

(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

G 05 D	1/65 (2024.01)	G 05 D	1/65
G 05 D	1/83 (2024.01)	G 05 D	1/83
G 05 D	1/43 (2024.01)	G 05 D	1/43

F I

請求項の数 12 (全23頁)

(21)出願番号	特願2021-207404(P2021-207404)
(22)出願日	令和3年12月21日(2021.12.21)
(65)公開番号	特開2023-92266(P2023-92266A)
(43)公開日	令和5年7月3日(2023.7.3)
審査請求日	令和5年9月13日(2023.9.13)

(73)特許権者	000004260 株式会社デンソー 愛知県刈谷市昭和町1丁目1番地
(74)代理人	矢作 和行 100121991
(74)代理人	弁理士 野々部 泰平 100145595
(74)代理人	弁理士 久保 貴則 青木 崇
(72)発明者	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(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実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、

10

20

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（ $V_1$ ,  $Y_1$ ）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（ $A_m e$ ,  $A_m w$ ）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（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<sub>t</sub>）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、

前記バッテリの電力制約（L<sub>w</sub>）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（ $A_m e$ ,  $A_m w$ ）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、

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<sub>a</sub>, C<sub>a w</sub>）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<sub>t</sub>）及び目標ヨーレート変化率（Y<sub>A t</sub>）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（ $A_1$ ,  $Y_{A 1}$ ）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<sub>e</sub>）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。

40

**【請求項 7】**

プロセッサ（12）を有し、バッテリ（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<sub>t</sub>）に沿って制御する制御装置であって、

前記プロセッサは、

前記バッテリの電力制約（L<sub>w</sub>）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<sub>m</sub>）を、前記直進走行時の最大速度である直進最大速度（V<sub>m e</sub>, V<sub>m w</sub>）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、

50

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<sub>v</sub>, C<sub>v w</sub>) 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 (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<sub>t</sub>) に沿って制御する制御装置であって、

前記プロセッサは、

前記バッテリの電力制約 (L<sub>w</sub>) 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<sub>m</sub>) 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<sub>m e</sub>, A<sub>m w</sub>) 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<sub>a</sub>, C<sub>a w</sub>) 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 (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<sub>t</sub>) 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、

前記バッテリの電力制約 (L<sub>w</sub>) 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<sub>m</sub>) を、前記直進走行時の最大速度である直進最大速度 (V<sub>m e</sub>, V<sub>m w</sub>) よりも小さく制限することとを、含み、

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<sub>v</sub>, C<sub>v w</sub>) 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 (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<sub>t</sub>) 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、

前記バッテリの電力制約 (L<sub>w</sub>) 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<sub>m</sub>) 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<sub>m e</sub>, A<sub>m w</sub>) よりも小さく制限することとを、含み、

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<sub>a</sub>, C<sub>a w</sub>) 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 (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<sub>t</sub>) 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 (  $V_{m_e}$  ,  $V_{m_w}$  ) 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 ( 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 (  $A_{m_e}$  ,  $A_{mw}$  ) 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(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, CvW)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(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, CvW)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(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、含み、

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, CvW)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。

【0010】

本開示の第四態様は、

バッテリ(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、

命令は、

バッテリの電力制約(Lw)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(Vm)を、直進走行時の最大速度である直進最大速度(Vme, Vmw)よりも小さく制限させることとを、含み、

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, CvW)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。

【0011】

これら第一～第四態様によると、バッテリ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。

【0012】

本開示の第五態様は、

プロセッサ(12)を有し、バッテリ(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加速度である旋回最大加速度(Am)を、直進走行時の最大加速度である直進最大加速度(Ame, Amw)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(Ca, CaW)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。

【0013】

本開示の第六態様は、

プロセッサ(12)を有し、バッテリ(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加速度である旋回最大加速度(Am)を、直進走行時の最大加速度である直進最大加速度(Ame, Amw)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<sub>a</sub>, C<sub>a w</sub>) 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 (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<sub>t</sub>) 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、

バッテリの電力制約 (L<sub>w</sub>) 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<sub>m</sub>) を、直進走行時の最大加速度である直進最大加速度 (A<sub>m e</sub>, A<sub>m w</sub>) よりも小さく制限することとを、含み、

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<sub>a</sub>, C<sub>a w</sub>) 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 (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<sub>t</sub>) 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、

命令は、

バッテリの電力制約 (L<sub>w</sub>) 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<sub>m</sub>) を、直進走行時の最大加速度である直進最大加速度 (A<sub>m e</sub>, A<sub>m w</sub>) よりも小さく制限させることとを、含み、

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<sub>a</sub>, C<sub>a w</sub>) 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。

