

Energy-saving of Robot Arm by Using Variable Spring Tension Mechanism

メタデータ	言語: jpn 出版者: 公開日: 2018-06-14 キーワード (Ja): キーワード (En): 作成者: メールアドレス: 所属:
URL	https://doi.org/10.24517/00050605

This work is licensed under a Creative Commons Attribution-NonCommercial-ShareAlike 3.0 International License.



可変張力ばね機構によるロボットアームの省エネ駆動

金沢大学 ○長橋光之, 関啓明, 神谷好承, 疋津正利

Energy-saving of Robot Arm by Using Variable Spring Tension Mechanism

Kanazawa University Mitsuyuki NAGAHASHI, Hiroaki SEKI, Yoshitsugu KAMIYA and Masatoshi HIKIZU

Nowadays, it is necessary to save energy of industrial robot arms. Gravity compensation mechanisms have been proposed, however these are complex and difficult to attach them to industrial robots. This paper proposes the method to save energy of robot arm by attaching a simple mechanism, which consists of a wire and a spring. The mechanism pulls robot arm up and reduce its joint torque. The spring tension is set by winding a wire off with a motor considering mass of grasping object. We investigated the effect of this mechanism by simulation.

1. 緒 言

昨今社会の省エネルギー化が一層望まれており、産業用ロボットアームも例外ではない。ロボットアームが制御されている時は、静止していても関節を駆動するモータに電流が流れ続けている。そこで、従来アームの自重を補償する機構がいろいろと考えられているが¹⁾²⁾、構造が複雑であり既存の産業用ロボットアームに組み込みにくい。また、把持物による負荷はあまり考慮されていない。

そこで本研究では、既存のロボットアームを上方からワイヤとばねからなる簡単な機構（可変張力ばね機構）で吊ることでアームの負荷を軽減する方法を提案する。この程度であれば既存のアームにも外付けしやすい。可変張力ばね機構の設計において、プーリーの位置とばね定数を適切に設定することで、アーム自重による関節トルクをある程度補償できることを示す。アームの動作計画や把持物が決まったあとで、ばねの初期張力を設定することにより、さらに省エネ化を行う。本稿では、この省エネ化が可能であることを Pick & Place 作業を想定したシミュレーションにより示す。

2. 可変張力ばね機構の原理

図 1 に示すような実際の産業用多関節型ロボットアーム（三菱電機製 MELFA RV-1A）のモデルを対象例として用いる。アーム手先部の 3 関節は姿勢の変化が負荷トルクに及ぼす影響が少ないと考え、手先部を一塊とみなし、アームの全自由度は 3 自由度（J1 軸～J3 軸）として議論を進める。

ロボットアームの駆動トルクの算出には動力学を考慮した次式を用いる。

$$\tau = M(q)\ddot{q} + h(q, \dot{q}) + g(q) \quad (3)$$

τ は関節駆動トルク、 M は慣性行列、 q は関節変数ベクトル、 h は遠心力およびコリオリ力に関する項、 g は重力負荷ベクトルである。把持物はアームのリンクと同様に扱い、この式の中で考慮する。

j 番目の関節トルクは次式で電流値 i_j に変換される。

$$i_j = \frac{\tau_j}{K_j} \quad (4)$$

K_j は j 番目の関節におけるモータのトルク定数である。

図 2 に可変張力ばね機構の原理を示す。ロボットの手先部（点 A）にワイヤを取り付け、ワイヤの他端はプーリーを介してその

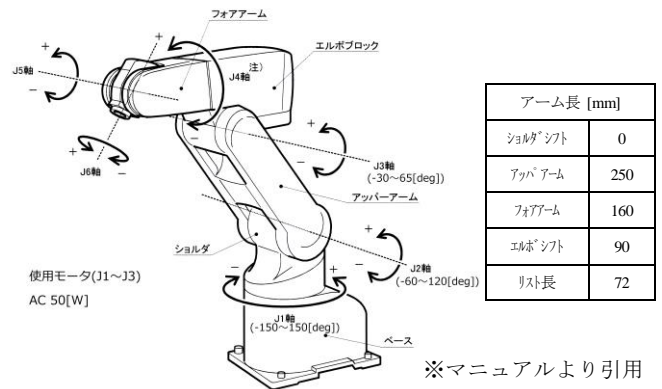


図 1 対象とする産業用ロボットアームの例 (MELFA RV-1A)

