

令和元年6月20日現在

機関番号：14301

研究種目：挑戦的研究(萌芽)

研究期間：2017～2018

課題番号：17K19976

研究課題名(和文)「予測・期待」による「質感・操作感」の変容の解析と人工物デザインへの応用

研究課題名(英文) Analysis of feeling of material and operation induced by expectation and its application to artifacts design

研究代表者

中村 裕一 (NAKAMURA, Yuichi)

京都大学・学術情報メディアセンター・教授

研究者番号：40227947

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 5,000,000円

研究成果の概要(和文)：本研究は、「期待・予測」によって起こる「質感・操作感の変容」に対し、筋活動を計測することによって生理学的な指標を与え、定量的な議論ができるようにモデル化することを目的とした。本研究期間では、力覚呈示デバイスを用いた実験環境を構築し、動作意図や期待・予測に応じて現れる筋活動のパターンを筋電位計測を通して解析するための基礎的な設計と実験による検証を行った。それに基づき、筋活動から得られる種々の特徴に応じて反力を返すシステムの構築と基礎的な実験を行った。これにより、期待や予測に応じて質感・操作感を变化させるシステムの設計指針など、今後の発展的研究の基礎となる知見を得た。

研究成果の学術的意義や社会的意義

人工物の「質感や操作感」は、人間が人工物を正しく安全に、また、快適に利用できるかどうか、また、人工物に好感を持つかどうかを大きく左右する要素である。パワーアシストや介護ロボットのように身近にロボットが急速に増えつつある現在、このような質感や操作感を科学することは喫緊の問題になりつつある。本研究では、期待や予測に応じた筋活動の計測方法や質感・操作感を变化させるシステムの設計指針など、今後の発展的研究の基礎となる知見を得た。将来的に、使いやすさや安心感だけでなく、ユーザに様々な刺激を与え、興味や親しみなどを持たせる人工物を設計するための基礎技術となることが期待できる。

研究成果の概要(英文)：The aim of this study is to establish a sound way of measurements and quantitative indexes for impression changes of quality or texture of artificial object or machines caused by expectation or prediction. During this research period, we designed and developed a prototype system for this purpose with a haptic device to give sense of force and with measurements for muscle activity patterns that are caused by the intention of movements based on expectation and prediction of an artificial object. Examining the data obtained by trials with giving several typical tasks of movements, we designed a prototype system for giving force feedback that reacts to the activities by the users intention and expectations. We conducted preliminary experiments with the system aiming to give certain quality or texture of a pseudo object. We obtained important findings such as possible system behaviors for giving some typical impressions and knowledge for pursuing further investigation and development.

研究分野：情報メディア

キーワード：質感 操作感 予測・期待 筋活動 反射 力覚

様式 C-19、F-19-1、Z-19、CK-19 (共通)

1. 研究当初の背景

昇りでも下りでも、段を踏み抜く(段があると勘違いしたが実際には無かった)と、とても不思議な感覚を覚え、また、停止したエスカレータを歩くと、違和感とかなりの歩きにくさを感じる。より一般的には、押す、持つ、触る、その他どのような動作においても、予測や期待が外れた場合には、驚きとともに不思議な質感を感じる。このように、「期待と予測」によって「質感の変容」が起こることは古くからよく知られた現象である。

このような人工物の「質感や操作感」は、人間が人工物を正しく安全に、また、快適に利用できるかどうか、また、人工物に好感を持つかどうかを大きく左右する要素である。パワーアシストや介護ロボットのように身近にロボットが急速に増えつつある現在、このような質感や操作感を科学することは喫緊の問題になりつつある。つまり、人間がどのような期待・予測を抱いて人工物に触ったり操作するか、人工物の反応によってどのように感じ、どのように反応するか等を客観的データに基づいて研究する必要性が高まっている。

2. 研究の目的

人間と人工物のインタラクションでは、重要な現象が短時間に起こる。その計測方法としてまず考えられるのは脳の計測であるが、階段の昇降のように能動的に運動している状態での脳の詳細な計測は極めて困難である。そのため、本研究では、動作と反応における筋活動を計測することによって、「期待・予測」によって起こる「質感・操作感の変容」に関する生理学的な指標を与え、定量的な議論ができるようにモデル化することを目的とする。つまり、脳を測るための窓としての筋肉の可能性を追求することが本研究の挑戦である。対象として想定する質感・操作感の例を図1にあげる。このような質感や操作感

