

Skin Stretcher 型頭部回転誘導デバイスの基礎的検討

井藤 隆秀[†] 近藤 一晃^{††} 中村 裕一^{††} Jonathan Rossiter^{†††}

[†] 京都大学大学院 工学研究科 〒606-8501 京都府京都市左京区吉田本町

^{††} 京都大学 学術情報メディアセンター 〒606-8501 京都府京都市左京区吉田本町

^{†††} University of Bristol & Bristol Robotics Laboratory Department of Engineering Mathematics,
University of Bristol Merchant Venturers Building, Woodland Road, Bristol BS8 1UB, UK

E-mail: †{itou,kondo}@ccm.media.kyoto-u.ac.jp, ††yuichi@media.kyoto-u.ac.jp,

†††Jonathan.Rossiter@bristol.ac.uk

あらまし 本稿では、皮膚の引っ張りを利用した Skin Stretcher 型の頭部回転誘導デバイスを提案する。このデバイスは、サーボモータを用いて自身を伸縮させ、頸部の左右に接着したパッドを押し引きすることにより、頸部の皮膚を変位させ、その違和感に応じて装着者が頭部を回転させるものである。これにより、装着者の自発的な動きをできるだけ妨げずに、装着者の頭部回転（顔を向ける等）を誘導することを目的とする。本研究では、このようなデバイスを実際に設計・実装し、その基本的な性能を計測した。その結果、条件を一定に保った場合には、再現性が高く、見通しの良い振る舞いが得られること、条件が変化した場合にはゲイン等の振る舞いが変化するため、その補正も必要であることなどがわかった。

キーワード ユーザインタフェース、動作の誘導、皮膚の引っ張り、頭部回転、人間機械系

Basic study of Skin stretcher device leading to head motion

Takahdie ITO[†], Kazuaki KONDO^{††}, Yuichi NAKAMURA^{††}, and Jonathan ROSSITER^{†††}

[†] Graduate School of Engineering, Kyoto University Yoshidahonmachi, Sakyo-ku, Kyoto-shi, 606-8501 Japan

^{††} Academic Center for Computing and Media Studies, Kyoto University Yoshidahonmachi, Sakyo-ku,
Kyoto-shi, 606-8501 Japan

^{†††} University of Bristol & Bristol Robotics Laboratory Department of Engineering Mathematics,
University of Bristol Merchant Venturers Building, Woodland Road, Bristol BS8 1UB, UK

E-mail: †{itou,kondo}@ccm.media.kyoto-u.ac.jp, ††yuichi@media.kyoto-u.ac.jp,

†††Jonathan.Rossiter@bristol.ac.uk

Abstract This paper introduces a novel skin stretcher type device for inducing head rotation. The device change its length using servo motor, then it pulls/pushes pads attached to the neck of the user, and the user rotates the head based on a feeling of skin stretch. With this mechanism, we aim to induce head rotation without seriously interfering the user's voluntary movements. In this research, we designed and implemented a prototype device, and measured basic characteristics as a man-machine system. Stable characteristics were observed with fixed conditions, and they can be approximated by transfer functions. The characteristics change with different conditions, which required further study for modeling.

Key words user interface, motion induction, skin stretcher, head rotation, man-machine system

1. はじめに

本研究では、相手に所定の動作してもらうための意図伝達手段として、皮膚感覚を用いた新しいデバイスを設計している。その目的としては、以下のものがあげられる。

(1) 相手に所定の動作を促したり、そのタイミングを指示

する

(2) 相手との協働を円滑にする。

(3) 自分の動作を相手に直感的な方法で伝えることにより、共感 (empathy) を得る。

それぞれは以下のような応用につながる。

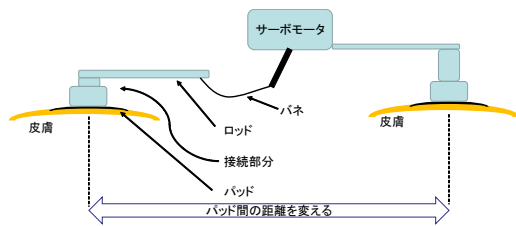


図 1 ブリストル大学のデバイスの概要

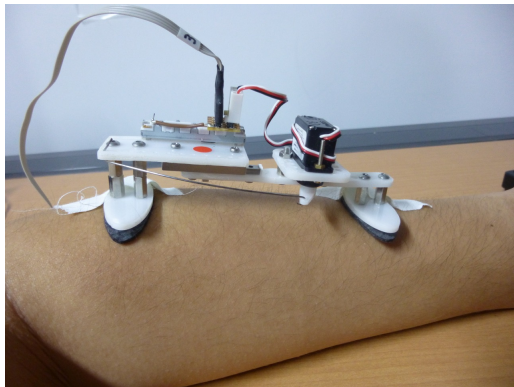


図 2 ブリストル大学のデバイスの写真

(1) 動作, 例えばスポーツやリハビリテーション動作等のコツ・タイミングを教えること. また遠隔から相手に動作の指示や注意を与えること. 例えば, 注目を促す場合や危険が迫った場合の注意喚起など.

(2) カやタイミングを合わせるが必要な共同作業において, ノンバーバルなコミュニケーション手段として用いる.