先に引張ばねを取り付ける。ばねの先にはワイヤとそのワイヤを巻き取るモータがあり、ばねの伸縮をモータで調節することで張力を変更する。これらは旋回軸 J1 上に取り付ける。可変張力ばね機構からアシストされる J2, J3 軸のトルク τ_T は関節から点 A までのベクトル H と張力ベクトル T を使って次のように求めることができ、 τ から差し引かれる。

$$\tau_T = H \times T \quad (1)$$

$$|T| = k (|p - s| - |p_0 - s| + r\theta) \quad (2)$$

ここで、 k はばね定数、 p は基準座標から見た点 A の位置、 s はワイヤが経由するプーリー位置、 r はワイヤを巻き取るモータに付属するプーリー半径、 θ はプーリーの巻き取り角である。 p_0 は J2, J3 軸を動かしたとき点 A とプーリーが最接近する場所とした。 $p = p_0$ のときのばねの張力を初期張力と呼ぶことにする。 $\theta > 0$ ならばロボットの可動範囲内では常に $|T| > 0$ となる。

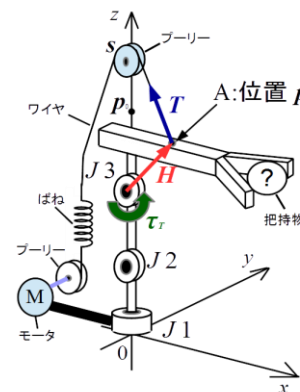


図 2 可変張力ばね機構の原理

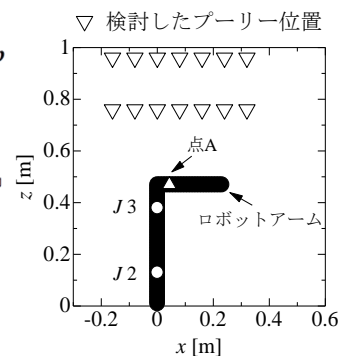


図 3 検討したプーリー位置

ばねの張力を調整するモータは作業前に適切な張力となるよう動かし、アームの作業中は止めておく。モータにはウォームギヤを使用し、電流を切っても逆回転しないようにしておく。

3. 可変張力ばね機構の設計

可変張力ばね機構を設計する際、点 A の位置、プーリーの位置、ばね定数を決定する必要がある。

点 A は手先の姿勢の変化に関係しない所の方がワイヤを取り付けやすい。そこで、J4 軸の根元側に点 A をとる。プーリーの位置については、アームとの干渉や自重補償効果を考慮し、図 3 に示した 14 点について検討した。ロボットの可動範囲について J2, J3 軸を 10 度刻みで変化させ、それぞれにおける J2, J3 軸のモータの消費電流をアームの静力学から計算し、その総和を求めた。この総和がプーリー位置によってどのように変化するかを調べた。結果を表 1 に示す。初期張力を 0[N] とし、ばね定数 k は 100[N/m] とした。また、省エネ効果の指標として、機構を用いない場合の消費電流を基準にした百分率で表した。

表 1 プーリー位置に対する J2, J3 軸の消費電流の削減率 [%]

プーリー位置		y [m]						
		-0.16	-0.08	0	0.08	0.16	0.24	0.32
z	0.76	31.4	32.1	31.7	30.1	27.4	24.2	20.9
[m]	0.96	31.5	31.4	30.7	29.4	27.6	25.4	23.1

表 1 から、プーリーの位置により多少差は出るが、どの位置でも省エネ効果が大きく損なわれることはないことが分かった。したがって、回転軸の慣性モーメントをできるだけ大きくしないことや、機構のコンパクト化を考慮して $(x, y, z) = (0, 0, 0.76)$ [m] の位置にプーリーを設置することにする。

ばね定数を決定する際にも同様の評価を行った。初期張力も 0[N] とした。結果を表 2 に示す。

表 2 ばね定数に対する J2, J3 軸の消費電流の削減率

ばね定数 k [N/m]	50	100	150	200	250	300
削減率 [%]	15.9	31.7	47.0	60.2	63.9	59.1

ばね定数をかえると消費電流がかなり変わることが分かる。このロボットの場合、ばね定数が 250[N/m] の時に機構がない場合に比べて 63.9[%] 電流が削減でき、最も省エネとなる。このばね定数を用いて次節のシミュレーションを行う。

