

透析患者の仮想タッチパネルにおける光フィードバックの効果

武田祐樹^{†1} 横山大知^{†1} 中道上^{†2†3} 稲葉利江子^{†4} 渡辺恵太^{†5} 山田俊哉^{†6}

概要：本研究では、試作した透析患者向けベッドに使用している仮想タッチパネルを可視化するための光フィードバックを提案する。光フィードバックとは仮想タッチパネルの位置にプロジェクションマッピングによって光を照射し、その光に指先が触れることで仮想タッチパネルを可視化する。まず視認性の高い光フィードバックの形状と配色を調査する実験を実施した結果、最も選択された光フィードバックは線(白)+空間(青)の後面判定であった。その光フィードバックを用いて操作性の評価実験を実施し、分析した結果、タップの深さの平均が浅いことが明らかになった。

1. はじめに

日本では「少子高齢化に伴う生産年齢人口の減少」「育児や介護との両立など、働く方のニーズの多様化」などの状況に直面しており、働き方改革が注目されている。働き方改革は働く人の事情に応じて、その人にあった働き方のできる社会を実現し、より良い将来の展望を持てるようにすることを目指すことである[1]。2017年3月の「働き方改革実現会議」において「働き方改革実行計画」が決定され、今後実行すべき政策の1つとして、「病気の治療と仕事の両立」が掲げられている。

透析患者数は年々増加しており2017年には約32万人となっている[2]。透析患者は1回平均4時間かかる人工透析を1週間に3回実施する必要があるため、1週間に合計で12時間ベッドの上で過ごさなければならない[3]。また、片腕には透析針が刺されているため、動きが制限されている。そのため、仰臥位（以下、仰向けの姿勢、という）を維持し続ける必要があり、身体的負荷が大きい。

これまで著者らは、透析患者を対象として、人工透析中にも仕事が可能な環境を整えるため、透析患者のペルソナ（仮想ユーザー）について検討した。ペルソナに基づいて透析患者向けベッドに求められる要件を明らかにし、天井ディスプレイに対して非接触操作として Remote Touch Panel の利用を想定した透析患者向けベッドを試作した[4]。

本研究では、試作を利用した透析患者向けベッドにおいて、仮想タッチパネルの可視化手法として、光によるフィードバック（以下、光フィードバック）を提案する。光フィードバックとは仮想タッチパネルの位置に光を照射し、指に光が触れることで操作面を可視化している。仮想タッチパネルの光フィードバックとして仮想タッチパネルの操作面を視認しやすい光の形状、配色について明らかにする。明らかにした視認しやすい光の形状、配色によって仮想タ

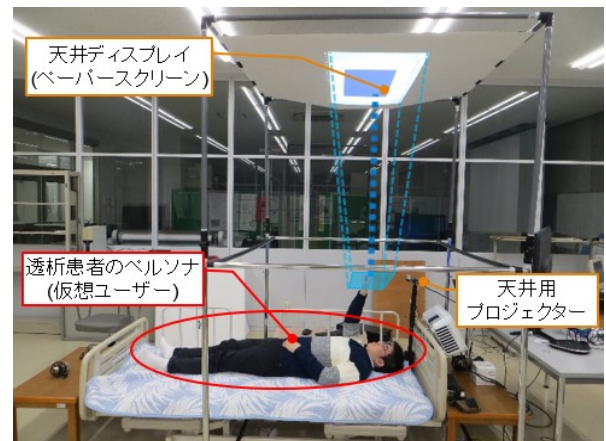


図1 試作した透析患者向けベッド

ッチパネルの操作性にどのような影響を及ぼすのかを実験により明らかにする。

2. 透析患者向けベッドの試作

透析患者向けベッドの試作にあたり、透析患者向けベッドに求められる要件として、天井ディスプレイの設置と天井ディスプレイに対する非接触操作が要件として挙げられた。天井ディスプレイの設置の要件を満たすためにペーパーディスプレイを天井に貼り付け、天井ディスプレイに対する非接触操作の要件を満たすために Remote Touch Panel を利用した非接触操作を可能とした透析患者向けベッドを試作した。（図1）