#### 【0016】

これら第五～第八態様によると、バッテリ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】

#### 【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。

10

20

30

40

50

【図10】一実施形態による第二加速度相關ブロックを説明するためのグラフである。  
 【図11】一実施形態による合成加速度相關ブロックを説明するためのグラフである。  
 【図12】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13】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14】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15】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16】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17】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。

10

【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。

20

【0020】

自律走行ロボット1は、車体2、車輪3、バッテリ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。

30

【0022】

バッテリ4は、車体2内に搭載されている。バッテリ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。

40

【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

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、L i D A R (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。

10

【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G N S S (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G N S S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V 2 X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D S R C (Dedicated Short Range Communications)通信機、セルラV 2 X (C-V2X)通信機、ブルートゥース(Bluetooth:登録商標)機器、Wi - F i (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。

20

【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】

30

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】

40

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

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 10 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 10 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 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 に接続されている。

10

#### 【 0 0 3 2 】

図 1 の制御システム 10 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 10 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 10 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 10 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 10 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 10 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 10 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 60 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 10 を構成する専用コンピュータは、メモリ 11 及びプロセッサ 12 を、少なくとも一つずつ有している。メモリ 11 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 12 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 10 においてプロセッサ 12 は、自律走行ロボット 1 を制御するためにメモリ 11 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 10 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 10 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 100、制約監視ブロック 110、速度調整ブロック 120、加速度調整ブロック 130、及び指令調整ブロック 140 が含まれている。

40

#### 【 0 0 3 5 】

前段目標設定ブロック 100 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 101、及び軌道追従制御ブロック 102 を有している。

#### 【 0 0 3 6 】

目標軌道計画ブロック 101 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 101 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 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 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  $L_w$  と設定して監視する。ここで電力制約  $L_w$  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  $V_w$ 、最大ヨーレート  $YV_w$ 、最大加速度  $A_w$ 、及び最大ヨーレート変化率  $YA_w$  を決定する。このとき電力制約  $L_w$  となる各運動物理量  $V_w$ ,  $YV_w$ ,  $A_w$ ,  $YA_w$  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  $L_e$  と設定して監視する。ここで環境制約  $L_e$  とは、自律走行ロボット 1 の運用される走行環境に関する、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  $L_e$  として第二制約設定ブロック 112 は、電力制約  $L_w$  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  $V_e$ 、最大ヨーレート  $YV_e$ 、最大加速度  $A_e$ 、及び最大ヨーレート変化率  $YA_e$  を決定する。このとき、環境制約  $L_e$  となる各運動物理量  $V_e$ ,  $YV_e$ ,  $A_e$ ,  $YA_e$  は、それぞれ環境要因との相関を規定するようメモリ 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  $L_w$  として最大速度  $V_w$  と最大ヨーレート  $YV_w$  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  $L_w$  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  $C_{Vw}$  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

## 【0043】

こうした定義下において第一速度相關ブロック121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關ブロック121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關ブロック121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、第一速度相關範囲 $C_{vw}$ として取得する。このとき、第一速度相關範囲 $C_{vw}$ 内における速度及びヨーレートの相關点群のうち、電力制約 $L_w$ の条件成立となる第一速度相關範囲 $C_{vw}$ 外に対しての境界線（図4の輪郭線を参照）を構成する相關点群は、第一速度相關範囲 $C_{vw}$ 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關範囲 $C_{vw}$ 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。

## 【0044】

図3に示す第二速度相關ブロック122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112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關ブロック122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關範囲を、第二速度相關範囲 $C_{ve}$ として設定する。このとき速度の正負は、第一速度相關範囲 $C_{vw}$ の場合と同様に定義される。

## 【0045】

こうした定義下において第二速度相關ブロック122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關ブロック122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 $Y_{Vm_e}$ 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關ブロック122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 $Y_{Vm_e}$ 以下となる範囲を、第二速度相關範囲 $C_{ve}$ として取得する。このとき、第二速度相關範囲 $C_{ve}$ 内における速度及びヨーレートの相關点群のうち、環境制約 $L_e$ の条件成立となる第二速度相關範囲 $C_{ve}$ 外に対しての境界線（図5の輪郭線を参照）を構成する相關点群は、第二速度相關範囲 $C_{ve}$ 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關範囲 $C_{ve}$ 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 $Y_{Vm_e}$ を保つように、想定されている。

