

学習者の関心度推定のための脚部状態計測デバイスの開発

浅井 康貴^{1,a)} 相川 大吾² 江木 啓訓^{1,b)}

概要：授業において教員が学習者の状況を把握することは重要であり，そのための様々な手法の研究が行われている．本研究では脚部状態に着目し，学習者の関心度推定システムのための脚部状態測定デバイスの設計と開発を行った．デバイスを開発するために，実際の学習者がどのような脚部状態であるかを調査した．授業において学習者をビデオで撮影し，脚部状態の分類を決定した．脚部状態を非接触で計測するために，フォトリフレクタとレーザー距離センサを用いた計測デバイスを設計した．開発した計測デバイスを用いて，脚部状態の判定が可能であるか実験によって確認した．その結果，着席している状態の脚部を計測することが可能であることが明らかになった．

1. はじめに

学習活動を適切に支援するために，教員が学習者の状況を把握することは重要である．特に学習内容に対して興味関心を持っているかを確認し，興味段階に応じて強めさせる喚起を行いながら学習を進めることで効率の良い学習を促すことができる [1]．しかし，大規模授業では教員が学習者全員の状況を把握することは難しい．教員が学習者の反応から状況を読み取るためには熟達が必要である．また，ミニッツペーパーやクリッカーといった手法が広く用いられているが，学習者が記入や操作などの行動によって表出する必要があるため，学習者に能動的な回答を促すような授業設計を行わなければならない [2][3]．

本研究では，学習活動に取り組んでいる学習者の脚部状態に着目する．学習内容に対する学習者の関心度を脚部状態から推定することを目的とする．学習者の関心度を脚部状態から自動的に推定するために，フォトリフレクタとレーザー距離センサを用いた非装着型の脚部状態計測デバイスの開発を行う．開発した脚部状態計測デバイスを用いて，学習者の足の接地位置や下腿の位置などのデータを取得し，関心度との関係性を明らかにすることを目指す．本研究では，脚部状態計測デバイスの設計と開発を行い，センサの配置の妥当性，デバイスの脚部状態の計測精度および課題についての検討を行う．

2. 関連研究

2.1 学習者の状態推定

学習者の外見から得られる情報に基づいて，学習者の状態を推定する研究が多く行われている．Zhu らは学習者が装着したスマートウォッチからデータ収集を行い，学習者の状態推定を行っている [4]，スマートウォッチに内蔵されている加速度センサとジャイロスコープ，フォトプレチスモグラフィから学習者の筆記行動データ，心拍数のデータを取得し，講義に対する興味や難しさの度合いが予測可能なことが明らかになった．また，江木らは筆記具に加速度センサを取り付け，学習者の状態推定を行っている [5]．加速度のデータから，「置いている」「手が止まっている」「動かしている」「書いている」の4つの状態を識別可能にしている．これらの研究は，学習中に測定デバイスを装着及び使用する必要がある，普段とは異なる環境で学習を行わせるため，学習活動に影響する可能性があると考えられる．

学習者に直接接触しない状態推定手法として，中村らの研究がある [6]．ビデオカメラで学習者の顔動作を撮影し，その特徴量から学習者の問題に対する主観的な難易度を推定している．しかし，学習中に計器が視界に入る状況や常に撮影される状況は，学習者への精神的な影響が大きいと考えられる．

松本らは学習者に影響なく状態推定を行う手法として，ロードセルをオフィスチェアの脚と座面の間のねじ締め部分に挟み込むセンシング機構を提案している [7]．挟み込んだ4つのロードセルから重心位置と荷重のデータを取得し，SVM 識別器を用いて筆記状態と非筆記状態を識別している．しかし，この研究では実際に筆記・非筆記状態の学

¹ 電気通信大学 大学院情報理工学研究科 情報学専攻

² 電気通信大学 情報理工学部 総合情報学科

a) y.asai@uec.ac.jp

b) hiro.egi@uec.ac.jp

習者がどのような動作をしているのかを明らかにしていない。また、重心位置と荷重のデータのみを使用しているため、学習者の詳細な動作まで検知できないと考えられる。

本研究では、学習活動や学習者の精神状態に対する影響を可能な限り低減させる手法として、脚部状態の計測を提案する。学習中に足元が視界に入ることや足元を見ることは少ないと考えられるため、床に設置するようなデバイスであれば学習者への影響が少ないと考えられる。

