

水場での静電容量式タッチセンサの適用 と入カインタフェースの実現

林宏憲[†] 平井重行^{††}

日常生活で利用するアンビエントインタフェースの研究として、一般住宅の浴室にある浴槽の縁内部に静電容量方式のタッチセンサを取り付け、浴槽自体を入カインタフェースとして機能させることを試みている。センサ端子の大きさや湯水の影響など基礎的な実験を行い、浴槽に湯水を溜めた状況でもタッチセンサとして利用できることを確認した。本報告では、幾つかの基礎実験とその結果について述べ、On/Off スイッチやスライダなどの入力インタフェースとしての機能とその応用性について議論する。

Installation of capacitive touch sensors at water place and implementation of them for user interfaces

Hironori Hayashi[†] and Shigeyuki Hirai^{††}

We try to install capacitive touch sensors into edges of bathtub, and to implement a bathtub as various controllers. Its functionality is an ambient user interface for everyday life. In this paper, some fundamental experiments, for instance, sensor area, probe size, influences of water, are described. We made sure that the capacitive sensors equipped in a bathtub are conditionally available. This paper also describes their conditions and discussions for some implementation of user interface in a water place.

1 はじめに

我々はこれまで、住宅のユビキタス化とそこに纏わる技術について研究してきている[1]-[4]。特に浴室におけるユーザ行動や行為のセンシング、情報伝達・表現について取り組んできた。浴槽の湯水や浴室にある様々な物品を利用したり、入浴者の心拍・呼吸などの生理指標を活用したアンビエントなユーザインタフェースを実現してきている。一方で、最近の日本国内の浴室事情としては、備え付けの浴室テレビやオーディオシステム、ミストサウナ機器、調光照明など、室内の快適性や娯楽性を向上する機器の導入が広がっている。その一面、リモコンで操作するような様々な機器が増えてきており、リビングルームと同じく、機器数に応じてリモコンの数が増える問題や、入浴中に壁に固定されたリモコンを扱う煩わしさ、といった問題も起きている。そこで、我々は浴槽にタッチセンサを埋め込むことでアンビエントな入力インタフェースとして機能させることで、浴槽に浸かったまま様々な機器を操作したり、浴槽自身を新たなアプリケーションに活用していくことを考案している。

本研究では、既存の浴槽（FRP や人造大理石）に後付けで組み込めるタッチセンサを適用し、浴槽縁の上面を操作インタフェースとして機能させることを目的に、センサの選定および湯水の影響などの基礎的な実験を行った。また、実際に浴槽に組み込んだタッチセンサの出力を元に、タッチスイッチやスライダなどの機能についても試作したので、その応用性についても議論する。

2 静電容量方式タッチセンサの浴槽への適用

2.1 タッチセンサの方式と問題点

タッチセンサは、参考文献[5]で示されるように、抵抗膜方式、静電容量方式、超音波方式、光学方式などに分類される[6]。しかし、壁や床、浴槽などの既存の環境や設備そのものにタッチセンサの機能を持たせるには、物体の表面加工や耐久性の問題もあり、静電容量方式以外は適用し辛いということが言える。静電容量方式は壁やテーブルなどの面の裏側にセンサ端子や配線を取り付けるだけで構成できるほか、曲面などにも適用し易いという利点がある。一方で、静電容量を利用するため、センサ周辺に人体以外の誘電体があるとその影響を受けるといった欠点も持つ。本研

[†]京都産業大学大学院理学研究科

Graduate School of Science, Kyoto Sangyo University

^{††}京都産業大学コンピュータ理工学部

Faculty of Computer Science and Engineering, Kyoto Sangyo University

究においては、浴室は水場であるため、浴槽へ適用する場合に湯水の影響を受ける可能性が高いことが想定される。そこで、本研究では、まずは浴槽縁上面の内部に静電容量方式のタッチセンサ端子を設置して、湯水の影響について基礎的な実験を行ったほか、手指でタッチする場合の距離やレスポンスについて、端子サイズの違いなどと共に基礎的なデータを計測する。

