

オフィスビルの清浄空気目標に対応するためのモデル化手法

ケリー・フォークナー、ゲイブ・アーノルド

PNNLの研究者らは、CDCとASHRAEの室内空気質に関するガイドラインを満たすことを目的としたGUVの有効性とエネルギー使用量を、他の手法と比較している。

変異し続けるCOVID（新型コロナウイルス）、RSV（RSウイルス）、インフルエンザなど、空気感染する病原体が、次々と発生しているように感じられる。最近の感染拡大により、米国の商業施設は換気が不十分で、従業員や学生を空気感染性疾患から十分に保護していない場合が多いという認識が高まっている。これを受けて、建物の室内空気質（Indoor Air Quality：IAQ）を改善するなどの手段によって、公共空間にいる人々を守るための対策の重要性が高まっている。

室内空間におけるCOVID-19やその他の病原体の拡散に対処するために、米暖房冷凍空調学会（ASHRAE）と米疾病予防管理センター（Centers for Disease Control and Prevention：CDC）は、室内感染を抑えるための清浄空気の基準と目標を定めた。2023年に発行されたASHRAE Standard 241は、さまざまな空間タイプにおける感染リスクを緩和するための1人あたりの最小等価清浄空気流量（ECAi）を定義している。感染リスクレベルが上昇している場合、または、当局がその運用を求める場合に適用される、感染リスク管理モード（Infection Risk Management Mode：IRMM）では、この流量を満たす必要がある。ECAiは、居室者1人あたりの空気流量（cfm／人）として定義されるため、室内の占

有状態が、等価清浄空気流量の目標値を計算する際に重要となる。

一方、CDCの2023年のガイダンス「Ventilation in Buildings」（建物内の換気）では、建物内の占有空間の1時間あたりの相当換気回数（equivalent air changes per hour：eACH）を5回以上とすることを推奨しており、医療施設に対する補足の換気要件以外に、異なる空間タイプに対する目標は定められていない。ASHRAE Standard 241とは異なり、清浄空気目標は、占有状態ではなく部屋の容積に依存する。例えば、5 eACHに部屋の容積を乗じると、その部屋に必要な（容積換算）清浄空気流量（cfm）が求められる。

ASHRAEとCDCの目標値はどちらも、室内殺菌用紫外線（germicidal ultraviolet：GUV）やポータブル空気清浄機（Portable Air Cleaner：PAC）といった室内空気清浄システムを直接使用するか、あるいは、外気換気、HVACろ過、ダクト内GUVなどの集中管理型HVACシステムの対策を適用することによって達成できる。このような対策は、居室者の健康にプラスの効果を与える一方で、快適性とエネルギー使用量にも影響を与える。では、これらの対策にどれだけの効果があるのだろうか。

空気感染する病原体の抑制対策を個別に評価する研究はかなり進んでいる

が、ASHRAE Standard 241とCDCの清浄空気目標を達成するための最善策については、まだ知識が不足している。GUVやPACなどの対策を、ろ過や外気換気と比較するとどうなのか、また、GUV技術を含む複数の対策を、居室者の健康、快適性、エネルギー消費量に対する影響という観点で比較するとどうなのかに関する情報が必要である。研究は、感染リスクとエネルギー消費量のどちらかに焦点が当てられて、その両方を、熱的快適性などの他の影響とともに考察することは行われない場合が多い。

米パシフィックノースウェスト国立研究所（Pacific Northwest National Laboratory：PNNL）は最近、空気感染する病原体を抑制するさまざまなシナリオについて、ASHRAEとCDCの清浄空気目標を満たす能力を評価することを目的に、シミュレーションに基づく分析を行った。分析結果はつい最近公開されている。分析には、Modelica Buildingsライブラリを使用してModelica言語で開発されたモデルを使用した。PNNLは、既存の典型的なオフィスビルモデルにこれらのモデルを組み込んで、以下の7つのシナリオについて、清浄空気目標を満たす能力を評価した。