2.2 脚部状態

実際に脚部状態を観測した実験として、Bull の研究がある [8]。Bull は、被験者が実験者と 1 対 1 の状況で対話を行い、被験者の姿勢の様子をビデオカメラで撮影している。その結果、興味と足を後ろに引く動作、退屈と足を伸ばす動作、不同意と膝の上部で膝を組む動作の間には関係があることが明らかになった。また、柴田は圧力センサと加速度センサを用いて着座姿勢の感情分析を行っている [9]。ソファと床に圧力センサを設置、被験者の頭部と両腕部に加速度センサを装着させて着座姿勢のデータの取得し、その時の着座姿勢を側面から見た写真を他者に評価させている。その結果、「幸せな」、「満足した」、「悲しんだ」、「悩んだ」などの快・不快に関する感情である「快適度」は、脚の状態に関係があるとしている。

上述の研究から、着座時の脚部状態と感情や主観的意識には関連性があると考えられる。しかし、どちらの研究も学習中の学習者とは文脈が異なり、それぞれの実験結果をそのまま適用することは不適切と考えられる。本研究では、学習中の学習者の脚部状態を測定し、関心度との関連性を調査する。

3. 研究アプローチ

第 2 章で述べたように、学習者の学習活動や精神状態に対する影響を出来る限り小さくしながら、学習者の状態推定を行うことが重要である。普段の学習環境と異なる環境で学習者の状態推定を行ったとしても、機器が設置されている環境での学習者の状態となり、実際の学習者に対して適用できない可能性が考えられる。そこで、本研究では学習者の脚部状態に着目した。着座状態で机に向かって学習する状況であれば、机の下で脚部状態のセンシングを行うことが可能である。机の下であれば学習者の視界に計器が入りづらく、学習活動への影響は少ないと考えられる。また、床に設置するような非接触型デバイスであれば、学習者は普段の活動と同様の用具や環境で学習を行うことが可能であり、自然な状態の学習者の状態推定が可能であると考えた。

本研究では、自然な形で学習者の脚部状態を計測可能な脚部状態計測デバイスの設計と開発を行い、関心度推定システムの開発を目指す。システムの開発に向けて、まず実

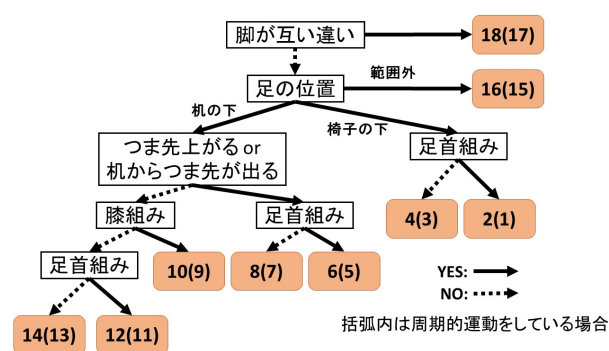


図 1 脚部状態の分類木

際の学習者の脚部状態の調査と分類を行う。調査の結果から、脚部状態の分類の妥当性を検証する。分類した脚部状態を推定するために、脚部状態計測デバイスの設計と開発を行う。開発した脚部状態計測デバイスを用いて、脚部状態の判定が可能であるか実験によって確認を行う。

4. 脚部状態の分類

4.1 脚部状態分類の作成

脚部状態を分類するにあたり、「足の位置」、「足組み」、「周期的運動」に着目した。「足の位置」は、学習者の足が「机の下に置かれている」、「椅子の下に置かれている」、「それ以外の場所に置かれている」の 3 種類である。「足組み」は足首の位置で足を組む「足首組み」と膝の位置で足を組む「膝組み」の 2 種類を定義した。「周期的な運動」は、いわゆる「貧乏ゆすり」のような一定時間ごとに特定の動作を行うというような運動と定義する。また、これらの状態は足が揃っているという前提で分類される脚部状態であるため、右足が椅子の下にあり、左足が机の下にあるような状態は「足が互い違い」とであると定義した。

