

# 住む人が健康になる住宅

## — 予防医療を実現する住宅システムの構築 —

慶應義塾大学理工学部システムデザイン工学科助教 小川 愛 実

### 1. はじめに

近年の世界的な少子高齢化を背景に、高齢者や単身世帯の健康を見守る機能を組み込んだ見守りシステムを住宅内に導入する取り組みが盛んである。本稿では昨今よく耳にする見守りシステムを居住者の見守り機能が主体となった住宅システム（スマートホームに実装される住宅に関するシステム）と同義として扱うこととし、以降より在宅見守りシステムと定義する（図-1）。様々な目的を持った在宅見守りシステムが提案されているが、高齢者の転倒事故や逸脱行動などの異変を離れて暮らす家族に知らせるなど、現状導入されているシステムはごくシンプルなものが一般的である。例えばGROOVEX (株)のLOVOTというペット型ロボットは、居住者がロボットを抱きあげるなどの居住者とロボットのインタラクション情報を遠隔地の家族がリアルタイムで閲覧できるような見守り機能を提供している。こうした生活に溶け込んだセンシングが昨今のセンサデバイス技術の発展によって可能となっている。

一方で少なくとも今後20年は高齢化が進行の一途をたどることから、事故や異変が起きた後の迅速な対処よりも事故の防止や事故を誘発する疾患の予防など、より早い段階での対策が必要とされている。本稿ではこれまでに提案されてきた住宅システムについてスマートホームの歴史と共に幅広く言及しながら、未来の住宅に求められる新しい住宅システムについて述べる。

### 2. スマートホームと居住者の健康

#### (1) スマートホームとは

スマートホームとはロボットやICT (Information Communication Technology: 情報通信技術) を使って個々のニーズに合ったサービスを提供する住

宅システムが導入された住宅を指す。1つ以上の住宅システムが実装されていればスマートホームと呼べる。

図-2にはMajumder らが示した8種類の住宅システムを示している<sup>1)</sup>。これらの住宅システムは図-2に色分けされるように居住者の情報を直接扱うシステム (橙色)、環境の情報を扱うシステム (青色)、および通信システム (緑色) の3つのタイプに大別される。

#### (2) スマートホームとスマートハウス

スマートホームと似た言葉にスマートハウスがある。日本ではスマートホームよりもスマートハウスの方が馴染み深いのではないだろうか。では、両者の違いは何か。

そもそも英単語の“Home”は住宅内部の暮らしや家庭を、“House”は建物としての住宅をそれぞれ意味する。この英単語の意味の違いを反映させるように、スマートハウスはエネルギー消費が最適に制御された住宅のことを指し、スマートホームの8つの住宅システムのうち建物そのものに関連するホームオートメーション、遠隔サービス基盤の一部、環境モニタリング、およびエネルギーマネジメントが該当する (図-2)。具体的にはHEMS (Home Energy Management System) などがよく知られている。

一方、冒頭で述べたように、近年は居住者、特に独居の高齢者などを対象とした在宅見守りシステムのニーズが高まっており、従来のスマートハウスの機能のみにとどまらず、在宅見守りシステムを盛り込んだスマートホームへの機能拡張の動きが盛んである。

#### (3) スマートホームの変遷

時代とともに変わりゆくニーズに伴ってスマートホームのコンセプトも変化してきた。大まかには1990年代までは利便性や快適性、2000年代は地球環

境保全、2010年代以降は「人生100年時代」に向けた健康管理、そして近年は未病を含む考え方として提唱されるウェルネスがキーワードになっている。

スマートホームは1980年代に世界に先駆けて完成したTRON 電脳住宅<sup>2)</sup> から始まり、ジョージア工科大学のAware Home<sup>3)</sup> やマサチューセッツ工科大学のHouse\_n など、これまでに様々な実験住宅が建設された。これらのスマートホームのキーテクノロジーとなるのは、日用品に組み込まれたセンサによる居住者の生活の計測と動作や場所に応じたインタラクティブなアクチュエーションを支えるユビキタスコンピューティングであり、これは現代のIoTの前身に位置づけられる。初期のスマートホームで提案されたアイデアは既に商品化されたものも多い一方で、これらのスマートホーム実験住宅が現役として活用されにくいのは、

