

H4 緑化を含む室内温熱環境設計フィードバックのためのCFDとARの統合

Integrating CFD and AR for Indoor Thermal Environmental Design Feedback for Greening

大阪大学大学院工学研究科

環境・エネルギー工学専攻 環境設計情報学領域

横井 一樹

Abstract: The renovation projects which aim to improve the thermal environment is gaining importance because of energy saving and occupants' health considerations. However, it has a problem that the indoor thermal design is not usually performed in a very efficient manner by owners and designers, due to the introduction of Water-Fall model as an architectural design process in which it is difficult for the owners to intervene, and due to the visualization of the CFD simulation results which are difficult for the non-professionals to understand. On the other hands, greenery has been introduced to the buildings as a method for adjusting the thermal condition. The research goal presented in this paper is to investigate a collaborative architectural design process between owners and designers by developing a system in which BIM, CFD, and AR are integrated to provide interactive visualizations. The case studies are performed to check the system verification and to assess the thermal effects of multiple indoor greenery design options.

Keywords: Interdisciplinary Computational Design, Indoor Thermal Environment, Computational Fluid Dynamics (CFD), Augmented Reality (AR), Indoor Greenery

1. 背景と目的

建築分野において、省エネルギーの推進や居住者の健康の配慮を背景に、建築プロセスに関わるすべての設計者による協調的な室内温熱環境設計が重要視されている。しかしながら温熱環境設計は、建築物の温熱環境を評価する代表的なツールであるCFD (Computational Fluid Dynamics) 解析において、①CFDとBIM (Building Information Modeling: 建築プロセスのすべての建築データを3次元モデルに一元的に管理する考え方、または手法) との連携が十分でないこと、②既往研究であるVR (Virtual Reality) によるCFD解析結果の表現方法が直観的でないこと、が原因となり、非専門科である施主や意匠設計者を含む協調的な温熱環境設計の議論が実現できていない。VRは現実世界をコンピューターに定義した、すべてが仮想の世界であり、対象とした実際の現実世界に居なくとも現場にいるかのように感じさせてくれる。細川らが開発したVRによる可視化¹⁾は、CFD解析結果をフォトリアリスティックな建物空間に可視化できるため、温熱環境設計と意匠設計の同時検討を可能とした。しかしながら、現況の技術では主に視覚のみを仮想世界に反映させ、聴覚や触覚の部分は現実世界が反映されておらず、電子機器の微かな音や湿気のある空気などを表現できない。また、視覚においても現実世界そのものを忠実に再現することは困難であり、周囲の動きある人の様子や埃をかぶった家具など現実の生活感を表現することはでき

ないため、VRによる可視化はCFD解析結果が現実空間とつながりがないように感じるという課題がある。

一方で、室内温熱環境改善の手法の一つとして居住空間に植物を配置する室内緑化がある。しかし、緑化による温熱効果の研究は屋外を対象としたものが多く、また室内緑化に関する研究は植物の緑色がもたらすストレス緩和などの心理的效果をあげるものが多く、室内緑化を対象とした温熱環境に対する効果を検証する実験やCFD解析を用いたシミュレーションはほとんど実施されていない。

本研究は、建築プロセスに関わるすべての設計者による協調的な室内温熱環境設計の実現を目的として、BIM, CFD, AR (Augmented Reality) を統合したシステムを開発する。ARとは、現実空間にComputer Graphics (CG) を重畳する技術である。開発するシステムはゲームエンジンを開発基盤としたシステムで、建物のBIMモデルを活用してCFD解析した室内空間の温熱環境結果をAR技術によって現実の室内空間に重畳させる。また、システムの有用性と課題の検証のために、室内緑化によるリノベーションを想定した検証実験を実施する。

2. CFDとARを統合した温熱環境設計システム

本研究で提案するシステムはBIM, CFD, ARを統合したシステムであり、既存建築物のリノベーションの設計案に応じた意匠結果とCFD解析結果をARによって室内空間に重畳させる。システムの処理は、

「BIMモデルの作成」「メッシュ生成」「境界条件の設定」「CFDによる解析」「ARによる可視化」の5つのステップから構成される(図1)。まず、図面を基にBIMソフトウェアを用いてBIMモデルを作成する。次に、作成されたBIMモデルからメッシュ生成ソフトウェアを用いてポリウムメッシュを作成する。境界条件の設定では、壁の材質による熱流束の情報や空調の風量や風向を設定する。次に、設定した境界条件を基に、CFD解析ソフトウェアを用いて対象空間のCFD解析を行う。最後に、解析結果を現実の

