

RFID を用いた浴室内行動計測の基礎検討

大西 諒^{†1} 平井 重行^{‡2}

浴室は毎日利用するスペースで健康管理やリラクゼーション応用が期待できるほか、入浴事故を防ぐための安心・安全の機能が求められるスペースでもある。我々は、このような様々な用途へ応用可能なユビキタス環境の実現に対し、浴室を対象として研究を行っており、これまでに浴槽を中心としたシステムを扱ってきた。本研究では浴槽外もユビキタス環境として実現するために RFID を用いて入浴者の行動計測を行う手法について提案する。これは、RFID が取り付けられた浴室内の物品の位置を浴室外から計測することで、入浴者が使用したものを計測するものである。本論文では、浴室での RFID 利用に関する基礎実験のほか、物品使用時間に関する被験者実験の結果をふまえ、提案手法の可用性について考察と検討を行った。その結果、13.56 MHz 帯のアンチコリジョン機能付き RFID であれば基本的に利用可能であることが確認できた。しかし、物品の種別や人による使用方法の違いなど、いくつかの課題についても確認できた。

A Experimental Study for Measuring Human Activities in A Bathroom Using RFID

RYO ONISHI^{†1} and SHIGEYUKI HIRAI^{‡2}

A bathroom is one of the spaces we use everyday. There are some applications in a bathroom, for instance, healthcare, relaxation, security for bathing accidents. Our research is focusing on a bathroom toward a smarthome as an ubiquitous computing environment, and we have made some bath systems with a bathtub. For completing a bathroom as a ubiquitous environment, we propose a method which measure bather's actions by items equipped RFIDs read from outside of bathroom. This paper describes fundamental experiments for responses and functions of RFID, and for time intervals that people have or hold items in a bathroom. This paper also describes investigations for the availability of RFID in a bathroom. According to result of experiments, 13.56 MHz RFID with anti-collision function is basically possible to apply for our purpose, and some issues are cleared.

1. はじめに

スマートホーム関連の研究は、その名称がよく利用される以前から、生体工学や福祉工学の分野では医療・健康管理を目的に生体計測機器や行動計測システムの研究として取り組まれている¹⁾⁻³⁾。最近ではユビキタスコンピューティングの概念⁴⁾が普及するとともに RFID や様々なセンサ類が安価で容易に利用できる状況となり、ユビキタス環境を実現する研究分野としても取り組まれている⁵⁾⁻⁸⁾。ユビキタス環境という位置付けでは、医療・健康分野に限らず、より様々な方向のアプリケーションを想定した基礎研究から応用研究まで様々な取り組みが行われている。基礎研究には、宅内における人間の生活行動計測や行動モデルの研究などがあげられ、応用研究としては日常生活の支援や他人とのコミュニケーションを促進するもの、生活行為そのものをより楽しむシステムの研究などがあげられる。

それら研究を住宅内の場所という面で見ると、電化製品やセンサ類が容易に設置可能な居間やキッチンに関するものが多く、水場である浴室は電子機器類を容易に設置できないという事情などから、入浴事故防止のための研究⁹⁾⁻¹¹⁾以外はあまり研究対象とされてこなかった。しかし、浴室はトイレと同様に日常生活で毎日利用される場所の 1 つであり、リラクゼーションの場などでもある。最近では、浴室用テレビやオーディオシステム、ミストサウナなどのアメニティ目的の浴室用機器が普及し始めたことなどから、住宅内の他の場所と同等のアプリケーションを想定した研究を行うことも可能と考えられる。

我々は、このような背景の中、浴室をユビキタス環境の 1 つと位置付けて研究を行っている。ここでは生体信号や行動のセンシング技術、サウンド・映像を用いたメディア表現技術などの要素技術の研究から、浴室事故防止などを目的とした安心・安全や、健康管理のほか、アメニティ・リラクゼーションといった生活を楽しむアプリケーション研究まで行っている。これまでの研究では、浴槽内の入浴者の動作や心拍・呼吸を計測して、インタラクティブにそれら情報をサウンド表現するシステムを構築した¹²⁾。これは、入浴者自らが楽しむアメニティ用途のほか、日常の健康管理や安全管理目的のモニタリング用途として浴室内外へ情報伝達する機能を持つ。しかし、このシステムは浴槽内を対象としており、頭髮や身体を洗っている浴槽外の場面は対象外であった。そこで我々は、浴室内をユビキタス環

^{†1} 京都産業大学大学院理学研究科

Division of Science, Graduate School of Kyoto Sangyo University

^{‡2} 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

境として補完するために、浴槽から出ている状態の入浴者の動作や行動の計測を行う手段として、浴室内の物品と RFID を利用することを提案する。これは、物品に RFID が付属しておれば、その位置を計測することで入浴者が使う物品を特定でき、「・・・を持ち上げた」「・・・を・・・へ置いた」といったプリミティブレベルの行動計測が可能であり、それらの情報をもとに「頭を洗っている」「身体を洗っている」などのメタレベルの行動推定を行うことへ発展させることも考えられる。また、これら物品の種類と使用タイミング、メタレベル行動推定結果などの情報に応じた様々なアプリケーションへ適用ができると考えている。

そこで本論文では、水場である浴室での RFID の可用性について定性的定量的に評価し、浴室内行動計測のための RFID タグおよび読み取り装置の適用方法について基礎的検討を行うことを目的とする。そのために、まずは実際の浴室で RFID 読み取り性能への湯水の影響について実験したのでその結果について述べる。また実際に人が物品使用にかかる時間間隔についても被験者実験を行い、先の RFID 読み取り性能と比較した。そのうえで、様々な浴室内物品と設置箇所に対し、行動計測へ向けた RFID の適用方法について検討を行い、議論する。以下、2 章では、浴室を対象とした先行研究と本研究の位置付けを述べるとともに RFID 利用の概要と意義について述べる。3 章では基礎実験に用いた浴室環境と RFID 設備について説明し、4 章では浴室で RFID を利用する際の基礎的実験とその結果について述べる。5 章で人が実際に浴室内の物品を利用する際の時間間隔などを実験した結果について述べ、6 章では RFID を用いた行動計測の可能性について議論し、7 章でまとめとする。

