び光学媒体等のうち、少なくとも一種類の非遷移的実体的記憶媒体 (non-transitory tangible storage medium) を含んで構成されている。地図データベース 7 は、自律走行ロボット 1 の自己位置を含む自己状態量を推定するロケータの、データベースであってもよい。地図データベース 7 は、自律走行ロボット 1 の走行を計画するプランニングユニットの、データベースであってもよい。地図データベース 7 は、これらのデータベース等のうち複数種類の組み合わせにより、構成されていてもよい。

【0029】

地図データベース 7 は、例えば外部センタとの通信等により、最新の地図情報を取得して記憶する。ここで地図情報は、自律走行ロボット 1 の走行環境を表す情報として、二次元又は三次元にデータ化されている。特に三次元の地図データとしては、高精度地図のデジタルデータが採用されるとよい。地図情報は、例えば道路自体の位置、形状、及び路面状態等のうち、少なくとも一種類を表した道路情報を含んでいてもよい。地図情報は、例えば道路に付属する標識及び区画線の位置並びに形状等のうち、少なくとも一種類を表した標示情報を含んでいてもよい。地図情報は、例えば道路に面する建造物及び信号機の位置並びに形状等のうち、少なくとも一種類を表した構造物情報を含んでいてもよい。

【0030】

情報提示系 8 は、自律走行ロボット 1 の周辺者へ向けた報知情報を、提示する。情報提示系 8 は、周辺者の視覚を刺激することで、報知情報を提示してもよい。視覚刺激タイプ

10

20

30

40

50

の情報提示系 8 は、例えばモニタユニット、及び発光ユニット等のうち、少なくとも一種類である。情報提示系 8 は、周辺者の聴覚を刺激することで、報知情報を提示してもよい。聴覚刺激タイプの情報提示系 8 は、例えばスピーカ、ブザー、及びバイブレーションユニット等のうち、少なくとも一種類である。

【 0 0 3 1 】

図 1 に示す制御システム 1 0 は、車体 2 に搭載されたコンピュータを主体とする、少なくとも一つの専用コンピュータを含んで構成されている。そこで、制御システム 1 0 を構成する専用コンピュータは、例えば L A N (Local Area Network) 回線、ワイヤハーネス、内部バス、及び無線通信回線等のうち少なくとも一種類を介して、図 2 に示すバッテリー 4、電動アクチュエータ 5、センサ系 6、地図データベース 7、及び情報提示系 8 に接

10

【 0 0 3 2 】

図 1 の制御システム 1 0 を構成する専用コンピュータは、自律走行ロボット 1 の走行する目標軌道を計画する、プランニング E C U (Electronic Control Unit) であってもよい。制御システム 1 0 を構成する専用コンピュータは、自律走行ロボット 1 の目標軌道に実軌道を追従させる、軌道制御 E C U であってもよい。制御システム 1 0 を構成する専用コンピュータは、自律走行ロボット 1 の電動アクチュエータ 5 を制御する、アクチュエータ E C U であってもよい。制御システム 1 0 を構成する専用コンピュータは、自律走行ロボット 1 のセンサ系 6 を制御する、センシング E C U であってもよい。制御システム 1 0 を構成する専用コンピュータは、自律走行ロボット 1 の自己位置を含む自己状態量を地図データベース 7 に基づき推定する、ロケータ E C U であってもよい。制御システム 1 0 を構成する専用コンピュータは、自律走行ロボット 1 の情報提示系 8 を制御する、表示 E C U であってもよい。制御システム 1 0 を構成する専用コンピュータは、例えば通信タイプの外界センサ 6 0 を介して通信可能な外部センタ又はモバイル端末等を構成する、車体 2 外のコンピュータであってもよい。

20

【 0 0 3 3 】

制御システム 1 0 を構成する専用コンピュータは、メモリ 1 1 及びプロセッサ 1 2 を、少なくとも一つずつ有している。メモリ 1 1 は、コンピュータにより読み取り可能なプログラム及びデータ等を非一時的に記憶する、例えば半導体メモリ、磁気媒体、及び光学媒体等のうち、少なくとも一種類の非遷移的実体的記憶媒体 (non-transitory tangible storage medium) である。プロセッサ 1 2 は、例えば C P U (Central Processing Unit)、G P U (Graphics Processing Unit)、R I S C (Reduced Instruction Set Computer) - C P U、D F P (Data Flow Processor)、及び G S P (Graph Streaming Processor) 等のうち、少なくとも一種類をコアとして含んでいる。

30

【 0 0 3 4 】

制御システム 1 0 においてプロセッサ 1 2 は、自律走行ロボット 1 を制御するためにメモリ 1 1 に記憶された制御プログラムに含まれる複数の命令を、実行する。これにより制御システム 1 0 は、自律走行ロボット 1 を制御するための機能ブロックを、複数構築する。制御システム 1 0 において構築される複数の機能ブロックには、図 3 に示すように前段目標設定ブロック 1 0 0、制約監視ブロック 1 1 0、速度調整ブロック 1 2 0、加速度調整ブロック 1 3 0、及び指令調整ブロック 1 4 0 が含まれている。

40

【 0 0 3 5 】

前段目標設定ブロック 1 0 0 は、複数のサブ機能ブロックとして目標軌道計画ブロック 1 0 1、及び軌道追従制御ブロック 1 0 2 を有している。

【 0 0 3 6 】

目標軌道計画ブロック 1 0 1 は、自律走行ロボット 1 を目標軌道 T t に沿って制御するために、当該目標軌道 T t を計画する。このとき目標軌道計画ブロック 1 0 1 は、センサ系 6 による各種取得情報に基づくことで、自律走行ロボット 1 の自己状態量を推定する。ここで自己状態量は、自律走行ロボット 1 の自己位置を含む。自己状態量は他に、自律走行ロボット 1 の例えば速度及びヨー角等のうち、少なくとも一種類を含んでいてもよい。

50

目標軌道 T_t とは、こうした自己状態量の時系列変化を自律走行ロボット 1 に対して規定する、目標の走行軌道を意味する。

【0037】

軌道追従制御ブロック 102 は、最新の目標軌道 T_t を目標軌道計画ブロック 101 から引き継ぐ。それと共に軌道追従制御ブロック 102 は、自律走行ロボット 1 の実軌道を表す最新の自己状態量を、センサ系 6 による各種取得情報に基づき取得する。そこで軌道追従制御ブロック 102 は、目標軌道 T_t に対して自律走行ロボット 1 の実軌道が追従するように、軌道追従制御を実行する。こうした軌道追従制御により軌道追従制御ブロック 102 は、実軌道及び目標軌道 T_t のそれぞれ規定する自己状態量間の偏差をフィードバック制御により変換することで、目標軌道 T_t に追従するための目標速度 V_t 及び目標ヨーレート YV_t を設定する。

10

【0038】

制約監視ブロック 110 は、複数のサブ機能ブロックとして第一制約設定ブロック 111、及び第二制約設定ブロック 112 を有している。

【0039】

第一制約設定ブロック 111 は、バッテリー 4 における蓄電状態（即ち、充電状態）を監視することで、バッテリー 4 から供給可能な最新の最大電力を推定する。そこで第一制約設定ブロック 111 は、最大電力に応じて制約される走行制約 L を、電力制約 Lw と設定して監視する。ここで電力制約 Lw として第一制約設定ブロック 111 は、自律走行ロボット 1 に対する最大速度 Vw 、最大ヨーレート YVw 、最大加速度 Aw 、及び最大ヨーレート変化率 YAw を決定する。このとき電力制約 Lw となる各運動物理量 Vw 、 YVw 、 Aw 、 YAw は、それぞれ最大電力との相関を規定するようにメモリ 11 に記憶された、例えばマップ、テーブル、及び関数式等のうち少なくとも一種類に基づき取得されるとよい。尚、ヨー角速度であるヨーレートに対して、ヨー角加速度であるヨーレート変化率は、当該ヨーレートの時間変化率に定義される。