以上の定義に基づき、着座時の脚部状態を 18 種類に分類した。脚部状態の分類木は図 1 に示す。ただし、着座していない状態や「足が椅子の下にあり、膝で足を組む」というような人体の構造上不可能と考えられる姿勢については分類の対象外とした。

4.2 授業における観察

作成した脚部状態分類が妥当なものかどうか検証を行うために、実際の授業において学習者に脚部状態分類を適用して分析を行った。総合大学学際系学部で開講されている学習科学の授業を対象とし、授業中の学習者の様子をカメラで録画した。録画した映像のうち、座学形式の授業が行われている 2207 秒間のみを分析対象として、図 1 の分類木に基づいて各学生の脚部状態の分類を目視で行った。カメラの画角範囲内で脚部状態が分類できたのは、31 名であった。

分類した脚部状態のデータに基づいて、学習者ごとの分析を行った。分析の結果を図 1 に示す。脚部状態の種類や

表 1 学習者ごとの分析結果

	脚部状態 の種類	遷移回数 (回)	最大時間 (秒)
平均	6.8	47.9	284.6
標準偏差	2.2	26.5	145.7

表 2 時間割合が上位の脚部状態

脚部状態	出現回数 (回)	平均継続 時間 (秒)	時間割合 (%)
14	314	58.3	27.8
2	191	56.7	16.5
4	105	61.1	9.8
18	106	57.7	9.3
16	66	75.3	7.6
8	102	40.1	6.2
12	78	48.3	5.7
6	62	47.9	4.5
10	42	63.0	4.0
周期的	271	18.1	7.5

遷移回数の標準偏差の値が大きく、個人差が大きいという結果が得られた。

次に、脚部状態ごとの分析を行った結果を示す。表 2 は脚部状態のうち全体における出現時間の割合が上位だったものを示している。表に示した 9 種類の脚部状態が全体時間の 90%以上を占めていた。また、周期的運動の時間割合は合計で約 8%であり、学習者はあまり周期的運動を行っていないことが明らかになった。

表 2 において、最も時間割合が大きいのは脚部状態 14 であり、全体時間の約 28%を占めている。この脚部状態は足が机の下に置かれており、足組みをしていない状態である。分類の中では最も標準的な脚部状態であるため、最も割合が大きくなったと考えられる。

次に割合が大きかった脚部状態は、脚部状態 2 および 4 である。これらの脚部状態は椅子の下に足が置かれている状態である。このことから、足を引いて椅子の下に置いているという脚部の状態が、何らかの学習者の状況を示している可能性がある。

次に割合が大きい脚部状態は、脚部状態 18 と 16 である。これらはそれぞれ、足が互い違いの状態、もしくは足が机と椅子の外に出されている状態である。今回の実験の対象となった授業では、学生が自分の荷物を椅子の下、または机の下に置いていたため、特定の脚部状態が阻害され、脚部状態 18 と 16 の割合が大きくなったと考えられる。また、荷物だけではなく、椅子と机の大きさや体格の個人差によっても脚部状態の阻害が発生すると推測されるため、環境要因による脚部状態への影響を考慮する必要があると考えられる。

脚部状態分類の全体で見てみると、全体時間の 98%以上が作成した脚部状態の分類木で分類することができている

ため、脚部状態分類は妥当だと考えられる。

5. システム設計

本研究では、学習者の脚部状態から関心度を推定し可視化するシステムを提案する。学習者の脚部状態や状態間の遷移をセンシングし、取得したデータから学習者の学習内容に対する関心度を推定する。授業設計や教授方法の振り返りに活用できるように、脚部状態と関心度のデータは時系列順に保存する必要がある。

5.1 関心度推定システム

本研究が目指す関心度推定システムの要件として、以下の条件を満たす必要がある。

- 学習者への影響が小さいこと
- 可能な限り普段と同様の環境で活動が行えること
- 同時に複数の学習者からデータが取得可能なこと
- 時系列順に関心度のデータが確認できること

学習者への影響を小さくし、可能な限り普段と同様の環境で活動が行えるよう、床に設置できるような非接触型の脚部状態計測デバイスを開発する。デバイスを床に設置すれば、学習中は机に隠れるため、計器が学習者の視界に入ることが少ない。また、学習中は足元を見る機会も少ないため、脚部状態計測デバイスの存在が学習活動に影響を与える可能性が少なく考えた。

