

筋の力学的特性と 4 Q-6 それに基づく空気圧駆動制御

本多 庸悟, 磯崎 芳史, 金子 俊一, 末永 克己

東京農工大学

1. はじめに

本研究は、膝関節回りの筋群とばね剛さ、減衰係数の関係を調べ、筋の可変コンプライアンス特性を実現する空気圧駆動系の制御を行うことを目的としている。そのために、まず実験によって下肢(膝関節)の筋収縮力とばね剛さ、減衰係数の関係を調べた。次に、空気圧駆動による実験システムを構成し、排気制御をPWM(Pulse Width Modulation, パルス幅変調)によって行い、その位置決めとばね剛さについて考察したので報告する。

2. 筋の力学的特性

2.1 筋のモデル化

収縮筋の力学的特性は、筋の力はその長さに比例し、短縮速度に反比例するという2つの基本特性で表されることが知られている^{1), 2)}。

この特性を考慮した筋のモデル²⁾は、筋の発生する力を F とすると

$$F = u - k u x - b u \dot{x} \quad (1)$$

と表される²⁾。ここで、 u : 収縮力, $x, \dot{x}$: 筋の長さ及び短縮速度(短縮方向正), k, b : 正の定数, である。式(1)は、ばね剛さ($k u$)及び減衰係数($b u$)が収縮力 u に比例して変化することを表している。

2.2 筋特性の測定実験

(1) 実験では負荷を付けた下腿に衝撃を加え、そのときの下腿の運動を加速度計によって測定し、その値からばね剛さ及び減衰係数を算出した。

(2) ばね剛さに関する実験結果を図1に示し、減衰係数に関する実験結果を図2に示す。図において縦軸方向の直線は、標準偏差の値を示している。

その結果、負荷を付けた下腿を支持するために膝関節に働くトルク(負荷トルク)とばね剛さ、減衰係数の相関係数は、それぞれ0.89, 0.77であり、ともに1%水準で有意であることが分かった。

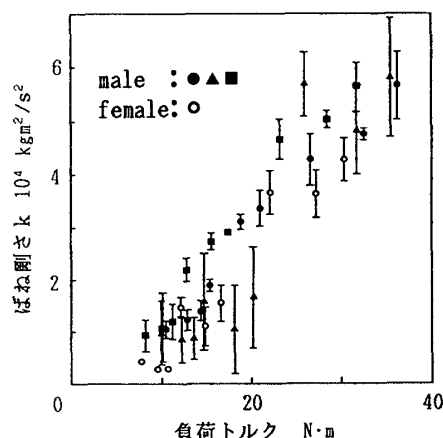


図1 負荷トルクとばね剛さ

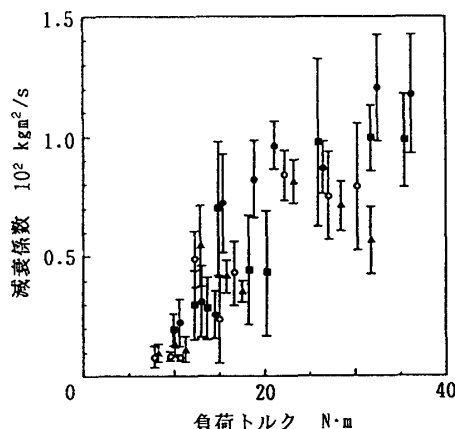


図2 負荷トルクと減衰係数

これらの結果から、ばね剛さ、減衰係数は、負荷トルクと正の相関があり、ばね剛さ、減衰係数ともに筋の収縮力に比例するというモデルが正しいことが確かめられた。

3. 空気圧駆動系の制御

空気圧駆動系によるコンプライアンス制御を目的とし、排気弁のPWM制御による位置決め制御³⁾及びそのときのばね剛さについて考察する。

3. 1 実験システムの構成

空気圧駆動システムの構成を図3に示す。空気圧シリンダは内径20mm, ストローク100mmである。ピストン位置の検出は、光学式ロータリエンコーダによって行う(分解能0.1mm)。電磁弁(ON-OFF弁)は直接作動ダブルソレノイド方式、(2ポジション5ポート)を4個使用し、各室に2個接続し、給気、排気を独立に制御する。ON-OFF弁、エンコーダはI/Oインタフェースを介して、ホストコンピュータ(PC9801VX2)に接続している。実験は供給圧3気圧で行った。

