

# 磁気センサを利用したトイレトーパーの利用状況監視システム

## Toilet Paper Monitoring System Using Magnetic Sensor

正木 洸太<sup>†</sup> 高橋 健一<sup>††</sup> 笹間 俊彦<sup>††</sup>

Kota Masaki<sup>†</sup> Kenichi Takahashi<sup>††</sup> Toshihiko Sasama<sup>††</sup>

<sup>†</sup> 鳥取大学大学院持続性社会創成科学研究科 <sup>††</sup> 鳥取大学クロス情報科学研究センター

### 1 はじめに

発達障害者に対するアンケート及びヒアリング調査 [1] によると自宅におけるトイレ利用の中で最も多い問題としてトイレトーパーの使い過ぎが挙げられている。この傾向は、様々な支援を必要とする人 (以下入居者) が入居する障害者支援施設にも見られ、トイレトーパーの使い過ぎやトイレトーパーを巻き取る行為に固執する入居者が存在する。その結果、施設内のトイレではトイレトーパー切れや巻き取った紙が床に散乱するといった状況が発生する。入居者の中にはメンタルヘルスの問題からストレスを感じやすい入居者が多く、トイレの状況にストレスを感じて異常な行動につながることもある。このため、トイレを管理することが重要とされているが、限られた職員では常にそのような管理を行うことは難しい。

トイレの利用状況を監視する研究として大嶋ら [2] は RFID タグと画像認識技術を組み合わせたトイレ行動検知システムを提案している。しかし、これらは計測器が大規模になり、施設の許容性から難しい。

そこで、本研究ではトイレトーパーに着目し、安価な磁気センサを用いたトイレトーパー利用状況監視システムを開発する。

### 2 システムの概要

本システムは計測器、送信機、監視サーバ、監視端末から構成される。図 1 にトイレトーパーの利用状況監視システムの概要を示す。

トイレトーパーホルダー (以下ホルダー) に計測器を取り付け、トイレトーパーの回転を検知する。トイレトーパーの回転を検知すると計測器と接続された送信機がその状況をサーバに送信する。サーバは送信機から送られてきたデータをもとに、トイレトーパー使用量の推定及び異常利用の検知を行う。職員は監視端末を介して監視サーバにアクセスすることで、トイレトーパーの使用量や異常利用が行われたかといったトイレトーパーの利用状況を確認することができる。

### 3 計測器

トイレトーパーの回転を計測するための計測器は、入居者にとって不快感を与えないものが求められる。例えば、住環境でのカメラでの撮影は心理的抵抗が大きく使用が難しい [3]。このため、計測器には心理的抵抗を与えないことが求められる。トイレトーパーの利用状況を計測する研究として、倉吉ら [4] は角速度センサをトイレトーパーの芯の内部に取り付け、角速度からトイレトーパーの回転速度や使

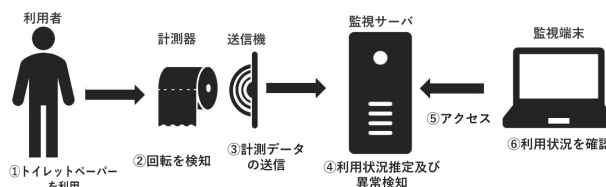


図 1: 利用状況監視システムの流れ

用量などを計測している。しかし、障害者支援施設には多くのホルダーが設置されているため、角速度センサなどの高価な計測器はコストの面で難しい。

そこで、本システムではトイレトーパーの回転計測にリードスイッチとネオジウム磁石を使用する。リードスイッチの大きさは 20mm、ネオジウム磁石の大きさは 3mm と小型であり、価格も安価である。また、トイレトーパーの回転のみを検出するため、トイレトーパーの回転以外の不要なプライバシー情報を取得しない。

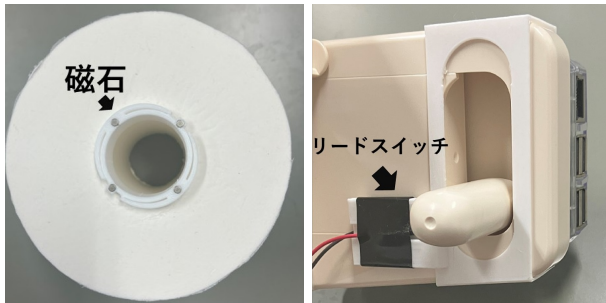
#### 3.1 計測器の設計

リードスイッチと磁石を用いたトイレトーパーの回転計測のために、磁石をトイレトーパーの側面に取り付ける。リードスイッチはホルダーに取り付け、トイレトーパーを回転させたときに磁石が通過する位置に設置する。トイレトーパーの側面の磁石がホルダーに取り付けたリードスイッチの上を通過することでトイレトーパーの回転を検知する。計測器はトイレトーパーに取り付ける部品とホルダーに取り付ける部品の 2 つから構成される。