本研究で提案する関心度推定システムの流れを図 2 に示す。学習者は床に設置された脚部状態計測デバイスに足を乗せて学習活動を行う。デバイスにはフォトリフレクタとレーザー距離センサが一定の間隔で複数設置されている。フォトリフレクタから足の接地位置、レーザー距離センサから下腿部と大腿部の位置のデータを取得する。センサ類はワンボードコンピュータ (Raspberry pi) が制御し、取得したデータはサーバに送信する。サーバは送信された脚部データから脚部状態の判定を行う。判定された学習者の脚部状態データから関心度の推定を行う。

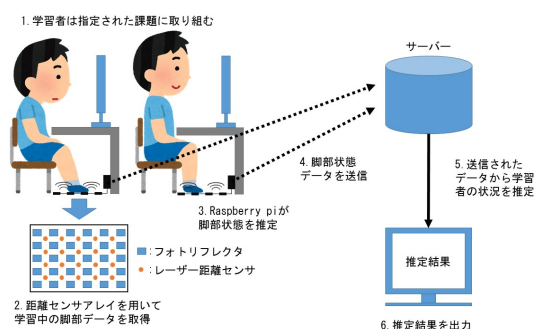


図 2 システムの概要

5.2 脚部状態計測デバイス

学習者が脚部を計測されることを嫌悪する可能性がある。このため、脚部のデータ測定には検出距離の短いフォトトリフレクタを使用する。下腿部と大腿部を検出するためのレーザー距離センサは、できるだけ少ない数を設置して、大まかな位置と距離を計測する。

センサの配置を検討するために、小型の脚部状態計測デバイスを作成した。小型の脚部状態計測デバイスを図3に示す。フォトトリフレクタはPololu社製のQTR-IRC、レーザー距離センサはSHARP社製のGP2Y0A21YK0Fを使用した。囲いのついた木の板に3Dプリンタで作成した台座を設置し、各センサを乗せてセンサの検出面の高さを一定にした(図4)。配置した各センサが足の荷重で壊れないよう、台座の上にアクリル板を乗せた。脚部状態の検知はこのアクリル板を通した状態で行う。

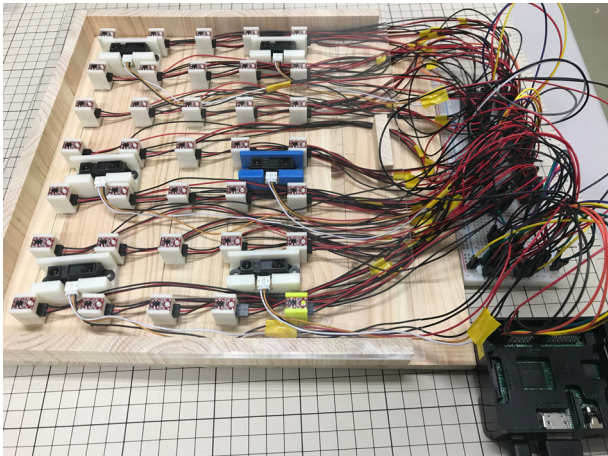


図 3 小型の脚部状態計測デバイス

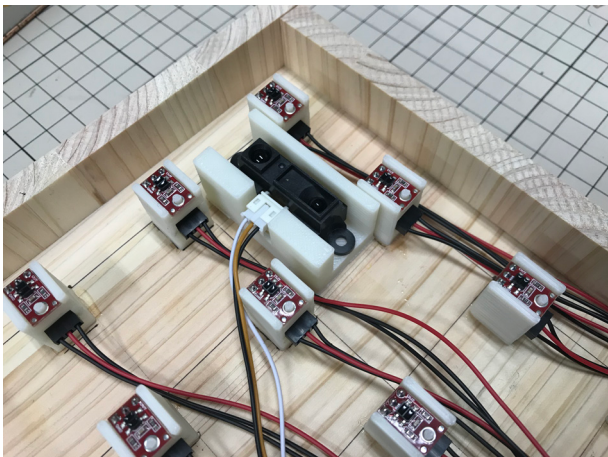


図 4 センサの台座

フォトトリフレクタの間隔を決定する際に、社団法人日本皮革産業連合会が公表している足サイズ計測事業報告書[10]を参考にした。足の幅の中で最も小さいと考えられるのは、踵の幅である。踵の幅のデータの中で最小値が