2.2 実験で利用するセンサユニットと端子の種類について

今回の実験では、数ある静電容量タッチセンサ製品のなかで、オムロン社製 B6TS-08NF(8ch タッチセンサ IC)が搭載された基板 B6TY-S08NF(図1参照)を用いた。このタッチセンサは、静電容量方式でも、タッチパネルに使われるような平面上に構成されるものではなく、各チャンネルのセンサ端子を自由に設置・配置できるもので、センサ端子毎に独立したタッチスイッチとして機能(静電容量による距離センサとしても機能)する[7][8]。また、センサ端子には銅板やリード線を巻いたものについて、それぞれサイズを幾つか用意して試すこととした。

なお、タッチセンサ基板はシリアルポートを持っており、外部からセンサを動作制御する仕様となっている。基板はプラスチックケースにパッケージし、図2に示すような形でセンサ端子と共に浴槽とエプロン壁との間に設置する。そして、シリアルケーブルによって外部 PC と接続することで、実験時のセンサ制御を行った。

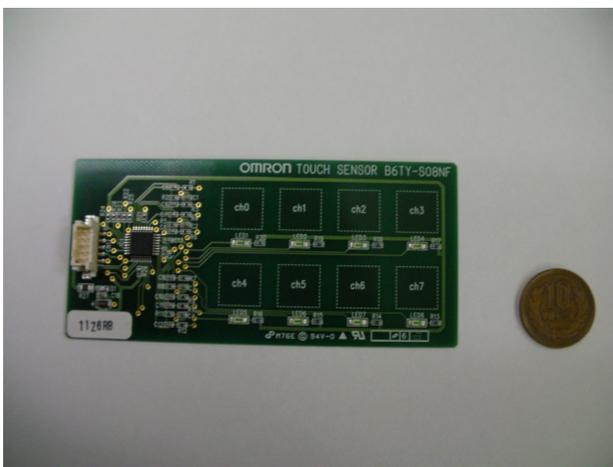


図1. オムロン社製 B6TY-S08NF

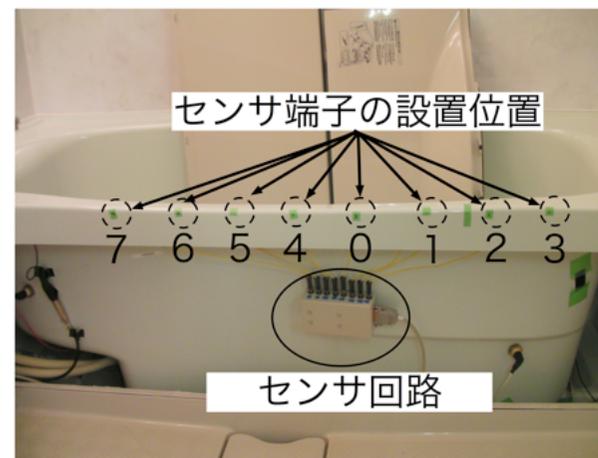


図2. 取り付けられたタッチセンサ(数字はch名)

3 水の影響に関する基礎実験

静電容量方式のタッチセンサは、比誘電率の高い物体がセンサ部に触れる・近づくことによる浮遊容量の変化を計測する。物体の人体の比誘電率は310程度[6]であるのに対し、センサ表面として利用するFRP製の浴槽の比誘電率はおよそ3~5程度であることから、影響は非常に少ないことがわかる。一方で水の比誘電率は約80であることから、人体に比べて値が小さいとは言え、湯水の存在がある程度はセンサ感度やレスポンスに影響を与えることは免れない。そのため、基礎実験として湯水の影響を確認しておく必要がある。

3.1 センサ表面における浴槽内湯水の影響

まずは、操作インターフェースとして想定している浴槽縁上面部(センサ平面)において、浴槽内部に湯水を溜めた場合の影響について確認した。図2の浴槽に湯水を溜め、センサ平面の各端子設置箇所真上を手で触れた場合(以降「タッチあり」と触れていない場合(以降「タッチなし」)のセンサ出力値を計測した。センサ端子はリード線を巻いて直径5cm程度の円形にしたものを用い、湯水の水位は浴槽縁上面よりも数cm低い位置とした。センサ出力値の計測は各チャンネルに対して100回行い、その平均値と標準偏差を求めた。湯水ありとなしの場合のそれぞれのグラフを図3, 4に示す。なお、これらグラフのセンサ出力値はセンサIC内部でサンプ

