

データ時代の基盤となる、 スマートビル用センサ

ジョナサン・キャッチポール

スマートビルの照明、HVAC、空気質を制御するための7種類の測定データと、開発者がそれらのデータを最大限に活用できるようにするために、最新センサがどのように設計されているかについて解説する。

5G通信ネットワークの開発が進み、モノのインターネット (Internet of Things : IoT) の一環として私たちの身の回りのあちこちにセンサが組み込まれる中、2020年代はデータ時代とみなすことができる。私たちが働き、学び、くつろぎ、居住する最新世代のオフィス、娯楽施設、公民会館は、まさにその例である。インドの市場調査会社であるフォーチュン・ビジネス・インサイト社 (Fortune Business Insights) のレポートによると、スマートビル市場は2026年までに年間12%の成長率で拡大する見込みだという (<https://>

bit.ly/2Z71le2)。スマートビルシステムからのデータは既に、照明やHVAC (暖房/換気/空調) の制御による省エネに貢献している。しかし、生産性や人材維持にもそれを活用できる可能性がある。

競争力の強化につながる 屋内空気質

WELL Building Standardによると、二酸化炭素 (CO₂) と揮発性有機化合物 (VOC) は、どちらも屋内空気質の指標であるという。この規格は、建物利用者にとって快適な環境を構築するため

の枠組みを提供することを目的としている (<http://bit.ly/2XXjJT1>)。職場環境は人材の確保と維持に不可欠な要素であると考え、金融機関や技術企業などが、いち早くこれを導入している (図1)。

この規格が他の建造物規制やデザインコードと異なる部分の1つが、空気質に焦点を当てている点である。CO₂に関しては、CO₂濃度が高いと認識能力が低下する可能性があることが各種研究によって明らかになっている。それは、判断能力、質の高い仕事を持続する能力、学習や会話を効果的に行う能力に影響を与える可能性がある。従って、屋内空気質は、職場における生産性、教育における人生上の成果、病院における臨床転帰に多大な影響を与える。

今のところ教育機関や医療施設に対する法規定はないが、英国の教育省 (Department for Education) は、換気の種類に応じてCO₂の最大濃度を1000 ~ 1500ppm未滿とすることを推奨するガイドラインを発行している。

屋内空気質のもう1つの指標であるVOCには、臭いを発生させるあらゆる物質が含まれる。一部のVOCは有害である。洗浄液、接着剤、塗料の残留物などが、その例である。有害ではないが不快なVOCも存在する。例えば、オフィスのランチタイムに同僚が食べたものの臭いを、快く思わない人



図1 このような現代的なオフィスでは、高度なセンサ機能を照明器具や天井部分にシームレスに組み込むことにより、占有状態や光レベルを検出することができる。また、HVACシステムのモニタリングや制御を支援し、WELL Building Standardに準拠した屋内空気質対策を講じることができる。(写真はすべて、TEコネクティビティ社提供)

も中に入るだろう。その他に、強い臭いではないVOCも存在する。吐く息に含まれる化合物がこれに当たる。

世界保健機関 (World Health Organization : WHO) は、VOCを屋内空気汚染であり、健康リスクであるとみなしている。また、一部の種類のVOCを肺疾患と関連付けている。しかし、どのような香りや臭いであっても、オフィスや教室では集中力の妨げや気が散る要因になる可能性がある。CO₂濃度が高く、注意が散漫になりがちな建物の中では特にそうである。それと同時に、建物のエネルギー効率に関する規制から、窓は密閉される傾向にある。その結果、一日を通してCO₂とVOCの濃度は上昇する可能性があり、その影響と、それを測定して制御する方法に対する関心が高まっているのはそのためである。

そこで、空気質モニタリングをスマートビルに追加すれば、換気率を調整して、建物利用者の集中力と快適性を維持し、望ましくない注意散漫の要因を取り除くことができる。これを念頭に置いて、将来のビルには、快適性とエネルギー効率を目的とした、7種類のセンサを装備する必要がある(図2)。

4つのコアセンサ

4つのコアセンサによって、HVAC制御に必要な基本データが提供される。そのうちの2つは、占有状態の検出と、照明のための自然光データの取得に必要な、パッシブ赤外線 (passive infrared : PIR) センサと周辺光センサである。残りの2つは、温度センサと湿度センサである。そのすべてが、スマートビルシステムにおいて既に十分に確立された状態にある (<https://bit.ly/3hRqy3H>)。

PIRセンサの課題は、市販の標準的



図2 スマートビルシステムの一環として屋内空気質をモニタリングする、高度なセンサのネットワークにより、教育機関は公衆衛生ガイドラインを容易に遵守できるようになる。