(3) 相手 (例えば, 遠隔地の親族) の意図や体の状態を直感的に感じ取ることや, 逆に相手に自分の存在や状態を伝えるためのコミュニケーション手段とする.

このような目的で相手に動作情報を呈示する手段には様々なものが考えられ, これまで, 音, 光, 振動など, 視聴覚や触覚などを用いた様々なインタフェースが提案されてきた. また, 相手に提示する情報の種類にも様々なものが選ばれてきた. それに対し, 本研究で扱うのは, 皮膚の引っ張り (skin stretch) を用いた感覚呈示方法である, この方法は強制力が弱い反面, 装着者の自由な動きを妨げにくいという特徴を持つ. 具体的な動作としては頭部の回転の動作を対象とした. 例えば, 相手に顔を向けて欲しい方向を指定することや危険が迫ってくる方向を知らせること等の応用が考えられる. このような目的で, 本研究ではまず, Skin Stretcher 型のデバイスの設計を行い, 次にその基本的な特性の測定を行った.

本稿以下では, 2 章で動作伝達手法に関して述べ, 3 章でデバイスの設計について述べる. 4 章でデバイスと装着者を併せた系の基礎的特性を計測する手法について述べ, 5 章では実験とその結果について紹介する.

2. 皮膚の引っ張りによる動作の誘導

動作を誘導するために, 体の部位の変位や回転角, またそのタイミングを伝えるデバイスを考えてみよう. 単純な方法とし

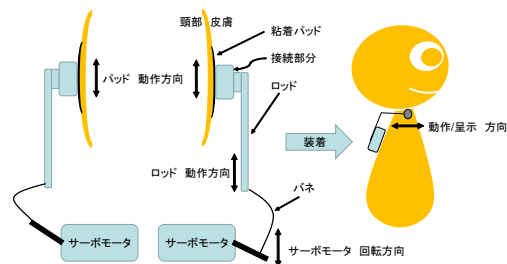


図 3 今回設計したデバイスの概要

ては, 可動デバイスを体に直接固定して強制力を働かせる方法が考えられる. しかし, この方法では動かそうとする力が大きいほど, 装着者の自発的な動きを妨げることになる. 特に頭部の場合には, 本人の意思と無関係に頭部を強制的に動かすことには危険が伴い, 怪我や事故などの原因となりがねない. そのため, デバイスに柔軟性を持たせること, 例えば, バネを挟むことによって強制力を緩和することが必要となる. 本研究のアイデアはこのような柔軟性を持たせるために, バネではなく皮膚を利用することである. また, 皮膚の引っ張りを実際の運動で起こる皮膚の伸縮の方向と一致させることにより, 直感的に動きの方向を感じさせ, 所定の動きを促すことを特徴とする.

ブリストル大学で肘の屈曲・伸展を促すために試作した Skin Stretcher 型デバイスの概要を図 1 に, 実物を図 2 に示す. このデバイスはサーボモータの回転運動を直線運動に変換するリンク機構を用いて伸縮し, それによって装着部の皮膚を引っ張る構造となっている. また, サーボモータとデバイスの間をばねで結んだ構造となっているために, モータの強制力によって皮膚を痛める心配が無くなっている. 皮膚への接着は医療用のテープや粘着剤を用いる. そのため, デバイスの自重を皮膚との接着部分だけで支えることが難しく, デバイスの装着方向に応じて, 他の支持方法が必要となる. なお, 自デバイスの長さを可変抵抗値として読み取ることも可能である.

皮膚の引っ張り感覚を情報呈示に用いる手法としては, Ion らは前腕の皮膚を様々な方向・角度で自由に引っ張ることによって情報を伝えるデバイスを提案し, その精度などを評価している [1]. また, Caswall らは皮膚のある一点を四方に引っ張ることで方向を伝達するデバイスを提案し, 引っ張る距離の違いによる精度の違いなどを検証している [2]. Knoop らは皮膚の表面を撫でることで情報の呈示を行うデバイスを提案している [3]. Levesque らは指先の皮膚表面の撫で肩による情報伝達の精度を評価している [4]. 水上らは, 掌や指の各部位を引っ張ることで情報を提示するデバイスを提案し, 引っ張る点や距離の違いによる精度などを検証している [5].

我々の手法は皮膚の引っ張り感覚を用いる点ではこれらの先行研究と同様であるが, デバイスによる皮膚の引っ張りを実際の運動によって起こる皮膚の動きと一致させることによって, 直感的に動きを促すような設計となっている点が新しい. さらに, 頭部回転の誘導にそれを適用したことも他に例を見ない.