20

【0040】

第二制約設定ブロック 112 は、自律走行ロボット 1 の走行環境に依存した走行制約 L を、環境制約 Le と設定して監視する。ここで環境制約 Le とは、自律走行ロボット 1 の運用される走行環境に関しての、例えば広狭情報、交通量情報、天候情報、障害物情報、時間帯情報、及び明暗情報等の環境要因に応じた制約に、定義される。そこで環境制約 Le として第二制約設定ブロック 112 は、電力制約 Lw の各運動物理量にそれぞれ対応するように、自律走行ロボット 1 に対する最大速度 Ve 、最大ヨーレート YVe 、最大加速度 Ae 、及び最大ヨーレート変化率 $Y Ae$ を決定する。このとき、環境制約 Le となる各運動物理量 Ve 、 YVe 、 Ae 、 $Y Ae$ は、それぞれ環境要因との相関を規定するようにメモリ 11 に記憶された、例えばマップ、テーブル、及び関数式等のうち少なくとも一種類に基づき取得されるとよい。

30

【0041】

速度調整ブロック 120 は、複数のサブ機能ブロックとして第一速度相関ブロック 121、第二速度相関ブロック 122、合成速度相関ブロック 123、及び速度制限ブロック 124 を有している。

40

【0042】

第一速度相関ブロック 121 は、最新の電力制約 Lw として最大速度 Vw と最大ヨーレート YVw とを、第一制約設定ブロック 111 から引き継ぐ。そこで、図 4 に右上がり斜めハッチングを付して示すように第一速度相関ブロック 121 は、電力制約 Lw の条件成立外となる速度及びヨーレートの相関範囲を、第一速度相関範囲 Cvw として設定する。このとき速度の正負は、走行停止を意味する零値を挟んで、前方への直進走行及び旋回走行をいずれも正とし、後方への直進走行及び旋回走行をいずれも負として定義されるが、逆に定義されてもよい。また一方でヨーレートの正負は、直進走行及び走行停止をいずれも意味する零値を挟んで、右方への旋回走行を正とし、左方への旋回走行を負として定義されるが、逆に定義されてもよい。

50

【 0 0 4 3 】

こうした定義下において第一速度相関ブロック 1 2 1 は、直進走行時の最大速度である直進最大速度 V_{mw} を、正負の最大速度 V_w に設定する。それと共に第一速度相関ブロック 1 2 1 は、旋回走行時の最大ヨーレートである旋回最大ヨーレート Y_{Vmw} を、正負の最大ヨーレート Y_{Vw} に設定する。これらの設定を前提に第一速度相関ブロック 1 2 1 は、速度の絶対値が直進最大速度 V_{mw} 以下、且つヨーレートの絶対値が旋回最大ヨーレート Y_{Vmw} 以下となる範囲を、第一速度相関範囲 C_{vw} として取得する。このとき、第一速度相関範囲 C_{vw} 内における速度及びヨーレートの相関点群のうち、電力制約 L_w の条件成立となる第一速度相関範囲 C_{vw} 外に対しての境界線（図 4 の輪郭線を参照）を構成する相関点群は、第一速度相関範囲 C_{vw} の限界点群を意味する。そこで、図 4 の例において第一速度相関範囲 C_{vw} の境界を構成する限界点群は、速度の絶対値が直進最大速度 V_{mw} から漸次減少するほど、ヨーレートの絶対値が旋回最大ヨーレート Y_{Vmw} まで漸次増大するように、想定されている。

10

【 0 0 4 4 】

図 3 に示す第二速度相関ブロック 1 2 2 は、最新の環境制約 L_e として最大速度 V_e と最大ヨーレート Y_{Ve} とを、第二制約設定ブロック 1 1 2 から引き継ぐ。そこで、図 5 に左上がり斜めハッチングを付して示すように第二速度相関ブロック 1 2 2 は、環境制約 L_e の条件成立外となる速度及びヨーレートの相関範囲を、第二速度相関範囲 C_{ve} として設定する。このとき速度の正負は、第一速度相関範囲 C_{vw} の場合と同様に定義される。

20

【 0 0 4 5 】

こうした定義下において第二速度相関ブロック 1 2 2 は、直進走行時の最大速度である直進最大速度 V_{me} を、正負の最大速度 V_e に設定する。それと共に第二速度相関ブロック 1 2 2 は、旋回走行時の最大ヨーレートである旋回最大ヨーレート Y_{Vme} を、正負の最大ヨーレート Y_{Ve} に設定する。これらの設定を前提に第二速度相関ブロック 1 2 2 は、速度の絶対値が直進最大速度 V_{me} 以下、且つヨーレートの絶対値が旋回最大ヨーレート Y_{Vme} 以下となる範囲を、第二速度相関範囲 C_{ve} として取得する。このとき、第二速度相関範囲 C_{ve} 内における速度及びヨーレートの相関点群のうち、環境制約 L_e の条件成立となる第二速度相関範囲 C_{ve} 外に対しての境界線（図 5 の輪郭線を参照）を構成する相関点群は、第二速度相関範囲 C_{ve} の限界点群を意味する。そこで、図 5 の例において第二速度相関範囲 C_{ve} の境界を構成する限界点群は、速度の絶対値が直進最大速度 V_{me} を保つと共に、ヨーレートの絶対値が旋回最大ヨーレート Y_{Vme} を保つように、想定されている。

30

【 0 0 4 6 】

図 3 に示す合成速度相関ブロック 1 2 3 は、最新の第一速度相関範囲 C_{vw} を第一速度相関ブロック 1 2 1 から引き継ぐ。それと共に合成速度相関ブロック 1 2 3 は、最新の第二速度相関範囲 C_{ve} を第二速度相関ブロック 1 2 2 から引き継ぐ。そこで、図 6 にクロスハッチングを付して示すように合成速度相関ブロック 1 2 3 は、第一速度相関範囲 C_{vw} と第二速度相関範囲 C_{ve} との相関点の積集合（即ち、共通集合 $C_{vw} \cap C_{ve}$ ）となる範囲を、それら相関範囲 C_{vw} , C_{ve} を合成した合成速度相関範囲 C_v として設定する。このとき特に本実施形態の合成速度相関範囲 C_v は、最小旋回半径での旋回走行時の最大速度である旋回最大速度 V_m を、第二速度相関範囲 C_{ve} での直進最大速度 V_{me} よりも小さく制限する範囲に、調整される。こうして決定される合成速度相関範囲 C_v は、電力制約 L_w と環境制約 L_e とを含む走行制約 L に対して、内部の相関点を条件成立外の許容対象とする一方、外部の相関点を条件成立の制限対象とすることになる。