リングされた値をそのまま利用しており、具体的な電圧値としては換算していない。換算しない理由は、各端子に接続されている抵抗値およびコンデンサの容量（回路常数）によってセンサ感度やレスポンスを調整するものであり、電圧の絶対値が大きな意味をなすものではないからである。また、出力値の変化方向としては、センサとして計測する浮遊容量が増加すると値が減少する。

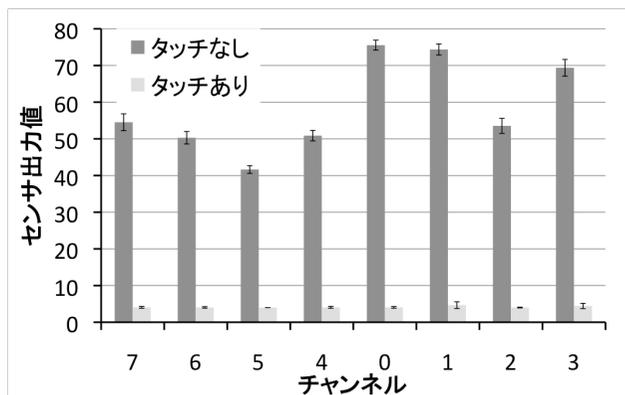


図3. 浴槽に湯水がない状態でのセンサ出力値

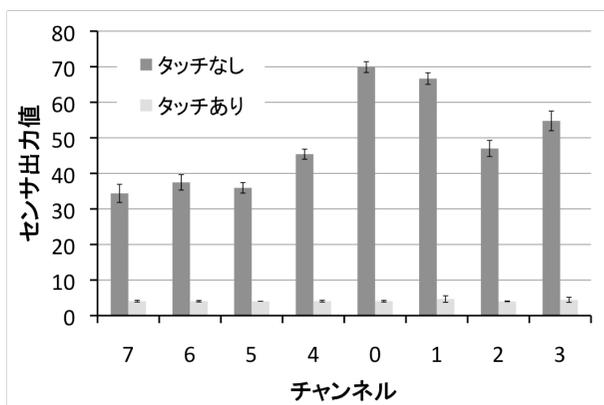


図4. 浴槽に湯水がある状態でのセンサ出力値

これら図3と図4の結果から、湯水がある場合とない場合とではあまり違いがなく、タッチありとなしの出力値の差が大きいことが見て取れる。よって、浴槽縁上面部のタッチセンサは、浴槽中の湯水にはほとんど影響を受けないことがわかった。なお、タッチなしの場合の各チャンネルの値が大きくばらついているのは、センサ回路から端子先端部まで延びているリード線の長さや延ばし方（端子までの経路）に依存することがわかっている。これは端子までの途中のリード線全体もセンサ端子として機能するからである。しかし、グラフから見て取れる通り、タッチありの場合の値はかなり低く、タッチなしの場合の各チャンネルの値のばらつきとは明らかに区別できる値となっている。また、浴槽縁上面に多少の水滴が付いていても、タッチなしの状態でも少し値が下がる程度で、タッチありの値とは区別が可能であることも確認している。これらのようにタッチありなしで十分な差が見られることから、浴槽縁上面をセンサ表面として利用するのは基本的に可能であることが確認できた。

3.2 センサ平面上に湯水がある場合の影響

センサ平面上で、端子設置箇所の上真上に湯水がある場合の、センサへの影響について実験を行った。ここでは、底の厚みがほとんどないコップに少量の水を入れ、センサ端子設置箇所の上に置いた。その上で、タッチありなしについてセンサ出力値をch毎に100回計測した平均値と標準偏差を図5に示す。

