

仰臥位における非接触操作ベッド環境に関する研究

研究代表者 中道 上 福山大学 工学部 教授
共同研究者 稲葉 利江子 津田塾大学 学芸学部 准教授

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。

わが国の慢性透析患者数は年々増加し、2019年末の施設調査結果による透析患者数は344,640人に達している[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。

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。天井ディスプレイに対して非接触操作として Remote Touch Panel[4]の利用を想定した透析患者向けベッドを試作した[5]。Remote Touch Panel は非接触タッチパネルであるため、現在は視認することができない。本研究では、試作した透析患者向けベッドにおいて、非接触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非接触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。非接触タッチパネルの光フィードバックとして非接触タッチパネルの操作面を視認しやすい光の形状、配色を明らかにするため、光フィードバック実験を実施し、分析を行う。選定した光フィードバックを使用し、光フィードバックの有無によって非接触タッチパネルのタップ操作性にどのような影響を及ぼすのかを明らかにする。

2 透析患者向けベッドの試作

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。そのため、透析患者や看護師がアームにぶつかる事故が発生する場合がある。また、アームの回転によってTVのケーブルが断線してしまうといった問題も発生している。本研究では、人工透析中にスマートフォンを操作することを想定している。現在、使用されている透析患者用のベッドでは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。

本研究では、透析患者のリスクや負荷回避のため、天井ディスプレイの設置を提案する。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であり、約50インチの大きさである。

3 非接触タッチパネルによる非接触操作

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操作することは難しい。天井ディスプレイに対する操作手法としてリモコンによる遠隔操作が考えられるが、スマートフォンと同様に落下の危険性がともなう。そこで手に何も持っていない状態で操作することのできる操作手法が必要となる。