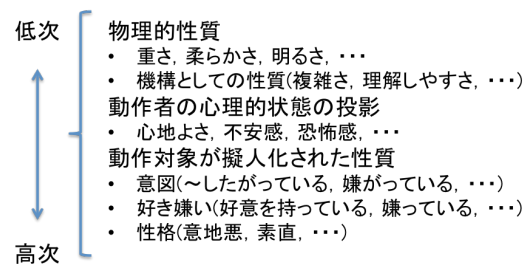


図 1: 対象とする質感・操作感の例

は機械やロボットなどの人間に対する感覚レベルのコミュニケーション戦略とも言える。この実現可能性や効果を確認するために、簡単な実機を構成しながら、基礎的な分析を行う。

3. 研究の方法

3.1 研究項目

以下の研究項目を設定し、そのための基礎的な取り組みを行ってきた。

- 動作意図や期待・予測による筋シナジー、筋賦活パターンの変化: 種々の期待や予測によって変化する筋活動のパターンのモデル化
- 期待・予測が当たった場合・外れた場合の反射的筋活動: 期待や予測が当たった場合および外れた場合の修正的動作のモデル化
- 期待・予測に応じて対象の性質を制御するメカニズム: (a)の推定がほぼ実時間で可能である場合に、動作対象の性質を期待・予測に応じて実時間に变化させ、それによる質感の変化を起こすモデルの設計

3.2 力覚呈示デバイスとタスク

図2に使用した仮想力覚呈示デバイス(Novint社のFalcon)を示す。Falconは3自由度(x軸, y軸, z軸)の位置と力覚の出力が可能である。Falconの動作と同期させてCGを表示させることができる。その例を図3に示す。右にある丸いポインタで、中央にある仮想物体に触れると、仮想物

体に設定された反力が力覚呈示デバイスに出力される．最大呈示反力は約 9kg 重であり，これを越える力がグリップに加えられるとグリップと仮想空間上のポインタの位置にズレが生じる．

3.3 筋活動の計測と分析

筋活動の計測に表面筋電位を用い，筋電位から筋張力を推定するために Winter と Stark の筋活性度の考え方を用いる．この筋張力の釣り合いが，その時点での運動の (角) 加速度を決める要素となるが，一定の筋張力を発生し，見かけの運動が起こっていないように見える場合でも，細かな制御が働いていることを考慮する必要がある．また，筋の役割に応じて，賦活の状態に時間差があり，反射などの種々の制御によってその関係が異なることも考慮しなければならない．そのため，本研究では，筋活性度に加え，ウェーブレット変換を用いた局所時間間における周波数解析および，複数の筋の間の相関を求めるためのウェーブレットコヒーレンス解析を用いる．ウェーブレットとしては，Morlet のウェーブレットを用いた複素ウェーブレット変換を用いた．ウェーブレットコヒーレンスは (時間) スケールと時間差 (位相差) を考慮した解析にも適しているが，わかりやすい結果が得られないことも多くあるため，以下のような方法も分析に用いることとした．



図 2: Novint Falcon

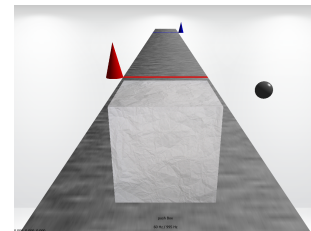


図 3: 仮想空間

3.4 力覚呈示デバイスの制御と質感の変化

3.2 で述べたタスクではあらかじめ力覚刺激をプログラムしたものをを用いている．しかし，期待・予測による筋活動の変化を調べるためには，筋活動によって与える力覚を制御することも必要となる．その考え方としては以下のものがあげられる．

