

生体機構とその工学的応用に関する研究動向

Research Trends on Biomechanics and its Application to Engineering System

指導教員 堀 洋一

56414 吉田 憲吾

Abstract

Recently there are many trials to introduce animal characteristics into robots. This paper reviews recent researches about biomechanics and its applications to engineering system. Firstly, characteristics of musculoskeletal system is introduced. Researches about animal arm with bi-articular muscle and its applications are presented. Furthermore, the role of gastrocnemius muscle in vertical jump is explained. Secondly, Central Pattern Generator (CPG) is taken up from researches on nervous system. Lastly, manufacture of a robot arm equipped with bi-articular muscle is described.

1 はじめに

現在様々な生物のフォルムに似せたロボットが登場してきている。いわゆるヒューマノイド型ロボットや、犬などの動物を模したロボットも数多く発表されている。しかしながらそれら生物に似たロボットは、必ずしも生物と同じ駆動方法を取っているわけではない。

多くのロボットは各関節に独立に回転型のアクチュエータを配置するという事で駆動を行なっている。またその姿勢の維持や、歩行などの駆動時には ZMP などによる多量の計算によってそれを実行している。

一方生物においては筋肉というある種の直動型のアクチュエータを、時には関節をまたぐようにして冗長に配置し、姿勢維持や歩行、はばたきといった基本動作については非常に簡単な制御によってこれを実現している。

現在の生物型ロボットは、生体機構の工学的応用の結果というものは言い難い。随分発達してきたとはいえ、まだまだ生物の能力には比ぶべくもない。近年生物の仕組みをロボットに取り入れようという試みが多く研究されている。本輪講では生物の筋骨格を取り入れる研究として、二関節筋の応用と腓腹筋による垂直ジャンプに関する研究。また生物が駆動する仕組みとして CPG に関する研究を紹介する。

次に研究テーマである「生物の仕組みを取り入れた

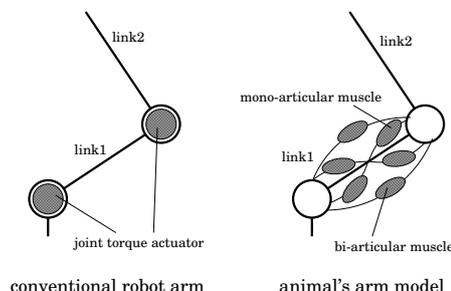


図 1: 生物とロボットのアーム機構の違い

素早く柔らかいロボットの実現」に向けて、二関節筋の仕組みを取り入れたロボットの制作に関して述べる。

2 生物の筋骨格系とその工学応用

2.1 生物のアームのモデル化

2.1.1 生物のアームと従来ロボットのアームの機構の違い

図 1 のように、従来のロボットアームと生物のアームの大きな違いを図示する。従来のロボットアームでは各関節を独立に駆動するアクチュエータが配されているのに対して、生物のアームでは各関節を独立に駆動するアクチュエータ（一関節筋）だけでなく、両方の関節にまたがって同時にこれらを駆動するアクチュエータ（二関節筋）を持っている。

二関節筋が存在することによって、一方の関節に協働的に働く時、もう一方には拮抗的に働くという現象が起こる。また各関節を独立に取り扱うということもできなくなる。一見不要にも思われるが、この二関節筋が特に生物の制御機能にとって大きな役割を果たしているとして注目されてきている。

生物のアームは様々な筋が組み合わせられてできているが、二次元運動に限定した場合に機能の面から一関節筋と二関節筋の 3 筋 6 対の実効筋モデルによって表そうとする取り組みがなされている。熊本、大島らによって 3 筋 6 対を持つアームの手先出力や粘弾性に関する研究がなされ、二関節筋が生物の制御機能に大きな役割を果たしていると主張している。[1][2][3]

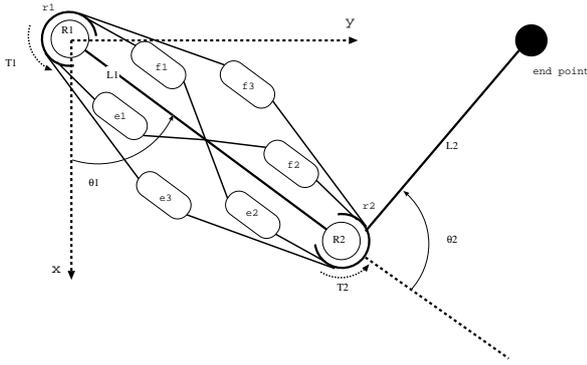


図 2: 生物のアーム機構

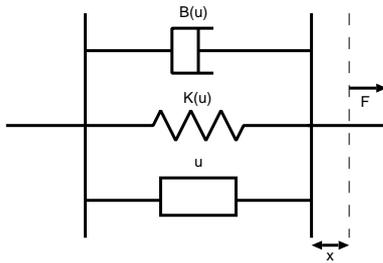


図 3: 筋肉のモデル図

Fig. 3 Model of a muscle

また、これらの応用的研究としてはスポーツや医療の分野で、効果的なトレーニングやリハビリテーションを行なうために、被測定者に負担をかけない実効筋力の測定法や、特定の筋を効率的に鍛える方法の研究がなされている。[4][5]