なレンズではやや「検出範囲が狭い」ことである。しかし、フレネルレンズを使用すれば、より広い範囲をカバーするようにアップグレードすることができる。フレネルレンズは、成形ポリマーからの量産が可能である。視野が広いと、単一のPIRセンサでより広い空間をカバーすることができ、少数のセンサでビル全体をカバーするような設計が可能になる。

温度、湿度、周辺光の各センサを組み込む際にも、設計者は障害に遭遇する可能性がある。

コンポーネントをプリント回路基板 (Printed Circuit Board : PCB) にはんだ付けする際には、温度センサが取得するのは通常、オフィスの空気の温度ではなく壁の温度であることを覚えておくといよい。従って、システムを調整可能とし、室内の温度プロファイルを考慮に入れられるようにすることが重要である。例えば、測定温度を補正するためのアルゴリズムを使用することができる。

周辺光も、室内のセンサと占有者の

相対的位置だけでなく、筐体内のセンサの位置によっても、変化する要素である。屋根の高さに取り付けられたセンサ装置が検知する光レベルは、デスクの前に座る人が受ける光とは異なるため、設定時に照度レベルを測定して調整することにより、関連する周辺光レベルで照明輝度の上げ下げが行われるようにすることが重要である。

マイク

信号とノイズのふるい分け

スマートビルのもう1つの重要なセンサが、マイクである。マイクには2つの役割がある。1つは、占有状態の確認である。これに加えて、人工知能 (AI) エージェントを介した音声操作を組み込むこともできる。

技術的なレベルでは、マイクはおそらく、すべてのセンサの中で最も単純明快である。マイク技術はモバイル通信によって促進されていることから、今日のマイクは小型かつ安価な上に非常に感度が高く、超音波の周波数範囲にまで対応する。

マイクは、微小電気機械システム (microelectromechanical system : MEMS) 技術をベースに構築することができる。MEMS 製造では、エッチングを利用してシリコンウエハに微細構造を作成する。マイクの場合、この構造は、振動を拾って電気または電子信号に変換する振動板の形態をとる。

マイクを PIR センサと併用すると、エネルギー効率の面で明らかな効果が得られる。室内にいる人が、デスクに向かって静止しているが、キーボードを打つ音や電話で会話する声を発している場合に、それを検出することができる。ノイズレベルのモニタリングは、オープンなオフィス環境の最適化にも役立てることができる。

施設管理者はそのデータセットから、防音壁の設置を正当化するための情報を得ることができる。従って、WELL Building 認証を目指す設計者に不可欠なデータを供給することができる。

しかし、マイクの課題は、人々の個人空間におけるプライバシーに関する懸念である。音声操作は可能で、一部の市場では非常に望ましい機能だが、誰もがそれを欲しているわけではない。機密保持が必須となる組織では、特にそうである。

マイクからのデータを、音声を拾わずにただノイズレベルを把握するためだけの手段として利用することが可能である。マイクからのアナログ出力をサンプリングして、そのコンテンツではなくレベルをモニタリングすることによって、これを行うことができる。これは、スピーカーで音声を聞く代わりに、オシロスコープで音波のグラフ出力を見ることが似ている。エンジニアは、マイクのアナログ出力を利用して音声レベルをモニタリングすることにより、こ

の機能を実現することができる。

建物用の空気質センサ

施設内の空気質を最適化したい場合は、CO₂とVOCのセンサも追加するとよい。しかし、CO₂は無色無臭で、不活性ではないが非反応性のガスであるため、検出が難しいことが課題である。

CO₂を検出できるセンサ技術は2つしか存在しない。1つは、非分散赤外線吸収法 (non dispersive infrared : NDIR) である。これは、CO₂が光の特定の波長を吸収することを利用し、光源と対象センサの間でどれだけの光が吸収されたかを測定することによって、環境内のガス濃度を計算するものである。

しかし、NDIRはスマートビルモジュールや照明器具に組み込むには、比較的大きく、扱いにくく、コストのかかる装置である。NDIRセンサは新しく設計されたものでも、一般的な人の親指の最後の関節から指先までほどのサイズで、上述の他のどのセンサよりもはるかに大きい。加えて、センサ1個の価格は、約45ポンド(約6000円)にも上る可能性がある。これらは、サイズ縮小とコスト削減の圧力を受ける、LED用の電子システムや筐体の設計者にとって大きな欠点である。それでも、真のCO₂濃度を高い精度で測定できるというメリットがあるため、一部の用途においては現時点で唯一の解決策である。

もう1つは、eCO₂センサである。“e”は“equivalent”を意味する。これは金属酸化物 (MOX) センサで、一般的な建物内において、CO₂とVOCは一定の割合で共存しているという原理を利用する。MEMSデバイス内の加熱されたガス検知半導体プレートの抵抗を測定することによって機能する。続い



図3 AmbiMateのようなコンパクトで簡単に入手可能なセンサモジュールは、複数の環境センシング機能が1つのデバイスに搭載されており、市場投入期間の短縮と設計フォームファクタの縮小に貢献する。