40

【 0 0 4 7 】

図 3 に示す速度制限ブロック 1 2 4 は、最新の合成速度相関範囲 C_v を合成速度相関ブロック 1 2 3 から引き継ぐ。それと共に速度制限ブロック 1 2 4 は、最新の目標値として目標速度 V_t と目標ヨーレート Y_{Vt} とを、軌道追従制御ブロック 1 0 2 から引き継ぐ。そこで速度制限ブロック 1 2 4 は、自律走行ロボット 1 の実速度及び実ヨーレートを合成速度相関範囲 C_v 内に制御するように、目標速度 V_t 及び目標ヨーレート Y_{Vt} を調整す

50

る。

【 0 0 4 8 】

具体的に、図 7 に示すように目標速度 V_t 及び目標ヨーレート $Y V_t$ の相関点が合成速度相関範囲 C_v 内に存在することで、走行制約 L が条件成立外となる場合に速度制限ブロック 1 2 4 は、それら目標値 V_t , $Y V_t$ の各々をそのまま維持する。一方、図 8 に示すように目標速度 V_t 及び目標ヨーレート $Y V_t$ の相関点が合成速度相関範囲 C_v 外に存在することで、走行制約 L が条件成立となる場合に速度制限ブロック 1 2 4 は、それら目標値 V_t , $Y V_t$ の各々を低減調整する。このとき低減調整によって目標速度 V_t 及び目標ヨーレート $Y V_t$ は、互いに共通となる 1 未満の制限比率 R_v を乗算されることで、それぞれ合成速度相関範囲 C_v 内のうち限界点 P_v を与える値 V_l , $Y V_l$ にまで制限される。こうした制限による各目標値 V_t , $Y V_t$ の制限値 V_l , $Y V_l$ は、合成速度相関範囲 C_v の外部との境界線と、当該制限前における各目標値 V_t , $Y V_t$ の相関点から零点へと延ばした仮想線との、交点において限界点 P_v を構成することになる。

10

【 0 0 4 9 】

図 3 に示す加速度調整ブロック 1 3 0 は、複数のサブ機能ブロックとして第一加速度相関ブロック 1 3 1、第二加速度相関ブロック 1 3 2、合成加速度相関ブロック 1 3 3、後段目標設定ブロック 1 3 4、及び加速度制限ブロック 1 3 5 を有している。

【 0 0 5 0 】

第一加速度相関ブロック 1 3 1 は、最新の電力制約 L_w として最大加速度 A_w と最大ヨーレート変化率 $Y A_w$ とを、第一制約設定ブロック 1 1 1 から引き継ぐ。そこで、図 9 に右上がり斜めハッチングを付して示すように第一加速度相関ブロック 1 3 1 は、電力制約 L_w の条件成立外となる加速度及びヨーレート変化率の相関範囲を、第一加速度相関範囲 C_{a_w} として設定する。このとき加速度の正負は、走行停止を意味する零値を挟んで、前方への直進走行及び旋回走行をいずれも正とし、後方への直進走行及び旋回走行をいずれも負として定義されるが、逆に定義されてもよい。また一方でヨーレート変化率の正負は、直進走行及び走行停止をいずれも意味する零値を挟んで、右方への旋回走行を正とし、左方への旋回走行を負として定義されるが、逆に定義されてもよい。

20

【 0 0 5 1 】

こうした定義下において第一加速度相関ブロック 1 3 1 は、直進走行時の最大加速度である直進最大加速度 A_{m_w} を、正負の最大加速度 A_w に設定する。それと共に第一加速度相関ブロック 1 3 1 は、旋回走行時の最大ヨーレート変化率である旋回最大ヨーレート変化率 $Y A_{m_w}$ を、正負の最大ヨーレート変化率 $Y A_w$ に設定する。これらの設定を前提に第一加速度相関ブロック 1 3 1 は、加速度の絶対値が直進最大加速度 A_{m_w} 以下、且つヨーレート変化率の絶対値が旋回最大ヨーレート変化率 $Y A_{m_w}$ 以下となる範囲を、第一加速度相関範囲 C_{a_w} として取得する。このとき、第一加速度相関範囲 C_{a_w} 内における加速度及びヨーレート変化率の相関点群のうち、電力制約 L_w の条件成立となる第一加速度相関範囲 C_{a_w} 外に対しての境界線（図 9 の輪郭線を参照）を構成する相関点群は、第一加速度相関範囲 C_{a_w} の限界点群を意味する。そこで、図 9 の例において第一加速度相関範囲 C_{a_w} の境界を構成する限界点群は、加速度の絶対値が直進最大加速度 A_{m_w} から漸次減少するほど、ヨーレート変化率の絶対値が旋回最大ヨーレート変化率 $Y A_{m_w}$ まで漸次増大するように、想定されている。

30

40

【 0 0 5 2 】

図 3 に示す第二加速度相関ブロック 1 3 2 は、最新の環境制約 L_e として最大加速度 A_e と最大ヨーレート変化率 $Y A_e$ とを、第二制約設定ブロック 1 1 2 から引き継ぐ。そこで、図 1 0 に左上がり斜めハッチングを付して示すように第二加速度相関ブロック 1 3 2 は、環境制約 L_e の条件成立外となる加速度及びヨーレート変化率の相関範囲を、第二加速度相関範囲 C_{a_e} として設定する。このとき加速度の正負は、第一加速度相関範囲 C_{a_w} の場合と同様に定義される。

【 0 0 5 3 】

こうした定義下において第二加速度相関ブロック 1 3 2 は、直進走行時の最大加速度で

50

ある直進最大加速度 A_{me} を、正負の最大加速度 A_e に設定する。それと共に第二加速度
相関ブロック 132 は、旋回走行時の最大ヨーレート変化率である旋回最大ヨーレート変
化率 Y_{Ame} を、正負の最大ヨーレート変化率 Y_{Ae} に設定する。これらの設定を前提に
第二加速度相関ブロック 132 は、加速度の絶対値が直進最大加速度 A_{me} 以下、且つヨ
ーレート変化率の絶対値が旋回最大ヨーレート変化率 Y_{Ame} 以下となる範囲を、第二加
速度相関範囲 C_{ae} として取得する。このとき、第二加速度相関範囲 C_{ae} 内における加
速度及びヨーレート変化率の相関点群のうち、環境制約 L_e の条件成立となる第二加速度
相関範囲 C_{ae} 外に対しての境界線（図 10 の輪郭線を参照）を構成する相関点群は、第
二加速度相関範囲 C_{ae} の限界点群を意味する。そこで、図 10 の例において第二加速度
相関範囲 C_{ae} の境界を構成する限界点群は、加速度の絶対値が直進最大加速度 A_{me} を
保つと共に、ヨーレート変化率の絶対値が旋回最大ヨーレート変化率 Y_{Ame} を保つよう
に、想定されている。

10

【0054】

図 3 に示す合成加速度相関ブロック 133 は、最新の第一加速度相関範囲 C_{aw} を第一
加速度相関ブロック 131 から引き継ぐ。それと共に合成加速度相関ブロック 133 は、
最新の第二加速度相関範囲 C_{ae} を第二加速度相関ブロック 132 から引き継ぐ。そこで
、図 11 にクロスハッチングを付して示すように合成加速度相関ブロック 133 は、第一
加速度相関範囲 C_{aw} と第二加速度相関範囲 C_{ae} との相関点の積集合（即ち、共通集合
 $C_{aw} \cap C_{ae}$ ）となる範囲を、それら相関範囲 C_{aw} 、 C_{ae} を合成した合成加速度相
関範囲 C_a として設定する。このとき特に本実施形態の合成加速度相関範囲 C_a は、最小
旋回半径での旋回走行時の最大加速度である旋回最大加速度 A_m を、第二加速度相関範囲
 C_{ae} での直進最大加速度 A_{me} よりも小さく制限する範囲に、調整される。こうして決
定される合成加速度相関範囲 C_a は、電力制約 L_w と環境制約 L_e とを含む走行制約 L
に対して、内部の相関点を条件成立外の許容対象とする一方、外部の相関点を条件成立の制
限対象とすることになる。