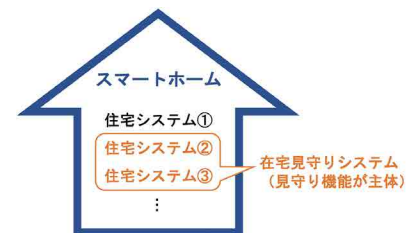


図-1 スマートホームにおける在宅見守りシステムの位置づけ

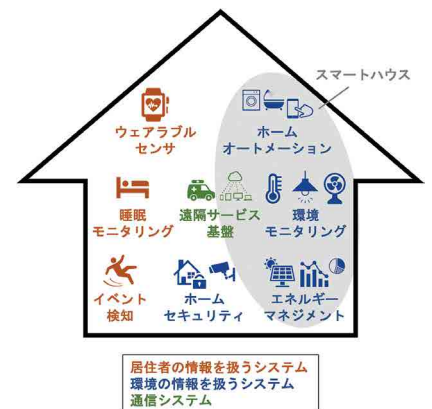


図-2 スマートホームの住宅システム

センサデバイスの目まぐるしい技術革新スピードと建物の設計施工解体までのライフサイクルとの不一致が原因の一つと考えられる。建物が竣工したときには既に埋め込まれた技術が最新のものではなくなり、その後年月を経て陳腐化してしまう。初期のスマートホームプロジェクトを踏まえてセンサの入れ替えが頻繁に行えるような代謝の良い仕組みの必要性が明らかになった。

これに対しBockらはセンサと家具を融合し、家具というそれ自身の取り替えやセンサ埋め込み工事が比較的容易なものを導入することにより住宅をスマートホーム化する概念を提唱している<sup>4)</sup>。Terminalと呼ばれるスマート家具は、キッチンや玄関など住宅のエリア毎に存在し、それぞれの機能に応じたセンサが内蔵されている。そのため住宅内のエリアに対応した複数のTerminalを自由に組み合わせることでオリジナルのスマートホームが完成する仕組みである。つまり、必要な部分のみに住宅システムを導入することでシステムのカスタマイズが可能となる。これは、例えば日本で導入されている要支援・要介護レベルや個人のできる動作、できない動作に応じて住宅システムの導入範囲を調整し、過保護なシステムによる身体機能の衰退を回避することに繋がる。さらにこれらのTerminal間の連携をロボットが担うことで、より汎用性の高いシステムを提案している。

最近では、Google Nestに代表されるようなスマートスピーカーなどをハブとした住宅のセンサネットワークと、スマートフォンやウェアラブルデバイスとのコミュニケーションによる住宅環境の遠隔コントロールや自身の活動量、心拍データ、食事および運動記録などのヘルスログがマーケットの主流である。住宅システムとスマートフォンやタブレットなどの連携による生活習慣のセンシングおよび環境コントロールは既に技術的に実現されているが、現状は健康状態に応じた環境コントロールの明確な指針が確立されておらず、ユーザの経験に依存していることが課題である。同時にこれが未来の住宅システムへのヒントとなる。

#### (4) 住宅システムとしての見守りシステム

居住者の見守りはスマートホームが担う一つの機能に位置づけられ<sup>5)</sup>、特に

Gerontechnologyと言われる高齢者を対象とした研究領域において、生理指標、身体機能、安全性、セキュリティ、社会的相互作用、および認知・感覚機能などをモニタリング対象として<sup>6)</sup>、情報、計測、ヘルスケア分野などで多くの研究がなされている。

我々が普段耳にする見守りシステムの定義は曖昧なものだが、例えば健康を見守る意味での在宅見守りシステムでは、睡眠モニタリングや行動認識などが該当し、安全のための在宅見守りシステムにはホームセキュリティなども含まれる。本稿では主に前者の在宅見守りシステムについて扱う。

在宅見守りシステム関連研究は大きく、通信システム、異常検知、ヘルスケアの3種類に区分できる。通信システムは居住者や家族、介護士への取得情報の共有システムやデータ通信時のセキュリティシステムなどを含み、主に情報系の分野で研究される。異常検知は緊急事態の検出が目的で、居住者の軽度の体調不良などは対象としない。一方ヘルスケアは健康寿命の延伸が目的であり、軽度の体調不良やその予兆の検知を含む。

