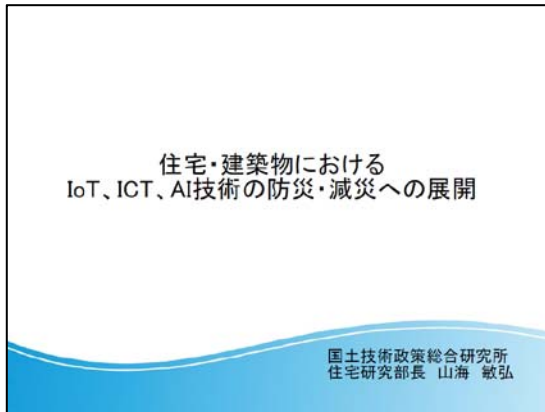
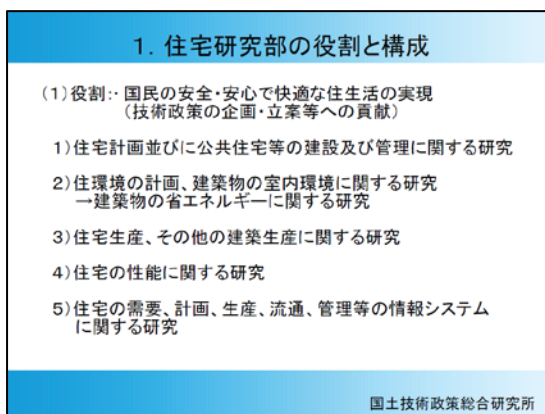
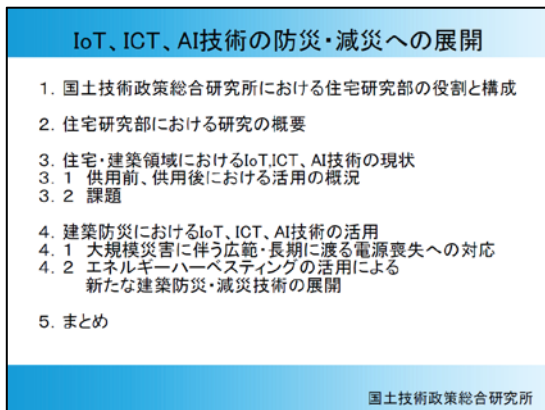


## 4.5 住宅・建築物における IoT、ICT、AI 技術の防災・減災への展開

(住宅研究部長 山海 敏弘)



ただいま御紹介いただきました住宅研究部長の山海と申します。本日は「住宅・建築物におけるIoT、ICT、AI 技術の防災・減災への展開」についてお話させていただきたいと思います。



住宅研究部では「国民の安全・安心で快適な住生活の実現」を目標として、1) から5) までの研究を所掌範囲として研究開発を実施しています。実は住宅研究部と言いながら、住宅にとどまらない研究にも相当のウエートを置いています。

## 1. 住宅研究部の役割と構成

- (2) 構成
- 1) 合計14名  
部長+部付き研究官2名+4研究室  
・住宅計画研究室(室長+3名)  
・住宅ストック高度化研究室(室長+1名)  
・建築環境研究室(室長+2名)  
・住宅生産研究室(室長+1名)
2. 研究者の属性
- |          |    |
|----------|----|
| ・住宅計画    | 5名 |
| ・建築環境・設備 | 5名 |
| ・建築生産    | 2名 |
| ・建築材料    | 2名 |

国土技術政策総合研究所

## 2. 住宅研究部における研究の概要

- 1) 住宅計画・ストック高度化関連  
総プロ 1件(新技術、PRISM)  
基礎重点3件
- 2) 建築環境・省エネルギー領域  
事項立て2件、基礎重点2件
- 3) 建築生産・材料領域  
事項立て1件、基礎重点3件

国土技術政策総合研究所

- 文字が小さくなっているため、資料を割愛しております。
- お手数ではございますが、以下の国総研HPIにおいて資料をご確認いただけますと幸いです。

<http://www.nilim.go.jp/lab/bbg/kouen/kai/index.html>

住宅研究部の構成と言いますのは、こちらのスライドに示したとおり、14人の研究者によって構成されています。住宅計画を専門領域としている人間が5名、室内環境・設備が5名、建築生産（建築物の生産システムを研究対象とする）が2名、建築材料（建築物の外装材等、諸々の材料を研究対象とする）が2名ということで、住宅計画以外の領域では、住宅を含めた建物全般を扱っています。