また人間の腕が出力しやすい方向を考えた、本田技研による自動車の新しい操舵システムの開発、二関節筋を持たせてジャンプなどの動作を行なう沖電機工業のロボットレッグといった、企業による実用化に向けた研究開発も行なわれている。[6][7]

2.1.2 二関節筋を持ったアーム機構のモデル

図 2 のように生物のアーム機構を模式的に表わす。

ここで図 2 の \$e_1, f_1\$ は関節 R1 に働く一関節筋、\$e_2, f_2\$ は関節 R2 に働く一関節筋である。また、\$e_3, f_3\$ は関節 R1, R2 にまたがる二関節筋である。また、\$e_1\$ と \$f_1\$、\$e_2\$ と \$f_2\$、\$e_3\$ と \$f_3\$ はそれぞれ拮抗関係にあり、これを拮抗対と呼ぶ。

まず生物の筋肉は図 3 のように模式的に表すことができ、バネ成分、ダンパ成分を持ったアクチュエータとして表わされる。

これを数式で表わすと、出力を \$F\$ とすれば、式 (1)

と表わすことができる。

$$F = u - K(u)x - B(u)\dot{x} = u - kux - bu\dot{x} \quad (1)$$

バネ成分、ダンパ成分の係数は筋肉の出力 \$u\$ に比例する関数として表すことができ、比例定数をそれぞれ \$k, b\$ とする。\$x\$ は自然長からの変位である。

次に各関節におけるトルクが、各筋の出力によってどのように発生するかを示す。二つの関節 R1, R2 の半径をそれぞれ \$r_1, r_2\$ とし、各々に発生するトルクを \$T_1, T_2\$ とする。各筋の出力を \$F_x, (x = e_1, e_2, e_3, f_1, f_2, f_3)\$ とすると、式 (2) と表わされる。

$$\begin{aligned} T_1 &= (F_{f_1} - F_{e_1})r_1 + (F_{f_3} - F_{e_3})r_1 \\ T_2 &= (F_{f_2} - F_{e_2})r_2 + (F_{f_3} - F_{e_3})r_2 \end{aligned} \quad (2)$$

2.1.3 二関節筋の仕組みを持ったアーム機構の手先出力

関節 R1, R2 の角度を図 2 のように \$\theta_1, \theta_2\$ とし、またリンク \$L_1, L_2\$ の長さをそれぞれ \$l_1, l_2\$ とするとヤコビ行列 \$J\$ は式 (3) と表わされる。[8]

$$J = \begin{pmatrix} -l_1 \sin \theta_1 - l_2 \sin(\theta_1 + \theta_2) & -l_2 \sin(\theta_1 + \theta_2) \\ l_1 \cos \theta_1 + l_2 \cos(\theta_1 + \theta_2) & l_2 \cos(\theta_1 + \theta_2) \end{pmatrix} \quad (3)$$

よって、各関節のトルクと手先出力の関係は式 (4) と表わされる。

$$\begin{pmatrix} F_x \\ F_y \end{pmatrix} = (J^T)^{-1} \begin{pmatrix} T_1 \\ T_2 \end{pmatrix} \quad (4)$$

ここで、式 (2) 及び、式 (4) により、各筋肉の出力が手先に及ぼす力の大きさと向きを式 (5) と示すことができる。ただし \$r = r_1 = r_2\$ とし、\$\theta_2 = 0, \pi\$ の特異点を除く。

$$\begin{aligned} \begin{pmatrix} F_x \\ F_y \end{pmatrix} &= \frac{r}{l_1 \sin \theta_2} \begin{pmatrix} \cos(\theta_1 + \theta_2) \\ \sin(\theta_1 + \theta_2) \end{pmatrix} (F_{f_1} - F_{e_1}) \\ &+ \frac{r}{l_1 l_2 \sin \theta_2} \begin{pmatrix} -l_1 \cos \theta_1 - l_2 \cos(\theta_1 + \theta_2) \\ -l_2 \sin \theta_1 - l_2 \sin(\theta_1 + \theta_2) \end{pmatrix} (F_{f_2} - F_{e_2}) \\ &+ \frac{r}{l_2 \sin \theta_2} \begin{pmatrix} -\cos \theta_1 \\ -\sin \theta_1 \end{pmatrix} (F_{f_3} - F_{e_3}) \end{aligned} \quad (5)$$

よって、筋 \$f_1, e_1\$ による出力の方向はリンク 2 の方向、筋 \$f_2, e_2\$ による出力の方向は関節 1 と手先を結ぶ方向、筋 \$f_3, e_3\$ による出力の方向はリンク 1 の方向である。