3. 2 位置決め制御則

位置決め制御は、(1)偏差に応じた給気、排気の切り替え、(2)排気を行うON-OFF弁開度のPWM制御によって行う。排気弁の開度をデューティ比 D (%, $D=0$:全閉, $D=100$:全開)で表すすると D と偏差 e の関係は次式で与えられる。

$$D_i = \begin{cases} 0 & (|e| \leq e_{1i}) \\ K_i \times e + d_i & (e_{1i} < |e| \leq e_{2i}) \\ 100 & (|e| > e_{2i}) \end{cases} \quad (2)$$

ここで、 K_i は

$$K_i = \frac{100 - d_i}{e_{2i} - e_{1i}} \quad (3)$$

であり、 d_i は正の定数で封じ込め時以外の D_i の最小値を表し、 $i=1, 2$ は弁の番号を表す。

3. 3 位置決め制御実験

サンプリング周期を50Hzとし、 K_i , e_{1i} , e_{2i} , d_i をパラメタとして位置決め制御を行った。位置決めの例を図4に示す。

3. 4 ばね剛さの測定

サーボ制御によって位置50mmに停止しているピストンに外力を加えて振動させ、そのときの振動数から制御系のばね剛さ k' を算出し、 K_i ($K_1=K_2$)と k' の関係を求めた。測定結果を図5に示す。その結果、 K_i を変えることによって制御系のばね剛さ k' が変化し、排気弁の制御によってばね剛さを可変にできることを確かめた。

4. 結論

(1)膝関節の収縮力(負荷トルク)と、ばね剛さ、減衰係数の相関係数はそれぞれ0.89, 0.77であり、ばね剛さ、減衰係数ともに収縮力と正の相関があることが分かった。

(2)排気を行うON-OFF弁をPWM方式によって制御し、そのデューティ比 D を偏差に応じて変化させることで系のばね剛

さを変えられることが確かめられた。

(3)空気圧駆動系によるコンプライアンス制御のための基礎資料を得ることができた。

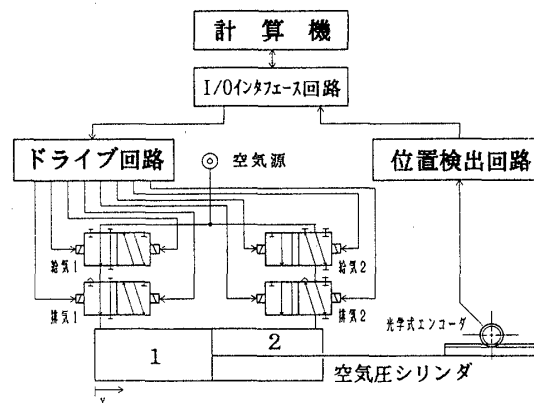


図3 システムの構成

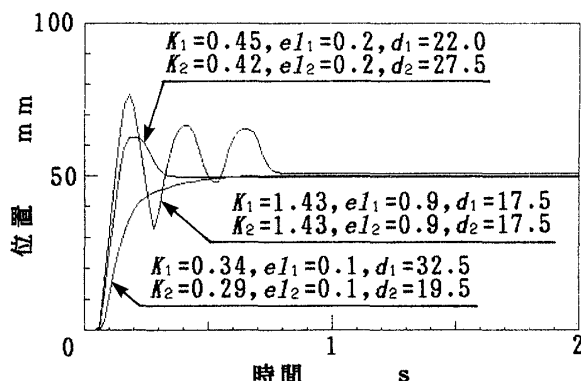


図4 位置決め制御例

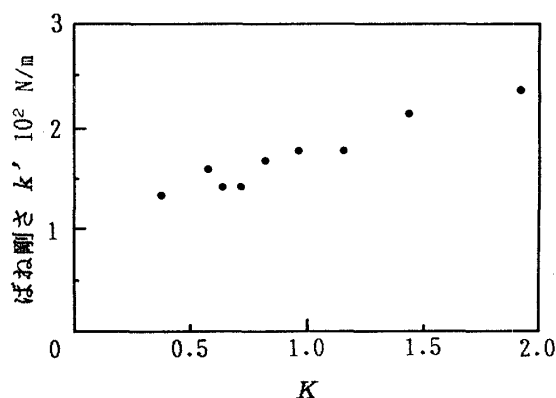


図5 ばね剛さの変化

参考文献

- NEVILLE HOGAN: Adaptive Control of Mechanical Impedance by Coactivation of Antagonist Muscles, IEEE Transactions on Automatic Control, vol. AC-29, No. 8, pp. 681-690, 1984
- 伊藤, 辻: 筋骨格系の双線形特性と義肢制御への応用, 電気学会論文誌, 105-10, pp. 201-208, 1985
- 則次, 花房: 空気圧シリンダのパルス幅変調方式速度制御 — 低速駆動時における一定速度送り —, 油圧と空気圧, 14-7, pp. 505-512, 1983