本日の講演では、IoT、ICT、AI技術というものに関して、公的な研究所である国総研がこの種の民主導の技術に関して、どのような形でコミットしていくことが国民にとって真に有益なのか、ということを考える上での、基本的な考え方をお話したいと思います。

左のスライドは、文字が判読できない解像度ですが、ここでは濃淡をご覧頂きたいと思います。横軸に建築物の供用開始前、供用開始後という軸を取って、縦軸に建物全般、構造、設備、住宅全般、住宅設備を設定しています。この表は、インターネットを通じてAI、ICT、IoTに関して何らかの発表があったものを機械的に集め、プロットしたものです。

多分、A3サイズまで拡大すると文字も判読できるはずですが、これを見ていただくと、明らかに建築物の供用開始後、それも運用の部分に最も多くの発表が行われているということが見てとれます。

では、具体的にどんなことをやっているのかということですが、設計、施工という領域では、建築物におけるデータのモデリング、BIM等の活用に関して、多くの発表事例がありました。計画の可視化、施工計画の自動構築等、ゼネコンベースの発表もあり、安全管理という点については、作業者に体温をはかるセンサーをつけて作業安全を確保するというシステム等も公表されていました。

これに対して、建築物の運用という領域では、建築設備、住宅設備に対して組み込みセンサをビルトインし、ネットワークで連携させて活用するシステムや、電源を必要としないセンサリングシステム、エネルギーハーベスティング等に関して数多くのシステムが公表されていました。

I 設備等に組み込まれたセンサ・コンピュータをインターネットでつないで協調的に動かすシステム

が、多量に発表されているということになります。

これに関しまして、特に注目すべきことは、電力を余り食わないセンサー・デバイスが開発されて低価格化し、あらゆるものにセンサーを組み込むという状況にどんどん近づいているという傾向があり、省電力的な通信手段も続々と実用化されつつある、という点です。

これらの技術が最終的なサービスとして一体的に提供できるよう構築されているのか、という点については、後ほど申し上げますような課題もありますが、相当実用域に近づいていることが実感される状況となっています。

インターネットでの調査だけでは余り深いことはわかりませんので、調査対象の10件程度選定し、ヒアリングを実施しましたが、ヒアリングでは、IoT と AI の複合的な技術についても興味深いお話がありました。

例えば住宅では、実は階段で転倒して死亡する人よりも、お風呂で溺れて死ぬ人のほうが多いです。お風呂での溺死を防止しようと監視カメラをつける、通報をする、といろんなことを考えてみても、実はプライバシーの壁を越えられない、時間的に間に合わない等いろいろな問題があり、対策が非常に困難と考えられていました。この点をブレイクする技術として、最近実用化が急速に進んできた AI 技術が注目されています。

最近の AI 技術における最大の特徴は、単純に画像を判別することができる、違いがわかる、という点です。画像がわかるということはどういうことかということ、おぼれている人を認知することができるという可能性があるということ、そして、その人がおぼれていると画像を含む情報を、ある建物のお風呂の中のシステム内で完結させることによって、プライバシーを確保しながら、この種のインシデントを把握し、対応できる可能性があるということです。

ちなみにインシデントを把握できた後、それから後どうするのかということに関しても、さまざまなアイデアが提示されています。実はお風呂というのは、お湯を抜いてしまうのに数分かかりますので、栓を抜いても人間が溺れるのを防止するには間に合わない、ということになってしまうのですが、例えばお風呂の下にエアバックを入れておいて、人がおぼれたら、ばさっと人間を機械的に浮かしてしまうという方法も検討可能、ということになります。

この表は、建物の安全性の確保、利便性の確保、健康性の確保という大枠に分類できますが、現在実装されているのは利便性と快適性に関連するものが大変多いということになります。

災害対応という点では、建物に加速度センサーを取りつけてリアルタイムで被災時の加速度を計測する等により、被災後のダメージというものを直接的に評価できるようなシステムが幾つかのゼネコン、ハウスメーカーから既に提案されており、実際のビジネスとして動いています。

