

センサーネットワークを用いた服薬見守り (システム設計)

横石 雄大^{†1} 鈴木 詩織^{†2} 宮崎 圭太^{†1}
米村 茂^{†3} 羽田 久一^{†2} 三次 仁^{†1}
中村 修^{†1} 村井 純^{†1}

在宅療養における高齢者の服薬状況を遠隔から web を用いて確認できるシステム、および患者にフィードバックを送るシステムを提案する。このシステムは、患者が普段利用している薬箱に装着可能な小型・低消費電力の無線センサーを用いる事で情報の取得を行う事で、看護スタッフに過度な負担をかけない服薬管理を可能としている。さらに市販のデジタルフォトフレームを用い患者にメッセージを送信する事で、患者の見守られ感を実現している。

Medication Management Using Home Sensor Network Toward Expanding Home Health Care (System Development)

TAKEHIRO YOKOISHI,^{†1} SHIORI SUZUKI,^{†2}
KEITA MIYAZAKI,^{†1} SHIGERU YONEMURA,^{†3}
HISAKAZU HADA,^{†2} JIN MITSUGI,^{†1} OSAMU NAKAMURA^{†1}
and JUN MURAI^{†1}

This report proposes a pill prescription assistance system for home care patients using a combination of wireless sensor and web system. The system features automatic collection of the prescription status with a small and low power wireless sensor to detect the openings of patient's pill box. The collection can be done without imposing burden to patient as well as medical staff. A feed back system of the prescription status using digital photo frame is also developed. The feed back helps patient to notice their missing prescriptions and encourages regular prescription.

1. 序 論

本人が希望する場合、入院治療を在宅療養に変えていくためには、病院で提供している機能を、自宅でも実現する必要がある。病院で提供する代表的な機能としては、医師や看護師等医療スタッフによる定期的な診察・ケア、ナースコールなど緊急時の対応、服薬管理、食事を含めた生活管理に加えて医療機器、設備がそろっていることがあげられる。高価な医療設備が必要な場合や、医療スタッフによる継続的な診察・ケアが必要な場合、そもそも在宅医療は困難である。食事を含めた生活管理は、介護サービス等を利用することで補うことができる。しかし、服薬管理は医療行為であるため、医師・看護師、薬剤師、本人・家族以外が提供することができない。このため、他の条件がそろっていたとしても服薬管理に不安要素がある場合には、在宅療養をあきらめざるを得ない。

服薬管理を補助する装置は、これまでも様々提案されてきている。ここでは服薬情報の流れに注目し、(1) 仕分け型：服薬状況を本人が確認する。(2) 通知型：服薬時間を通知する。(3) モニタ型：服薬状況を本人以外が確認する。に分類して整理する。

(1) 仕分け型(「くすり整理キーケース」¹⁾等)は、薬を朝昼晩に分けて、1週間分などセットできる薬箱である。このタイプは多くの種類が市販され、よく利用されている。安価であり、在宅療養者や家族が一目で服薬状況がわかることが特徴である。この方法では、服薬履歴は記録できず、飲み忘れた時の対応もできない。

(2) 通知型は、「お薬忘れないで」²⁾³⁾や「回転式ピルボックス (PivoTell)」⁴⁾のように、タイマ付きの仕掛け薬箱である。「お薬忘れないで」は、所定の服薬時間になるとブザーが鳴る。「回転式ピルボックス」も所定の服薬時間になるとブザーがなることは同じだが、加速度センサーがついており、本体を傾けて薬を取り出さないとブザーがとまらない仕掛けとなっている。(図1) 通知型はリアクティブな対応を本人や家族がすることができる点でよいが、服薬履歴の記録機能はないことが多い。

(3) モニタ型は「お薬忘れないで」²⁾³⁾や「Med-eMonitor」⁵⁾のように時間になると服薬を促すとともに、遠隔の看護ステーションや家族に服薬状況を通知する機能を有してい

^{†1} 慶應義塾大学 環境情報学部
Keio University Faculty of Environment and Information Studies
^{†2} 慶應義塾大学 政策・メディア研究科
Keio University Graduate School of Media and Governance
^{†3} 慶應義塾大学 総合政策学部
Keio University Faculty of Policy Management



図 1 回転式ピルボックス (PivoTell)

