

(19)日本国特許庁(JP)

(12)特許公報(B2)

(11)特許番号
特許第7538246号
(P7538246)

(45)発行日 令和6年8月21日(2024.8.21)

(24)登録日 令和6年8月13日(2024.8.13)

(51)国際特許分類

F I

G 0 1 M 13/023(2019.01)

G 0 1 M 13/023

B 2 5 J 19/06 (2006.01)

B 2 5 J 19/06

請求項の数 21 (全15頁)

(21)出願番号	特願2022-565302(P2022-565302)	(73)特許権者	390008235
(86)(22)出願日	令和3年11月19日(2021.11.19)		ファナック株式会社
(86)国際出願番号	PCT/JP2021/042594		山梨県南都留郡忍野村忍草字古馬場 3 5
(87)国際公開番号	WO2022/113901		8 0 番地
(87)国際公開日	令和4年6月2日(2022.6.2)	(74)代理人	100106002
審査請求日	令和5年6月15日(2023.6.15)		弁理士 正林 真之
(31)優先権主張番号	特願2020-196020(P2020-196020)	(74)代理人	100165157
(32)優先日	令和2年11月26日(2020.11.26)		弁理士 芝 哲央
(33)優先権主張国・地域又は機関	日本国(JP)	(74)代理人	100160794
			弁理士 星野 寛明
		(72)発明者	清水 亮太
			山梨県南都留郡忍野村忍草字古馬場 3 5
			8 0 番地 ファナック株式会社内
		審査官	岩永 寛道

最終頁に続く

(54)【発明の名称】 張力推定装置、寿命評価装置及びロボットシステム

(57)【特許請求の範囲】

【請求項 1】

ベルトを介して動力を伝達する伝達機構と、
前記ベルトに近接して配置される少なくとも1つのモータと、
前記少なくとも1つのモータの電流値及び回転速度のうちの少なくとも1つに基づいて、
モータ発熱量を算出するモータ発熱量算出部と、
前記少なくとも1つのモータの電流値、回転速度及び前記ベルトに近接して配置される
少なくとも1つの軸の摩擦係数のうちの少なくとも1つに基づいて、前記伝達機構の摩擦
発熱量を算出する摩擦発熱量算出部と、
前記モータ発熱量及び前記摩擦発熱量に基づいて、前記ベルトの張力を推定するベルト
張力推定部と、
前記伝達機構の移動速度に基づいて、空冷放熱量を算出する空冷放熱量算出部と、を備え、
前記ベルト張力推定部は、前記モータ発熱量、前記摩擦発熱量、及び前記空冷放熱量に基
づいて、下記ベルト張力推定式によって前記ベルトの張力を推定する、張力推定装置。

【数 1】

$$T = T_0 + \left\{ \sum_{n=m_1} (a_n F_n) + \sum_{n=m_2} (b_n M_n) \right\}^c + d V_{wcp} \sum_{n=m_3} F_n$$

T；ベルトの推定張力

T₀；ベルトの初期張力

F_n；第 n モータによって駆動する軸の摩擦発熱量

M_n；第 n モータのモータ発熱量

V_{wcp}；伝達機構の移動速度率

m；任意の組み合わせの整数

a , b , c , d；係数

【請求項 2】

前記ベルト張力推定式において、前記ベルトの初期張力と前記係数とのうちの少なくとも一方は、室温によって変化するパラメータである、請求項 1 に記載の張力推定装置。

10

【請求項 3】

前記ベルト張力推定式において、前記ベルトの初期張力と前記係数とのうちの少なくとも一方は、経時又は稼働時間によって変化するパラメータである、請求項 1 又は 2 に記載の張力推定装置。

【請求項 4】

前記モータ発熱量、前記摩擦発熱量、及び前記空冷放熱量に基づいて、前記伝達機構の温度を推定する伝達機構温度推定部をさらに備え、

前記ベルト張力推定部は、前記伝達機構温度推定部によって推定された前記伝達機構の温度に基づいて、前記ベルトの張力を推定する、請求項 1 ～ 3 のいずれか 1 項に記載の張力推定装置。

20

【請求項 5】

前記伝達機構は、前記ベルトの張力変化に応じて寿命が変化する部材からなる、請求項 1 ～ 4 のいずれか 1 項に記載の張力推定装置。

【請求項 6】

前記ベルト張力推定部は、前記モータ発熱量及び前記摩擦発熱量を用いた機械学習によって、前記モータ発熱量及び前記摩擦発熱量から前記ベルトの張力を推定するための学習済みモデルを生成する、請求項 1 ～ 5 のいずれか 1 項に記載の張力推定装置。

【請求項 7】

前記機械学習によって生成された前記学習済みモデルを記憶する記憶部を備え、

前記ベルト張力推定部は、前記モータ発熱量及び前記摩擦発熱量に基づいて、前記記憶部に記憶された前記学習済みモデルを用いて、前記ベルトの張力を推定する請求項 6 に記載の張力推定装置。

30

【請求項 8】

前記機械学習は、前記モータ発熱量及び前記摩擦発熱量を入力データとし、前記ベルトの張力の実測値をラベルとしてお互いに関連付けた教師データを用いた教師あり学習である、請求項 6 又は 7 に記載の張力推定装置。

【請求項 9】

ベルトを介して動力を伝達する伝達機構と、

前記ベルトに近接して配置される少なくとも 1 つのモータと、

前記少なくとも 1 つのモータの電流値及び回転速度のうちの少なくとも 1 つに基づいて、モータ発熱量を算出するモータ発熱量算出部と、

40

前記少なくとも 1 つのモータの電流値、回転速度及び前記ベルトに近接して配置される少なくとも 1 つの軸の摩擦係数のうちの少なくとも 1 つに基づいて、前記伝達機構の摩擦発熱量を算出する摩擦発熱量算出部と、