20

【0055】

図 3 に示す後段目標設定ブロック 134 は、最新の目標値として目標速度 V_t と目標ヨ
ーレート Y_{Vt} とを、速度制限ブロック 124 から引き継ぐ。それと共に後段目標設定ブ
ロック 134 は、最新の今回制御周期に対して過去となる前回制御周期に指令調整ブロッ
ク 140 によって後述の如く変化率調整された目標速度 V_t 及び目標ヨーレート Y_{Vt} を
、メモリ 11 から取得する。そこで後段目標設定ブロック 134 は、最新及び過去の各目
標値 V_t 、 Y_{Vt} を値の種別毎に差分をとって時間微分することで、目標軌道 T_t に追従
するための最新の目標値として目標加速度 A_t 及び目標ヨーレート変化率 Y_{At} を設定す
る。

30

【0056】

加速度制限ブロック 135 は、最新の合成加速度相関範囲 C_a を合成加速度相関ブロッ
ク 133 から引き継ぐ。それと共に加速度制限ブロック 135 は、最新の目標値として目
標加速度 A_t と目標ヨーレート変化率 Y_{At} とを、後段目標設定ブロック 134 から引き
継ぐ。そこで加速度制限ブロック 135 は、自律走行ロボット 1 の実加速度及び実ヨー
レート変化率を合成加速度相関範囲 C_a 内に制御するように、上述の目標加速度 A_t 及び目
標ヨーレート変化率 Y_{At} をさらに調整する。

40

【0057】

具体的に、図 12 に示すように目標加速度 A_t 及び目標ヨーレート変化率 Y_{At} の相関
点が合成加速度相関範囲 C_a 内に存在することで、走行制約 L が条件成立外となる場合に
加速度制限ブロック 135 は、それら目標値 A_t 、 Y_{At} の各々をそのまま維持する。一
方、図 13 に示すように目標加速度 A_t 及び目標ヨーレート変化率 Y_{At} の相関点が合成
加速度相関範囲 C_a 外に存在することで、走行制約 L が条件成立となる場合に加速度制限
ブロック 135 は、それら目標値 A_t 、 Y_{At} の各々を低減調整する。このとき低減調整
によって目標加速度 A_t 及び目標ヨーレート変化率 Y_{At} は、互いに共通となる 1 未満の
制限比率 R_a を乗算されることで、それぞれ合成加速度相関範囲 C_a 内のうち限界点 P_a

50

を与える値 A_1 , $Y A_1$ にまで制限される。こうした制限による各目標値 A_t , $Y A_t$ の制限値 A_1 , $Y A_1$ は、合成加速度相関範囲 C_a の外部との境界線と、当該制限前における各目標値 A_t , $Y A_t$ の相関点から零点へと延ばした仮想線との、交点において限界点 P_a を構成することになる。

【 0 0 5 8 】

図 3 に示す指令調整ブロック 1 4 0 は、複数のサブ機能ブロックとして変化率調整ブロック 1 4 1、及び指令出力ブロック 1 4 2 を有している。

【 0 0 5 9 】

変化率調整ブロック 1 4 1 は、最新の目標速度 V_t 及び目標ヨーレート $Y V_t$ を、速度制限ブロック 1 2 4 から引き継ぐ。それと共に変化率調整ブロック 1 4 1 は、最新の目標加速度 A_t 及び目標ヨーレート変化率 $Y A_t$ を、加速度制限ブロック 1 3 5 から引き継ぐ。さらに変化率調整ブロック 1 4 1 は、最新の今回制御周期に対して過去となる前回制御周期に同ブロック 1 4 1 によって変化率調整された目標速度 V_t 及び目標ヨーレート $Y V_t$ を、メモリ 1 1 から取得する。そこで図 3 に示すように変化率調整ブロック 1 4 1 は、目標速度 V_t 及び目標ヨーレート $Y V_t$ を、それぞれ最新及び過去間での時間変化率が最新の目標加速度 A_t 及び目標ヨーレート変化率 $Y A_t$ と一致するように、再調整してメモリ 1 1 に記憶する。

【 0 0 6 0 】

ここで変化率調整ブロック 1 4 1 は、メモリ 1 1 からの過去目標値 V_t , $Y V_t$ の取得に変えて、最新の制限比率 R_a を加速度制限ブロック 1 3 5 から引き継いでよい。このとき、加速度制限ブロック 1 3 5 において目標加速度 A_t 及び目標ヨーレート変化率 $Y A_t$ が低減調整された場合には、値が 1 未満の制限比率 R_a を変化率調整ブロック 1 4 1 は引き継ぐことになる。また一方、加速度制限ブロック 1 3 5 において目標加速度 A_t 及び目標ヨーレート変化率 $Y A_t$ がそのまま維持された場合には、値が 1 の制限比率 R_a を変化率調整ブロック 1 4 1 は引き継ぐとよい。こうして制限比率 R_a を引き継いだ変化率調整ブロック 1 4 1 は、当該制限比率 R_a と最新の目標値 A_t , $Y A_t$ とに基づくことで、最新の目標値 V_t , $Y V_t$ をそれぞれ再調整可能である。

【 0 0 6 1 】

指令出力ブロック 1 4 2 は、変化率調整された最新の目標速度 V_t 及び目標ヨーレート $Y V_t$ を、変化率調整ブロック 1 4 1 から引き継ぐ。そこで指令出力ブロック 1 4 2 は、目標速度 V_t 及び目標ヨーレート $Y V_t$ に基づく次の式 1 , 2 を満たすように、右側駆動輪 3 0 の目標回転速度 R と左側駆動輪 3 0 の目標回転速度 L とをそれぞれ設定する。ここで数 1 , 2 において、 d は車体 2 の鉛直中心線から各駆動輪 3 0 までの距離であり、 r は各駆動輪 3 0 の半径である。以上により指令出力ブロック 1 4 2 は、各駆動輪 3 0 の目標回転速度 R , L を、それぞれ対応する側の電動アクチュエータ 5 に対する電流指令値へ変換してから、出力する。

【数 1】

$$\Phi R = (V_t + d \cdot Y V_t) / r$$

【数 2】

$$\Phi L = (V_t + d \cdot Y V_t) / r$$

【 0 0 6 2 】

ここまで説明したブロック 1 0 0 , 1 1 0 , 1 2 0 , 1 3 0 , 1 4 0 の共同により、制御システム 1 0 が自律走行ロボット 1 を制御する制御方法は、図 1 4 に示す制御フローに従って実行される。本制御フローは、自律走行ロボット 1 の起動中に制御周期に従って繰り返し実行される。尚、本制御フローにおける各「S」は、制御プログラムに含まれた複数命令によって実行される複数ステップを、それぞれ意味している。