る。(2)のPivoTellも遠隔への通知機能の提供を予定している。モニタ型になると、通知機能に加えて遠隔で履歴集計もできるため、パターンの分析や問題が発生した場合に経緯を調査が可能である。さらに薬箱の開閉やブザーのみならず、画像認識を取り入れることで、個々の薬の服薬状況を認識する研究も進められている(「iMec」⁶⁾)。

このようにこれまででは、服薬管理に関する情報の流通範囲を広げることや、機能を増やすことは、薬箱が特別な装置になることにつながってきた。しかし、一般の在宅療養の現場では、使っている仕分け型の薬箱より、高価であったり、寸法が大きい事を補うほどの導入動機は在宅患者にはない。また、医療関係者の立場では、本人の服薬喚起も重要ではあるが、服薬状況をモニター、記録し、必要に応じて医療従事者からの対応が取れることが重要である。

看護スタッフ、技術スタッフで議論の結果、そこで今回のシステムは、次のような方針で設計・構築を行った。

- (1) 普段使っている薬箱を利用する。
- (2) 患者の生活を変えない。
- (3) 服薬状況を患者にフィードバックする。

本稿では構築した服薬見守りシステムの概要、各要素技術について説明したのち、予備試験や在宅療養現場で実験運用結果から得られた知見について報告する。まず第2章で、服薬見守りシステムの構成を説明する。続いて第3章で、予備試験および実験運用について述べる。そして第4章で結論を述べる。

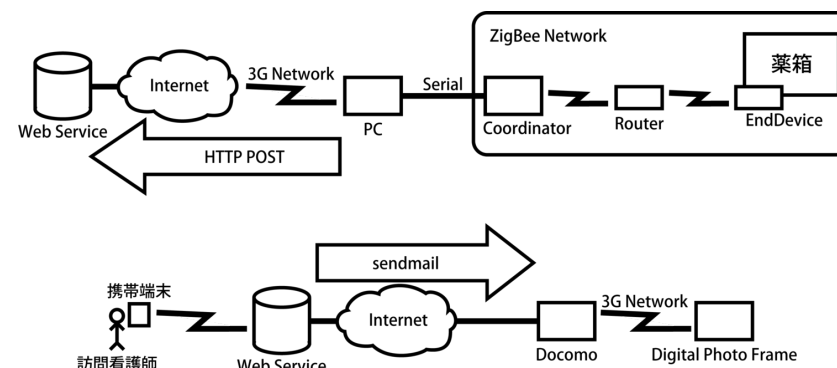


図 2 システム全体図

2. 服薬見守りシステムの構成

今回の服薬見守りシステムは、在宅患者宅に置いてある薬箱の開閉状況を検知し、その情報をサーバに蓄積する服薬情報取得システム、この服薬情報取得システムのデータを処理して、看護師が服薬状況を簡単に確認できる形に変換するとともに、患者宅に設置したデジタルフォトフレームにコメントなどを送信するフィードバックシステムの2つで構成されている。服薬見守りシステムを図2に示す。薬箱はZigBeeのマルチホップネットワークを使って、蓋の開閉時間をZigBee Coordinatorに通知する。CoordinatorはPCにシリアル接続されており、PCは受信した情報を一定時間蓄積し、所定の時刻にダイヤルアップしてデータベースにデータを入力する。看護師はこのデータベースをWeb経由で閲覧することで、服薬状況を確認する。この時、そのままの開閉データから服薬状況を確認することは難しいので、データを後処理して、連続開閉時間として表示している。このデータに基づいて、現時点では1日に1回、患者宅に設置したデジタルフォトフレームに3G回線を介して、服薬状況の結果とメッセージを画像にして送っている。

1章で説明した方針とシステム設計との関係は以下である。

- (1) 普段使っている薬箱を利用：ワンチップZigBee(Texas Instruments社CC2430)を使った小型基板(技適取得済み 図3)に、ホール素子を使ったスイッチを取り付けた(図4)。開閉する蓋に小さな磁石がついていて、その近接によって開け閉めを検知する。最初は小型のプランジャタイプのスイッチ(図5)を用いていたが、看護師