図 4 のように従来のアームと、二関節筋の仕組みを持ったアームとの手先出力の比較を示す。各筋はそれぞれ 1N の力を発生させるとして、R1 の角度を 30 度、R2 の角度を 30 度、60 度、120 度とそれぞれ変えて計

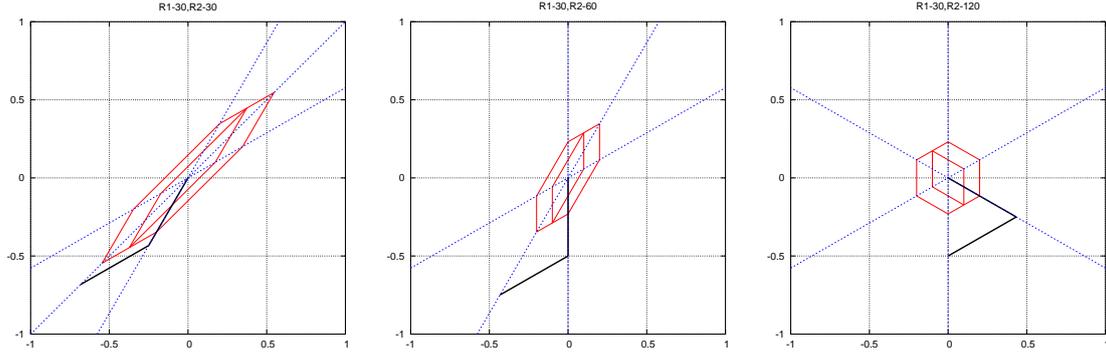


図 4: 二関節筋の仕組みを持ったアーム機構の手先出力

算した。また各リンクの長さは 0.6m、また各関節の半径は 0.1m とした。

この結果二関節筋が存在することによって今まで力が小さくなってしまっていた方向へ出力を広げ、出力がより均等に出来るようにするという効果が見られた。またどれか一つの筋が故障したとしても、残りの筋のみで全ての方向への出力を行なうことができ、冗長性を持つことができるようになった。

2.1.4 二関節筋の仕組みを持ったアーム機構の手先剛性

3 対 6 筋に相当するアクチュエータを持ったアーム機構においては、手先剛性を手先出力とは独立に設定することができるという特徴がある。柔軟に剛性を調整することによって、必要無い部分では剛性を減らすなど、特に柔らかな駆動が可能となる。

静止状態及び、 $l_1 = l_2 = l, r_1 = r_2 = r$ の条件の元で、手先の微小な変位 $\Delta x, \Delta y$ に対する手先の力の変位 $\Delta F_x, \Delta F_y$ を考える。まず、微小なトルク $\Delta T_1, \Delta T_2$ と手先の力の関係を表すと。

$$\begin{pmatrix} \Delta T_1 \\ \Delta T_2 \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} -\alpha & \beta \\ -\gamma & \delta \end{pmatrix} \begin{pmatrix} \Delta F_1 \\ \Delta F_2 \end{pmatrix} \quad (6)$$

ただし、

$$\begin{aligned} \alpha &= l_1 \sin \theta_1 + l_2 \sin(\theta_1 + \theta_2), \\ \beta &= l_1 \cos \theta_1 + l_2 \cos(\theta_1 + \theta_2), \\ \gamma &= l_2 \sin(\theta_1 + \theta_2), \\ \delta &= l_2 \cos(\theta_1 + \theta_2) \end{aligned}$$

とする。次に手先の微小な変位と、各関節の微小な変位 $\Delta \theta_1, \Delta \theta_2$ の変位について求めると

$$\begin{pmatrix} \Delta x \\ \Delta y \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} -\alpha & -\gamma \\ \beta & \delta \end{pmatrix} \begin{pmatrix} \Delta \theta_1 \\ \Delta \theta_2 \end{pmatrix} \quad (7)$$

ここで、微小な関節角度の変化によるトルクの変化を求めると

$$\begin{pmatrix} \Delta T_1 \\ \Delta T_2 \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} \frac{1}{C_1} + \frac{1}{C_3} & \frac{1}{C_3} \\ \frac{1}{C_3} & \frac{1}{C_1} + \frac{1}{C_3} \end{pmatrix} \begin{pmatrix} \Delta \theta_1 \\ \Delta \theta_2 \end{pmatrix} \quad (8)$$

ただし

$$\begin{aligned} C_1 &= -\frac{1}{kr^2(u_{f1} + u_{e1})}, C_2 = -\frac{1}{kr^2(u_{f2} + u_{e2})} \\ C_3 &= -\frac{1}{kr^2(u_{f3} + u_{e3})} \end{aligned}$$