2.1 透析患者向けベッドの現状と求められる要件

現在使用されている透析患者向けベッドには、TVを見て過ごすためのアーム付きTVが取り付けられている場合がある。しかし、透析患者や臨床工学技士がアームにぶつかる事故が発生したり、アームの回転によってTVのケーブルが断線したりといった問題が発生している。また、人工透析中にスマートフォンを操作することも想定されるが、患者が長時間スマートフォンを顔の前に持ち続ける必要があり、疲労にともなって人工透析中の腕などに落としてしまう危険性がある。

このような透析患者のリスクや負荷を回避するため、天

^{†1} 福山大学大学院工学研究科

^{†2} 福山大学

^{†3} アンカーデザイン株式会社

^{†4} 津田塾大学

^{†5} エムスリー株式会社

^{†6} NTT テクノクロス株式会社

井ディスプレイの設置を提案した。ペーパースクリーンを天井に貼り付けプロジェクターによって投影することにより、ディスプレイとしての機能を持たせた。試作した透析患者向けベッドを図1に示す。使用した機材は、ペーパースクリーン、天井用プロジェクター(RICOH PJWX2440, 明るさ:3100lm)である。天井用プロジェクターをベッド上部の机の上に固定し、天井のペーパースクリーンに対して照射している。ペーパースクリーンに照射したディスプレイの大きさは、縦:75cm, 横:101cmである。

スマートフォンを操作する際は、画面に触れて操作を行うが、天井ディスプレイに対して同様に操作することは難しい。本研究では、非接触操作手法である Remote Touch Panel を利用する[5]。Remote Touch Panel とは離れた位置にある画面へのタブレットのようなジェスチャー操作を想定した仮想的なタッチパネルシステムであり、3次元上の頭を基点とし、右手の人差し指を操作点と設定した、基点と指先を結んだ延長線上のディスプレイとの交点をポインティング位置とする指さしジェスチャーによるポインティングシステムと基点からの仮想タッチパネルの高さを設定し、指先が設定した高さを超えるとタップ操作を可能にするインターフェースから構成される。

2.2 仮想タッチパネルの光フィードバックの提案

Remote Touch Panelは仮想的なタッチパネルであるため、現在は仮想タッチパネルを視認することができない。本研究では、仮想タッチパネルを可視化する方法として、プロジェクションマッピング技術を利用した光フィードバックを検討した。光フィードバックによって仮想タッチパネルの位置に光を照射し、指がその光に触れることで仮想タッチパネルを可視化できると考える。指に光を照射した様子を図2に示す。マットレスから60cmの高さに可視化用のプロジェクターを設置し、マットレスから50cmの高さに Leap Motion[6]を設置し仮想タッチパネルの可視化と非接触操作を実現している。

光フィードバックの光形状として線や空間が考えられる。光の形状として「線」「空間」、またそれらを組み合わせた「線+空間」が考えられる。「空間」を含む場合には、空間の前面・中面・後面のどのような位置に仮想タッチパネルの操作面を設定すれば良いのかについては明らかにされていない。著者らは「線」「空間」「線+空間」によって照射する形状とそれぞれの仮想タッチパネルの操作面から7種類の形状について検討した(図3)。さらに、光フィードバックの光の配色についても検討した。本研究では、仮想タッチパネルを利用する対象が「ヒト」であるため、まず心理原色を参考に赤、青、黄、緑、白、灰の6色とした。

