

ヒューマンコンピュータインタラクション技術の建築デザイン分野への応用 —建築分野の手仕事の感覚保存・再現—

Application of Human Computer Interaction to the field of architectural design -Conservation and reproduction of the handwork in the field of architecture-

○小島尚之^{*1}, 山田悟史^{*2}
Naoyuki KOJIMA^{*1}, Satoshi YAMADA^{*2}

*1 立命館大学 理工学部 建築都市デザイン学科

Undergraduate, Dept. of Architecture and Urban Design, Ritsumeikan Univ.

*2 立命館大学 理工学部建築都市デザイン学科 任期制講師・博士(工学)

Lecturer, Dept. of Architecture and Urban Design, Ritsumeikan Univ., Dr.Eng.

キーワード: ヒューマンコンピュータインタラクション; 感覚保存; 手仕事; 大工仕事; 電気刺激

Keywords: Human Computer Interaction; Conservation of sensations; Handwork; Carpentry; Electrical stimulation.

1. はじめに

現在の建築業界が抱える問題の1つに、宮大工の不足が挙げられる。宮大工は、寺社仏閣や城郭の建築や修繕を主な仕事とし、高度な手仕事の技術が求められる。

住環境価値向上事業協同組合による調査¹⁾では、大工人口が2020年には2010年の53%ほどになると予測されている。また、2020年における大工の需要予測では30万人程度が必要とされているが、このままでは9万人程度の大工不足となる。このことから、大工育成に対してより効率的な新しい取り組みが必要だと考えられる。

中島らの研究²⁾では、宮大工の技能は「道具の使い方」を始めとする8種類に大別され、全ての技能を修得し、棟梁として独立するには家大工の約2倍にあたる約8年を要するとされている。これは手仕事の技能・感覚は文章や言語による伝達が困難であるため習得に時間を要するためである。この点を解決し得る精度の高い技術継承の方法として、機械化により意匠を継承する研究も進んでいるが、人から人に継承することは文化人類学の視点からも重要である。

そこで本研究は、文章・図面・実物に加わる新たな歴史保存事件として、高度な手仕事を人から人へ継承するための革新的な方法を提案する。それは「手仕事の感覚の保存と再生」である。つまり、宮大工の手の動きをデータとして保存し、宮大工としての経験がない人に電気刺激を介して宮大工の動きを伝達することで動作感覚を継承する、という試みである。SF世界の実現不可能な提案に思われるかもしれないが、Human Computer Interaction分野にseedsとなる研究がある。それはH2L株式会社が開発した触感型ゲームコントローラーUnlimited Hand³⁾である。このデバイスに、人の手の動きを保存し、別の人に電気刺激を介してその動きを再現できる可能性を

見出した。手の動きの保存はUnlimited Handの筋変位センサを利用する。Arduinoを使って開発することができ、Arduino IDE^{注1)}とのシリアル通信によって手の動きを数値化^{注2)}することができる。全部で8個の筋変位センサがあり、指や手首を曲げる動きや手を開く動きを読み取ることができる。

電気刺激は、Unlimited Handに内蔵されている8個の電極を利用できる。8個の電極にはそれぞれ対応する動き^{注3)}があり、これらの動きを組み合わせることによって、様々な動きを再現することができる。電気刺激もArduino IDEで操作することができ、電圧の強弱や、電気を流す時間を設定することができる。

デバイスについて玉城ら⁴⁾は、6パターン手のジェスチャーの認識精度及び右手が開閉する動作の正誤判定を行っており、手のジェスチャーについてはジェスチャー数が5以上になるとシステムの精度が下がること、右手の開閉動作については75%の精度で区別可能であり、手を開く動作に誤りが出ることが明らかとなっている。しかし大工仕事が保存・再生可能かは不明である。そこで本稿は、再生に先立ち、大工作業の主要な動作の中から保存可能な動作を明らかにすることを目的とする。

2. 研究目的と方法

中島らの研究を参考に対象動作を「①玄能、②鉋、③左官工事、④鋸、⑤突き鑿、⑥墨付け」とした。

分析においてはまず6種類の動作を各30回繰り返し数値化する。ここで得られる数値は8個の筋変位センサ(以下m0~m7)と3軸の角度(x, y, z)の計11種類から得られる時系列データである。この時系列データを動作毎に分類可能であるか検証することが本稿の具体的な目的である。