主動筋に応じた制御: 動作開始・筋力調整の意図に応じた反力の制御

拮抗筋に応じた制御: 筋力調整，ステイフネスの増減の意図に応じた反力の制御

協働筋に応じた制御: 主動筋の補助，および，動作開始のための関節駆動や筋張力発揮の方向を調整する意図に応じた反力の制御

他関節筋 (筋シナジー) に応じた制御: 動作のための姿勢の調整，例えば，バランスの保持のための予測制御などに応じた反力の制御

これらは外力のセンシングだけでは実現できない制御となっている．つまり，外部に現れた力や姿勢だけからではなく，実際に筋計測を行って，動作の意図を推定することにより初めて可能となる制御が存在する．このような反力の制御を行うことにより，以下のような質感を与えたり，質感の変化を与えることも本研究の重要な研究方法となっている．

モノとしての基本的な質感: 重さ，滑りやすさ，弾力性，硬さ，その他の基本的な性質

操作感: 操作しやすさ，予測しやすさ，馴染みやすさ，その他の操作感に関する性質

有生性 (animacy): 生き物としての性質や意図・意思の存在に関する性質

4. 研究成果

本期間では，(i) 3.2 の実験環境の構築 (ii) 3.1 の (a)(b) を調査するためのタスクの設定と被験者実験による計測，(iii) 得られたデータを 3.3 の手法を適用して解析すること，等を行ってきた．

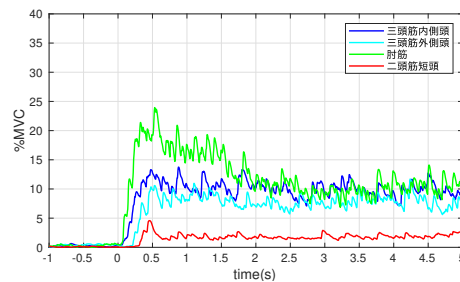
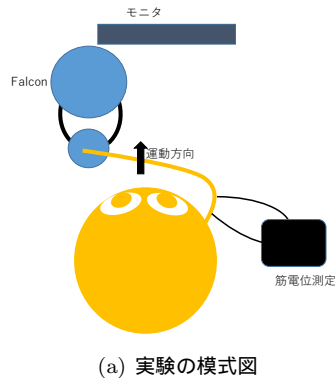


図 4: 計測実験

(iv) 3.2 の実験手法を用いた質感の変化の解析は着手した段階であり、力覚デバイスの制御と質感の関係性を現在調査しているところである。また、本課題は萌芽的研究課題であり、本期間終了後も継続的に研究を進めることを予定している。

図 4(a) に (ii) の実験の模式図を示す。実際の筋電位計測結果を筋活性度に変換したものが図 4(b) となる。肘の伸展・屈曲のために主として用いられる筋は、上腕三頭筋、肘筋、上腕二頭筋、上腕筋である。腕橈骨筋なども賦活するが、伸展・屈曲方向に発揮するトルクは小さいため、ここでは計測対象から外した。伸展の場合には、上腕三頭筋内側頭を主動筋として、同名筋を協働筋、それ以外を拮抗筋と考えた。

ウェーブレット変換のスケールとしては、伸張反射のスケール (小)、自原抑制反射のスケール (中)、また、それよりゆっくりとした長潜時反射 (LLR) 等や随意的な制御のスケール (大) に対応する 3 つを選んだ。肘周りの運動の場合、上腕周りの筋と脊髄の往復距離を約 60cm ~ 1m とし、運動ニューロンと GIa ニューロンの伝導速度を約 50m/sec とすると、伸長反射は 30 ~ 50msec 程度かかることが想定される。自原性抑制反射は抑制性であるためその倍程度のスケールにその特徴が多く現れると考えられる。同様に、皮質経由反射は 70 ~ 100msec 程度かかるとされており、100msec のスケールに着目した。さらに、筋のペアそれぞれについて、各スケールでの大きさの増減を比較する。両方が増加している場合 (+, +), 片方が増加・もう一方が減少 (+, -), (-, +), 両方が減少 (-, -), の計 4 通りが考えられる。

設定したタスク、および、得られた結果の例は以下の通りである。信号処理結果の例を図 5 に示す。図では、濃い青色が上記 (+, +), 濃い赤色が (+, -), 薄い赤色が (-, +), 薄い青色が (-, -) を表す。