トイレトーパーに取り付ける部品はトイレトーパーの回転に伴って一緒に空回りせずに回転する必要がある。そこで、トイレトーパーに取り付ける部品はトイレトーパーの芯の直径より少し大きくし、内側に曲げて取り付けることで空回りを防ぐ構造とした。磁石はトイレトーパーの芯から露出する部分の円周上に等間隔に 4 つ取り付けた。図 2(a) にトイレトーパーに取り付ける部品を示す。

ホルダーに取り付ける部品は TOTO 社のホルダーでの利用を想定し、ホルダー側面に挟みこむ形で取り付けるように設計した。ホルダーに取り付ける部品にはリードスイッチを取り付けるための溝を磁石が通過する場所に作成し、リードスイッチをテープで固定した。また、トイレトーパーの衝突によるがたつき

を抑えるための滑り止めを設けた。図2(b)にホルダーに取り付ける部品を示す。



(a) トイレットペーパーに取り付ける部品 (b) ホルダーに取り付ける部品

図 2: 計測器

### 3.2 送信機

送信機にはラズベリーパイ財団の Raspberry Pi 3 Model B+[5] を使用し、ホルダー側面外側に接着する形で取り付け。送信機の GPIO にリードスイッチを接続し、0.001 秒ごとにリードスイッチの状態を読み取り、磁石のリードスイッチ通過を検出する。リードスイッチを通過した時の時刻をホルダーの識別番号と共に監視サーバへ JSON 形式で送信する。

## 4 監視サーバー

監視サーバーは Web フレームワーク flask を利用し実装した。データベースには SQLite を使用した。送信機から送信されたホルダーごとに割り振られた識別番号と磁石がリードスイッチを通過した時の時刻を受信し、受信したデータをデータベースに保存する。

### 4.1 トイレットペーパーの利用状況分析

トイレットペーパーの使い過ぎやトイレットペーパーを巻き取る行為に固執する入居者が存在する。これによって、トイレットペーパー切れや、紙が床に散乱してトイレの床が汚れることがある。これらのことを検知するための準備として利用状況の推定を行う。

リードスイッチと磁石を用いた利用状況推定において、磁石を4個取り付け時の回転速度は、トイレットペーパーの巻き取り速度  $v$ 、通過した時間  $t_i$ 、トイレットペーパーの芯の半径を  $r_a$  とすると、以下の式(1)で表せる。

$$v = \frac{r_a \pi}{2(t_i - t_{i-1})} \quad (1)$$

回転速度を記録することでトイレ利用者のトイレットペーパーの巻き取り動作の特徴を得ることができる。

また、トイレットペーパーの利用を想定すると一度のトイレ利用時に複数回のトイレットペーパーの巻取りを行う。そこで、1回のトイレットペーパーの巻取りごとのデータに分割する。予備実験の結果、トイレットペーパーの巻取り時には1秒以内に次の磁石がリードスイッチを通過していた。そこで、リードスイッチ

の磁石の検知間隔が1秒以下の時は1回の巻き取り動作のものであるとし、間隔が1秒以下のデータをまとめたものを1回の巻取りデータと判定した。また巻き取り間隔が30秒以内であれば一度のトイレでのトイレットペーパーの利用だと判定することとした。これによりトイレを利用した時刻や1度のトイレ利用時に何回のトイレットペーパーの巻き取りを行ったかを記録できる。

### 4.2 トイレットペーパーの使用量推定

入居者の中には、トイレを利用する際にトイレットペーパーが切れていることで普段通りにトイレを使えずストレスを感じる入居者が存在する。このため、トイレットペーパーの回転を計測しトイレットペーパーの使用量を推定する。トイレットペーパーは渦巻き状に巻かれているが、半径の変化は微小であるためトイレットペーパーは円周の集まりとみなせる。トイレットペーパー半径が一回転ごとに均等に減っていくと仮定するとトイレットペーパーを  $x$  回転させた後のトイレットペーパーの合計使用量  $l$  は、巻き数を  $N$ 、1ロールあたりの長さを  $L$ 、トイレットペーパーの芯の径を  $r$ 、新品時のロールの直径を  $R$  とすると式(2),(3)で表せる。

$$l = 2\pi \sum_{a=0}^x (R - \frac{R-r}{N}a) \quad (2)$$

$$N = \frac{2L}{(R+r)\pi} \quad (3)$$

トイレットペーパーの規格から芯の径  $r$  は38mmと定まっている。また1ロールあたりの長さ  $L$ 、新品のロールの直径  $R$  は利用するトイレットペーパーによって予め決定できる。このため回転数  $x$  を計測することでトイレットペーパーの使用量を推定することができる。