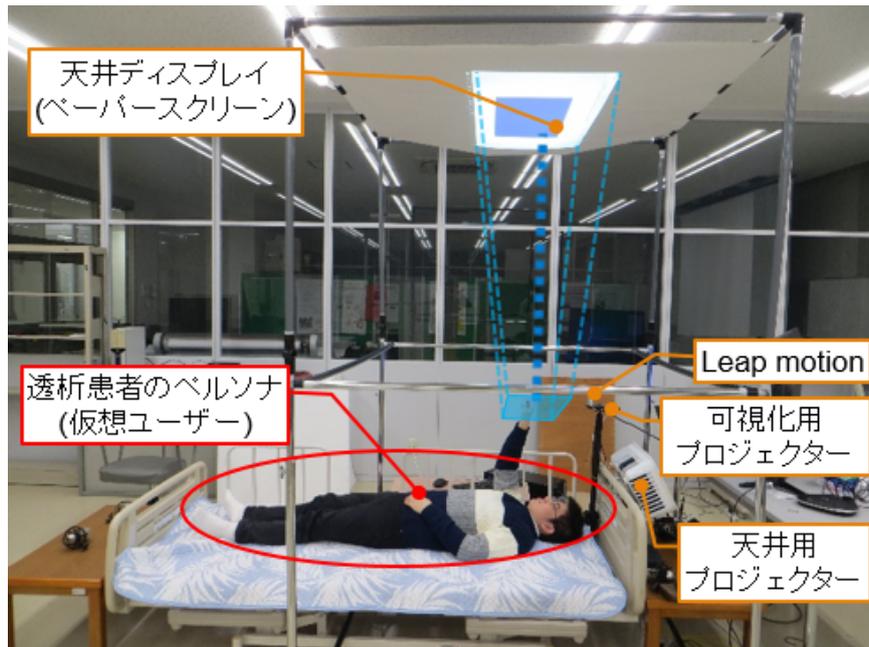


図1 試作した透析患者向けベッド

スマートフォンと同様の操作を行うために、天井ディスプレイに対して非接触によるポインティング、タップ操作が必要になる。本研究では、試作した透析患者向けベッドの非接触操作に Remote Touch Panel を利用する。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、指さしジェスチャーによるポインティングシステムと選択位置を選択する操作を可能にするインターフェースから構成される。画面の非接触のタップ操作に相当する操作手法には、Remote Touch Panel の他にスクリーンをタッチするような動作で手を一定距離前方に動かすことで対象物を選択する Leap Motion Controller を使用したスクリーンタップジェスチャー[6]、選択するオブジェクトをポインティングし、一定時間静止を行うことで対象物を選択する操作手法[7]などがあるが、スマートフォンの仕様に慣れた透析患者の利用を想定しているため、Remote Touch Panel を採用することにした。Remote Touch Panel とはタブレットを操作するようなジェスチャー操作により、離れた位置にある画面を操作することを想定した非接触操作可能なタッチパネルシステムである。Remote Touch Panel は指さしジェスチャーによるポインティングシステムと仮想タッチパネルから構成される。指さしジェスチャーによるポインティングシステムは三次元上の頭部位置を基点とし、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。また、仮想タッチパネルは基点とした頭部位置からの高さに設定し、指先が設定した高さを超えるとタップ操作を可能とするインターフェースである。

ベッド上での仰向けの姿勢における非接触操作の場合、基点となる頭部位置が動くことが少ない。そこで、木戸らの非接触操作システム[8]を参考に、頭部位置を固定として操作点である手の位置と形状を認識できれば非接触操作を実現することが可能である。そこで手の位置と形状を認識するモーションセンサーとして認識精度が高く、小型な Leap Motion Controller を用いる。

4 非接触タッチパネルの光フィードバック

Remote Touch Panel は非接触操作可能な仮想タッチパネルであり、現在は非接触タッチパネルを視認することができない。本研究では、非接触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非接触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非接触タッチパネルを可視化できると考える。

指に光フィードバック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（SONY モバイルプロジェクターMP-CD1：明るさ105ANSIlm）を設置し、マットレスから50cmの高さにLeap Motion Controllerを設置し非接触タッチパネルの可視化と非接触操作を実現している。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となっている。

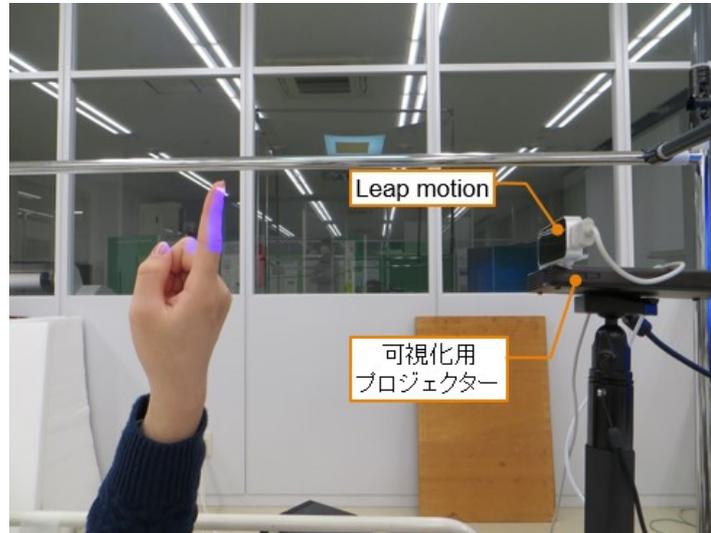


図2 線（白）+空間（青）の光フィードバックを指に照射した様子

光フィードバックの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非接触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非接触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4）。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、非接触タッチパネルを利用する対象が「ヒト」であるため、まずヘリングの6主要原色を参考に赤、青、黄、緑、白、灰の6色とした。