2. RFID を用いた浴室内行動計測の概要と意義

先にも述べたとおり、浴室は水場であるため住宅内の他の場所同様に電気機器を設置するのは容易ではないうえ、プライバシーも考慮されるべきでカメラ画像を利用するには道義上の課題がある。事故防止目的でカメラによる入浴者の動作検出を行う製品⁹⁾は存在するものの、画素数をかなり少なくして詳細を分からなくしているため、動作の有無以外の情報を得られず応用が難しい。また、画像センサを利用して呼吸情報を取得し、安否を確認する研究¹⁰⁾も存在するが、カメラ設置への心理的抵抗を課題としてあげている。ほかに、超音波を利用するシステムの研究¹¹⁾もあるが浴槽内に限られたものであり、我々が行った先行研究¹²⁾と同じ課題を持つといえる。

そこで我々は、カメラを使わず水場でも安心して利用でき、入浴者の行動に関するより具体的な情報を取得する手段として、RFID の利用を提案する。この提案手法は、パッシブ型の RFID タグ（以下タグ）が付属した浴室内の様々な物品の位置を、床下や壁裏など

の浴室外から計測することを基本としている。これは電源ラインを接続する RFID リーダ（以下、アンテナも含めてリーダと呼ぶ）は浴室外に設置するので電氣的な安全を確保しつつ装置自身の故障頻度を低く抑える利点がある。また、入浴者が使用する物品の種類（ID）が初めから得られるとともに使用タイミングがその瞬間に得られることから、画像センサなどに比べ計算コストをかけずに具体的な情報取得が可能という利点もあげられる。また、リーダを複数設置して様々な箇所物品の有無を検出すれば、物品の場所移動なども含めてより複雑な情報が得られ、様々なアプリケーションへ応用も可能である。たとえば、ライフログの情報源として利用するほか、メタレベル行動のし忘れ指摘（頭の洗い忘れ指摘など）、多数物品の場所をもとにした転倒事故検出、我々の先行研究¹²⁾のように行動をサウンド表現することで、他地点での行動把握、アメニティ・リラクゼーション空間の演出、お風呂嫌いな子供が楽しめる浴室の演出、などがあげられる。これらのアプリケーションは、例によってはメタレベルの行動推定技術が必要で、それは今後の課題ではあるものの、入浴者自身は身の回りの物品を通常どおり使うだけで新たな機器操作などを覚える必要がないことが特徴である。RFID を利用しているからこそ、自然なインタフェースとしてシステム利用ができることが利点であるともいえる。またこのことは、Weiser が提唱するユビキタスコンピューティングの元々の概念⁴⁾のうち「ユーザは自然に利用できること」につながることも我々は考えている。

さて、浴室で RFID を利用する際の基本的な課題としては、次の 2 点にあると考えることができる。

- 1) 水場における RFID の可用性（湯水の影響）
- 2) タグ読み取りのレスポンス時間と人が物品を利用する時間との関係

まず 1) については、水場でも利用可能な周波数帯の RFID 規格はあるが、実際にシャワーなどで水を利用している場面におけるタグ読み取りが可能であるか確認する必要がある。RFID を室内の環境および物品に適用して行動計測を行う研究^{6),7)}はあるが、リビングルームなどの空間を対象としており、湯水に関する RFID 読み取り性能などについて配慮する必要はない。また、経済産業省による RFID の実証実験¹⁷⁾では、薬品ボトルへの RFID 適用でボトル内の水分の影響を評価しているが、計測環境そのものが水場である場合の影響については評価していない。その点、我々の研究では計測環境自体に存在する湯水の影響を考慮しておく必要があるといえる。

次に 2) については、アンチコリジョン（複数タグ同時読み取り）機能を持つ RFID システムであれば、読み取り時のレスポンスが悪くなることが考えられるため、人の物品使用の

時間間隔との関係を確認しておく必要がある．本論文では 4 章と 5 章でこれら 2 つの課題に対する基礎的実験と検討を行う．次の 3 章では，そのための実験環境や利用機器などについて述べる．

3. 本研究の実験環境

本章では，4 章と 5 章で述べる実験で利用する浴室環境および RFID 設備などについて述べる．

3.1 実験用浴室

戸建住宅用で一般的に導入される 1 坪タイプ浴室 (YAMAHA リビングテック製 AX1616) を実験環境として用いた (図 1)．この浴室は，半分の面積が浴槽であり，残りが床となっている．壁には照明，鏡，シャワーフック (上下 2 カ所) があり，鏡の下にはシャワーとカラン (蛇口) の複合水栓，洗面器が置けるカウンタ，シャンプーボトルなどを置く棚がある．カウンタや棚，浴槽形状はメーカーや製品グレードによって多少違いはあるが，最近の浴室としては標準的な仕様である．

次に，浴室にある物品や設備としては，シャワーヘッド (以下シャワー)，カラン，洗面器，石鹸 (石鹸皿)，シャンプー類 (ボトル)，椅子，タオルなどである．この浴室でそれら物品が置かれる箇所は，床とカウンタおよび棚が中心であるため，リーダは床下とカウンタ内部に設置することとする．またシャワーはシャワーフックにかけておくことが多いため，シャワーフックの壁裏 2 カ所にもリーダを設置する (図 1 丸部分)．