### 4.3 トイレットペーパーの異常利用の検知

トイレットペーパーを巻き取る行為に固執する入居者が存在する。巻き取り後、紙がトイレの床に散乱してトイレの床が汚れることがあり、入居者のストレスにつながる。そこで、トイレットペーパーの巻き取り行為に固執する行為を異常な利用として検出する。巻き取りに固執する行為は普段のトイレを使うときの動作と異なると考えられる。そこで、普段のトイレを使うときの動作と異なる動作を異常として検知する。

普段のトイレを使うときの動作を調べるために、一回のトイレットペーパー巻き取り時間、回転速度、使用量を実験により確認した。実験では一般的なトイレと同じ便座位置とホルダーの配置を実験室内に再現し研究室に在籍している20代の男性10人を対象に行った。トイレットペーパーの残量の差による、物理的な回転の挙動の変化を含めて調査するため、新品、使いかけ、使い終わりの3種のトイレットペーパーを用意した。トイレットペーパーは泉製紙の100mのトイレ

トペーパーを利用した。利用したトイレトペーパーの新品時の直径は114.0mmであり、使いかけは直径77.0mmになるまで減らしたもので、使い終わりは直径46.6mmになるまで減らしたものを利用した。一回のトイレトペーパー巻き取り時間、回転速度、使用量を計測した結果を表1に示す。

表 1: 巻き取り時間 (s), 回転速度 (mm/s) 及び使用量 (mm)

ロールの種類		新品	使いかけ	使い終わり
巻き取り時間	最大値	4.13	3.34	4.06
	最小値	0.69	0.77	1.40
	平均値	2.32	2.13	2.37
回転速度	最大値	404.9	792.1	979.2
	最小値	42.5	37.4	52.8
	平均値	148.0	240.4	390.8
使用量	平均値	1054.5	923.3	857.5

使用時間の平均は2秒前半であり、最大値4.13秒、最小値0.69秒となった。新品、使いかけ、使い終わりのロールの直径による差はほとんど変化はなかった。また、回転速度はロールの直径が小さくなるにつれて大きくなり、逆に使用量は直径が大きくなるにつれて小さくなっている。

回転速度や使用量はロールの状態によって変化するため、ロールの状態による変化が少ない使用時間に着目して異常な利用の検知を行う。普段のトイレトペーパーの使用時間の最大は4.13秒であったため、5秒以上の巻き取りが行われている時を異常利用として扱うこととした。

#### 4.4 ユーザインタフェース

トイレトペーパーの利用状況分析の結果に基づき、トイレの利用状況を表示するためのユーザインタフェースを実装した。図3に本システムでのトイレトペーパーの利用状況確認画面を示す。トイレトペーパー

識別番号	トイレの概要	残量(%)	状態
1	一階男子トイレ(1つ目)	91	正常
2	一階男子トイレ(2つ目)	100	正常
3	一階女子トイレ(1つ目)	70	異常
4	一階女子トイレ(2つ目)	98	正常

図 3: トイレトペーパーの利用状況確認画面

の利用状況確認画面から設置しているトイレの場所、トイレトペーパーの残量、異常利用の発生が確認できる。これにより、トイレの個室を目視で確認することなくすべてのトイレの個室にあるトイレトペーパーの残量、トイレトペーパーの異常利用を監視端末から確認でき、異常利用時に速やかに対応することができる。

また、ホルダーごとに割り振られた識別番号をクリックすることでトイレの利用時間やトイレの利用頻度を確認できる(図4)。図4を見ると5月16日の18時44分、5月17日の13時44分と14時24分にトイレが使用されていることが分かる。

さらにトイレの利用時間をクリックすることで、一回のトイレトペーパーの使用時にどのようなトイレトペーパーの利用が行われたのかをグラフで確認できる(図5)。グラフはトイレトペーパーの回転速度が縦軸(mm/s)、巻き数が横軸の折れ線グラフで表示され、利用が具体的にどのように行われたのかを確認できる。

一階男子トイレ(1つ目)
使用した時間
2023-05-16 18:44:47.224763
2023-05-17 13:44:16.253833
2023-05-17 14:24:53.421827

