

IoTを活用した安全・安心な住環境の学際研究

東京理科大学 工学部 建築学科 准教授 **伊藤 拓海**
 東京理科大学 工学部 教養 准教授 **山本 貴博**
 東京理科大学 工学部 電気工学科 教授 **長谷川 幹雄**

はじめに ～IoT化社会のイメージ～

みなさん、モノのインターネットIoT (Internet of Things) という言葉を、聞いたことがありますか？ 新聞、テレビ、雑誌で取り上げられ、書籍もたくさん出ているので、目にすることがある人は多いのではないのでしょうか。このIoTは、さまざまなモノをインターネットにつなぎ、膨大なデータを集めて分析し、例えば人を見守り、モノの様子を監視

し、仕事を効率化したり、健康診断したり、つまり、モノ自身がいろいろな状態を感知して、自分の判断で解決策を調べ、モノから我々にしゃべりかけてくるというイメージです(図1)。IoTの使い方次第では、生活をより豊かで便利なものにしてくれるのではないかと期待されています。18世紀イギリスの産業革命を第一次産業革命とすると、IoTは第四次産業革命とも呼ばれています。

IoTをどのようなモノに、どのような場面で、どのように使うか、これがとりわけ重要になります。例えば、クルマ、住宅、健康、物流、販促、医療などの分野での利用方法について、世界中で議論されています(図1)。

皆さん、スマートフォンをお持ちでしょうか？ いろいろなところでスマホを使ってインターネットやSNSを利用している今日の状況、10年ほど前に議論されていたユビキタス社会、すなわち、だれでも、いつでも、どこでも、インターネットにつながる世界が実現されたものなのです。「ユビキタスは人がつながる、IoTはモノがつながる」というイメージです。

IoT化社会は、2020年までに家電などを中心におよそ530億個のモノがネットにつながると試算されており、そう遠くない未来に、身の回りのモノが我々の生活を支援してくれる、そんな社会が到来するかもしれません。

そこで、IoT化社会の到来に向けて、IoTの基礎～応用を解説したいと思います。

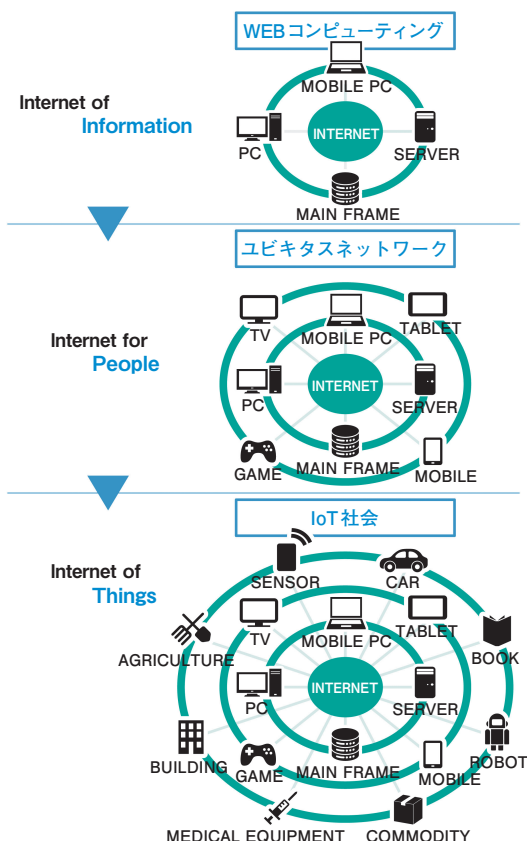


図1 IoTによって実現する社会のイメージ

IoTのイロハから使い方まで

IoTは、モノの状態を測り、ほかのモノやインターネットと通信して接続し、モノや人の様子を認識し、モノや人に通知したり制御したりするシステムです。このとき、電源につながっていないモノや、通信手段を持たないモノもありますので、起動・運転するために電源・機器（測定・通信）を確保する必要があります。そこで、

1. 環境発電・エネルギーハーベスティングの開発
2. モノの状態を測るセンシング技術の開発
3. 通信・ネットワーク技術の開発
4. 計測データの解析方法の開発