4. シミュレーションによる検証

Pick & Place 作業を対象として、どの程度省エネ化が達成できるかをシミュレーションによって検証する。

Pick & Place 作業の例を図 4 に示す。初期姿勢を(1)とし、(2)で 3[kg] の物体を掴み、移動させ(4)で物体を置き初期姿勢(1)に戻る。図 5 に J2 軸、J3 軸の角度の時間変化を示す。関節トルクの算出には、ニュートン・オイラー法を用いた。また、ばねの初期張力を変えてこの作業のシミュレーションを行い、作業に適したより省エネ化が可能な初期張力を探した。

結果の J2 軸、J3 軸のモータ電流値の時間応答を図 6 に示す。可変張力ばね機構を取り付けていない場合、機構を取り付けて初期張力は 0[N] の場合、最も省エネ効果があった初期張力 45[N] の場合の 3 つを示した。可変張力ばね機構を取り付けると全体的に消費電流が少なくなっていることがわかる。表 3 に可変張力ばね機構の初期張力を変えたときに作業全体における消費電

流の絶対値の時間積分値[As]が機構がない場合と比較してどの程度削減できたかを百分率で示した。初期張力を手先の把持物に合わせて設定することでさらに 11.5% 省エネ化できたことがわかる。完全に削減し切れるわけではないが、簡単な機構を取り付けることで、電流値の大半を削減でき、実用的で有効な省エネ化の手段となり得る。実際にはアームの作業が与えられたときにこのようなシミュレーションを行って最も効果のある初期張力を設定することになる。

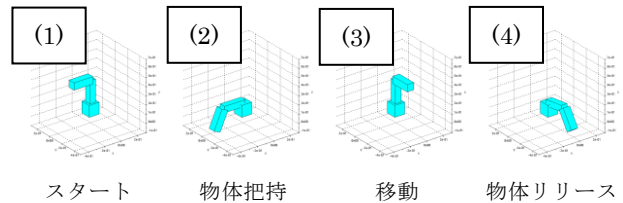


図 4 Pick & Place 作業の例

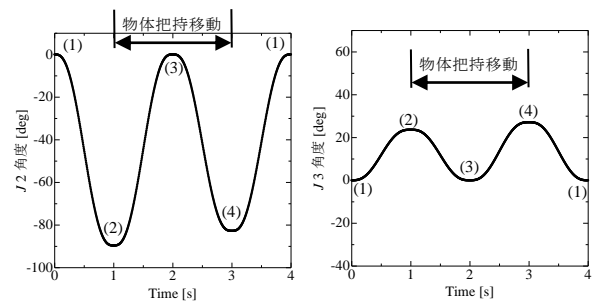


図 5 関節角度の時間変化

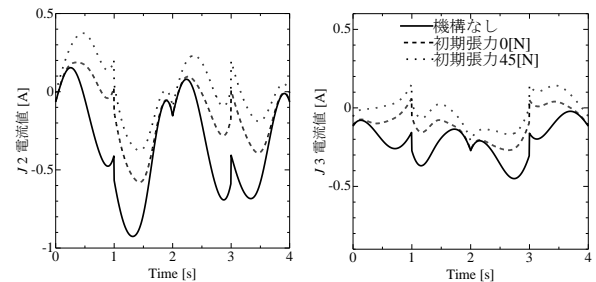


図 6 関節モータの電流値の時間応答

表 3 ばねの初期張力に対する消費電流積分値の削減率

初期張力[N]	0	15	30	45	60
削減率[%]	47.0	52.7	56.6	58.5	57.2

5. 結 言

既存のロボットアームにも付加しやすい簡単な可変張力ばね機構を提案し、次のような結果を得た。

- (1) 可変張力ばね機構においてばね定数、初期張力の適切な設定によって関節駆動トルクを低減できることを示した。
- (2) タスクが与えられた後で初期張力を変更することで把持物があつた際にも省エネ効果を高められることを示した。実験による検証については、今後の課題としたい。

参 考 文 献

- 1) 武居直行, 省エネ・安全のための重力補償機構, 日本ロボット学会誌, **29**, 5, pp.508-511, 2002.
- 2) 森田寿郎, 自重補償機構の設計原理と動作支援技術への応用, パイオメカニズム学会誌, **30**, 4, pp.200-204, 2006.