である。式 (6)、式 (7)、式 (8) より、手先の微小な変位と、手先の力の関係は

$$\begin{pmatrix} \Delta x \\ \Delta y \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} a_{11} & a_{12} \\ a_{12} & a_{22} \end{pmatrix} \begin{pmatrix} \Delta F_x \\ \Delta F_y \end{pmatrix} \quad (9)$$

ただし

$$\begin{aligned} a_{11} &= \alpha^2 C_A - 2\alpha\gamma C_B + \delta^2 C_C \\ a_{12} &= -\alpha\beta C_A + (\alpha\delta + \beta\gamma) C_B - \gamma\delta C_C \\ a_{22} &= \beta^2 C_A - 2\beta\delta C_B + \delta^2 C_C \\ C_A &= \frac{C_1(C_2 + C_3)}{C_1 + C_2 + C_3}, C_B = \frac{-C_1 C_2}{C_1 + C_2 + C_3} \\ C_C &= \frac{C_2(C_1 + C_3)}{C_1 + C_2 + C_3} \end{aligned}$$

手先のポテンシャルエネルギーを E_p とすれば、

$$E_p = \begin{pmatrix} \Delta x & \Delta y \end{pmatrix} \begin{pmatrix} a_{11} & a_{12} \\ a_{12} & a_{22} \end{pmatrix}^{-1} \begin{pmatrix} \Delta x \\ \Delta y \end{pmatrix} \quad (10)$$

と表わすことができ、等ポテンシャル面は楕円体となる。長径を $2A$, 短径を $2B$ として、傾きが ψ の楕円は

$$\left(\frac{\cos \psi}{A^2} + \frac{\sin \psi}{B^2}\right) \Delta x^2 + \left(\frac{\sin \psi}{A^2} + \frac{\cos \psi}{B^2}\right) \Delta y^2 + 2 \sin \psi \cos \psi \left(\frac{1}{A^2} - \frac{1}{B^2}\right) \Delta x \Delta y = 1 \quad (11)$$

と表わされ、式 (11) を展開すると

$$\frac{a_{22}}{(a_{11}a_{22} - a_{12}^2)Ep} \Delta x^2 + \frac{a_{11}}{(a_{11}a_{22} - a_{12}^2)Ep} \Delta y^2 - \frac{2a_{12}}{(a_{11}a_{22} - a_{12}^2)Ep} \Delta x \Delta y = 1 \quad (12)$$

となる。

楕円体を自由に設定するためには、長軸、短軸、傾きの 3 つを指定する必要がある、少なくとも独立な 3 つのパラメータが必要となる。ということで、手先出力と剛性楕円を独立に設定可能にするためには、3 対 6 筋に対応する 6 つのアクチュエータが必要となる。

2.2 腓腹筋による垂直跳躍運動

ロボットが跳躍運動をするのは難しい。なんといつても短時間に力の方向を制御して跳躍し、着地時の衝撃を上手く受けとめて姿勢を制御するというのは困難である。走るという動作は跳躍運動の連続であるから、上手く走るためにはまず跳躍運動がこなせなくてはならない。着地から跳躍までの一連の動作を極めて短時間のうちに制御し、しかもエネルギーも節約しなければならない。しかし、このような難しいことを生物は軽々とやってのける。

腓腹筋 (Gastrocnemius Muscle) とは、いわゆるふくらはぎに存在する筋肉であり、足首の関節と膝関節にまたがって機能する二関節筋の一種である (図 5)。生物の跳躍運動にこの筋が大きな役割を果たしているということが分かってきた。

鳥海らは腓腹筋が跳躍に及ぼす影響を実験的に確かめた。[9] 跳躍運動は股関節、膝関節、足首関節それぞれの関節における関節トルクをうまく直動運動に変えることが必要である。それぞれのトルクが回転運動に変わってしまえば、高く跳ぶことができないばかりか、体が回転してしまい姿勢をうまく制御することができない。鳥海らはワイヤーを人の腓腹筋に対応するように配置し、膝関節に取りつけたバネによって跳躍を行なわせた。結果腓腹筋を取りつけたものは取りつけないものに比べて踏み切り時間が長くなり、膝の回転運動を効率良く伝えることになった。姿勢制御の観点からは、床反力の作用線が足首と重心を結ぶ直線に近い方向を保つようになり、結果的にほとんど回転運

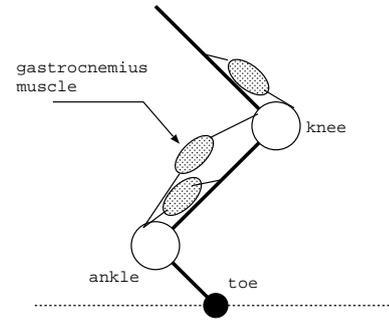


図 5: 腓腹筋 (gastrocnemius muscle) を含む跳躍モデル

動を共なわずに、真っ直ぐに跳躍することができるとした。

大島らは、膝関節と足首関節を持つ 3 リンク (足、下腿部、大腿部に相当) の脚モデルについて跳躍の実験を行なった。[10] 筋配置として 3 つのパターンに関して検討を行っており、すなわち (1) 一般的なロボットのように各関節を独立に駆動する一関節筋を足首と膝に持つモデル、(2) ヒトのように足首と膝の一関節筋及び二関節筋である腓腹筋を持つモデル、(3) ヒトのモデルから足首の一関節筋を取り外したモデルである。このうち (3) のモデルに基き実際に跳躍ロボットを作成して実験した。