## 【0046】

図3に示す合成速度相關ブロック123は、最新の第一速度相關範囲 $C_{vw}$ を第一速度相關ブロック121から引き継ぐ。それと共に合成速度相關ブロック123は、最新の第二速度相關範囲 $C_{ve}$ を第二速度相關ブロック122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關ブロック123は、第一速度相關範囲 $C_{vw}$ と第二速度相關範囲 $C_{ve}$ との相關点の積集合（即ち、共通集合 $C_{vw} \cap C_{ve}$ ）となる範囲を、それら相關範囲 $C_{vw}$ 、 $C_{ve}$ を合成した合成速度相關範囲 $C_v$ として設定する。このとき特に本実施形態の合成速度相關範囲 $C_v$ 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、第二速度相關範囲 $C_{ve}$ 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關範囲 $C_v$ 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、内部の相關点を条件成立外の許容対象とする一方、外部の相關点を条件成立の制限対象とすることになる。

## 【0047】

図3に示す速度制限ブロック124は、最新の合成速度相關範囲 $C_v$ を合成速度相關ブロック123から引き継ぐ。それと共に速度制限ブロック124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102から引き継ぐ。そこで速度制限ブロック124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關範囲 $C_v$ 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

10

20

30

40

50

る。

#### 【0048】

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 $YV_t$ 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124は、それら目標値 $V_t$ 、 $YV_t$ 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 $YV_t$ 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124は、それら目標値 $V_t$ 、 $YV_t$ 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 $YV_t$ 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 $V_1$ 、 $YV_1$ にまで制限される。こうした制限による各目標値 $V_t$ 、 $YV_t$ の制限値 $V_1$ 、 $YV_1$ 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 $V_t$ 、 $YV_t$ 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。

#### 【0049】

図3に示す加速度調整ブロック130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131、第二加速度相関ブロック132、合成加速度相関ブロック133、後段目標設定ブロック134、及び加速度制限ブロック135を有している。

#### 【0050】

第一加速度相関ブロック131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 $YA_w$ とを、第一制約設定ブロック111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131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 $C_{aw}$ 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。

#### 【0051】

こうした定義下において第一加速度相関ブロック131は、直進走行時の最大加速度である直進最大加速度 $A_{mw}$ 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131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 $YA_{mw}$ を、正負の最大ヨーレート変化率 $YA_w$ 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131は、加速度の絶対値が直進最大加速度 $A_{mw}$ 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 $YA_{mw}$ 以下となる範囲を、第一加速度相関範囲 $C_{aw}$ として取得する。このとき、第一加速度相関範囲 $C_{aw}$ 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 $C_{aw}$ 外に對しての境界線（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 $C_{aw}$ 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 $C_{aw}$ 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 $A_{mw}$ 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 $YA_{mw}$ まで漸次増大するように、想定されている。

#### 【0052】

図3に示す第二加速度相関ブロック132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 $YA_e$ とを、第二制約設定ブロック112から引き継ぐ。そこで、図10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132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 $C_{ae}$ 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 $C_{aw}$ の場合と同様に定義される。

#### 【0053】

こうした定義下において第二加速度相関ブロック132は、直進走行時の最大加速度で

10

20

30

40

50

ある直進最大加速度  $A_{m e}$  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  $Y_{A m e}$  を、正負の最大ヨーレート変化率  $Y_{A e}$  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  $A_{m e}$  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  $Y_{A m e}$  以下となる範囲を、第二加速度相関範囲  $C_{a e}$  として取得する。このとき、第二加速度相関範囲  $C_{a e}$  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  $C_{a e}$  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  $C_{a e}$  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  $C_{a e}$  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  $A_{m e}$  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  $Y_{A m e}$  を保つよう 10 に、想定されている。

#### 【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  $C_{a w}$  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  $C_{a e}$  を第二加速度相関ブロック 132 から引き継ぐ。そこで、図 11 にクロスハッティ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  $C_{a w}$  と第二加速度相関範囲  $C_{a e}$  との相関点の積集合（即ち、共通集合  $C_{a w} \cap C_{a e}$ ）となる範囲を、それら相関範囲  $C_{a w}, C_{a e}$  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  $C_{a e}$  での直進最大加速度  $A_{m e}$  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  $Y_{V t}$  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  $Y_{V t}$  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  $V_t, Y_{V t}$  を値の種別毎に差分をと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  $Y_{A t}$  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  $A_t$  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 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  $Y_{A t}$  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  $Y_{A t}$  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  $A_t, Y_{A t}$  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  $Y_{A t}$  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  $A_t, Y_{A t}$  の各々を低減調整する。このとき低減調整によって目標加速度  $A_t$  及び目標ヨーレート変化率  $Y_{A t}$  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  $A_{11}$ ,  $Y_{A11}$  にまで制限される。こうした制限による各目標値  $A_t$ ,  $Y_{At}$  の制限値  $A_{11}$ ,  $Y_{A11}$  は、合成加速度相關範囲  $C_a$  の外部との境界線と、当該制限前における各目標値  $A_t$ ,  $Y_{At}$  の相關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。