室内環境に合わせてARで可視化する。CFD解析結果・AR可視化結果は、室内緑化などのリノベーション設計案の変更に併せて変更され、室内空間を区切るための間仕切りのモデルや室内緑化の植物モデルも意匠景観としてARによって重畳する。

ARによる可視化は、気温の熱分布と風速・風向を示す気流性状を表現する(図2)。熱分布の表現は、空間をXY平面、YZ平面、XZ平面の3方向に切った断面に色情報を書いたカラーマップを用いる。断面に切ることで情報量が削減され、一方向の熱の広が

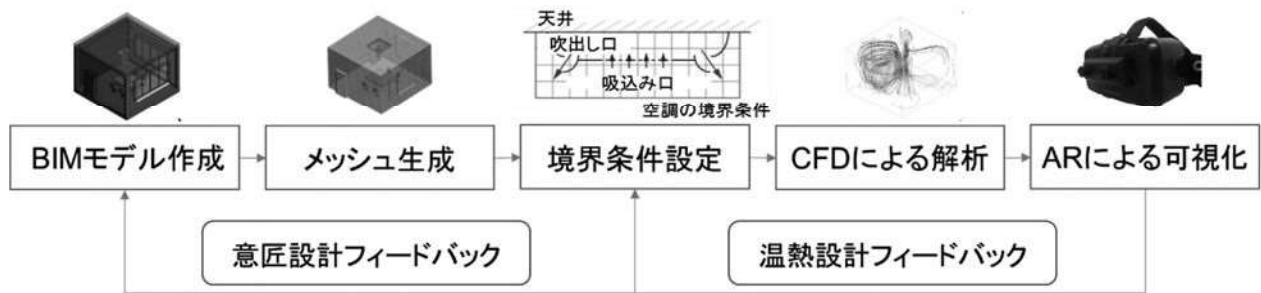


図1 システム概要



図2 ARによる可視化

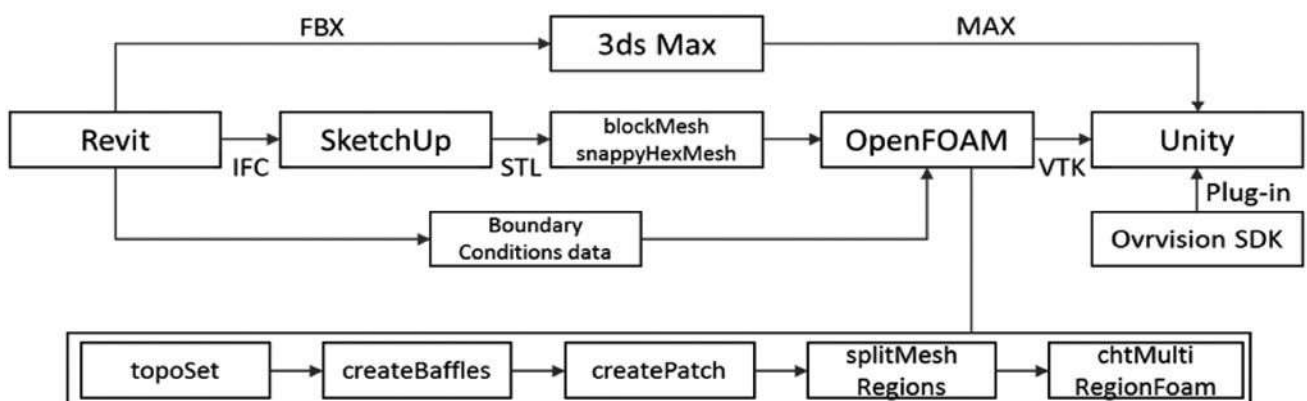


図3 システムのデータフロー

りを容易に把握できる。また、気流性状の表現はXY平面、YZ平面、XZ平面に色情報をもつ矢印記号を用いる。矢印記号を用いることで、矢印の色による風速だけでなく、矢印の向きによる気流方向を示すことができる。ARの位置合わせは、狭い空間内では高精度な位置合わせが可能なマーカーベースによる手法を、広い空間では自由な視点移動が可能な赤外線センサを用いるセンサベースによる手法を利用する。ARのディスプレイタイプは、没入性を高めるためにHead Mounted Display (HMD) を利用する。