#### (5) 居住者のセンシング方法

本節では在宅見守りシステムに必要な不可欠な居住者のセンシング方法について述べる。人の情報を取得するためのツールには大きく3つのタイプがある。まずはスマートウォッチやスマートグラスなどのウェアラブルデバイス。これは測定対象者自身に装着するセンサであるので、筆者は一人称センサと呼んでいる。続いてセンサ搭載型のコミュニケーションロボットは測定対象者と会話することが想定されるので、相手となる二人称センサ。最後にカメラなどの据え置き型のセンサは、第三者の視点から情報を取得する三人称センサである。

住宅内でのセンシングにおいて、一昔前までは一人称センサは居住者への負担が大きく、二人称センサは安全面への懸念などのマイナスイメージがあり、カメラを除く小型の三人称センサが他と比べて優位であった。しかし、昨今はスマートウォッチなどを日常的に装着している人も多く、1.で紹介したLOVOTなどのペット型ロボットのユーザも増えているという。また、介護を受けている65歳以上の高齢者がコミュニケーションロボットと日常的に触れ合った場合、全体

の3分の1において日常生活の自立度や生活の活発さが向上した、という実験結果が報告されている<sup>7)</sup>。言語の有無に限らず何らかのインタラクションが生じるようなコミュニケーションロボットが心身の活動を活発にし、QOLの向上に貢献することが示唆され、二人称センサならではのメリットが認識されつつある。それぞれのセンサにはメリット・デメリットがあり、必要に応じて組み合わせながらセンシング体制をカスタマイズすることが好ましい。

これまで筆者は住宅内での歩行計測に三人称センサと移動可能なセンサとしてのロボットを活用してきた。居住空間内での歩行のセンシングを三人称センサのみで行おうとすると、部屋のサイズ、間取り、家具の配置に応じて死角が生じないように複数台のセンサの設置が必要となる。また、家具の配置の変化などによりセンサ設置位置を適宜調整する必要があるなど煩雑である。一方でセンサを搭載したロボットが居住者の後ろを追随しながらセンシングすることで、大抵の場所において網羅的にデータが取得できる。ただし、曲がり角のような方向転換が生じる位置やクローゼットの中などの袋小路においては、二人称センサのみでは死角を免れないため、両者を組み合わせ、足りないところを補う必要がある<sup>8)</sup>。

### 3. 続く高齢化と増える介護需要

2.(3)で述べた通り、スマートホームの形は時代とともに変化してきた。本章では現在および未来のスマートホームへのニーズについて統計データから改めて考察する。

#### (1) 健康寿命の延伸という課題

国際連合の統計によると図-3に示すように世界各国の高齢化率（全人口に対する65歳以上の人口の割合）は一貫して上昇しており、今後20年から40年にかけて引き続き上昇、その後各国の数値は横ばいになることが予想されている<sup>9)</sup>。日本だけでなく世界においても当面高齢者の割合が減ることはなく、介護需要は増え続け介護労働力の不足は深刻な問題となるだろう。ここでキーワードとなるのが健康寿命である。健康寿命はWHOが2000年に提唱したもので、「人の寿命において『健康上の問題で日常生活が制限されることなく生活できる期間』<sup>10)</sup>を

