

## 5G で建設業界さらには 生活が変わる？

### 超スマート社会実現に 向けた産学の取り組み

鍵 直樹

海塩 渉

東京工業大学 環境・社会理工学院 建築学系

総田 長生

山田 功

アズビル(株) AIソリューション推進部

#### 1. はじめに

国連気候変動枠組条約第21回締約国会議(COP21)において、世界共通の長期目標として、産業革命以前からの平均気温上昇を2℃より十分低い1.5℃に抑え、世界全体で今世紀後半には、温室効果ガス排出量を実質ゼロにすることを目指すパリ協定が採択された。それに向けて、日本においては、2050年までに80%の温室効果ガスの排出削減という長期目標がある。オフィスなどの建築物に関しては延床面積300m<sup>2</sup>以上の非住宅建築物の「省エネ適合」が義務化されており、省エネルギー基準に適合していない建築物を建てることはできなくなる。さらには、ZEB (Net Zero Energy Building) があり、段階的な定義があるものの、建物の消費エネルギーと太陽電池等で生産したエネルギーとが同等あるいはエネルギーの余剰ができることが求められている。一方、行き過ぎた省エネルギーによる室内環境の悪化は、望ましい姿ではない。近年、働き方改革が求められており、オフィスのあり方についても再構築する時期になっている。また、SDGs (Sustainable Development Goals) の達成のためには、民間部門の投資も不可欠であり、ESG (環境・社会・ガバナンス) に配慮した企業を投資家が重視する動きが加速されている。建築設備に関連するE (環境性) は地球環境問題であるが、S (社会性) については社員の健康性・快適性の向上が関連し、建築空間のあり方に一石を投じている。とくに人口減少、長寿社会が進む我が国においては、労働者の高い満足度から労働生産性を高めることが重要となっている。現在の労働環境は、大きな空間において均一の建築環境で一定の作業効率を求めることが一般的となっている。しかしながら、個人に応じた多様な空間を提供することが、一人一人の生産性を上げることも言われている。また、労働者の健康を損なうような環境を提供することは、生産性の低下、離職率の上昇につながり、会社全体としても利益を喪失することが懸念される。米国で開発されたWELL Building Standard<sup>TM</sup>などの評価方法は、空気、水、栄養、光、運動、

温熱快適性、音、材料、心とコミュニティを評価項目としており、これまでの建築物の省エネルギーに関する評価指標に対して、室内環境、とくに室内の空気に焦点を当てた項目に重点が置かれている。我が国においても CASBEE<sup>®</sup>（建築物総合環境性能評価システム）の CASBEE- ウェルネスオフィスが存在する。またオフィスビルにおいては、新型コロナウイルス感染症への対策として換気や空気清浄、温湿度制御など建築設備の計画のあり方も変わっていくと考えられる。さらに新型コロナウイルス感染症への対応により、在宅勤務が推奨される今、ワークスペースはオフィスビルだけではなく、住宅にも広がった。このように、省エネルギー、ウェルネス、新型コロナウイルス対策、建築空間の多様化などにより、建築設備についても激動の時代に突入しているといえる。

東京工業大学は、指定国立大学法人の使命を実現するため、超スマート社会（Society 5.0）の実現を推進する「超スマート社会推進コンソーシアム」を設立し、参加機関と連携して人材育成から研究開発までを統合した新たな次世代型社会連携教育研究プラットフォームを構築している。本コンソーシアムは、従来の共同研究や社会実装を目的としたコンソーシアムとは異なり、オープンエデュケーションとオープンイノベーションの融合を目指している。そこで、本稿では、本コンソーシアムの概要とその活動の一環として構築中の超スマート社会教育研究フィールドにて取り組むスマートワークスペースに関する研究について紹介する。

## 2. 超スマート社会推進コンソーシアムの概要

東京工業大学「超スマート社会推進コンソーシアム」は、2018年10月に設立され、研究機関、自治体、民間企業などが参加し、超スマート社会へ向けた開いた情報交換の場、教育・研究の場を提供することを目的とし、超スマート社会推進フォーラム等の企画開催、学生の人材育成、そして研究開発チームのコーディネート为主要活動としており、この中で超スマート社会教育研究

