

## 「つながる」BIM と気流シミュレーション

原 杏奈

ANNA HARA

(株)アドバンスドナレッジ研究所 ソリューション技術部

## はじめに

日本の「BIM 元年」から10年以上が経った今、建築プロジェクトに対する設計要求が多様化している。その背景には、BIM 連携による異なるツール間の情報共有する手段が発展したことに加え、環境設計について言えば、ZEB（ネット・ゼロ・エネルギー・ビル）のような再生可能エネルギーを活用した省エネ・創エネ・畜エネを目指した環境配慮型建築への要求が拡大していることが考えられる。

2013年には省エネ法が改正され、さらにこれから建築物に対して段階的に改正される省エネ基準への適合義務化や説明義務化が予定されており、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より高まっているように見受けられる。そのため、設備設計に関しては今まで以上に設計要求が高まる中、環境設計に関する様々な説明資料などを作成する機会やその資料を用いてプレゼンテーションする機会がさらに増えてきていくだろう。しかし、その一方では働き方改革が進められており、限られた時間や制約の中で「どのように建物の付加価値を高めるか」、「どのように付加価値を伝えるか」という問題を、いかに効率よく解決するかが重要な課題となっている。

## 1. BIM データを使用した気流シミュレーション

建物の付加価値の一つとして、前述の背景から省エネルギー化・省コスト化を意識した換気性能や快適性の実現がある。しかし、空気の流れや温度の分布は目には見えず、情報共有が容易ではないため、非常に難しい課題である。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も可能であるが、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気流シミュレーション技術が大いに役立

つ。現在では、BIM とシミュレーションを連携させることができるため、設計の早い段階でよりよい温熱環境の検討ができるだけでなく、図-1のようなその付加価値を示す資料を素早く作成することができる。

弊社で開発している「FlowDesigner」は目には見えない風の流れや温度、PMV（予測平均温冷感申告：人間が感じる温冷感の指標）などの快適性の分布を3次元でシミュレーションするツールであり、従来からBIM 対応ソフトとして連携機能の開発に取り組んできた。お客様からニーズを伺いながら機能を強化してきたことで、設計者が使い慣れたソフトで作成した3DデータをFlowDesignerに取り込めるようになり、シミュレーションを気軽に活用できるようになっている。また、この10年で、BIM、シミュレーションソフト、コンピュータなどのハードウェアが大きく発展・連携強化してきたことも、手軽に情報共有／データ連携がスムーズに行えるようになってきた一因である。

ちなみにFlowDesignerは直感的に操作ができること、また、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専門家でなくてもすぐに扱うことができるのが特徴だ。そのため操作を習得するまでに時間がかからず、他の業務と並行しながらでも、様々な設計案を短時間で比較することが可能である。

FlowDesignerはBIMソフトや、設備系CAD、3次元モデラー（SketchUpやRhino）などと形状データをシームレスに受け渡すことができる。また、

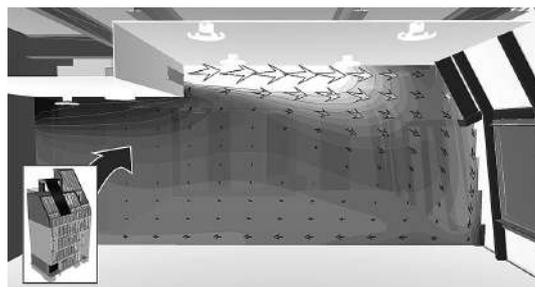


図-1 空調からの気流の拡がり (ARCHICAD サンプルモデル)

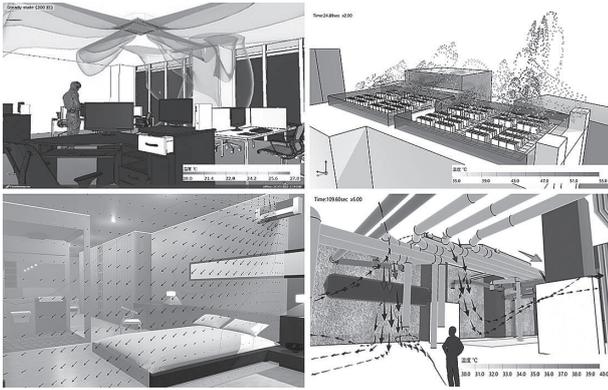


図-2 BIM データ活用解析事例

毎年バージョンアップを重ね、徐々にではあるが BIM から取り込めるフォーマットも拡充しつつあり、より便利に使っていただけるよう開発を進めている。それにより、BIM を活用したシミュレーションの適用範囲が拡がりつつある (図-2)。