3. 光フィードバックの視認性評価実験

仮想タッチパネルにおける視認性の高い光フィードバックを検証するために、可視化用プロジェクターによって

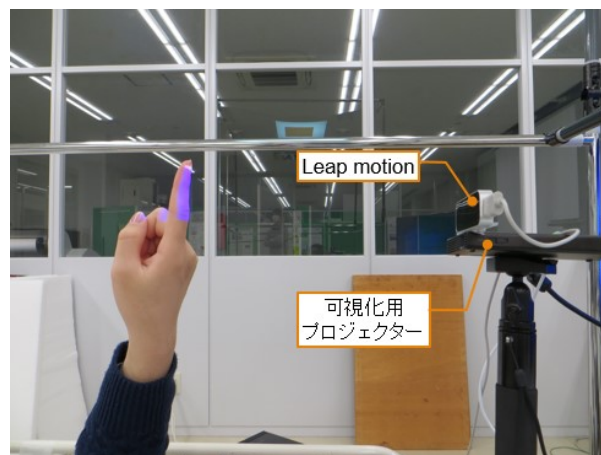


図2 線(白)+空間(青)を指にあてた様子

線

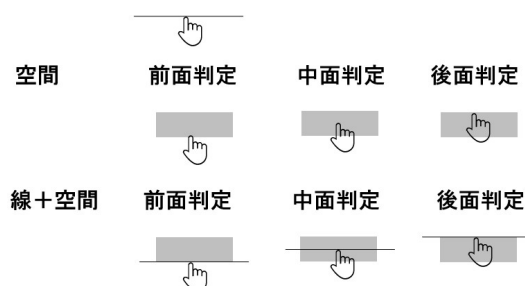


図3 照射する光の7種類の形状

指に光を照射し、光フィードバックの形状と配色についての実験を行った。実験は大学生54名(男性:31名, 女性:23名)を対象に実施した。

3.1 実験手順

仮想タッチパネルにおける光フィードバックの形状と配色の実験手順を下記に示す。

1. 実施者は Remote Touch Panel のカーソル移動とタップ操作についての説明を行う。
2. 実験参加者はベッドに仰向けの姿勢になり Remote Touch Panel を利用し、マウスポインターを動かして、タップ操作を体験する。
3. 実施者は Remote Touch Panel は仮想的なタッチパネルであるため人間には操作面を視認することが出来ないことを伝える。また、光を指先に照射することにより操作面を可視化していることを伝える。
4. 実験参加者は3種類の形状(線, 空間, 線+空間)について体験し、視認しやすい形状を1種類選択する。
5. 実験参加者は空間, 線+空間を選択した場合にはさらに前後判定を含めた形状を体験する。
6. 実験参加者は7種類の形状で最も視認しやすい形状を選択する。最初に体験する形状の配色はそれぞれ(線: 青, 空間: 青, 線+空間: 白+青)としている。
7. 実験参加者が体験した形状で仮想タッチパネルが視

認しやすい形状を選択し、選択された形状で配色を変更して体験する。線、空間を選択した場合に 6 通りの配色を体験し、線+空間を選択した場合には、線と空間の配色を 30 通り体験する。

8. 実験参加者は光フィードバックの形状と配色についてアンケートに答える。

3.2 光フィードバックの形状と配色

表 1 に光の形状と配色のアンケート結果を示す、選択されていない配色は記載しておらず、“-” は条件に当てはまらないことを示している。表 1 の光フィードバックの光形状と配色のアンケート結果で形状に着目すると線を選択したのは 11 人(20.4%)、空間を選択したのは 12 人(22.2%)、線+空間を選択したのは 31 人(57.4%)で線+空間が最も多く選択される結果となっている。

最も多く選択された線+空間のうち判定位置に着目すると全面判定 6 人(11.1%)、中面判定 8 人(14.8%)、後面判定 17 人(31.5%)であり、後面判定が最も多く選択される結果となっている。線+空間のうち選択された線色と空間色の配色に着目すると全体で最も選択されたのは線：白、空間：青で 5 人(16.1%)であった。最も選択された光の形状と配色を指に照射した様子を図 2 に示す。

4. 光フィードバックによる操作性評価実験

仮想タッチパネルを通して天井ディスプレイに対してタップ操作を行うことは、仮想タッチパネルの位置を視認することができないため操作が難しい。光フィードバックによって仮想タッチパネルの操作性が向上するか、その効果については明らかにされていない。そこで本研究では、光フィードバックとして視認性の高い光形状、配色である線(白)+空間(青)によって仮想タッチパネルを可視化し、光フィードバックによる操作実験を実施し、操作性について評価する。