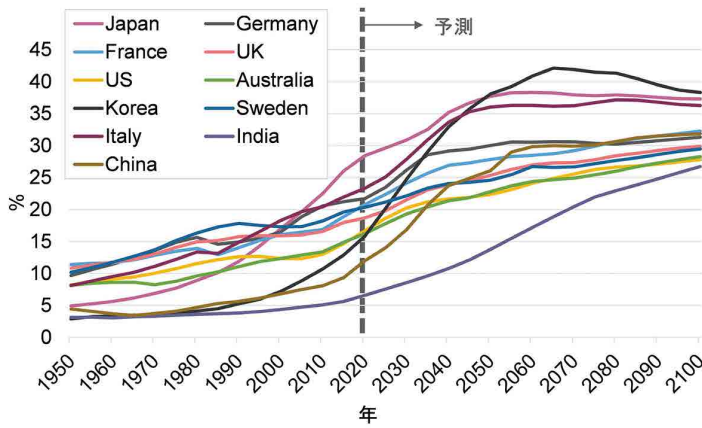


図-3 世界各国の高齢化率の推移と予測

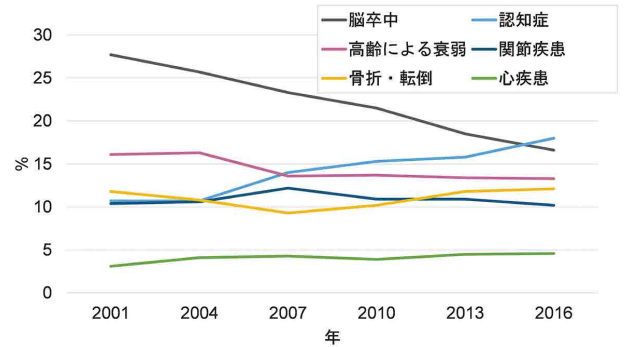


図-5 介護が必要となった原因上位6項目の割合の推移

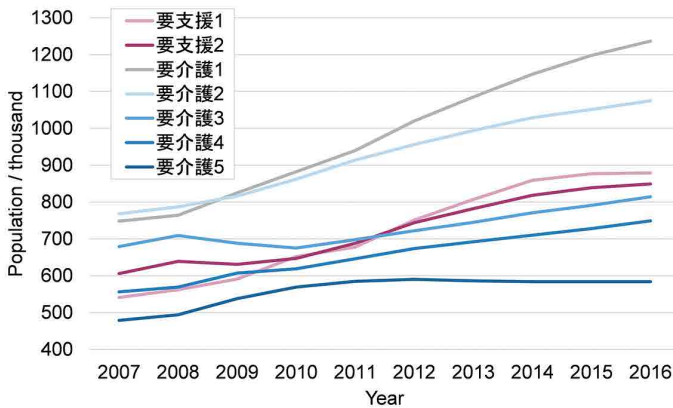


図-4 要支援・要介護認定者数の増加

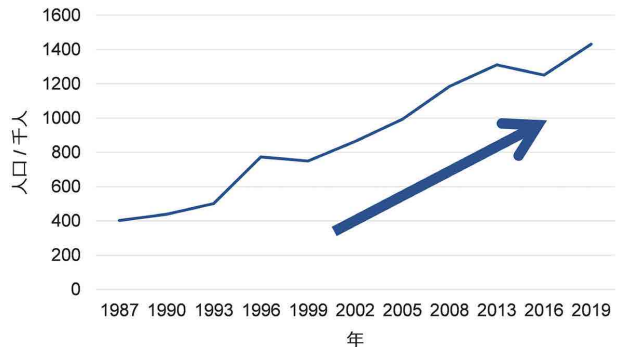


図-6 日本における関節症患者数推移

指し、日本では要介護・要支援と認定される前の期間と捉えることができる。この世界的な高齢化に対処する一つの方法として健康寿命の延伸、すなわち介護が必要となるまでの期間を最大化し、如何により長い間健康でいられるかが重要なのである。

高齢化がいち早く進む日本では、健康寿命の延伸を目的とした政策がとられており、2011年より厚生労働省による「Smart Life Project」が開始し、適度な運動、適切な食生活、および禁煙を広く発信、啓発活動を続けている<sup>11)</sup>。一方で要介護・要支援の認定を受けた人数は増加の一途をたどっている(図-4)。健康寿命が絶たれた、すなわち介護が必要となった原因の割合推移を上位6項目について図-5に示している(2001年から2016年まで3年ごとに実施される厚生労働省の「国民生活基礎調査」「介護が必要となった主な原因」をもとに作成<sup>12)</sup>)。ここ15年の傾向としては脳卒中の減少と認知症の増加が見られるが他の要因の割合に大きな変動はない。母数が増えて割合が一定ということは当然これらの疾患の患者数が増えているということである。実際に、図-6に示すように日本における関節症患者数は30年以