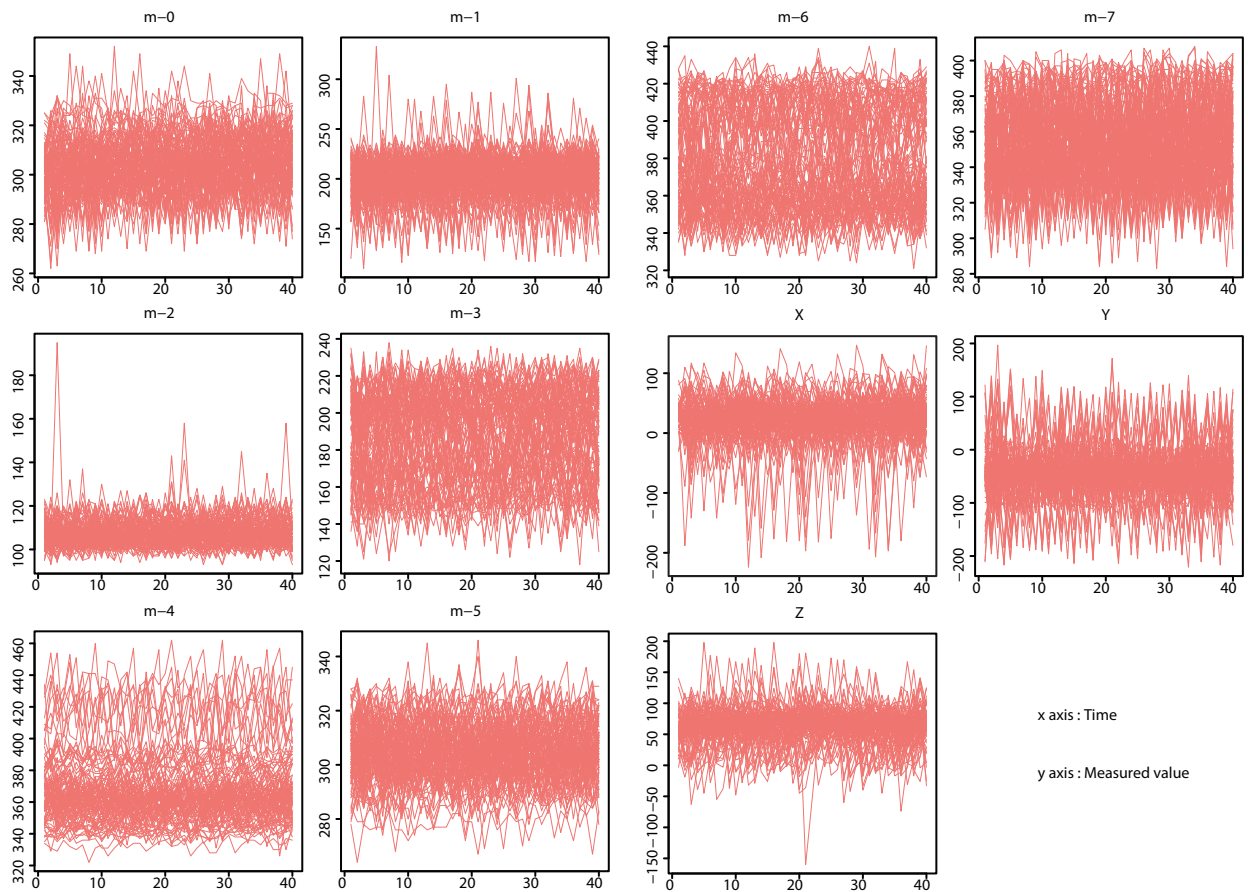


図2 波形図（玄能）

2.1. 各動作の測定方法

Unlimited Handを右手前腕に装着した状態で各動作を測定した。測定時はUnlimited HandをPCとUSB接続し、Arduin IDEのシリアル通信^{注5)}で各センサのシリアル値を取得する。30回動作を繰り返し40時点のデータを各100回作成した。以下が各動作の測定方法である(図1)。

①玄能の動作

肘の位置を固定した姿勢で、手首の橈屈と尺屈を繰り返した。また、直径約30mmの筒を持ちながら動作を測定することで、実際に玄能を扱うときに近い動作とした。

②鉋の動作

基準位置から幅約60mmの箱を持った状態で肘を後ろに約150mm引く動作を行い、ゆっくりと元の位置に戻すという動作を繰り返した。

③鋸の動作

基準位置から約30度下方に腕の押し引きを繰り返した。この際、速く引き、ゆっくり押しよう動作することで、実際に鋸を扱う動作に近づけた。また、玄能、左官の動作と同様、直径約30mmの筒を持った状態で測定した。