がポイントになります。1～3については、4章以降で詳しく解説しています。

ここでは、現在開発中のIoT建物について、建物の様子や動きを検出するために、IoTをいかにして起動・運転・使用するのか、そのプロセスを見ていきましょう（図2）。

まず、先ほども述べましたが、IoTは電源レス・ケーブルレス・ワイヤレスを基本としています。IoTシステムを起動・運転するため、1.の発電手法を利用します。建物には、さまざまな種類の“動き”があります。例えば、人・交通・機械振動、風・地震振動、温熱環境変化、などです。振動に着目すると、振幅レベルはさまざまですが、建物は常に振動状態にあると言えます。この動きを利用して発電し、IoTシステムを起動します。

次に、建物のいろいろな動きに合わせて、

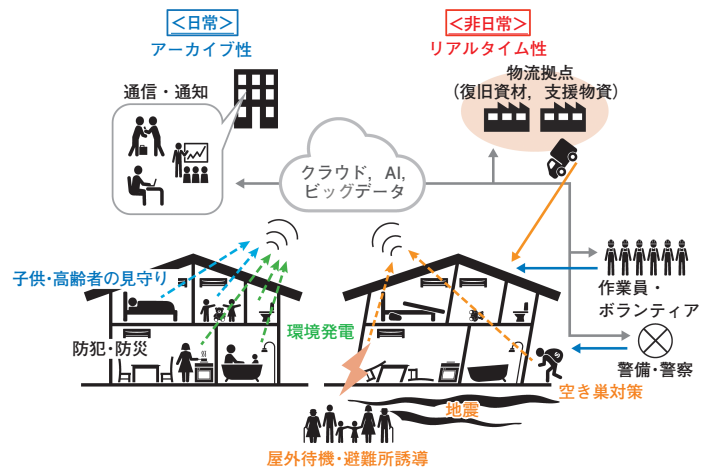


図2 安全・安心な建築IoTのイメージ

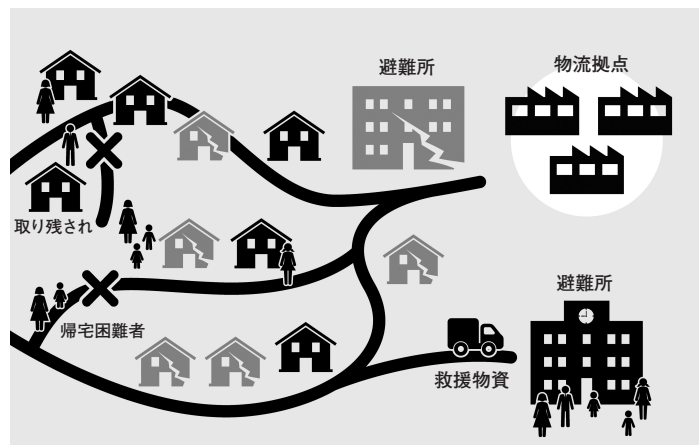


図3 災害時の人・車両・物資などの誘導

2.の方法で建物の状態を測定します。さらに、測定データを解析するため、3.の方法でデータセンターやインターネットと接続し、判定指標を使って、人・生活の様子や建物の安全性に問題がないかを判断します。

以上により、日常時や地震等非日常時に、建物は何らかの動きを見せたとき、場所・発生源・大きさなどを検出し、問題が発生していないかどうかを、建物が自己診断し、通知してくれるというイメージです（図2）。