適用範囲が拡大した例として、設計の上流段階での活用があげられる。今までのシミュレーションの活用方法として、設計の下流段階において現状の設計案で本当に居住域の温熱環境などに問題がないか、リスクがないか、どちらかいうとネガティブな視点で使われることが多かった。しかし昨今では、BIM とシミュレーションの連携に対するハードルが下がったことにより、設計の早い段階で省エネ提案などを目的に環境設計案を模索するケースが増えている。

また省エネ法改正の影響もあると思うが、その環境設計案のアウトプットを作成するハードル自体も下がったため、設計コンペ等でその設計コンセプトだけではなく、設計の妥当性を示すビジュアル性の高いアウトプットも活用されるようになった。

客観的に見て BIM と気流シミュレーションの連携は、一品生産である建築に対して、建築設計や BIM データの付加価値を上げるための 1 つの有効なアプローチになっていると確信している。

## 2. 気流シミュレーションの結果を BIM データに

FlowDesigner の BIM 連携機能は、解析用の 3D 形状としてインポートするだけではない。解析した結果を数値情報、画像、動画、3D 形状など様々な形でエクスポート (出力) することができ、BIM ソフト側に情報を返すことも可能だ。

例えば空調のレイアウトで A 案と B 案を比較して、シミュレーションをした結果、B 案の方を採用したとする。その居住域における「平均温度などの数値情報」「快適性 PMV の分布画像」「気流の拡がりを表すアニメーション動画」などを BIM ソフト側で管理しておけば、なぜ B 案を採用したかの根拠を設計



図-3 トイレにおける換気解析

資産として残すことができる。

なお FlowDesigner では BIM データを利用することで、従来のシミュレーションソフトでは表現できないようなビジュアルの優れた出力結果を作成できる。

図-3 は、FlowDesigner のみで作成した「トイレの換気状況」を示した出力結果である。個室の上部で強制排気をしており、トイレ入口より空気が流入してくる構造で、色の濃淡が空間の臭気の分布を表している。個室の方が排気箇所に近いので臭気が低いように思えるが、この図のケースでは個室の方がより臭気がこもりやすい状況を示している。

従来のシミュレーションで作成される出力画像では、詳細な形状が再現されてない場合が多く、その画について細かく「何の空間を表しているか」「どのくらいのスケールか」「色は何を表しているか」など様々な説明が必要になる。環境設計に興味のない方にとっては、その画のビジュアル面という本質的ではない部分でイメージが伝わらなかったり、場合によっては、その画が独り歩きした場合に情報のミスリードを引き起こしたりする可能性がある。

しかし、BIM データを活用した出力結果を作成すれば空間のイメージもしやすく、専門知識のない方にも興味をもって設計内容を理解してもらえる可能性が高まる。

FlowDesigner ではシミュレーションの出力結果についても機能が充実しているため、BIM データの形状を活用するだけではなく、「BIM ソフト側でデータ管理をするための出力結果」や「合意形成の得やすい出力結果」まで期待することができる。

## 3. 新たなフェーズでの活用

BIM と気流シミュレーションの連携は設計段階だけではなく、建物竣工後の維持・運用段階でも使用され始めている。その背景として IoT 技術と連携して「省エネルギー化」「省ランニングコスト化」につなげられる期待があるからだ。

建物の用途にもよるが、空調は運用段階での消費エ

エネルギーの3～4割ほどウェイトを占め、省エネルギーを目指す上で1番重要な検討要因となる。快適性と省エネが両立するためには、運用状況に合わせた空調コントロールが必要になるが、その居住域の快適性を3次元で測る術はない。その理由としては、人が活動する空間に無数にセンサーを配置するわけにもいかず、赤外線センサーでは物体の表面の温度情報などしか把握できないためである。