【0058】

図3に示す指令調整ブロック140は、複数のサブ機能ブロックとして変化率調整ブロック141、及び指令出力ブロック142を有している。

【0059】

変化率調整ブロック141は、最新の目標速度  $V_t$  及び目標ヨーレート  $Y_{Vt}$  を、速度制限ブロック124から引き継ぐ。それと共に変化率調整ブロック141は、最新の目標加速度  $A_t$  及び目標ヨーレート変化率  $Y_{At}$  を、加速度制限ブロック135から引き継ぐ。さらに変化率調整ブロック141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141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  $Y_{Vt}$  を、メモリ11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141は、目標速度  $V_t$  及び目標ヨーレート  $Y_{Vt}$  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  $Y_{At}$  と一致するように、再調整してメモリ11に記憶する。

10

【0060】

ここで変化率調整ブロック141は、メモリ11からの過去目標値  $V_t$ ,  $Y_{Vt}$  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135から引き継いでよい。このとき、加速度制限ブロック135において目標加速度  $A_t$  及び目標ヨーレート変化率  $Y_{At}$  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141は引き継ぐことになる。また一方、加速度制限ブロック135において目標加速度  $A_t$  及び目標ヨーレート変化率  $Y_{At}$  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141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141は、当該制限比率  $R_a$  と最新の目標値  $A_t$ ,  $Y_{At}$  とに基づくことで、最新の目標値  $V_t$ ,  $Y_{Vt}$  をそれぞれ再調整可能である。

20

【0061】

指令出力ブロック142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  $Y_{Vt}$  を、変化率調整ブロック141から引き継ぐ。そこで指令出力ブロック142は、目標速度  $V_t$  及び目標ヨーレート  $Y_{Vt}$  に基づく次の式1, 2を満たすように、右側駆動輪30の目標回転速度  $R$  と左側駆動輪30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30までの距離であり、 $r$  は各駆動輪30の半径である。以上により指令出力ブロック142は、各駆動輪30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。

30

【数1】

$$\Phi R = (Vt + d \cdot YVt)/r$$

40

【数2】

$$\Phi L = (Vt + d \cdot YVt)/r$$

【0062】

ここまで説明したブロック100, 110, 120, 130, 140の共同により、制御システム10が自律走行ロボット1を制御する制御方法は、図14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。

50

## 【0063】

S101において前段目標設定ブロック100は、自律走行口ボット1の目標軌道 $T_t$ を目標軌道計画ブロック101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 $YV_t$ を軌道追従制御ブロック102により設定する。S101と並行するS102において制約監視ブロック110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111, 112により監視する。

## 【0064】

S101, S102に続くS103において速度調整ブロック120は、それぞれ第一及び第二速度相関ブロック121, 122により取得した第一及び第二速度相関範囲 $C_vw$ ,  $C_ve$ を、合成速度相関ブロック123により合成速度相関範囲 $C_v$ へと合成する。S103に続くS104において速度調整ブロック120は、目標速度 $V_t$ 及び目標ヨーレート $YV_t$ 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 $V_t$ ,  $YV_t$ を速度制限ブロック124により調整する。

10

## 【0065】

S104に続くS105において加速度調整ブロック130は、それぞれ第一及び第二加速度相関ブロック131, 132により取得した第一及び第二加速度相関範囲 $C_aw$ ,  $C_ae$ を、合成加速度相関ブロック133により合成加速度相関範囲 $C_a$ へと合成する。S105に続くS106において加速度調整ブロック130は、目標加速度 $A_t$ 及び目標ヨーレート変化率 $YA_t$ を、後段目標設定ブロック134により設定する。S106に続くS107において加速度調整ブロック130は、目標加速度 $A_t$ 及び目標ヨーレート変化率 $YA_t$ 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 $A_t$ ,  $YA_t$ を加速度制限ブロック135により調整する。

20

## 【0066】

S107に続くS108において指令調整ブロック140は、変化率調整ブロック141により目標速度 $V_t$ 及び目標ヨーレート $Yt$ を、目標加速度 $A_t$ 及び目標ヨーレート変化率 $YA_t$ に基づき再調整する。S108に続くS109において指令調整ブロック140は、指令出力ブロック142により目標速度 $V_t$ 及び目標ヨーレート $YV_t$ に従って設定した各駆動輪30の目標回転速度 $R$ ,  $L$ を、同ブロック142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。

30

## 【0067】

## (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。

## 【0068】

本実施形態によると、バッテリ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、自律走行口ボット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を出力することができる。故にバッテリ4の電力供給状態に拘らず、自律走行口ボット1の軌道ずれを抑制することが可能となる。

40

## 【0069】

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、自律走行口ボット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30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、自律走行口ボット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。