Spägle らはヒトの垂直跳躍のモデリングとシミュレーション、跳躍の最適化についての研究を公表している。[11] ヒトの各筋を直動型のアクチュエータとして置きかえたリンクモデルによってシミュレーションを行ない、それぞれの筋の出力の最適化を行なった。

3 生物の神経系とその工学応用

3.1 CPG を用いた生物様の駆動

3.1.1 CPG に関する研究動向

CPG とは Central Pattern Generator の略であり、生物の脊髄中に存在して歩行やばたきなどの繰り返しの動作のリズムを生成している。もともと神経生理学の分野において生物の行動を生成するものとして発見されたものであるが、現在ロボットのリズムを持った運動等への適用が目まぐるしく行われている。

多賀らによって CPG の引き込み特性を用いた、矢上面内の二次元二足歩行の安定な制御系の提案・構築を行なわれている。[12][13][14][15] また、多足歩行のロボットへの応用としては、木村らの四足ロボット「鉄

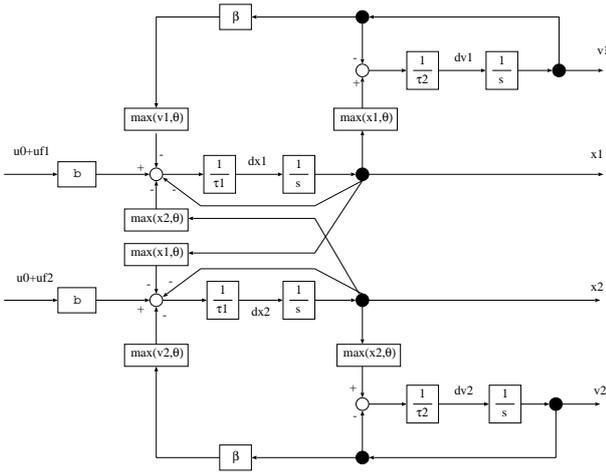


図 6: 2つの素子からなる CPG

犬」の実現、六足ロボットとして稲垣らの研究がある。[16][17]

基本的に、各筋もしくは各関節トルクの駆動指令源として CPG を使い、各関節角等の情報を受けとって引き込み動作に利用するといった形で、制御が行なわれている。

企業による実用化としては、富士通からニューラルネットワークと CPG を組み合わせた学習機構を持つロボットが発表されている。[18]

3.1.2 神経振動子と CPG のモデル

CPG とはある位相関係を持った神経振動子の集まりとして構成される。神経振動子は神経素子の結合によって形成され、一定の出力を与えると自励振動を起こすというのがその基本である。また特徴とし「引き込み」と呼ばれる外部から与えられた振動的な入力信号に自励振動を同調させていく性質がある。

CPG の代表的なモデルとして Matsuoka のモデルを式 (13)-(16) に示す。[19] 各神経子は式 (13),(14) と式 (15),(16) という対で表わすことができる。各素子は興奮後に沈静化するという性質 (順応特性、疲労特性) を持っており、これを二つ排他的に結合することで、発振させることができる。(図 6)

$$\tau_1 \dot{x}_1 = -x_1 - \beta f(v_1) - \gamma f(x_2) + b(u_0 + u_{f1}) \quad (13)$$

$$\tau_2 \dot{v}_1 = -v_1 - f(x_1) \quad (14)$$

$$\tau_1 \dot{x}_2 = -x_2 - \beta f(v_2) - \gamma f(x_1) + b(u_0 + u_{f2}) \quad (15)$$

$$\tau_2 \dot{v}_2 = -v_2 - f(x_2) \quad (16)$$

各パラメータの説明であるが、 x_n は各素子の出力である。 v_n は各素子の疲労の度合いを示すものである。 β は各素子の順応の強度であり、これが大きいほど興

