解 説

見守り機能を備えた住宅

House with MIMAMORI Function

森 武 俊* *東京大学大学院医学系研究科

Taketoshi Mori* *Graduate School of Medicine, The University of Tokyo

1. は じ め に

Intel はラスベガスで開催された CES2014 において SD カードサイズに収まる小型 PC ともいふべき Edison を発表した (<http://www.intel.com/content/www/us/en/do-it-yourself/edison.html>). 22 [nm] プロセスによる低消費電力 SoC を採用し, UART, I2C, I2S, GPIO, PWM 等を利用可能で, Wi-Fi, Bluetooth LE を内蔵してウェアラブル端末への搭載をイメージさせるものとして開発されたものである. 乳児の肌着につけ, 体温や呼吸, 体動をセンシングして, 簡易的な健康状態のモニタリングを実現する Mimo と呼ばれるデバイスのデモが公開された (<http://mimobaby.com/mimo/>). デモでは, マグカップ内にも同様に Edison コンピュータを埋め込み, カップ表面に LED で笑顔を表示して問題ないことを伝えるというイメージが示された. ウェアラブルデバイスからは小型の Lilypad と呼ばれる無線ステーションに Bluetooth LE でデータ伝送が行われ, そこから家庭内の Wi-Fi へ接続する. 腕時計型の Gear や Smart Watch によるデバイス, Jawbone Up や FuelBand のような腕輪型活動量計測デバイスなどと合わせ, 生活特にヘルスケアに密着した形で普及が進んでいくと思われる.

このように, ウェアラブルデバイスやモノに埋め込んだデバイスがセンサあるいは表示や音声を含んだアクチュエータとして遍在し, 互いにコミュニケーションをとって総体として人々の生活や社会をサポートするイメージは, 1985 年ごろの坂村健らのどこでもコンピュータ, 1991 年の M. Weiser の提唱したユビキタス (ubiquity), 1999 年ごろからのモノのインターネット (IoT, K. Ashton らが提唱したとされる Internet of Things), あるいはアンビエント (ambient), より単純にセンサネットワークといったキーワードとともに, 特にここ 10~15 年盛んに提供されてきた. 図 1 は 2009 年ごろに描いた住宅を中心としたパーベイシブネ

図 1 住宅におけるパーベイシブネス

ス (pervasiveness) の展開像である. 行動に応じて動く照明や自律走行ワゴン, 調理を補助するディスプレイやアーム, 移動食材庫, 各部屋や戸外に設置された見守りセンサやモニタカメラがホームネットワークでつながっている様子である.

多様なデバイスが相互に通信し, センサデータを分析し, 自律的に判断を行って, 人やモノ, 住宅や街に, ノーティフィケーションのような表示, あるいは物理的な動き・搬送などで働きかける. ときに音声やジェスチャ認識を介して明示的な指示のもとに動作するものの, 基本的にいわゆるふつうの意味でのユーザインタフェース無しで次々と状況を変えていく. すなわち環境が個人個人の身体の拡張体として機能する形態である. 膨大な数のデバイスがセンサにより情報を収集・蓄積・学習し, 状況に基づき (context awareness), デバイス間協調でディレクションなしに制御・駆動する, 知性の外在化でもある.

2. 住宅それ自体がロボティックシステム

住居をターゲットとし, 中で活動する住人への積極的な働きかけを目指した自律支援システム, ロボティックなシステムの取り組みも行われてきた [1] [2]. いわゆる「知能住宅」研究は, 日本では, TRON 電脳住宅, 筆者らによるセンシングルーム, 情報通信研究機構のユビキタスホーム, パナソニックの HII ハウス, 海外では全米ホームビルダー協会の Smart House, ジョージア工科大学の Aware Home など,

原稿受付 2014 年 1 月 15 日

キーワード: Ambience, Elderly, MIMAMORI, Monitoring

〒113-0033 文京区本郷 7-3-1

*Bunkyo-ku, Tokyo

家電機器のテレコントロールシステムの側面から、HEMS すなわちエネルギー管理システムや ZEH (Zero Energy House, ゼッチ) としての側面へ、家庭内ネットワークからが外界とのネットワーク間接続へと展開してきている。