線

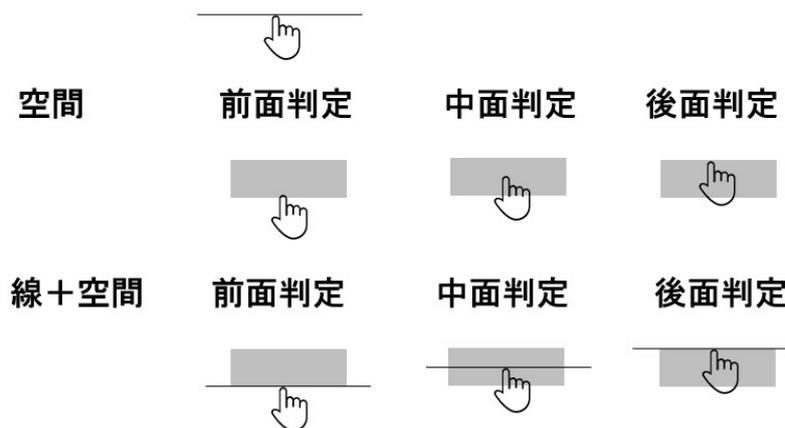


図4 照射する光フィードバックの7種類の形状

5 光フィードバックの評価実験

5-1 フィードバックの形状と配色に関する評価実験

光による非接触タッチパネルの可視化の検証をするために、可視化用プロジェクターによって指に光を照射し、形状と配色についての評価実験を行った。評価実験は大学生54名(男性:31名, 女性:23名)を対象に実施した。表1に光フィードバックの形状と配色のアンケート結果を示す、評価実験の結果から、光フィードバックの形状と配色として、線(白)+空間(青)の後面判定を選定した。

表1 光フィードバックの形状と配色のアンケート結果

形状	判定	線色	空間色	男性(人)	女性(人)	全体(人)	男性(人)	女性(人)	全体(人)
線	-	赤	-	3	0	3	5 (16.1%)	6 (26.1%)	11 (20.4%)
		青	-	0	2	2			
		黄	-	0	1	1			
		緑	-	2	2	4			
		灰	-	0	1	1			
空間	前面	-	赤	0	1	1	2 (6.5%)	3 (13.0%)	5 (9.3%)
		-	青	0	1	1			
		-	緑	2	0	2			
		-	白	0	1	1			
	後面	-	赤	3	1	4	6 (19.4%)	1 (4.3%)	7 (13.0%)
		-	青	1	0	1			
		-	白	2	0	2			
線+空間	前面	赤	緑	0	1	1	3 (9.7%)	3 (13.0%)	6 (11.1%)
		青	白	1	0	1			
		黄	白	1	0	1			
		緑	白	0	1	1			
		白	赤	0	1	1			
			緑	1	0	1			
	中面	赤	青	2	0	2	6 (19.4%)	2 (8.7%)	8 (14.8%)
			白	1	0	1			
		青	白	1	1	2			
			灰	1	0	1			
		黄	青	1	1	2			
	後面	赤	青	2	0	2	9 (29.0%)	8 (34.8%)	17 (31.5%)
			白	1	2	3			
		黄	赤	0	2	2			
			青	0	1	1			
緑		青	1	1	2				
		白	0	2	2				
白		青	5	0	5				

表 1 の光の形状と配色のアンケート結果で形状に着目すると全体で最も選択されたのは線+空間で 31 人 (57.4%)であった。この結果から、光フィードバックの形状として線+空間を選定する。男女別に着目すると最も選択された形状は男性の場合は線+空間 18 人 (58.1%)、空間 8 人 (25.8%)、線 5 人 (16.1%)の順に多く選択され、女性の場合は線+空間 13 人 (56.5%)、線 6 人 (26.1%)、空間 4 人 (17.4%)の順に多く選択された。

線+空間の形状のうち判定位置に着目すると全体で最も選択されたのは後面判定で 17 人 (31.5%)であった。この結果から、光フィードバックの判定位置として線+空間の後面判定を選定した。また男女別に着目すると、男性の場合は後面 9 人 (29.0%)、中面 6 人 (19.4%)、前面 3 人 (9.7%)の順に多く、女性の場合は後面 8 人 (34.8%)、前面 3 人 (13.0%)、中面 2 人 (8.7%)の順に多い結果となった。男性と女性では、前面と中面の選ばれる順位が異な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 (9.3%)であった。この結果から、光フィードバックの配色として線 (白) +空間 (青) を選定した。男女別に着目すると男性の場合は線：白、空間：青が多く 5 人 (16.1%)選択され、女性の場合は様々な配色パターンが選ばれる結果となった。