・MERV 8（ベースライン）のシナリオ：ASHRAE 62.1の最小限の換気を、

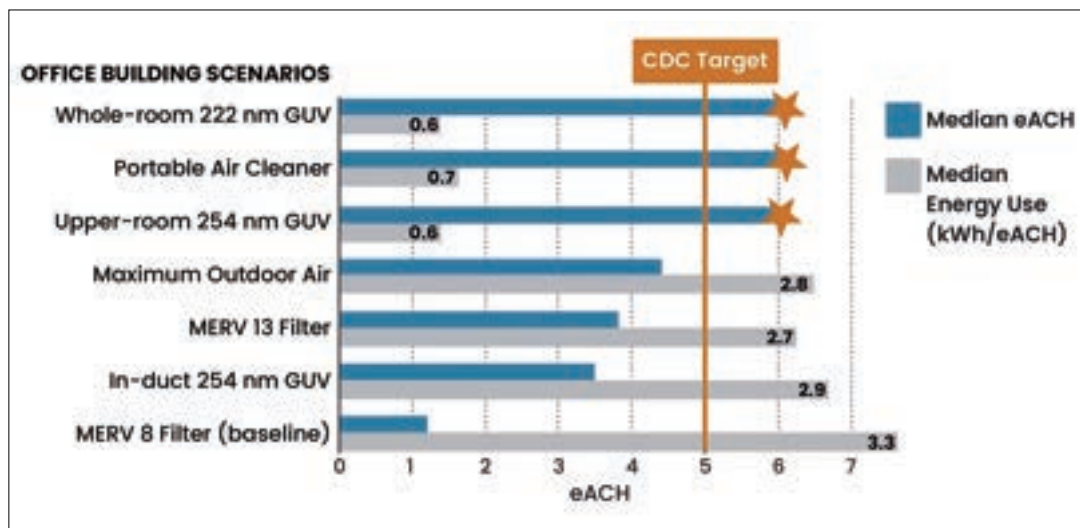


図1 CDC換気目標を達成するための各種シナリオのeACHとエネルギー使用量の中央値

MERV 8フィルタと組み合わせて使用 (MERVは、最小効率報告値 [Minimum Efficiency Reporting Value]の略)

- ・MERV 13フィルタのシナリオ：MERV 13フィルタを使用し、必要に応じてHVACのゾーン気流を増加させて、新しい目標の達成を試みる。
- ・最大外気のシナリオ：必要に応じてHVACの外気割合とHVACのゾーン気流を増加させて、新しい目標の達成を試みる。
- ・ダクト内GUVのシナリオ：ダクト内GUVシステムを使用し、必要に応じてHVACのゾーン気流を増加させて、新しい目標の達成を試みる。
- ・室内上部GUVのシナリオ：室内上部用の254nmのGUVシステムをASHRAE 62.1レベルの換気とともに使用して、新しい目標の達成を試みる。
- ・部屋全体GUVのシナリオ：部屋全体用の222nmのGUVシステムをASHRAE 62.1レベルの換気とともに使用して、新しい目標の達成を試みる。
- ・PACのシナリオ：室内に配置されたPACをASHRAE 62.1レベルの換気とともに使用して、新しい目標の達成を試みる。

成を試みる。

調査結果－CDC

図1は、CDCの目標値である5 eACHの達成を試みる各シナリオのeACHの中央値と、その場合のエネルギー使用量を示している。HVACシステムのみを使用するシナリオでは、(ろ過効率の増加、殺菌、または外気割合の増加によって)清浄空気を供給し、ゾーン気流の設定を最大限にしても、CDCの目標を達成できない。この調査における典型的なオフィスビル用HVACシステムの標準サイズでは、すべてのゾーンで同時にCDC目標を満たすための十分な気流を供給できないためである。CDC目標を達成するには、HVACシステムをアップグレードして、ファン、コイル、ダクトを大きくする必要があり、特に大型のHVACシステムを備える建物ならば、HVACシステムだけでCDCの清浄空気目標を達成することも、実現可能かもしれない。

一方、室内対策を講じるシナリオ(室内上部GUV、部屋全体GUV、PAC)は、この調査においてCDCの清浄空気目標を達成することができた。既存の

HVACシステムの気流供給能力の限界に左右されないためである。言い換えると、HVACシステムを通常どおり稼働させつつ、CDC目標を達成するように室内上部GUV、部屋全体GUV、PACを設計することが、現実的に可能である。

エネルギー使用量については、HVACシステムでCDCの清浄空気目標の達成を試みるシナリオでは、十分な気流を供給するためにファンのエネルギーが大きく増加することから、必要なエネルギーが大幅に増加する。エネルギー使用量の増加は、システムのサイズに依存し、システム設計によってはこれよりも抑えられる可能性がある。この調査では、GUVとPACの各シナリオの等価清浄空気あたりのエネルギー使用量が75～80%低くなっており、これらの技術にエネルギー効率を改善する大きな機会が潜んでいることが示されている。