## 【0070】

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

50

$V_t$  及び目標ヨーレート  $YV_t$  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  $YV_t$  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  $V_1, YV_1$  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  $YV_t$  との相対比  $V_t / YV_t$  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、高めることができる。

10

#### 【 0 0 7 1 】

本実施形態によると、バッテリ 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 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。

20

#### 【 0 0 7 2 】

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。

#### 【 0 0 7 3 】

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  $YA_t$  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  $YA_t$  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  $A_1, YA_1$  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  $YA_t$  との相対比  $A_t / YA_t$  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、高めることができる。

30

#### 【 0 0 7 4 】

本実施形態によると、バッテリ 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

#### 【 0 0 7 5 】

##### （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。

#### 【 0 0 7 6 】

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。

#### 【 0 0 7 7 】

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、相關ブロック 122, 123, 132, 133 も構築されずに、制限ブロック 124, 135 において相關範囲  $C_v$ ,  $C_a$  に代わる相關範囲  $C_{vw}$ ,  $C_{aw}$  内に目標値  $V_t$ ,  $YV_t$ ,  $At$ ,  $YAt$  が調整されるとよい。またこの場合に相關範囲  $C_{vw}$ ,  $C_{aw}$  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。

#### 【 0 0 7 8 】

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  $V_t$ ,  $YV_t$  を用いた時間微分により、最新の目標加速度  $At$  及び目標ヨーレート変化率  $YAt$  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  $V_t$ ,  $YV_t$  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。

#### 【 0 0 7 9 】

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  $V_t$ ,  $YV_t$  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。

#### 【 0 0 8 0 】

ここまで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 E C U 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 】

#### 【 0 0 8 1 】

1 : 自律走行ロボット、4 : バッテリ、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、 $A_l$ ,  $YAl$ ,  $V_l$ ,  $YV_l$  : 制限値、 $A_m$  : 旋回最大加速度、 $A_{me}$ ,  $A_{mw}$  : 直進最大加速度、 $At$  : 目標加速度、 $C_a$  : 加速度相關範囲、 $C_v$  : 速度相關範囲、 $L$  : 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、 $YAt$  : 目標ヨーレート変化率、 $YV_t$  : 目標ヨーレート