表 1: CPG のパラメータ

τ_1	0.2	τ_2	1.4
β	10	b	0.8
γ	-1	c	1.0

奮から鎮静への山が急峻になる。 γ は素子同士の結合係数であり、負の時に排他的な結合となる。 u_0 は一定入力であり、 u_{fn} は振動的な入力 (フィードバックなど) を通常用いる。CPG の出力は式 17 として表わされる。

$$y = cf(x_1) + cf(x_2) \quad (17)$$

最後に $f(x) = \max(x, \theta)$ へと表わすことのできる関数であり、 θ はその閾値で、適切に設定する。

これらの素子に一定の入力を与えた場合、最初素子は興奮し出力 x_n の値は上昇する。しかしながら、次第に疲労がたまって沈静化し、出力は一定の値に落ちつく。これを二つ排他的に結合すると、片方が興奮状態にある時、もう片方はそれに応じて沈静化する。興奮状態にある素子はそのうち疲労によって沈静化するから、そうすると今まで抑制されてきた側が興奮するようになる。これを交互に繰り返すことによって、発振する神経振動子を得ることができる。

多数の素子が結合した CPG の一般的な形について述べる。

$$\begin{aligned} \tau_{n1} \dot{x}_n &= -x_n - \beta_n f(v_n) - \sum_{i=0}^N \gamma_{ni} f(x_i) + b_n(u_0 + u_{fn}) \\ \tau_{n2} \dot{v}_n &= -v_n + f(x_n) \end{aligned} \quad (18)$$

式 (18) のように CPG 中の各素子との結合係数をいろいろに変えてやることで、様々な回路を作ることができる。

3.1.3 CPG の実装とシミュレーション

式 (13)-(17) より、CPG の実装を行なった。パラメータは適宜設定し、特に断わりがない限り表 1 を用いるものとする。

まず、一個の神経素子に一定のステップ入力 $t > 0$ で $u_0 = 1$ を与えた時の応答を確認する。パラメータ β を変えながら図 7 と図 8 に示す。うまくパラメータを調整することで、入力によって興奮した後沈静化するという神経素子を作成することができる。 $f(x)$ の閾値は $\theta = 0$ としている。

次にこれら二つを結合した時の発振の様子を図??に示す。この時に γ を負にすれば相互抑制的な結合にな

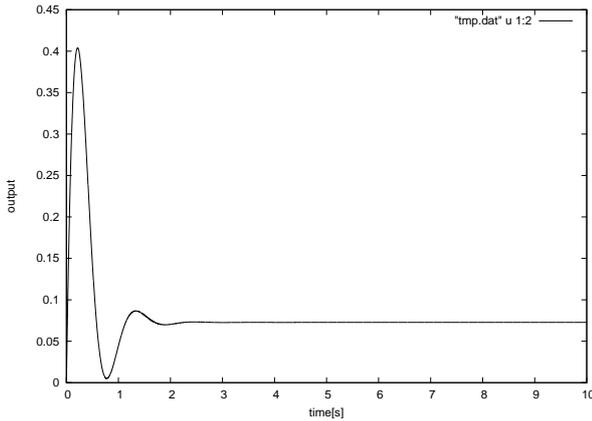


図 7: 神経素子の応答 ($\beta = 10$)

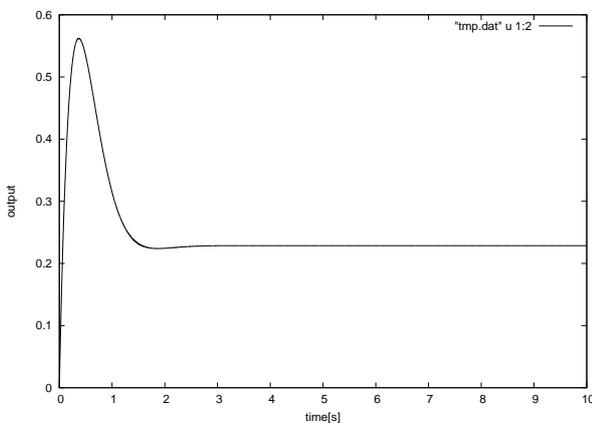


図 8: 神経素子の応答 ($\beta = 2.5$)

り、発振することが分かる。また、 γ が比較的絶対値の小さい負の値の場合振動は次第に弱まっていき、大きくしすぎると発散してしまう。

通常 CPG のパラメタを計算によって求めるのは困難なので、多くの場合ニューラルネットワークや遺伝アルゴリズムなどの手法を用いて総当たりの解を求める。

4 二関節筋の仕組みを持つロボットアームの制作

4.1 二関節同時駆動機構の実現

研究の一環として、二関節筋の仕組みを持つロボットアームの制作を行なう。通常のロボットアームは生物の一関節筋に相当するアクチュエータしか持たないため、二つの関節を同時に駆動してやるような機構が必要である。この二関節同時駆動機構の実装としては図 10 のようにプーリーと直動型アクチュエータを用いた物などいくつか考えられるが、今回は畠が学位論文