実験参加者は大学生 20 名とし、実験参加者の奇数番目は光フィードバックなし、偶数番目は光フィードバックありから実験を実施する。仮想タッチパネルに対するタップ操作時の 1 から 9 までを順にタップした際の指先の移動について記録した。仮想タッチパネル利用時の実験参加者の視点からの光フィードバックの様子を図 4 に示す。実験参加者は光フィードバックありの場合と、なしの場合で仮想タッチパネルをタップ操作する。

4.1 実験環境とタスク

実験は試作した透析患者向けベッドを使用して実施した(図 1)。Remote Touch Panel は Leap Motion センサーを使用し、指に光を当てるための可視化用プロジェクターには SONY モバイルプロジェクター MP-CD1(明るさ:105ANSIlm)を使用した。可視化用プロジェクターから指までの距離は個人ごとに差があるが約 30cm である。光を指にあてたときの形状の幅は線が約 0.3cm、空間が約 5.0cm

表 1 光フィードバックのアンケート結果

形状	判定位置	線色	空間色	人数	合計(人)
線	-	赤	-	3	11 (20.4%)
		青	-	2	
		黄	-	1	
		緑	-	4	
		灰	-	1	
空間	前面	-	赤	1	5 (9.3%)
		-	青	1	
		-	緑	2	
		-	白	1	
	中面	-	-	0	0 (0.0%)
	後面	-	赤	4	7 (13.0%)
		-	青	1	
		-	白	2	
	線 + 空間	赤	緑	1	6 (11.1%)
		青	白	1	
		黄	白	1	
		緑	白	1	
		白	赤	1	
			緑	1	
	中面	赤	青	2	8 (14.8%)
			白	1	
		青	白	2	
			灰	1	
		黄	青	2	
	後面	赤	青	2	17 (31.5%)
			白	3	
		黄	赤	2	
			青	1	
		緑	青	2	
			白	2	
		白	青	5	

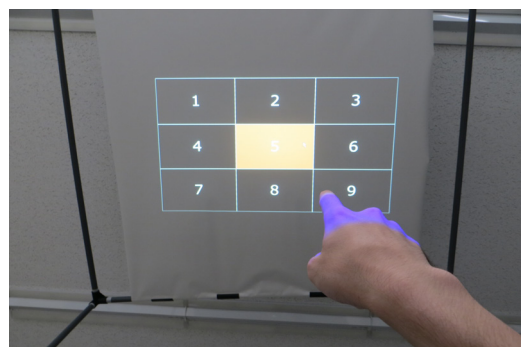


図 4 タスク画面

となっている。

実験に使用するポインティングタスク画面を図4に示す。スクリーン上のタスク画面には、上段3つ、中段3つ、下段3つの計9つのマス配置している。各マスには1から9の番号を振り分けている。仮想タッチパネルの位置を0mmとしており、指先がプラスの値から仮想タッチパネルを超えてマイナスの値に指が移動した後、指先がマイナスの値からプラスの値に変化した際を仮想タッチパネルにおけるタップ操作と判定する。タップ操作時にはマウスイベントにおけるマウスダウン、マウスアップでのフィードバックがあり、マウスダウン（指先が仮想タッチパネルに触れて超えた時）ではポインティング箇所のマスがオレンジ色に変化し、マウスポインターが画面上に固定されマウスポインターを動かすことができなくなる、マウスアップ（指先が仮想タッチパネルから離れた時）では1から9の番号が振り分けられているマスを1から順番にタップした際に番号が消える。

実施者の合図でタスクを開始し、1から番号を順番にタップして9の番号をタップし、タスク画面上から数字がなくなった時点でタスクの終了とする。タスク時間は1の番号をタップしてから9の番号をタップし終えるまでとする。

