

トルクキャンセリングシステムのロボットへの搭載に向けた 動揺抑制実験

Mechanical Sway Stabilization Using a Torque Cancelling System Aiming for Installation in a Robot

○学 中山 文平 (筑波大院) 非 近藤 健介 (筑波大院)
学 松井 康将 (筑波大院) 正 磯部 大吾郎 (筑波大)

Bumpei NAKAYAMA, Graduate School, Univ. of Tsukuba, bnakayama@edu.esys.tsukuba.ac.jp
Kensuke KONDO, Graduate School, Univ. of Tsukuba, e0611350@edu.esys.tsukuba.ac.jp
Yasumasa MATSUI, Graduate School, Univ. of Tsukuba, e0712350@edu.esys.tsukuba.ac.jp
Daigoro ISOBE, Univ. of Tsukuba, isobe@kz.tsukuba.ac.jp

This paper presents a method to cancel the mechanical sway which results from the reaction moment of rotary motion. The torque cancelling system (TCS), which consists of a motor and a rotating body, generates the required moment to remove the sway which is calculated by the parallel solution scheme. The system needs to supply more torque and be small and light enough when installed in a practical robot. We evaluated the effect of the TCS with a geared motor and confirmed that the feedback control is necessary to compensate the backlash in the gear.

Key Words: Torque cancelling system, Parallel solution scheme, Mechanical sway

1. 緒言

ロボットが回転運動を行うとき、その系全体に動揺が発生することがある。その原因は、入力トルクの反作用として回転軸および重心回りにモーメントが発生するからである。この反作用モーメントに対し、さらに逆向きのモーメントを与えることで反作用モーメントを打ち消し、系の動揺を抑制することが可能であると考えられる。一方、系が高速で動作する場合、動揺を抑制するためのモーメントをフィードフォワード的に入力する必要がある、そのためには系のダイナミクスを正確に把握することが求められる。

本研究室で開発された並列的逆動力学計算法（以下、並列的解法）は、系を有限要素で離散化し各節点に作用する力を並列的に求めることで、複雑な系に対しても系内に生じるモーメントを算出することが可能である。さらにこの解法は、ロボットの動作に必要なトルクだけではなく、同時に動揺抑制に必要な反転トルクを算出することが可能である。

これらの特長を生かし、先行研究ではロボットの動揺抑制機構としてトルクキャンセリングシステム (TCS) が提案され、単純なリンク系においてはフィードフォワード制御のみを用いて十分な動揺抑制を行えることを確認した^[1]。システムの実用化にあたってはより大きなトルクを必要とする場面が考えられる一方で、使用可能な電源の制約、およびシステム自体の小型、軽量化の観点から、可能な限り小型のモータを使用することが要求される。本稿ではこうした観点から、移動ロボットへの搭載を想定して減速機付きの TCS を用いた動揺抑制実験を行った。

2. 並列的逆動力学計算法

並列的解法ではまず、入力データとして与えられる動作軌道の加速度情報を基に次式に示す増分型運動方程式を解き、系内の非拘束節点における節点力を算出する。

$$\{F\}_{t+\Delta t} = [M]\{\ddot{u}\}_{t+\Delta t} \quad (1)$$

ここで $[M]$ は全体質量マトリクス、 $\{F\}$ は外力ベクトル、 $\{\ddot{u}\}$ は

節点加速度ベクトル、 t は時刻、 Δt は時間増分である。

次にここで得られた節点力をトルクに変換するとき、関節トルクベクトルは次式のように表される。

$$\{\tau^n\} = [L^n][T^n]\{P^n\} \quad (2)$$

ここで $\{\tau^n\}$ は関節トルクベクトル、 $\{P^n\}$ は節点力に関するベクトル、 $[T^n]$ は全体座標系から要素座標系への座標変換マトリクス、 $[L^n]$ はリンク長や系の構成等の情報を含む部材長マトリクスである。

3. トルクキャンセリングシステム

TCS の概念を図 1 に示す。物体の回転運動により反作用モーメントが発生し、軸回りに動揺が生じることがある。このとき、大きさが等しく正負を反転したモーメントを TCS において発生させることで、2つのモーメントの和は 0 となり、動揺を抑制することが可能となる。

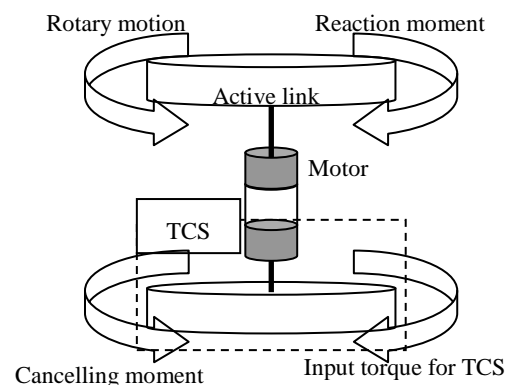


Fig. 1 Concept of TCS

4. TCS を用いた動揺抑制実験

4.1 実験概要

実験に用いたリンク系を図 2 に示す。各リンク部材はアルミニウムで構成される。ただし、能動リンクのみアルミニウム、ポリカーボネート製の 2 種類のリンクを使用し、それぞ

れ剛体リンク系, 柔軟リンク系として動揺抑制実験を行う。柔軟リンク系においては, リンクの変形量を増大する目的で能動リンク先端に 0.2[kg] の錘を装着する。これに対し, それぞれの系における指令トルクを同程度にし対比を容易にするため, 剛体リンク系の能動リンク先端には 0.1 [kg] の錘を装着する。