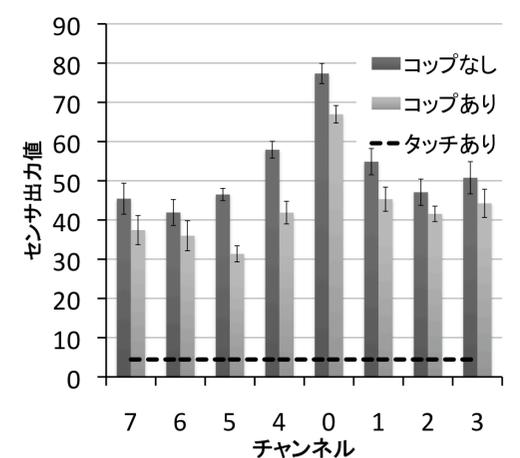


図5. センサ平面上に少量の水がある場合のセンサ出力値

この図からわかるように、センサ端子の真上にある程度の湯水が乗っている場合には、出力値が下がっていることから、湯水の影響は多少は受けていることがわかる。しかし、タッチ状態の値とは明確に区別できるレベルであることから、少々湯水がある状態でもタッチセンサとしては有効であることがわかる。

3.3 湯水の中でのセンサ値に関する実験

次に、図6のようにセンサ端子を浴槽側面裏側に設置し、浴槽に湯水を溜めた場合に、湯水内部でタッチセンサとして機能するか確認した。これは、入浴中に水中で浴槽の壁を使って操作インタフェースが構成できるか確認する目的で実験した。浴槽に湯水なしの場合と、湯水ありの場合のタッチあり・なし、の3条件に対するセンサ出力値を図8に示す。なお前節と同じく100回計測した際の平均と標準偏差としている。



図6. 浴槽側面での取り付け位置

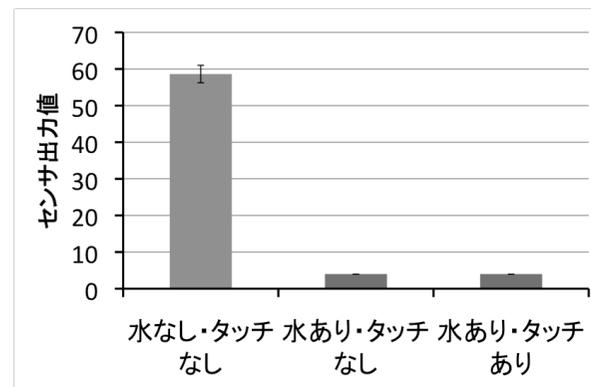


図7. 側面に取り付けたセンサ値の変化

図7の湯水がある状態ではタッチありなしで同じ値を示しているため、センサ端子のすぐ近くに湯水が多量にある場合は、タッチセンサとして機能しないことがわかる。また、センサ端子の場所を色々と変えて実験を行った際も同様の結果が得られていることから、センサ端子設置箇所が湯水のそばである場合にはセンサとして機能しなくなることが確認できた。

前節の実験では、浴槽縁上面部の端子の設置位置および向きでは、湯水の位置関係から特に影響はない結果であった。また、浴槽縁上面部に多少の水滴が付いている程度ではほとんど影響ないことも確認されているため、この実験結果と合わせて考慮すると、端子近くの湯水の量に依存して影響が変わることがわかった。

4 近接センサとしての特性に関する実験

前章では、各端子を設置した箇所のセンサ表面を直接タッチした場合についてセンサの出力を確認したが、静電容量方式のタッチセンサは、端子に手を近づけた際の浮遊容量が変化も計測できるので、近接センサとしても利用できる。

本章では、センサ表面に対し鉛直方向および水平方向（センサ表面の平面上）に対し、手指を近接させた際のセンサ出力について実験した結果について述べる。

4.1 鉛直方向の近接センサ出力

センサ表面に一定厚みのウレタン片を重ね、その上に手を置くという形で鉛直方向の手の距離に応じたセンサ出力値を計測する実験を行った（図8参照）。5mm～

95mm までの距離のセンサ出力値を各 100 回計測した平均値をプロットしたものを図 9 に示す。このグラフは図 2 の 0ch のものであるが、各距離ともデータの平均値をプロットしている。また、参考までにタッチありの場合となしの場合のセンサ出力値もグラフに載せてある。