3.2 RFID タグ・リーダ

本研究においては，RFID の周波数帯は 134.2 kHz 帯と 13.56 MHz 帯のものを使用して実験を行った．これらは，他の周波数帯の規格に比べ，水や金属の影響を比較的受けにくいことから浴室での利用に適しているといえる．

13.56 MHz 帯については，商品の流通・小売の管理で利用されつつある ISO-15693 対応のものとし，リーダはアンチコリジョン対応の製品である Welcat 社製 EFG-400-01 (図 2) を用いた．タグは Texas Instruments 社のもの (図 3) を用い，カウンタや棚に置かれる物品に貼り付けた．これは狭い範囲に多くの物品が配置される場合に，それらをすべて認識することを想定している．

また，134.2 kHz 帯については，リーダに Texas Instruments 社製 S2000 (図 4) とその対応タグ (図 5) を利用した．このリーダは，アンチコリジョン非対応だが，シャワーフックの場合はシャワーヘッドしか読み取る必要がないなど，アンチコリジョンの必要がない箇

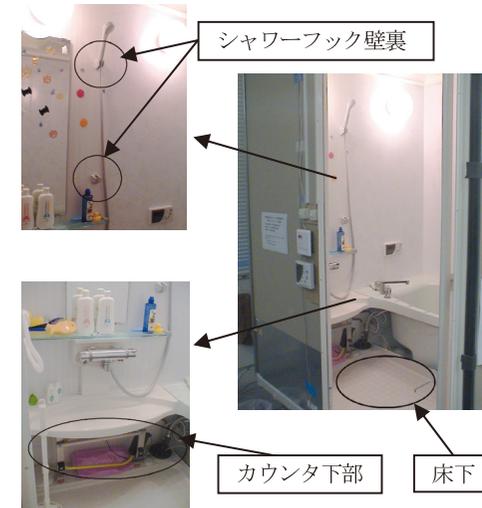


図 1 実験用浴室

Fig. 1 The bathroom for experiments.

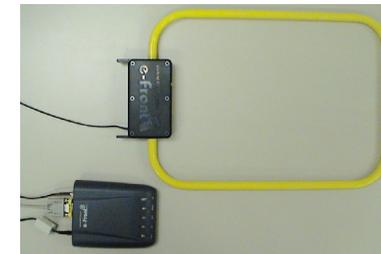


図 2 実験に用いた RFID リーダ (13.56 MHz 帯)
Fig. 2 RFID reader for experiments (13.56 MHz).

所で利用することを想定している．

リーダの設置場所については，S2000 をシャワーフックの上下 2 カ所，床下に 2 カ所 (カウンタに向かって前後の位置) 設置し，EFG-400-01 をカウンタ下部に 2 つ設置した (図 1 丸部分)．シャワーフック箇所の S2000 はシャワーの位置認識を目的としており，床下の S2000 は椅子の位置を認識する目的で設置した．EFG-400-01 は 1 つではカウンタ全域をか

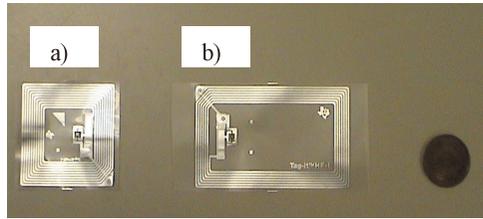


図 3 実験に用いた RFID タグ (右端は 10 円玉)

Fig. 3 RFID tags for experiments. a) Square type, b) Rectangular type.

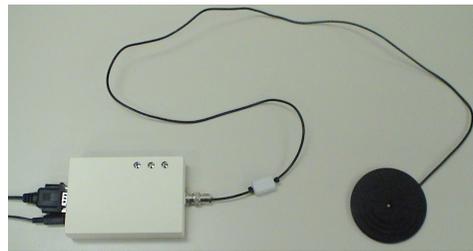


図 4 実験に用いた RFID リーダ (134.2 kHz 帯)

Fig. 4 RFID reader for experiments (134.2 kHz).

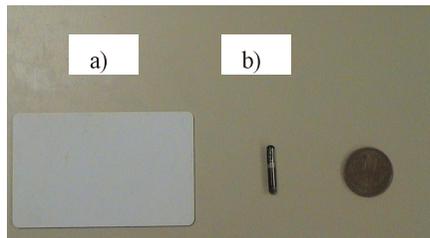


図 5 実験に用いた RFID タグ (右端は 10 円玉) a) カード型, b) ガラス封入型

Fig. 5 RFID tags for experiments (134.2 kHz). a) Card type, b) Glass type.

バーできなかったため 2 つ設置している。なお、これらの床下、カウンタ下部に設置したリーダは狭い範囲内にリーダが 2 つあり、読み取り範囲の性能上、同時に電波を放出すると電波干渉が発生する。この問題に対しては次節のソフトウェアで同時に電波を放出しないよう同期制御して問題を回避する¹³⁾。この手法を用いれば、狭い範囲内で少しずらした配置でリーダを複数設置すれば、物品の位置をより粒度を細かく認識できるようになるという利

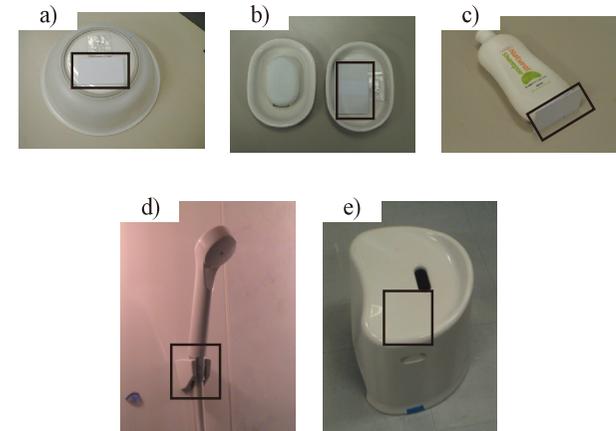


図 6 タグの装着物品 a) 洗面器, b) 石鹸皿, c) シャンプー, d) シャワーヘッド, e) 椅子

Fig. 6 Bath tools equipped RFID tag. a) Washbowl, b) Soap dish, c) Shampoo bottle, d) Shower head, e) Chair.

