

RFID タグを用いた排尿検知の可能性評価研究

重松博之 西尾俊文 倉橋真司*

Research of Urination Sensor by Measurement of Moisture Value
Using a RFID tag for time to replace of a Diaper

SHIGEMATSU Hiroyuki, NISHIO Toshifumi and KURAHASHI Shinji

高齢者が感じる衣食住の不安や不満、不快など「不のつく言葉」の解消に向けて、排尿検知システムによる排尿量と RFID タグ受信感度分布との関連性について、排尿検知システムを用いて人体ファントム及び人間を対象に実験を行った結果、紙おむつ RFID タグ受信感度から排尿時間と排尿量などを概ね推定できることが分かった。本システムの利用により、排尿パターン並びに、排尿量を把握する事が可能となり、排泄ケアの QOL (Quality of Life) 向上が可能となる。また、排尿パターン・排尿量の把握により排尿量に合わせたおむつの選択などコストダウンが可能となり、排尿介護のより効率的運用等に貢献できる。

キーワード：RFID、シミュレーション、排尿検知、紙おむつ、介護

はじめに

本研究では、RFID を利用した排尿検知システムの開発のため、RFID の形状と通信感度の関連性を評価し、シミュレーション解析を行い、排尿検知システムの開発を行った。また、本システムの有効性を測るため、県内紙おむつ製造メーカーの紙おむつに人工尿として生理食塩水を注入し、リーダ・ライタ RFID タグの読み取り実証実験を行ったので、報告する。

実験方法

1. RFID における排尿測定の実験

図 1 に示す様に、RFID タグが周囲環境により送受信の強度（信号レベル）が変化する性質に着目し、紙おむつに付与し通信させ、その状態（排尿があったか）を非接触で検知する。



図 1 RFID における排尿測定の実験図

2. シミュレーション解析のための人体とオムツ及び RFID のモデル作成

(1) 使用ツール

電磁界解析には、電磁界理論解析システム CST STUDIO SUITE2010 (CST 社) の MW STUDIO と DESIGN STUDIO を用いた。MW STUDIO は、解析対象の構造を微小区間(メッシュ)に離散化し、有限積分法を用いた演算を行う。メッシュを微細化すれば解析精度は高くなるが、メモリや計算時間等の解析装置への負荷が上昇する。また、DESIGN STUDIO には回路シミュレーション機能が含まれているため、適宜活用することで回路構成素子側の視点から解析ができる。

(2) RFID タグアンテナの解析

本システムで用いる RFID タグ ALN-9730-WRW (Alien Technology) のシールサイズは 47.5×13.4mm で、試したタグの中では中くらいのサイズになる。この RFID タグは、給電点に Higgs-4 という IC チップを搭載しており、Higgs-4 IC チップを搭載したタグアンテナのシミュレーションでは、図 2 に示す構成を適用した。

最初に MW STUDIO で平面波に見立てた Waveguide Port(TEM モード)と取り込んだアンテナポート

* (現)経済労働部産業創出課

この研究は、「平成 25-27 年度戦略的試験研究事業(高齢者の生活の質向上ビジネス促進事業)」の予算で実施した。

に設置した Discrete Port (50Ω 終端) 間での S パラメータを解析し、リーダの使用周波数 920MHz 付近でのタグアンテナの共振周波数を確認した。ズレがあった場合、シミュレーション上で出来るだけ 920MHz で整合が取れるように、DESIGN STUDIO で回路素子のコンデンサ容量を変化させ、アンテナポート部でのタグの受信電圧特性の変化を確認して、タグ IC 等価回路の最適化を行った。

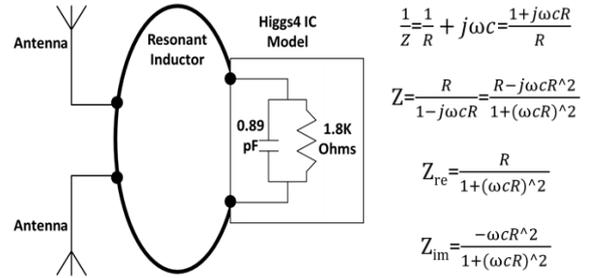


図 2 Higgs-4 使用した RFID タグモデル構成

(3)モデリング

モデルの全体構成は、人体、おむつ、RFID タグ、底板(ベッド)とした。実測ではタグ 28 枚を横置きで連ねて帯状にしておむつ股部に貼り付けているので、モデリングではタグをおむつに沿って曲げる操作が必要となるが、CST STUDIO ver2010 ではこの CAD 操作はできない。そこで、CST STUDIO の日本代理店である(株)AET の協力で、「ver2016 評価版」を用いてタグをアレイ化しベンディング操作を行った。この SAT データを ver2010 で import させ、各タグアンテナ終端に前項で得た整合等価回路の値を入力した Lumped Element (回路定数が指定できる励振ポート)を設置していった。これらにより、ベースとして作成した全体モデルの外観を図 3 に示す。