タスク 1: 負荷と釣り合うように一定の力を維持するタスク。動作の開始時において、筋張力を増加させるための伸張反射に起因する筋協調、力の増加を止めるための抑制性の制御がある。力を一定に保っている間は、複数の種類の細かな制御が行われていると考えられ、筋協調の状態も細かく変化する。

タスク 2: 負荷を上回るように徐々に力を増加させていくタスク。筋張力を徐々に増加させるために、主動筋・協働筋ともに伸張反射が協調して起こっている。そのため、値は小刻みに変化するが、変化の動向は良く一致する。

タスク 3: タスク 1 の状態から徐々に力を減少させていくタスク。関節トルクを正確に減らすために拮抗作用が用いられる。主動筋・拮抗筋の両方ともに伸張反射のスケールで大きな成分が出る。外部への発現トルクを減らすために、拮抗作用によって力の釣り合いの急な変化を抑え

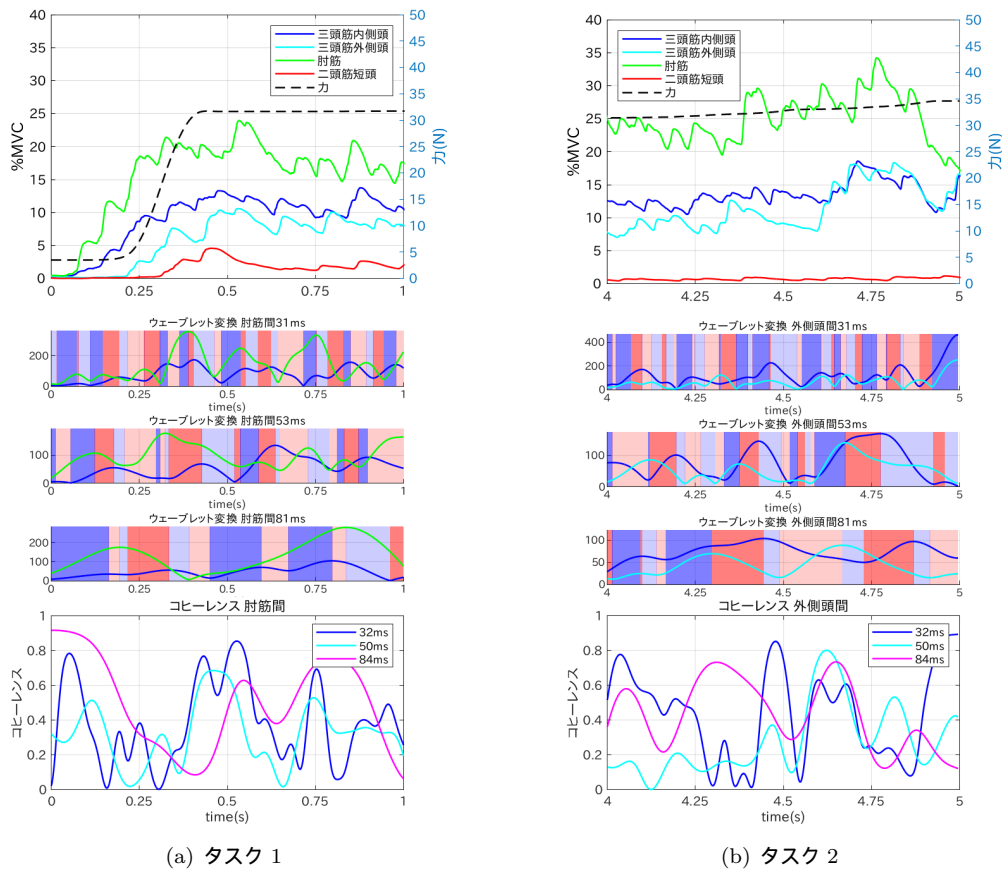


図 5: それぞれのタスクにおける計測値, 計測結果の解析例

ているためだと考えられる。

タスク 4: タスク 1 の状態から急激に力を減少させるタスク。力を急に減少させる際に、主動筋、協働筋ともに、全てのスケールでの成分が増加している。筋張力を抜くための準備として、伸張反射、抑制性の反射などが起こる可能性が示唆されている。