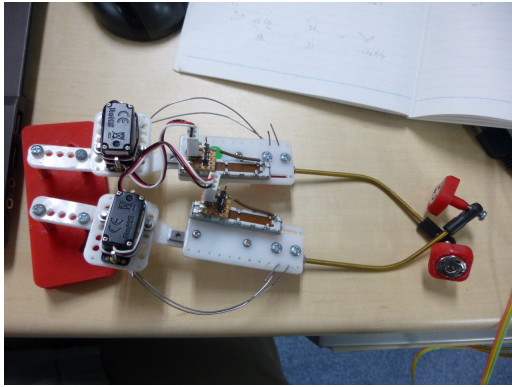


図 4 今回設計したデバイスの写真

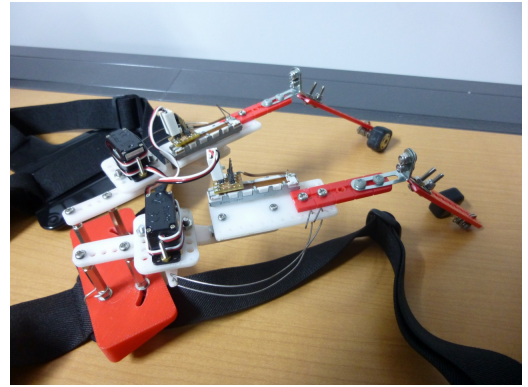


図 6 測定用に改造したデバイス

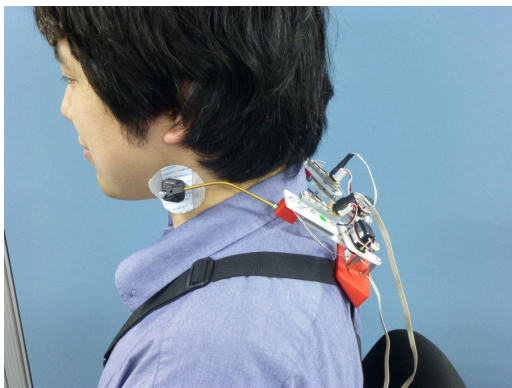


図 5 装着した様子

3. 頭部回転誘導デバイスの設計

頭部回転を誘導するための Skin Stretcher 型デバイスを図 3 のように設計した。基本的なメカニズムは図 1 に示した Skin Stretcher と同様である。すなわち、皮膚が引っ張られたことに伴う違和感を装着者に与え、装着者が皮膚の移動方向に応じて頸部を回転させることが目的である。

この設計において留意したのは以下の点である。

(1) 皮膚とデバイスの接続部分としてホックのついた粘着パッドを利用することとした^(注1)。これにより、デバイスの装着が容易となり、簡単に調整が行える。

(2) 延長・回転を行うことのできる延長ロッドを装着した。上記のホックにはめる部品をこの延長ロッドに装着し、その間にボールジョイントを挿入することによって、頸部とデバイス間の角度変化やパッド貼り付け状態の変化を吸収する。

(3) デバイスの体への固定には市販のボディマウントを利用した。装着時の例を図 5 に示す。これにより、デバイスの固定位置や角度には一定の自由度を持たせた。

以上のように、(1)~(3)の装着部分、可動部分に自由度を持たせることによって個人差(体格差)を吸収し、また、装着者の自発的な動作を阻害しないように設計した。

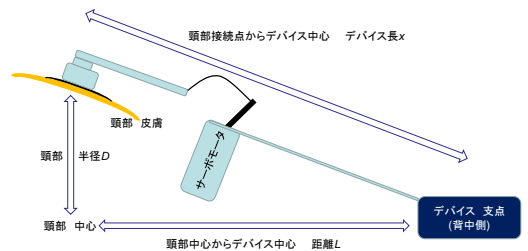


図 7 解析 各部の距離の設定

4. 動作の解析方法

設計した Skin Stretcher 型デバイスによって装着者の動作が発現する系の基本的な性質を調べる。そのため、入力の本デバイスによる皮膚の変位(頭部の回転角に換算)とし、出力を装着者の頭部の回転角とした系の基本特性を伝達関数などを用いてモデル化する。

4.1 機器設定

設計・試作した機器には、個人差を吸収し、装着者の自発的な運動を阻害することが無いよう、多くの自由度を持たせている。そのため、動作中に可動部の状態が変化し、条件が変わってしまう。したがって、基本特性の計測時には、図 6 のように、ロッドとして回転しない単純な単純な棒を用い、粘着パッドをこの棒に固定することによって、デバイスの作動量が首の皮膚に直接伝わるようにした。以下の計測はこの状態のデバイスを用いたものである。

4.2 入力と出力

入力

本デバイスと皮膚の接触点の変位が装着者への刺激となる。ただし、本デバイスはバネを介したリンク機構となっているため、サーボモータの回転角とデバイス長の関係は一定ではない。したがって、入力として、デバイスが持つ可変抵抗の値から算出したデバイス長を利用する。ただし、変位量のままでは入出力の関係が直観的にわかりにくいので、頸部を円筒とみなした場合の回転角の要求量に換算したものを入力値とする。その換算は以下のように行った。

初期状態として、頸部の接線方向にデバイスを装着した場合、図 7 のように頸部中心からデバイス中心までの距離を L 、頸部の半径を D 、デバイスの初期長さを x_0 とした場合、

(注1): 心電図測定用のパッドとして市販されている。

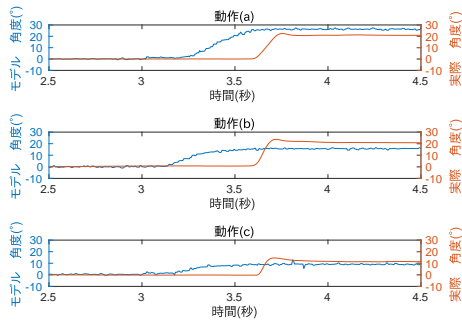


図 8 測定例 1 動作 (a) ~ (c)