前記モータ発熱量及び前記摩擦発熱量に基づいて、前記ベルトの張力を推定するベルト張力推定部と、

を備える張力推定装置と、

前記張力推定装置によって推定された前記ベルトの張力に基づいて、前記伝達機構の寿命を推定する寿命推定部と、を備える、寿命評価装置。

【請求項 10】

50

前記張力推定装置は、前記伝達機構の移動速度に基づいて、空冷放熱量を算出する空冷放熱量算出部をさらに備え、

前記ベルト張力推定部は、前記モータ発熱量、前記摩擦発熱量、及び前記空冷放熱量に基づいて、前記ベルトの張力を推定する、請求項 9 に記載の寿命評価装置。

【請求項 11】

前記ベルト張力推定部は、下記ベルト張力推定式によって前記ベルトの張力を推定する、請求項 10 に記載の寿命評価装置。

【数 2】

$$T = T_0 + \left\{ \sum_{n=m_1} (a_n F_n) + \sum_{n=m_2} (b_n M_n) \right\}^c + d V_{wcp} \sum_{n=m_3} F_n \quad 10$$

T ；ベルトの推定張力

T_0 ；ベルトの初期張力

F_n ；第 n モータによって駆動する軸の摩擦発熱量

M_n ；第 n モータのモータ発熱量

V_{wcp} ；伝達機構の移動速度率

m ；任意の組み合わせの整数

a, b, c, d ；係数

【請求項 12】

前記ベルト張力推定式において、前記ベルトの初期張力と前記係数とのうちの少なくとも一方は、室温によって変化するパラメータである、請求項 11 に記載の寿命評価装置。

【請求項 13】

前記ベルト張力推定式において、前記ベルトの初期張力と前記係数とのうちの少なくとも一方は、経時又は稼働時間によって変化するパラメータである、請求項 11 又は 12 に記載の寿命評価装置。

【請求項 14】

前記張力推定装置は、前記モータ発熱量、前記摩擦発熱量、及び前記空冷放熱量に基づいて、前記伝達機構の温度を推定する伝達機構温度推定部をさらに備え、

前記ベルト張力推定部は、前記伝達機構温度推定部によって推定された前記伝達機構の温度に基づいて、前記ベルトの張力を推定する、請求項 10 に記載の寿命評価装置。

【請求項 15】

前記伝達機構は、前記ベルトの張力変化に応じて寿命が変化する部材からなる、請求項 9 ~ 14 のいずれか 1 項に記載の寿命評価装置。

【請求項 16】

前記ベルト張力推定部は、前記モータ発熱量及び前記摩擦発熱量を用いた機械学習によって、前記モータ発熱量及び前記摩擦発熱量から前記ベルトの張力を推定するための学習済みモデルを生成する、請求項 9 ~ 15 のいずれか 1 項に記載の寿命評価装置。

【請求項 17】

前記張力推定装置は、前記機械学習によって生成された前記学習済みモデルを記憶する記憶部を備え、

前記ベルト張力推定部は、前記モータ発熱量及び前記摩擦発熱量に基づいて、前記記憶部に記憶された前記学習済みモデルを用いて、前記ベルトの張力を推定する請求項 16 に記載の寿命評価装置。

【請求項 18】

前記機械学習は、前記モータ発熱量及び前記摩擦発熱量を入力データとし、前記ベルトの張力の実測値をラベルとしてお互いに関連付けた教師データを用いた教師あり学習である、請求項 16 又は 17 に記載の寿命評価装置。

10

20

30

40

50

【請求項 19】

前記寿命推定部によって推定された前記伝達機構の寿命に基づいて、前記伝達機構の残存寿命を算出する残存寿命算出部をさらに備える、請求項 9 ~ 18 のいずれか 1 項に記載の寿命評価装置。

【請求項 20】

前記寿命推定部によって推定された前記伝達機構の寿命に基づいて、前記伝達機構の推定交換日を算出する交換日算出部をさらに備える、請求項 9 ~ 19 のいずれか 1 項に記載の寿命評価装置。

【請求項 21】

複数のモータと、複数の可動部と、前記複数のモータのうちの少なくとも 1 つの動力をベルトを介して前記複数の可動部のうちの少なくともいずれかに伝達する 1 以上の伝達機構と、を有するロボットと、

前記ロボットの前記複数のモータを制御する制御装置と、

請求項 9 ~ 20 のいずれか 1 項に記載の寿命評価装置と、を備える、ロボットシステム。

【発明の詳細な説明】**【技術分野】****【0001】**

本発明は、張力推定装置、寿命評価装置及びロボットシステムに関する。

【背景技術】**【0002】**

ロボットにおいては、ロボットの駆動系の寿命を推定することによって、ロボットが故障する前に、故障を予見することが重要である。例えば、特許文献 1 には、ロボットを構成する構成部材の温度を推定することによって、構成部材の寿命を精度良く評価することが開示されている。

【先行技術文献】**【特許文献】****【0003】**

【文献】特開 2020 - 8472 号公報

【発明の概要】**【発明が解決しようとする課題】****【0004】**

垂直多関節ロボット等の多軸を備えるロボットとして、モータの動力を、ベルトを介して可動部に伝達する伝達機構を備えるものが知られている。このような伝達機構にベルトを有するロボットにおいては、ロボットの動作によって、ロボットを構成する部材の温度が上昇すると、部材（主に鋳物等の金属）が膨張することによってベルトの軸間距離が大きくなる。その結果、ベルトの張力が上昇し、伝達機構を含む駆動系の寿命が低下するおそれがある。そのため、ベルトを介してモータの動力を可動部に伝達する伝達機構を備える機械においては、動作によって生じるベルトの張力変化を考慮した上で、駆動系の寿命を推定する必要がある。

【0005】

したがって、ベルトの張力を精度良く推定することができる張力推定装置、ベルトの張力から伝達機構の寿命を精度良く評価できる寿命評価装置及びロボットシステムが望まれる。

【課題を解決するための手段】**【0006】**

本開示の張力推定装置の一態様は、ベルトを介して動力を伝達する伝達機構と、前記ベルトに近接して配置される少なくとも 1 つのモータと、前記少なくとも 1 つのモータの電流値及び回転速度のうちの少なくともいずれか 1 つに基づいて、モータ発熱量を算出するモータ発熱量算出部と、前記少なくとも 1 つのモータの電流値、回転速度及び前記ベルトに近接して配置される少なくとも 1 つの軸の摩擦係数のうちの少なくともいずれか 1 つに

10

20

30

40

50

基づいて、前記伝達機構の摩擦発熱量を算出する摩擦発熱量算出部と、前記モータ発熱量及び前記摩擦発熱量に基づいて、前記ベルトの張力を推定するベルト張力推定部と、を備える。

【 0 0 0 7 】

本開示の寿命評価装置の一態様は、前記張力推定装置と、前記張力推定装置によって推定された前記ベルトの張力に基づいて、前記伝達機構の寿命を推定する寿命推定部と、を備える。

