振動刺激を用いた感覚代行システム
ー義手把握力のフィードバックー

奥野竜平*, 吉田正樹**, 赤澤堅造*
*神戸大学工学部情報知能工学科
**大阪電気通信大学工学部知能機械工学科

1. はじめに

筋電義手(筋電位信号を制御信号として用いた電動義手)の研究開発とともに，義手の把握力や開閉角度などの情報を使用者に伝達するための感覚代行機能に関する研究も行われている[1]．しかし，未だ，感覚代行システムのを備えた筋電義手は実用化されていない．その要因の一つとして，従来の筋電義手の制御方式が，筋電位信号を基にした単純なオンオフ制御や比例制御方式が用いられていることが挙げられる．すなわち，感覚代行システムにより義手の情報を知ることができても，義手を随意に制御することが困難である．感覚代行システムが義手の制御に有効に働かないのである．なくてもよいものならば，装着しない方が良いわけである．

感覚代行システムの開発には，義手の制御機構の高機能化とそれに適した感覚代行システムの開発が必要となる．我々は，義手が元の手が持つ制御機構の動特性を備えていれば，使用者が元の手と同じ感覚で義手を制御できるようになるとの観点から，手の筋運動制御機構の動特性を取り入れた筋電義手(バイオミメティック筋電義手)を開発してきた[2]．もし，この義手に感覚代行機能を備えれば，感覚代行システムが有効に働くことが期待される．

このような観点から，本研究では振動刺激を用いた感覚フィードバック装置の開発を目的とする．まず，義手の把握力を対象とした感覚フィードバック装置を試作する．そして，健常者を用いた物体把握実験を行い，義手の操作性が向上することを示す．

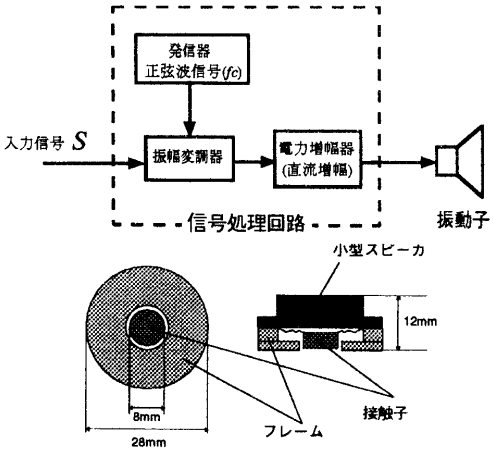


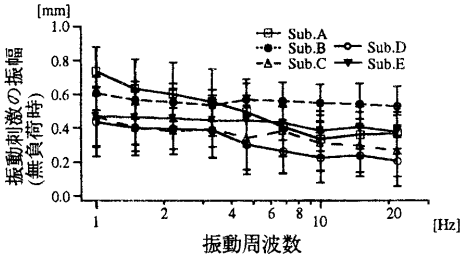
図1 皮膚振動刺激装置

2. 皮膚振動感覚の心理物理計測

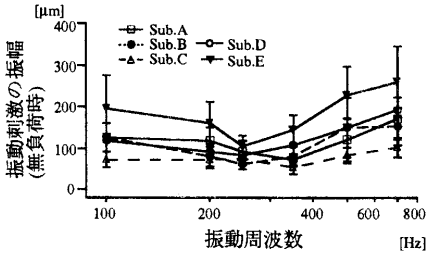
2.1 感覚代行システムの構成

本研究では，振動周波数の異なる2種類の装置を試作する．一つは，振動感覚の閾値が最小となる振動周波数を用い，義手の把握力に応じて刺激強度が変化するものである．もう一つは，可聴周波数以下の振動周波数を用い，義手の把握力に応じて，使用者に提示する刺激のパターンが変化するものである．

振動感覚の閾値が最小となる振動周波数を用いた装置は，提示可能な刺激のダイナミックレンジが大きいが，振動が音として生じる．また，可聴周波数以下の振動周波数を用いた装置では，提示可能な刺激のパターンが少ないが，音は生じない．本研究では，2種類の感覚代行システムを試作することで，使用者が，義手を使用する環境によって，それらを使い分けれるようにしている．



(a) 1～20Hzの振動周波数



(b) 100Hz～700Hzの振動周波数

図2 皮膚振動感覚の閾値の周波数特性

2.2 振動刺激装置

皮膚振動感覚を測定するために，振動刺激装置を試作した．装置の構成を図1に示す．装置は入力信号の大きさに応じて，正弦波状の振動刺激の大きさが変化するものであり，振動子と信号処理装置から構成される．信号処理装置は，正弦波信号(周波数fc)の振幅を入力信号に比例して変化するように，乗算器を用いて振幅変調するものである．また，振動子は小型スピーカに接触子とフレームを取り付けたもので，低周波数用(20Hz以下)と高周波数(100Hz以上)

の2種類を作成した.