4.9cmであったため、4cm 間隔でフォトトリフレクタを配置した。レーザー距離センサの間隔は、フォトトリフレクタの間に配置する都合上、試験的に 12cm 間隔で配置した。

実際に脚部動作計測デバイスを動作させ、データの取得を行ったものを図5に示す。デバイスの上に置いたティッシュの箱の形に沿ってフォトトリフレクタが反応している。グラフ内の数値は、レーザー距離センサで計測した物体までの距離を cm 単位で表している。今回使用したレーザー距離センサは至近距離での測定ができないため、設置したティッシュ箱に対して正しくない値を返している。そのため、レーザー距離センサの周りのフォトトリフレクタのデータを参照し、距離の値を修正する必要がある。

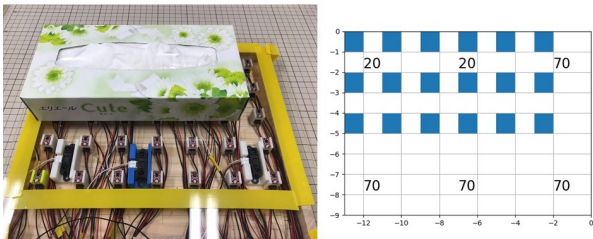


図 5 脚部状態計測デバイスの動作

6. 評価実験

作成した小型の脚部状態計測デバイスが、正しく脚部を検知可能かどうか評価実験を行った。被験者は脚部状態の計測に同意が得られた、足の大きさが異なる 22~23 歳の大学生・大学院生 3 名とした。被験者 3 人のそれぞれの身長と足の大きさを表3に示す。また、実験で使用した椅子と机を図6に示す。幅 800mm、奥行き 500mm、高さ 700mm の学習机と、座面の高さが 450mm、幅が縦横 500mm の固定脚のミーティングチェアを用いた。机の下に脚部状態計測デバイスを設置し、2 種類の方法で被験者の脚部の測定を行った。

表 3 被験者の身長と足の大きさ

被験者	足の大きさ (cm)	身長 (cm)
A	23.5	152
B	24.0	155
C	28.3	186

6.1 実験 1

被験者は靴を脱いだ状態で脚部状態計測デバイスの上に左足を乗せて、縦、右斜め、左斜めと向きを変えて、それぞれ 3 回ずつ測定を行った。また、脚部状態計測デバイスの上に両足を乗せての測定も 3 回行った。



図 6 実験で使用した椅子と机

6.2 実験 2

被験者に脚部状態の分類に従って様々な脚部状態をとらせ、それぞれの脚部状態で測定を行った。脚部状態計測デバイスが小型のため、脚部状態によってそれぞれ 2~3 箇所の測定を行った。被験者にとらせた脚部状態と測定箇所を表 4 に示す。

表 4 脚部状態と測定箇所

脚部状態分類	状態	測定箇所
2	足引き足首組み	足, 下腿部
4	足引き	足, 下腿部
6	足伸ばし足首組み	足, 下腿部, 大腿部
8	足伸ばし	足, 下腿部, 大腿部
10	膝組み	足, 大腿部
12	足首組み	足, 大腿部
14	標準状態	足, 大腿部