3. 検証実験

3. 1 システムのセットアップ

システム開発において、BIMモデルはAutodesk Revit Architecture2016を、CFD解析はオープンソー

スであるOpenFOAM (ver.1606+) を、AR可視化はゲームエンジンのUnityにAR機能を有するOvrvision SDKをプラグインさせたものを利用した。システムのデータフローを図3に示す。

検証実験は、大阪大学吹田キャンパスM3棟411号室(横18.50m×奥行き10.40m×天井高2.60m)にて室内緑化を想定したリノベーション案の検討を実施した(図4)。ARの位置合わせは、赤外線センサによるヘッドトラッキング機能を有したHTC Vive (HMD) にOvrvision Proを装着する方法で、センサベースによる手法を利用した。CFD解析の境界条件では、熱貫流量・熱伝達率、壁面温度、外部参照温度と放射率、吸収率、透過率を含む放射条件を設定した。また、窓面は金属サッシ単板ガラスで、空調は4方向カセットタイプで、前後左右に吹き出し口があり

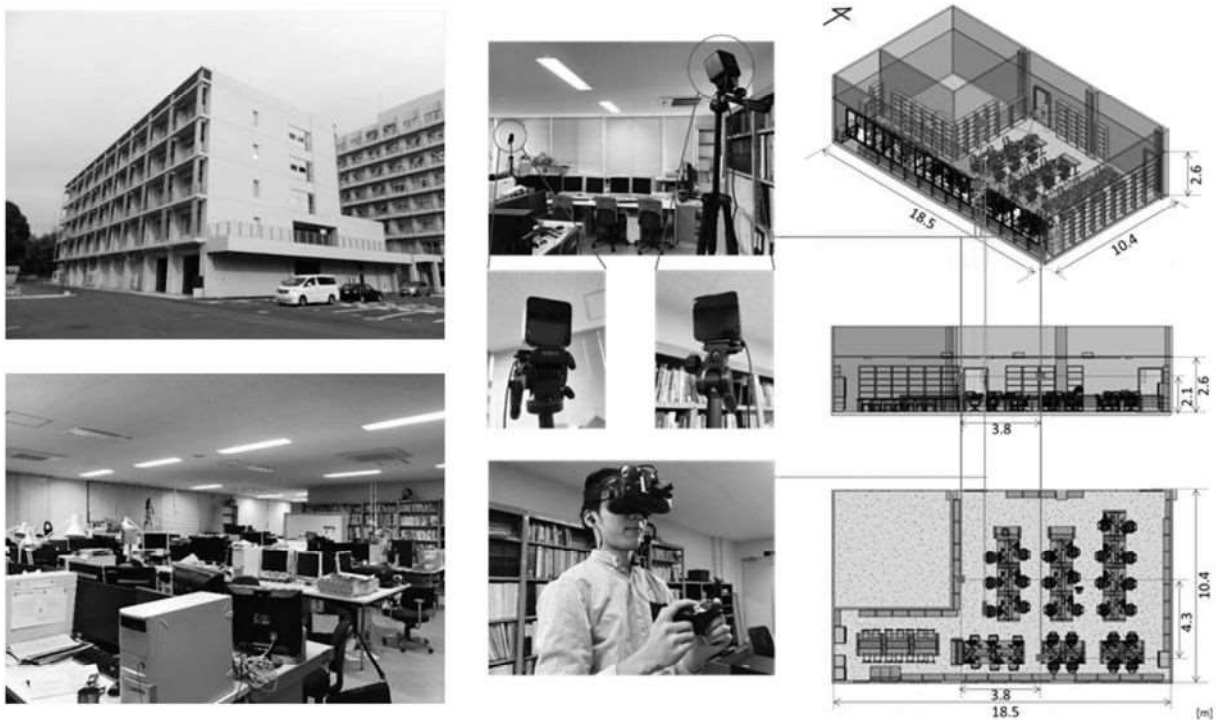


図4 実験対象地と赤外線センサ発信器の位置

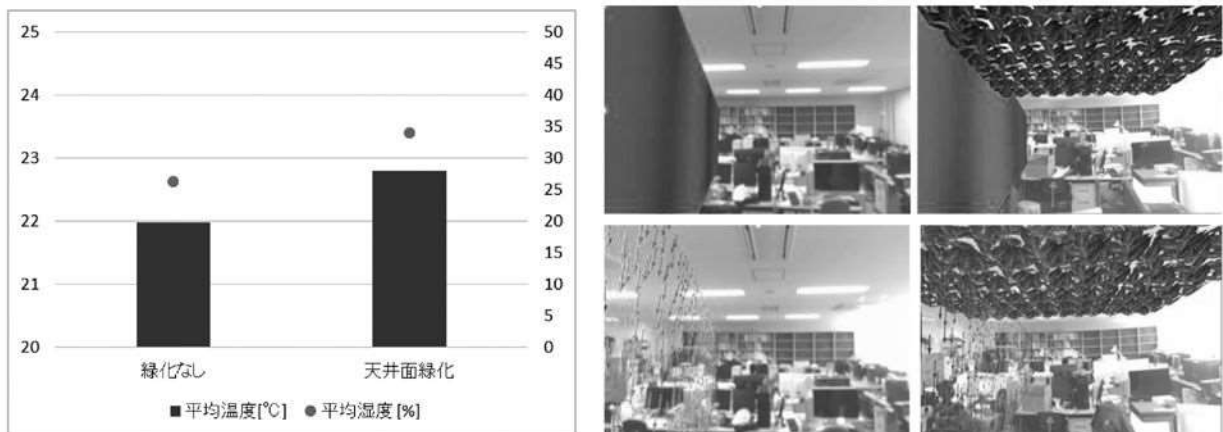


図5 緑化による室内温熱環境のCFD結果とAR表示



図6 インフルエンザ生存率の表示 (上) 緑化なし (下) 緑化あり

中央部分に吸い込み口があるものを設定した。自然環境を1月27日の太陽日射のある12:00を開始時刻とした条件として、冬季暖房を考慮した解析を行い、緑化なしの場合と緑化ありの場合を比較した。

3. 2 結果

CFD解析結果を比較すると、天井面の緑化で平均気温約1℃・平均湿度約8%の上昇があった。ARの可視化結果では、意匠検討と温熱検討を同時に行えることを確認した(図5)。部屋の中央付近にあるマーカーを認識して温熱環境のARモデルが空間に合わせて重畳された。空調付近ではヒートマップが赤色を示すことから気温が高く、また矢印記号が赤色を示すことから風速が速いことがわかる。また、非専門家により理解容易な指標の提示例として、結果の気温と湿度から算出したインフルエンザ生存率を表示した(図6)。結果より緑化により生存率が低くなったことが確認できる。