点がある。これは椅子の位置特定などに利用できることも確認できている。

タグについては、両方のリーダで物品の認識の動作確認ができるよう、両周波数帯のものを各物品に取り付けた。取り付けた物品は、洗面器、手桶、石鹸皿、シャンプー類のボトル、シャワーヘッド、椅子などである(図 6)。

3.3 RFID 制御システム

3.1 節で述べたリーダ設置箇所は 4 か所あり、3.2 節のリーダ 2 種類を統合して制御するシステムを構築した。PC (CPU: Core 2 Duo/2.13 GHz, OS: WindowsXP, メモリ: 2 GB) に、S2000 リーダを 4 台、EFG-400-01 リーダを 2 台 RS232C で接続して、ソフトウェア (C++ で開発) で様々な制御可能となっている。

図 7 に示す実行画面の上の画面では、認識した ID および ID に登録されている浴室物品の名称と画像が表示される。図 7 下の画面では、物品を含む行動計測結果と、その時刻を表示する。

このソフトウェアで行う処理は次のとおりである。

- 各リーダの動作 ON/OFF
- 認識タグと行動との対応付け
- タグおよび行動のロギング



図 7 浴室内行動計測用ソフトウェア

Fig. 7 Software for measuring bathing activities.

- タグの ID 登録
- タグの読みこぼし対応

これらの機能のうち、タグの ID 登録は、物品に新たなタグを取り付けてシステムで利用可能とするための機能であり、新たに認識したタグの ID と、物品名称および画像ファイルとを対応付ける。タグの読みこぼし対応の機能は、何らかの外乱により一時的にタグが認識できない場合もあるため、一定回数以上タグを認識できなかったときに、物品を手にとったと判断させる機能である。このシステムを用いて、シャワーなどの湯水がかかっていない

状態で各リーダを個別に動作させ、物品の基本的な動作確認を行った。個々の物品を読み取り範囲に置いたり、手に取ったりしてタグ認識や行動計測の動作確認を行ったところ、システムの基本機能の動作は良好であることは確認できている。

4. タグの認識レスポンス時間実験

3章で述べた環境と制御システムでは個別の動作は問題がないが、実際の入浴場面では、湯水の影響によるタグの認識レスポンスの違いや、アンチコリジョン動作時のレスポンスの違いなどがあることも想定できる。本章では、それらの影響を確認するための実験と結果について述べる。なおここで述べるレスポンス時間とは、制御用 PC からリーダへの読み取り制御命令を送信してから、認識したタグの ID を制御 PC が受信するまでの時間間隔を指すこととする。

4.1 134.2 kHz 帯 RFID への水の影響

水のない条件とある条件に対し、S2000 リーダを用いてタグのレスポンス時間を計測した。水のある条件については、リーダの読み取り範囲にタグを設置し、シャワーで湯水をかけている状態とした。各条件で 500 回ずつ計測を行った結果の平均と標準偏差を図 8 に示す。

図 8 では、レスポンス時間が水のない条件で 143.5 ms 程度、水のある条件で 144 ms 程度であり、ほとんど差がないといえる。また標準偏差もほぼ同様であることから、134.2 kHz 帯 RFID を入浴場面で利用しても安定したレスポンスが得られることが確認できた。また、平均レスポンス時間から考慮すると、人が物品を手にとって元に戻すまでの時間間隔が 150 ms を超えるのであれば、この周波数帯の RFID を用いた行動計測はほぼ問題なく可能であるといえる。具体的な時間の比較は次章で行うこととする。なお、水の有無によるリーダの読み取り範囲への影響についても調べたが、これについても影響は見られなかった。

4.2 13.56 MHz 帯 RFID のアンチコリジョンの影響

EFG-400-1 リーダを用いて、読み取り範囲内に複数タグを配置し、タグの個数によるレスポンス時間の変化について実験を行った。タグの個数は 1 個から 10 個までとし、各個数においては 500 回ずつレスポンス時間を計測した。なおタグはリーダの読み取り範囲内でランダムに配置した。各個数における平均時間と標準偏差の結果を図 9 に示す。

図 9 を見ると、平均レスポンス時間はタグの個数が増えても約 450 ms で飽和状態となることが読み取れる。標準偏差では、3 個と 5 個の場合に比較的值が大きく、タグの個数によってばらつきが大きくなるのではないことが分かる。これについて予備実験でいろいろ試した結果、アンテナ読み取り範囲でのタグの位置や、タグのコイルとアンテナの向きに応じて、レスポンス時間が不安定になることが確認された。実際の浴室での利用を想定するとタグ

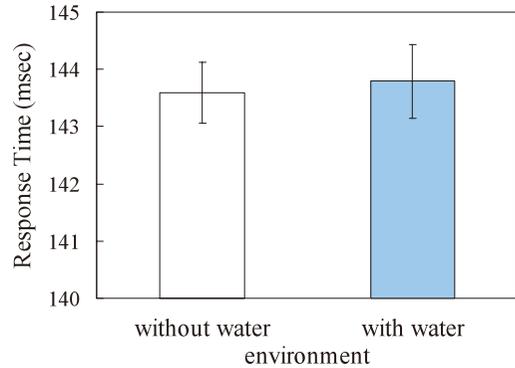


図 8 134.2 kHz 帯タグのレスポンス時間
Fig. 8 Response time of 134.2 kHz tags.