5-2 光フィードバック形状の役割

評価実験の結果から、光フィードバックの形状と配色として、線 (白) +空間 (青) の後面判定を選定した。選定結果をもとに、非接触タッチパネルを可視化するための光形状の役割について考察する。光フィードバックの形状の「線」は非接触タッチパネルの操作面の役割を持ち、「空間」は非接触タッチパネルの操作面に近づいていることをフィードバックする役割を持つと考えられる。

まず非接触タッチパネルにおける光フィードバックの形状として「線」が、操作面の役割を持つと考えられる。形状が空間の場合においても、前面判定・後面判定は、空間の境界が「線」となって操作面の役割を持つ。光フィードバックの形状と配色のアンケート結果において、形状が空間で操作面が中面のみ選ばれていない。その要因として、操作面の役割を持つ「線」が可視化されていないため、操作面を確認することが難しいためと考えられる。

次に操作面から「空間」の役割について考察する。空間の境界が「線」となって操作面の役割を持つと考えられる。線+空間においても後面が最も多く選択されている。この結果から「空間」は非接触タッチパネルの操作面に近づいていることをフィードバックする役割を持つと考えられる。操作面に近づいたことをフィードバックする「空間」がない「線」のみの場合、光フィードバックを指に照射したときにはすでに非接触タッチパネルに触れている状態になる。そのため、空間によるフィードバックを得ることができず「線」のみを選択した実験参加者が 11 人 (20.4%)と少なかったと考えられる。

操作面の役割を持つ「線」、操作面に近づいたことをフィードバックする「空間」、これら 2 つの役割を併せ持つ「空間の後面判定」(全体：7 人、女性：1 人、男性：6 人)と「線+空間の後面判定」(全体：17 人、男性：9 人、女性：8 人)を選択している割合が全体の 44.4%と多くを占める結果となった。線には操作面としての役割があり、空間には操作面に近づいたことをフィードバックする役割があるため、線+空間の後面判定が最も多く選ばれる結果となった。

6 非接触タッチパネルによるタップ操作性評価

6-1 実験環境と実験結果

光フィードバックを用いた非接触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、非接触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非接触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。そこで本章では、光フィードバックの形状と配色に関する評価実験によって選定した線(白)+空間(青)の後面判定によって非接触タッチパネルを可視化し、非接触タッチパネル操作実験を実施した。

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。非接触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。実験参加者は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で非接触タッチパネルをタップ操作する。

表 2 に 1 回目の光フィードバックなしの場合とありの場合のタスク時間、タスク画面上で認識されたタップ回数、それぞれの中央値、平均、標準偏差を示す。1 回目の光フィードバックなしの場合とありの場合の

実験結果では、タスク時間、タップ回数については、使用したセンサーがタスク中に手を上手く認識することができていない時間帯があるため、標準偏差が大きくなっている。そのため、タスク時間、タップ回数、は中央値を用いて光フィードバックなしの場合とありの場合の比較を行う。

表2 1回目光フィードバックの有無による操作性の実験結果

	光フィードバックなし		光フィードバックあり	
	タスク時間(秒)	タップ回数(回)	タスク時間(秒)	タップ回数(回)
中央値	14.621	10.0	13.689	9.0
平均	16.377	10.9	21.832	12.2
標準偏差	5.997×10^{-5}	1.7	3.217×10^{-4}	6.925

タスク時間の中央値は光フィードバックなしの場合が14.621秒、光フィードバックありの場合が13.689秒であり、光フィードバックありの場合のタスク時間が短いことが明らかとなった。画面上で認識されたタップ回数の中央値は、光フィードバックなしの場合が10.0回、光フィードバックありの場合が9.0回で光フィードバックありの場合のタップ回数が少ないことが分かった。タップするパネル数が9枚であることから、光フィードバックありの場合のタップ回数の中央値9.0回はタップミスがなかったことを示している。

