

# トルクキャンセリングシステムを用いた遊戯用小型ロボットの動揺抑制

## Mechanical Sway Suppression of a Small Toy Robot Using a Torque Cancelling System

○非 杜 偉 (筑波大院) 正 磯部 大吾郎 (筑波大)

Wei DU, Graduate school, Univ. of Tsukuba, s1320979@u.tsukuba.ac.jp  
Daigoro ISOBE, Univ. of Tsukuba, isobe@kz.tsukuba.ac.jp

In recent years, motions of robot mechanisms have become faster than before to improve the efficiency of tasks. However, mechanical sway caused by high-speed operation produces unstable motion even in a small robot. To maintain its stability in motion, a torque cancelling system (TCS) is developed using a parallel solution scheme of inverse dynamics. It stabilizes mechanical sway caused by quick, rotational motion by accurate calculation of dynamics. In this study, we discuss the use of the TCS in a small toy robot and the verification of its effectiveness.

**Key Words:** Dynamics, Mechanical Sway, Torque Cancelling System

### 1. 緒言

近年、ロボワン大会 (二足歩行ロボットによる格闘競技を中心としたロボット競技大会) や産総研のロボット HRP-2 [1]等, ロボット工学分野の発展に伴い, 歩行ロボットがより身近な存在となっている。一方で, 作業効率をより向上させるために高速化が図られているが, 高速化に伴い, ロボットに動揺が生じるという問題がある。特に小型ロボットでは, その影響が顕著となる。

動揺は, 入力トルクの反作用として回転軸回りおよび重心回りにモーメントが発生することに起因する。動揺を機械的に抑制する方法に, 反作用として発生するモーメントに対し, 逆向きにトルクを加えてキャンセリングする方法が挙げられる。しかし, 動作対象のダイナミクスを正確に把握し, 精度良くトルクを供給しないとむしろ逆効果となる恐れがある。また, 従来の逆動力学計算法では, ロボットのような枝分かれや閉ループを持つ複雑な系のダイナミクスの表現が困難となる。磯部らは, 複雑な系に対しても正確に逆動力学を算出可能な並列的逆動力学計算法[2] (以降, 並列的解法と記す) を開発し, 追従性の良い安定したフィードフォワード制御を実現している。また, この解法を用いたトルクキャンセリングシステム (以後, TCS と記す) を開発し, 単純なリンク系において動揺抑制が可能であることを確認している [3][4]。本研究では, TCS を遊戯用小型ロボットに適用し, その有効性を検証することを目的とする。本稿では, 遊戯用小型ロボット XL WR-XL を用い, 簡単な動作で生じた動揺を TCS により抑制した実験例を紹介する。

### 2. 並列的逆動力学計算法

並列的解法では, 入力データとして与えられる軌道より陽に算出される節点力を, 力学的な関係に基づいてトルクに換算する。節点力からトルクに換算する過程をマトリクス形式で表したものが次式である [1]。

$$\{\tau^n\} = [L^n][T^n]\{P^n\} \quad (1)$$

ここで,  $\{\tau^n\}$  は求めるべき関節トルクベクトル,  $\{P^n\}$  は節点力に関するベクトルである。また,  $[T^n]$  は全体座標系を各リンクの要素座標系に変換する座標変換マトリクスである。 $[L^n]$  はリンク長さや機構形態などの情報を含む部材長マトリクスである。なお, 変数右上の添字  $n$  は対象とする機構の総リンク数を示す。

### 3. TCS の概念

1 軸回り動作についての TCS の概念図を Fig. 1 に示す。図上の物体を回転体, 図下の物体を TCS, 上下の物体をつないでいるものを軸とすると, 回転体を動作させる際に軸回りにモーメントが発生する。そのため, 軸は回転体とは反対回りに回転してしまう。しかし, 下の TCS に逆回転のモーメントを入力すると, 回転体によって発生するものとは逆回りのモーメントが発生し, お互いが打ち消し合い軸は回転しなくなる。つまり, 本体の動揺が起こる反作用モーメントを取り消す反転トルクを TCS に与えることにより, 動揺は抑制される。