【 0 0 0 8 】

本開示のロボットシステムの一態様は、複数のモータと、複数の可動部と、前記複数のモータのうちの少なくともいずれかの動力をベルトを介して前記複数の可動部のうちの少なくともいずれかに伝達する 1 以上の伝達機構と、を有するロボットと、前記ロボットの

10

前記複数のモータを制御する制御装置と、前記寿命評価装置と、を備える。

【発明の効果】

【 0 0 0 9 】

一態様によれば、ベルトの張力を精度良く推定することができる張力推定装置、ベルトの張力から伝達機構の寿命を精度良く評価できる寿命評価装置、及び、これらを備えるロボットシステムを提供することができる。

【図面の簡単な説明】

【 0 0 1 0 】

【図 1】ロボットシステムの一実施形態を示す全体構成図である。

20

【図 2】図 1 に示すロボットの第 2 アーム部の内部構成を示す図である。

【図 3】ロボットシステムにおける張力推定装置及び寿命評価装置の第 1 実施形態を示す構成ブロック図である。

【図 4】ロボットシステムにおける張力推定装置及び寿命評価装置の第 2 実施形態を示す構成ブロック図である。

【図 5】ロボットシステムにおける張力推定装置及び寿命評価装置の第 3 実施形態を示す構成ブロック図である。

【図 6】伝達機構の温度とベルトの張力との関係を示すグラフである。

【発明を実施するための形態】

【 0 0 1 1 】

30

以下、本開示の張力推定装置、寿命評価装置及びロボットシステムの実施形態について図面を参照して詳細に説明する。図 1 に示すように、ロボットシステム 1 は、ロボット 2 と、ロボット 2 を制御するロボット制御装置 3 と、ロボット制御装置 3 に接続された表示部 4 と、を備える。

【 0 0 1 2 】

本実施形態のロボット 2 は、複数の可動部を備える垂直多関節ロボットである。詳しくは、ロボット 2 は、可動部としての J 1 軸 2 a、J 2 軸 2 b、J 3 軸 2 c、J 4 軸 2 d、J 5 軸 2 e、J 6 軸 2 f の 6 つの軸を有する 6 軸垂直多関節ロボットである。ロボット 2 は、床面等に設置される基部 2 1 と、基部 2 1 上に設けられる第 1 旋回部 2 2 と、第 1 旋回部 2 2 に取り付けられる第 1 アーム部 2 3 と、第 1 アーム部 2 3 に取り付けられる第 2 旋回部 2 4 と、第 2 旋回部 2 4 に取り付けられる第 2 アーム部 2 5 と、第 2 アーム部 2 5 の先端に取り付けられる手首ユニット 2 6 と、を有する。

40

【 0 0 1 3 】

第 1 旋回部 2 2 は、基部 2 1 に対して、J 1 軸 2 a によって水平方向に回転可能である。第 1 アーム部 2 3 は、第 1 旋回部 2 2 に対して、J 2 軸 2 b によって前後方向に揺動可能である。第 2 旋回部 2 4 は、第 1 アーム部 2 3 に対して、J 3 軸 2 c によって上下方向に揺動可能である。第 2 アーム部 2 5 は、第 2 旋回部 2 4 に対して、J 4 軸 2 d によって、第 2 アーム部 2 5 の長手方向の軸周りに回転可能である。手首ユニット 2 6 は、第 2 アーム部 2 5 に対して、J 5 軸 2 e によって上下方向に揺動可能であり、且つ、J 6 軸 2 f によって、J 5 軸 2 e に交差する軸周りに回転可能である。

50

【 0 0 1 4 】

ロボット 2 は、J 1 軸 2 a から J 6 軸 2 f をそれぞれ駆動するためのモータ（図 1 においては図示せず）と、モータの動力を各軸に伝達する伝達機構とを軸毎にそれぞれ備えている。例えば、図 2 は、ロボット 2 の第 2 アーム部 2 5 の内部を示している。第 2 アーム部 2 5 の内部には、J 5 軸 2 e の周りに手首ユニット 2 6 を揺動させる J 5 軸モータ 5 が配置されている。J 5 軸モータ 5 の動力は、伝達機構 6 を介して J 5 軸 2 e に伝達される。

【 0 0 1 5 】

伝達機構 6 は、J 5 軸モータ 5 の出力軸 5 a に取り付けられる第 1 プーリ 6 1 と、J 5 軸 2 e に取り付けられる第 2 プーリ 6 2 と、第 1 プーリ 6 1 及び第 2 プーリ 6 2 に架け渡されるベルト 6 3 と、第 2 プーリ 6 2 の回転を減速させる減速機 6 4 と、を有する。出力軸 5 a 及び J 5 軸 2 e は、それぞれ軸受（図示せず）によって回転可能に支持されている。これらの伝達機構 6 における軸受（図示せず）は、ベルトの張力変化に応じて寿命が変化する部材である。

10

【 0 0 1 6 】

なお、図 2 に示すように、第 2 アーム部 2 5 の内部には、J 5 軸モータ 5 に近接して、J 6 軸 2 f を駆動するための J 6 軸モータ 7 も設けられている。J 6 軸モータ 7 の動力は、図示しない伝達機構を介して、J 6 軸 2 f に伝達される。さらに、図 1 に示すように、第 2 旋回部 2 4 には、J 4 軸 2 d を駆動するための J 4 軸モータ 8 が設けられている。

【 0 0 1 7 】

ロボット 2 が備える伝達機構の寿命は、伝達機構が配置される構成部位の温度の影響を受ける。例えば、図 2 に示す第 2 アーム部 2 5 内の伝達機構 6 の場合、伝達機構 6 の寿命は、第 2 アーム部 2 5 自体の温度の影響を受ける。すなわち、ロボット 2 が駆動することによって第 2 アーム部 2 5 の温度が上昇すると、第 2 アーム部 2 5 を構成する部材（主に鋳物等の金属）が膨張し、図 2 に示す J 5 軸モータ 5 の出力軸 5 a と J 5 軸 2 e との軸間距離 L が大きくなる。それに伴って、ベルト 6 3 の張力が大きくなり、第 1 プーリ 6 1 及び第 2 プーリ 6 2 に掛かる負荷が増大する。その結果、伝達機構 6 の寿命が低下する。