6-2 光フィードバックの慣れの分析

アンケート評価が光フィードバックありの場合の方が高かった要因を明らかにするために、1回目と2回目の本番データを対象として、それぞれ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実験結果をまとめた。表3に2回目の光フィードバックなしの場合とありの場合の実験結果を示す。

表3 2回目光フィードバックの有無による操作性の実験結果

	光フィードバック 1回目なし, 2回目あり		光フィードバック 1回目あり, 2回目なし	
	タスク時間(秒)	タップ回数(回)	タスク時間(秒)	タップ回数(回)
中央値	21.008	10.5	11.756	9.0
平均	25.661	12.2	27.975	11.7
標準偏差	1.513×10^{-4}	4.261	4.181×10^{-4}	5.622

表3に2回目の光フィードバックなしの場合とありのタスク時間、タスク画面上で認識されたタップ回数、それぞれの中央値、平均、標準偏差を示す。2回目の光フィードバックなしの場合とありの場合の実験結果を用いて、光フィードバック（1回目なし、2回目あり）と光フィードバック（1回目あり、2回目なし）についてそれぞれ比較する。

光フィードバック（1回目なし、2回目あり）のタスク時間の中央値は1回目の光フィードバックなしが14.621秒、2回目の光フィードバックありが21.008秒であり、2回目の光フィードバックありの場合のタスク時間が長いことが明らかとなった。画面上で認識されたタップの回数の中央値は、1回目の光フィードバックなしが10.0回、2回目の光フィードバックありが10.5回であり、光フィードバックありの場合のタップ回数が増えていることが明らかとなった。

光フィードバック（1回目なし、2回目あり）の比較では、2回目の光フィードバックありにおいて、タスク時間の中央値は遅く、タップ回数の中央値が増えている。その要因として、光フィードバックありの非接触タッチパネルにおける操作は初めてでまだ非接触タッチパネルに慣れることができていなかったためと考えられる。

光フィードバック（1回目あり、2回目なし）のタスク時間の中央値は1回目の光フィードバックありが13.689秒、2回目の光フィードバックなしが11.756秒であり、1回目の光フィードバックありの場合が長いことが明らかとなった。画面上で認識されたタップの回数の中央値は、1回目の光フィードバックありが9.0回、2回目の光フィードバックなしが9.0回であり、変わらないことが分かった。これらの結果から、1回目に光フィードバックありからタスクを行った場合は2回目に光フィードバックなしの場合でタスクを実施し

た際にも、タップミスがなかったことを明らかにした。

光フィードバック（1回目あり，2回目なし）ではタップミスがなかった点から，光フィードバックありの非接触タッチパネルを経験することによって非接触タッチパネルの操作に慣れることができていると考えられる。

6-3 アンケート評価結果

本研究では，実験中に実施した光フィードバックの必要性に関するアンケート，光フィードバックの有無に関するアンケートについてそれぞれ結果をまとめた。

表3に光フィードバックの必要性に関するアンケート評価の結果を示す。調整時は非接触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。操作時，調整時ともに光フィードバックありの場合の方が選択した実験参加者が多い結果となった。

表3 光フィードバックの必要性に関するアンケート

	光フィードバックなし(人)	光フィードバックあり(人)
調整時	2 (10.0%)	18 (90.0%)
操作時	5 (25.0%)	15 (75.0%)

表4 光フィードバックの有無によるアンケート評価

	光フィードバックなし			光フィードバックあり		
	中央値	平均	標準偏差	中央値	平均	標準偏差
A) 画面の見やすさ	5	4.65	0.563	5	4.65	0.563
B) ポインターの見やすさ	5	4.45	0.663	5	4.55	0.583
C) ポインターの動かしやすさ	3	3.10	0.833	3	3.35	0.785
D) タップのしやすさ	4	3.90	0.950	4	4.25	0.825
E) 疲れやすさ	3	3.15	1.166	3	3.15	1.082