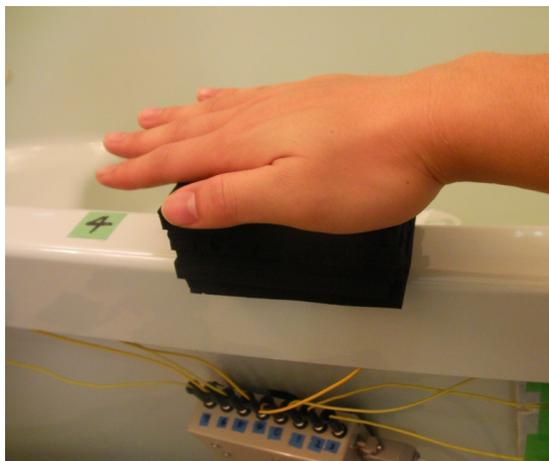


図 8. ウレタン片による鉛直方向の手の位置調整

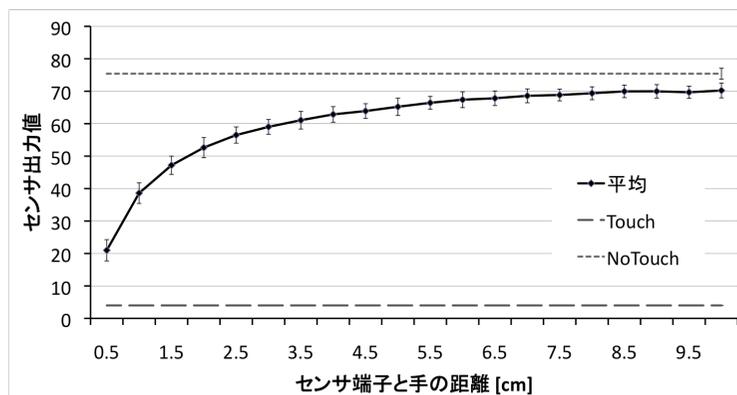


図 9. 鉛直方向の手の近接時のセンサ出力値

図 9 のグラフは対数的であり、センサ表面から距離が離れるにつれタッチなしの値に向かって飽和している形になっている。出力値にはサンプリングの度のばらつきがあり、距離の違いが明確に値として確認できる（近接センサとして利用できそうな）のは、センサ表面からおよそ 30mm 程度までと見られる。なお、距離が離れた際の飽和値がタッチなしの値よりも多少低くなっているのは、ウレタン片による影響が多少あるためと考えられる。

4.2 水平方向の近接センサ出力

センサ表面上でセンサ端子の位置から水平方向の手の距離に応じたセンサ出力値を計測する実験を行った。これは、センサ平面上でのスライダ機能などを実現するための複数センサ端子の離す距離の確認などの基礎データとなる。実験は、端子の設置上部を中心に、センサ表面上を左右に 200mm までの距離を 5mm 刻みで手を置き（図 10 参照）、各距離の値を 600 回ずつ計測した。図 11 に各距離の平均値と標準偏差を示す。なお、各試行においては人差し指の位置を基準として実験を行った。