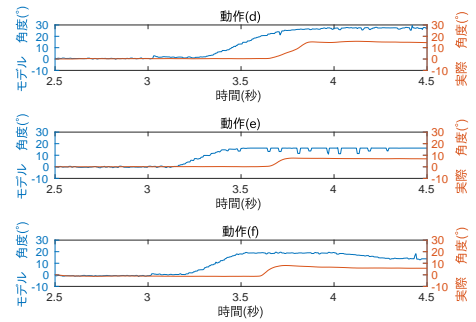


図 9 測定例 2 動作 (d) ~ (f)

$$D^2 + x_0^2 = L^2 \quad (1)$$

となる．次に，任意のデバイス長 x における頸部の回転角度を θ とすると，

$$\cos(\theta) = \frac{D^2 + x^2 - L^2}{-2 \times D \times x} \quad (2)$$

のように近似できる．これから回転角の要求量 (入力) が求まる．

出力

実際に起こった頭部の回転量を出力とする．実験では，磁気センサ (Polhemus) を利用し，前頭部，後頭部の位置変化から頭部の回転角度を計算した．

4.3 伝達関数の推定

そのため，本研究では系の動特性として伝達関数の推定を試みた．前述したように，本デバイスはバネを介したリンク機構となっているため，入力を正確に制御することは難しい．そのため，入力の観測値と出力の観測値からシステム同定を行うことによって系の伝達関数を推定した．

そのための古典制御モデルを利用し，系の基本的な性質として，2次遅れまたは3次遅れとむだ時間の存在するモデルを仮定した．人間の動作は低い次数の遅れとむだ時間で近似できるとの報告が数多くなされているためである．ただし，むだ時間の決定には MATLAB によるシステム同定をそのまま用いる方法^(注2)と，以下の方法で別個に推定した値を用いて，システム同定の際に与える方法の2つを比較することとした．別個にむだ時間を求める方法は，入出力の計測値のノイズの影響を避けるため，入力と出力それぞれの傾きから変化の開始・終了点を推定し，それをを用いるものである．

5. 実験と考察

本研究で対象とするのは人間を含む系であるため，多様な条件が考えられるが，本研究では，回転の要求角度の大きさ，要求角度の変化速度に注目し，基本特性を調べた．

5.1 計測

20代の男性2人の被験者に対し，複数の回転の要求角度，要求角度の変化の速さを設定し，入力と出力の関係を計測した．その際に，サーボモータの作動音がヒントとならないように，

(注2): Matlab の tfest 関数を利用し，次数が2および3の両方で同定を行った．

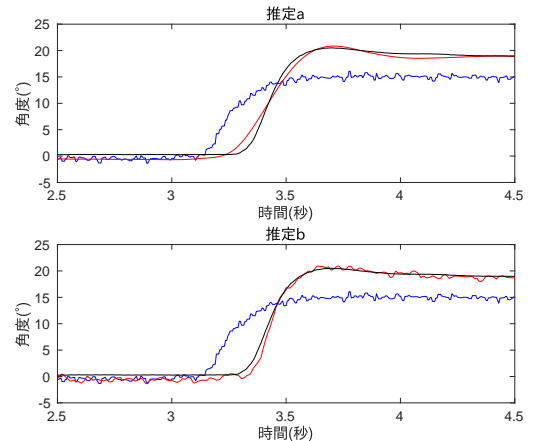


図 10 無駄時間を自動推定 2次遅れの推定 (a) と3次遅れの推定 (b)

ノイズキャンセリング機能を持つヘッドフォンにランダムに作動音を再生しながら実験を行った．図8と図9に計測結果の例を示す．青色の線が入力 (要求角度) としての変位角度，橙色の線が頭部の実際の回転角である．(a)~(c) はサーボモータの最大角速度でデバイスの伸縮を行った場合で，回転の要求角度は (a), (b), (c) それぞれ 25 度，15 度，10 度である．(d)~(f) は，角速度を遅くした場合の結果で，角度はそれぞれ (a)~(c) と同じである．

結果より，(a)~(c) では，要求する回転角に近い値にまで頭部が回転しており，ゲインが1に近いことがわかる．それに対し，(d)~(f) では出力が小さくなっており，皮膚の変位速度が出力のゲインに大きな影響を与えることがわかる．また，動作(c)や動作(f)のように，要求する角度が小さい場合，つまり，皮膚の変位が小さい場合には，変位を感じられない範囲 (不感領域のようなものと考えられる) の影響を大きく受けるため，出力の反応が遅くなることが確認された．なお，動作(f)では，用いたサーボモータの性能が不十分であるため，遅い速度で小さな変位を与えると大きなノイズが加わってしまっており，そのままでの比較は難しい．

5.2 結果と分析

(i) 伝達関数の推定

入出力の計測値からシステム同定を行う考え方は4.3節で述べた通りであり，むだ時間については，MATLABで自動推定した場合と，上述した方法で別途求めた場合の2種類の値を用