④左官の動作

肘の位置を固定した姿勢で、前腕から手首までを左右に動かした。玄能の動作を測定するときと同様、直径約30mmの筒を持った状態で測定した。

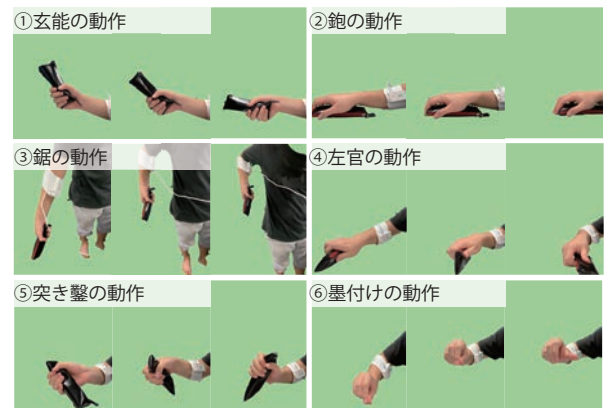


図1 対象動作の動き

⑤突き鑿の動作

突き鑿は腕の力を使い、主にホソの仕上げで利用される。この際、手首を捻るような動作をするため、肘の位置を固定した状態で直径約30mmの筒を持った状態で手首を回内させた。

⑥墨付けの動作

墨壺を用いる墨付けでは、絶妙な力加減が求められる。肘の位置を固定し親指、人差し指、中指で摘み、前腕を垂直に上げ、その後そっと手を開く動作を測定した。

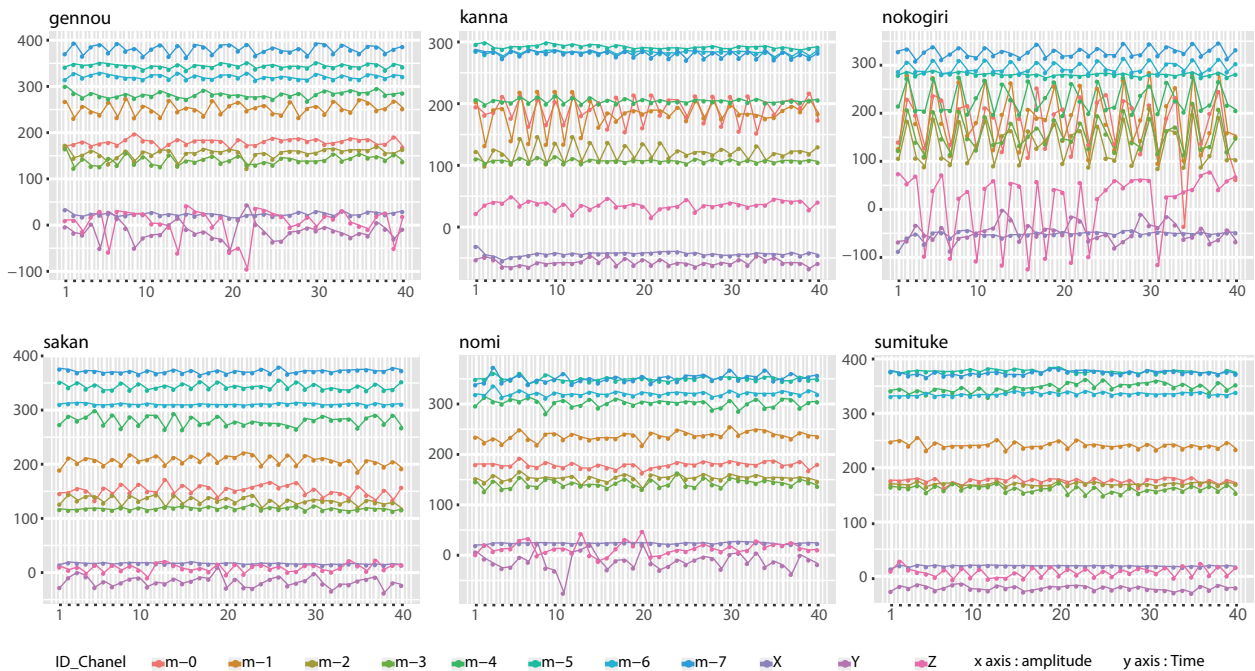


図3 平均値プロット

2.2. クラスタリング方法 (Ward 法)

