

タッチセンサ内蔵浴槽による浴室の インタラクションデザインとその応用

林宏憲^{*1} 榊原吉伸^{*2} 早川聖朋^{*3} 平井重行^{*4}

Interaction Design for A Bathroom and its Applications with Embedded Touch Sensors

Hironori Hayashi^{*1}, Yoshinobu Sakakibara^{*2}, Seiho Hayakawa^{*3} and Shigeyuki Hirai^{*4}

Abstract We propose a bathroom system with ambient interfaces which includes Multi-Touch Bathtub and information projection functionality. This system enables a bathing person to control various facilities and to interact various information by touching or sliding hands/fingers. In this paper, we describe the bathroom system including a bathtub which embedded capacitive touch sensors and its some applications. We also discuss the interaction design about the bathtub.

Keywords : capacitive touch sensor, multi-touch bathtub, bathroom, ambient interface, interaction design.

1. はじめに

住宅におけるユビキタス環境やアンビエント知能、またそのユーザインタフェースやインタラクションに関する研究は世界的に行われているが、浴室に注目した研究は数少ない^[1-5]。そこで我々は浴室のユビキタス環境化への取り組みとして、浴室内での行動や行為のセンシングから、情報伝達・表現についてまで取り組んできた^[6-12]。これらのシステムでは、浴槽の湯水や浴室にある様々な物品を利用するほか、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、最近の日本の浴室事情として、浴室用 AV 機器やミストサウナ機器、乾燥暖房機、調光照明、ジェットバス付き浴槽など、娯楽性や快適性を向上する浴室用機器の導入が広がっている。この点では浴室への一般ユーザ向け機器の導入事情として世界の最先端を進んでいるが、リビングルームと同様にリモコン数増加の問題が起こっている。そのうえ、壁固定タイプのリモコンが多く、取り付け位置によって操作性が大きく変わるなど、リビングルームとは違う側面もある。

我々は、浴室で今後ますます増えると考えられるこのような問題への対応や、これまでにない新たな感覚の浴室環境を提供することを目指し、浴槽の縁をマルチタッチの操作インタフェースとして機能させるシステムを提

案する。浴槽に身体を浸けている場合でも、洗い場にいる場合でも、浴槽縁の部分にはすぐに触れることができる。その点に着目して本システムは浴槽縁の内側にタッチセンサを埋め込んだシステムとして構成する。ここでは静電容量方式のタッチスイッチを利用するが、センサ端子の形状やサイズを適切に選択すれば、流線型など様々なデザインの浴槽に適用でき、利用できないと思われがちな水場でもマルチタッチのセンサとして充分機能することを、これまでの研究で確認している^[12]。また、機器の設置箇所についても後述の設置箇所・方法であれば水場でも安全であり、浴槽表面は何も加工しないため掃除などに対する耐久性についても問題がない点などが、本システムの利点である。今回、試作したシステムでは、天井や壁に設置したプロジェクタで浴槽縁の操作位置や様々な情報を投影する。そして、投影された情報に手や指で触れることで様々な機器を操作できるほか、様々な情報とインタラクションできる機能を提供する。このような形で、浴槽を新たなインタラクティブ浴室環境のためのアンビエントインタフェースとして活用することが、この研究の狙いである。

本報告ではまず、基本機能であるマルチタッチ浴槽を実装するための、静電容量方式タッチセンサの浴槽への適用について述べる。そして、試作システムの概要、およびそこで提供する入力インタフェース機能や、プロジェクタによる情報投影機能について説明する。その上で、応用システムと共に、浴室での浴槽を用いたインタラクションデザインについて考察する。