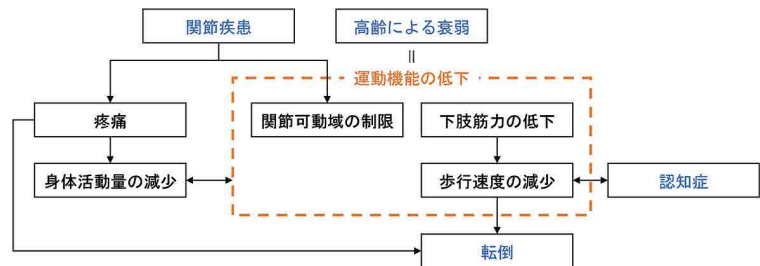


図-7 介護が必要となった原因と運動機能の低下の関係

上にわたり増え続けている<sup>13)</sup>。

## (2) ヒントは運動機能

これらの疾患や事故の原因は何か。多くに関係すると考えられているのが運動機能の低下である。図-7に先ほど挙げた介護が必要となった原因と下肢筋力の低下や歩行速度の減少などの運動機能の低下によって引き起こされる症状との関係を示している<sup>14)</sup>。例えば認知症と歩行速度の減少との関連や<sup>15)</sup>、関節疾患による疼痛や関節可動域の制限<sup>16)</sup>、そして転倒要因としてこれらの運動機能の低下が報告されている<sup>17)</sup>。また高齢による衰弱は運動機能の低下と同義であるとされる<sup>18)</sup>。例えば、一人暮らしで人と会うなどの外出頻度が著しく減少すると、社会との関わりが希薄になり精神的

に不健康になるだけでなく、歩行速度の減少が生じ、下肢を制御する筋力の不足により転倒が誘発される。このような負のスパイラルによって生活不活発病(廃用症候群)になる例は少なくない<sup>19)</sup>。外出が億劫であるという精神状態を克服するためにも、またいざ外出しようとしたときに家の外の世界を出歩くのに十分な体力と運動機能を維持するためにも、住宅内部における運動機能の維持と向上は重要であり、運動機能低下の検知と適切な運動介入は疾患の早期発見や転倒予防の実現、最終的には健康寿命の延伸をもたらす。

一方で、運動機能の低下は徐々に進行していくため自覚するのは困難である。例えば3か月前と比較して家の中で歩く速度がどれだけ変化したか、と聞かれて

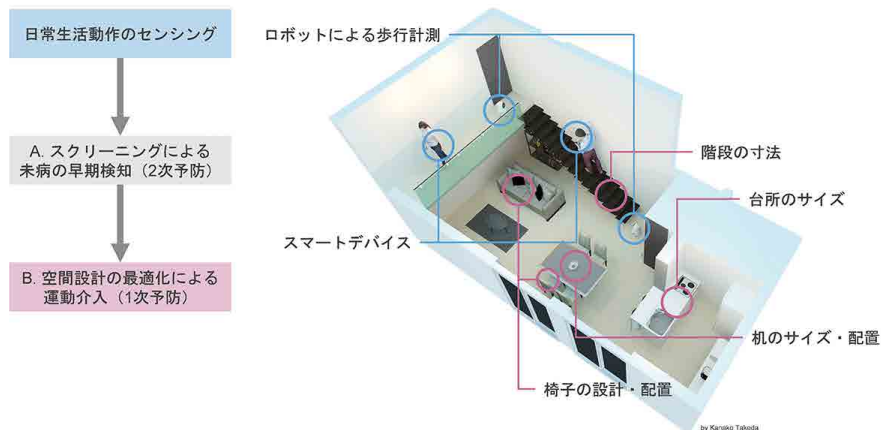


図-8 運動機能低下を予防する住宅システム

自信をもって答えられる人は少ないだろう。躓きが多くなった、なども重要な予兆であるが、自覚できなければ意味がない。特に単身世帯など、客観的に自分自身を観察してくれる同居人がいない場合は顕著である。また、仮に運動介入が必要と分かったとしても、どのように、どの程度の運動をすれば十分なかを個人で判断するのは難しく、さらにそれが分かった場合にも習慣的に実行できる保証はないのが実際である。そこで筆者はこれらを解決する新しい住宅システムを提案している。

#### 4. 予防医療×運動機能×空間デザイン

筆者は予防医療の考え方に基づき、運動機能の維持を目的として、居住者一人ひとりに最適な空間デザインを実現する住宅システムの提案を目指している。本章ではその考え方と最新の研究について述べる。