て測定したVOC濃度から、CO₂濃度を計算する。間接的な測定方法だが、多くの用途に対して有効である。

MEMSデバイスであることから小型かつ安価であるため、スマートビルモジュールに組み込むのに最適である。欠点は、CO₂濃度を直接測定するものではないため、精度はNDIRセンサよりも低く、VOC濃度の高い環境では測定値が高く出てしまうことである。人間はVOCとCO₂を一日中吐き出すため、これら2種類のガスは互いに強く関係しており、このことからMOXセンサは、スマートビルに非常に適している。

ここで、どちらの種類の空気質センサも、24時間ごとの自己校正が必要であることにも注意してほしい。通常は、過去24時間の最低測定値を基準として、自己校正が行われる。

データと通信

上記のすべてを考慮すると、照明器具などのデバイスにセンサを組み込む前に、考察が必要な項目は、多数存在する。

PIRセンサと周辺光センサは、照明器具のコンポーネントとして既に十分に確立されている。その進歩が可能だ

ったのは、LED技術が低温であるおかげだ。しかし、さらに多くのデータとさらに多くのスマートビル機能が求められている。

他のデータの測定については、サイズが小さく、広く利用可能で、安価であることが、理想的なセンサの条件である。加えて、開発者が簡単に組み込めるものでなければならない。

それはまさに、当社がスマートビルセンサ「AmbiMate」を開発したときに目標とした原則だった。AmbiMateは、一般的なスマートビルセンサを、約30×16mmの1枚のPCB上に搭載したものである。ArduinoやRaspberry Piと互換性があるため、メーカー各社によって既に採用されている(図3)。

例えば、BK Hobby氏は、GitHub上の「Kube Multisensor」に対する自身の設計を、複数の通信プロトコルをサポートする、低コストでオープンソースのスマートビルセンサとして公開している。同氏がAmbiMateセンサを選択したのは、直ちに開発に取り掛かることができ、必要なすべてのセンサが含まれていたからだった。

このモジュールはプレハブ式であるため、複数のセンサを個別に入手して組み込む必要がない。従って、調査、開発、テスト、設定に必要なエンジニアの時間や労力が軽減される。その結果、エンジニアは製品を迅速に市場に投入することができ、自分の時間を、顧客のためのサービス戦略やデータサービスの開発など、製品のその他の側面に向けることができる。

このようなデバイスは、4つのコアセンサだけで構成されるものも、それにマイクやeCO₂/VOCセンサをオプションとして備えるものも存在する。オプションとなる代替センサは、同一サイズであることが望ましい。そうすれ



図4 ディストリビューターのアロー・エレクトロニクス社は、TEコネクティビティ社のAmbiMateセンサを活用して、「Sentimate」というワイヤレスセンサ装置を構築した。ワイヤレス機能とバッテリー部品が搭載されており、製品開発者が柔軟に組み合わせて使用できる製品となっている。

ば、すべてのオプションの機械的／電氣的／制御機能に対応する単一の設計を構築することができるため、顧客にオプションを提供したいと考える設計者にとって好都合である。

今後5年間の進歩

今後5年間の進歩を考えると、適切なデータを提供しつつ、サイズ、精度、機能、通信プロトコルの要件を満たすセンサソリューションを見つけることが不可欠である。米アロー・エレクトロニクス社(Arrow Electronics)は、同社のセンサモジュールの可能性を認めている電子部品ディストリビューターの1社である。

同社のエンジニアは、このセンサモジュールに最新のワイヤレス機能とバッテリーを組み合わせて、「Sentimate」というワイヤレスセンサ装置を構築した。電子回路の開発者に、この技術を試して、最も良いと思うセンサと無線部品の組み合わせを見つけることのできる製品を提供したいというのが、その背景にある概念である。実際のワイ

ヤレスセンサを開発するための作業の60～70%に対応し、構築したいプロトタイプ製品の仕様書の作成を支援してくれる製品となっている(図4)。

しかし、LED業界において、スマートビルセンサに向けた次の大きなステップを推進するのは、Zhaga Book 20である。この規格は、ドライバ通信と、センサや通信ノードの機械的設計の側面(寸法、固定方法、接続インタフェース、キープアウトゾーンなどを標準化することにより、照明器具に対する業界のアプローチの将来的な有効性を保証するものになる。

この規格が公開されれば、サプライヤー各社は、複数の種類のすべてのセンサが、照明器具用に特別に設計された単一のモジュールに搭載された、次世代のセンサを開発することができるようになる。

著者紹介

ジョナサン・キャッチポール(JONATHAN CATCHPOLE)は、スイスを拠点とするTEコネクティビティ社(TE Connectivity)のシステムアーキテクト。

URL:<http://www.te.com>