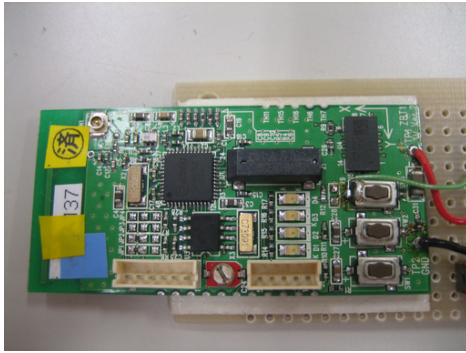


図 3 ZigBee 基盤

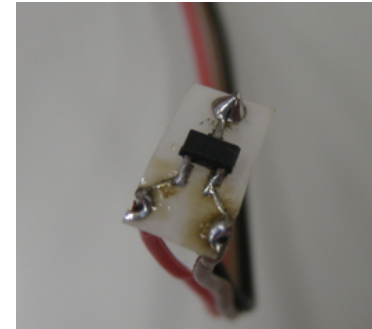


図 4 ホール素子を利用した磁カスイッチ

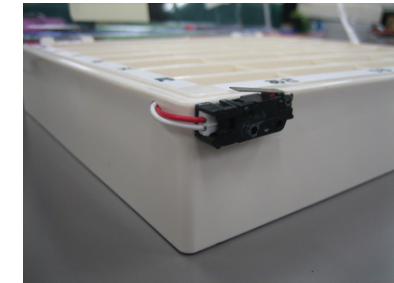


図 5 ブランジャタイプのスイッチ

より、この大きさでも気になるとの指摘を受け、このタイプに変更した。事前調査すると、仕分け型の薬箱は、置いておく場所と、薬を服用する時に使う場所（食卓など）が異なることが多い。図2の構成としたことで、持ち運びを含め、普段と同じように使用できる。またセンサーシステムは汎用性があるため、薬箱のタイプが変わっても同じように適用することができる。

- (2) 患者の生活を変えない：Coordinator, PC など在宅患者宅に設置する機器は、電源を必要とし、3G回線に接続する必要があるため、在宅患者の普段の生活に邪魔にならず設置できる場所は限定されてしまう。そこでZigBeeマルチホップネットワークを用いて、設置の柔軟性を確保した。
- (3) 服薬状況を患者にフィードバックする：デジタルフォトフレームに服薬状況と看護師からのコメントをつけてフィードバックする。

2.1 服薬情報取得システム

服薬情報取得システムは図6で示した構成になっている。ZigBee End Device(ZED)は薬箱に接続されている。ZEDでは、接続されたスイッチを介し箱の開閉状況の取得を行っている。そこで得られた情報に、自分の識別番号を追記し、ZigBee Coordinator(ZC)にパケットを送信する。ZCで、送られてきたパケットの形式を変更し、シリアル経由でPCに受け渡す。このPCでは、シリアルから流れてきた情報を読み取り、PC上のアプリケーションで蓄積する。アプリケーションは、タイマーで指定した時刻にダイヤルアップを行い、蓄積されたデータをサーバーに送信している。サーバーでは、まとめて送られてきたデータをデータベースに格納している。そして、専用ページにアクセスするとデータベースに格納さ

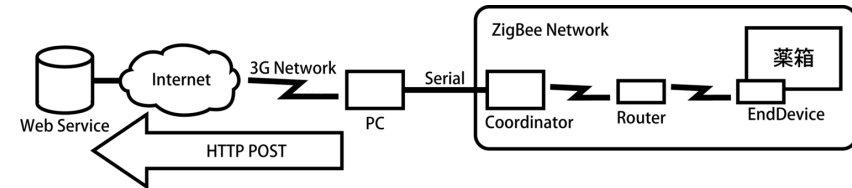


図 6 服薬情報取得システム

れたデータを閲覧する事が可能である。

このような手順で薬箱の開閉状況を web サービスで確認できる。

2.1.1 薬箱 (ZigBee End Device)

実験に用いた薬箱は、在宅患者が普段用いている市販の薬箱の裏面に ZigBee End Device を取り付けられた。(図7と図8参照) ZigBee End Device は Match Description によって通信相手 (今回は Coordinator) を発見する。これにより薬箱の取り付けられた ZigBee End Device が変わったり、あるいは新しい箱が追加された場合にも、インターネットに接続しているデバイス (今回は Coordinator) 向けにパケットを送信できる。

