

# シミュレーションで求める換気の改善案

Ventilation improvement plan sought by CFD simulation

BIM 連携・逆解析・VR 対応の気流シミュレーションソフト FlowDesigner

株式会社アドバンスドナレッジ研究所

塚本 百合

## 1. はじめに

近年の新型コロナウイルス感染拡大により、私たちの生活において急速なデジタルトランスフォーメーション(DX)化の普及が進んでおり、ライフスタイルだけではなくワークスタイルやビジネススタイルまでも様変わりしている。誰もが感染症対策について強く意識する中で、「換気」「空気の流れ」「空気質」は設計においてキーファクターであることは言うまでもないだろう。設計者だけではなく施主やクライアント、建物の利用者を含め世間一般で環境設計への意識が、従来からの省エネ・省コスト化への要求と併せてより高まっているように見受けられる。

しかし、換気・空調設備などの導入は建築建物の一品生産である特性上、試しに導入／運用とするわけにもいかない。またその効果を相対的に比較・設計提案をしてコンセンサスを得るには、「効率よく換気・省エネルギー化できるか」「環境設計の付加価値をわかりやすく伝えられるか」がウィズコロナと呼ばれるこれからの時代にますます重要な課題となってくるのではないだろうか。

## 2. 換気提案の課題

世間一般で換気設計への要求が高まっているが、その付加価値を十分に理解してもらうのは容易なことではない。例えば、第1図のように空調機器の配置位置のみが異なる2つの案があったとき「B案の方が空

調機を下につけているので、新鮮な空気が居住域に到達しやすく換気されやすいですよ」とクライアントの方にお奨めしたとする。しかし、第1図を見せるだけでは実際には室内がどのような換気状況かを頭で想像するしかなく、2つの案の違いを相手が納得いくように説明するのは難しい。さらに、もしクライアントが建築や換気に関する専門知識を持たない場合には、さらに高いハードルを越えなければならないだろう。

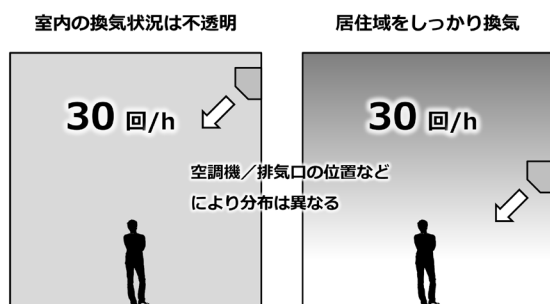


第1図 換気提案イメージ

また、一般的に室内の換気状況は「換気回数」で評価されることが多い。換気回数とは、室内の全ての空気が均等に入れ替わったとして1時間当たり何回その部屋の空気が入れ替わるかを表す指標である。最近では飲食店などでも換気回数を公開することで感染

症対策の実施をアピールするところもある。「1 時間に 30 回空気が入れ替わっています」と聞くと、確かにしっかりと換気がされて安心して食事ができるような印象を受ける。しかし、残念ながら換気回数は空間のいたるところで換気されていることを保証するものではない。換気回数が多かったとしても、例えば「室内に入ってきた新鮮な空気がそのまますぐに屋外へ排出されている」「空気が淀み汚染物質が溜まりやすい場所が発生する」という状況となっている可能性が大いにある。さらに室内の構造や温熱環境など様々な要因を受け、空気質の分布は多様に変化している。全体の換気状況は評価できていても、実際に人がいる場所など本来換気したいはずの場所がきちんと換気されているかの評価は十分できていない可能性があり、換気回数の数値だけで換気状況の評価することはリスクが高いと言える。

こういった懸念点や課題点を解消するためには、室内の空気質の分布も考慮した換気計画・設計検討が必要になる。例えば第 2 図のように、室内の換気状況を可視化したアウトプットが作成できれば、「積極的に分布をつけることで、人がいる空間のみにフォーカスをあてた換気設計ができる」とアピールすることも可能だ。こうした訴求力のあるわかりやすいアウトプットを作成することで、クライアントのコンセンサスも得やすいと考えられる。