このようなシステムを使うことによって、災害後の機能継続、迅速な再使用の実現が期待されています。

### 3. 住宅・建築物におけるIoT技術等の現状

#### 3.2 課題

- (1) 運用段階における活用事例が多かった(2017年時点)。  
→メーカー、メーカーと連携したゼネコン・サブコンによる事例等
  - (2) 各グループ間が調整しない形で技術が展開  
→更に技術の「サイロ化」が進む。
  - (3) IoTが大きな社会的便益を生むようにするための課題
    - ①「サイロ化」した技術を超えて相互接続・運用する技術の開発
    - ②責任・責任分界点の明確化等によるひとまとまりの価値の構築  
・一品一様: Industry 4.0、安全問題、不幸な組み合わせ
    - ③世代管理問題への対応(耐用年数の異なるシステム)
    - ④既存建築物への適用性向上(ケーブルレス化)  
・IoT機器が低廉化すると、相対的に配線工事等のコストが課題
    - ⑤様々な原因による電源の途絶への耐性向上  
・建築・都市の脆弱化が問題
- ⇒「エネルギーハーベスティング」に注目: ④、⑤対応の基盤技術

国土技術政策総合研究所

では、これらについてどのような課題があるのかということをお話します。

まずスライドの①の問題についてお話しします。インターネットで物をつなげて一つのシステムをつくる、これは実用化されてきたわけですが、残念ながらいろんなグループの中での最適化がどんどん進んでおり、グループ間の調整は実のところあまり進んでいません。

例えば、住宅設備に関しては、エコーネットライトという日本が作成した規格があるのですが、アメリカやヨーロッパではバックネットという空調システム制御の規格や、ダリという照明設備システム制御の規格が運用されており、相互に全く独立した規格として動いているというのが実情です。

このように、それぞれのシステムインテグレーターが独立したシステムを作りこんでゆく過程で、それぞれにサイロが一つ一つできて、サイロとサイロの間には容易に橋渡しができない状態になっています。これは「技術のサイロ化」というべき状況であり、これは何らかの形で解決する必要があります。

このような現状を踏まえ、IoT 等が最も大きな社会的な便益を生むようにするためには、どうすればいいんだろうかと考えました。

サイロ化したものをゼロに戻すということはもうできませんので、サイロ化を前提として、これらを相互運用できるようにするための技術が必要であり、サイロとサイロをつなぐ、中間的なシステムが必要だ、と考えられます。このような相互接続・運用を実現できるシステムが構築できない限り、せっかく IoT が進展しても、不自由なメーカー囲い込みの閉鎖的な世界となるだけでなく、スライドの③の「世代管理問題」への対応も極めて困難なものとなるからです。

次に、スライドの②についてお話しします。IoT の基本的な性格上、さまざまなメーカーの製品が接続されて一つのシステムが構成され、使われている。そうしますと、何か不具合が発生したときに、責任はだれにあるのか、責任の分界点はどこなのかということがわからないと、実は安心して運用することができません。このため、責任とか責任の分界点を明確化し、供給されている1つのサービスを、ひとまとまりの価値として構築してゆく必要があります。

これを一言で言うと簡単なんですけど、建物は建物ごとに設計されますし、建物のニーズというのは一品一様でユーザーもみんな違います。Industry4.0 ではなくて、Society5.0 の世界でなので、問題は非常に複雑で、現実的な対応は大変難易度の高いものとなります。

また、「安全問題、不幸な組み合わせ」についてお話しします。例えば地震時に扉を解放するように設計されたシステムが、日常時には防犯上危険な状況を生じさせることとなるという事例は容易に想像ができるわけですが、どういうプライオリティでどういうふうにもリスクヘッジしていくのかといったルールが、実は必要だということです。

スライドの③は、世代を超えた管理をどのように実現するのか、という問題です。電子デバイスに

想定されている寿命というのは基本的に家電品と同じで7年なんです、住宅・建築物の寿命は遥かに長く、60年を超えるわけです。そうしますと、実は住宅・建築物の生涯において5回も6回もシステムを入れかえる、それもシステムの構成要素が虫食い歯のように入れ替わってゆくということになると、当初構築されたシステムは一体どうなってしまうんだというのは、だれが考えても心配です。耐用年数が異なり、全く性格の違う構成要素が組み合わせられて構築されているシステムについては、世代間管理の問題を解決しておく必要があります。