図 4: 利用時間確認画面

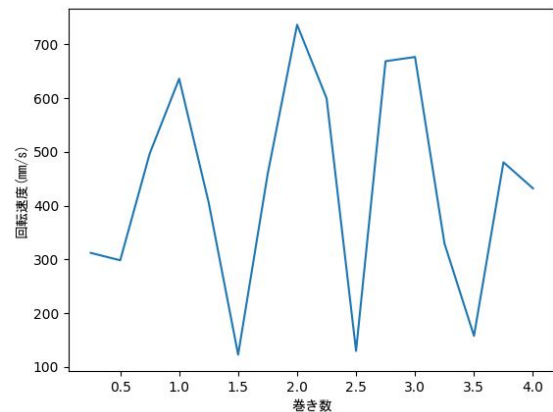


図 5: 一回のトイレトペーパーの利用状況確認画面

## 5 動作検証

### 5.1 トイレトペーパーの使用量推定

トイレトペーパーの使用量の推定精度を確認するための実験を行った。実際に使用した紙の長さは紙の変形などがあるため正確に計測するのは難しい。そこでトイレトペーパーが切れるまで回転させ、その時に推定された使用量と1ロールのトイレトペーパーの長さを比較した。

実験では1ロールあたりの長さが100mのトイレトペーパーを使用した。実験を3回行った結果を表2に示す。誤差は平均で1.23%であり、おおむね推定結果と一致した。芯の直径の規格には±1mmの誤差が許容されており、これにより誤差が発生したと考えられる。

表 2: 使用量推定の評価

	推定使用量 (m)	誤差 (%)
1 回目	101.39	1.39
2 回目	100.63	0.63
3 回目	101.68	1.68
平均	101.23	1.23

## 5.2 異常利用の検知

一般的なトイレと同じ便座位置とホルダーの配置を実験室内に再現し、普段トイレを使うときの動作と、巻き取る行為に固執する行為を再現した動作を5回ずつ行った。

実験の結果、巻き取る行為に固執する行為を再現した動作を行った後に利用状況確認画面の状態部分が正常から異常に変わっており異常利用を正確に検知できていた。一方、普段のトイレを使うときの動作を行っても利用状況確認画面の状態部分は正常から変化せず、誤検知が発生していないことを確認できた。

## 6 考察

4.3章の実験で20代の男性10人を対象に普段の巻き取り動作を行った個人によって巻き取り動作に傾向があることが確認できた。倉吉ら[4]は角速度センサを用いたトイレットペーパーの回転特性から個人識別する手法を提案している。磁気センサを用いた本研究においても、回転速度や使用量といった回転特性を得ることができており、この特性を利用することで個人識別が可能だと考えられる。また、トイレットペーパーの巻き取り動作が個人の健康状態によって変化する可能性がある。例えば、トイレ利用者が軟便の時には一回のトイレでの巻き取り回数の増加や一回のトイレットペーパーの使用量が増加する可能性がある。このためトイレットペーパーの巻き取り動作から健康状態を判断することで入居者の健康状態管理業務の補助する機能にもつながると考えられる。

## 7 終わりに

本研究では障害者支援施設での使用を想定した磁気センサによるトイレットペーパーの利用状況監視システムを開発した。本稿では、一回のトイレットペーパーの巻き取り時間が5秒以上を異常利用として定義した。しかし、実際のトイレットペーパーの巻き取りに固執する行為のパターンとしては何度も短い巻き取りを繰り返す行為なども考えられる。このため、実践の場で巻き取りに固執する行為を調査し、異常利用の検知方法を改善する必要がある。また、現在のユーザーインターフェイスでは定期的に利用状況確認画面を見る必要があり速やかに異常に気付けない可能性がある。このため、音声など画面を見なくても異常を職員に知らせることができるユーザーインターフェイスを検討する必要がある。

## 謝辞

本研究はJSPS 科研費 JP20K12078 の助成を受けたものである。

## 参考文献

- [1] 高橋儀平, 橋口亜希子, 生方 咲, 発達障害者のトイレ利用と改善方策に関する研究, 日本福祉のまちづくり学会全国大会, pp.1B-4(2018).
- [2] 大嶋政親, 沼尾雅之, パッシブRFID タグアレイを利用した非画像信号からの画像復元とトイレ行動検知システムへの応用, マルチメディア, 分散, 協調とモバイルシンポジウム (DICOMO2020), pp. 844-851 (2020).
- [3] 有賀玲子, 浦哲也, 定方徹, 田中智博, 小林稔, 照度センサを用いた住環境における生活状態パターンの抽出方法に関する基礎検討. ユビキタスコンピューティングシステム (UBI), Vol. 2013, No. 58, pp. 1-6 (2013).
- [4] 倉橋真也, 村尾和哉, 寺田努, 塚本昌彦, トイレットペーパーの回転に基づくトイレ使用者識別手法. 情報処理学会論文誌. Vol. 58, No. 1, pp.237-248 (2017)
- [5] Raspberry Pi - Teach, Learn, and Make with Raspberry Pi. <https://www.raspberrypi.org>.