ZigBee End Device は、下記3種類のモードで動作している。これらのモードは、スイッチの開閉状況に応じて変化するようになっている。(図9参照)

- AWAKE (待機状態)
- SLEEP (低消費電力モード)
- TRANSMIT (データ送信モード)

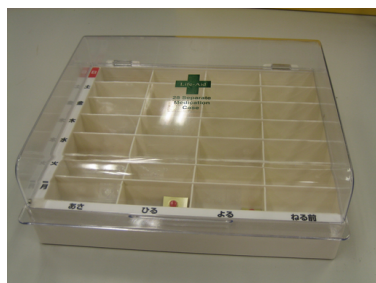


図 7 薬箱 (表)



図 8 薬箱 (裏)

AWAKE 状態では、Tx.Int 秒毎 (現在は 5 秒) にスイッチの開閉状況を確認し、開閉状況とそのシーケンス番号、ZigBee End Device の MAC アドレス下 4 桁を ZigBee の APS パケットで送信している。送信の際には TRANSMIT に変化し、AWAKE に戻る。

閉じている状態が連続で Num.close 回 (現在は 5 回) 検知された際には、状態が AWAKE から SLEEP に変化する。また、開いている回数が Num.open 回 (現在は 255 回) 連続で検知された際にも、同様に AWAKE から SLEEP に変化する。薬箱が開けっ放しになった状況で、電池を浪費するのを防止する目的である。現在は約 20 分の開放で、SLEEP に強制的に移行する。SLEEP モードから AWAKE に状態が変化するトリガは、蓋が空いた際にホール素子が発生させる割り込み信号である。それぞれの状態での実測電流値は、AWAKE の時に 12.5mA、SLEEP の際に 900 μ A、TRANSMIT の際に 35.4mA であった。

2.1.2 ZigBee Coordinator

ZigBee Coordinator (ZC) では、ZigBee End Device から送信されたパケットの受信を行う。パケットを調べ、薬箱の状態と ZigBee End Device の MAC アドレス下 4 桁を取り出し、シリアルを通じて PC に通知する。

2.1.3 データ送信端末 (PC)

データ送信端末 (PC) では、ZigBee Coordinator から受けたデータをサーバーに送信している。データを受信した際に、PC でデータを受信した時刻を記録している。サーバーへの送信は http を用いて JSON 形式で送信を行っている。

実際のサーバーに対する開閉状況データ送信は、タイマーで指定された時刻に行っている。送信を行った際に蓄積されたデータを送信し、送信済みデータを削除している。タイマーでデータを送信する際には、ダイヤルアップを行っている。(図 10 参照)

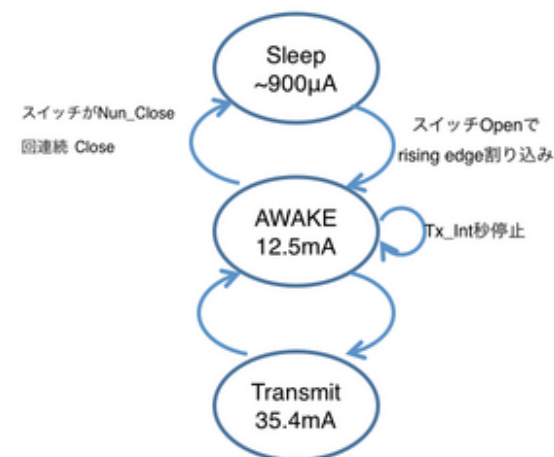


図 9 ZigBee End Device の状態遷移図

タイマーの設定時刻は、XML ファイルで指定する。また、患者宅に設置されるため、遠隔から設定時刻の変更をする事が可能な仕様としている。URL でこの設定ファイルの設置先を指定すると、その XML ファイルをダウンロードしてきてそれ以降のタイマーの設定時刻に影響する。

2.1.4 web システム

web システムではデータ送信端末から送られてきた情報をデータベースに蓄積している。そして、web 画面上でデータベースに蓄積されている状況を確認できるシステムを構築した。

web 画面は図 11 の様に患者と看護師を対応付けして見る事が出来る。また患者単位で、薬箱の管理が出来る。(図 12 参照) 薬箱毎のデータが閲覧できる画面は、図 13 の様になっている。