モバイルネットワーク技術の発達に伴い、アンビエント性・パーソナリティ性のターゲットは街や都市あるいはスマートグリッド等へとステップしつつあるが[3][4]、部屋という生活の単位であり機能単位でもあるブロックがあり、少人数の家族である程度パターン化された状態の遷移が繰り返されるという特徴、睡眠や食事あるいは排泄といったベーシックな営みが長時間行われる場という位置づけから、住宅は「環境知能化」の先端的なトライアルを実行する核としてその価値が極めて高い。

住宅全体を改造するのではなく、例えば Nest Learning Thermostat (<https://nest.com/>) のように、住人が起床時や外出時に変更した空調の温度設定を覚えて学習し、自動で温度調節したり、さらには設定温度の履歴からより良い設定をアドバイスしたりといった小さな知能化から徐々にアプローチしていき、やがてヘテロなデバイスの相互通信とインターネット接続により安全・省エネ・利便性を提供しようというスタイルの提案が増えてきている。インテリジェントな住宅についての漠然とした応用イメージ、典型的でかつ部分的なデモではなく、セキュリティ・見守り、節電といった明確で社会的要請の高い実際のニーズをいわゆるキラーアプリケーションとして実現していこうという機運の高まりである。

住宅における生活はプライベートなものであり、そこにセンサが持ち込まれることには一定の抵抗感がある。筆者らのこれまでの研究を通じて、このことを「気持ち悪さ」と表現する人が多いことを感じる。これは、単なる個人情報へのアクセスやプライバシーの阻害とはまた異なるものであろう。技術的にも、例えば筆者らのセンシングルームにおける実装例のように、仮に複数のカメラや全方位カメラなどを持ち込まなくとも、多数の圧力センサを床やベッドや家具に配置すると、あたかも撮影したのかと同等の状態把握がなされる(図2)。小型の RFID アンテナを要所に配置し、物品に IC タグを付せば、さらに詳細な状態

図2 多数の分散圧力センサと RFID 等で人やモノの状況をカメラ映像のように把握

がつかめる。自律移動ロボット・知能化電動車椅子研究において周辺環境センシング、自己位置同定に多用される測域センサだけでも、部屋に数個配置することで、室内の住人の位置やポーズもかなり認識できる[5]。安全、健康、エコ・グリーン、健康、便利、快適を実現するサービスを構成する際、住宅内・家庭内でセンシングされた情報を地域や街とつなぐことではじめて有効・有用となると想定されることは様々ある。情報を流すことではじめてサポートが供給されることは多い。街中でスナップ写真を撮ることがごく自然に許容されていたころ、Google Glass のようないつも撮影を続けうる機器を忌避するムード、外で他人が写り込むことは避けて撮るのがふつうとされる状況といったことを考えると、負担や損失、利便性なども含めた多様な価値基準が複合して受容性が、場所や時間とともに変遷することが推察される。

3. 見守り住宅

画像処理技術は現代急速に進んでいる。人を見るという点においても、米国における Video Surveillance And Monitoring (VSAM) プロジェクト等の監視という明確な実用目的を核とした統合などにより、検知、同定、追跡といった技術も確立しつつある。人は映像をみると多くの情報を読み取れるということもあり、乳幼児や高齢者の見守りという重要なニーズにおいて、カメラ画像を用いることができれば有効性が大きく上がる、色やテキストや詳細な形状はともかく例えば Kinect のような深度センサでえられる粗い三次元形態情報は有用であるとしばしば言われる。Canary のようなデバイスの提案は度々行われている(<http://www.canary.is/>)。住宅内で部屋ごとにカメラ画像や距離画像が得られるようになると、どのような見守りサービスが実現されるのだろうか。

住宅をカバーするように測域センサを各部屋に一つ程度配置し、腰の高さをスキャンして、住人がいつどこにいるか 24 時間 365 日計測・蓄積する実証実験を行った[6]。多量にデータを蓄積することで、その住宅・家庭における生活パターンが把握・学習される。例えば、ある住人の外出前の軌跡データの平均像が図3左端のようにつかめる。主要な停留場所を離散的に識別する手法と合わせると、この住