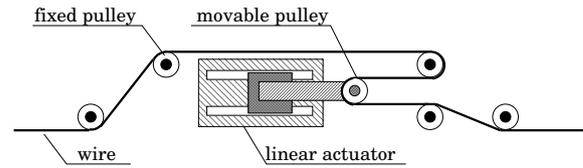


図 10: プーリーを組み合わせた二関節同時駆動機構

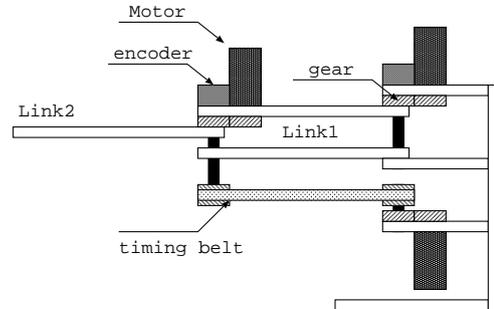


図 11: ロボットアーム外観図

の中で提案した回転型のアクチュエータとタイミングベルトを用いる機構を元に制作を行なうことにする。[20]

4.2 ロボットアームの設計

制作するロボットアームの外観を図 11 のように示す。ギアの噛み合いの調整機構や、タイミングベルトの緩みの調整機構は省いてある。このロボットアームでは回転型のアクチュエータを 3 つ用いて、第一関節を駆動する一関節筋拮抗対、第二関節を駆動する一関節筋拮抗対、二関節筋の拮抗対という 3 つの役割を果たすようにする。

二関節同時駆動機構に関しては第一関節 R1 の側の軸を、単関節駆動の軸と同一線上に配置する。ただし、単関節駆動の軸とはそれぞれ独立である。一方第二関節 R2 の側では二関節同時駆動機構も単関節駆動の軸も共通の物を使う。

表 2 にロボットアームの基本的なパラメータを示す。アクチュエータとしてはタミヤギヤードモータ 540K75(表 3)、エンコーダとしてはオムロンの E6H-CWZ6C(表 3) を用いる。

5 まとめと今後の課題

本輪講では、二関節筋を持った生物のアームのモデル化とその手先出力及び手先剛性の解析、また腓腹筋による垂直ジャンプの解析、CPG に関する基礎的内

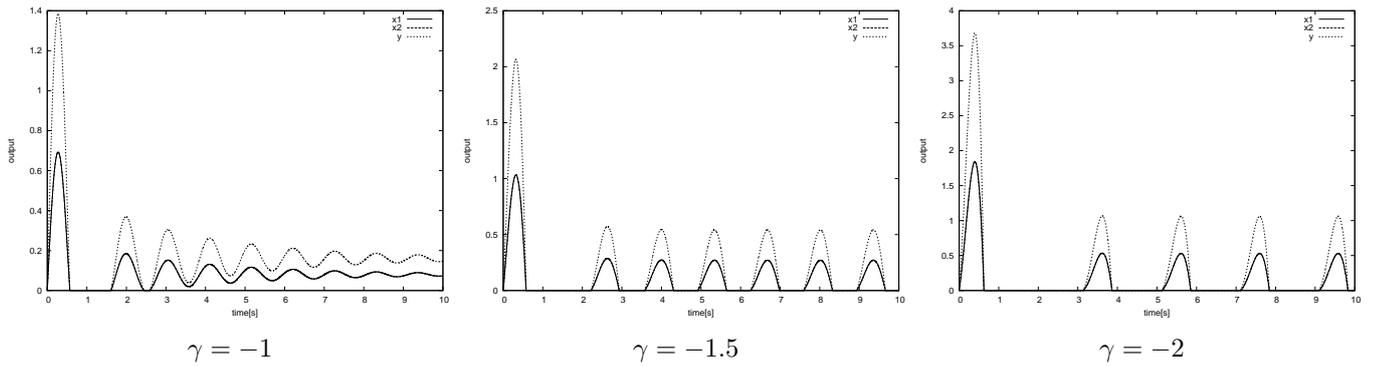


図 9: 神経振動子の応答

表 2: 制作するロボットの主なパラメータ

リンク 1(上板、下板) 寸法 [mm]	200 × 50 × 10
リンク 1(上板、下板) 重量 [g]	270
リンク 2 寸法 [mm]	200 × 50 × 10
リンク 2 重量 [g]	270

表 3: モータのパラメータ

製造 (型番)	タミヤ (540K75)
本体寸法 [mm]	φ36 × 50
重量 [g]	270
最大電圧 [V]	12
最大効率トルク [kg · cm]	7.5

表 4: エンコーダのパラメータ

製造 (型番)	オムロン (E6H-CWZ6C)
本体寸法 [mm]	φ40 × 26
重量 [g]	120
分解能 [パルス/回転]	1000

容とその応用に関する研究について紹介した。また、二関節同時駆動機構を用いたロボットアームの制作に関して、その機構の設計を示した。

福祉ロボットやロボットスーツと言った人間と協働するロボットに求められる事項としては、(1) 人間程度の正確に行なえること、(2) 歩行など特定の動作を人間なみに素早く行なえること、(3) 衝突時などに力を逃がすなどして安全な柔らかさを持っていること、といった物が挙げられるであろう。これらつまり生物の特徴であり、我々は生物の機構や制御方法をロボットにうまく取りいれることで、人間と協働するロボットを実現させることができると考えている。