2. 試作システムの構成

2.1 浴槽へのタッチセンサの適用について

本研究では、日本で主に普及している FRP や人造大理石で形成された市販浴槽に対し、後付けで組み込めるタッチセンサを利用するが、まずはセンサを取り付ける

*1: 京都産業大学大学院 理学研究科

*2: 京都産業大学 理学部 コンピュータ科学科

*3: 京都産業大学 経営学部 経営学科

*4: 京都産業大学 コンピュータ理工学部

*1: Graduate School of Science, Kyoto Sangyo University

*2: Faculty of Science, Kyoto Sangyo University

*3: Faculty of Business Administration, Kyoto Sangyo University

*4: Faculty of Computer Science and Engineering, Kyoto Sangyo University

浴槽について考察する。国内で普及しているシステムバス製品は、工業製品として規格化されたもので、壁や床などがユニットパネルで構成され、浴槽も含めて設置や取り替えが比較的しやすい構造になっている。そのため図1のように浴槽横のエプロン壁を取り外せば、普段は見えない浴槽と壁の間の空間へ容易にアクセス可能となっている。また浴槽と浴室の壁との間についても、目地材（樹脂成形された部材）を外すだけで簡単に浴槽を壁から切り離すこともできる。

このような最近のシステムバスであれば、浴槽周囲の後からセンサを配置することが容易で、通常は水に濡れない空間のため、電子機器の設置も安全と言える。

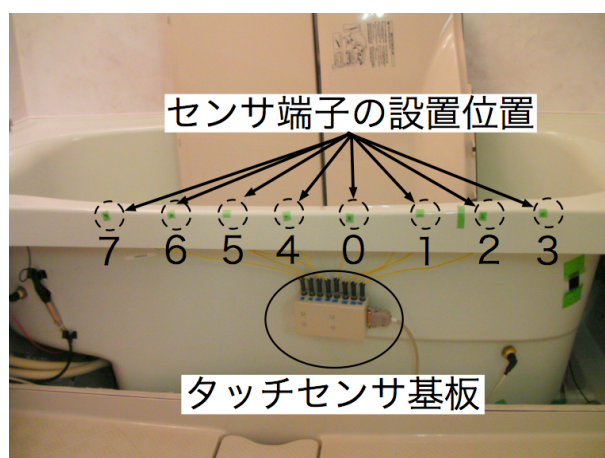


図1. 浴槽横とタッチセンサの取り付け(数字はch名)

Fig.1 A Bathtub and Installation of Touch Sensor Probes

次に、浴槽へ適用するタッチセンサについて述べる。タッチセンサの方式は数々あるが^[13]、壁や床、浴槽などの既存の環境や住宅設備そのものにタッチセンサの機能を持たせるには、センサ部位がスポンジなどで掃除されることを想定して、耐久性を考慮する必要がある。また、浴槽の形状が人間工学的デザインに基づいて曲面で構成されるものが多いことにも注意する必要がある。FRPや人造大理石といった材質や曲面形状、後から取り付けることが比較的しやすいことを考慮すれば、静電容量方式のタッチスイッチがセンサとして適切と判断した。今回は、オムロン社の8ch版タッチスイッチ用センサIC (B6TS-08NF)^{[14][15]}を用いている。なお、図1（ヤマハリビングテック製システムバスAX1616）では浴槽のエプロン壁を外した箇所に、センサ回路を納めた箱を取り付け、浴槽縁上面の裏側となる箇所に図2のようなリード線を巻いたセンサ端子を取り付けている。これは、浴槽縁を手の平などで広くタッチするための比較的大きなものとなっている（図2の端子は直径50mm程度）。これとは別に、図3のような銅板端子のものも製作しており、後に述べる入力インタフェース機能は同じものが実装できている。ただ、ユーザが複数本の指の腹や手のひらを

使って浴槽縁を広い範囲に操作する場合には、どちらの端子の種類でも端子サイズを大きくすることで対応が可能である。ただ、浴槽縁上に手を置いて、指先での細かい操作をする際ことを考慮すると、端子サイズを小さくして設置間隔を狭めることが容易な銅板端子を使うことになる。



図2. タッチスイッチ用リード線センサ端子
(写真は直径50mm程度のもの)