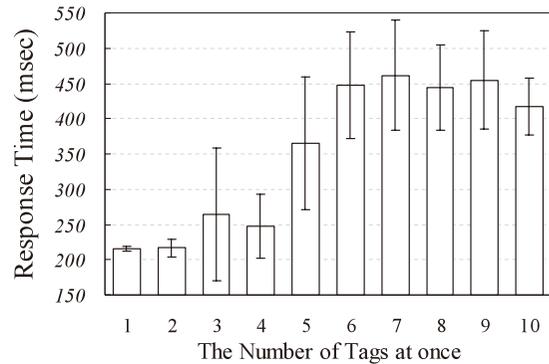


図 9 13.56 MHz 帯タグのレスポンス時間（複数同時読み取り）
Fig. 9 Response time of plural 13.56 MHz tags simultaneously.

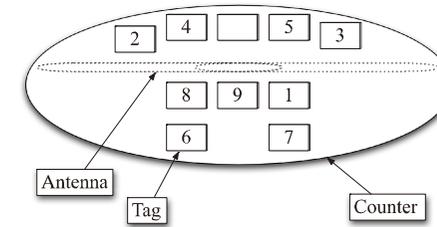


図 10 タグの配置
Fig. 10 Arrangement of tags.

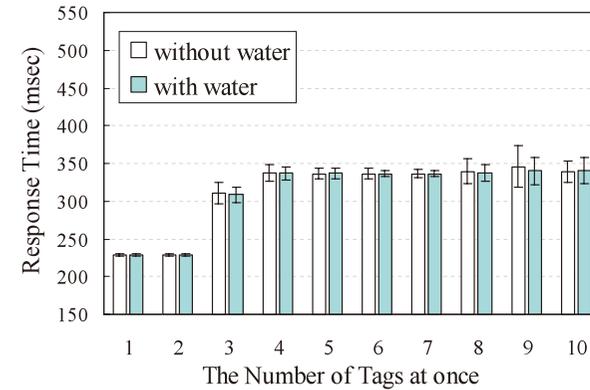


図 11 水の有無による 13.56 MHz 帯タグのレスポンス時間（タグ配置考慮）
Fig. 11 Response time of 13.56 MHz tags with/without water (Arranged tags).

の向きや位置は整列されているとは限らないため、アンチコリジョン機能に対してはレスポンス時間のばらつきが大きくなる方向で考える必要がある。図 9 から想定すると 10 個までの範囲でおよそ 600 ms 程度のレスポンス時間を見込んでおけばよいと判断できる。

4.3 13.56 MHz 帯 RFID への水の影響

次に、EFG-400-1 リーダを用いた際の水の影響について、4.1 節と同様の条件で実験を行ってみた。すると、タグに直接水がかかる状態で認識を試みたところまったく認識ができなかった。そこで、タグを 0.6 mm 程度の厚紙で挟み、直接水に触れないようにすれば認

識できることが確認できた。本研究で想定する RFID は物品のボトルなどの中に埋め込まれていることを前提としているが、物体表面にタグのアンテナがある場合には、13.56 MHz 帯のタグを利用することは難しい可能性がある。この点については今後の課題とし、本実験においては厚紙で挟んで防水加工を施したタグを利用することとする。また、水によってリーダーの読み取り範囲が 1 cm ~ 2 cm 程度狭くなることも確認された。そのためタグが読み取り範囲の境界付近に位置する場合にレスポンス時間が不安定となる。ここで、配置の問題を極力避けた場合の水の影響を確認するため、複数タグを読み取り範囲内で安定して認識できる配置（図 10）にした場合のレスポンス時間を各 500 回計測した結果を図 11 に示す。この図からは、水の条件に関係なく、どの個数も標準偏差が小さく、平均レスポンス時

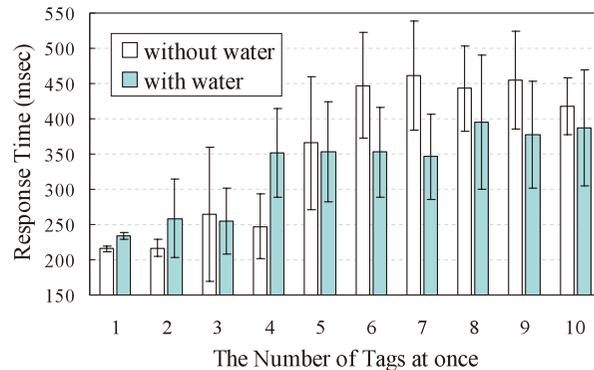


図 12 水の有無による 13.56 MHz 帯タグのレスポンス時間 (ランダムなタグ配置)

Fig. 12 Response time of 13.56 MHz tags with/without water (Random arranged tags).

間についても個数が増えても 400 ms 程度で済むことが分かる。

次に、読み取り範囲内で複数タグをランダムに配置した場合について、レスポンス時間を各 500 回ずつ計測した結果を図 12 に示す。なお、この図では水がない条件は図 10 と同じデータである。

図 12 を見れば、水の条件に関係なく標準偏差の値はあまり差がないといえる。図 11 に比べて図 12 のほうが標準偏差の大きくなっているのはタグの配置がランダムであるからといえる。ただ、水がある場合について、平均レスポンス時間が図 11 と図 12 であまり変わらないため、配置は平均的に影響がないことが読み取れる。なお、図 12 の水の条件による平均レスポンス時間の違いについては、タグの加工の違いが影響していると考えられるが、原因については分かっていない。

4.4 レスポンス時間に関する結果と考察

4.1 節の実験結果からは、134.2 kHz 帯の RFID では水の有無にかかわらず 150 ms 程度の安定したレスポンス時間が得られることと、リーダの読み取り範囲に水は影響しないことが確認できた。このことから、実際の浴室で物品による行動計測に利用する場合は、タグが 1 つしか認識できないものの安定して物品の位置や有無を計測することができるといえる。