今後はまず二関節同時駆動機構を用いたロボットアームの制作を行なう。これを用いて二関節筋の仕組みを持ったロボットに関する解析やシミュレーションの検証を行なう予定である。

参考文献

- [1] Mizuyori Kumamoto, Toru Oshima, Tomohisa Yamamoto, “Control properties induced by existence of antagonistic pairs of bi-articular muscles -Mechanical engineering model analyses”, Human Movement Science 13, 1994, pp611-634
- [2] 藤川 智彦, 大島 徹, 熊本 水頼, 横井 信安, “ヒト上肢における系先端の出力と拮抗筋群の協調活動”, 日本機会学会論文集 (C 編), 65 巻, 632 号, pp. 1557-1564, 1999
- [3] 大島 徹, 藤川 智彦, 熊本 水頼, “一関節筋および二関節筋を含む筋座標系によるロボットアームの機能的特性-筋の収縮力とロボットアームの粘弾性-”, 精密工学会誌, vol. 66, No. 1, pp. 141-146, 2000.

- [4] 大島 徹, 藤川 智彦, 熊本 水頼, “一関節筋および二関節筋を含む筋座標系による機能別実効筋力評価 -出力分布の簡便な測定法-”, 精密工学会誌, vol. 67, No. 6, pp. 944-948, 2001.
- [5] 福井 勉, 岩崎 裕子, “リハビリテーション領域における単関節筋トレーニングの応用”, 精密工学会 生体機構制御・応用技術専門委員会 二関節筋実利用 Workshop, 2004
- [6] 田島 孝光, 大島 徹, “ヒューマンフレンドリーな次世代操舵システムの研究”, 精密工学会 生体機構制御・応用技術専門委員会第4回例会, 2005
- [7] 小田 高広, 鴫田 守, 門田 健志, 鈴木 健也, 深井 善朗, 島田 耕吉, “協調制御モデル - 「二関節筋装備型ロボットレッグ」”, 精密工学会 生体機構制御・応用技術専門委員会第4回例会, 2005
- [8] 川崎 晴久: ” ロボット工学の基礎”, 森北出版株式会社, 1991
- [9] 鳥海 清司, 大島 徹, 藤川 智彦, 熊本 水頼, 百生 登, “ヒトの腓腹筋である二関節筋の装備が跳躍運動に及ぼす影響”, 日本機械学会論文集 (C 編), 69 巻, 688 号, pp. 3263-3268, 2003
- [10] Toru Oshima, Noboru Momose, Kiyoshi Toriumi, “Jump mechanism using coordination in knee and ankle joint and application to leg orthosis” , The 2005 International Power Electronics Conference, 2005
- [11] T. Spägle, A. Kistner, A. Gollhofer, “Modelling, simulation and optimisation of a human vertical jump”, BIOMECHANICS, vol. 32, pp. 521-530, 1999
- [12] G. Taga, Y. Yamaguchi, and H. Shimizu “Self-organized control of bipedal locomotion by neural oscillators in unpredictable environment”, Biological Cybernetics, Vol. 65, 1991, pp. 147-159
- [13] G. Taga, “A model of the neuro-musculo-skeletal system for human locomotion”, Biological Cybernetics, Vol. 73, 1995, pp. 97-111
- [14] 多賀 蔵太郎, “歩行の創発”, 日本ロボット学会誌, vol. 15, No. 5, 1997, pp680-683
- [15] 宮腰 清一, 多賀 蔵太郎, 國吉 康夫, “神経振動子を用いた三次元2足踏みシミュレーション - ヒューマノイドの実世界内行動を目指して-”, 日本ロボット学会誌, Vol. 18, No. 1, 2000, pp87-93
- [16] 木村 浩, 張 祖光, “脚式移動におけるCPG(Central Pattern Generator) の役割 - 適応的な歩行・走行生成の統一的理解に向けて”, 計測と制御, Vol. 44, No. 9, 2005, pp602-608
- [17] 稲垣 伸吉, 湯浅 秀男, 鈴木 健了, 新井 民夫, “波動 CPG モデルを用いた多脚歩行ロボットの歩容生成と移動速度制御”, 日本ロボット学会誌, vol. 22, No. 2, 2004, pp230-238
- [18] 富士通ホームページ, “富士通ホームページ”, <http://pr.fujitsu.com/jp/news/2003/03/27.html>, 2003
- [19] Kiyotoshi Matsuoka, “Sustained Oscillations Generated by Mutually Inhibiting Neurons with Adaptation”, Biological Cybernetics, vol. 52, 1985, pp. 367-376
- [20] 畠 直輝, “制御工学応用による移動用福祉機器の高機能化に関する研究”, 東京大学大学院 学位論文, 2004