タスク 5: タスク 1 の負荷が急に变化するタスク。デバイスからの反力が一旦減少した後、若干の反力の増加があり、その後一定値に落ち着くという設定になっているため、LLR、随意的な修正、また、スティフネスを高めるための筋活動が起こる。例えば、スティフネスを高めるために、主動筋と拮抗筋に同時に伸張反射が起こる。続いて遅い制御が働いて、主動筋の活性度は増加し、拮抗筋の方は減少する。抑制性の制御に対応する中スケールの成分の差とこのような現象とが整合する。

現れる典型的な特徴の例を以下に示す。

- 小スケールでウェーブレット変換成分が大きくなる典型的な場合の一つとして、伸張反射によって筋張力を増加させるケースがよく見られる。頻繁に、主動筋・協働筋でほぼ同期した上昇が見られる。
- 主動筋・協働筋間でその傾向が一致しない場合には、筋張力を一定に保つために自原性抑制、反回抑制、随意的な制御などが複合的に起こっていると考えられる。
- 短時間で筋活性度を減らしたい場合に中スケール (自原抑制のスケール) の成分が大きく検出さ

れる．このような抑制が協働筋間でも同期して起こりやすい．

- 大スケールの成分には複数筋間の筋協調が顕著に現れる．
- ウェーブレットコヒーレンスは複数の要因の影響を受けるため、コヒーレンス値を単独で用いることは難しいが、他の特徴と併せることにより協働作用を検出しやすい．

これらの信号特徴が一般的に現れ、動作意図を知るための手がかりとなる．本研究では、これらの手がかりを検出し、これによって 3.4 で述べた力覚デバイスの制御を行うことによって、動作意図と質感の関係を解析する試みを始めているが、まだシステムティックな分析や検証までには至っておらず、今後、種々の条件や種々の被験者での実験を行いながら、様々な検討を行っていく予定である．

5. 主な発表論文等

【雑誌論文】(1 件)

- ① Alice Haynes, Melanie Simons, Tim Helps, Yuichi Nakamura, Jonathan Rossiter, "A wearable skin-stretching tactile interface for human-robot and human-human communication", IEEE Robotics and Automation Letters, Vol.4, No.2, pp.1641-1646, 2019, 査読有

【学会発表】(4 件)

- ① 井藤隆秀, 近藤一晃, 中村裕一, Jonathan Rossiter, 秋田純一, 戸田真志, "頸コミュニケーションのための動作伝達様式の選択 ~ 複数様式の併用と腕時計型デバイスによる選択 ~", 信学技報 MVE2018-48, Vol.118, No.405, pp.115-120, 2019, 京都
- ② 岡田拓洋, 近藤一晃, 中村裕一, 秋田純一, 戸田真志, "力覚デバイスを用いた筋協調の時間的変化の分析と俯瞰", HCG シンポジウム 2018, B-1-5, 8pages, 2018, 伊勢
- ③ 武田健資, 井藤隆秀, 近藤一晃, 中村裕一, 秋田純一, 戸田真志, "立ち上がり動作の予測 ~ 筋電位と姿勢を用いた立ち上がり動作の計測と予測 ~", 信学技報 HIP, Vol.118, No.262, pp.9-12, 2018, 京都
- ④ 井藤隆秀, 近藤一晃, 中村裕一, Jonathan Rossiter, 秋田純一, 戸田真志, "皮膚引っ張り型デバイスによる行動・動作状態の伝達と見守り", 信学技報 PRMU, Vol.118, No.35, pp.17-22, 2018, 京都

6. 研究組織

(1) 研究協力者

研究協力者氏名: 秋田純一

ローマ字氏名: (AKITA, Junichi)

研究協力者氏名: 戸田真志

ローマ字氏名: (TODA, Masashi)

研究協力者氏名: 佐藤真一

ローマ字氏名: (SATO, Shin'ichi)

科研費による研究は、研究者の自覚と責任において実施するものです。そのため、研究の実施や研究成果の公表等については、国の要請等に基づくものではなく、その研究成果に関する見解や責任は、研究者個人に帰属されます。