2.3 皮膚振動感覚の閾値測定

感覚代行システムにおいて用いる振動刺激の周波数を決定するため，皮膚振動感覚の閾値を測定した．被験者は健常男子5名である．刺激の提示位置は右腕前腕屈則中央部である．測定は極限法を用い，被験者が刺激を認知できる最小の振動刺激の大きさ(入力信号の大きさ)を皮膚振動感覚の閾値とした．また，振動周波数は，1～20Hzおよび100～700Hzについて測定した．

結果を図2に示す．(a)は1～20Hz，(b)は100～700Hzにおける皮膚振動感覚の閾値の周波数特性を示している．この結果から，体感代行システムに用いる振動周波数として，10Hzと250Hzを決定した．

3. 筋電制御実験

3.1 バイオミメティック筋電義手の構成

本研究で用いた筋電義手は，筆者らが開発したヒトの神経-筋制御系の動特性を取り入れた新しいタイプのものである．筋電義手の構成を図3に示す．本義手は表面筋電図の処理部分、DCモータの制御を行うデジタルサーボ機構，1自由度(開閉動作)の機構部分から構成される．本義手は筋の粘弾性と伸張反射系のゲインが筋の収縮トルクに対し比例的に変化する性質を取り入れたものである。すなわち、本義手は屈筋群，伸筋群の表面筋電図を全波整流・平滑化して得た積分筋電図(収縮トルクの推定値) に比例して義手の柔らかさ(スティフネス)が変化するように設計したものである．また，感覚代行システムの入力である義手把握力の検出には，義手の指に貼付した歪みゲージを用いている．

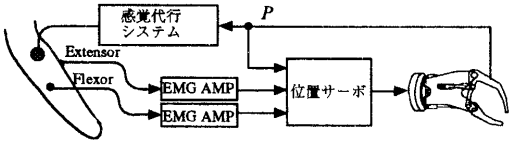


図3 バイオミメティック筋電義手の構成

3.2 筋電制御実験

体感機能代行システムの効果を検討するため，筋電義手を用いた物体把握実験を行った．実験に用いた物体は，アルミの円筒管(直径67[mm]，高さ30[mm]) である．被験者は，振動感覚の閾値の測定を行ったSub.D である．

予備実験を行い，物体を把握する際の目標となる変形量(目標変形量)を設定した．被験者に目で物体の変形を確認しながら義手を用いて物体を把握させた．このとき，被験者が，物体を最小の変形量で把握したときの変形量(5.0 [mm])を目標変形量として用いた．また被験者には，目標変形量で把握した際，体感機能代行システムによって提示される振動刺激の大きさを記憶するよう指示した．

被験者に，目標変形量と同じ変形量で物体を把握し，放すように指示した．この時，被験者には，他の条件による影響を避けるため，目隠しをさせ，ヘッドホンでランダムノイズを聞かせた．被験者は，目標変形量と同じ変形量で物体を把握したと感じたとき，実験者に申告した．実験者は，その時，物体に生じた変形量を計測した．本実験を試作した2種類の感覚代行システムを用いた場合および感覚代行システムを用いなかった場合について行った．実験は，各実験条件につき25 回の実験を行った．

図4 に各実験条での物体に生じた変形量の平均値を示す．体感機能代行システムを使用しない場合と，体感機能代行システムを使用した場合では，物体の変形量に有意な差があった($p<0.01$)．このことより，体感機能代行システムの効果が示された．また，2種類の体感機能代行システムにおける物体の変形量に有意な差は表れなかった($p>0.05$).

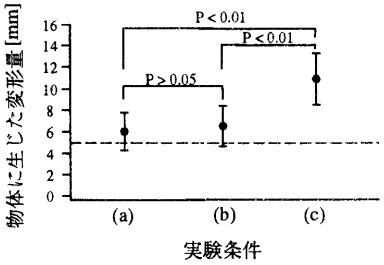


図4 物体把握実験の結果
(a)振動周波数250Hzの感覚代行システムを用いた場合，(b)振動周波数10Hzの感覚代行システムを用いた場合，(c)感覚代行システムを用いなかった場合

5. おわりに

本研究では，義手の把握力を，皮膚振動刺激を用いて使用者に伝達する体感機能代行システムを試作した．試作したシステムを用い，健常者による物体把握実験を行なった．

以下に本研究で得られた結果を要約する．

1. 皮膚振動感覚の閾値の周波数特性を測定した．その結果体感機能代行システムの振動周波数として250[Hz]，10 [Hz]を用いることを決定した．

2. 試作した2種類の体感機能代行システムを用いて，健常者による物体把握実験を行なった．その結果，グローブ装着時においても体感機能代行システムにより義手の操作性が向上することを示した．

参考文献

[1]D.S.Childress:Ann. Biomed. Eng, Vol.8, pp.293-303
[2]奥野他:電学論,Vol.114-C, pp.1090-1094