調査結果－

ASHRAE Standard 241

図2は、ASHRAE Standard 241の目標値である30cfm / 人の達成を試みる各シナリオのECAiの中央値と、

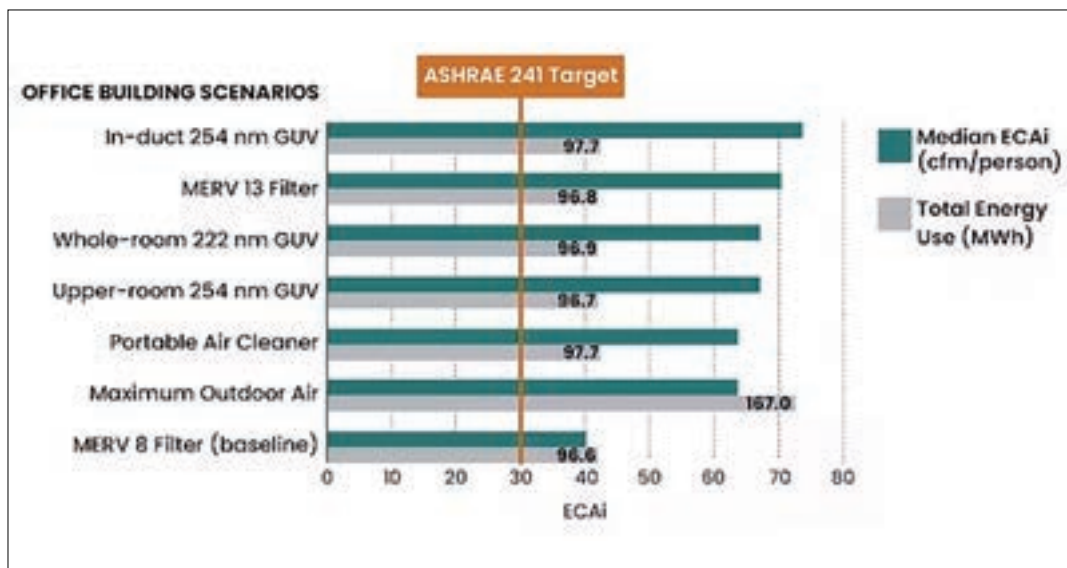


図 2 ASHRAE Standard 241 を達成するための各種シナリオのECAi とエネルギー使用量の中央値

その場合のエネルギー使用量を示している。CDCの分析結果とは対照的に、ほぼすべてのシナリオで、ASHRAE Standard 241のオフィスの清浄空気目標が達成されている。MERV 8のベースラインシナリオでは、室内が占有されている時間の74%しかASHRAE 241のECAi目標値を達成できないが、それ以外のシナリオでは、占有時間の99%以上でECAi目標値が達成された。

ASHRAE 241のケースでは、最大外気のシナリオを除き、エネルギー使用量はベースラインと比べて大きく増加しない。最大外気のシナリオのエネルギー使用量が増加するのは、より多くの量の外気を加熱/冷却するためにかなりのエネルギーが必要になるためである。この調査は、寒冷多湿の気候帯(シカゴ、ASHRAEのZone 5A)で行われたため、エネルギー使用量の増分は、より温暖な気候帯ではこれよりも小さく、より過酷な気候帯ではこれよりも大きくなる可能性がある。

ここで、ASHRAE Standard 241の典型的なオフィスビルに対するECAi目標値である30cfm/人は、他の多くの空間タイプの目標値よりも低く(例え

ば、教室は40cfm/人、レストランは60cfm/人、小売店は0cfm/人)、占有密度は低いと仮定されていることに注意してほしい。これらの他の空間タイプを分析すると、よりCDCのケースに近い結果が得られる可能性がある。

総括と次のステップ

本稿の調査結果は、より健康に配慮した建物を実現するためのGUV技術に、エネルギー効率を改善する大きな機会が潜んでいることを示している。ASHRAE Standard 241とCDCの目標は、これまで商業施設的设计基準とされてきた、従来のASHRAE Standard 62.1の換気目標よりも約1.5~10倍高い。本稿のCDCのオフィスビル分析結果に示されたように、既存ビルのHVACシステムには、大がかりなアップデートを行わない限り、CDCとASHRAEの目標を達成するだけの能

力がない可能性がある。また、HVACシステムのみでその目標を達成しようとすると、建物のHVACのエネルギー使用量とCO₂排出量が大幅に増加する可能性がある。GUV技術は、既存の建物に簡単に実装することができ、はるかに少ないエネルギー使用量でCDCとASHRAEの目標を達成できる可能性がある。

PNNLは現在、学校、レストラン、医療施設といった他のタイプの建物と、他の気候帯を対象を拡大して、この分析を行っている。その後の調査では、それらの結果の経済的分析を行う予定である。調査結果は、CDCとASHRAEの目標を達成して、学生や従業員の健康により配慮した建物を実現するために、どのような方法が最も効果的で、エネルギー効率が高く、費用対効果が高いかを、建物の所有者や運営者が理解する上で役立つだろう。

著者紹介

ケーリー・フォークナー(CARY FAULKNER)は、米パシフィックノースウェスト国立研究所(Pacific Northwest National Laboratory: PNNL)のビルエネルギーモデリングエンジニアで、ビルの室内空気品質、エネルギー効率、脱炭素化の大規模解析のための高度なモデル化手法の活用に取り組んでいる。ゲイブ・アーノルド(GABE ARNOLD)は、PNNLのシニアシステムエンジニアで、新しい照明およびビル技術の開発と導入を目的とする米エネルギー省(DOE)のLighting R&D and Commercial Buildings Integrationプログラムを支援している。