10

20

30

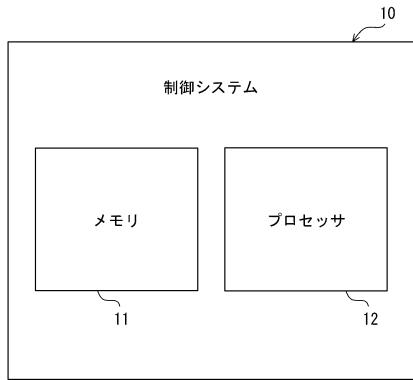
40

50

## 【図面】

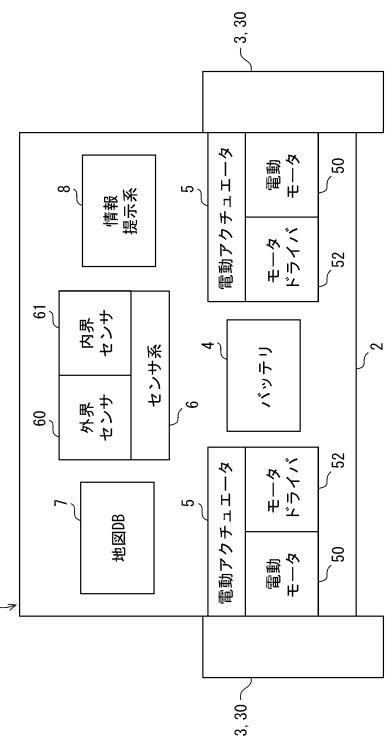
## 【図1】

図1



## 【図2】

図2



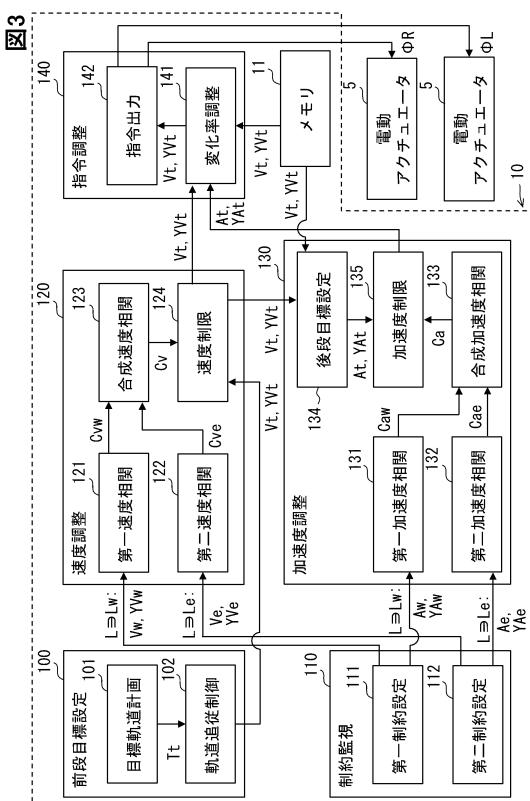
10

20

30

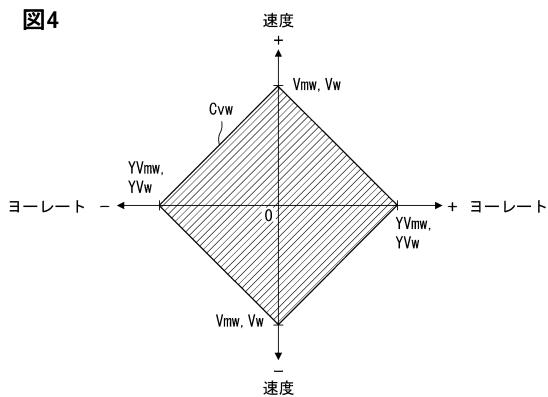
40

## 【図3】



## 【図4】

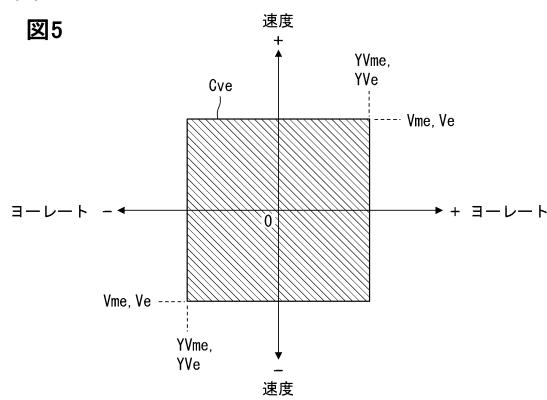
図4



50

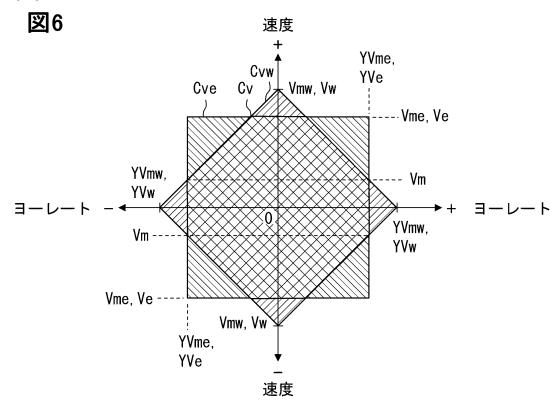
【図5】

図5



【図6】

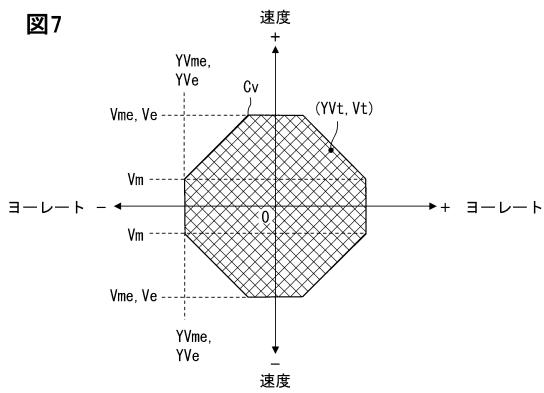