4.2 実験手順

仮想タッチパネルの光フィードバックによる操作性を明らかにするための実験手順を下記に示す。練習、本番では画面の1から9の番号をタップするタスクを行い、本番時における指先の移動のデータを記録する。

試行順序を考慮し、実験参加者番号が奇数の人は光フィードバックなしから、偶数の人は光フィードバックありからとした。タスクは実施者の合図で開始し、実験参加者はタスク画面上の1から9の番号を順番にタップする操作を行う。

1. 実施者は試作した透析患者向けベッドに使用している Remote Touch Panel のカーソル移動とタップ操作についての説明を行う。
2. 実験参加者はベッドに仰向けの姿勢になり Remote Touch Panel を利用し、非接触操作におけるカーソル移動、タップ操作を体験する。
3. 実験参加者はタスクについてと、練習、本番それぞれでタスクを実施することの説明を受ける。
4. 実験参加者は練習を行い、終了後、仮想タッチパネルの位置をタップしやすい高さに調整する。
5. 実験参加者は調整後、もう一度練習を行い、仮想タッチパネルの位置、操作に慣れるまで繰り返し練習を行う。(最大5回)
6. 実験参加者は本番として1から9の番号をタップするタスクを行う。
7. 実験参加者は光フィードバックなし、ありを入れ替えて2-6の手順をもう一度行った後、アンケートに

表2 光フィードバックなしの場合の実験結果

参加者番号	練習回数 (回)	タスク時間 (秒)	タップ数 (回)
1	2	12.168	13
3	2	25.479	11
5	2	14.726	10
7	2	11.228	9
9	2	14.516	9
11	2	17.582	10
13	2	22.961	14
15	2	09.538	10
17	2	11.745	10
19	2	20.652	13
平均	2.0	16.060	10.9
標準偏差	0.000	1.980×10^{-5}	0.567

表3 光フィードバックありの場合の実験結果

参加者番号	練習回数 (回)	タスク時間 (秒)	タップ数 (回)
2	3	52.465	22
4	2	20.623	13
6	2	42.806	12
8	2	32.999	9
10	2	18.517	12
12	2	11.372	9
14	2	29.661	9
16	2	20.940	18
18	2	13.721	9
20	2	10.719	9
平均	2.1	25.382	12.2
標準偏差	0.100	5.104×10^{-5}	1.420

表4 光フィードバックの必要性に関するアンケート

仮想タッチ パネル	光フィードバック なし	光フィードバック あり
調整時	2人	18人
操作時	5人	15人

回答する。

4.3 実験結果

本研究では、操作の慣れを考慮し、1回目の本番のデータのみを対象として、光フィードバックなし、ありの場合の結果をまとめた。表2に光フィードバックなしの場合、表3に光フィードバックありの場合の実験参加者ごとの練習に要した回数、タスク時間、タスク画面上で認識された

タップ回数とそれぞれの平均を示す。練習に要した回数の平均は、光フィードバック無しの場合が 2.0 回、光フィードバックありの場合が 2.1 回であった。タスク時間の平均は光フィードバック無しの場合が 16.060 秒、光フィードバックありの場合が 25.382 秒であった。画面上で認識されたタップ回数の平均は光フィードバックなしの場合が 10.9 回、光フィードバックありの場合が 12.2 回であった。光フィードバックがありの場合となしの場合では光フィードバックなしの方が、練習回数の平均が少なく、タスク時間の平均が短く、画面上で認識されたタップ回数の平均が少ない結果となっている。

表 4 に光フィードバックの必要性に関するアンケートの結果を示す。調整時は仮想タッチパネルの高さを調整して決める際に光フィードバックが必要であるか、操作時はタスク中に操作する際に光フィードバックが必要であるかをアンケートにより回答した結果である。調整時では、光フィードバックなしを選んだ実験参加者が 2 人、光フィードバックありを選んだ実験参加者が 18 人となった。また操作時では、光フィードバックなしを選んだ実験参加者が 5 人、光フィードバックありを選んだ実験参加者が 15 人であった。