Fig.2 A Lead Wire Probe

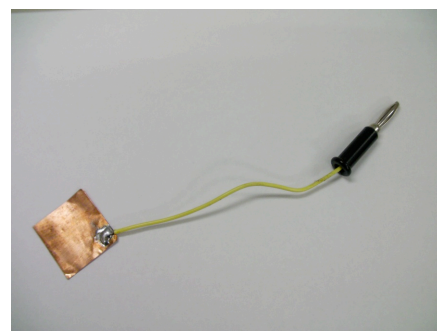


図3. タッチスイッチ用銅板センサ端子
(写真は30mm角のもの)

Fig.3 A Copper Sheet Probe

2.2 システム概要

本試作システムは、マルチタッチ浴槽の機能を中心にシステムを構成する。ただ、浴槽内部にタッチセンサ機能を埋め込んだだけでは、入浴者はタッチ可能な箇所や範囲がわからない。そこで今回の試作システムでは浴室天井裏にビデオプロジェクタを設置し、浴槽に対して上部から情報投影して操作箇所や情報を提示するようにした。最近のビデオプロジェクタは小型化、高性能化が進んでおり、携帯型でレーザー光源のものなども登場している。投影内容を無線で受信できるプロジェクタもあることから、将来的にはより小型化され、防滴加工を施せば特に配線せずとも後付けで浴室天井に取り付けて情報投影できる環境が想定できる。プロジェクタではなく、浴室テレビに様々な情報を提示することも行えるが、試作システムでは、ユーザインタフェースとしてのタッチ箇所への情報提示を重視してプロジェクタを利用した。図4に試作システムの構成図を示す。

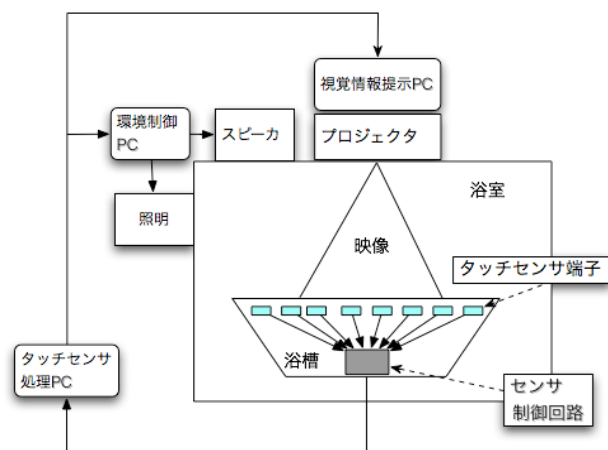


図4. システム構成図

Fig.4 System Overview

2.3 試作システムの構築

図4の構成図では、センサ制御PCで計測した各タッチセンサの情報を、視覚情報提示するプロジェクタ用PCに送信し、浴槽へのタッチ情報の視覚フィードバックなどを行う。また、並行してタッチセンサの情報は、その他環境制御用のPCへ送られ、調光照明の制御やサウンド制御などに用いられる。タッチセンサ制御のソフトウェアはWindows上でC++にて実装した。このソフトウェアでは、基本的にタッチセンサICとの通信を行って計測制御を行い、取得したセンサデータを他のPCへ転送する役割のみである。

視覚情報提示用PCのソフトウェアについては、現在はProcessingで実装しており、浴槽への投影情報の表示位置調整やキャリブレーション機能を持つ。環境制御用PCのソフトウェアはMax/MSPで実装しており、MIDI制御による調光機器（Elation社CyberPak）を介した調光照明の制御が行えるほか、インタラクティブに鳴らすサウンドや音楽の制御処理を行う。今回試作システムを構築した実験用浴室には、浴室用オーディオ機器が取り付けられており、天井に埋め込まれたスピーカからサウンドを再生することができる。ただ、調光については浴室付属の照明電球をそのまま利用している。

2.4 応用システム

試作システムでは、タッチスイッチ機能により音楽再生・停止の制御や音量調節（図5参照）が行えるほか、スライダや近接センサ機能により照明の調光が行えるなど、いくつかの実用的な機能に関する応用システムを実装している。これらでは、プロジェクタで浴槽縁に対してスライダやアイコンによるボタンなどをGUIとして投影し、ユーザはそれらに触れたりすることで操作が行えるようになっている。