換気回数は同じ。室内の空気質の分布も考慮した設計検討。

第 2 図 室内分布比較イメージ

### 3.シミュレーションを行うメリット

先述のような、分布を考慮した設計計画・検討では、ミニチュア模型の作成やモックアップなどでの実験検

証といった方法もあるが、一品生産の現場ではあまりにも膨大な費用や時間がかかってしまうため現実的ではないだろう。そこで、コストを抑えつつ、様々な設計案を比較検討することができるシミュレーション技術は非常に有効な手段である。シミュレーションを行うことにより対象空間全体の温度、湿度、快適性、空気質の分布を 3 次元で見える化し、詳細に分析することができる。また、細かな数値が導き出せるため「設計の根拠」を示す場合にも大いに役に立つはずだ。

弊社で開発している気流シミュレーションソフト「FlowDesigner」は、直感的に操作ができることや少ないパラメータ設定で安定した計算ができることから、シミュレーションの専門知識がなくてもすぐに扱えるのが特徴だ。BIM 連携にも力を入れており、3 次元のモデルデータを活用することでモデル作成に時間をかけず簡単に換気のシミュレーションを行うことができる。操作を習得するのに時間を必要とせず、シミュレーション自体にかかる時間も短くて済むため、他の業務と並行しながらでも、思いついたアイデアをすぐに何度でも試すことができる。私たちはこうした手軽さが設計のフロントローディングを実現可能なものにすると考えている。

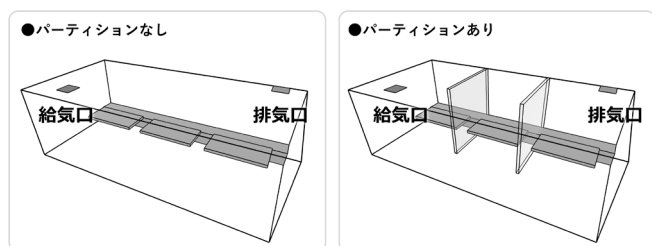
### ●解析事例：パーティション設置による換気状況への影響

ある飲食店において新型コロナウイルスのクラスターが発生した事例で、特定のテーブルにのみ感染が広まっており、検証の結果「空調の気流により感染性のある高濃度飛沫循環領域ができた」ことが原因とされた。こういった状況について FlowDesigner を使って見える化してみたい。

第 3 図のモデルは、どちらも換気回数が 30 回/h になるように設計している。例として、飛沫感染防止用パーティションの設置をすることで室内換気状況がどのように変化するかシミュレーションで確認してみよう。

今回は室内の換気状況を空気齢 (SVE3) と空気余命 (SVE6) で評価する。空気齢とは文字通り空気 of 年齢を表し、値が低いエリアほど新鮮な空気が到達しやすく、値が高いエリアほど空気が到達するまでに時間がかかる。そのため「空気齢 = 空気の淀み具合」を表しており、その場所にいた場合の感染するリスクの高

さも読み取ることができる。また空気余命とは空気が排出されるまでの時間を表し、値が低いエリアほど空気が排出されやすく、値が高いエリアほど空気が排出されるまでに時間がかかる。そのため空気余命についても空気齢と同様に、値が高いほど感染するリスクも高いと考えられる。

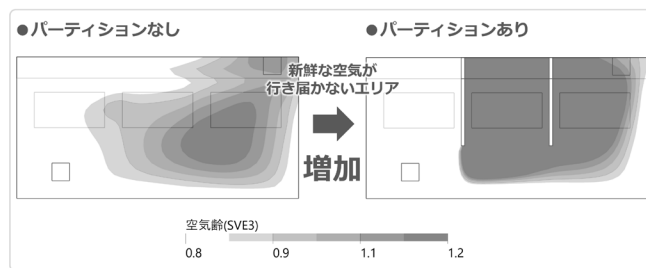


パーティションを設置したらどうなるか？

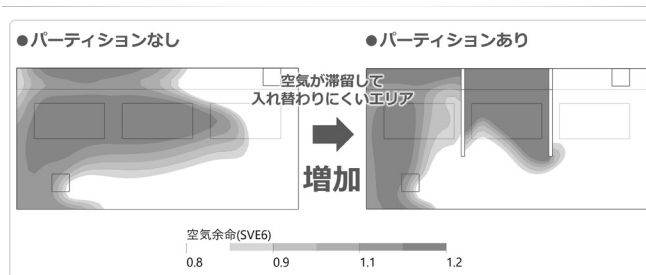
### 第3図 解析モデル概要

では、解析結果を比較してみよう。まず、空気齢の解析結果(第4図)では、パーティションありの方が高い値になっており、新鮮な空気が行き届きにくいエリアが増えていることがわかる。特に、中央と排気口がある右側の個室ではパーティションなしの場合と比べて色が濃くなっており、感染しやすいエリアが拡大していることがわかる。次に、空気余命の結果を比較する(第5図)。やはりこちらも、値が高いことを示す色が濃いエリアの占める割合が高まり、空気が排出されにくくなっていることがわかる。パーティションを設置することにより、空気が滞留しやすいエリアが拡大していることは一目瞭然だ。