図3 動線軌跡に基づく行動パターン抽出と予測

人は外出前に洗面台に寄り、キッチン付近に戻り（おそらく戸締まりを確認し）、洗濯機付近で立ち止まり、再度キッチン・ダイニング付近へ戻ると、その後ほぼ間違いなく外出するということが分かる [7]。すなわち、移動と停留から次に起こることが予測できるようになる。ふつうであれば起こるはずのことが起こらない、あるいはふつうであれば起こらないことが繰り返し起こる、このような外れをセンサデータから検知することで異変を検知し、四六時中センサデータをモニタリングすることのできない人を補助し見守り機能を向上させられるのではないか。離床や転倒の予兆あるいは発生を検知することができれば、早期にかけつけなどの安全な介入が可能になる可能性がある。

クーラーの中に焦電センサを埋め込んだり、テレビやエアコンの中に可動式カメラを組み込んだりすることで、人の存在位置を把握し、オンオフや風向・風量を調整するようなエネルギー節減の観点での高度なセンサ利用の受容はゆるやかに進みつつある。ルンバが有効に働けるように床を整えたり、境界検知用センサを多数設置したりすることはごく自然に行われる。センサのデータそのものでなく、住宅内で処理し抽象化した情報を外部と通信することで、地域・社会と協調した見守りサービスを実現することから始めていくことで社会的理解が得られると期待している。提供のインセンティブにゲーミフィケーションを採り入れた取り組みなども見受けられるが、ニーズに基づく多くの試行が必要な段階である。

4. センサを活用した看護

センサを活用することで住宅における見守りは、看護サービスへと展開できる。緊急通報サービス、異変検知通報サービス、安否通報サービス、ヘルスモニタリングサービス、生活状況モニタリングサービス、さらには服薬支援や遠隔診察なども視野に入る。センサデータに基づく看護は通信とセットであるがゆえ、また健康・疾病というクリティカルな領域であるがゆえ、人と人とのコミュニケーション、地域の人同士の直接的なかわり合いが不可欠となる。

例えば、独居高齢者宅に、各部屋一つ程度の焦電人感センサを配置し、長時間の不動などを安否異変として通報するサービスが行われている。通報があると遠隔コールセンターから看護師や介護福祉士がハンズフリーホンなどで声掛けを行い、さらに必要があれば家族や近所の方に連絡したり、救急を読んだり、セキュリティ会社による駆けつけを要請したりする。図 4 に立山システム科学研究所のセンサシステムに用いられるホームステーションと特定小電力無線通信機能を備えた小型人感センサユニット（四つ）を示す。筆者らも、このような独居高齢者宅の焦電人感センサのデータを分析し、自動的に行動ラベリング、個人生活

図 4 人感センサに基づく安否見守りシステムの例

図 5 総務省プロジェクトの独居高齢者の活動度の例

パターン抽出、生活異変検知を行う手法をいくつも開発してきた [8] [9]。中長期の時系列センサデータから統計的学習により確率モデルを構成し、モデルからの外れやモデル更新の大きさを異変として検知する。

2013 年に始まった総務省 ICT 超高齢社会づくり推進事業の東京大学プロジェクト「活力ある超高齢社会の推進」において、筆者の所属する医学部グループは焦電人感センサデータ、服薬状況データ、起床時血圧、隔月の大学病院通院時に研究看護師が調査する健康状態・認知機能・歩行機能といったデータを照合することで、互いにどのような関連があるか、いわゆる未病状態の維持が困難になる予兆がとらえられないかを検討している。図 5 のように、例えば 11/9 と 11/10 のデータから逐次的に予測した 1 ヶ月の住宅内活動度範囲を 12/14 時点で逸脱していることが検知される。この方のその際の健康状態を確認すると、血圧が低めとなっており外出を控え宅内にいた時間が長かった。体調不良の異変である。筆者らのこれまでの研究では ADL の緩やかな低下や、認知機能低下に伴う夜間徘徊と思われる異変がセンサから抽出される行動パターンとの差異や変化の形で検知されており、実証事業を機に、軽度認知障害 (MCI)、ロコモティブシンドローム、睡眠障害などの予兆の検知への展開を進めていくことを考えている。人感センサで得られる情報は少ないものであるが、ニーズに対応したセンサデータの活用の有用性を積み上げていくことで、無拘束非接触なドップラ式睡眠・呼吸・体動センサ、三次元測域センサ、簡易サーモグラフィ等、よりリッチなセン