また、音と映像を織り交ぜて、インタラクティブに楽しめるエンタテインメント応用のシステム（図6参照）

も制作している。このアプリケーションでは、浴槽縁のタッチスイッチ箇所（図6の色付きの丸）に触れることで、ゆったりしたリズムのアンビエントミュージックが流れ、フェードアウトしていく。各操作箇所に対応した音楽トラックが用意されており、複数タッチすると同時再生される。各々は別の曲だが、同時に鳴っても違和感なく聴けるように作曲してある。また、タッチ箇所は視覚効果として丸が振動するほか、浴槽水面上には各操作箇所に対応したアニメーションがある程度音楽に同期したものとして表示される。

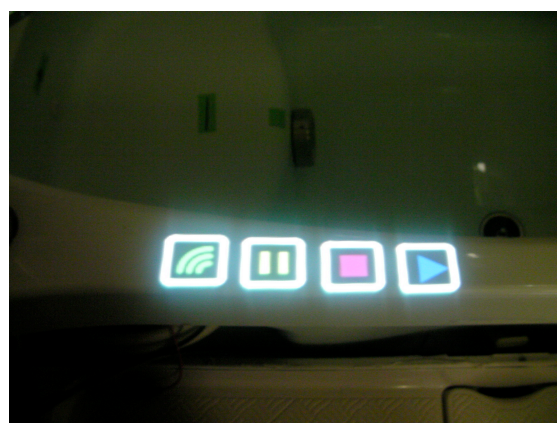


図5. 浴槽縁に投影された音楽再生機能ボタンの例

Fig.5 Projected Icons on A Bathtub for Playing Music



図6. エンタテインメントアプリケーションの例

Fig.6 An Entertainment Application Using The Bathtub

3. 入力インタフェース機能

3.1 タッチスイッチ(ON/OFF)機能

センサ端子の出力値の絶対値やレスポンスは各端子のリード線長さや周囲の状況、温度などに依存する。そこで端子毎にキャリブレーションを行って閾値処理し、ON/OFF判別を行うことで浴槽縁上面でのタッチスイッチ(ON/OFF)機能を実装した。各センサ端子は並行・独立した値が取得できるので、そのままマルチタッチの

タッチスイッチ機能が実現できる。

3.2 スライド機能

センサ端子を一行に並べることで、そのセンサ出力値の変化の仕方ですライド機能を実装した。各端子の ON/OFF 情報利用し、隣り合う端子が連続的に ON 判定となった場合の向きと ON の時間間隔から速度を得ることができる。水平方向での近接計測の値も利用する場合は、端子間隔をその範囲の倍程度にすることで端子間に手指がある場合でも、その両脇の端子の出力値から間の位置を割り出すことができる。これらのスライド機能により、浴槽縁上面を用いて、調光照明の操作やオーディオの音量操作などを行うことができる。巻きリード線端子を浴槽縁に仕込んだ際のスライド操作で調光照明の制御の様子を図 7 に示す。なお、この巻きリード線端子は図 1 の通りの配置である。また、銅板端子をアクリル板下に並べて、指先のスライド操作で調光照明の制御をしている様子を図 8 に示す。この銅板端子は 10mm×20mm のサイズのもので、10mm 間隔で横向きに 8 つ並べておよそ 150mm 長さのスライド領域を構成している。この指先スライド操作は、マルチタッチ操作にも対応しており、2 点タッチの際には大きく移動したほうの動作をスライド操作とみなして処理を行う。これは実際の浴槽に適用した際に、掌の手首付近を支点に指を動かすことを考慮し、指先と掌の 2 点タッチを想定している。