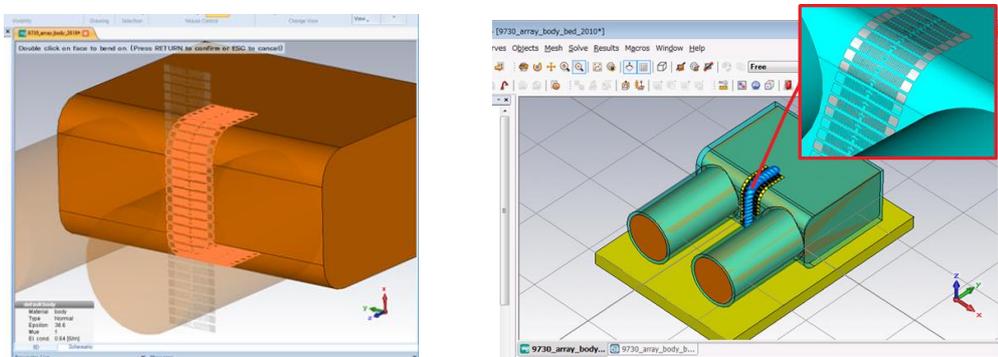


図 3 タグアレイのベンディング(左)と ver2010 での全体モデル(右)

3. 排尿検知システムの開発

(1)ソフトウェア仕様

ソフトウェア仕様について検討し、以下の通り開発を行うこととした。

- i)据置型 920MHz 帯 UHF リーダライタを外部 PC からネットワーク上で制御できること
- ii)制御項目は送信出力、アンテナ、交信シーケンス、タイムアウト値を設定制御できること
- iii)RFID タグとの交信は、時間間隔を設定することで自動的に交信する機能を有し、交信結果については、タグ毎に電界強度レベルで表示できること
- iv)アンテナは 4 個まで接続可能であることから、交信結果も 4 パターン表示できること
- v)タグの配置パターンをグラフィック表示し、交信結果毎に表示が更新できること
- vi)制御項目や設定項目及び交信結果を Microsoft Excel に保存できること

(2)データ収集方法

送信間隔、コマンド、シーケンス、アンテナ、タイムアウト、付加情報を入力指定後、データ収集結果を保存する Excel ファイルを指定し、次に、[スタート]ボタンで、データ収集を開始する。[ストップ]ボタンでデータ収集を終了し、画面に表示されたデータ収集結果が指定した Excel ファイルに保存される。

本システムによる出力結果を図 4 に示す。

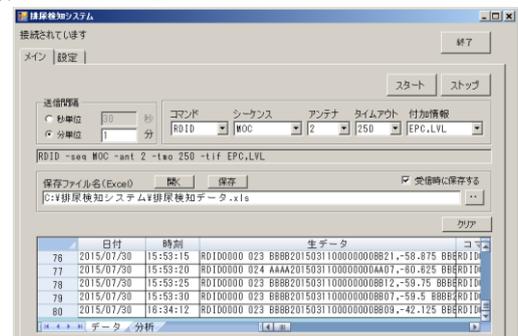


図 4 排尿検知システム出力結果

4. ファントムによる実験

(1)ファントムとは

人体の筋肉の 3 分の 2 の値を目標に作製されたものである。成人をモデルにした、人体腹部から大腿部を模擬した 2/3 筋肉等価ファントムに RFID タグを張り付けた成人用おむつを着用させ、尿の代わりに生理食塩水を注入し、RFID タグの特性変化を測定した。図 5 に実験方法を示す。