20

【 0 0 1 8 】

ロボット 2 の構成部位の温度上昇は、その構成部位の内部に配置されるモータが発する熱のみならず、構成部位に近接して配置される他の構成部位が発する熱によっても、発生し得る。例えば、図 2 に示す第 2 アーム部 2 5 の場合、第 2 アーム部 2 5 の温度上昇は、第 2 アーム部 2 5 の内部に配置される J 5 軸モータ 5 が発する熱の他に、J 6 軸 2 f を駆動する J 6 軸モータ 7 が発する熱、摩擦部位である J 4 軸 2 d、J 5 軸 2 e 及び J 6 軸 2 f のそれぞれの動作によって生じる摩擦熱によっても、発生し得る。したがって、第 2 アーム部 2 5 内の伝達機構 6 のベルト 6 3 の張力及び伝達機構 6 の寿命を推定する際には、ベルト 6 3 に近接して配置されるこれらの構成部位が発する熱も考慮する必要がある。

30

【 0 0 1 9 】

ロボット制御装置 3 は、ロボット 2 に電氣的に接続され、ロボット 2 の動作を統括的に制御する。ロボット制御装置 3 は、ロボット 2 のモータ等の各部を制御する制御装置 3 1 と、ロボット 2 の伝達機構 6 に設けられるベルト 6 3 の張力を推定する張力推定装置 3 2 と、ロボット 2 の伝達機構 6 の寿命を推定する寿命評価装置 3 3 と、を有する。

40

【 0 0 2 0 】

表示部 4 は、例えば液晶表示画面によって構成される。表示部 4 は、ロボット制御装置 3 に有線又は無線によって接続され、ロボット制御装置 3 から送信される各種情報を画面表示する。

【 0 0 2 1 】

次に、ロボット制御装置 3 に設けられる張力推定装置 3 2 及び寿命評価装置 3 3 について図 3 を参照して説明する。図 3 に示すように、張力推定装置 3 2 は、モータ発熱量算出部 3 2 1 と、摩擦発熱量算出部 3 2 2 と、空冷放熱量算出部 3 2 3 と、ベルト張力推定部 3 2 4 と、を有する。

【 0 0 2 2 】

50

モータ発熱量算出部 3 2 1 は、制御装置 3 1 から入力されるモータの状態量に基づいて、モータ発熱量を算出する。モータ発熱量算出部 3 2 1 には、張力推定対象であるベルトに近接して配置される少なくとも 1 つのモータのモータ電流値及びモータ回転速度のうちの少なくとも 1 つが、制御装置 3 1 から入力される。本実施形態では、図 3 に示すように、モータ電流値及びモータ回転速度の両方の値が制御装置 3 1 から入力されるように構成されている。

【 0 0 2 3 】

なお、ベルトに近接して配置されるモータとは、モータの駆動によって生じる熱がベルトの張力に影響を与えるほどにベルトの近くに配置されるモータのことである。例えば、図 2 に示すロボット 2 の第 2 アーム部 2 5 の場合、ベルト 6 3 の近くに J 5 軸モータ 5 及び J 6 軸モータ 7 が配置されている。ベルト 6 3 の張力は、これらの J 5 軸モータ 5 及び J 6 軸モータ 7 の発熱の影響を受ける。したがって、第 2 アーム部 2 5 のベルト 6 3 の張力を推定する場合には、J 5 軸モータ 5 及び J 6 軸モータ 7 のモータ電流値及びモータ回転速度のうちの少なくとも 1 つがモータ発熱量算出部 3 2 1 に入力される。

【 0 0 2 4 】

モータ発熱量算出部 3 2 1 は、入力されるモータ電流値及びモータ回転速度のうちの少なくとも 1 つに基づいて、下記式 (1) によって、算出対象である軸を駆動するモータのモータ発熱量を算出する。

$$M_n = a \times C_n + b \times V_n + c \times (V_n)^2 \quad \cdots (1)$$

M_n ; J n 軸モータのモータ発熱量 [W]

C_n ; J n 軸モータのモータ電流値 [Ap]

V_n ; J n 軸モータのモータ回転速度 [rpm]

a, b, c ; 係数

【 0 0 2 5 】

摩擦発熱量算出部 3 2 2 は、制御装置 3 1 から入力されるモータ電流値、モータ回転速度及び張力推定対象であるベルトに近接して配置される少なくとも 1 つの軸の摩擦係数のうちの少なくとも 1 つに基づいて、伝達機構における摩擦発熱量を算出する。摩擦発熱量算出部 3 2 2 に入力されるモータ電流値及びモータ回転速度は、張力推定対象であるベルトに近接して配置される少なくとも 1 つのモータのモータ電流値及びモータ回転速度である。例えば、図 2 に示すロボット 2 の第 2 アーム部 2 5 の場合では、J 5 軸モータ 5 及び J 6 軸モータ 7 のモータ電流値及びモータ回転速度である。軸は、駆動によって摩擦熱を発生する部位である。例えば、図 2 に示すロボット 2 の第 2 アーム部 2 5 の場合では、J 4 軸 2 d、J 5 軸 2 e 及び J 6 軸 2 f の駆動によって発生する摩擦熱が、ベルト 6 3 の張力に影響を与える可能性がある。

【 0 0 2 6 】

図 3 に示すように、摩擦発熱量算出部 3 2 2 には、上記したモータ電流値、モータ回転速度及び軸の摩擦係数のうちの少なくとも 1 つが、制御装置 3 1 から入力される。軸の摩擦係数は、各軸に固有の値であり、制御装置 3 1 の図示しない記憶部に、軸毎の値として予め記憶されている。摩擦発熱量算出部 3 2 2 は、これらのモータ電流値、モータ回転速度及び摩擦係数のうちの少なくとも 1 つに基づいて、下記式 (2) によって、伝達機構における摩擦発熱量を算出する。

$$F_n = k_1 \times C_n V_n + k_2 \times V_n + k_3 \times (V_n)^2 \quad \cdots (2)$$

F_n ; J n 軸モータによって駆動する軸の摩擦発熱量 [W]

C_n ; J n 軸モータのモータ電流値 [Ap]