図 10. センサ位置に対して水平方向に手の位置調整をする様子

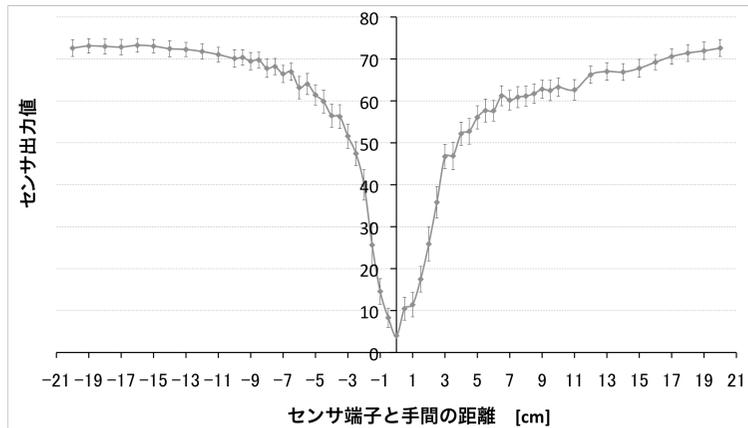


図 11. 水平方向での手の近づけ具合によるセンサ値

図 11 のグラフは、左右で多少形が違いますが、基本的には左右対称であり、片側だけでみると図 9 の鉛直方向の結果と似ている。つまり、端子の設置向きに関わらず、端子からのおおよその距離に応じて反応していることが確認できた。

以上のことから、センサ平面内のセンサ端子が設置された箇所において、鉛直方向、水平方向どちらにも 30mm ほどは近接センサとして有効に機能すると言える。

5 センサ端子の形状・サイズに関する実験

これまでの実験で用いたセンサ端子はリード線を平面状に巻いたものを用いてきた。しかしまた、センサ端子を浴槽縁の裏側に設置する場合、浴槽の形状や材質に依存して、浴槽の厚みや設置可能範囲のサイズに制限があることもわかっている。そのため、センサ端子の形状やサイ、センサ端子の形状やサイズによってセンサのレスポンスに多少変化が起こる。ズについての特性も確認してことにした。

5.1 巻き線センサ端子の形状

リード線を平面状に巻く場合でも、真円形や楕円形などの巻く形状を変えることができる。また、センサの形状以外にもセンサ端子のリード線の長さもセンサの性能に影響を与えることから、巻く形状とリード線の長さとの両方について実験を行った。これまでと同様に、各試行において 100 回計測した平均値と標準偏差を図 12 に示す。なお、図 12 のグラフは 0ch のものである。

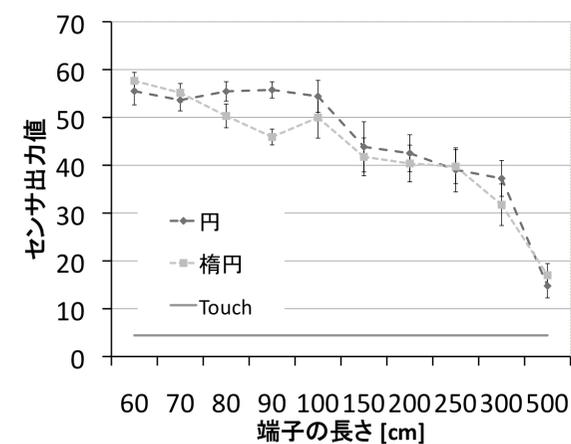


図 12. 端子の形状と長さの変化によるセンサ値

グラフからわかるようにセンサ端子の長さが 100cm を超えるとセンサ出力値が大きく下がり出す傾向のあることがわかる。形状については、80cm ~ 100cm の間で多少の差が見られる。この原因は不明ではあるが、グラフ全体としては真円形と楕円形では大差はないことが見て取れる。また、500cm になれば値が 20 を下回り、タッチありの値にかなり近くなるが、それほどセンサ端子の線を延ばしてセンサを設置しなければよいので、通常ではタッチありの値と明確に区別できることがわかる。

以上のことから、巻き線センサ端子に関しては、形状に依存せず、リード線についても数 m 以内であればタッチ有無については問題にはならないと言える。ただし、近接センサとして利用する場合は、少なくともリード線は 100cm 以内にしておくべきであると言える。

5.2 銅板センサ端子のサイズ

巻き線とは別に厚さ 0.1mm の銅板を用いた正方形の端子を用い、一辺 1cm, 3cm, 5cm と 3 種類のサイズのものを用意して、タッチあり・なしに対する特性を調べた。ここでは、端子に繋ぐリード線の長さを 10cm から 50cm まで変化させたものを用い、これまでと同様、100 回ずつ計測した。それぞれのサイズの平均値と標準偏差を図 13, 14, 15 に示す。