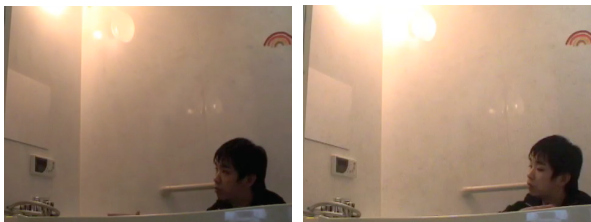


図7. 手のひらスライド操作による調光照明制御の例

Fig.7 Illumination Control by Slide Operation with A Hand

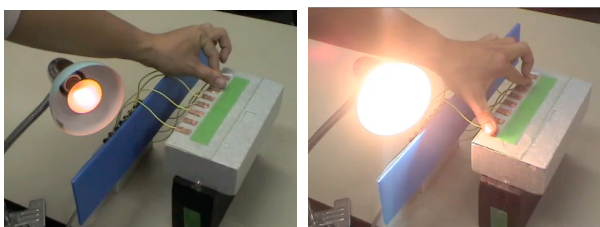


図8. 指先スライド操作による調光照明制御の例

Fig.8 Illumination Control by Slide Operation with Fingers

3.3 近接センサ機能

巻きリード線端子では、鉛直方向の手の近接量を得られるので、タッチスイッチと並行して各端子の出力値に対して近接センサ機能も実装した。ただし、この際のセンサ出力値はばらつきが大きいので、ソフトウェア上でローパスフィルタ処理を行っている。このセンサ端子で

は 30mm 程度までしか安定して利用できないが、この機能をスライド機能と同じ調光や音量操作のほか、電子楽器のテルミンのような操作も応用可能である。端子の数だけ同時に近接操作できることになる。浴槽縁への近接量で調光制御している様子を図 9 に示す。



図9. 近接センサ機能による調光照明制御の例

Fig.9 Illumination Control by Proximity with A Hand

4. インタラクシオンデザインに関する考察

まず、浴槽縁に設置する端子とユーザ操作範囲との関係について考察する。ユーザが手のひらや複数本の指の腹を使って浴槽縁を広い範囲に操作（手のひら操作）する場合には、比較的大きなサイズの端子を端子間隔広めに設置することで対応ができる。一方、浴槽縁上に手を置いて、指先での細かな操作（指先操作、図 10 参照）をする場合には、小さめの銅板端子を端子間隔狭めに設置することになる。

浴槽内の湯水に浸かっている状態では、腕を大きく動かして操作することができても、浴槽内に座った状態で腕を伸ばして届く範囲は限定されるため、手のひら操作のための端子をあまり広い範囲に設置しても使わない範囲が出てくる。また、座った状態で前腕部もしくは手首から先を浴槽縁に乗せる状態があることを考慮すると、機器操作のインタラクションという観点で、指先操作にも対応させる必要があると考えられる。そのために比較的小さな端子を設置することも必要となってくる。



図10. 指先スライド操作の例

Fig.10 Silde Operation with Fingers

一方で、浴槽に入っていない状態（洗い場に居る場合）では比較的自由に腕が動かせ、浴槽縁の比較的大い範囲に手を伸ばして触れることができる。そのため操作範囲はより大きく取ることができ、手のひら操作用の端子は広く設置する必要があると言える。ただ、この状態は指

先での細かな操作には向かないとも考えられ、指先操作の端子はあまり必要ないとも言える。

これらの浴槽内に居る場合と外に居る場合の両方の場合のインタラクションを考慮すると、浴槽縁の全体には手のひら操作の比較的大きな端子を配置しておき、浴槽縁の中央付近には指先操作の小さな端子を配置しておくのが良いと言える。

次に、プロジェクタでの情報投影と操作内容に関して考察する。手のひら操作で広範囲に投影して操作する場合には、浴槽縁への情報投影は広範囲に行え、ユーザもそれを広範囲に視認できることから、図5のようなアイコン一つをとっても比較的大きめのサイズで投影ができ、スライダについても操作範囲が比較的大きく提示できる、プロジェクタの解像度にも依存するが、投影内容が大きくできればその内容も細かく表現することができ、操作中の値などを含め提示内容を様々に適用できる。ただ、浴槽縁の上面は細長い領域であるため、提示内容の配置は基本的に一次的に並べることしかできない。また、その範囲の狭さから、機器操作のメニュー項目を投影するとしても、操作した際のメニュー遷移の表現方法や選択した項目の状態表示方などにも工夫が必要になると言える。本研究の目的の一つでもある、様々な浴室機器の統合的な操作を行おうと思えば、各機器の操作メニュー項目を切り替え表示する必要なども出てくるため、それらへの表示方法のデザインについても今後、検討する必要がある。