図6



10

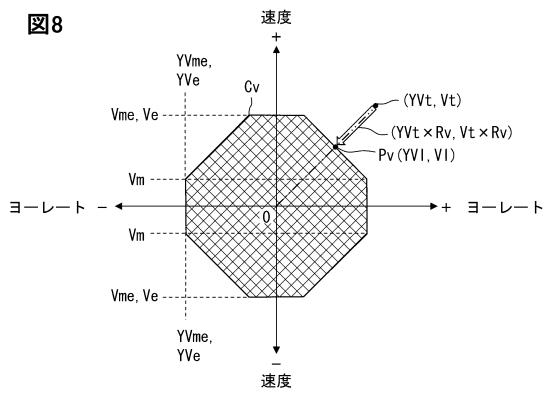
【図7】

図7



【図8】

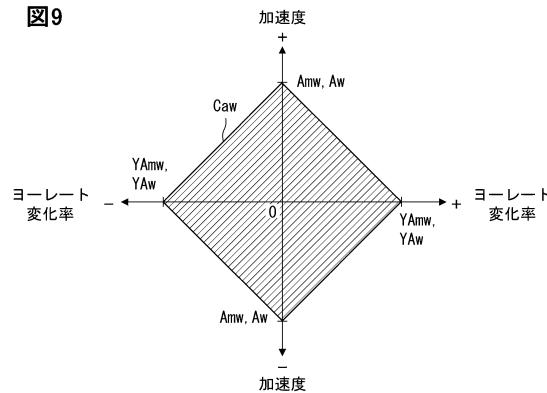
図8



20

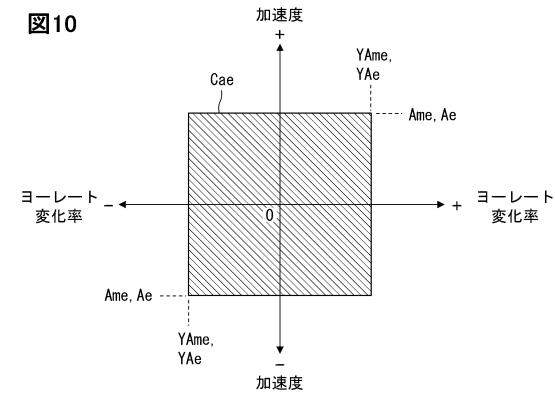
【図9】

図9



【図10】

図10



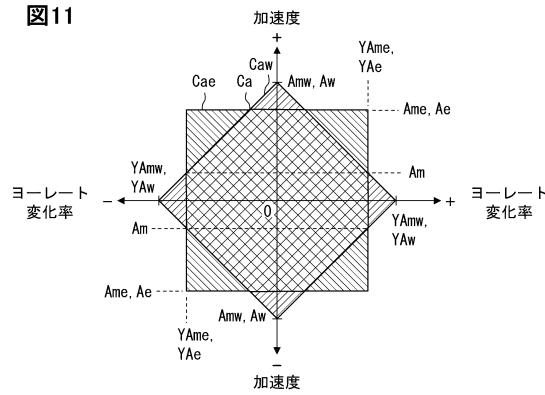
30

40

50

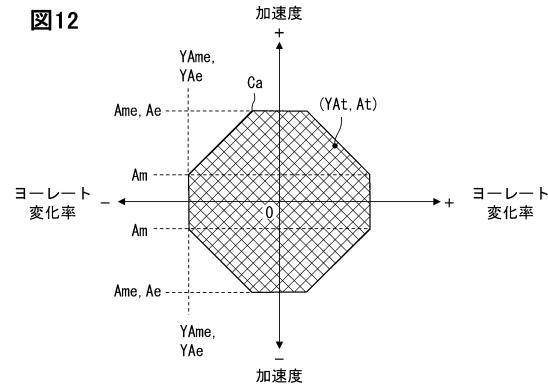
【図 1 1】

図11



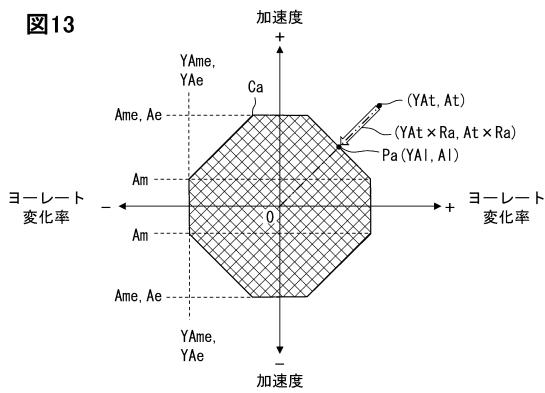
【図 1 2】

図12



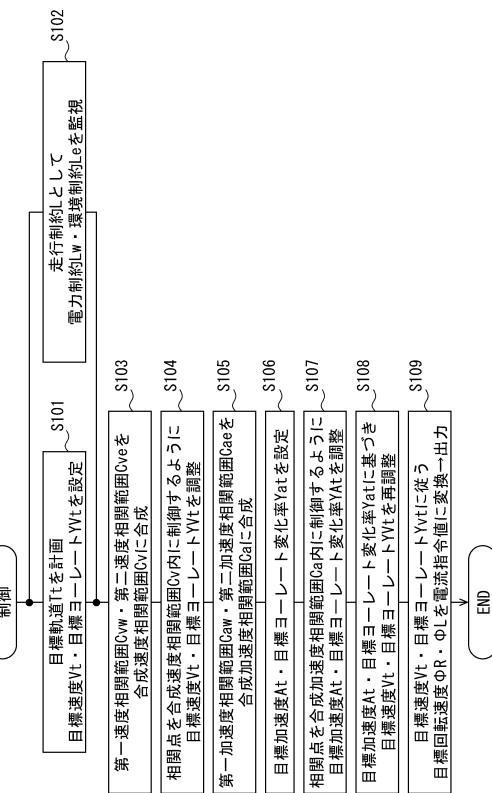
【図 1 3】

図13