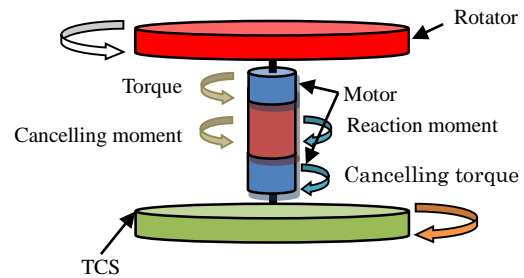


Fig. 1 General concept of uniaxial TCS

### 4. ロボットの動作軌道

#### 4.1 動作軌道計画と計測

Fig. 2 に示すように, 遊戯用小型ロボット XL WR-XL の片腕に対し, 肩を中心に 0.5 [s] の間に  $\pi/3$  [rad] 持ち上げてすぐ戻る軌道を与えた。並列的解法に inputs する軌道を把握し, TCS に必要なトルクを正確に算出するために, Fig. 3 に示すようにモーションキャプチャシステムを用いて実際の軌道を計測した。



Fig. 2 Experimental motion Fig. 3 Experimental setup for measuring the motion

## 4.2 動作軌道の作成

ロボットアームの動作軌道を作成するために、マーカーがついている肩とアーム先端の座標値を計測した。計測した座標値を用いて、肩の動作角度  $\theta_m$  を算出した。また、実験により発生するノイズを除去するため、 $\theta_m$  から近似曲線  $\theta_a$  を作成し、この近似曲線  $\theta_a$  を並列的解法の入力軌道とした。計測された角度曲線  $\theta_m$  と近似曲線  $\theta_a$  を Fig. 4 に示す。

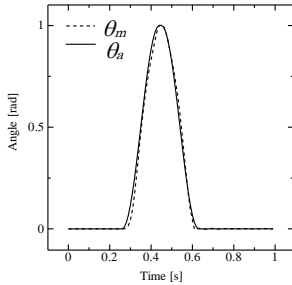


Fig.4 Measured and approximate angles

## 5. 並列的解法による解析

本章では、遊戯用小型ロボット XLWR-XL を例として、簡単な動作で生じた動揺を TCS により抑制した数値例を紹介し、その有効性について検証する。

### 5.1 解析モデル

実機概観を Fig. 5 に示す。また、並列的解法に使用する有限要素モデルを Fig. 6 に示す。タスクとしては、腕リンク⑤を節点 5 中心に回転させ、XZ 平面内で一回往復する動作を与えた。

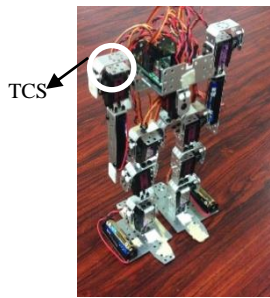


Fig.5 Petit robot XL WR-XL

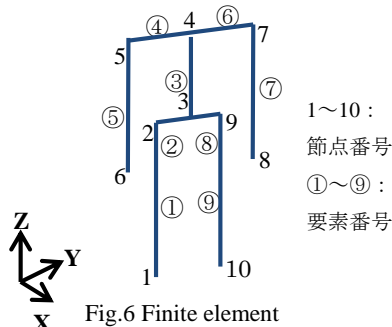


Fig.6 Finite element subdivision

1~10 : 節点番号  
①~⑨ : 要素番号

### 5.2 解析条件

本研究では、TCS を節点 5 のアームの回転軸と同軸上に配置した。ロボットの仕様を Table 1 に示す。全ての部材を剛体として自重を考慮した解析を行い、TCS で発生するトルクを算出した。

Table 1 Parameter of elements

| Elements | Length [m]            | Mass [kg]             |
|----------|-----------------------|-----------------------|
| ① and ⑨  | $1.30 \times 10^{-1}$ | $1.10 \times 10^{-1}$ |
| ② and ⑧  | $3.00 \times 10^{-3}$ | $2.00 \times 10^{-3}$ |
| ③        | $7.00 \times 10^{-3}$ | $2.05 \times 10^{-2}$ |
| ④ and ⑥  | $6.00 \times 10^{-3}$ | $2.20 \times 10^{-2}$ |
| ⑤ and ⑦  | $1.10 \times 10^{-1}$ | $5.55 \times 10^{-2}$ |