図5 ファントムによる実験方法

(2)実験用紙おむつについて

図6は実験対象紙おむつの外観で、パッドタイプはK社のおむつ いちばんビックパッド(32×62cm、吸収量目安:約840cc)とした。



図6 実験用おむつの外観



図7 RFIDリーダライタの外観

(3)RFIDリーダライタ

RFIDリーダライタは、オムロン(株)製のV750-BD5004-JPを使用した。外観を図7に示す。

(4)ICタグについて

タグにはAlien Technology社の「ALN-9730-WRW」を使用した。タグの配列は図8に示す様に、縦方向に28枚のタグを貼付け、マジックテープにより紙おむつの中央部に貼付けて計測を行った。



図8 タグシートの外観

5. 人体による実証実験

実験風景を図9に示す。マジックテープ上にRFIDタグ(28枚)を貼りつけたタグシートを、おむつ表面に貼付け、人体におむつを装着してメッシュパンツにて固定した。ベッドに横たわった状態で生理食塩水を150cc及び200ccずつ注射筒で、総量として600ccを注入した(150ccでは4回、200ccでは3回)。生理食塩水を注入した時の通信レベルを排尿検知システムにて測定を行った。



図9 人体による実験風景

結果と考察

1. シミュレーション解析結果

(1)アンテナタグ単体での解析

タグ単体の性能確認で行った「濡れたものを周辺に置いた場合」のシミュレーション結果の概要は次の通りである。

i)背面が全面濡れた状態における受信感度比較(@920MHz)

全てのアンテナにおいて放射が阻害されたが、大きなアンテナの方が変化量は少ない結果となった。これは、実測で大きなアンテナの方が濡れた時でも比較的読める傾向と一致していた。また、小さいアンテナは感度が高いとも言える。

ii)部分的に濡れた場合の受信感度比較(@920MHz)

背面に設置した濡れ部分がアンテナに少しでも掛かると、放射が著しく低下したが、濡れ部分が直近でもアンテナに掛からない場合は、ある程度は放射される結果となった。

次に実験方法2(2)で述べた解析(タグはALN-9730-WRW)を行った結果、アンテナの共振周波数は

1080MHz 付近にあったため、モデルでは、タグ単体でリーダの周波数 920MHz で整合するよう等価回路探索を行った。その結果が図 10 で、得られた回路素子を用いて Plane Wave (左旋円偏波設定) と Lumped Element を使ってタグ IC での受信電圧を確認した結果が図 11 である。

回路素子のコンデンサ容量値を変化させた結果、0.85→1.1pF とすると 920MHz での感度が一番高くなり、この値は Plane Wave と Lumped Element を用いたモデルでも 920MHz で整合し、妥当なものであることが確認できた。

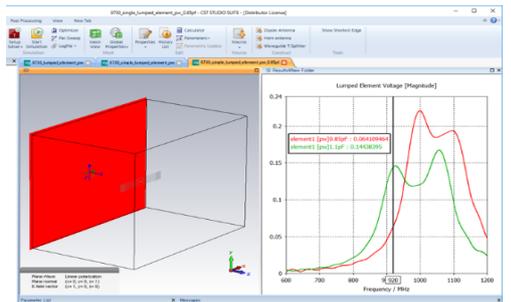
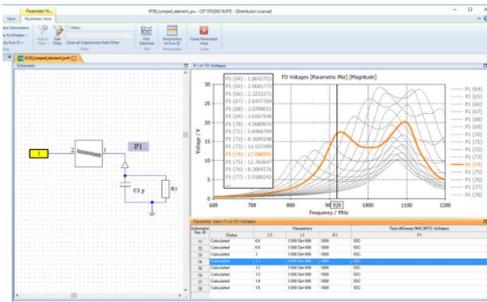


図 10 DESIGN STUDIO での等価回路探索 図 11 Plane Wave と Lumped Element 確認

(2)モデル全体での解析

最初に RFID タグを設置しない状態で、背面側から平面波を入射した際の電界強度分布解析結果を図 12 に示す。これを見ると、股の下側部分、特に背面に向かう角部分の電界強度が強く、股の中央付近からは弱くなっていることが分かる。実測では、図 3 に示す配置で 28 枚のタグを使用したが、おむつが濡れていない状態で前側半分のタグは殆ど検知されておらず、この電界強度分布結果と整合していると言える。一方、おむつの濡れと受信状態の関係は、先に示したように、タグ背面に濡れた物体が少しでも掛かると受信感度が著しく悪くなるので、実測でタグ背面のおむつ濡れ部分の増加に伴い、リーダで読めなくなるタグが出てくることは、モデル上では、おむつを適当に分割し、当該タグ背面に濡れ部分が掛かるように設定すれば、タグ IC での受信電圧の著しい低下という形で表現できる。