【 0 0 6 3 】

S 1 0 1 において前段目標設定ブロック 1 0 0 は、自律走行ロボット 1 の目標軌道 T_t を目標軌道計画ブロック 1 0 1 により計画し、当該目標軌道 T_t に沿う実軌道に制御するための目標速度 V_t 及び目標ヨーレート $Y V_t$ を軌道追従制御ブロック 1 0 2 により設定する。S 1 0 1 と並行する S 1 0 2 において制約監視ブロック 1 1 0 は、走行制約 L としての電力制約 L_w 及び環境制約 L_e を、それぞれ第一及び第二制約設定ブロック 1 1 1 , 1 1 2 により監視する。

【 0 0 6 4 】

S 1 0 1 , S 1 0 2 に続く S 1 0 3 において速度調整ブロック 1 2 0 は、それぞれ第一及び第二速度相関ブロック 1 2 1 , 1 2 2 により取得した第一及び第二速度相関範囲 $C_v w$, $C_v e$ を、合成速度相関ブロック 1 2 3 により合成速度相関範囲 C_v へと合成する。S 1 0 3 に続く S 1 0 4 において速度調整ブロック 1 2 0 は、目標速度 V_t 及び目標ヨーレート $Y V_t$ の相関点を合成速度相関範囲 C_v 内に制御するように、それら目標値 V_t , $Y V_t$ を速度制限ブロック 1 2 4 により調整する。

【 0 0 6 5 】

S 1 0 4 に続く S 1 0 5 において加速度調整ブロック 1 3 0 は、それぞれ第一及び第二加速度相関ブロック 1 3 1 , 1 3 2 により取得した第一及び第二加速度相関範囲 $C_a w$, $C_a e$ を、合成加速度相関ブロック 1 3 3 により合成加速度相関範囲 C_a へと合成する。S 1 0 5 に続く S 1 0 6 において加速度調整ブロック 1 3 0 は、目標加速度 A_t 及び目標ヨーレート変化率 $Y A_t$ を、後段目標設定ブロック 1 3 4 により設定する。S 1 0 6 に続く S 1 0 7 において加速度調整ブロック 1 3 0 は、目標加速度 A_t 及び目標ヨーレート変化率 $Y A_t$ の相関点を合成加速度相関範囲 C_a 内に制御するように、それら目標値 A_t , $Y A_t$ を加速度制限ブロック 1 3 5 により調整する。

【 0 0 6 6 】

S 1 0 7 に続く S 1 0 8 において指令調整ブロック 1 4 0 は、変化率調整ブロック 1 4 1 により目標速度 V_t 及び目標ヨーレート Y_t を、目標加速度 A_t 及び目標ヨーレート変化率 $Y A_t$ に基づき再調整する。S 1 0 8 に続く S 1 0 9 において指令調整ブロック 1 4 0 は、指令出力ブロック 1 4 2 により目標速度 V_t 及び目標ヨーレート $Y V_t$ に従って設定した各駆動輪 3 0 の目標回転速度 R , L を、同ブロック 1 4 2 により各電動アクチュエータ 5 に対する電流指令値へと変換してから出力する。

【 0 0 6 7 】

(作用効果)

以上説明した本実施形態の作用効果を、以下に説明する。

【 0 0 6 8 】

本実施形態によると、バッテリー 4 の電力制約 L_w を含む走行制約 L が監視されることで、当該走行制約 L の条件成立に応じて最小旋回半径での旋回最大速度 V_m が直進最大速度 V_{me} よりも小さく制限される。これによれば電力制約 L_w が生じたとしても、自律走行ロボット 1 の実軌道が目標軌道 T_t に沿うように回転速度差を各駆動輪 3 0 に発生させつつ、旋回走行時には制限された速度を出力することができる。故にバッテリー 4 の電力供給状態に拘らず、自律走行ロボット 1 の軌道ずれを抑制することが可能となる。

【 0 0 6 9 】

本実施形態によると、走行制約 L の条件成立外となる速度及びヨーレートの相関範囲として、最小旋回半径での旋回最大速度 V_m が直進最大速度 V_{me} よりも小さくなる合成速度相関範囲 C_v 内に、自律走行ロボット 1 の実速度及び実ヨーレートが制御される。これによれば、合成速度相関範囲 C_v 内の実速度及び実ヨーレートによる実軌道が目標軌道 T_t に沿うように回転速度差を各駆動輪 3 0 に発生させつつ、旋回走行時には制限された速度を出力することができる。故に、自律走行ロボット 1 の軌道ずれを抑制する効果の信頼性を、確保することが可能となる。

【 0 0 7 0 】

本実施形態では自律走行ロボット 1 に対して、目標軌道 T_t に追従するための目標速度

10

20

30

40

50

V_t 及び目標ヨーレート Y_{V_t} が、設定される。そこで本実施形態によると、走行制約 L の条件成立となる合成速度相関範囲 C_v 外に外れた相関点の目標速度 V_t 及び目標ヨーレート Y_{V_t} は、合成速度相関範囲 C_v 内のうち限界点 P_v を与える値 V_l , Y_{V_l} にまで、共通の制限比率 R_v にて調整される。これによれば、目標速度 V_t と目標ヨーレート Y_{V_t} との相対比 V_t / Y_{V_t} が調整前後において実質維持されることで、合成速度相関範囲 C_v 内の実速度及び実ヨーレートによる自律走行ロボット 1 の到達位置は目標軌道 T_t に重なり得る。故に旋回走行時には、そうした実速度及び実ヨーレートによる実軌道が目標軌道 T_t に沿うように回転速度差を各駆動輪 30 に発生させつつ、制限された速度を出力することができる。したがって、自律走行ロボット 1 の軌道ずれを抑制する効果の信頼性を、高めることが可能である。

10

【0071】

本実施形態によると、バッテリー 4 の電力制約 L_w を含む走行制約 L が監視されることで、当該走行制約 L の条件成立に応じて最小旋回半径での旋回最大加速度 A_m が直進最大加速度 A_{me} よりも小さく制限される。これによれば電力制約 L_w が生じたとしても、自律走行ロボット 1 の実軌道が目標軌道 T_t に沿うように回転速度差を各駆動輪 30 に発生させつつ、旋回走行時には制限された加速度を出力することができる。故にバッテリー 4 の電力供給状態に拘らず、自律走行ロボット 1 の軌道ずれを抑制することが可能となる。

【0072】

本実施形態によると、走行制約 L の条件成立外となる加速度及びヨーレート変化率の相関範囲として、最小旋回半径での旋回最大加速度 A_m が直進最大加速度 A_{me} よりも小さくなる合成加速度相関範囲 C_a 内に、自律走行ロボット 1 の実加速度及び実ヨーレート変化率が制御される。これによれば、合成加速度相関範囲 C_a 内の実加速度及び実ヨーレート変化率による実軌道が目標軌道 T_t に沿うように回転速度差を各駆動輪 30 に発生させつつ、旋回走行時には制限された加速度を出力することができる。故に、自律走行ロボット 1 の軌道ずれを抑制する効果の信頼性を、確保することが可能となる。