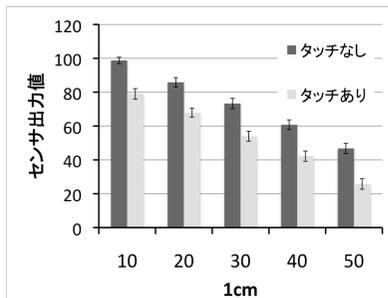


図 13. 1cm 四方の端子に対するセンサ出力値

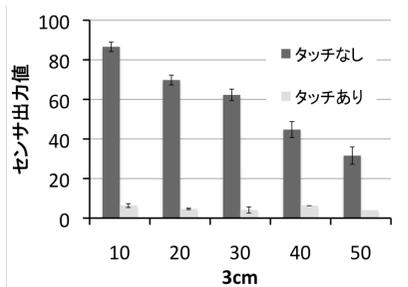


図 14. 3cm 四方の端子に対するセンサ出力値

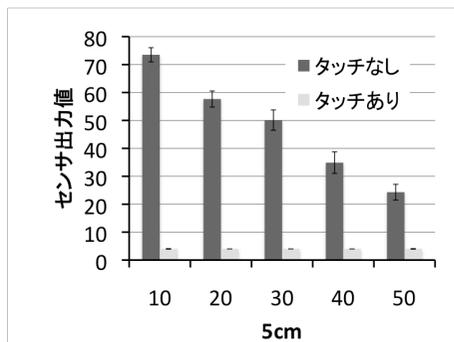


図 15. 5cm 四方の端子に対するセンサ出力値

図 14,15 を見ると、標準偏差を考慮しても、タッチありとなしで十分な差が見られる。よって、3cm 四方と 5cm 四方の端子では、タッチの有無を区別するにはリード線の長さに関係なく閾値を単純に決めておくだけでよいと言える。一方、図 13 を見ると、タッチの有無は一定の差が見られるだけで、リード線の長さによって出力値のレベルに変化があると言える。よって、1cm 四方の場合は、リード線の長さに応じてキャリブレーションし、閾値を決める必要があると言える。

6 入力インタフェースの実装と応用

6.1 タッチスイッチ (ON/OFF) 機能

前述の様々な実験により、各センサ端子で独立した値を得ることができるため、各閾値を適切に設ければ、浴槽縁上面を ON/OFF の判別を行うタッチスイッチとして利用することが可能である。そこで、図 2 における浴槽に対し、各端子のセンサ出力値をキャリブレーションして出力値を正規化し、閾値を容易に設定できる機能を実装し、各端子のタッチスイッチを実現した。これにより、様々な機器のリモコンのボタンの代わりに浴槽縁上面を利用できるようになった。

6.2 スライド機能

図 2 のように設置した 8 つの端子の ON/OFF 情報を利用し、隣り合う端子が連続的に ON 判定となった場合、その向きに対するスライド操作があったと認識し、スライドの向きと速度を得る処理を実装した。これにより、浴槽縁上面を用いて、調光照明の調光操作やオーディオの音量操作などを行うことができる。

6.3 近接センサ機能

センサ端子への手指の近接量を得ることができるので、タッチスイッチと並行して各端子の値を得る処理も実装してある。しかし、センサの値はばらつきが起こるため、ソフトウェア上でフィルタ処理を行っている。また、4.2 節の実験で述べた通り、センサ端子からの距離は 3cm 程度までしか安定して利用できないことになる。ただ、この機能を利用することで、スライド機能と同じ調光や音量操作が多少はできるほか、テルミンのような操作も応用可能で、しかも端子数ぶんのチャンネルで利用できることになる。

6.4 入力インタフェースの応用に関する議論

タッチスイッチ機能については、現状では 8ch ぶんのセンサしか付けていないため、8 個のスイッチとして機能するが、浴室テレビやミストサウナ、給湯暖房機など、既存機器の浴室リモコンのスイッチ数は 8 個よりも多いことが普通である。既

存機器のコントローラとして利用する場合、ch 数を増やす必要があるが、そうなれば設置箇所や間隔の制限が出てくるため注意が必要となる。浴槽縁の内側の形状や範囲と、5 章で述べた端子サイズなどを考慮して、センサ端子の設計をする必要がある。