建物が人や生活の動きを感知することで、日常時においては、子供や高齢者の見守り、防犯・防災、空き家管理、建物の保守・保全に役立てたいと考えています。また、地震等

非日常時においては、被害状況を検出し、倒壊、またその恐れのある建物を特定すると

もに、取り残された人の発見・救助、空き巣被害対策、さらに、危険な建物を回避し、帰宅困難者、緊急車両、救援物資運搬の誘導に役立てたいと考えています(図3)。

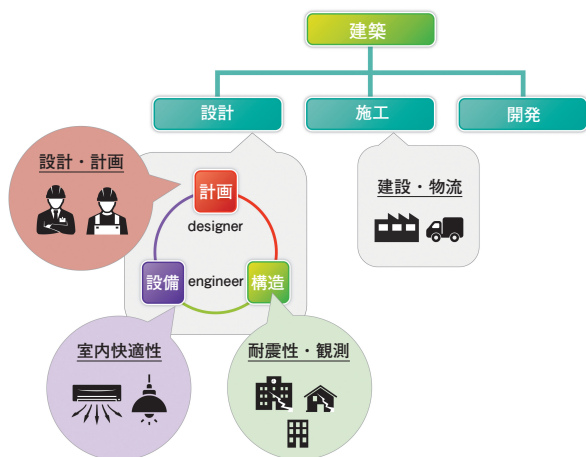


図4 建築分野の関係

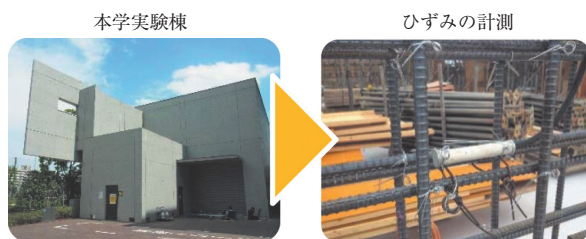


写真1 建物の計測の様子
写真提供：今本啓一教授

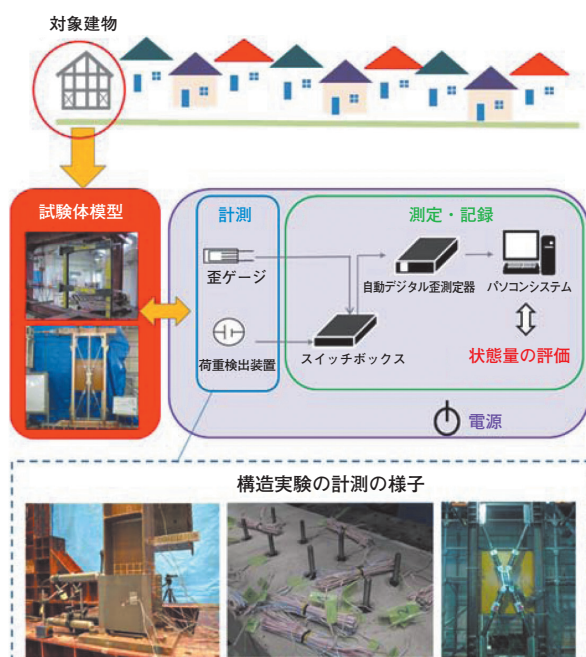


図5 構造実験手法

建築(構造)分野での展開の意義

IoTの適用先として、我々が、なぜ建物に着目しているのかを説明します。

建築学分野は、1) 設計・計画、2) 環境・設備、3) 構造・防災、に大別されます(図4)。住宅のIoTに関する議論では、2)の環境・設備分野、つまり住環境に関する満足度や生活の質に直結する室内の快適性の向上、省エネについてスマートシステムが注目されています。3)の構造・防災では、建設過程の物流、施工管理などにIoTの利用法が検討されていますが、建物利用時の安全、安心に関する議論はあまり見られません。

環境・設備分野では、空気、熱、水などが評価対象となり、構造・防災分野では天井・床や内外装材、地盤などに覆われた構造体が評価対象となり、いずれも対象が目に見えないことが多いです。

また、建物の構造体の様子や、地震被害などをモニタリングする目的で、従来より建物にはさまざまな計測機器やセンサーが搭載され、測定・観測が行われています(写真1)。つまり、建築構造分野では、保守・保全、災害時の避難、災害後の復旧・修復に活かすための、観測体制の概念が存在しています。

以上のように、IoT化への親和性を考えた場合、建築構造分野では、実験室レベルでは観測・測定技術など高度な実験法が確立し(図5)、また建物のモニタリングが行われ、日常時から非日常時まで、建物の状態量の検出や、安全性に関する評価方法が確立されています。そのため、我々は、学術的・技術的な障害は

必ずしも多くないであろうという点に着目し、建物を開発対象として、照準を合わせました。

IoTに資する環境発電

建築分野にIoT技術を適用するためには、克服しなければならない課題があるのも事実です。例えば、建屋のさまざまな状態をモニタリングするためには、多くの無線センサーが必要です。必要なセンサーの数は1兆個を超えられています。1兆個以上のセンサーを準備し、それらの電池交換を続けていくことは、あまりに無謀です。現在、IoT技術の早期実現に向けて、電池を補う新技術の研究・開発が急務となっています。

そのような技術の有力候補に「環境発電」があります。環境発電とは、身の回りの環境から未利用のエネルギー（熱、振動など）を電気エネルギーに変換する発電技術のことです。図6に、私たちの身の回りに存在する未利用の熱エネルギー量と振動エネルギー量を示します。この図から分かるように、工場や車から排出される高温の熱エネルギーや、飛行機や工事現場などから出る高振動数の振動エネルギーは、いずれも高いエネルギー源ではあるものの、それらの量は少ない。一方、低温廃熱や低周波振動は、エネルギーは小さいものの大量に存在するため、これらのエネルギーを高効率に回収し、環境発電に利用できれば、電池を使わないセンサーが実現し、サステナブルなIoT社会の早期実現が期待できます。