TCS のモータには減速比 1:18 の減速機を組み込んで使用した。受動関節にはエンコーダを取り付け, この位置での回転角を検知することにより動揺を計測する。

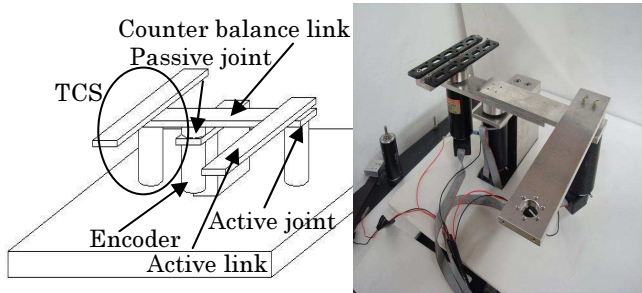


Fig. 2 Experimental setup for TCS

4.2 実験手法

能動リンクを 1.0 [s] の間に π [rad] 回転させる。このとき TCS を動作させる場合, させない場合について動揺を検知し, 動揺抑制効果を検証する。さらに TCS に与えるトルクとしてフィードフォワード (FF) およびフィードバック (FB) 制御を併用するもの, FF 制御のみ, FB 制御のみを使用するものの 3 通りを用い, 各制御法の効果についても比較を行う。FB ゲインの設定は Ziegler & Nichols の限界感度法^[2]に基づいて行い, FF+FB 制御および FB 制御には同じゲイン値を用いた。

4.3 実験結果

能動関節への指令トルクを図 3 に, 剛体, 柔軟リンク系における TCS への指令トルクをそれぞれ図 4 に示す。また各リンク系において支持部で検知された回転角を図 5 に示す。

いずれの場合においても, FF 制御のみを使用した場合には 0.5 [s] 付近から動揺が発生していることがわかる。この原因として, TCS への指令トルクが正負反転するとき, 減速機内のバックラッシュの影響により TCS のロータヘトルクが正確に伝えられていないことが考えられる。FF+FB 制御, FB 制御においては一時的に動揺が生じるもののすぐに抑制される傾向が見られることから, 減速機のバックラッシュの影響を補償するために FB 制御が有効に機能していることが分かる。ま

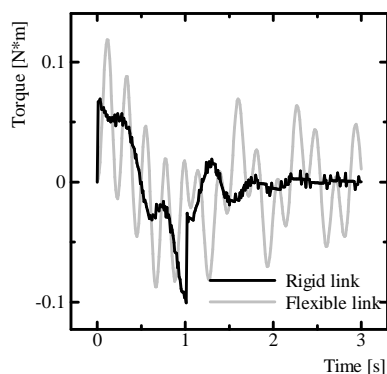
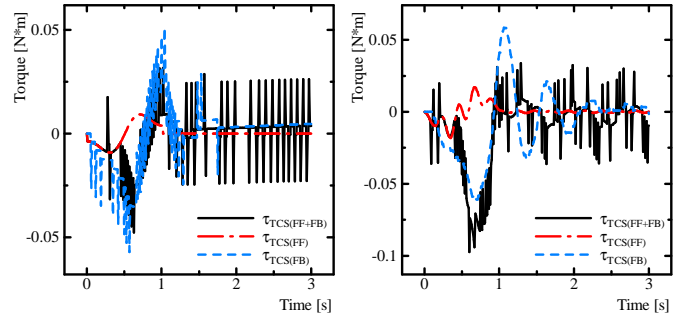


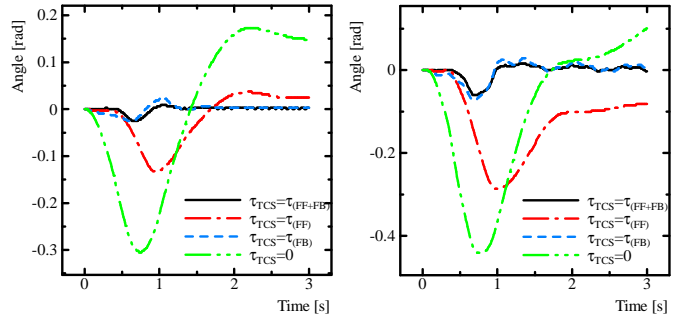
Fig. 3 Input torque for active joint



(a) Rigid link

(b) Flexible link

Fig. 4 Input torque for TCS



(a) Rigid link

(b) Flexible link

Fig. 5 Sway at passive joint

た, FB 制御のみを使用した場合には, 立ち上がりにおいて追従性が若干悪い様子が見られる。高速運動の動作初期における動揺を抑制する上では, やはり FF 制御は有効である。

5. 結言

本稿では, TCS のロボットへの搭載に向け, 減速機付きの TCS による動揺抑制実験を行った。減速機内のバックラッシュ等の機械的外乱を補償して動揺を抑制するためには, FB 制御が必要であることが確認された。

今後はこの機構を図 6 に示すような移動ロボットの実機に搭載し, 移動動作中での動揺抑制効果について検証を進める予定である。

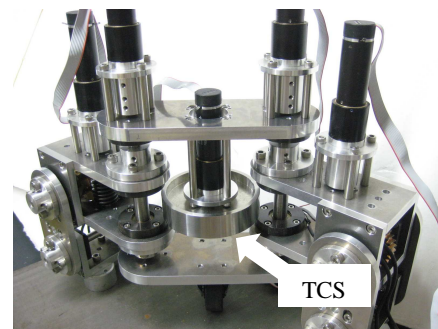


Fig. 6 Locomotion robot with a TCS

文 献

- [1] 磯部大吾郎, 松井康将, 近藤健介, “並列的逆動力学計算法を用いたトルクキャンセリングシステムの開発”, 機論 C1 編, 2011, 掲載予定。
- [2] 須田信英, “PID 制御”, 朝倉書店, システム制御情報ライブラリー-6, 1992。