V_n ; J n 軸モータのモータ回転速度 [rpm]

k ; 摩擦係数

【 0 0 2 7 】

空冷放熱量算出部 3 2 3 は、伝達機構の移動速度に基づいて、伝達機構の空冷放熱量を算出する。空冷放熱量は、ロボット 2 の動作によってアーム部が空気中で移動することによって、周辺空気との間に相対速度が発生するために生じる放熱量である。空冷放熱量は

、伝達機構の移動速度率（ V_{wcp} ）に比例する。伝達機構の移動速度率（ V_{wcp} ）は、下記式（３）によって算出される。ロボット２において、Ｊ１軸２ａ～Ｊ６軸２ｆの微小角度変化量より、アーム部の速度は一意に定まる。

$$V_{wcp} = (\text{アーム部の特定位置の速度}) / (\text{アーム部の特定位置の最高速度}) \cdots (3)$$

【００２８】

ベルト張力推定部３２４は、モータ発熱量算出部３２１によって算出されたモータ発熱量と、摩擦発熱量算出部３２２によって算出された摩擦発熱量と、空冷放熱量算出部３２３によって算出された空冷放熱量とに基づいて、下記式（４）に示すベルト張力推定式によって伝達機構におけるベルトの張力を算出する。 T_0 及び a 、 b 、 c 、 d は、ロボット２の動きに依存しない機種固有の係数である。

10

【数１】

$$T = T_0 + \left\{ \sum_{n=m_1} (a_n F_n) + \sum_{n=m_2} (b_n M_n) \right\}^c + d V_{wcp} \sum_{n=m_3} F_n \cdots (4)$$

T ；ベルトの推定張力

T_0 ；ベルトの初期張力

20

F_n ；Ｊｎ軸モータによって駆動する軸の摩擦発熱量〔Ｗ〕

M_n ；Ｊｎ軸モータのモータ発熱量〔Ｗ〕

V_{wcp} ；伝達機構の移動速度率

m ；任意の組み合わせの整数

a 、 b 、 c 、 d ；係数

【００２９】

例えば、ロボット２において、第２アーム部２５の伝達機構６のベルト６３の張力は、ベルト６３に近接して配置されるＪ５軸モータ５及びＪ６軸モータ７のモータ発熱量と、ベルト６３に近接して配置される軸であるＪ４軸２ｄ、Ｊ５軸２ｅ及びＪ６軸２ｆの摩擦発熱量との影響を受ける。したがって、この場合では、上記式（４）において、モータ発熱量 M は、Ｊ５軸モータ５及びＪ６軸モータ７のモータ発熱量が使用され、摩擦発熱量 F は、Ｊ４軸２ｄ、Ｊ５軸２ｅ及びＪ６軸２ｆの摩擦発熱量が使用される。

30

【００３０】

ここで、ロボット２が、以下の動作をしたときの第２アーム部２５内の伝達機構６のベルト６３の張力を推定する場合について説明する。

【表１】

	Ｊ４軸	Ｊ５軸	Ｊ６軸
モータ電流値 C_n 〔Ａｐ〕	10	12.5	7.5
モータ回転速度 V_n 〔ｒｐｍ〕	1500	1500	1500

40

【００３１】

このようなロボット２の動作において、Ｊ５軸２ｅを駆動するＪ５軸モータ５のモータ発熱量 M_5 と、Ｊ６軸２ｆを駆動するＪ６軸モータ７のモータ発熱量 M_6 とは、 $a = 0.5$ 、 $b = 0.005$ 、 $c = 0.000005$ であるとき、式（１）から、 $M_5 = 25$ 〔Ｗ〕、 $M_6 = 22.5$ 〔Ｗ〕である。

【００３２】

また、Ｊ４軸２ｄにおいて、モータ電流速度の平均に対する摩擦係数 k_{a4} が 0.005 、モータ平均回転速度に対する摩擦係数 k_{b4} が 0.10 、モータ回転速度２乗平均に対する摩擦係数 k_{c4} が 0.0001 であるとき、式（２）から、Ｊ４軸２ｄの摩擦発熱

50

量 $F_4 = 450$ [W] である。同様にして、J5軸2eにおいて、モータ電流速度の平均に対する摩擦係数 k_{a5} が 0.0001 、モータ平均回転速度に対する摩擦係数 k_{b5} が 0.02 、モータ回転速度2乗平均に対する摩擦係数 k_{c5} が 0.00001 であるとき、J5軸2eの摩擦発熱量 $F_5 = 54.4$ [W] である。J6軸2fにおいて、モータ電流速度の平均に対する摩擦係数 k_{a6} が 0.001 、モータ平均回転速度に対する摩擦係数 k_{b6} が 0.08 、モータ回転速度2乗平均に対する摩擦係数 k_{c6} が 0.00001 であるとき、J6軸2fの摩擦発熱量 $F_6 = 153.8$ [W] である。

【0033】

これらの値を式(4)に代入すると、ベルト63の張力 T が得られる。なお、式(4)において、 $T_0 = 150$ [N]、 $m_1 = 4 \cdot 5 \cdot 6$ 、 $m_2 = 5 \cdot 6$ 、 $m_3 = 4 \cdot 5 \cdot 6$ 、 $a_4 = 0.1$ 、 $a_5 = 0$ 、 $a_6 = 1.2$ 、 $b_5 = 0.5$ 、 $b_6 = 0.5$ 、 $c = 0.8$ 、 $d = -0.5$ 、 $V_{wcp} = 0.1$ であるとき、ベルト63の張力 $T = 200.8$ [N] と推定される。これによって、張力推定装置32は、ベルトの張力を精度良く推定することができる。

【0034】

式(4)のベルト張力推定式において、ベルトの初期張力 T_0 と係数 a 、 b 、 c 、 d とのうちの少なくとも一方は、室温によって変化するパラメータである。ベルト張力推定式に室温によって変化するパラメータを含むことによって、室温を考慮したベルトの張力を推定することができる。そのため、ベルトの張力をより精度良く推定することができる。室温は、図3に示すように、ロボット制御装置3に設けられる室温入力部34によって入力される。室温入力部34による室温の入力は、オペレータの手入力によって行われるようにしてもよいし、温度センサ(図示せず)の検出値が自動的に入力されるようにしてもよい。