スライダ機能については、現状ではタッチスイッチ機能を利用して実現しているが、4.2 節で述べた水平方向の近接量も取得できるので、端子間の距離を適切にすることで、2 つの端子の値からより細かな水平位置やスライダ値を取得することができると思われる。

近接センサ機能については、現状では端子毎に独立した値として処理しているが、一列に並んだ複数端子の値を一連の値として処理することも、別の入力インタフェースとして活用できると言える。例えば、両腕（両肘）を浴槽縁に乗せて座るといった入浴時の姿勢が想定できるが、その際に手の先だけ浴槽縁から浮かしたり、手は縁に付けたまま肘を浮かす、といった行為を認識できると考えられる。このように浴槽ならではの新たな入力インタフェースとして利用することなども考えられる。

ただ、これらセンサは浴槽に埋め込まれる形で機能するが、見えないインタフェースであるため、操作対象の位置や操作内容などについて、浴槽縁に情報提示する必要が出てくるという問題がある。これは、浴槽に LED 等を仕込むか、浴室内に設置したプロジェクタから浴槽縁へ情報投影するなどに対応できると考えられる。

また、本報告では浴槽縁に対する内容であったが、3 章の実験結果から多少湯水がある程度の箇所ならばタッチセンサは充分機能することがわかったので、浴室の壁や床、エプロン台などもセンサを埋め込む対象になりうると言える。さらに、キッチンや洗面台などにおいても応用が可能であると考えられる。

7 おわりに

本研究は、住宅におけるアンビエントインタフェースの一つとして、既存の浴槽にタッチセンサを適用し、浴槽縁上面を操作インタフェースとして機能させ、様々な応用することを目的としている。本稿では、センサの選定および湯水の影響などに対する基礎的な実験について述べ、浴槽でもタッチセンサが利用できることを示した。また、様々な実験で得られた結果を基に、実際の浴槽で ON/OFF スイッチやスライダなどの入力インタフェース機能を実装し、その応用性について議論した。

今後は、銅板を用いた新たなセンサ端子の有用性の確認と、他の形状・材質の浴槽に対する同様の実験を行うほか、入浴を楽しむ新たな浴室エンタテインメントへの応用などを行う予定である。

謝辞

本研究の一部は、京都産業大学総合研究支援制度による助成を受けた。

参考文献

- [1] 平井重行, 藤井元, 佐近田展康, 井口征士: 新たなアメニティ空間を目指した浴室:入浴状態を音で表現する風呂システム, ヒューマンインタフェース学会論文誌, Vol.6, No.3, pp.287-294, 2004.
- [2] 林宏憲,大西諒,平井重行: 一般住宅用浴室におけるミストを利用した立体的映像表現, エンタテインメントコンピューティング 2007 論文集, pp.75-76, 2007.
- [3] 大西諒, 平井重行: RFID を用いた浴室内行動計測の基礎検討, 情報処理学会論文誌 Vol.49, No.6, pp.1932-1941, 2008.
- [4] 大西諒, 平井重行: RFID タグ付き浴室物品の使用履歴からの入浴行動推定 -処理のリアルタイム化とその評価, 電子情報通信学会サイバーワールド研究会講演論文集, 2009.
- [5] 桑野雅彦: タッチパネル方式事典, トランジスタ技術 2009年8月号, pp.86-98, 2009.
- [6] 多氣,鈴木,渡辺: 電解カップリングによる人体通信機器に関する曝露評価, 信学技報 EMCJ-2007-47, pp25-30, 2007.
- [7] 石川義人, 浦田秀之, 木下政宏: 非接触型静電容量式タッチセンサ IC と回路常数設計ツールの開発, OMRON TECHNICS Vol.46, No.1, pp.58-62, 2005.
- [8] <http://www.omron.co.jp/ecb/products/touch/index.html>
- [9] Jun Rekimoto, SmartSkin: An Infrastructure for Freehand Manipulation on Interactive Surfaces, CHI2002, 2002.