7. 考察

実験 1 において各被験者の測定した結果を、図 7, 図 8, 図 9 に示す。また、被験者の足に反応したフォトリフレクタの平均個数を表 5 に示す。

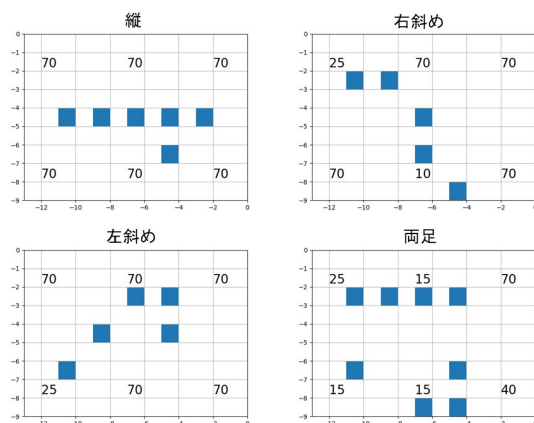


図 7 実験 1 の被験者 A の測定結果

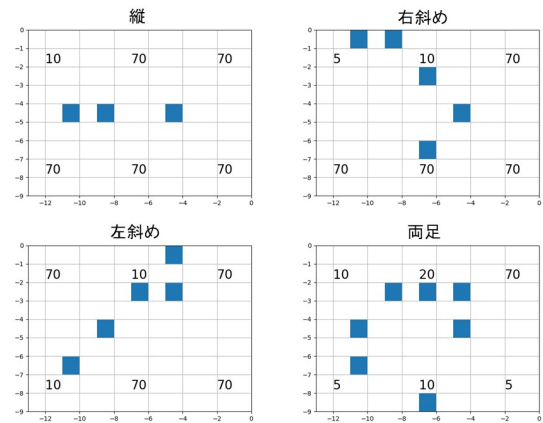


図 8 実験 1 の被験者 B の測定結果

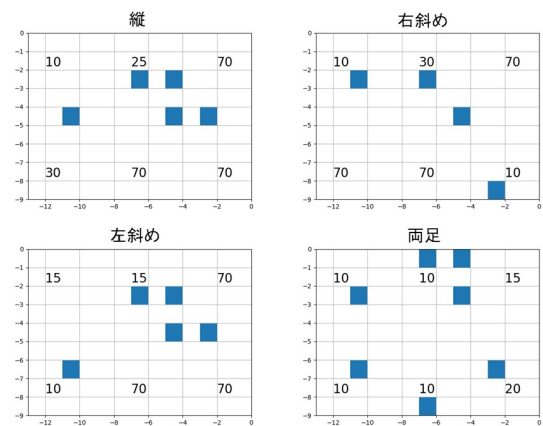


図 9 実験 1 の被験者 C の測定結果

表 5 フォトリフレクタの平均反応個数

被験者	縦	右斜め	左斜め	両足
A	5.0	5.7	5.3	9.3
B	3.0	4.3	5.3	7.3
C	4.3	4.3	4.0	7.0
全体平均	4.1	4.8	4.9	7.9

測定結果から、片足あたり 4~6 個程度のフォトリフレクタが、概ね足の形状に沿って反応していることが分かる。このことから、フォトリフレクタによって足の検知が可能であると考えられる。しかし、土踏まずの部分や黒色の靴下や靴底などがフォトリフレクタに反応しにくいという問題があった。そのため、フォトリフレクタの設置間隔を狭める、フォトリフレクタの感度を調整する等の工夫が必要であると考えられる。

実験 2 の測定結果の例を図 10 に示す。足首や膝を組んだ場合にできる下腿部や大腿部の段差を検知できることが分かった。しかし、アクリル板を通したレーザー距離センサでの測定は計測誤差に課題があり、下腿部や大腿部の位置によっては正確なデータを取得することは難しい場合がある。特に、今回使用したレーザー距離センサは近距離の

測定に適したものではないため、足が接近すると正しくない値を出力してしまう。そのため、周りのフォトリフレクタのデータも合わせて参照することや、明らかな外れ値は排除すること、レーザー距離センサの設置間隔を狭めることなどの工夫が必要だと考えられる。

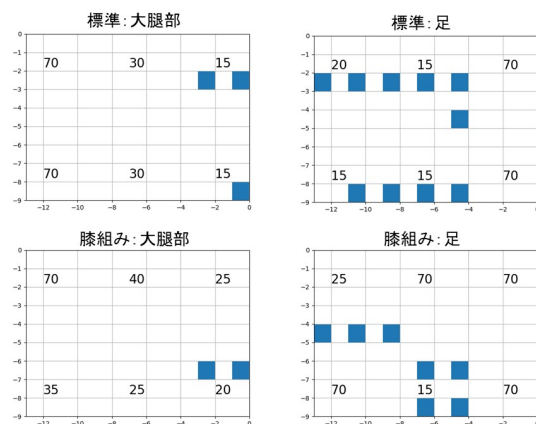


図 10 実験 2 の被験者 A の測定結果

2 つの実験結果から、脚部状態計測デバイスの計測精度を向上させるためには各センサ類の設置間隔を狭めることが有効であると考えられる。しかし、センサの個数を増やして設置間隔を狭めてしまうと、脚部状態計測デバイスのコストが上昇し、5.1 節で定めた「同時に複数の学習者からデータが取得可能なこと」という要件に反してしまう。そのため、センサを重要な位置に偏らせて配置することや、机の下に仕切りを設けて被験者の足の動きに制約を課し、足の曲げ伸ばしなどの特定の動作のみを検知することが必要であると考えられる。