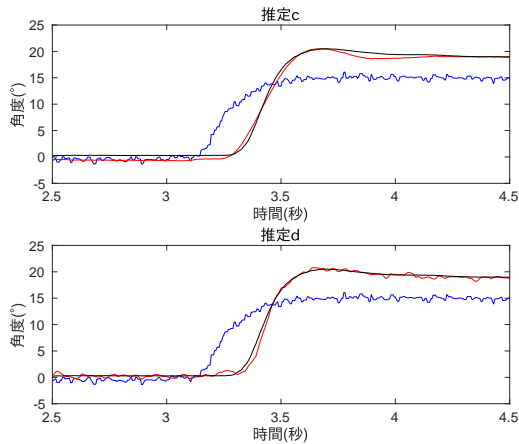


図 11 無駄時間を与える 2 次遅れの推定 (c) と 3 次遅れの推定 (d)

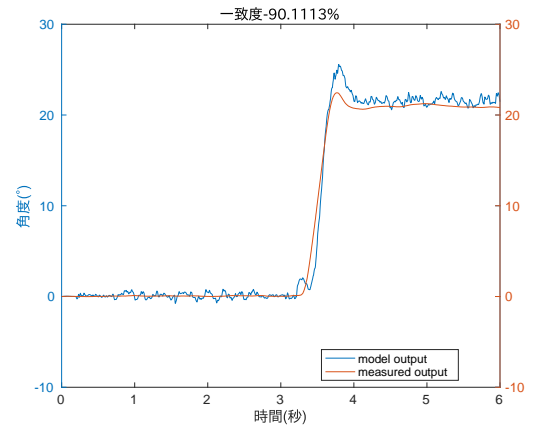


図 14 伝達関数のパラメータの平均値を用いた 2 次遅れの推定

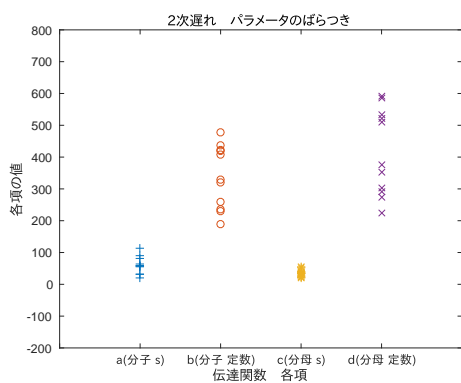


図 12 同一条件 2 次遅れでの伝達関数のパラメータのばらつき

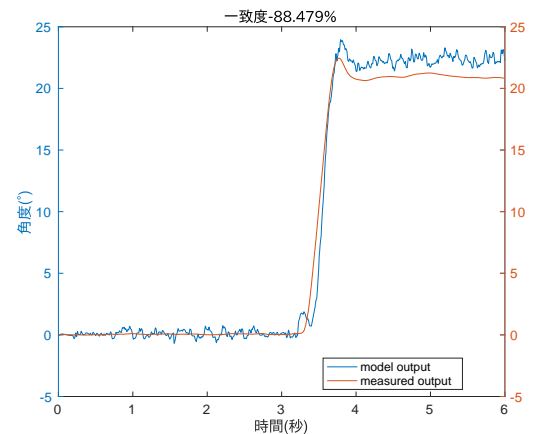


図 15 伝達関数のパラメータの平均値を用いた 3 次遅れの推定

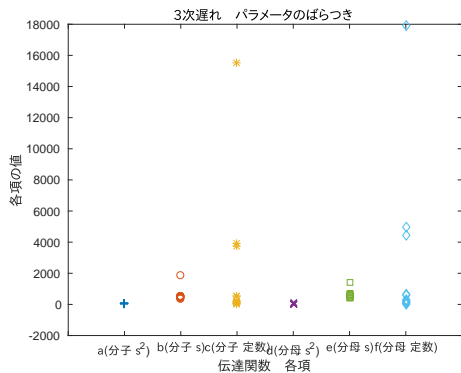


図 13 同一条件 3 次遅れでの伝達関数のパラメータのばらつき

(b) はむだ時間の自動推定を行った結果であり, (c),(d) は別途求めたむだ時間を用いた場合である. また, (a), (c) は 2 次遅れ + むだ時間のモデルとして同定した場合, (b), (d) は 3 次遅れ + むだ時間の場合である.

実験した範囲では, 3 次遅れ + むだ時間のモデルを想定し, むだ時間を別途求めた場合に, 出力の推定値と実際の出力が最も良く一致した. ただし, 立ち上がり付近を除くと, 2 次遅れと 3 次遅れの間にはそれほど大きな差は見られず, 3 次遅れのモデルでは推定出力が振動する場合があるなどの問題も見受けられた.

(ii) 同一条件での複数試行のばらつき

まず, 同一被験者が同一条件で複数回試行を行った場合の, 伝達関数のばらつきを示す.

図 12 は 2 次遅れの場合, 図 13 は 3 次遅れの場合である. 動作のゲインに影響していると考えられる分子の定数項について, 2 次遅れを用いた場合では最小値と最大値は 2.5 倍程度の差で中央値付近に多く集まっている. 一方, 3 次遅れを用いた場合では最小値と最大値の差は極めて大きくなってしまふ. オーバーフィッティングが一つの原因であると推測される.

次に, 各試行から求めた伝達関数のパラメータを平均したものをその条件におけるシステムの特性の代表値とする. 各試行に対して, その代表値を用いて推定した出力と実際の出力をプロットすることにより, 特性のばらつきを直感的に把握でき

いた.