しかし壁面や空調の動作状況が仮にセンサーで取得できるのであれば、シミュレーションを使って室内全体の気流・温度分布のみならず、体感温度に近い快適性分布まで推測できる。さらにシミュレーションであれば、未来の時刻における室内温度分布も予測することができるため、一言でいえば効率的な「未来予測型の空調制御」が実現できる可能性を秘めている。

言うまでもないが、上記の空調制御方法であれば、必要最小限の空調稼働で快適空間を創ることができるため「省エネルギー化」「省ランニングコスト化」につながる。

#### 4. 「VR」でBIMデータを有効活用

リアリティのある結果表現についてのメリットは前述の通りだが、FlowDesignerでは「VR (Virtual Reality)」でシミュレーション結果を体感することもできる。従来シミュレーションの結果は、パソコンの画面で見ても印刷しても2次元の縮小された画像であるため、得られる情報はその画像の視点におけるものであり、空間のスケール感や気流のスピード感を得ることはできない。VRであれば、BIMモデルやシミュレーション結果が、目の前に実寸大のCGでその空間が映し出されるため、画像では得られなかったものを体感することができるようになる。

さらにFlowDesignerのVR機能では、インタラクティブにその空間を動き回ることができるため、飛躍的にプレゼンテーションの幅を広げることが可能だ。例えば、**図-4**では手をかざすことでその方向に移動することができ、好きな位置からシミュレーション結果を確認することができる。**図-5**では手をかざした箇所からどのように空気が流れていくかを確認している。

厳しい条件の中で試行錯誤し苦労して得られた設計案でも、しばしばその価値を理解してもらえないケースもある。理由は様々あると思うがその1つとして、その説明を理解するには慣れない物理が必要になることが挙げられる。1つ例を挙げると、「風速1m/s」と言われても、具体的にどのくらいの値なのかイメージを共有するのは困難である。それが感覚として「強いのか弱いのか」すぐにイメージできる人は多くはないし、そのイメージを共有することも難しい。風速や

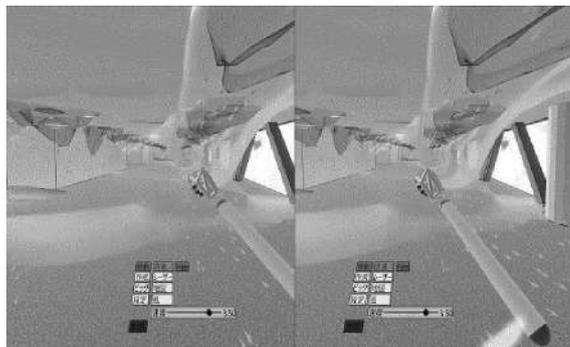


図-4 VR空間を自由に移動

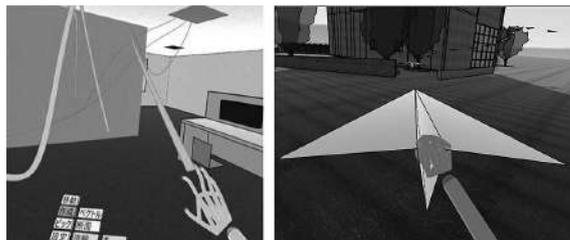


図-5 VRで風の流れる方向をビジュアル化

温度であればよいが、「圧力 (Pa)」「発熱量 (W)」などの専門的な値は、普段の生活では意識することが少ないため、馴染みがなく、難しく感じられてしまうだろう。

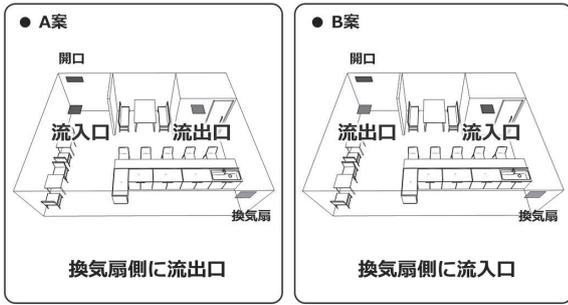
VRは上記問題を解決できる可能性を秘めている。HMD (Head Mounted Display) とパソコンさえあれば、誰でも簡単に仮想空間に入り込んで体感することができる。「1m/sってこのくらいの速さで風が吹いているのか」と直感的にゲーム感覚で楽しく理解できる。VRでは2次元で表現しきれない部分も伝えることができ、情報を提供する側と受け取る側、双方で齟齬も生じにくいと考えられる。