それでは、低温廃熱や低周波振動は、どこに存在するのでしょうか？ 実は、これらは住環境に大量に存在します。図7に、住環境空間に存在する未利用の低温熱エネルギーと低周波振動エネルギーを示します。この図で

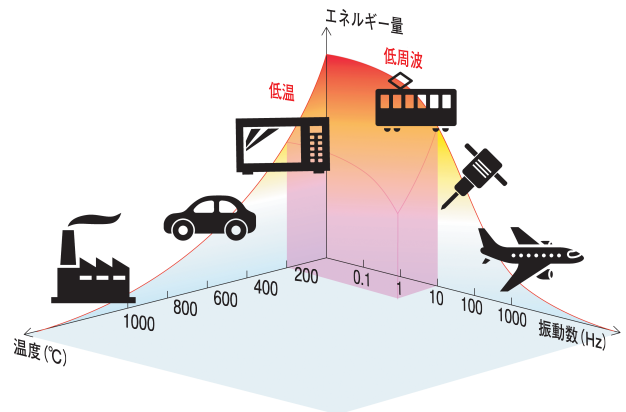


図6 未利用の熱エネルギーの温度分布と振動エネルギーの振動数分布

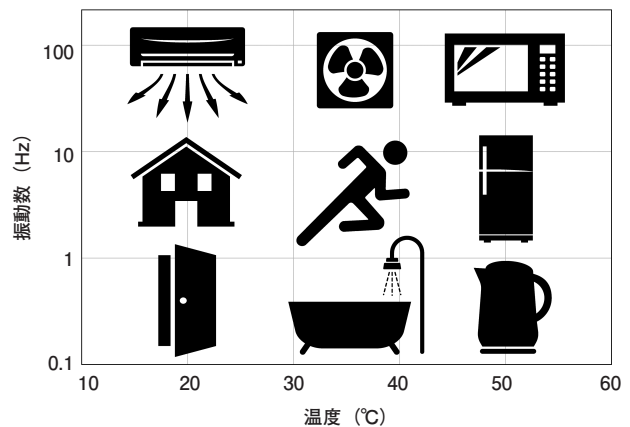


図7 住環境空間に存在する未利用の熱エネルギーと振動エネルギー

重要なことは、熱と振動は別々に存在するのではなく、両者は同一箇所から同時に排出されていることです。つまり、熱だけを発電に利用したり、振動だけを発電に利用したりする従来の環境発電技術では、不十分なのです。住環境空間での環境発電では、熱と振動の両方を同時に利用して発電する新技術が有効です。この新技術を私たちは「マルチモーダル環境発電」と名付け、現在、本学の重点課題特別研究の一環として研究を進めています。

以上のように、住環境空間に大量に存在する未利用エネルギーを高効率に環境発電に利用することで、電池に頼ることのない住環境モニタリングが可能となります。これは、災

表1 無線通信規格の比較

	携帯電話 (LTE)	無線LAN (IEEE802.11ac)	無線PAN (IEEE802.15.4g)
通信速度	数十Mbps	数百Mbps	数百kbps
周波数	800MHz~3.5GHz	2.4GHz, 5.2GHz	920MHz
通信距離	1基地局 数km (面的に展開)	数十m	数百m
消費電力	高	高	低

害時に電力供給を失った際などにも、継続的なモニタリングが可能となり、安全・安心な住環境技術に資する新技術と言えます。

IoTを支える通信技術

IoTを実現するために必要な、通信技術について考えてみます。IoTは、膨大な数のモノが相互接続するネットワークです。配線をしては大変なので、基本的には無線通信を利用します。無線通信は、携帯電話の発展によって、広く普及してきました。しかし、IoTに使うためには、現在の携帯電話をそのまま使うことはできません。一番の問題はバッテリー寿命です。膨大な数のモノを接続するIoTでは、いちいち充電しては大変なので、バッテリー寿命が数年~10年くらい持つような、低消費電力な無線通信方式を使用しなければなりません。逆にIoTでは、高速なデータ通信や映像のリアルタイム通信などはあまり必要ありません。