表4に光フィードバックの有無によるアンケート評価平均を示す。アンケートでは，A)画面の見やすさ，B)ポインターの見やすさ，C)ポインターの動かしやすさ，D)タップのしやすさ，E)疲れやすさについて1～5の5段階評価を実施した。A)画面の見やすさ，E)疲れやすさでは光フィードバックなしの場合と光フィードバックありの場合でそれぞれ平均が4.65，3.15と同値となり，差が見られなかった。この結果から，指への光フィードバックがある場合でも，ディスプレイ画面の見やすさに影響はなく，視認性の妨げになっていないと考えられる。

B)ポインターの見やすさ，C)ポインターの動かしやすさ，D)タップのしやすさでは光フィードバックありの場合の評価が高い結果となった。この結果から，光フィードバックがあることによって非接触タッチパネルの操作感の向上につながったと考えられる。光フィードバックによって操作者が非接触タッチパネル位置を視認することで，非接触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，定性的な評価が高かったと考えられる。

7 まとめと今後の課題

本研究では，人工透析中に仕事が可能な環境を整備するために，ペーパースクリーンによる天井ディスプレイとRemote Touch Panelによる非接触操作が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ている。また，非接触操作Remote Touch Panelを用いており，非接触操作可能なタッチパネルであるが，視認することができない問題がある。

非接触タッチパネルの可視化手法として、光フィードバックを提案する。光フィードバックとは非接触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非接触タッチパネルを可視化する。評価実験の結果、光の形状は線+空間の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であった。光フィードバックにおける線には非接触タッチパネルの判定面としての役割があり、空間には判定面に近づいたことを示す役割があると考えられる。

選定した光フィードバックがなしの場合とありの場合でのタップ操作性を評価するために光フィードバックによるタップ操作性評価実験を実施した。非接触タッチパネルによるタップ操作性評価実験の結果、光フィードバック(1回目あり, 2回目なし)の場合は、1回目ありと2回目なしともに、タップ回数の中央値が9.0回とタップミスがなかった。この結果から、光フィードバックありの非接触タッチパネルを経験することによって非接触タッチパネルの操作に慣れることができていると考えられる。

光フィードバックの必要性に関するアンケートでは、非接触タッチパネル位置の調整時に光フィードバックありを選択する実験参加者が90.0%(18人)、操作時に光フィードバックありを選択する実験参加者が75.0%(15人)であった。光フィードバックによって操作者が非接触タッチパネル位置を視認することで、非接触タッチパネルの存在を実感し、定性的な評価が高かったと考えられる。これらの結果から、非接触タッチパネルを使用する際には光フィードバックが必要であると考えられる。

【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>，(2021-01-20)
- [2] 新田孝作ら他 14 名：“わが国の慢性透析療法の現状”，日本透析医学会雑誌，2020，53 巻，12 号，pp. 579-632(2021-01-20)
- [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] 天早健太，木戸瑛一，杉原慶哉，中道上，渡辺恵太 山田俊哉：Remote Touch Panel：“大画面における直観的なタップジェスチャー”，インタラクシオン 2018 論文集，pp. 779-784，2018
- [5] 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，pp. 658-663，2019.
- [6] 中村薫：“Leap Motion プログラミングガイド”，株式会社工学社，2015.
- [7] 村田和義，渋谷雄：“身体動作を用いたオブジェクト選択における許容可能な滞留時間の検討”，ヒューマンインターフェース学会論文誌，20 巻，4 号，pp. 479-490
- [8] 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，pp. 191-196，2018

〈発表資料〉

題 名	掲載誌・学会名等	発表年月
透析患者向けベッドにおける非接触タッチパネルへの光フィードバックの適用	情報処理学会インタラクシオン 2021 論文集	2021 年 3 月
Visualization of Remote Touch Panel for Dialysis Patient on Prototype Bed	Proc. IEEE 2nd Global Conference on Life Sciences and Technologies (LifeTech 2020)	2020 年 3 月
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	情報処理学会インタラクシオン 2020 論文集	2020 年 3 月
透析患者向けベッドにおいて光フィードバックが仮想タッチパネルの操作性に及ぼす影響	電子情報通信学会 HCG シンポジウム 2019 論文集	2019 年 12 月
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	第 39 回医療情報学連合大会論文集	2019 年 11 月