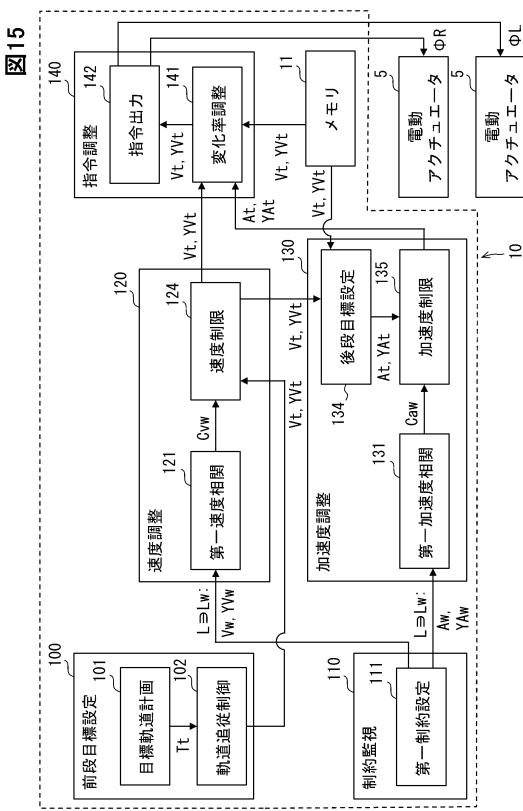


【図 1 4】

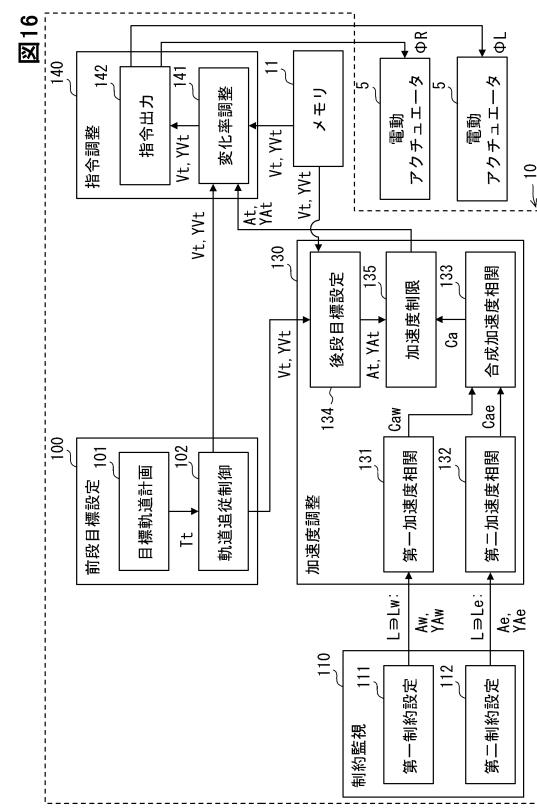
図14



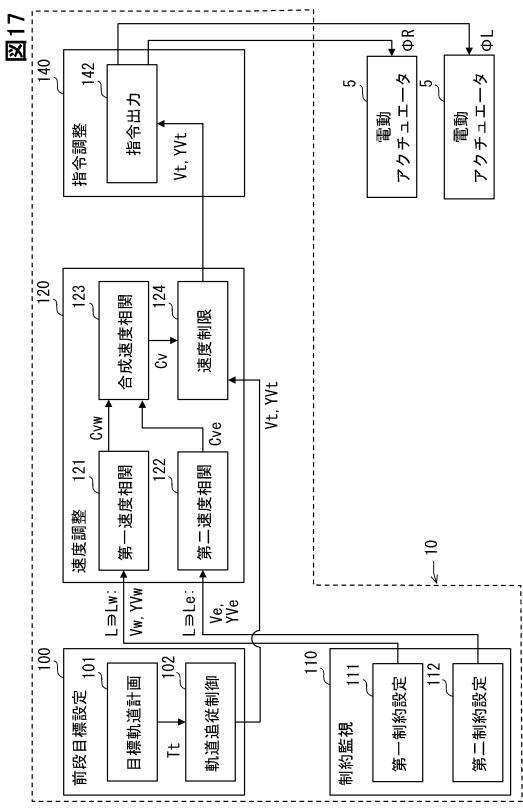
【 図 1 5 】



【図16】



【図17】



---

フロントページの続き

(56)参考文献      特開2008-129695 (JP, A)  
                    特開2017-19265 (JP, A)  
                    特開2010-58604 (JP, A)  
                    特開2016-186751 (JP, A)

(58)調査した分野 (Int.Cl., DB名)  
                    G05D 1/00 - 1/87