サの導入へと進んでいくと考えている。

5. お わ り に

見守りのニーズは多種多様である。乳幼児、いわゆる留守家庭児童、高齢者、あるいは防犯・防災のニーズもある。特に、日本をはじめとする超高齢化が進む社会において、住宅における一人暮らし高齢者の見守りへの要望は日々高まりつつある。多様な要求に応えるには工学的専門家・技術者だけでなく看護師や介護福祉士等の医療看護専門家と協調した取り組みが必須であろう。看護工学にかかわる講座が東京大学、大阪大学、千葉大学に設置され、2013年10月には看護理工学会 (<http://nse.umin.jp/>) が設立されたことで、今後ロボティクス、機械工学、計測工学、情報工学、建築学分野等と看護学・介護福祉学との連携も加速していくと思われる。

住宅内に埋め込むセンサには、ウェアラブルデバイスに比べ重さや電池・充電の制約が相対的に少ない。それでも、実際に現場で使える機器となるとほとんどの場合、宅内でも無線で機能することが求められている。見守りには意識的な健康管理という側面とともに、無意識的でさりげない支援という側面がある。軽く、充電や通信のための接続が不要であることはこれからも技術開発の重要な指標であろう。

参 考 文 献

- [1] 森, 佐藤: “ロボティックルーム 1・2・3 の開発”, 電子情報通信学会誌, vol.91, no.5, pp.402–410, 2008.
- [2] S. Intille: “Designing a home of the future,” IEEE Pervasive Computing, vol.1, no.2, pp.80–86, 2002.
- [3] 佐藤, 森: “環境知能化と安全・安心・快適社会”, 日本ロボット学会誌, vol.25, no.5, pp.2–5, 2007.
- [4] 倉田 他: 「都市のスマートセンシング」特集号, 計測と制御, vol.52, no.11, pp.943–1021, 2013
- [5] H. Noguchi, T. Mori and T. Sato: “Multiple Persons Tracking by Multiple Cameras and Laser Range Scanners in Indoor Environment,” J. of Robotics and Mechatronics, vol.22, no.2, pp.221–229, 2010.
- [6] 森武俊: “生活支援のためのセンサデータマイニング”, 電子情報通信学会誌, vol.94, no.4, pp.276–281, 2011.
- [7] T. Mori, S. Tominaga, H. Noguchi, et al.: “Predicting Behaviors of Residents by Modeling Preceding Action Transition from Trajectories,” J. of Robotics and Mechatronics, vol.24, no.2, pp.320–329, 2012.
- [8] T. Mori, R. Urushibata, H. Noguchi, et al.: “Sensor Arrangement for Life Activity Classification with Pyroelectric Sensors,” J. of Robotics and Mechatronics, vol.23, no.4, pp.494–504, 2011.
- [9] T. Mori, T. Ishino, H. Noguchi, et al.: “Life Pattern Estimation of the Elderly Based on Accumulated Activity Data and Its Application to Anomaly Detection,” J. of Robotics and Mechatronics, vol.24, no.5, pp.754–765, 2012.

森 武俊 (Taketoshi Mori)

1995 年東京大学大学院博士課程修了 (井上・稲葉研究室)。博士 (工学)。同年東京大学先端科学技術研究センター助手 (佐藤・溝口研究室)。1998 年より同講師。2002 年同大学大学院情報学環助教授。2010 年より同大学大学院医学系研究科ライフサポート技術開発学 (モルテン) 寄附講座リーダー・特任准教授。現在に至る。ロボットテクノロジーに関連する行動理解・動作認識手法に関心をもち、知能住宅、みまもり工学、看護工学に関する研究を行っている。IEEE, ACM, 看護理工学会, 日本機械学会等の会員。(日本ロボット学会正会員)