一方、指先操作の箇所への情報投影については、図10のように手首などを固定した状態で指先だけ動かすことになり、投影内容が手の上にかかり視認しにくくなることもある。そのため、手元への投影以外に操作内容提示の手法を考える必要がある。例えば、スライダの場合、操作する指先の箇所にスライダ位置の投影内容を重ねてもわかりにくいため、少し位置をずらして浴槽の内側の壁（浴槽縁の横）にもその操作内容を投影するなどの工夫が必要になると考えられる。

続いて、タッチスイッチ機能、スライド機能、近接センサ機能の各機能について、入力操作手法としての考察を行う。まずタッチスイッチ機能は単純にそのタッチ位置を検出する機能なので、アイコンなどによるメニューの項目選択など、基本的に「選択操作」を行うためのものと言える。ただし、各センサ端子は独立して計測してマルチタッチとして機能しているため、複数同時選択による操作にも対応可能である。次にスライド機能については、メニュー項目のスクロール操作もしくはスライド量による値（Value）の入力に用いることになる。ただ、現状ではセンサの計測誤差の問題があるため、あまり細かな絶対値入力には向かないが、端子サイズと各センサ計測値への信号処理などの調整により、ある程度の対応は可能であると考えている。具体的な操作の適用としては

湯水の温度調節、湯量調節、照明の調光制御などが挙げられる。近接センサ機能については、スライダ機能と同じく、値の入力に利用できるが、空中で手を位置や向きを固定することが難しいため、スライダ機能に比べて値の入力の固定値を入力する目的では使いづらい。そのため実用的なアプリケーションでの適用は難しいが、手を揺らして値を変化させる行為はエンタテインメント目的では様々なインタラクションへ応用できると考えている。

ほかに、現状の試作システムでは浴槽縁の片側だけにタッチセンサを配置しているが、両側に適用することで両手を使ったインタラクションや応用も考えられる。

5. 関連研究

静電容量方式のタッチセンサをユーザインタフェースに活用する研究は古くからなされており、テルミンをはじめ、Max Mathews による RadioDrum^[17]や、Iannis Xenakis による UPIC などでは楽音や音楽の制御に利用している。Jun Rekimoto や Kentaro Fukuchi による SmartSkin^{[18][19]}では、投影型静電容量方式タッチパネルをテーブルに組み込んでマルチタッチのインタフェースおよびインタラクションの方式を提案している。彼らの研究ではサイズの違うタッチセンサを構成するという点で、本研究でも参考にしているが、我々のセンサは曲面でも適用するうえ、水場でも使えることを目的としている。一方、平面ではない箇所でも静電容量方式タッチセンサを構成する研究には、Hrvoje Benko らの Sphere^[20]があり、球体を対象としているほか、Paul Holleis らは衣類などの布でのタッチセンサを試みており^[21]、今後より様々な箇所へのタッチセンサの応用が行われていくと思われる。また、静電容量タッチセンサには限らないが、浴室環境や湯水を活用したユーザインタフェースやメディアアート作品もある。Watanabe による VortexBath^[4]では、湯水にプロジェクタで情報投影し、流量センサなどを用いて湯水のかきまわしなどを計測することで、音楽やビデオの再生を行うシステムを試作している。試作は手洗いのボウル程度のものだが、研究としては浴槽も対象としている。Moroi らによる「音だま:Sound Flakes」^[22]では、子供用プールに入った水に対しプロジェクタで情報投影し、そこに映ったものに対し、センサ付きの柄杓でそれらをすくったりするなどインタラクションが可能なアート作品である。