時系列データは各動作 100 セットずつあり、観測値と、離散フーリエ変換した後のデータをそれぞれ Ward 法でクラスタリングし、正しいクラスとのクロス集計表を作成することで、Unlimited Hand を用いることで大作業でよく行われる動作を分類して保存可能かを検証した。

3. 解析結果

まず始めに、各動作の各センサで取得した数値から 100 セット分を重ね合わせた波形図を作成した (図 2)。多少のノイズがあるものの、それぞれにほぼ一定の波形が見られることがわかる。また、各動作の平均値を比較することで、どのような特性があるのかを確認する。

3.1. 平均値プロット

平均値プロットが図 3 である。この図から、各センサと各動作を対応付けて考える。m-0 ~ m-7 には対応する手の動き^{注5)}があるため、それも合わせて考察する。

3.1.1. 玄能の動作

m-7 が高い数値の波形であることから、手首が主動作を担っていることがわかる。m-5, m-6 については、ほぼ横一線であることから、手の開閉は認識されていない。x, y, z については、y, z がかなり不規則な形をしている。これは、測定する際の微妙な振動から生じた結果だと考えられる。しかし、x がほぼ一定であることから、固定した位置で測定し、それが認識されていることがわかる。

3.1.2. 鉋の動作

m-0 ~ m-2 で目立つ波形が見られることから、指に力の緩急が入っていることがわかる。鉋を引くような動作の際に指に力が入り、所定の位置に戻すときに力が緩む

ということがこの結果に表れている。また、m-4, m-7 もほぼ一定であることから、手の開閉についても認識されておらず、指の力の緩急をよく認識していることがわかる。x, y, z については、どれもほぼ横一線であることから、腕を地面とほぼ平行に動かしていることがわかる。

3.1.3. 鋸の動作

m-0 ~ m-7 について m-5 以外で波形が見られる。前腕を強く引く動作では、指に強い力が入り、拳も握るように入力が入る。また、手首も、引く際に橈骨側に曲げるような動作があり、その動作を m-4, m-7 が認識したと考えられる。x, y, z では、z で大きな波形が見られる。これは、約 30 度下方に動作を繰り返したためだと考えられる。

3.1.4. 左官の動作

手首の背屈と掌屈を繰り返すような動作のため、m-4 で波形が表れている。また、掌屈から背屈に切り替わる際に手が少し開くことから、m-5 で小さな波形が表れている。x, y, z について、横の動きは縦の動きに比べ振動が小さいため、角度の取得値のずれが小さくなる。その結果がプロットにも表れたと考えられる。

3.1.5. 突き鑿の動作

他の動作と比較して、m-0 ~ m-7 において特に目立つ波形が見られないが、m-4, m-7 の数値が高くなっている。このことから、突き鑿の動作をしている際に、手首周りの筋肉が常に使われていることがわかる。x, y, z については、y, z で変化が見られる。この動作は肘を起点として、前腕全体が捻るような形になるため、Unlimited Hand を前腕に装着している以上、y 方向、z 方向で変化があることは正しいと考えられる。

3.1.6. 墨付けの動作

m-5, m-6については高い数値を示していることから、手の開閉について認識されていることがわかる。また、y方向での波形が見られることから、手を上下に動かしていることが認識されている。

3.2. クロス集計表

各動作に応じた観測結果が得られていると考えられたため、Ward法によるクラスタリング結果を検証した。

クラスタリング結果と元の動作のクロス集計表が表1である。取得値そのもので分類をした結果、左官と墨付けの動作以外の動作を高い割合で分類することができた。分類が出来なかった動作はどちらも主動作が手の開閉であり、その周囲の筋肉が良く使われていることが原因と考えられる。

次に、FFT後の数値で、各動作の周波数特性から分類した。その結果、鉋、左官、墨付けで全てのデータが同じクラスに分類された。また、鋸は4つのクラスに分割されるなど。不規則な分類結果となった。今回の測定では、筆者自身がデータセットを作成したため、周波数の差異があまり見られなかったが、熟練の技術者で測定した場合、各動作の速さ等が変わってくるので、周波数特性の差異も大きくなり、クラスタリングの結果も大きく異なると考えられる。