【0035】

また、式(4)のベルト張力推定式において、ベルトの初期張力 T_0 と係数 a 、 b 、 c 、 d とのうちの少なくとも一方は、ロボット2の経時又は稼働時間によって変化するパラメータであってもよい。ベルトの張力は経時変化によって低下する場合があるためである。ロボット2の稼働時間は、図3に示すように、制御装置31からベルト張力推定部324に入力される。例えば、ロボット2が稼働した後の1時間[h]毎のベルトの張力低下を A [N/h] とすると、経時変化を含むベルトの推定張力は、下記式(5)によって算出することができる。

$$T' = T_0 - A t \quad \cdots (5)$$

T' ; 経時変化を含むベルトの推定張力 [N]

T_0 ; ベルトの初期張力 [N]

A ; 1h当たりの経時変化 [N/h]

t ; 稼働時間 [h]

【0036】

これによって、式(4)のベルト張力推定式の係数がロボット2の経時又は稼働時間に応じて補正される。したがって、ベルト張力推定式にロボット2の経時又は稼働時間によって変化するパラメータを含むことによって、ロボット2の経時又は稼働時間を考慮したベルトの張力を推定することができる。そのため、ベルトの張力をより精度良く推定することができる。

【0037】

また、経時変化によるベルトの推定張力は、簡易的に下記式(6)によって算出してよい。

$$T' = f(t) \times T \quad \cdots (6)$$

T' ; 経時変化を含むベルトの推定張力 [N]

T ; ベルトの推定張力 [N]

$f(t)$; 稼働時間に依存する係数

【0038】

寿命評価装置33は、図3に示すように、上記の張力推定装置32を含み、さらに、寿

命推定部 331 と、残存寿命算出部 332 と、交換日算出部 333 とを有する。

【0039】

寿命推定部 331 は、張力推定装置 32 のベルト張力推定部 324 によって推定された張力推定値に基づいて、伝達機構の寿命を推定する。例えば、図 2 に示す第 2 アーム部 25 の伝達機構 6 の場合、張力推定装置 32 によって推定されたベルト 63 の張力推定値から、伝達機構 6 の寿命を推定する。

【0040】

一般に、伝達機構の寿命は、ベルトの張力の 3 乗に比例するといわれている。寿命推定部 331 は、張力推定装置 32 によって得られたベルトの張力推定値に基づいて、下記式 (7) によって伝達機構の寿命を推定する。例えば、ベルトの張力が 250 [N] であるときに、10000 [h] 稼働させると寿命が 100 [%] に到達する伝達機構の場合、ベルトの張力推定値が 200 [N] で 5000 [h] 稼働した場合の伝達機構の寿命進行率 (寿命推定値) は、下記式 (7) から 26 [%] になる。これによれば、寿命推定部 331 は、現在の伝達機構の寿命が 26 % に達していると推定することができる。

【数 2】

$$S_g = \left(\frac{T}{250} \right)^3 \times \frac{t}{10000} \times 100[\%] \quad \cdots (7)$$

S_g ; 伝達機構の寿命推定値 [%]

T ; ベルトの推定張力 [N]

t ; 稼働時間 [h]

【0041】

残存寿命算出部 332 は、寿命推定部 331 によって算出された伝達機構の寿命推定値に基づいて、伝達機構の残存寿命を算出する。これによれば、寿命評価装置 33 は、伝達機構の残存寿命がどれ位であるのかをオペレータに通知することができる。詳しくは、残存寿命算出部 332 は、寿命推定部 331 によって算出された伝達機構の寿命推定値に基づいて、下記式 (8) によって伝達機構の残存寿命 S_r を算出する。

$$S_r = 100 - S_g [\%] \quad \cdots (8)$$

S_r ; 残存寿命 [%]

S_g ; 伝達機構の寿命推定値 [%]

【0042】

残存寿命算出部 332 によって算出された残存寿命の情報は、表示部 4 に送られ、表示部 4 に表示される。表示部 4 は、残存寿命算出部 332 から送られた残存寿命の値そのものを表示してもよいし、算出された残存寿命の値が予め設定された閾値より小さくなった場合に警告を表示するようにしてもよい。残存寿命の値が閾値より小さくなったかどうかを判別する機能は、残存寿命算出部 332 が有してもよいし、表示部 4 が有してもよい。

【0043】

交換日算出部 333 は、寿命推定部 331 によって算出された伝達機構の寿命推定値に基づいて、伝達機構の推定交換日を算出する。これによれば、寿命評価装置 33 は、伝達機構が壊れる前に、伝達機構の交換日の目安をオペレータに通知することができる。詳しくは、交換日算出部 333 は、寿命推定部 331 によって算出された伝達機構の寿命推定値に基づいて、下記式 (9) によって伝達機構の交換日 (推奨交換日) を算出する。交換日算出部 333 によって算出された交換日の情報は、表示部 4 に送られ、表示部 4 に表示される。但し、伝達機構の交換日の算出方法は、下記式 (9) に限定されるものではなく、他の任意の近似計算法を採用してもよい。

【数 3】

10

20

30

40

50

$$D = \frac{S_{g0} - S_g(0)}{S_g(0) - S_g(d)} \times a \quad \cdots (9)$$

D ; 交換日までの日数 [日]

$S_g(d)$; d 日前の伝達機構の寿命推定値 [%]

$S_g(0)$; 現在の伝達機構の寿命推定値 [%]

S_{g0} ; 残存寿命の交換ライン [%]

a : 係数

10

【 0 0 4 4 】

以上のように、寿命評価装置 3 3 は、張力推定装置 3 2 によって得られたベルトの張力推定値から、伝達機構の寿命を精度良く評価することができる。寿命評価装置 3 3 は、張力推定装置 3 2 によって得られるベルトの張力に基づいて伝達機構の寿命を評価するため、ベルトの張力の増大によって伝達機構に掛かる負荷を考慮した精度の良い寿命を評価することができる。

【 0 0 4 5 】

張力推定装置 3 2 のベルト張力推定部 3 2 4 は、モータ発熱量算出部 3 2 1 によって算出されるモータ発熱量と、摩擦発熱量算出部 3 2 2 によって算出される摩擦発熱量とを用いた機械学習によって、モータ発熱量及び摩擦発熱量からベルトの張力を推定するための学習済みモデルを生成するようにしてもよい。これによれば、種々のパターンのモータ発熱量及び摩擦発熱量のデータに基づく学習済みモデルを用いて、ベルトの張力を精度良く推定することが可能である。