定量的には光フィードバックなしの場合が練習回数、タスク時間、画面上で認識されたタップ回数の平均がともに短いにもかかわらず、定量的には光フィードバックありの場合のアンケート評価が良い結果となった。

5. 光フィードバックによる操作性の考察

アンケートの結果、光フィードバックありを選んだ実験参加者が多かった要因として、指先の仮想タッチパネルに対するタップの深さに着目した。タスクにおける実験参加者の仮想タッチパネルに対する指先の深さの推移を図 5 に示す。タップの深さは指先がプラスの座標から 0mm を基準とした仮想タッチパネルの位置を超えた指先のマイナス座標の極小値とする。

表 5 に実験参加者ごとに光フィードバックなしの場合、光フィードバックありの場合の本番タスク中に 1 から 9 の番号をタップした際の仮想タッチパネルに対するタップの深さの平均を示す。光フィードバックなしの場合のタップの深さの平均は-34.620mm であった。光フィードバックありの場合のタップの深さの平均は-31.437mm であった。また平均値の差について t 検定を行った結果、P 値は $8.43 \times 10^{-8} (>0.05)$ となり、有意な差はみられなかった。

次に光フィードバックなし条件、光フィードバックあり条件でのタスクにおけるマス毎のタップした際のタッチパネルに対する深さに着目した。タスク中における表 4 に対応するマス毎のタッチパネルに対する深さの平均値を表 6、表 7 に示す。表 6、表 7 とともに左列 (1,4,7) が最も仮想タッチパネルに対する侵入距離が浅くなる結果であった。右

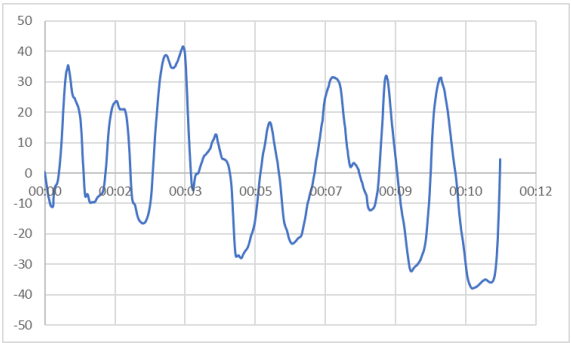


図 5 仮想タッチパネルに対する指先の深さの推移

表 5 仮想タッチパネルに対するタップの深さ

光フィードバックなし		光フィードバックあり	
参加者番号	タップの深さ(mm)	参加者番号	タップの深さ(mm)
1	-42.076	2	-12.801
3	-32.731	4	-50.890
5	-27.770	6	-29.493
7	-18.793	8	-21.552
9	-62.424	10	-37.851
11	-21.080	12	-53.363
13	-51.871	14	-24.080
15	-28.030	16	-39.865
17	-20.023	18	-26.198
19	-41.398	20	-18.374
平均	-34.620	平均	-31.437
標準偏差	4.610	標準偏差	4.111

表 6 光フィードバックなし条件の結果
(上段：マス番号，下段：深さ)

1	2	3
-20.355	-28.996	-32.389
4	5	6
-23.629	-30.346	-46.392
7	8	9
-21.904	-32.236	-51.958

表 7 光フィードバックなし条件の結果
(上段：マス番号，下段：深さ)

1	2	3
-23.807	-29.798	-30.769
4	5	6
-29.739	-40.592	-39.341
7	8	9
-19.596	-34.400	-55.581

手で操作を行っているため、左列から右列にかけて腕が体に対して垂直になり仮想タッチパネルに対する深さが大きくなったと考えられる。

光フィードバックありの場合はなしの場合に比べてタスク時間や仮想タッチパネルに対する深さへの効果は小さいが、操作者が視認できることによって仮想タッチパネルの位置が分かりやすくなり、仮想タッチパネルを直感的に認識しタップ操作することが可能となる。そのため、光フィードバックがある場合の定性的な評価が高い結果になったと考えられる。