##### (1) 1次・2次予防を住宅システムに組み込む

予防医療とは、病気になる前の未病や健康な状態を含む、病気の予防や回復、および再発防止のための医療を指す。予防医療には1次から3次までの3段階があり、1次予防は生活習慣の見直しなどにより疾患を未然に防ぐこと、2次予防は定期検診や検査などによる疾患の早期発見と治療、3次予防は罹患後の増悪防止や回復、再発防止を指す。近年は高齢化を背景に、特に1次予防および2次予防が着目されている。一方で、既存の在宅見守りシステムは、既に症状がある3次予防を前提とした見守りに焦点を当てたものが多く<sup>20,21)</sup>、疾患の早期発見による健康寿命延伸において重要な1次予

防および2次予防を目的とした研究は僅少である。日々の生活の中で自動的に居住者の健康が維持・増進される空間設計を実現するために、未病の段階や健康な状態を含む予防医療の考え方を組み込んだ新しい住宅システム概念がもたれている。

実際の予防医療は個人の生活環境や健康へのモチベーションに大きく依存する。例えば、地域で定期的に開催される運動計測会への参加を通して予防医療を日々の生活に取り入れることは可能であるが、イベントを主催する地域の体制や、住民が開催情報を受け取っているか否か、そして参加という行動を起こすか否かという本人の健康意識の程度によって、予防医療を取り入れられるかが左右される。そのため、自発的な参加の必要がない日常的なものとして、予防医療が自動的に生活に組み込まれる仕組みが必要である。特に予防医療を必要とする運動機能の低下が著しい生活不活発病予備軍は、1日のほとんどの時間を居住空間内で過ごしている。また昨今の新型コロナウイルス対策によるテレワークの推奨や外出自粛によりこの傾向は全世界に共通して強まっている。よって、特にリスクの高い対象者の生活に予防医療を組み込むには、住宅に直接組み込むことが有効であり、これはすなわち予防医療に基づいた住宅システムの構築に等しい。

##### (2) 運動機能低下を予防する住宅システム

居住者の運動機能低下に対する従来の空間側からのサポートとして、転倒事故防止を目的とした住宅のバリアフリー化や高齢者向けの設計指針による対策が取られている。しかし、バリアフリー化は日常生活の高負荷な動作を除外するた

め、体力維持の観点からは逆効果となる可能性がある。特に、未病の段階や健康な状態であれば、運動機能を維持するためにある程度の負荷を日常的に身体に与える必要があり、階段や段差などでの高負荷な動作を日常生活からやみくもに排除することは得策ではない。また、仮に関節疾患を患った場合でも、近年運動介入による治療効果が示されており<sup>22)</sup>、個人の身体の状態に応じた適切な負荷の調節が求められる。実際のリハビリテーションの現場において、負荷の調節や運動介入メニューは患者個別の完全なテーラーメイドで作成されている。罹患前の段階における日常生活動作時の身体への負荷の調節を住宅システムに含めることは挑戦的である一方で、3.の背景を踏まえてもニーズの高い取り組みである。

筆者の研究では、住宅内での歩行や椅子から立ち上がる動作など、居住者が意識せずに行う日常生活動作の観察により、運動機能低下の早期検知および介入を実現する住宅システムの実現を目指している。提案する住宅システムのアプローチは以下の2通りである(図-8)。

- A. 住宅内での日常的な運動機能低下のスクリーニングにより、疾患の予兆を早期検知(2次予防)
- B. 空間からの適切な介入による運動機能低下の対策と健康維持増進(1次予防)

運動機能の評価尺度として、筆者は日常生活動作の中で最も基本的な動作である歩行、階段歩行、および立ち座り動作に着目している。

A. について、通常スクリーニングは医療機関などでの検査によって行われるが、住宅システムでは日常生活動作からスクリーニングを行う必要がある。そのため、居住空間に導入可能な動作計測システムを構築し<sup>23)</sup>、取得情報から日常生活動作の困難度や運動機能低下を誘発する関節疾患の進行度を推定するための指標の開発を実施している。

B. について、通常の介入は医療機関の受診を経た福祉用具(手すりの設置や杖の使用など)の導入や運動介入が一般的である。一方で、本研究では医療機関を自ら受診しない人々も対象に含めるため、福祉用具の導入判断や自発的な運動介入が難しい。そこで、居住者の日常生活動作のサポートを空間の操作によって実現することを目指している。また、対象に対する無意識下での運動介入を実現