4. 結論

本研究では、建築プロセスに関わるすべての設計者による協調的な室内温熱設計を実現するために、BIM,CFD,ARを統合した室内温熱環境設計支援システムを開発した。検証実験は、室内緑化を想定したリノベーション案の温熱環境結果を表示した。本研究の結論を以下にまとめる。

- CFD解析でのBIMデータの利用によって、データの一元的な管理・運用の支援に貢献した。
- CFDとARを統合したシステムによって、意匠設計者から非専門科へ温熱環境に対する直観的な理

解を促進し、温熱環境に携わる設備設計者との協調的な温熱環境設計の実現支援に貢献した。

- オープンソース、ゲームエンジンの利用によって、安価で汎用性の高いシステム開発を実現した。
- リノベーションとしての室内緑化を対象とした検証実験によって、植物モデルの重量による意匠設計検討と温熱環境モデルの重量による温熱設計検討が同時に実施可能であることを示した。

今後の課題としては、緑化効果として空気浄化機能や防音機能などを加えた総合的な解析・評価の実施と、位置合わせ精度と頑健性が共に高いARシステムの導入が必要である。

*参考文献

- 1) Masahiro Hosokawa, Tomohiro Fukuda, Nobuyoshi Yabuki, Takashi Michikawa and Ali Motamedi: Integrating CFD and VR for indoor thermal design feedback, Conference: CAADRIA, pp.663-672, 2016.



勤務先：株式会社NTTドコモ
業務内容：法人営業部のシステムエンジニアとして、グローバル案件・共創案件に関わるアプリ開発に従事

(環境・エネ
平成27年卒 29年修士)