4. おわりに

本研究では、伝統技術の新たな保存、再現方法として、Human Computer Interactionの先端デバイスを用いて大作業の主要動作を分類可能な状態で保存できるかを検証した。以下に得られた知見をまとめる。

1) 大作業でよく使われる動作について、どの筋肉がどの程度使われているかを数値化、可視化することができる。熟練した技術者の動作を測定し数値化、可視化することで、各動作における最適な筋肉の使い方をより効率よく訓練できると考えられる。现阶段で再生は検討中だが、熟達した職人の波形を見ながら自身の動作の波形を近づけるように訓練する、などがあり得る。

2) 動作分類について、取得値を使った場合は主動作部位や筋肉に依存し、同じ部位、筋肉での動作の分類は困難である。周波数特性での分類は、本研究では不規則な分類となった。これは実験者が一定リズムで動作したためでもある。今後の課題となるが、熟達した技術者の動きにはリズムがあると考えられるため、これを測定することができれば分類できる可能性もあると考えられる。

具体的な今後の課題として、本研究では大作業未経験の筆者自身が実験者となり動作のデータセットを作成したが、熟達した職人の動きでも動作分類が可能であるか検討する。また動作分類ではなく、素人と職人の動きを分類可能であるの検証も重要な課題である。両者の筋

表1 クロス集計表

FFT前						
class \ work	gennou	kanna	nokogiri	sakan	nomi	sumituke
1	1	1	1	1	1	1
2	99	0	0	0	0	0
3	0	99	0	0	0	0
4	0	0	99	0	0	0
5	0	0	0	0	99	0
6	0	0	0	99	0	99

FFT後						
class \ work	gennou	kanna	nokogiri	sakan	nomi	sumituke
1	93	0	0	0	29	0
2	6	100	0	100	71	100
3	1	0	46	0	0	0
4	0	0	39	0	0	0
5	0	0	13	0	0	0
6	0	0	2	0	0	0

肉の使い方の違いを明らかにすることは、再生を念頭とした保存とした意義だけでなく保存・可視化自体にも意義がある。その意義の一例には、訓練者が熟達した職人との違いを視覚的に認識しながら訓練し得るという意義である。歴史学の意義としても、電気信号の比較により、伝統技術について筋肉の動きという新たな視点から知見を導きたいと考えている。また電気刺激を介した動作の再生も課題である。この課題を解決し、現役の宮大工に電気刺激で再生した動作を評価して貰いながら、人から人への手仕事の継承に寄与し得る再生を実現することを今後の展望とする。

[注釈]

- 1) 本研究では arduino-1.8.9-windows を使用している。
- 2) Unlimited Hand の前腕部との接地面には、合計で8個の筋変位センサがV字型で左右対称に搭載されている。このセンサによって前腕部の筋肉の動きを読み取り、手や指の動きを推定することができる。動きを推定するときはいくつかの筋変位センサが読み取った値を組み合わせたシリアル値が使われる。このシリアル値は Arduino IDE とのシリアル通信で表示することができ、その値から手の開閉や手首の橈屈、尺屈、指の伸展、屈曲といった動きを推定する。
- 3) <<https://www.youtube.com/watch?v=gGih1Tr3VY>> それぞれの電極が対応する動きを示す動画である。voltage は 12, Stimulation Time は 60 に設定している。
- 4) シリアル通信におけるボーレートは 115,200 に設定した。また、センサによる読み取りは 1000 ミリ秒毎に実行した。
- 5) 筋変位センサについて、m-0 ~ m-3 は指の動き、m-4, m-7 は手首の動き、m-5, m-6 は手を開く動きを認識する。

[参考文献]

- 1) 住環境価値向上事業共同組合：工務店経営者のための大工の育成と雇用形態、国土交通省補助事業「住宅市場整備推進事業」、2013
- 2) 中島正夫, 神山幸弘：宮大工の技能習得過程の分析 - 宮大工の技能に関する調査研究 その1 -, 日本建築学会計画系論文集, 第476号, pp. 91-100, 1995. 10
- 3) Emi Tamaki, Terence Chan, Ken Iwasaki: Unlimited Hand: Input and Output Gestures with Less Calibration Time, Proceedings of the 29th Annual Symposium on User Interface Software and Technology, pp. 163-165, 2016.
- 4) Satoshi Hosono, Shoji Nishimura, Ken Iwasaki, Emi Tamaki: Gesture Recognition System using Optical Muscle Deformation Sensors, ICECC2019, pp. 12-15, 2019.