またFlowDesignerのVRでは複数人で仮想空間に入ることができ、さらに遠隔地でも空間共有することが可能だ。一緒にモデルに入り込み、移動しながら話しながら設計内容の共有をすることができるため、設計者同士やクライアントとの理解を深めるためのコミュニケーションツールになると思われる。

#### 5. BIMデータを使用した換気状況の評価

ここでBIMとシミュレーションを連携させた具体的な例を見てみよう。新型コロナウイルスの影響により注目されている「換気」について検討してみる。

**図-6**のモデルは、飲食店における換気回数が毎時30回程度の十分な換気ができるように陰圧設計し、より換気しやすくなる流出入口の位置を検討した。空調機器などの条件は同じであり、今回は、室内の換気状況を空気齢 (SVE3) で評価する。空気齢とは文字通



どちらの室内が換気されやすいか？

図-6 換気状況比較モデル概要

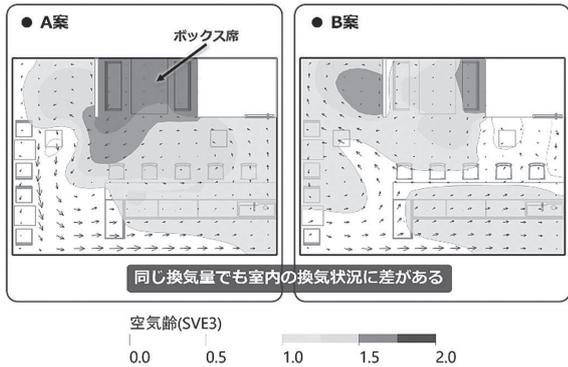


図-7 空気が淀んでいる場所(色が濃いところほど淀んでいる)

り空気の年齢を表し、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時間がかかる。

解析結果を見るとB案の方は空気が滞留するエリアが減少し、全体的に換気されやすくなる(図-7)。パーティションで区切られているボックス席に注目すると、A案に比べ値が極端に高い部分が半減し、感染リスクが抑えられると考えられる。総合的にみるとB案を採用するほうがよいだろう。この機械換気の例も両者は同じ換気量であるにも関わらず、流出入口の位置で大きく結果が変わった。このように室内分布もしっかり考慮することで換気回数などの数値だけではわからなかった情報が得られ、また具体的にどの程度改善したか相対的に比較することがシミュレーションの大きなメリットとなる。

## 6. 改善案の見える化

機械換気の例では、流入口と流出口の位置を入れ替えるという改善案を見つけ出すことができたが、実際の案件で改善案を導き出すことは容易ではない。この改善案を見つけ出すためには、従来膨大な量の実験/シミュレーションを重ね、相対的に改善した案をピックアップするのが一般的である。その比較する案は経験則などにより作成されるが必ずしも改善するとは限らない。そのため、上記のように改善案を導き出すに

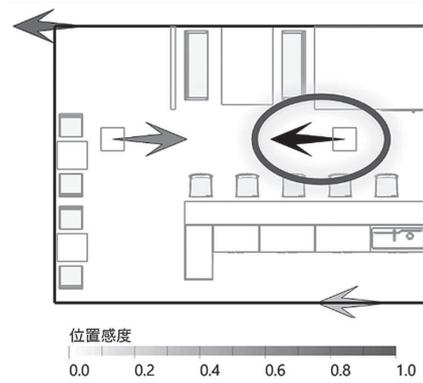


図-8 流出入口を移動すべき方向(矢印の色が濃いところほど有効)

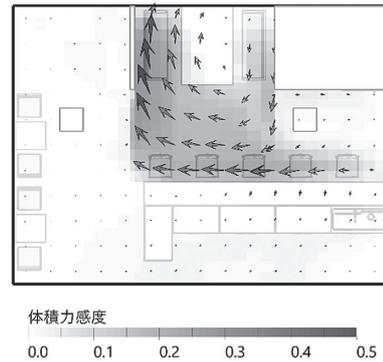


図-9 扇風機を設置すべき場所(色が濃いところほど有効)