以下では、IoTに適する無線ネットワークとその規格について考えてみましょう。

無線通信では、正弦波(sin波、あるいはcos波)に情報を乗せて、電波にして発信します。情報の乗せ方には、正弦波の振幅、周波数、位相を変化させるさまざまな方法があります。携帯電話においては、CDMAやOFDMなど、さまざまな無線通信方式が利用されてきました。ある携帯電話システムに、世界中のさまざまなメーカーの端末を接続させるには、それらが同じ通信仕様に基づいて製造されている必要があります。携帯電

話の規格は、3GPP (Third Generation Partnership Project) という団体が標準規格を作っています。国際的な標準規格なので、今の携帯電話は海外に行っても利用することができます。

携帯電話以外にも、無線通信の国際標準規格には、さまざまなものがあります。最近の多くのスマートフォンに

は、無線LAN (WiFi) やBluetoothの無線通信機能も内蔵されています。携帯電話は広いサービスエリアを面展開しているのに対して、無線LANのアクセスポイントは数十メートル以内の小さなエリアをカバーします。携帯電話の無線通信に比べるととても近距離の通信になります。Bluetoothは、無線LANと比較すると、さらにデータ通信速度は遅く、通信距離は短くなっていますが、消費電力は低く、電池の持ちは長くなります。マウス、キーボードとパソコンの間の無線接続や、ヘッドホンの無線接続などに利用されています。これらの機器は、頻繁に電池を交換したり充電したりせずに利用できるようになっています。

無線LANやBluetoothは、IEEE (アメリカに本部がある電気電子学会) の802委員会において標準規格が策定されています。IEEE802では、Bluetoothは、無線Personal Area Network (無線PAN) の規格の一つとなっています。無線LANはIEEE802.11グループ、無線PANはIEEE802.15グループにおいて規格が作られます。IEEE802.15.4というタスクグループでは、特に低消費電力、近距離、低速なデータ通信規格が策定されています。IoTに適する無線通信方式としては、IEEE802.15.4の中で策定されているものが適すると考えられています。

IEEE802.15.4g, およびIEEE802.15.4eのプロトコルを用いたWi-SUNという規格は、数年間電池が持つ標準規格です。電気、ガス、水道のメーターの情報を、無線通信によって

自動収集するスマートメーターなどへの応用が期待されています。

表1に、LTE、IEEE802.11ac、および、IEEE802.15.4gの特徴の比較を示しています。低い周波数を使うと、通信距離が延びます。IEEE802.15.4gは、無線LANよりも低い周波数を用い、かつ、低消費電力で低速な通信方式を用いることによって、長い電池寿命を実現しています。IoTに適した通信規格として、期待されます。

IoTを搭載した建屋と 産学官連携の試み

我々の取り組みは始まったばかりですので、果たしてどの程度の実現可能性があるのか。実は、この開発対象そのものに新規性があるとともに、いろいろな分野の専門家が集まって研究に取り組んでいる体制（学際研究）そのものに特徴があります（図8）。平成27年度より、本学の教員が自主的に参加して研究組織を立ち上げ、平成27年度東京理科大学・工学部学科間横断研究助成の支援を得て、議論を重ねています。

それぞれの専門分野では、IoTに資する個々の要素技術はすでに高度化したものもあります。建築分野から見ると、建物の状態を判定する評価方法は確立していますが、IoT化に資する機器の設置や計測方法、通信方法は、従来の構造実験手法（図5）で利用していた機器・デバイスしか知りませんので、建物に搭載するにあたって限界を感じていました。しかし、電気通信、環境発電などの分野では、その技術が確立しており、実機化に向けて視界が開けるのではないかと、大いに期待しているところです。我々の学際研究組織の強みです。



図8 学際研究体制



写真2 産学官連携活動 大分県での調査研究

今回の我々の取り組みに賛同し、実用化に向けた研究開発を支援していただく動きもあります。今日、全国各地に高齢化社会・空き家などの問題を抱えた市町村があります。大分県国東市もその一つですが、行政と同地域の産業と協働し、いわゆる産学官連携により、国東市を舞台として、我々の開発研究を支援していただく予定です（写真2）。つまり、東京理科大学の実験室で基礎研究を行い、実用化に向けて国東市内の建物で実証研究を行う計画です。この取り組みを皮切りに、同じような問題を抱える全国各地の市町村との連携も目指していきたいと考えています。近い将来、理科大の建築IoT技術が皆さんの町のお役に立つ日が来るかもしれませんね。