20

【 0 0 4 6 】

ベルト張力推定部 3 2 4 が学習済みモデルを生成する場合は、図 4 に示すように、張力推定装置 3 2 は、機械学習によって生成された学習済みモデルを記憶する記憶部 3 2 5 を備えてもよい。この場合、ベルト張力推定部 3 2 4 は、モータ発熱量及び摩擦発熱量に基づいて、記憶部 3 2 5 に記憶された学習済みモデルを用いて、ベルトの張力を推定することができる。これによれば、記憶部 3 2 5 に記憶された学習済みモデルを用いたベルトの張力が推定されるため、最初から学習済みモデルを生成しなくても、ベルトの張力をさらに精度良く推定することができる。

30

【 0 0 4 7 】

機械学習は、モータ発熱量及び摩擦発熱量を入力データとし、ベルトの張力の実測値をラベルとして互に関連付けた教師データを用いた教師あり学習であってもよい。これによれば、ベルトの張力の実測値を正解として用いることによって、入力データに対するベルトの張力をより精度良く推定することができる。ベルトの張力の実測値は、図 4 に示すように、ロボット制御装置 3 に設けられる実測値入力部 3 5 によって、オペレータの手入力によって入力される。

【 0 0 4 8 】

なお、図 6 に示すように、ベルトの張力と温度とは 1 対 1 の関係を有する。そのため、張力推定装置 3 2 のベルト張力推定部 3 2 4 は、上記式 (4) を用いてベルトの張力推定値を算出することに代えて、伝達機構の温度からベルトの張力を推定してもよい。この場合の張力推定装置 3 2 は、図 5 に示すように、伝達機構温度推定部 3 2 6 を備えることができる。

40

【 0 0 4 9 】

伝達機構温度推定部 3 2 6 は、モータ発熱量算出部 3 2 1 によって算出されるモータ発熱量と、摩擦発熱量算出部 3 2 2 によって算出される摩擦発熱量と、空冷放熱量算出部 3 2 3 によって算出される空冷放熱量とに基づいて、下記式 (1 0) によって伝達機構の温度を推定する。

【 数 4 】

50

$$T_p = T_r + c \times \left\{ \sum_{n=m_1} a_n F_n \right\}^d + e \times \left\{ \sum_{n=m_2} b_n M_n \right\}^f + g_1 W_1 + g_2 W_2 \quad \cdots (10)$$

T_p ; 伝達機構の推定温度

T_r ; 室温

F_n ; J n 軸モータによって駆動する軸の摩擦発熱量 [W]

M_n ; J n 軸モータのモータ発熱量 [W]

W_1 ; 空冷放熱量

W_2 ; 他の発生源の発熱量

a, b, c, d, e, f, g ; 係数

m ; 任意の組み合わせの整数

【 0 0 5 0 】

ベルト張力推定部 3 2 4 は、伝達機構温度推定部 3 2 6 によって推定された伝達機構の温度に基づいて、図 6 のグラフからベルトの張力を推定する。これによれば、ベルトの張力を簡易的に推定することができる。伝達機構温度推定部 3 2 6 を備える張力推定装置 3 2 も、図 4 に示した張力推定装置 3 2 と同様に、機械学習によって学習済みモデルを生成する構成を備えてもよい。

【 0 0 5 1 】

以上の各実施形態において、モータ発熱量算出部 3 2 1 は、モータ電流値とモータ回転速度とに基づいてモータ発熱量を算出した。しかし、モータ発熱量算出部 3 2 1 は、モータ電流値とモータ回転速度とのうちの少なくとも一方に基づいて、モータ発熱量をより簡易的に算出してよい。

【 0 0 5 2 】

また、以上の各実施形態において、摩擦発熱量算出部 3 2 2 は、モータ電流値とモータ回転速度と伝達機構 6 の摩擦係数とに基づいて、伝達機構 6 における摩擦発熱量を算出した。しかし、摩擦発熱量算出部 3 2 2 は、モータ電流値とモータ回転速度と伝達機構 6 の摩擦係数とのうちの少なくとも一つに基づいて、伝達機構 6 における摩擦発熱量を簡易的に算出してよい。

【 0 0 5 3 】

以上の各実施形態において、張力推定装置 3 2 は、空冷放熱量算出部 3 2 3 を有しない簡易的な装置であってもよい。さらに、ベルト張力推定部 3 2 4 は、モータ発熱量と摩擦発熱量との 2 つの発熱量に基づいてベルトの張力を簡易的に推定してもよい。

【 符号の説明 】

【 0 0 5 4 】

- 1 ロボットシステム
- 2 ロボット (機械)
- 2 a J 1 軸 (可動部)
- 2 b J 2 軸 (可動部)
- 2 c J 3 軸 (可動部)
- 2 d J 4 軸 (可動部)
- 2 e J 5 軸 (可動部)
- 2 f J 6 軸 (可動部)
- 3 1 制御装置
- 3 2 張力推定装置
- 3 2 1 モータ発熱量算出部
- 3 2 2 摩擦発熱量算出部
- 3 2 4 ベルト張力推定部
- 3 2 3 空冷放熱量算出部

10

20

30

40

50

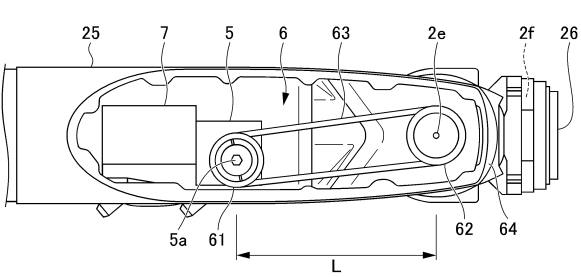
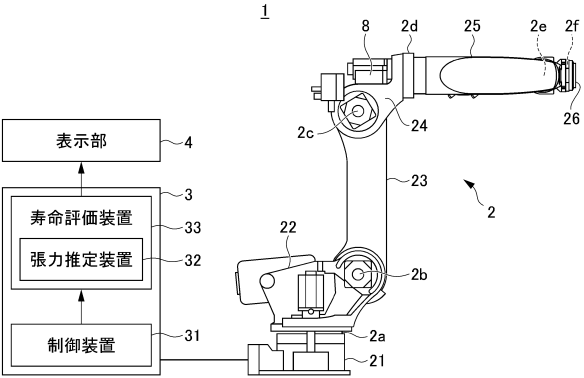
- 3 2 5 記憶部
- 3 2 6 伝達機構温度推定部
- 3 3 寿命評価装置
- 3 3 1 寿命推定部
- 3 3 2 残存寿命算出部
- 3 3 3 交換日算出部
- 5 J 5 軸モータ（第 1 のモータ）
- 7 J 6 軸モータ（第 2 のモータ）
- 6 伝達機構
- 6 3 ベルト