伝達関数 $G(s)$ の形について, 2 次遅れの場合には以下の式を用いた.

$$G(s) = e^{-st} \frac{as + b}{s^2 + cs + d} \quad (3)$$

また, 3 次遅れの場合には以下の式を用いた.

$$G(s) = e^{-st} \frac{as^2 + bs + c}{s^3 + ds^2 + es + f} \quad (4)$$

図 10 および図 11 に結果の例を示す. これは一回の試行 (入出力) から伝達関数を推定した結果であり, 青色の線が入力, 黒色の線が出力, 赤色の線が推定された伝達関数を用いて出力を推定した結果を表す. 各グラフは以下のようにになっている. (a),

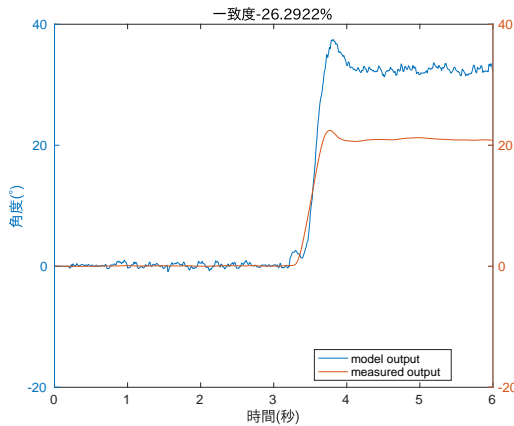


図 16 異なる動作の伝達関数のパラメータの平均値を用いた 2 次遅れの推定

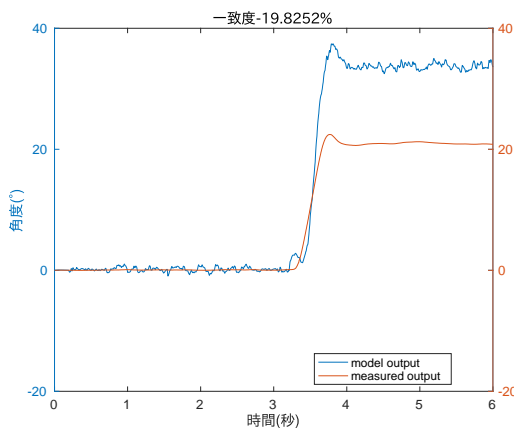


図 17 異なる動作の伝達関数のパラメータの平均値を用いた 3 次遅れの推定

表 1 2 次遅れの推定での伝達関数のばらつき 比較 1

動作	式 (3) s (遅れ時間)		式 (3) a (分子 s)		式 (3) b (分子 定数)	
	平均	分散	平均	分散	平均	分散
(a)	0.19	0.0075	59.92	738.4	338.48	9833.1
(b)	0.19	0.00096	69.65	673.71	367.45	27161
(c)	0.31	0.0027	91.42	1343	253.44	18626
(d)	0.26	0.0021	14.28	76.05	141.86	22169
(e)	0.20	0.0095	29.72	415.29	141.75	18699
(f)	0.21	0.0046	1642.7	6.57×10^6	253.98	2.30×10^5

るようにした．2 次遅れを用いた例を図 14 に，3 次遅れを用いた例を図 15 に示す．同一条件で試行を行った場合には，系のかなり良いモデルが得られていることがわかる．ほかの試行でも概ねこのような結果が得られており，これは，動作をする装着者が条件が一定の刺激に対して，ばらつきの小さな反応をしていることを示唆する．

(iii) 条件による振る舞いの違い

次に，条件によってシステムの特性がどのように変化するかを確認した．そのためにまず，回転の要求角度の違いによる伝達関数の違いを俯瞰する．

伝達関数のパラメータの比較を，2 次遅れを用いた例を表 1～表 2 に，3 次遅れを用いた例を表 3～表 5 に示す．表より，2 次

表 2 2 次遅れの推定での伝達関数のばらつき 比較 2

動作	式 (3) c (分母 s)		式 (3) d (分母 定数)	
	平均	分散	平均	分散
(a)	34.72	145.01	414.44	18498
(b)	34.70	176.62	298.98	18251
(c)	35.02	409.86	216.85	13394
(d)	16.28	77.37	290.31	91754
(e)	47.71	381.44	314.08	1.19×10^5
(f)	4006.4	4.11×10^7	201.67	2.33×10^5

表 3 3 次遅れの推定での伝達関数のばらつき 比較 1

動作	式 (4) a (分子 s^2)		式 (4) b (分子 s)		式 (4) c (分子 定数)	
	平均	分散	平均	分散	平均	分散
(a)	55.98	304.48	615.7	1.79×10^5	2271.7	2.15×10^7
(b)	73.502	2526.1	2819.9	6.30×10^7	17470	3.04×10^9
(c)	110.53	19981	6704.2	3.03×10^8	22565	3.29×10^9
(d)	117.01	37532	19685	1.96×10^9	10109	3.62×10^8
(e)	18.40	68.85	280.63	35820	33.02	4292.7
(f)	63.74	607.4	446.9	8658.2	542.31	3.27×10^5