看護師は、この画面を見て、服薬状況を確認できる。またこの画面では、受信したパケットを一つずつ表示させるだけではなく、看護師が判断を行いやすい様、箱が開いている連続時間を計算して表示をしている。

この管理画面を web ベースにした事により、看護師は携帯端末などを用いて場所を限定する事無く、在宅患者の服薬状況を確認できる。

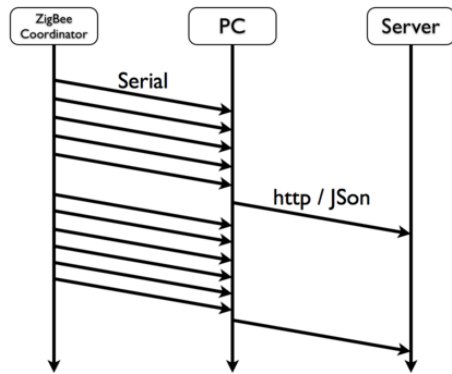


図 10 データ送信端末図

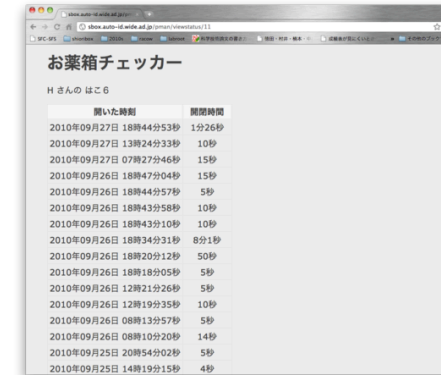


図 13 データ確認画面



図 11 患者管理画面



図 12 端末選択画面

2.2 フィードバックシステム

看護師は、2.1節で述べたシステムを利用し、患者の服薬状況を把握できる。把握した状況をもとに、看護師が患者にメッセージ送るシステムの開発を行った。(図 14 参照) システムのベースには、Docomo デジタルフォトフレーム フォトパネル 02 (図 15 参照) と、NTT Docomo が提供するサービス、「お便りフォト」⁷⁾ を用いた。

Docomo デジタルフォトフレーム フォトパネル 02 は画像を表示するための電子端末である。また、お便りフォトとは、フォトパネル 02 に任意の画像を表示させるためのウェブ

サービスである。お便りフォトの利用者は、お便りフォトのウェブサイト上で設定された任意のメールアドレスから、画像を添付したメールを所定のメールアドレスに送信することにより、その画像をフォトパネル 02 上に表示させることができる。

送信される画像には、下記情報が含まれる。

- 日付
- 服薬状況 (朝, 昼, 晩)
- 患者へのメッセージ
- 画像

web から入力されるこれらの情報から表示画像を生成している。web 入力画面を図 16 に示す。

生成された画像がメールにて自動送信されると、患者宅に設置してあるデジタルフォトフレームで画像が受信される。すると、デジタルフォトフレームは、ボタンを点滅させてお知らせをし、患者が簡単な操作を行う事で画面に表示される。

現在は被験者が一人のため、データの確認、メッセージの入力、服薬状況の推測等の全てを人の手で行っているが、将来的には、服薬状況の確認から画像の送信までを自動的に行う事を予定している。