フィールドを構築している。

### 2-1 超スマート社会グローバルフォーラム・超スマート社会推進フォーラムの開催

本フォーラムは、超スマート社会に関する最新動向および最新技術を紹介するとともに、コンソーシアム参加機関・超スマート社会卓越教育院登録学生・海外アドバイザーの国際的なネットワーキングの場を提供することを目的に定期的に開催している。

「超スマート社会実現のための5G and beyond（第5世代以降の移動通信網）」、「バーチャル空間（デジタルツイン）の進化と新しいライフスタイル」などについて、最先端技術の講演とディスカッションを行っている。後者のフォーラムでは、デジタル技術が製造現場やオフィスの効率化のみならず、そこで働く人々のライフスタイルや働き方を大きく変革する中、新たな社会課題を解決するツールとしてのAI（Artificial Intelligence）、IoT（Internet of Things）、デジタルツイン、XR（X Reality, Extended Reality）など、超スマート社会の実現に向けた最新テクノロジーの活用事例が紹介され、デジタルツイン関連技術の具体的な応用や利活用を通じた未来の超スマート社会への展望などを議論した。

またこのコンソーシアムの特徴として、東京工業大学研究室および学生と企業とを結びつける異分野融合マッチングワークショップがある。このワークショップでは、東京工業大学学生が研究を紹介するシーズラウンド（S-Round）と企業側の研究者・技術者が企業の取り組みを紹介するニーズラウンド（N-Round）があり、これを基に互いが意見交換を行い、マッチングが成立し、共同研究を開始するという、ユニークな取り組みもある。

### 2-2 超スマート社会教育研究フィールドの構築

本コンソーシアムのもう一つの特徴として、研究・教育の場として、超スマート社会教育研究フィールドの構築を行っている。本稿次章では、建築設備に関係するスマートワークスペースについて紹介するが、現在までのところ、スマートモ

ビリティ、スマートロボティクス、量子科学、人工知能、スマートワークスペース、スマート農業に関する研究フィールドが構築または準備されており、このコンソーシアムの研究および教育に活用されており、コンソーシアムのメンバーであればこれらのフィールドを使用して研究を行うことが可能となっている。

### 1) スマートモビリティ

自動運転やそれを活用したモビリティサービスに関する共同研究を実施するためのプラットフォームを構築している。東京工業大学大岡山キャンパス内に60GHzミリ波帯アンテナ、カメラおよびLiDAR (Light Detection and Ranging) を具備した路側機を設置した。これらの情報を融合することで、周辺環境を立体的な情報として取得することが可能となり、ミリ波無線伝送を用いてリアルタイムに車両に伝送することで、車両および運転者の事前の危険察知が可能となり、自動運転制御や安全運転に資することができる。さらに車車間通信を含めた実証実験が可能となっている。

### 2) スマートロボティクス

このフィールドでは、Robot Zoo Sky, Robot Zoo Aqua, Robot Land, Smart Manufacturing が構築されている。

Robot Zoo Sky は異種のドローンや移動ロボットを複数台同時制御することで、自然災害後の被害状況把握を支援し、レジリエンス強化に貢献することを目的としている。複数の地上ロボットを協調制御するシステムを構築し、ターゲットの監視、衝突回避、環境の巡回、給電所への帰還など、現実に要求されるさまざまな仕様を調整している。

Robot Zoo Aqua は、ロボットが活躍するフィールドを水中に拡張することを目標とし、慣性センサ式モーションキャプチャシステムを導入することで、人体やロボットに装着し、人間の水中スポーツや水中エクササイズなどの全身運動を容易に計測して解析を行うことが可能になっている。また、水上ドローンの自動制御システム構築に向けて、

制御指令の改良を行っている。

Robot Land は、協働ロボット、東京工業大学が開発した野外フィールド用4脚ロボット、ロボットの評価、制御設備群から構成されている。これらの設備を、5G, IoT, AI を活用して、災害対応・インフラ整備・高齢化等、社会課題を見据えた実践的教育研究の推進を目指している。また、オペレータの動きに従ってリアルタイムでロボットを駆動させ、ロボットの遠隔操作による協働作業を成功させている。

Smart Manufacturing では、新しい加工プロセスと切削加工に代表されるような従来型の高精度加工を連携させた高効率生産システムの提案を目指している。とくに3次元カメラを新たに導入することで、より高精度な計測の実現環境の整備を行っている。