10

【図面】

【図 1】

【図 2】



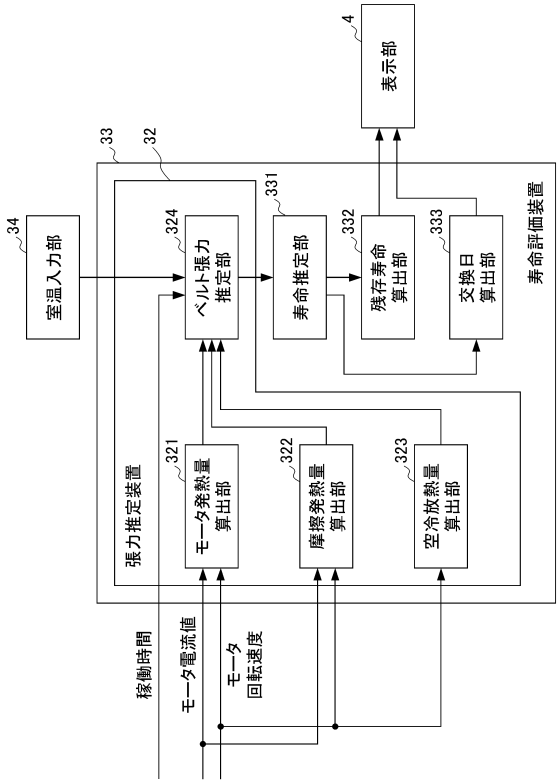
20

30

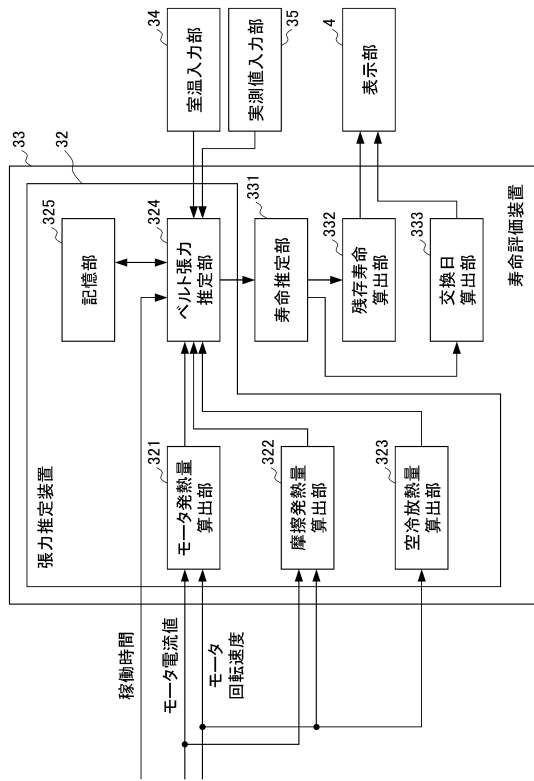
40

50

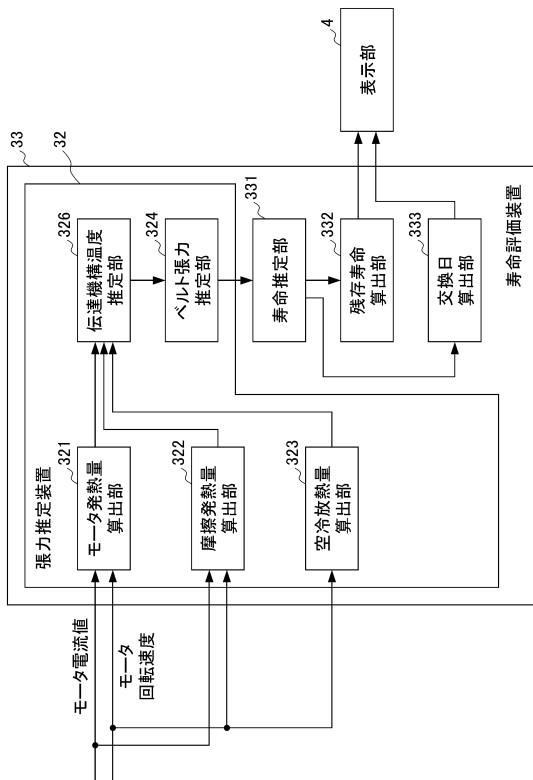
【図 3】



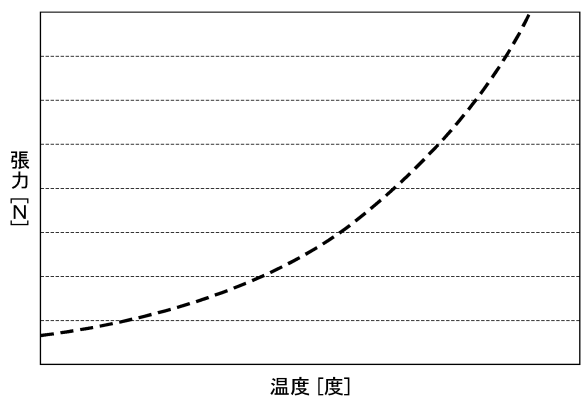
【図 4】



【図 5】



【図 6】



10

20

30

40

50

フロントページの続き

- (56)参考文献
- 特開 2 0 1 5 - 0 9 3 3 6 0 (J P , A)
特許第 6 6 9 4 0 1 6 (J P , B 2)
特開 2 0 0 4 - 0 2 0 3 8 8 (J P , A)
特開 2 0 0 5 - 1 5 6 3 9 4 (J P , A)
米国特許第 0 9 2 0 5 5 6 0 (U S , B 1)
- (58)調査した分野 (Int.Cl. , D B 名)
- B 2 5 J 1 3 / 0 8
B 2 5 J 1 7 / 0 0
B 2 5 J 1 7 / 0 2
B 2 5 J 1 9 / 0 6
F 1 6 H 7 / 0 2
G 0 1 H 1 7 / 0 0
G 0 1 M 1 3 / 0 2
G 0 1 M 9 9 / 0 0