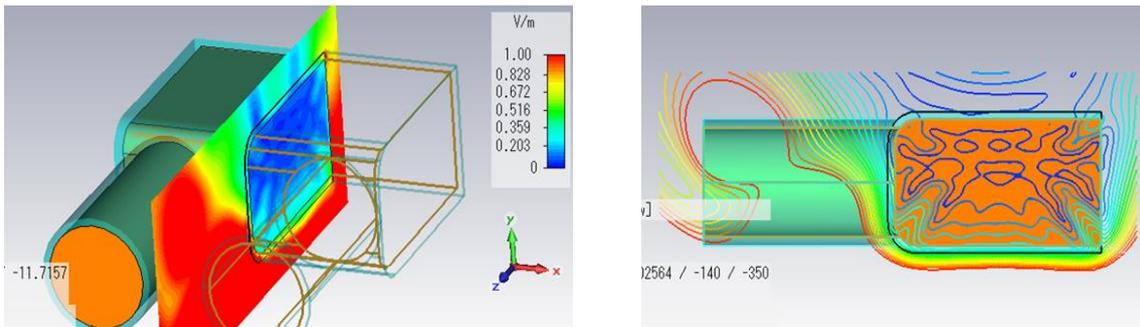


図 12 人体のみのモデルに背後（下側）から平面波照射した結果

最後に、RFID タグを配置した全体モデルの演算結果（おむつ濡れ無し、中空のベッド(見なし空気)）を図 13、14 に示す。簡略化のため、モデルでは股の部分を平らにしているが、実際に人間がおむつを付けた場合、この部分には屈曲が生じ、これらを修正すれば実測との整合性はもう少し良くなると思われる。なお、タグ 28 枚のモデルではメッシュ数が 6 千万超となり、使用した解析端末の能力では演算に 5 日以上要するため、5 枚ピックアップシケースタディを実施した。故に、隣り合うタグの影響を反映できていない部分もあり、図 13 の絶対値は変わってくる可能性があるが、実測との比較から相対的な強弱関係は概ね掴めていると思われる。また、周辺環境の考慮という面では、簡略化のため中空の底板(ベッド)としており、この部分を実際に近い形にモデル化することも必要となってくるが、構造の複雑化は演算時間の増大に繋がるので、構成物の効果的な簡略化は常に意識する必要がある。

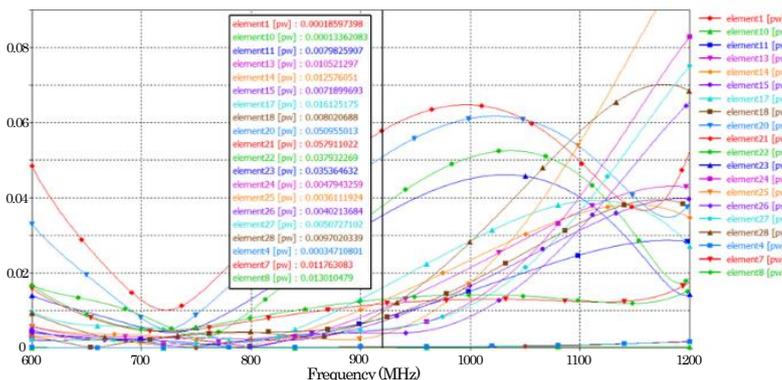


図 13 各タグポートでの受信電圧の比較 (※前側タグから昇順に付番)

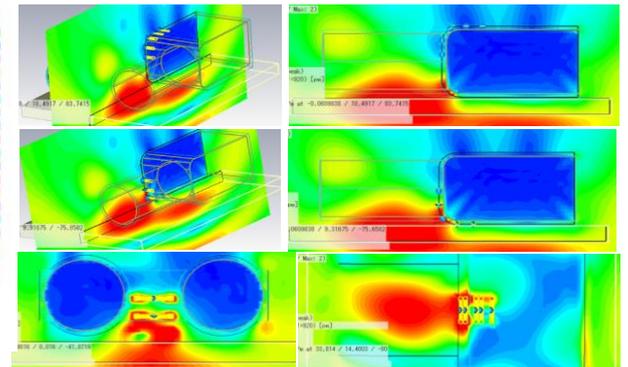


図 14 電界強度分布 (上:タグ上側5枚 中,下左:タグ下側5枚 下右:背面側5枚)