4.2 節および 4.3 節の実験結果から、13.56 MHz 帯のタグは直接水に触れる状況では利用が難しいことが判明した。しかし、直接水に触れないよう多少の加工をすればこの問題がなくなることも確認できた。このことより、この周波数帯のタグを利用する場合は、物品への

タグの取り付け方もしくは埋め込み方に依存することとなる。タグが直接水に触れないという前提で、アンチコリジョン機能を利用する場合には、水の条件に関係なくレスポンス時間の平均とばらつきを考慮しておよそ 600 ms 程度あればタグは認識できるといえる。ただし、水によってリーダの読み取り範囲が 1~2 cm ほど狭まることも分かり、浴室で利用するには読み取るべき範囲とアンテナの設計について注意が必要といえる。

一方で、本研究のシステムでは、近い位置にアンテナを複数配置する際に、電波放出の同期排他制御を行う機能を持つが、この機能を利用する場合、レスポンスは同期制御対象アンテナ数の倍だけ時間がかかることになる。たとえば、2 本のアンテナを設置する場合には、おおよそ 1,200 ms 程度で対応領域のタグ認識が可能ということが出来る。

5. 浴室内物品の使用に関する被験者実験

5.1 浴室内物品の使用時間計測

4 章の実験によるタグのレスポンス時間をもとに、本研究のシステムで浴室での行動計測が可能かを検証するため、実際に人が浴室内の物品の使用する際の時間 (物品を手にとってから、元の位置に戻すまでの時間) を計測する被験者実験を行った。実験で用いた物品と各物品に対する行動を表 1 に示す。シャンプーボトルはふたを開けてボトルを逆さまにして中身を出すタイプ、洗顔石鹸チューブはふたを回して開けるタイプ、鏡は手に持てる小型のものである。スポンジおよびタオルについては本研究の実験で利用しているタグのような形状では取り付け利用することは困難であるが、浴室内で利用する重要な物品であることから、一応実験に含めることとした。行動自体は実際に湯水やシャンプーの中身を使わず、各物品を持っての素振りとした。被験者は 16 名 (内訳: 20 代男 8 女 1, 30 代女 1, 40 代男 1 女 3, 50 代男 1, 60 代男 1) で、各行動は 10 回ずつ行ってもらった。各行動にかかった時間の平均と標準偏差を図 13 に示す。なお、シャンプーボトルは 15 名の結果であり、1 名は「自宅で使用しないためイメージがわからない」とのことで計測を行わなかった。また、同様の事情によりスポンジは 3 名の結果、タオルは 12 名の結果である。その他は 16 名の平均と標準偏差となっている。

図 13 を見ると、平均時間がどれも 2,000 ms を超えていることが分かる。4 章の結果からどちらの周波数帯の RFID についてもレスポンス時間は大きく見積もっても 600 ms 程度であることから、1 台のリーダを使う、すなわち浴室内の 1 つの箇所ですべてのリーダだけを設置して物品の認識をする場合は、どの行動も計測することは可能といえる。しかし、カウンタ上の物品や床下などは複数のリーダを利用することが考えられるため、リーダを 2 台用いる

表 1 使用物品と動作
Table 1 Items and actions.

使用物品	動作 (素振り)
洗面器	お湯をかぶる
シャンプーボトル	a)ふたを開けて中身を出す b)ふたが既に開いている状態で中身を出す c)物品を確認する
洗顔石鹸チューブ	a)ふたを開けて中身を出す b)ふたが既に開いている状態で中身を出す
コップ	湯水を口に含む
鏡	手にとって顔を映す
スポンジもしくはタオル	a)両腕を洗う b)体を洗う
シャワー	a)シャワーを軽くあびる b)浴槽をぬらす

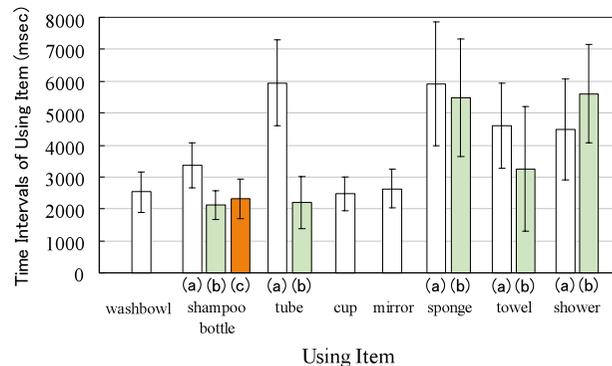


図 13 物品の使用時間

Fig. 13 Durations of using items.

とすれば 1,200 ms 程度のレスポンス時間と考える必要がある。その場合は、洗顔石鹸チューブ b) やシャンプーボトル b), c) の行動などの平均時間が 2,000 ms 程度の行動は計測できないケースが出てくることが考えられる。ただ、600 ms 程度と見積もる必要があるのはタグが 4 ないし 5 個以上の場合であり、それに満たない数の場合には問題にはならないといえる。

5.2 被験者からの浴室内物品に対する意見

被験者実験の際、実験に利用した物品や浴室内の行動についてアンケートも行ったので、その結果についてまとめる。シャンプーボトルについては、実験のものと同様のボトルを自宅でも普段使っている被験者は 1 名で、その他の 15 名はプッシュポンプタイプのボトルを使用しているとの回答を得た。ポンプタイプは比較的大型であり使用する際に移動させることはないとの回答を 14 名から得ている。1 名は使う際に実際に移動させることがあるということから、その移動時間を計測すると平均 2,249 ms (標準偏差 430 ms) であった。これは通常のボトルと同等の時間であり、ボトルを移動させる場合にはボトルの形状による時間差はないといえるが、1 名のみデータであるためこれについてはさらに多くの該当する被験者で実験を行う必要がある。シャワーについては、5 名の被験者が自宅ではシャワーヘッドを手にとらずシャワーフックにかけたままシャワーを浴びると回答している。この場合、シャワーヘッドの移動による行動計測は不可能だが、そのような場合には、流量センサなどでカランの操作を記録するか、給湯器の動作情報を取得する¹²⁾ などの手段を用いる必要があるといえる。