次にスライドの④の問題についてお話します。

これからの日本ではそんなに新築の建物は建ちませんので、既存の建物に上手く導入できるシステムでないと、実は余り役に立ちません。この種のシステムを既存の建物に導入するためには、IoT 機器やシステムそのものの低価格化が進むだけでは不十分で、導入を阻害する要因の除去が必要となります。システムの低価格化が進んだ状況を想定すると、これらに必要な電源、通信を確保するために必要となるケーブルの敷設が、大きな阻害要因となります。ケーブルの敷設が何で問題になるかというと、既存の建物にシステムを導入する場合、IoT 機器そのものの劇的な低価格化が進んでも、ケーブルの敷設やケーブルの敷設に伴って発生する「道連れ工事」がコストを食ってしまえば、システムの導入そのものが困難となるからです。なお、残念なことに、壁、床、天井等で発生する「道連れ工事」は、今後コストが高騰する可能性はあっても、低コスト化する可能性はほとんどありません。

最後に、スライドの⑤の問題についてお話します。

IoT を活用したシステムを導入することによって、なるほど便利で安全性も向上した、というのは大変良いことです。しかし、これらのシステムを運用するにあたって、さまざまな原因による電源の途絶に対してどのように対応するのか、という問題を解決しないと、システムの導入によって、都市・建築物が極端に脆弱化することが懸念されます。

大災害に伴う広域的・長期に渡る電源・通信インフラの途絶だけでなく、最近の災害で問題となった電源のブラックアウトや、計画停電のような周期的な停電等、様々なインシデントがありますが、こういったものに対して、IoT を活用したシステムは極めて脆弱な部分があるからです。

この問題の解決に有効な技術として、エネルギーハーベスティング（通称「エネハベ」）という技術が注目されています。エネハベというのは、日本語に訳すと環境発電と訳されますが、基本的に微小な発電能力しか要求しない点が特徴です。

例えば住宅に太陽光発電パネルを設置する場合は、6kW程度の定格出力とすることが多いのですが、エネハベでは、数 $\mu$ W（ $10^6$  W）程度の発電しかしないものもあります。

それでは、なぜそれで構わないかということ、IoT 技術の進展によってデバイス・通信がどんどん電気を食わなくなっているからです。デバイスによっては消費電流が「nA」（ナノアンペア）という単位で表示されているものもありますが、nAというのは、 $10^9$ Aですから、数 $\mu$ W 程度の発電でも稼働できるシステムを組める訳です。

では、どんなもので発電できるか、ということですが、部屋の微弱な明かり、生活に伴って発生する音等による壁の振動、発熱体の微弱な温度差、電波、電磁誘導、人間の移動にともなう床の振動等々、非常に多様な技術が実用化されつつあります。

たとえば人間の移動に伴う床の振動は、比較的エネルギー量が大きいので、これを避難誘導に用いる照明の電源とすることも、技術的には想定可能です。

**4. 建築防災におけるIoT、ICT、AIの活用とエネルギーハーベスティング**

(2) エネハベの活用による新たな建築防災・減災技術の展開

1) 建築基準法等では、停電時に備えて自家発電設備等を要求  
⇒ 局所的で短時間の停電を想定。  
広域、長期間の停電への対応はコストも含めて問題多し。

2) 外部からの電源供給が不要なシステムは法令の想定外  
⇒ エネハベを活用したIoTセンサを用いたシステム(警報装置、照明装置の一部も含む)を建築防災用のセンサとして位置づけることができれば、これらは自家発電設備等の系統とは別に、停電時も継続して運用することが可能となる。  
⇒ 広域、長期間の停電への対応性が大幅に高まる(特に広域災害による被災直後の避難場所等)

国土技術政策総合研究所

このエネハベを有効に活用することによって、スライドの(1)にありますように、大災害に伴う広域・長期にわたる電源の喪失に対して、建物の耐性を向上させることが期待できません。大電力が必要な設備を動かす部分にはやっぱり大きなエネルギーが必要なのですが、感知する部分、知らせる部分に関しては、電源供給がなくても生かしておけるという可能性があるからです。