つまり、パーティションやアクリル板を設置し室内を区切る対策は、飛沫感染防止や隣の席の方との接触を防ぐという意味では有効な手段かもしれないが、換気効率という観点では新鮮な空気が行き届きにくかったり、もしくは空気を排出しにくかったりする場合がある。このように、シミュレーションを用いて室内の分布についても検討を行うことで、換気回数だけではわからない情報が得られる。



第4図 空気齢分布



第5図 空気余命分布

## 4. BIM 連携 点群データを利用した換気解析

第6図は実際にある飲食店の店内の空気の流れをシミュレーションによって可視化したものである。店内の様子が3Dの形状やテクスチャによって非常にリアルに再現されているが、3次元の点群データを利用して解析モデルを作っている。最近では専用の計測機器を使用しなくても、スマートフォンなどでも簡易的な点群データを取得することができるようになり、そうしたデータをFlowDesignerに取り込むことで、より手軽でスピーディーな解析が可能となっている。3次元データがなく手動で一からモデル作成する場合は解析結果の出力に至るまで数日はかかってしまうが、この事例ではスマートフォンによる点群データの計測からFlowDesignerでのモデル作成、計算、結果表示までたったの数時間で行っている。



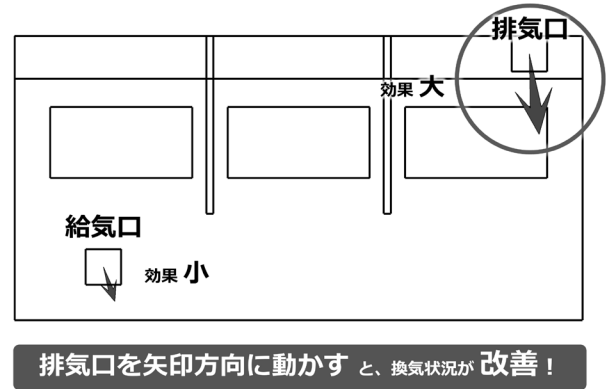
第 6 図 点群データを用いた換気のシミュレーション

## 5. 逆解析による改善案の見える化

FlowDesigner が、シミュレーションによって換気のキーファクターである「室内の空気の流れ」を見える化し、換気設計の検討ができる有効なツールとなることは、既述の内容からお伝え出来たかと思う。ここではさらに、改善案を素早く見える化できる「逆解析機能」について紹介したい。現状の設計案に対して改善案を求めたい場合、一般的には経験則などに基づいて様々な案を作成し、トライアンドエラーで膨大な量の実験やシミュレーションを重ね、相対的に比較して改善したものをピックアップするため、多くの作業工数が必要となる。

FlowDesigner の「逆解析」は、そういった従来の方法とは全く異なる、非常に短い時間で改善案を見つけることができる画期的な機能だ。一度計算を実行するだけで様々な改善案が「感度」という形で得られ、それらを一目で把握することができる。

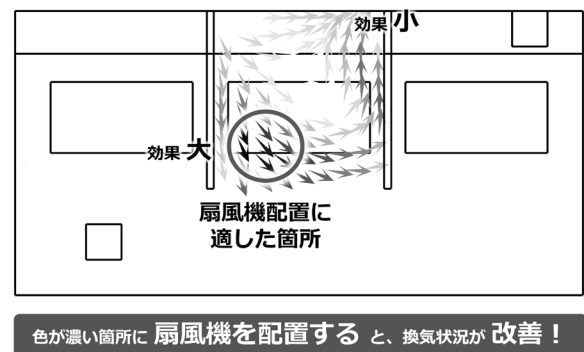
例として、機械換気を行いさらにパーティションを設置した室内を考える。中央のボックス席にて空気が滞留しやすいという問題点を改善するため、逆解析を実行してみる。すると、感度の1つとして下記のような「位置感度」(第 7 図)が得られる。感度の値が大きいほど、位置を変更した際に改善する期待値が高いことを示す。(第 7 図では矢印が大きいほど感度の値が大きいことを示す。)従って、このケースでは給気口よりも排気口を矢印方向に移動させるほうが効果的であることがわかる。