### 3) 量子科学

量子コンピュータは、量子力学の原理に基づく超高速次世代コンピュータとして、その実用化が期待されている。超並列な高速計算が可能となることが知られており、その応用の探索も進んでいる。量子ビットを実装・評価するための測定系を構築し、極低温における量子現象を観測するための高精度な測定系を拡張するため、新たな設備を導入している。

量子効果（量子力学に現れる現象）を使った量子センサでは、物理現象や対象物の状態を電気信号に変換する装置であり、従来よりも高感度な検出が可能になり、今までは検出できなかった情報が検出できることが期待されている。高感度な検出が可能になれば、心臓や脳から発生している微弱な磁界を検出できるようになり、脳磁計や心磁計として医療に応用することができる。

### 4) 人工知能

コンピュータによる制御には、センサやカメラによって周囲の状況を認識・理解し動作するシステムが不可欠である。これにはフィジカルな世界の情報からコンピュータが扱いやすい記号的な情報に変換する必要がある。人工知能技術の一つである深層学習を効率よく使用するには高度な計算

資源が必要となるため、クラウド上のサービスを使うことで、東京工業大学のスーパーコンピュータ TSUBAME を利用することができるよう確立している。

### 5) スマートワークスペース

より良い働く場を目指した「スマートワークスペース」をテーマにプラットフォームを構築している。詳細については、次章で述べる。

### 6) スマート農業

スマート農業は、ロボット、ICT、AI の先端技術を活用し、育種、生産、加工、流通、消費という農業におけるフードチェーン全体の生産性を高めることを目的としている。東京工業大学が強みとするロボット技術、ICT 技術、AI 技術を活用することで、さまざまなセンサから多くのデータを取得し、それを用いて意思決定を行うエッジ AI およびクラウド AI を構築する。将来的には、無人での運用が可能な遠隔農業の実現を目指す。

## 3. スマートワークスペース

2章で紹介した、東京工業大学超スマート社会推進コンソーシアムにおいて、筆者らは、より良い働く場を目指した「スマートワークスペース」をテーマに教育研究フィールドを構築している。これまで働く場として、オフィス以外の選択肢が

ほとんどなく、オフィスは単純に仕事の生産性を高めることに焦点が当てられてきた。しかし、健康経営への関心の高まりや働き方改革関連法の施行に伴い、オフィスでの健康管理も強く求められている。さらに COVID-19 の流行によって、在宅勤務の導入が急激に進み、住宅にも働く場としての役割が求められるようになった<sup>1)</sup>。そこで本スマートワークスペース教育研究フィールドでは、オフィスと住宅の働く場、ならびに健康管理の場としてのあり方の検証を計画している。

### 3-1 検証のための環境構築

まず、オフィスの働く場、健康管理の場としてのあり方を検証するために、東京都内の実際のオフィスにセンサネットワークを構築して、従来からセンシングしている温度、湿度などに加えて、熱画像やバイタルサイン（脈拍、体温等）を取得できる環境の構築を開始した。

ここでは、次節 3.2 に説明する三つのテーマごとに研究エリアを構築している（図-1）<sup>2)</sup>。もう一つの重要な働く場となった住宅に関する検証をするための環境も、今後東京工業大学のキャンパス内に構築していく計画である。