表 4 3 次遅れの推定での伝達関数のばらつき 比較 2

動作	式 (4) d (分母 s^2)		式 (4) e (分母 s)	
	平均	分散	平均	分散
(a)	41.53	849.61	620.98	75730
(b)	67.85	14040	1422.4	1.25×10^7
(c)	91.64	32788	1796.7	2.09×10^7
(d)	584.72	1239600	39758	8.61×10^9
(e)	33.52	702.19	547.81	1.87×10^5
(f)	73.98	2008.9	1020.7	76730

表 5 3 次遅れの推定での伝達関数のばらつき 比較 3

動作	式 (4) f (分母 定数)		式 (4) t (遅れ時間)	
	平均	分散	平均	分散
(a)	2682.4	2.88×10^7	0.19	0.0075
(b)	13676	1.84×10^9	0.19	0.00096
(c)	15783	1.56×10^9	0.31	0.0027
(d)	25139	2.97×10^9	0.26	0.0021
(e)	89.43	20498	0.20	0.0095
(f)	975.15	1.38×10^6	0.21	0.0046

遅れを用いた推定の結果が，3 次遅れを用いた推定よりもばらつきが小さいことがわかる．やはり，オーバーフィッティングの影響が示唆されている．

次に，この違いをより直観的に把握するために，異なる回転要求角度の試行から求めた伝達関数を用いて出力の推定を行った例を図 16 と図 17 に示す．図 16 は，2 次遅れとした場合，図 17 は 3 次遅れとした場合である．これらの結果より，異なる条件の間でゲインが大きく異なること，逆に整定時間やオーバーシュートなどに関しては類似した傾向があることが示されている．この結果から，要求する回転角毎にゲインの補正を行う必要性がわかるが，逆に制時間やオーバーシュートは一つのモデルでも比較的良く近似できることが示唆されている．

ゲイン

入力角 (要求回転角度) と出力角 (実際の回転角度) の割合を

表 6 ゲインの比較

動作	平均	分散
(a)	0.84	0.022
(b)	1.17	0.020
(c)	1.22	0.064
(d)	0.50	0.007
(e)	0.52	0.015
(f)	0.60	0.011

表 7 整定時間の比較

動作	平均 (秒)	分散
(a)	0.34	0.003
(b)	0.28	0.002
(c)	0.50	0.012
(d)	0.50	0.034
(e)	0.45	0.087
(f)	0.41	0.050

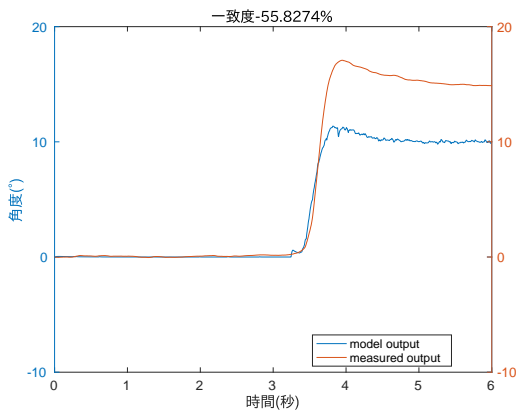


図 18 伝達関数のパラメータの平均値を用いた 2 次遅れでの推定 (別の被験者)

ゲインとして比較した結果を表 6 に示す．上述したように，要求角度の違いに影響され，サーボモータの速度にもさらに大きく影響される．

整定時間

変化が始まってから，0.5 秒の区間内で波形の最大値と最小値の差が 10%以下になるまでの時間を整定時間とし，動作 (a) ~ (f) について比較を行った．その結果は表 7 の通りとなった．条件による値の変動は最大 25%程度であり，小さいことがわかる．

(iv) 個人差に関する調査

上記はシステムの仕組みを良く理解した被験者による実験である．次に，本デバイスを初めて着用し，その動作に慣れていない被験者によるシステムの振る舞いを計測した結果について述べる．上で述べた分析と同様に，回転角などの条件を一定にして数回の試行を行い，そのばらつきを調べた．

各試行から求めた伝達関数のパラメータを平均したものを，試行の中の 1 つに適用し，その推定値と実際の出力を比較を行った例を図 18，図 19 に示す．図 18 は 2 次遅れを用いた場合，図 19 は 3 次遅れのシステムとして近似した場合である．これらの結果からわかるように，前の被験者とは異なり，この被験者の動作のには試行毎のばらつきが大きく，平均値を用い

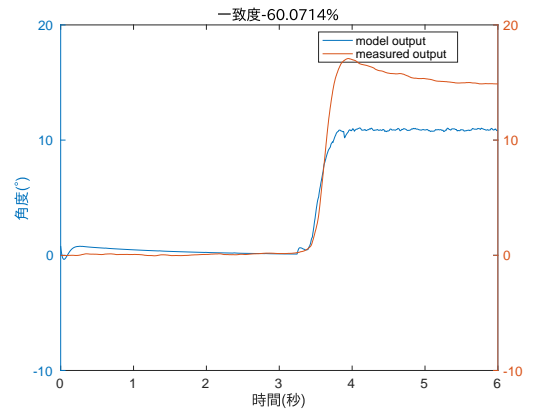


図 19 伝達関数のパラメータの平均値を用いた 3 次遅れでの推定 (別の被験者)