### 5.3 解析結果

動作軌道としての近似曲線  $\theta_a$  を Fig. 7 に示す。これを並列的解法に入力し、片腕の制御に供給されたトルク曲線を Fig. 8 に示す。供給されたトルクに対し TCS の位置に発生するモーメントは、同

様に並列的解法によって Fig. 9 のように算出される。この場合では、Y 軸回りのみのモーメントが発生している。

前述のように、TCS の位置に発生するモーメントが TCS に供給するトルクとなるため、TCS への入力トルクは Fig. 9 と同一の Fig. 10 に示すものとなる。これを TCS の入力トルクとして与えれば、動揺を抑えることが可能となる。

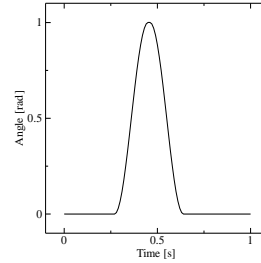


Fig. 7 Approximate angles

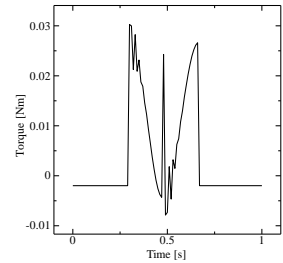


Fig. 8 Motion torque for the arm

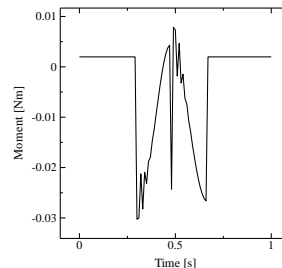


Fig. 9 Reaction moments at location of TCS

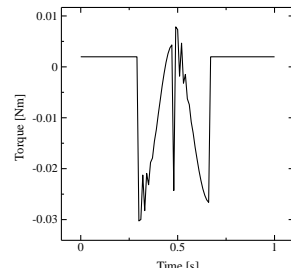


Fig. 10 Input torque for TCS

## 6. 実機による検証

TCS に算出した入力トルクを与えて機能させた場合、Fig. 11 に示すように、実機全体のバランスを保つことができた。一方、TCS を機能させない場合には、Fig. 12 に示すように動揺が発生し、転倒してしまった。この実験結果より、TCS の有効性を検証できたと考えられる。

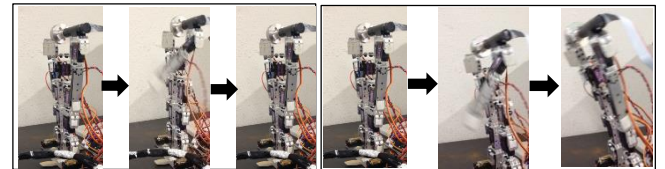


Fig. 11 Using TCS

Fig. 12 Without using TCS

## 7. 結言

モーションキャプチャシステムを用いてロボットアームの動作を計測した。計測したデータを近似し、軌道として並列的解法に与えることで TCS の入力トルクを算出した。算出した入力トルクを TCS に与えて実験を行った結果、簡単な動作で生じた動揺を抑制でき、TCS の有効性が確認された。

今後は、さらに複雑な動作で生じた動揺を TCS によって抑制し、その有効性について検証を行う予定である。

## 参考文献

- [1] 五十棲, 赤地他, “ヒューマノイドロボット HRP-2 の開発”, 日本ロボット学会誌, Vol.22, No.8(2004), pp.1004- 1012.
- [2] 磯部 大吾郎, “有限要素法を用いたリンク機構の逆力学計算”, 日本ロボット学会誌, Vol. 20, No. 6 (2002), pp.647-653.
- [3] Isobe, D., Imaizumi, D., and Yagi, A., “A Parallel Solution Scheme for Inverse Dynamics of Link Mechanisms”, JSME International Journal Series C, Vol. 46, No. 2 (2003), pp. 766-771.
- [4] Isobe, D., “A Unified Solution Scheme for Inverse Dynamics”, Advanced Robotics, Vol. 18, No. 9 (2004), pp. 859-880.