6. おわりに

本研究では、既存の浴槽にタッチセンサを適用し、浴槽縁上面をマルチタッチ可能な操作インタフェースとして機能するシステムを試作した。天井にあるプロジェクタから浴槽上面に対して情報投影することで、埋め込まれたタッチセンサに割り当てた機能や、タッチ位置・範囲を提示することもできる。本論文では、タッチセンサ

を浴槽への適用と、入力インタフェース機能について述べ、そのインタラクションデザインや応用に関する考察を行った。現在の試作システムでは、タッチスイッチが8ch ぶんのセンサ端子で実装しているが、様々な機器のリモコン機能を代替したり、統合したりすることを考慮すれば、端子数を増やす必要がある。今後はセンサの端子数を増やすと共に、操作インタフェース機能の改良および情報提示手法の充実を行っていく予定である。また、多少の湯水があっても静電容量方式のタッチセンサは充分機能することがわかっている^[12]おり、浴室の壁や床、エプロン台などもセンサを埋め込む対象として検討する。さらに、キッチンや洗面台などにおいても適用および応用してゆきたい。

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] Jianfeng Chen, Alvin Harvey Kam, Jianmin Zhang, Ning Liu, and Louis Shue: Bathroom Activity Monitoring Based on Sound, Proc. of Pervasive 2005, LNCS 3468, pp.47-61, 2005.
- [2] 久保美那子, 児玉哲彦, 安村通晃: Flog: 浴室における記憶想起支援システム, WISS2005 論文集, pp.141-142, 2005.
- [3] Research on the Smart Home Healthcare, using Smart Technology Systems - Focused on the bathroom space, Proceedings of the Annual Conference of JSSD, pp.292-293, 2006.
- [4] Jun-ichiro Watanabe: VortexBath: Study of Tangible Interaction with Water in Bathroom for Accessing and Playing Media Files, Proc. of HCI2007, LNCS4551, pp.1240-1248, 2007.
- [5] Nuri F. Ince, Cheol-Hong Min, Ahmed H. Tewfik: A Feature Combination Approach for the Detection of Early Morning Bathroom Activities with Wireless Sensors, Proceedings of the 1st ACM SIGMOBILE international workshop on Systems and networking support for healthcare and assisted living environments, pp.61-63, 2007.
- [6] 平井重行, 藤井元, 井口征士, 左近田展康: 楽しんで入浴できるインタラクティブサウンド風呂システム, 情報処理学会インタラクション 2002 講演論文集, pp.149-150, 2002.
- [7] 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.
- [8] 平井重行, 樺文喜, 藤井元: 日常生活の入浴を楽しむ浴室を目指して, 情報処理学会研究報告 2006-EC-3, pp.1-8, 2006.
- [9] 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.
- [10] 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.
- [11] 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.
- [12] 林宏憲, 平井重行: 水場での静電容量式タッチセンサの適用と入力インタフェースの実現, 情報処理学会研究報告 2009-HCI-135-18, 2009.
- [13] 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.
- [14] 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.
- [15] <http://www.omron.co.jp/ecb/products/touch/index.html>
- [16] 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, pp.25-30, 2007.
- [17] M. Mathews and W. Schloss: The RadioDrum As A Synthesis Controller, Proc. of International Computer Music Conference 1989, 1989.
- [18] Jun Rekimoto, SmartSkin: An Infrastructure for Freehand Manipulation on Interactive Surfaces, CHI2002, 2002.
- [19] Kentaro Fukuchi, Jun Rekimoto: "Interaction Techniques for SmartSkin", Proceedings of UIST2002, 2002.
- [20] Hrvoje Benko, Andrew D. Wilson, Ravin Balakrishnan: Sphere: multi-touch interactions on a spherical display, Proc of UIST'08, pp.77-86, 2008.
- [21] Paul Holleis, Susanna Paasovaara, Jonna Hakkila: Evaluating capacitive touch input on clothes, Proc. of the 10th international conference on Human computer interaction with mobile devices and services, pp.81-90, 2008.
- [22] 師井聡子: 音だま:Sound Flakes, 日本バーチャルリアリティ学会大会論文集 Vol.9, A01, 2004.