第 7 図 給排気口を移動すべき方向(矢印が大きいほど有効)

また、感度の1つである『体積力感度』(第 8 図)も、とても面白い活用ができる。ベクトルの方向に力を加えることで改善が期待できることを表しており、今回のケースではどこにどの向きで扇風機や送風ファンを設置すれば換気を促せるかがわかる。第 8 図では色が濃い部分ほど感度が高く、この位置にファンを設置すると高い効果が得られることを示す。

こうした具体的な改善案は、室内全体の空気質の分布を把握する必要があるうえ、直感的に導き出すことは難しい。しかし逆解析という、従来とは異なるアプローチの仕方を用いれば、経験則や専門知識に頼ることなく誰でも短時間でより効果的な改善案を見つけることができるのである。



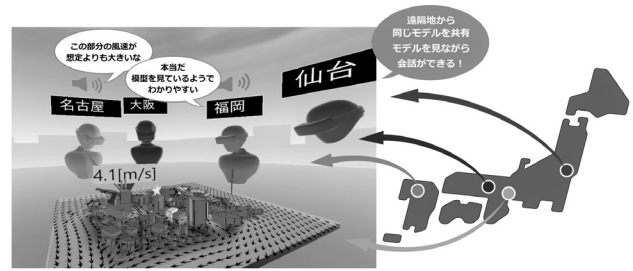
第 8 図 扇風機を設置すべき場所と方向(色が濃いほど有効)

## 6. VRによるコミュニケーションの円滑化

FlowDesignerではPCに「VR(Virtual Reality)」のヘッドセットを接続することで、仮想空間の中に入り込んでシミュレーション結果を体感することもできる。通常の結果表示画面を眺めるだけではわかりにくい、空間のスケール感や気流のスピード感といったものを実寸大の空間で体感することができる。まるで実際にその場を歩いているような感覚でインタラクティブに動き、好きな位置から自由に解析の結果を見られるうえ、自身のアバターの手から流れの軌跡を表す流線や紙飛行機を飛ばして、どのように空気が流れていくかを確認することもできる。例えば「風速 1m/s って実際はこのくらいの速さなんだ」とゲームのような感覚で体験することができる。VRでシミュレーション結果の共有を行えば、多くの資料を作って説明する必要がなく、実際に状況を見てもらいながら伝えることができるため、情報を提供する側と受け取る側双方の齟齬も生じにくいと考えられる。資料作成に割く時間も短縮でき、業務負荷の軽減にもなる。

さらに、FlowDesignerでは複数人が同時に仮想空間に入ることができる「VR空間共有機能」(第9図)も備えている。遠隔地でも使用可能なため、オンラインミーティングが多く行われている昨今、非常に有用な機能である。FlowDesignerは単なる風環境の見える化ソフトではなく、設計者同士やクライアントとの間で設計案についての理解を深めるのに役立つ、頼れるコミュニケーションツールになり得る。

また、FlowDesignerは180°動画や360°動画の出力にも対応している。180°/360°動画とは、動画投稿サイトなどでも見かける、簡易VR(カードボードVRとも呼ばれる)にスマートフォンをセットするなどして見る動画である。通常の高価なVR機器とは異なり、カードボードVRは厚紙とレンズなどでできており数百円程度で手に入れられるうえ、PCに接続する手間もなく簡単に扱える。軽くてかさばらないため、出先でも気軽に見ることもできるのも利点だ。



第9図 VR空間共有機能

## 7. おわりに

これまで述べてきたとおり、FlowDesignerの気流シミュレーションによって目には見えない空気質の評価を行ったり、より良い換気の設計案を模索したりといったことが誰でも簡単に短時間で可能になっている。3次元の分布として評価ができるため、省エネ化・省コスト化や感染症対策の面でも高い安全性の検討に大いに役立つ。さらに、手軽に出力できる魅力的で効果的なアウトプットは、設計者同士やクライアントとの間での円滑なコミュニケーションに非常に大きな効果を発揮する。「設計案の付加価値・魅力をいかにわかりやすくビジュアル化するか」という課題に対して、FlowDesignerによるシミュレーションは1つの重要な解決策となるに違いない。

弊社では、今後もシミュレーション技術だけではなく、BIM連携技術やVR技術についてもさらなる機能開発を進め、環境設計の実務において有効かつ効率的に活用していただくために邁進していく所存である。