20

【0073】

本実施形態では自律走行ロボット 1 に対して、目標軌道 T_t に追従するための目標加速度 A_t 及び目標ヨーレート変化率 Y_{A_t} が、設定される。そこで本実施形態によると、走行制約 L の条件成立となる合成加速度相関範囲 C_a 外に外れた相関点の目標加速度 A_t 及び目標ヨーレート変化率 Y_{A_t} は、合成加速度相関範囲 C_a 内のうち限界点 P_a を与える値 A_l , Y_{A_l} にまで、共通の制限比率 R_a にて調整される。これによれば、目標加速度 A_t と目標ヨーレート変化率 Y_{A_t} との相対比 A_t / Y_{A_t} が調整前後において実質維持されることで、合成加速度相関範囲 C_a 内の実加速度及び実ヨーレート変化率による自律走行ロボット 1 の到達位置は目標軌道 T_t に重なり得る。故に旋回走行時には、そうした実加速度及び実ヨーレート変化率による実軌道が目標軌道 T_t に沿うように回転速度差を各駆動輪 30 に発生させつつ、制限された加速度を出力することができる。したがって、自律走行ロボット 1 の軌道ずれを抑制する効果の信頼性を、高めることが可能である。

30

【0074】

本実施形態によると、バッテリー 4 の電力制約 L_w だけでなく、自律走行ロボット 1 の走行環境に依存する環境制約 L_e も含まれる走行制約 L が、監視される。これによれば、環境制約 L_e の条件成立が生じた場合にも、自律走行ロボット 1 の実軌道が目標軌道 T_t に沿うように回転速度差を各駆動輪 30 に発生させつつ、旋回走行時には制限された速度及び加速度を出力することができる。故に走行環境に拘らず、自律走行ロボット 1 の軌道ずれを抑制することも可能となる。

40

【0075】

(他の実施形態)

以上、一実施形態について説明したが、本開示は、当該説明の実施形態に限定して解釈されるものではなく、本開示の要旨を逸脱しない範囲内において種々の実施形態に適用することができる。

【0076】

50

変形例において制御システム 10 を構成する専用コンピュータは、デジタル回路及びアナログ回路のうち、少なくとも一方をプロセッサとして有していてもよい。ここでデジタル回路とは、例えば A S I C (Application Specific Integrated Circuit)、F P G A (Field Programmable Gate Array)、S O C (System on a Chip)、P G A (Programmable Gate Array)、及び C P L D (Complex Programmable Logic Device) 等のうち、少なくとも一種類である。またこうしたデジタル回路は、プログラムを記憶したメモリを、有していてもよい。

【0077】

図 15 に示すように変形例において第二制約設定ブロック 112 は、構築されなくてもよい。この場合の調整ブロック 120, 130 では、相関ブロック 122, 123, 132, 133 も構築されずに、制限ブロック 124, 135 において相関範囲 C_v , C_a に代わる相関範囲 C_{vw} , C_{aw} 内に目標値 V_t , $Y V_t$, A_t , $Y A_t$ が調整されるとよい。またこの場合に相関範囲 C_{vw} , C_{aw} は、最小旋回半径での旋回最大速度 V_m 及び旋回最大加速度 A_m を、それぞれ直進最大速度 V_{mw} 及び直進最大加速度 A_{mw} よりも小さく制限する範囲に、調整されるとよい。ここで最小旋回半径での旋回走行時には、片側の駆動輪 30 が正負の一方に最大回転速度で制御されるのに対し、逆側の駆動輪 30 が正負の他方に最大回転速度で制御されることで、自律走行ロボット 1 の重心位置が実質保持されて、当該最小旋回半径と旋回最大速度 V_m と旋回最大加速度 A_m とのいずれも実質零値となる。さらにこれらの変形点に応じて、制御フローが変更されるとよい。

【0078】

図 16 に示すように変形例において速度調整ブロック 120 は、構築されなくてもよい。この場合の加速度調整ブロック 130 では、後段目標設定ブロック 134 において軌道追従制御ブロック 102 からの目標値 V_t , $Y V_t$ を用いた時間微分により、最新の目標加速度 A_t 及び目標ヨーレート変化率 $Y A_t$ が設定されるとよい。またこの場合の指令調整ブロック 140 では、変化率調整ブロック 141 において軌道追従制御ブロック 102 からの目標値 V_t , $Y V_t$ が、再調整されるとよい。さらにこれらの変形点に応じて、制御フローが変更されるとよい。

【0079】

図 17 に示すように変形例において加速度調整ブロック 130 は、構築されなくてもよい。この場合の指令調整ブロック 140 では、変化率調整ブロック 141 も構築されずに、指令出力ブロック 142 において速度制限ブロック 124 からの目標値 V_t , $Y V_t$ に従って目標回転速度 R , L が設定されるとよい。またこれらの変形点に応じて、制御フローが変更されるとよい。

【0080】

ここまでの説明形態の他に上述の実施形態及び変形例は、自律走行ロボット 1 に搭載可能に構成されてプロセッサ 12 及びメモリ 11 を少なくとも一つずつ有する制御装置として、処理回路（例えば処理 ECU 等）又は半導体装置（例えば半導体チップ等）の形態で実施されてもよい。

【符号の説明】

【0081】

1：自律走行ロボット、4：バッテリー、5：電動アクチュエータ、10：制御システム、11：メモリ、12：プロセッサ、30：駆動輪、 A_l , $Y A_l$, V_l , $Y V_l$ ：制限値、 A_m ：旋回最大加速度、 A_{me} , A_{mw} ：直進最大加速度、 A_t ：目標加速度、 C_a ：加速度相関範囲、 C_v ：速度相関範囲、 L ：走行制約、 L_e ：環境制約、 L_w ：電力制約、 P_a , P_v ：限界点、 R_a , R_v ：制限比率、 T_t ：目標軌道、 V_m ：旋回最大速度、 V_{me} , V_{mw} ：直進最大速度、 V_t ：目標速度、 $Y A_t$ ：目標ヨーレート変化率、 $Y V_t$ ：目標ヨーレート