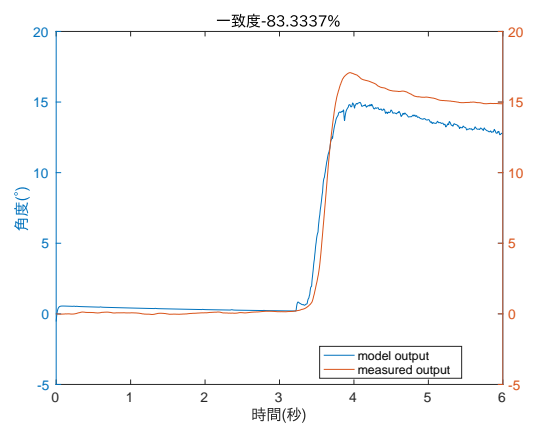


図 20 異なる動作の伝達関数のパラメータの平均値を用いた 2 次遅れでの推定 (別の被験者)

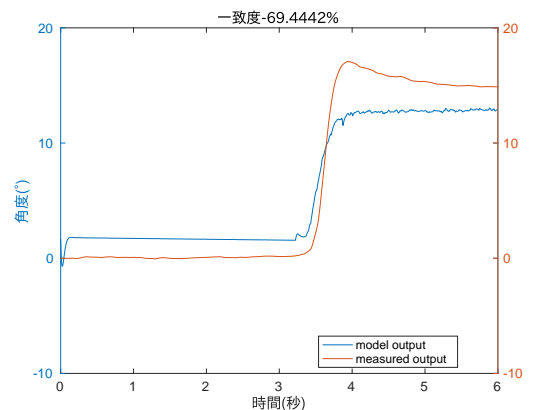


図 21 異なる動作の伝達関数のパラメータの平均値を用いた 3 次遅れでの推定 (別の被験者)

た推定では定常偏差が大きくなる．原因としては被験者がデバイスに慣れていないために戸惑いながら動作を行っていたことが考えられる．試行を重ねることにより，より安定な動作が得られることを今後確認していきたい．

異なる条件で推定された伝達関数を用いて出力の推定を行った結果の例を図 20，図 21 に示す．それぞれ，2 次遅れ，3 次遅れのモデルを用いた場合である．上述の被験者と同様にゲインが異なっているが，整定時間，オーバーシュート等の振る舞い

は異なる条件の間で類似した傾向を示している。つまり、この動作のばらつきがゲインに関するものを主とすることが示唆されており、ゲインの補正を行うことによってより正確に動作予測を行えることが期待される。

6. おわりに

本稿では、皮膚の引っ張りをを用いて頭部の回転を促すデバイスを提案し、その基本的な特性の計測結果を紹介した。これまでの実験により、実際に頭部の回転が誘導できることが示され、設計の妥当性が確認できた。その基本的な特性についても、条件を一定とした場合には再現性の高い振る舞いが現れ、伝達関数を用いたモデル化が可能であることが示された。このような考え方を基に人間機械系を構築することにより、装着者の行動をできるだけ妨げずに、指定した方向に装着者が頭部を回転するように誘導するシステムの実現が期待できる。

実験結果より、以下の課題があることも明らかになった。まず、皮膚の引っ張りが小さい場合には装着者がそれを感じにくく、不感領域となってしまう。そのため、角度が小さい部分での非線形性について考慮しなければならない。また、入力(要求回転角)の大きさやその変化の速度によって、システムとしての振る舞いが異なり、また個人差も無視できないことが示唆された。今後、このような条件の違いを吸収するモデル、またはその場で適応するシステムの構築が必要となるが、振る舞いの変化が主にゲインに関連することから、回転要求角度、速度等に応じてゲインの補正を行う方法が有望である。

さらに、上記の問題に取り組みながら、実際の応用システムの設計を行うことも今後の課題である。その際に、どのような頭部回転の要求をどのように得るかが重要な研究項目となる。例えば、教示者の動作(姿勢や筋肉の収縮)などから入力を得て、それを訓練者のデバイスに送ることなども興味深い方法となる。さらに、複数人の間で、動作の同期や共感を得るために何をどのように伝えるべきかを種々の設計を行いながら調べることも重要であろう。

文 献

- [1] Alexandra Ion, Edward Jay Wang, Patrick Baudisch, Skin Drag Displays: Dragging a Physical Tactor across the User's Skin Produces a Stronger Tactile Stimulus than Vibrotactile, CHI '15 Proceedings of the 33rd Annual ACM Conference on Human Factors in Computing Systems, pp2501-2504
- [2] Karlin Bark, Jason Wheeler, Gayle Lee, A wearable skin stretch device for haptic feedback, EuroHaptics conference, 2009 and Symposium on Haptic Interfaces for Virtual Environment and Teleoperator Systems. World Haptics 2009. Third Joint
- [3] Espen Knoop, Jonathan Rossiter, The Tickler: A Compliant Wearable Tactile Display for Stroking and Tickling, CHI 2015, Crossings, Seoul, Korea
- [4] Vincent Levesque, Jerome Pasquero, Vincent Hayward, Braille Display by Lateral Skin Deformation with the STReSS2 Tactile Transducer, Proceedings of World Haptics 2007 (The Second Joint Eurohaptics Conference And Symposium On Haptic Interfaces For Virtual Environment And Teleoperator Systems), pp115-120
- [5] 水上 陽介, 内田 啓治, 澤田 秀之, 糸状形状記憶合金の振動