それではなぜ従来から用いられている非常用電源の普及を進めるとい方向にいかないのかということですが、非常用発電システムというのは非常に高価ですし、ランニングコストが高く、機械の寿命もそんなに長くありません。しかも、そもそも火災に伴う停電時に数時間程度稼働することを目標として作られたシステムなので、長時間の運転には向いておらず、後述しますが停電が定期的に繰り返されるような状況も苦手です。しかし最も本質的な問題は、発電設備が大は小を兼ねない、という問題です。例えば100kWの非常用発電機を稼働する場合について言えば、100kWという容量は、作動時のみ大電力が必要なエレベーター、ポンプ、ファン等の大きな負荷によって規定されることとなるのですが、被災後における通信機能、微弱な照明機能、携帯電話等の充電機能を確保するためには大電力は不要である一方、可能な限り長時間運用できることが求められます。大容量の発電は多量の燃料を消費しますので、発電の容量と運転時間の長時間化は、相反する要求となり、双方を満足することが原理的に困難です。

また、自家用発電設備は停電発生時に起動するためのバッテリーを積んでいますが、このバッテリーは4回起動するだけの容量しかないので、計画停電等によって停電一復電を短いサイクルで繰り返すと、最後は起動できなくなって終わりということになってしまうわけです。これは、火災時の停電に対応するシステムという出自に由来するものであり、火災に伴う停電への対応という点から見れば合理的ですが、計画停電には上手く対応できない、ということです。

こういった問題に対して、エネハベは非常に大きな可能性を持っています。

大電力が必要な設備は、実は稼働が必要となる時間が短いので、エネハベによって監視・制御機能の継続に外部からの電源供給が不要なシステムを組むことができれば、大電力が必要になったときだけ非常用発電機を稼働するという合理的なシステムを組むことも可能となる可能性があります。このようなシステムも想定し、エネハベを活用した新たな建築防災とか減災技術を構築してはどうかということが考えられるわけです。今の建築基準法や消防法では、自家発電設備は要求しているものの、これらは局所的で短時間な停電しか想定していませんので、広域・長時間災害への対応性は低いという問題があります。

これに対して、大電力を必要としない監視・制御について外部からの電源供給が不要なシステムを

構築できれば、被災後のレジリエンス向上という点から見て、非常に大きなメリットがあるわけですが、現在の法令ではこういったものは想定されていません。

このため、パブリックセクターの研究所である国総研としては、エネハベを用いた IoT による防災システムについて、研究に取り組みたいと考えております。

システムの構成についても様々な手法が想定でき、空調、照明等の日常的な運用のために使用されているセンシング・制御システムを、被災後の防火安全性確保、避難支援、LCP 性能向上等に有効活用するという手法も検討可能と考えています。

そして、日常的に使用するシステムと防災システムをシームレスに取り扱うということを通じて、サイロ間のインターフェイスを取るというモチベーションを与える。そして、サイロ間のインターフェイス構築を通じて、最終的には世代間管理等々、様々な問題への解決も図っていくことができるのではないかと考えています。

5. まとめ
<ul style="list-style-type: none"><li>●住宅・建築領域ではIoT、ICT、AI技術は民間主導で長足に進歩 ⇒サイロ化、責任問題、世代管理問題等の課題が顕在化</li><li>●これら技術の既存建築物への適用性向上、電源途絶への耐性向上も課題 ⇒これらの問題を解決する基盤技術として、エネハベを活用したケーブルレスIoTに注目</li><li>●エネハベを活用した防災システムの導入は、建築・都市の広域災害後の安全性・機能性を向上させる上で有益 ⇒現行の法令では予想していないシステムとなるため、既存の技術基準については、見直しが必要 ⇒パブリックセクターの研究所として、社会的な便益を最大化するための検討が必要</li></ul>
国土技術政策総合研究所

まとめに入ります。

IoT、ICT、AI 技術は非常に長足の進歩をしていますが、サイロ化、責任問題、世代間管理問題等の課題があります。

更に、そもそも電源の喪失に弱いという致命的な欠点も持っております。

これらの技術の既存建物への適用性を上げる、電源途絶の耐用性を上げるという点については、エネハベを用いたケーブルレス IoT が有益と考え

られます。エネハベを用いたケーブルレス IoT を防災システムにおいて活用することによって、建築・都市の広域災害後の安全性・機能性を向上させることが期待できると考えています。

しかしながら、これらは現行法令では想定していないシステムなので、パブリックセクターとして、新たな技術領域の開拓に取り組む価値があると考えているところです。

以上、簡単でございますが、発表させていただきました。ご清聴、ありがとうございました。

—了—