10

20

30

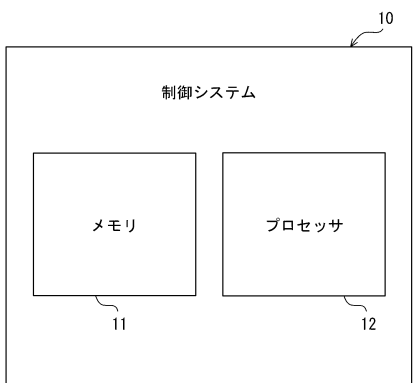
40

50

【図面】

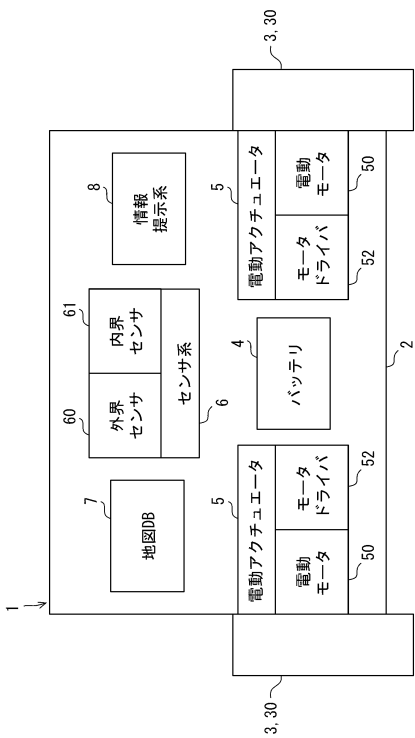
【図 1】

図1



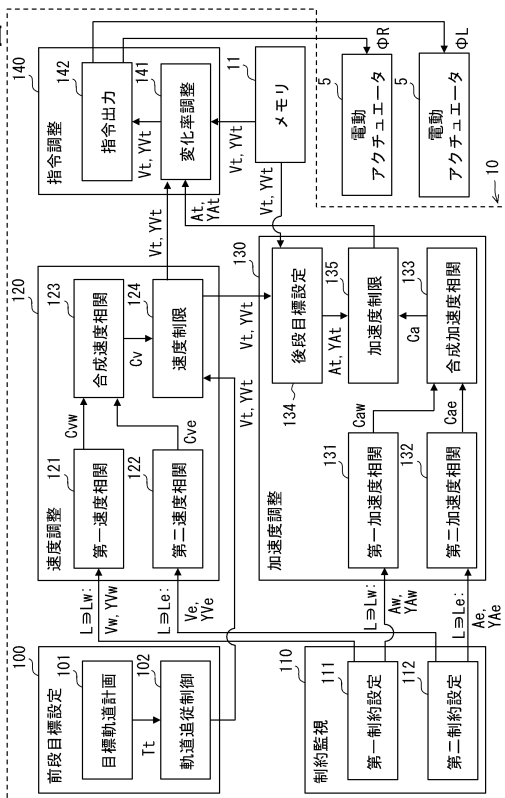
【図 2】

図2



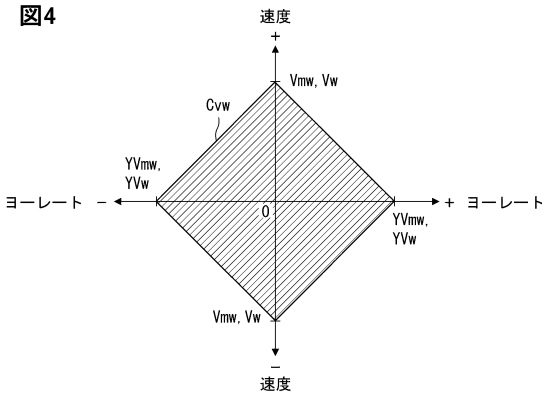
【図 3】

図3



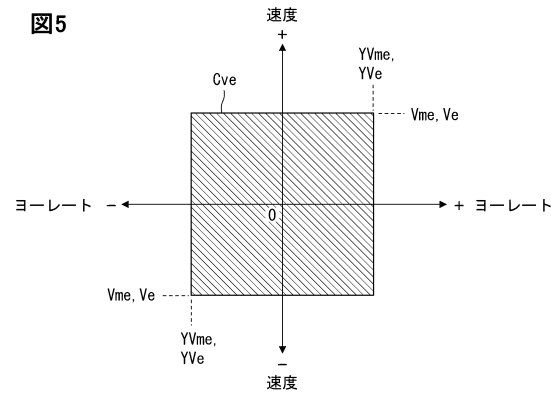
【図 4】

図4



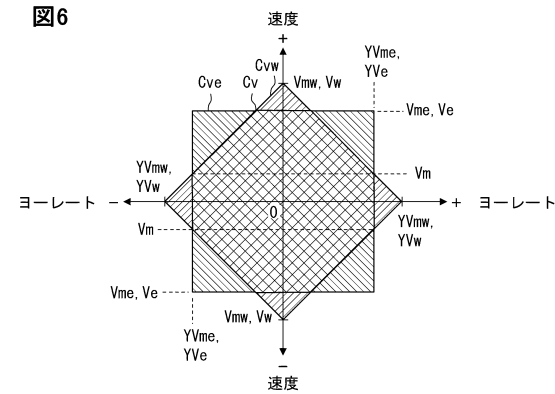
【図 5】

図5



【図 6】

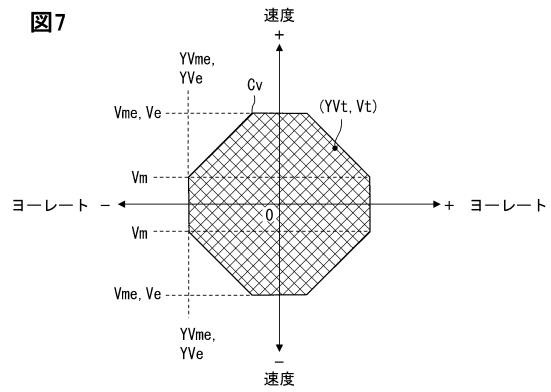
図6



10

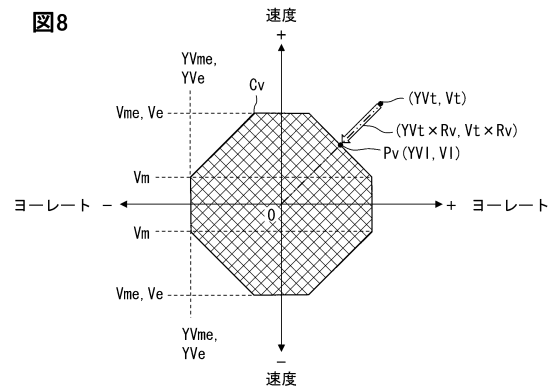
【図 7】

図7



【図 8】

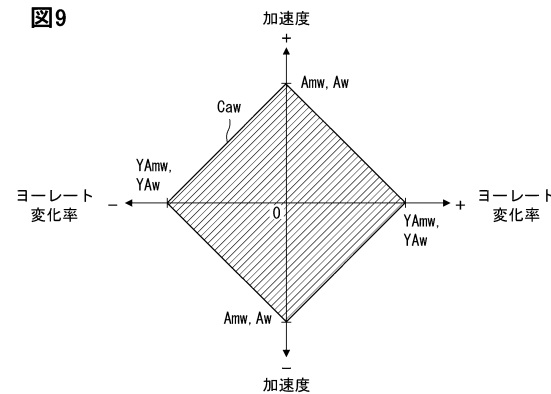
図8



20

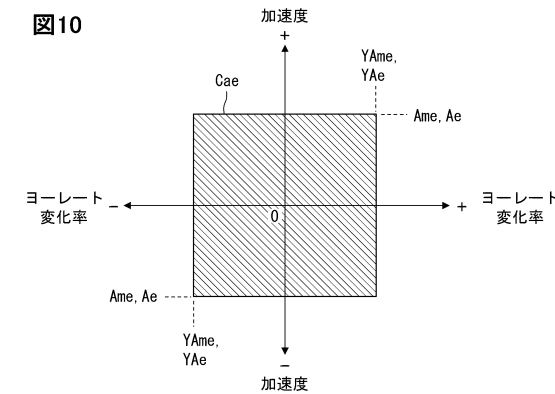
【図 9】

図9



【図 10】

図10



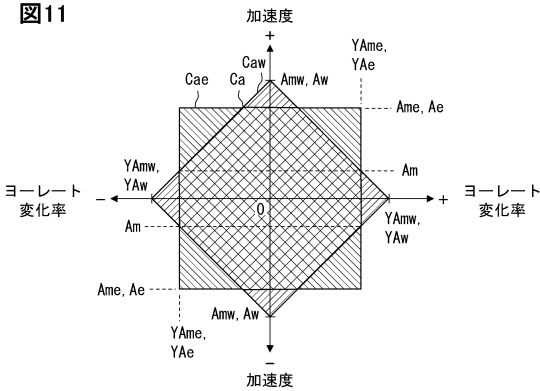
