

1. 緒言

リハビリテーションやスポーツの訓練において適切な診断や指導を行うためには、体の各部位におけるエネルギー変化および伝達量を明らかにすることが有用な手段の1つであると考えられる。人間が運動をするとき、体幹が動くことでエネルギーが生まれ、腕または下肢などの体の各部を流れていく。その変化および伝達量を明らかにすることは最も効率の良い動きを再現するための手ほどきとなり得る。また、各個人に合わせたトレーニングを行うことができるなど多岐にわたる活用方法が考えられる。

従来、エネルギーの推定方法としては3次元動作解析装置と床反力プレートを用いていたが、装置が設置式であるため場所や歩数に制限ができるなどのデメリットがある。当研究室ではこの問題を解決した装着型の移動式システム M3D (Mobile force plate and 3D motion analysis system) を開発している。M3D は、下肢と大腿の速度、加速度、関節モーメントなどを測定および推定可能である。そこで、このM3D を利用したエネルギー変化および伝達量の推定ができないか考えた。

本稿では M3D を用い体の各部位におけるエネルギーの変化率を推定するための方法について述べる。

2. エネルギー変化率

本研究では、下肢におけるエネルギー変化を解析するため3リンクの振り子モデルをもとに考えていく

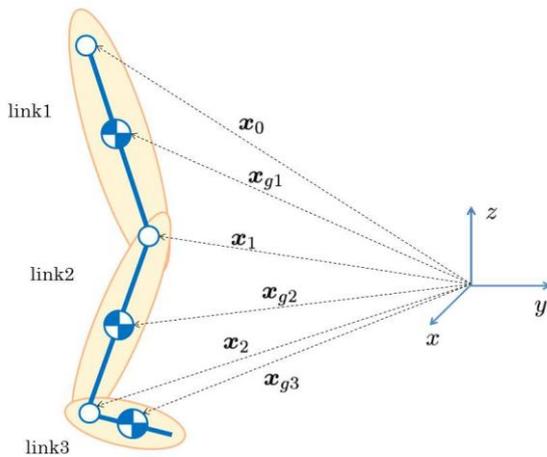


図1 3リンクの振り子モデル

図1の各リンクに作用する力、各関節にかかるトルク、関節の角速度をそれぞれ $F_1, F_2, F_3, \tau_1, \tau_2, \tau_3, \omega_1, \omega_2, \omega_3$ とする。各リンクのエネルギー変化率は(各リンクに作用する力) \times (関節の速度)と(関節モーメント) \times (角速度)の和により求めることができる。よって、各リンクのエネルギー変化率 $\dot{E}_1, \dot{E}_2, \dot{E}_3$ は

$$\dot{E}_1 = F_1^T \dot{x}_0 - F_2^T \dot{x}_1 + \tau_1^T \omega_1 - \tau_2^T \omega_1 \quad (1)$$

$$\dot{E}_2 = F_2^T \dot{x}_1 - F_3^T \dot{x}_2 + \tau_2^T \omega_2 - \tau_3^T \omega_2 \quad (2)$$

$$\dot{E}_3 = F_3^T \dot{x}_2 + \tau_3^T \omega_3 \quad (3)$$

となる。各リンクに作用する力以外は M3D から得られる値である。ここで、各リンクの運動方程式を立てると

$$m_1(\ddot{x}_{g1} + g) = F_1 - F_2 \quad (4)$$

$$m_2(\ddot{x}_{g2} + g) = F_2 - F_3 \quad (5)$$

$$m_3(\ddot{x}_{g3} + g) = F_3 \quad (6)$$

となり、各リンクの加速度は M3D から得られるので順次 F の値を求めることができる。よって、式(1), (2), (3)から各リンクのエネルギー変化率を求めることができる。

3. エネルギー変化率の推定実験

振り子を鉛直下向きにした状態から実験を開始し振り子の末端を持ち上げ少しの間保持し、その後手を離し、振り子を自由振動させる。振り子に取り付けた M3D から 30 秒間の振り子のデータを取る。

得られたデータを式(1), (2), (3)に代入し各リンクのエネルギー変化率を求めその和をとることで、系全体のエネルギー変化率を求めた結果が図3である。実験開始から5秒間振り子は静止しているためエネルギー変化率は0[J/s]、その後振り子を持ち上げた際のエネルギーの流入が5秒付近で確認できる。8秒以降は振り子の自由振動の波形であるが振り子の揺れが小さくなるにつれてエネルギー変化率も0[J/s]に収束していく様子が確認できる。

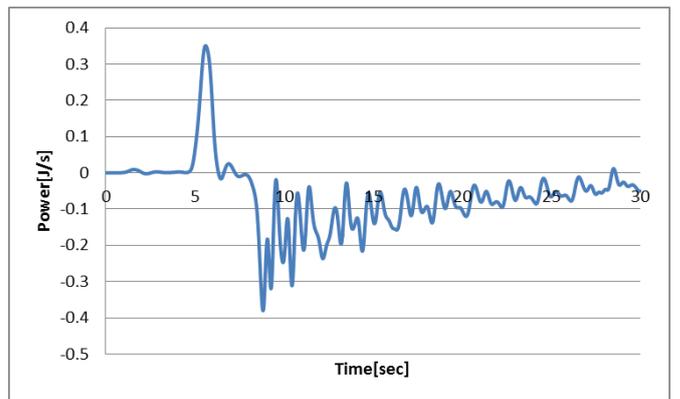


図3 系全体のエネルギー変化率の推定

4. 結言

今回、3リンクでの振り子モデルでエネルギー変化率の推定実験を行い、単純な動作ではあるがエネルギー変化の傾向としては良好な結果が得られた。今後は定量的な精度の検証および波形の振動を抑える方法を考える必要がある。また、今回の実験では振り子を自由振動させているので関節モーメントは働いていない。関節モーメントを加えた条件でも有効なデータを得られるのかも確認していく予定である。