するため、日常生活動作において個人に適切な身体負荷を与えるように空間を最適化する住宅システムを構想している。

### (3) 空間設計が居住者の健康のためにできること

日常生活動作時の身体の各関節の動きは空間設計に依存するため<sup>24)</sup>、動作から運動機能を評価する際には空間設計による影響を考慮する必要がある。しかし、在宅見守りシステム研究において空間設計によるスクリーニング精度への影響を扱った研究は少ない。また、在宅見守りシステムの多くは臨床的な有用性を示すには至っておらず、いまだ研究段階である<sup>25)</sup>。これは、十分な期間、人数での検証が行われていないだけでなく、住宅での見守りの難点である各住宅の設計や居住者の行動パターンなどの住環境やライフスタイルの違いがシステムに与える影響の調査が十分でないことに起因している<sup>21)</sup>。特に運動機能の評価は日常生活動作が行われる環境、すなわち住宅の空間設計による影響を直接受けることが予想され、空間設計の変更による評価への影響解明は急務である。実際に筆者の最新の研究から、空間設計にスクリーニングの精度が依存することが分かってきた。スクリーニングに適した空間設計が明らかになることで、予防医療を意識した住宅設計が提唱され、住む人の健康意識を高める居住空間の実現が期待される。

従来研究では、人の動作については人間工学、疾患リスクについては疫学で行われている。とりわけ公共性の高い建築に対しては先述のバリアフリーなど安全性を第一とした設計指針が示され、公衆衛生学において考察されている。一方で予防医療の視点を住宅に導入する発想は未だ新しく、分野の垣根を超えた学際的な取り組みとなる。例えば階段の設計が転倒リスクに与える影響に関する研究は、疫学および人間工学の両分野において行われているが、両者の視点を盛り込んだ研究は少なく、転倒リスクを考慮した建築設計指針への提言には至っていない<sup>26)</sup>。筆者は、計測による動作の理解、医工連携による疾患リスクの定量化、および空間設計による介入で構成される、予防医療実現のための新しい住宅システムの提案を目指している。

## 5. おわりに

本稿ではスマートホームおよび在宅見守りシステムの概要と昨今の住宅に対する社会的ニーズを踏まえた最新の研究についてまとめた。スマートホームは今後ますます進化していく。その方向性は高齢者の見守りに向かっているが、ただ見守るだけではなく、空間から能動的に居住者一人ひとりの健康に細やかにアプローチしていくことがスマートホーム研究のブレイクスルーとなると筆者は考える。

センサデバイスや ICT の発展により今後はより多くの情報が取得され、高次元な情報解釈が可能となる。取得情報同士の因果関係が解明された暁にはセンシングする情報を必要最小限にとどめた在宅見守りシステムとして一つの完成形となるだろう。より高度な技術が日常生活センシングに応用される未来に向けて、建築工学の研究者として空間から居住者の健康に働きかける住宅システムの構築に今後も努めたい。建築空間という制約の中で居住者とのインタラクションを活性化しながらよりスマートなセンシングを実現すること、そして何よりも居住空間内にアクチュエーションを溶け込ませることが、今後の住宅システム提案における課題である。

### 【参考文献】

- 1) S. Majumder, E. Aghayi, M. Nofaresti, H. Memarzadeh-Tehran, T. Mondal, Z. Pang, M. J. Deen, Smart homes for elderly healthcare-Recent advances and research challenges, *Sensors* 17(11) (2017) 2496.
- 2) K. Sakamura, Tron-concept intelligent house, *The Japan Architect* 65 (1990).
- 3) C.D. Kidd, R. Orr, G.D. Abowd, C.G. Atkeson, I. A. Essa, B. MacIntyre, E. Mynatt, T.E. Starner, W. Newstetter, The aware home: A living laboratory for ubiquitous computing research, *International Workshop on Cooperative Buildings*, Springer, 1999, pp. 191-198.
- 4) T. Linner, J. Guttler, T. Bock, C. Georgoulas, Assistive robotic micro-rooms for independent living, *Automation in Construction* 51 (2015) 8-22.
- 5) V. Frisardi, B.P. Imbimbo, Gerontechnology for demented patients: smart homes for smart aging, *Journal of Alzheimer's disease* 23(1) (2011) 143-146.
- 6) G. Demiris, B.K. Hensel, Technologies for an aging society: a systematic review of "smart home" applications, *Yearb Med Inform* 3 (2008) 33-40.
- 7) 大川弥生, 介護分野におけるコミュニケーションロボットの活用に関する大規模実証試験報告書 修正版, 2017. 7. 27.
- 8) A. M. Ami Ogawa, Performance of a Sensor Agent Robot in a Real Living Environment for Monitoring in Houses, *Proc. International Conference on Smart, Sustainable and Sensuous Settlements Transformation*, 2018, pp. 35-40.
- 9) United Nations, *World Population Prospects 2019*. <https://population.un.org/wpp/Download/Standard/Population/>. (Accessed 20th September 2020).