30

40

50

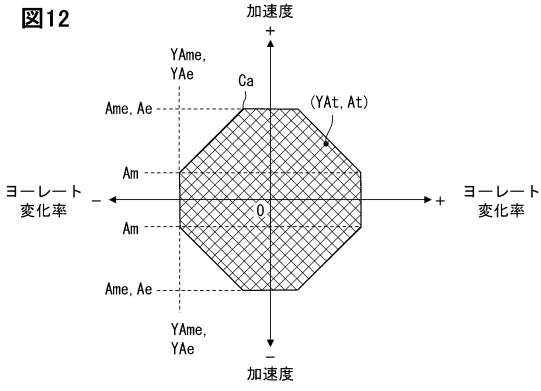
【図 1 1】

図11



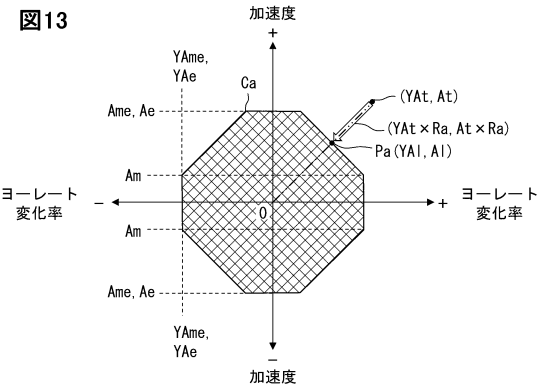
【図 1 2】

図12



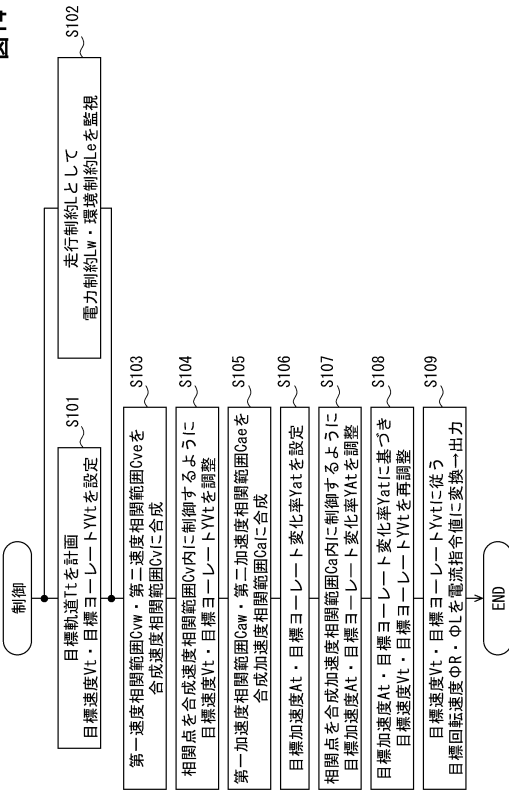
【図 1 3】

図13



【図 1 4】

図14



10

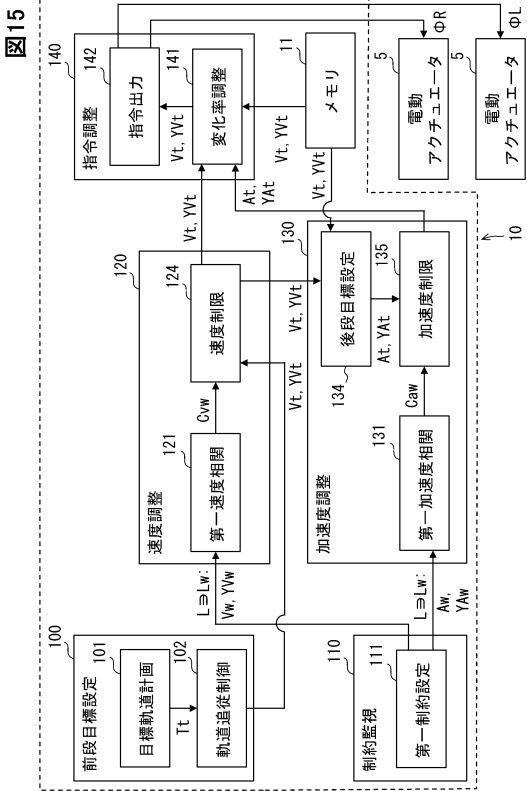
20

30

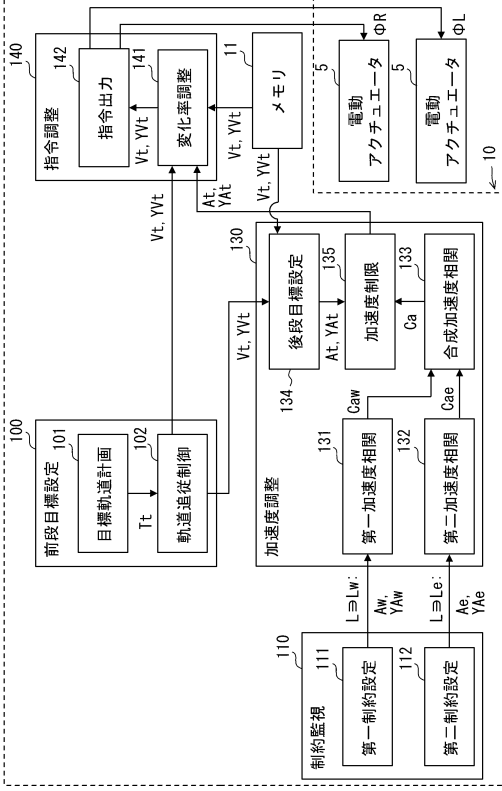
40

50

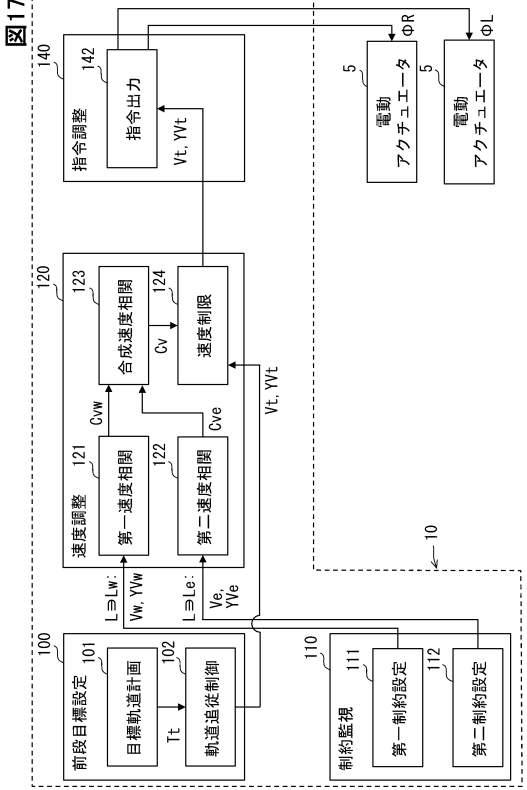
【図 15】



【図 16】



【図 17】



フロントページの続き

(56)参考文献 特開 2 0 0 8 - 1 2 9 6 9 5 (J P , A)
 特開 2 0 1 7 - 1 9 2 6 5 (J P , A)
 特開 2 0 1 0 - 5 8 6 0 4 (J P , A)
 特開 2 0 1 6 - 1 8 6 7 5 1 (J P , A)
(58)調査した分野 (Int.Cl. , D B 名)
 G 0 5 D 1 / 0 0 - 1 / 8 7