また、今回の実験に使用した椅子と机では特定の脚部状態をとることが難しいという意見が被験者から挙げられた。被験者 B からは、「椅子が高いせいで足を伸ばす動作が難しい」という意見があった。被験者 C からは、「机の高さが低いせいで机の下で膝組みができない」、「椅子の下で足首を組んで脚部状態計測デバイスに足を乗せることが難しい」という意見があった。そのため、被験者の姿勢が不自然にならないよう、学習者の体格に基づいて測定を行う必要がある。また、関心度の推定を行う際にも、学習者の体格や脚部の特性を加味した上で推定を行う必要があると考えられる。

8. おわりに

本研究では、学習者の関心度推定システムに向けた非接触型の脚部状態計測デバイスの設計と開発を行った。脚部状態計測デバイスの開発に向けて、実際の授業の映像を用いて脚部状態の分類を作成した。また、小型の脚部状態計測デバイスを開発し、実際に脚部の計測を行った。

今回開発した小型の脚部状態計測デバイスの測定精度は、学習者の脚部の位置や状態に依存する部分が大きいため、センサを重要な位置に偏らせて設置間隔を狭めることや、センサからデータの取得を行うアルゴリズムを改良しセンサ感度を向上させることが必要だと考えられる。

今後は、脚部状態計測デバイスを用いて測定した結果を基に大型の脚部状態計測デバイスの設計と開発を行う。作成した大型の脚部状態計測デバイスを用いて実際に学習者の脚部状態を測定し、学習内容に対する関心度と脚部状態の関連性について調査を行う。

謝辞

本研究の一部は、JSPS 科研費 JP18K02911 の助成を受けたものである。

参考文献

- [1] 田中瑛津子. 興味の深化を促す授業方略の検討. 教授学習心理学研究, Vol. 9, No. 1, pp. 12–28, 2013.
- [2] 田中越郎, 狩野力八郎, 阿部好文, 谷亀光則, 白井孝之, 長村義之, 大塚洋久. 東海大学医学部における “ミニッツペーパー” を用いた学生による授業評価の効用. 医学教育, Vol. 33, No. 3, pp. 163–172, 2002.
- [3] 山際和明. クリッカーを有効に使うための授業設計に関する考察. 新潟大学高等教育研究, Vol. 1, No. 1, pp. 53–60, 2013.
- [4] Z. Zhu, S. Ober, and R. Jafari. Modeling and detecting student attention and interest level using wearable computers. In *2017 IEEE 14th International Conference on Wearable and Implantable Body Sensor Networks (BSN)*, pp. 13–18, 2017.
- [5] 江木啓訓, 尾澤重知. 学習者センシングのための筆記行為の検知手法と評価. 日本教育工学会論文誌, Vol. 36, No. Suppl., pp. 181–184, 2012.
- [6] 中村和晃, 角所考, 村上正行, 美濃導彦. e-learning における学習者の顔動作観測に基づく主観的難易度の推定. 電子情報通信学会論文誌, Vol. J93-D, No. 5, pp. 568–578, 2010.
- [7] 松本翔平, 綿谷亮, 岩井大輔, 佐藤宏介. アンビエントな着座揺動センシングによるデスクワークにおける筆記・非筆記状態識別. 電気学会論文誌 C, Vol. 133, No. 2, pp. 373–379, 2013.
- [8] P.E. Bull. *Posture and Gesture*. Pergamon Press, 1987.
- [9] 柴田滝也. 他者による着座姿勢の感情判断推定システムに関する研究. 日本建築学会計画系論文集, Vol. 78, No. 689, pp. 1687–1694, 2013.
- [10] 社団法人日本皮革産業連合会. 足サイズ計測事業報告書, 6 2009.