は多くの作業工数が必要となる。

FlowDesignerでは、3次元の分布を見える化するだけでなく、その設計の改善案を見える化できる「逆解析」という計算機能がある。逆解析を一度実行すると様々な改善案が「感度」という形で得られ、改善すべき流出入口の位置や温度、風向などを一目で把握することができる。

機械換気の例において、逆解析を実行すると、その感度の1つとして下記のような『位置感度』が得られる(図-8)。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。(図では矢印の色が濃いほど感度の値が大きいことを示す。)従って、このケースでは丸印の箇所の流入口を左側に移動させると改善する見込みがあることがわかった。

また、感度の1つである『体積力感度』も、とても面白い活用ができる(図-9)。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、例えばどこに扇風機/送風ファンを設置すれば換気を促せるかがわかる。位置感度と同様、色が濃いほど改善する期待値が高いことがわかる。

ここでは、ボックス席の換気効率を上げることを目標にしているが、内部に扇風機を設けると改善することを示している。この改善案は一見ボックス席の内部に気流を誘導しており、室内全体の空気質の分布を把

握していないと直感的に導き出すことは難しい。しかし逆解析であれば、経験則や専門知識がなくても、有効な改善案を短時間で発見することができる。

このように、従来とは全く違ったアプローチによって設計の変更指針が見える化することで、制約条件が多い中でも、効率よくよりよい改善案を求めることができるのである。

## おわりに

これまで述べてきたとおり、BIMと気流シミュレーションを連携させることによって、予測の難しい風や温度の分布を考慮し、環境に配慮した最善の設計案をより短時間で模索することができる。

働き方改革やテレワークが推進される中、この連携が、残業時間短縮・業務効率化などの取り組みに少しでもお役に立てることを心より願っている。

また、より魅力的かつ効果的なアウトプットも手軽に作成でき、クライアントとの合意形成をスムーズに進められることから、業務負担の軽減にもつながるだろう。空気質などの環境設計に専門知識がない方も敏感になる中、設計の付加価値・魅力をいかにわかりやすくビジュアル化するか、この課題に対してシミュレーションや可視化技術は1つの重要な解決策となっていると確信している。

さらに、センサーやIoT技術などの先進的な技術と連携することで、シミュレーションの幅は大きく広がっていく。これまでは、設計検討をするためにシミュレーションが活用されてきたが、建物竣工後の維持・運用段階でも有効利用の可能性がある。これまで3次元での把握が難しかった室内の快適性も、リアルタイムで状況を把握し未来予測型の空調制御を行うことで、エネルギーロスを削減でき、省エネ・省コストが図れる。さらに人の手を介在しなくても管理が行えるため、ビル管理や人件費などのランニングコストの削減も期待できる。

今後は、システムのバックグラウンドで空気質・換気状況の評価、快適性予測や省エネルギーな空調制御などを検討するための“解析エンジン”として利用されることも目指している。これにより、各BIMソフト上でシミュレーションを行い、シミュレーションソフトを意識しなくても設計検討の結果を出力できるようになるだろう。

当社では、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。

(2020年7月15日 原稿受理)



## 特集号バックナンバー

### -AIとセンシング技術 特集- (2020年4月発行)

AIとセンシング技術の特集号にあたって／AIとセンシング技術に関する今後の展開／AIを利用した省エネルギー空調制御システムの導入三井ショッピングパークららぽーと名古屋みなとアクルス／大企業によるオープンイノベーションの実践の場 point 0 marunouchi／IoT・AIを利用したスマートビルマネジメントシステム／IoTとAI技術を利用した設備制御システム EQ House／AIを活用したエネルギー・マネジメント・サービスへの取り組み／AIを活用した太陽光発電量予測技術／デジタルテクノロジーとLED照明で実現する次世代ステルス空間／AI（ディープラーニング）を活用した白杖利用者向け音声案内システム／「光ID」を用いた通信技術について／インテリジェント化する空調設備のメンテナンスとワイヤレスセンシングによって実現する快適制御／熟練保全者のスキルを代替する温度異常センシング技術による設備の保全革新／水まわり機器のセンサー技術

本体価格 1,429円

※バックナンバーを購入希望の方は、在庫及び販売価格の確認のため、メール [info@jabmee.or.jp](mailto:info@jabmee.or.jp)にてお問い合わせください。

一般社団法人 建築設備技術者協会