### 3-2 オフィスでの検証テーマ

#### 1) ポストコロナ

オフィス利用者の健康管理面での喫緊の課題と

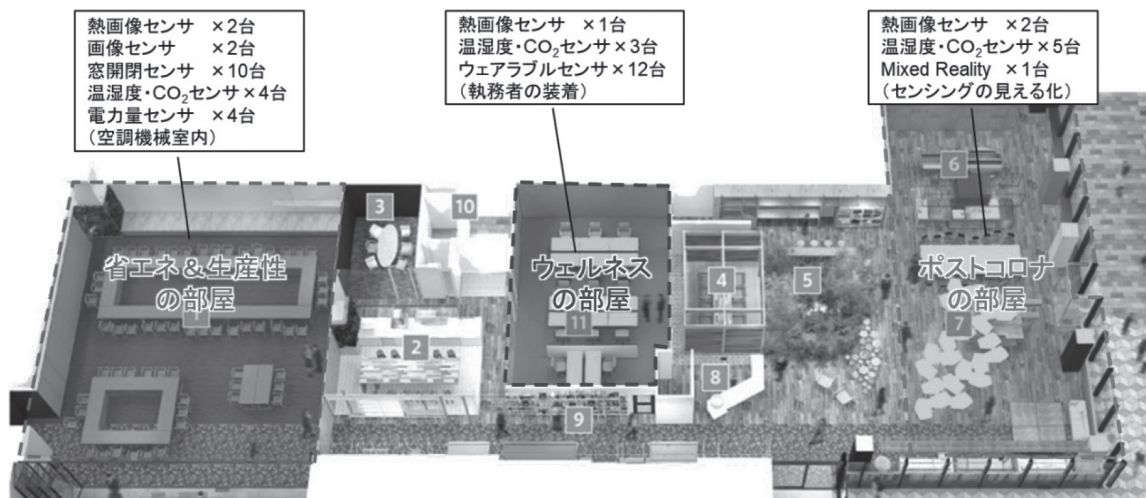


図-1 テーマごとの研究エリア





図-2 熱画像を使用した PMV の推定

して、ポストコロナ下での感染対策が挙げられる。熱画像センサ情報や空調制御システムでセンシングした情報を境界条件に数値流体解析を行い、飛沫核の挙動をサイネージや XR を構成する技術の一つである MR (Mixed Reality) で可視化することで、ポストコロナ時代の感染対策を提示したいと考えている。

## 2) ウェルネス

これからは、治療から予防へより日常での健康管理が必要になってくることを想定し、ウェアラブルセンサなどを使用したバイタルサイン(脈拍、体温等)の計測により、オフィスでの健康管理のあり方を検証することを計画している。

## 3) 省エネルギーと生産性

個々の人に寄り添った細やかな制御による省エネルギーと快適・生産性の両立を目指している。これを実現するために熱画像から AI 技術によって、個人の快適性を PMV (Predicted Mean Vote) を指標として、推定する<sup>3)</sup>ことを計画している(図-2)。

デンマーク工科大学のファンガー博士により提案された PMV は、総合的な温熱快適性指標とし



図-3 PMV の 6 要素

て国際基準 ISO7730 に定められている<sup>4)</sup>。PMV は空気温度、平均放射温度、風速、相対湿度、着衣量、代謝量の 6 要素から求められ(図-3)、-3 から +3 の範囲で温冷感を数値化し表現する。(図-4)。

これらの 6 要素の中で、着衣量などは、センシングすることが困難であるため、空調制御の対象エリアにいる個々人の PMV を計算することも困難となっていた。しかしながら近年の AI 技術の発展により、高解像度赤外線カメラで撮影した室

温冷感	PMV の値
Hot (暑い)	+3
Warm (暖かい)	+2
Slightly warm (やや暖かい)	+1
Neutral (中立)	0
Slightly cool (やや涼しい)	-1
Cool (涼しい)	-2
Cold (寒い)	-3

図-4 温冷感とPMVの値

内の熱画像から、人の有無・位置・表面温度などの情報を取得できるようになってきている。これらの情報と従来からセンシングしている温度、湿度などの情報から個々人のPMVを計算して、個々人が快適性をどう感じているかを推定することを計画している。

#### 4. まとめ

本稿においては、超スマート社会推進コンソーシアムの活動概要とその中の超スマート社会研究教育フィールドにおけるスマートワークスペースを紹介した。このコンソーシアムは5G、AI、IoT、XRをキーワードに活動しており、オープンに情報交換、研究活動を行っている。興味があれば、東京工業大学「超スマート社会推進コンソーシアム」にコンタクトしていただければ幸いです。

#### 謝辞

東京工業大学超スマート社会推進コンソーシアムおよび超スマート社会卓越教育院の活動内容を中心に報告させていただいた。

#### [参考文献]

- 1) 2020年度 超スマート社会推進コンソーシアム活動報告書
- 2) エコツェリア協会 3×3Lab Future HP : <https://www.33lab-future.jp/about.html> の画像をもとに作成
- 3) Shuntaro Kotani, Tomonori Minegishi, Tasuku Imanishi, Naoyuki Aota, Practical multi-person PMV estimation using infrared thermography and deep learning, SICE AC2020.
- 4) ISO7730, Ergonomics of the Thermal Environment-Analytical Determination and Interpretation of Thermal Comfort Using Calculation of the PMV and PPD Indices and Local Thermal Comfort Criteria, 3rd ed., 2005.

#### [商標]

CASBEEは、一般財団法人建築環境・省エネルギー機構の登録商標です。