鏡については、今回あえて被験者実験およびアンケートを行ったが、15 名から「自宅の浴室では鏡は壁にかかっており固定」との回答を得ている。小型の置き鏡などの物品がない場合は本研究の対象外となるため、別途様々な家庭での浴室内物品の調査を行う必要があるといえる。

タオルについては、1 名から「タオルを浴槽蓋の上に置いている」との回答を得た。一般的にはタオル掛けに掛けるか、棚に置く、洗面器に入れてカウンタや床に置くなどであると考えられ、それらの箇所を読み取り範囲に含むリーダがあればよい。浴槽蓋の上については、リーダ設置が困難だといえる。

6. 浴室での RFID 利用に対する検討

4 章および 5 章の実験結果などから、RFID を用いて浴室で行動計測することに対して検討する。

まず、134.2 kHz 帯の RFID について、今回の実験ではアンチコリジョン機能がない製品を利用したため、タグ 1 つのみ認識という制限があったが、リーダの読み取り範囲やタグのレスポンスなどは水の影響がほとんどなく安定して利用可能であった。このようなアンチコリジョンがない RFID を導入した場合でも、シャワーフック付近のようにシャワーヘッドのみを認識すべき箇所などに利用することができる。レスポンスについては 150 ms 程度と

13.56 MHz 帯に比べて短く、5章の被験者実験の結果をふまえると、どの行動についてもタグを適用可能といえる。

次に、13.56 MHz 帯の RFID については、4章の実験からタグが水に直接触れると認識できなくなることが判明した。0.6 mm 程度水から離すようタグを加工すれば認識できることも確認されたが、実用上はこのように直接水に触れない形でタグが物品に付属するという条件が課されることとなる。しかし、その条件がクリアされれば、水場であっても複数タグ同時読み取り時には 600 ms 程度のレスポンス時間を見込んでおけばよいことが実験結果から確認できた。この 600 ms は 4 個以上のタグを同時読み取りする場合であり、カウンタや棚などは 1 カ所でそれ以上の数の物品が置かれることが多いと想定できるので、そのような場所で RFID を利用しても問題ないといえる。3 個以下のタグ同時読み取りについては、より短いレスポンス時間として見込めるので、浴室内で 3 個以内の物品が置かれる領域があれば、それに応じた使い方が可能である。ただし、この周波数帯の RFID については、水の影響によって読み取り範囲が多少狭まることも確認されたため、読み取り範囲の設定には注意が必要である。それには、リーダのアンテナ形状や出力を最適化するか、本研究の実験用システムで実装したような形で既存のアンテナを複数設置して同期排他制御で読み取り動作を行う、などの案があげられる。後者については、見かけ上、その領域のレスポンス時間がアンテナ数の倍となる。そのため、5章の被験者実験による行動時間と比較すると、近くに設置可能なアンテナの数はせいぜい 2 つか 3 つであることが分かる。また、タグの位置や向きによって読みこぼしが起こることも確認されている。それをフォローするためには、複数回の読み取り結果から物品の有無や移動の判定を行うような仕組みにする必要がある。本研究のシステムではこの設定機能はすでに実装されているが、タグの認識レスポンスとしては先のアンテナ数の話と同様に読み取り回数分だけ長くなるということになり、システム設計上注意が必要である。

ここで、これら 2 つの周波数帯のタグが実際にどの時点で物品に付与もしくは埋め込まれるかを考慮すると、134.2 kHz 帯の RFID は低速な通信速度や通信距離が短いことなどを理由に商品の小売り管理などの目的では今後利用される見込みは少ない。そのため、この周波数帯の RFID については浴室での利用は技術的に可能であっても、本研究が想定する状況としては実用上困難ともいえる。また、13.56 MHz 帯については、商品の小売り管理ですでに使われ始めており、今後は商品製造時から個品に取り付けられる商品の増えることが想定できる。流通管理目的の RFID は今後 UHF 帯が主流となりつつあるが、これは個品単位で適用せず梱包した段ボール箱やパレットなどの管理で利用される¹⁷⁾。これが様々な

浴室物品に適用されれば、購入後そのまま浴室に置いて利用できることとなる。ただ、タグが付与されてない物品であったり、KILL タグ機能が適用されて RFID が無効となった物品については、行動計測を行うために浴室利用者が独自にタグを貼り付ける必要が出てくるといえる。この場合、自分でタグの導入や管理をする手間が発生するため、システム利用としては少々困難な状況になるとも考えられる。

さて、5章の被験者実験時のアンケートからは、シャンプーボトルの問題などが浮き彫りになった。ポンプタイプを利用する人はボトル自体を動かさない人がほとんどである。またシャワーについてもシャワーヘッドは特に動かさずにフックにかけたままシャワーを利用する被験者もいた。これらの状況では RFID を利用しても物品利用を検出することはできない。何か別の手段で利用時を検出する必要があるといえる。そのほか、タオルの問題など細かな話はいくつもあるが、シャンプーボトルやシャワーの問題以外には、基本的には RFID を利用して浴室内の行動計測は可能であると考えられる。ただし、様々な家庭における浴室内の物品の種類や使われ方の実態調査を行って、本研究のシステムがどの程度の家庭の浴室で適用できるのか確認する必要があるともいえる。