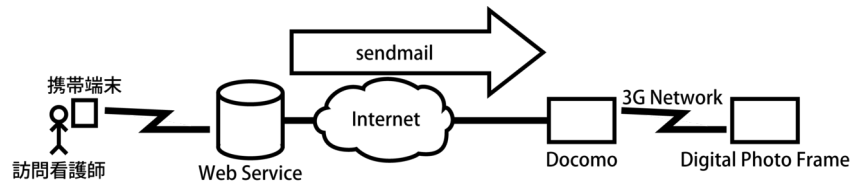


図 14 フィードバックシステム

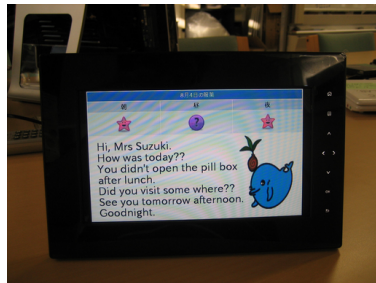


図 15 デジタルフォトフレーム

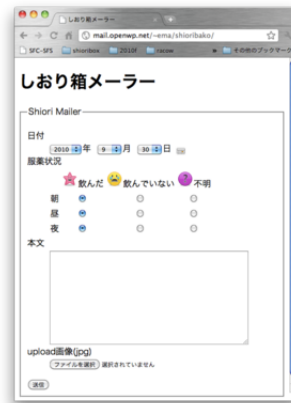


図 16 画像生成画面

3. 本システムを用いた実験

3.1 予備試験

このシステムうち情報取得システムの実証実験の事前調査として、周期的に（30分一回）、薬箱を開けたことを模擬する装置を開発し、ZigBee 区間のパケットのロス率を計測した。期間は7月20日5:35頃から7月21日23時頃までの約43時間である。場所は、WiFi や電子レンジなど ZigBee と同じ周波数帯の機材が設置されている研究室で行った。

この結果を APS で再送制御を行った場合と行わなかった場合について表 3.1 に示す。

再送制御を行わなかった場合転送率が 91.3%であったのに対し、再送制御を行った場合 99.8%まで上がっていることが示されている。

再送制御	ZigBee 区間	PC で受信	適切に送信された確率
使用	517	516	99.8%
未使用	517	472	91.3%

表 1 ZigBee 区間でのパケット転送率

3.2 実験運用

このシステムを実際に患者宅に設置し、実際の環境での試験を7月末から継続して行っている。今回協力を仰いだ患者は、主に1部屋で生活している。キッチン部分に薬箱を保管をし、服用する際に近くのカウンターテーブルの上に移動させて利用している。この移動は、約2m以内の範囲内である。Coordinator と薬箱の間の直線距離で約4m離れている。通常 ZigBee の通信であれば、4mの距離であれば、問題なく直接通信を行う事が可能である。しかし、Coordinator を鉄製のベッドの下に設置していたため、頻繁にパケットロスの発生が観測された。また、今回の患者宅では薬箱が設置されている場所に電子レンジが設置されている。電子レンジを利用している状況で情報取得の試験を行ったところ、直接通信では、パケットロスが発生した。

そのため短い距離であるが、間に Router を設置してマルチホップで確実に通信できるネットワークを形成している。

4. 結論

本稿では、在宅療養における高齢者の服薬状況を遠隔から web を用いて確認できるシステム、および患者にフィードバックを送るシステムを実現した。患者宅に機材を設置する事を想定し、市販の薬箱を用いて患者の生活を変えないようにした。

このシステムを用いる事で、患者の生活を変えずに、遠隔から在宅療養における服薬状況の把握が可能となる。将来的に複数の患者の一括管理も可能である。

また一方的にデータを取得し、服薬状況を把握するだけではなく、フィードバックシステムを用いているため、患者が監視されているという一方的な流れだけではなく、双方向にコミュニケーションが取れる事を実現し、患者の見守り実感を高めている。また、看護師と患者間のやり取りに情報システムを用いる事で、訪問する際の移動時間などの時間が軽減され、看護師の負担の軽減も可能となる。

謝辞 本研究は三井物産株式会社と慶應義塾大学との「ウェルネスコミュニティプロジェ

クト」共同研究によって実施したものである。御協力いただいたメディカルヘルスケア事業部の皆さまに深謝する。

参 考 文 献

- 1) シンコーハンガー, くすり整理キープケース <http://www.hanger-net.co.jp/life-aid-seiri03.html> など
- 2) 『朝日新聞』 2010年3月8日朝刊 「青鉛筆」
- 3) 「お薬忘れないでね」 エースシステム工業株式会社. <http://www.ace-system.co.jp/>
- 4) PivoTell — Tunstall. <http://www.tunstall.co.uk/products.aspx?PageID=153>
- 5) Med-eMonitor — InforMedix. <http://www.informedix.com/>
- 6) 鈴木拓央, 中内靖: iMec とユビキタスセンサを用いた服薬支援システムの提案, 日本機械学会 ロボティクス・メカトロニクス講演会 2009 (ROBOMECH2009), 2A2-H06, (2009)
- 7) お便りフォトサイト. <https://otayori-docomo.com/>