- 10) 厚生労働省, 平成26年版厚生労働白書, オンライン. (<https://www.mhlw.go.jp/wp/hakusyo/kousei/14/backdata/1-3-1-04.html>). (Accessed 10/1 2020).
- 11) 厚生労働省健康局がん対策・健康増進課スマート・ライフ・プロジェクト事務局, スマート・ライフ・プロジェクト, オンライン. (<http://www.smartlife.go.jp/>). (Accessed 10/1 2020).
- 12) 総務省統計局, 政府統計の総合窓口 (e-Stat). <https://www.e-stat.go.jp/>. (Accessed 10/1 2020).
- 13) 厚生労働省, 平成29年 患者調査 (傷病分類編). <https://www.mhlw.go.jp/toukei/saikin/hw/kanja/10syoubu/>. (Accessed 10/1 2020).
- 14) 小川愛実, 三田彰, 居住空間における歩行見守りロボットの有用性の検証, *日本建築学会環境系論文集* 83(752) (2018) 801-810.
- 15) J. Verghese, C. Annweiler, E. Ayers, N. Barzilai, O. Beauchet, D. A. Bennett, S. A. Bridenbaugh, A. S. Buchman, M. L. Callisaya, R. Camicioli, Motoric cognitive risk syndrome: multicountry prevalence and dementia risk, *Neurology* 83(8) (2014) 718-726.
- 16) 立花陽明, 変形性膝関節症の診断と治療, *理学療法科学* 20(3) (2005) 235-240.
- 17) 田井中幸司, 青木純一郎, 在宅高齢女性の転倒経験と体力, *体力科学* 56(2) (2007) 279-286.
- 18) 村木重之, 阿久根徹, 岡敬之, 吉村典子, 高齢者における運動機能低下の危険因子および転倒との関連の解明, *第27回健康医学研究助成論文集* 3 (2012) 138-147.
- 19) R. Motoya, Health Promotion for the Victims and Evacuees of the Great East Japan Earthquake, *Japanese journal of behavioral medicine* 19(2) (2013) 68-74.
- 20) C. J. Brandt, J. Clemensen, J. B. Nielsen, J. Sondergaard, Drivers for successful long-term lifestyle change, the role of e-health: a qualitative interview study, *Bmj Open* 8(3) (2018) e017466.
- 21) S. Hargreaves, M. S. Hawley, A. Haywood, P. M. Enderby, Informing the Design of "Lifestyle Monitoring" Technology for the Detection of Health Deterioration in Long-term Conditions: a qualitative study of people living with heart failure, *Journal of medical Internet research* 19(6) (2017) e231.
- 22) O. A. Uthman, D. A. van der Windt, J. L. Jordan, K. S. Dziedzic, E. L. Healey, G. M. Peat, N. E. Foster, Exercise for lower limb osteoarthritis: systematic review incorporating trial sequential analysis and network meta-analysis, *Bmj* 347 (2013) f5555.
- 23) A. Ogawa, A. Mita, A. Yoroze, M. Takahashi, Markerless knee joint position measurement using depth data during stair walking, *Sensors* 17(11) (2017) 2698.
- 24) R. Rienner, M. Rabuffetti, C. Frigo, Stair ascent and descent at different inclinations, *Gait & posture* 15(1) (2002) 32-44.
- 25) L. Liu, E. Stroulia, I. Nikolaidis, A. Miguel-Cruz, A. R. Rincon, Smart homes and home health monitoring technologies for older adults: A systematic review, *International journal of medical informatics* 91 (2016) 44-59.
- 26) N. Edwards, J. Dulai, A. Rahman, A scoping review of epidemiological, ergonomic, and longitudinal cohort studies examining the links between stair and bathroom falls and the built environment, *International journal of environmental research and public health* 16(9) (2019) 1598.