7. おわりに

本研究は、浴室における浴槽外での入浴者の行動計測とその応用を目的としている。そのうえで、本論文では RFID を用いて入浴者の使用物品から行動計測を行う方法について提案し、基礎実験とともに検討を行った。提案手法は、小売物品には将来的に製造・流通段階からタグが付属するものという前提で、壁裏や床下など浴室外部からタグの位置を計測し、それらの動き（物品の動き）から入浴者の行動を計測するというものである。我々の研究用浴室環境および RFID 制御システムを用いて行った基礎実験からは、13.56 MHz 帯のタグと水の関係が多少あったものの、複数タグや水の有無に関係なく、ほぼ問題なく浴室で利用できることが確認できた。また浴室内物品の使用時間の被験者実験の結果からは、ほとんどの行動に対して上記システム計測可能であることも確認できた。しかし、シャンプーボトルの種別やシャワーの利用実態など、いくつか課題も出てきており、RFID 以外の手段も必要な場面があることも判明した。その他の物品の種別などに対する被験者の指摘もあったことから、今後はより様々な家庭での浴室内物品の種類と置き場所や使い方に関する実態調査を行うことが必要と考える。

そのほか、本研究において現在計測する行動は「・・・を手にとった」などのプリミティブなものであり、「頭を洗っている」「身体を洗っている」などのメタレベルの行動については

処理していない。今後は認識した使用物品からメタレベルの行動推定ができるよう、行動モデリングの研究^{14)–16)}を行うほか、我々の先行研究¹²⁾のような安全・安心やアメニティ・エンタテインメント要素を兼ね備え持つユビキタスシステムやアプリケーションへ発展させていきたいと考えている。

謝辞 本研究は科学研究費補助金(若手研究(B)18700201)の助成を受けて実施された。

参 考 文 献

- 1) 中村：日常生活様態の計測・理解による自立的健康生活支援に向けて、バイオフィードバック研究, Vol.27, pp.8–17 (2000).
- 2) 大瀧, 鈴木, 佐川, 猪岡英二, 永富, 猪岡 光：身体活動量評価のための医療向け携帯型行動計測装置の開発, 日本機械学会東北支部秋季講演会講演論文集, Vol.2004, No.40, pp.251–252 (2004).
- 3) 澤井, 吉田：行動モニタリングによる住宅高齢者の体調不良検出アルゴリズム, 電子情報通信学会論文誌 DII, Vol.J87-D2, No.11, pp.2054–2061 (2004).
- 4) Weiser, M.: The Computer for The Twenty-First Century, *Sci. Am.*, pp.94–100 (1991).
- 5) Kidd, C.D., Orr, R.J., Abowd, G.D., Atkeson, G., Essa, I.A., MacIntyre, B., Mynatt, E., Starner, T. and Newstetter, W.: The Aware Home: A Living Laboratory for Ubiquitous Computing Research, *Proc. 2nd International Workshop on Cooperative Buildings, CoBuild'99* (1999).
- 6) 野口, 田中, 森, 佐藤：生活行動の対象としての住居内物体の RDF 記述に基づくセンシング空間状況検索システム, 電子情報通信学会技術研究報告, KBSE, Vol.104, No.725, pp.31–36 (2005).
- 7) 間野, シルバ, 山崎, 相澤：ユビキタスセンサとウェアラブルセンサによるユビキタスホーム内での行動判別と映像検索, 電子情報通信学会技術研究報告, IE, Vol.106, No.608, pp.65–70 (2007).
- 8) Aghajan, H., Augusto, J., Wu, C., McCullagh, P. and Walkden, J.: Distributed Vision-Based Accident Management for Assisted Living, *ICOST 2007*, pp.196–205 (2007).
- 9) 安藤, 森, 内田：動き検知センサ「風呂用心」, 三洋電機技報, Vol.33, No.3, pp.31–38 (2001).
- 10) 西浦, 中島：カラー撮像素子内蔵型 FG 視覚センサによるバスルーム監視システムの開発, 電子情報通信学会論文誌, Vol.J89-D, No.5, pp.1001–1010 (2006).
- 11) 大西, 阿部, 南保, 木村, 小越：超音波センサを用いた浴槽内での異常検知システム

の開発, 電学論 E, Vol.126, No.12, pp.662–668 (2006).

- 12) 平井, 藤井, 左近田, 井口：新たなアメニティ空間を目指した浴室一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).
- 13) 大西, 平井：RFID を用いた浴室での行動計測システムの改良, 情報処理学会研究報告, 2007-UBI-14, pp.17–22 (2007).
- 14) 森：「センシングルーム」における行動蓄積とパターン発見, 電子情報通信学会技術研究報告 AI, Vol.105, No.224, pp.41–44 (2005).
- 15) 青木, 大西, 小島, 福永：HMM による行動パターンの認識, 電子情報通信学会論文誌, Vol.J85-D-II, No.7, pp.1265–1268 (2002).
- 16) 山本：「異常行動」の計測と理解, ヒューマンインタフェース学会誌, Vol.9, No.1, pp.29–34 (2007).
- 17) 経済産業省による各業界の RFID 実証実験報告書.
http://www.meti.go.jp/policy/it_policy/tag/index.html

(平成 19 年 9 月 8 日受付)

(平成 20 年 2 月 5 日採録)



大西 諒(学生会員)

2007 年京都産業大学理学部コンピュータ科学科卒業。現在、同大学大学院理学研究科修士課程に在学中。RFID 等、センシング技術を用いた研究に従事。



平井 重行(正会員)

1995 年京都工芸繊維大学大学院工芸科学研究科博士前期課程修了。1997～2001 年(財)イメージ情報科学研究所研究員。1997～2003 年(株)KRI 研究員。1998～2001 年大阪大学大学院基礎工学研究科博士後期課程。現在、京都産業大学コンピュータ理工学部准教授。博士(工学)。サウンド・音楽やセンサを活用したインタラクティブシステム等の研究に従事。

ACM, 電子情報通信学会, 芸術科学会, ヒューマンインタフェース学会各会員。