仮想タッチパネルの高さを調整する際には光フィードバックは必要だが、操作時には光フィードバックは必ずしも必要ではなく、仮想タッチパネルに慣れるまでの支援としての利用が考えられる。

6. まとめと今後の課題

本研究では、透析患者向けベッドの現状と求められる要件をもとに天井ディスプレイを設置し、それに対して非接触操作可能な透析患者向けベッドを試作した。天井ディスプレイはペーパースクリーンとプロジェクターで実現し、非接触操作は Remote Touch Panel を用いている。Remote Touch Panel は仮想的なタッチパネルであるため視認することができない。本研究では、仮想タッチパネルの可視化手法として、光によるフィードバック（以下、光フィードバック）を提案する。光フィードバックとは仮想タッチパネルの位置に光を照射し、光に指が触れることで仮想タッチパネルを可視化する。

光フィードバックによる操作性を評価するために、まず光フィードバックの形状と配色について分析を行った。プロジェクターの光を指に照射して仮想タッチパネルの光フィードバックの視認性評価実験を行い、光の形状と配色を分析した結果、光の形状は線+空間(後面判定)が多く選択され、線と空間の配色は線(白)、空間(青)が最も選択される結果となった。この光フィードバックがなしの場合とありの場合での操作性を評価するために光フィードバックによる操作評価実験を実施した。実験の結果、光フィードバックなしの場合が光フィードバックありに比べ、タスク時間の平均が短く、タップ回数の平均が少ない結果となった。しかし、光フィードバックの必要性に関するアンケートでは、仮想タッチパネル位置の調整時、操作時ともに光フィードバックありを選択する実験参加者が多い結果となった。

光フィードバックありの場合の定性的な評価が高くなった要因として、タップの深さに着目し、光フィードバックありの場合と光フィードバックなしの場合の平均値の差について t 検定を行ったが、有意な差はみられなかった。

光フィードバックがあることによるタスク時間やタップの深さへの影響は少ないが、光フィードバックによって操作者が仮想タッチパネル位置を視認することで、仮想タ

ッチパネルの存在を実感することが可能となる。そのため、定性的な評価が良くなったと考えられる。

今後は指先の移動量や誤タップ率についても分析を行う予定である。また今回の実験では、ポインティングタスク画面のフィードバック（マウスダウン、マウスアップ）がある状態で光フィードバックがありの場合となしの場合で実験を実施している。今後は、マウスダウンのフィードバックがない状態で光フィードバックがある場合についても実験を実施し、光フィードバックと画面フィードバックの関係性についても明らかにする必要がある。

謝辞

本研究は電気通信普及財団の 2019 年度研究調査助成により実施いたしました、厚く御礼申し上げます。

参考文献

- [1] 厚生労働省. “働き方改革 ～一億総活躍社会の実現に向けて～”. <https://www.mhlw.go.jp/content/000335765.pdf>, (参照 2019-10-21).
- [2] 厚生労働省. “糖尿病性腎症重症化予防の取り組みについて”. https://www.mhlw.go.jp/file/06-Seisakujouhou-12600000-Seisakutoukatsukan/0000114064_13.pdf, (参照 2019-10-21).
- [3] 一般社団法人日本透析医学会. 維持血液透析ガイドライン：血液透析処方. 日本透析医学会雑誌, 2013, 46 巻, 7 号, pp. 587-632.
- [4] 武田祐樹, 横山大知, 中道上, 稲葉利江子, 渡辺恵太, 山田俊哉, “透析患者向けベッドにおける仮想タッチパネルの可視化手法の検討,” インタラクシオン 2019 論文集, pp658-663, 2019.
- [5] 木戸瑛一, 天早健太, 杉原慶哉, 中道上, 渡辺恵太, “車内システムにおける非接触操作に対する慣れの検証,” インタラクシオン 2018 論文集, pp191-196, 2018.
- [6] 中村薫, “Leap Motion プログラミングガイド,” 株式会社工学, 2015.