

日射の伝搬と CFD の連成解析によるオフィス空間の温熱・空気環境評価

2010541902 城戸 英彰

白石研究室
日射, 実測, CFD, 非定常, オフィス

1. 背景と目的

近年, 開放感や意匠性等の追求から外皮全面にガラスを使用したオフィスが数多く建設されるに至っている. ガラスは, 屋外の光や日射を積極的に室内へと導入することによって照明や暖房エネルギーの削減に繋がる反面, 夏季の遮蔽が不十分な状況下では冷房エネルギーの増大やペリメータゾーンの温熱環境の悪化等の問題も懸念される. 現在, これらの問題を改善する日射制御手法として, AFW(Air Flow Window), DS(Double Skin)や PPW(Push Pull Window)等の様々な外皮システムが提案されており, これらの手法の日射制御性能に関する研究も幾つか行われている. しかし, 既往の研究では外皮システムの日射侵入率の把握と同パラメータを用いたマクロ的なシミュレーションに関するものが多く, 日射の反射・吸収・透過を考慮した伝搬現象を直接的に解析した例は見あたらない. 外皮システムのマクロな熱的性能の評価のみでなく, 室内各部位への日射の伝搬や室内温熱環境の不均一性も考慮に入れて総合的な性能評価を行うには, 日射伝搬の解析を組み込んだ外皮性能の評価ツールが必要であると言える. 本研究は, 様々な建物外皮の日射制御性

能を評価するための基礎的な研究として, 日射伝搬と CFD (Computational Fluid Dynamics : 数値流体力学) の非定常連成解析ツールを提案し, オフィス空間を対象とした実測結果との比較により同ツールの有効性を示すことを目的とする.

2. 実測概要

2.1. 実測対象 福岡県北九州市に建設された S ビルを実測対象とし, 一階の南面に位置する会議室一室を用いて実測を行った. 対象室の寸法及び測定点の位置を図 1 に示す. 対象となる会議室は, 北面に廊下, 東西面に同様の会議室が隣接しており, 南面は一面ガラス張りになっている.

2.2. 実測条件 実測は, 2011 年 9 月 4 日~26 日の計 23 日間の測定を行った. 空調設定温度は 26°C とし 8 時から 18 時半まで冷房を行い, 同時に機械換気も行った. 日射の予測精度の検証が目的であるため照明は OFF とした.

2.3. 測定項目 室内条件として, ①PZ 及び IZ の上下温度分布, ②窓周辺の空気温度, ③室内側鉛直日射量, ④室内表面温度, 屋外条件として, ⑤全天空日射量及び天空日射量の測定を行った. その他, 外気・空調関連・廊下の温度等の測定も行った.

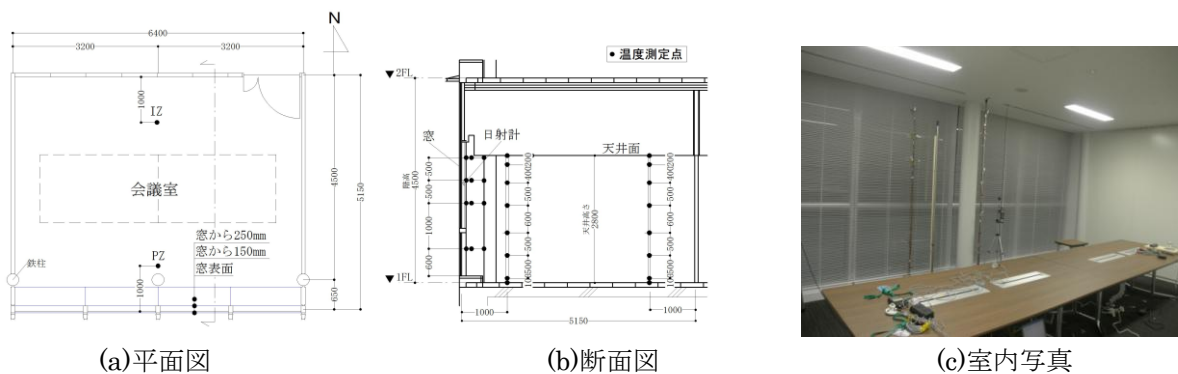


図 1 対象室の概要

熱量を計算し、各面での発熱量として与えた。日射データの無い時間帯は、直近の日射データを用いて線形補間した。太陽高度は1秒毎に再計算を行っており、天気は晴天とし、雲天係数は0.1[-]とした。

直達日射は、受熱対象となりうる表面要素から法線方向に他の対象物との遮蔽判定を行い、受熱の有無を決定した。天空日射の受熱分布はモンテカルロ法によって算出した昼光率を用いて決定している。地表面における反射日射量(地表面反射率=0.3[-])は、天空日射においてのみ考慮した。ガラスの透過率は、入射角特性により毎時刻変化するため、入射角による影響が最も少ない正午の透過率 τ を与えた。吸収率 μ 及び反射率 ρ は、文献値を参考に与えた。尚、反射後は指向性をもたない完全拡散反射と仮定した。反射後の受熱分布はモンテカルロ法を用いて算出した各面要素への形態係数により算出している。反射の上限回数は100回まで考慮した。

4. 解析結果

4.1. 時系列データ PZ 及び IZ における床から1100mmの高さにおける空気温度の経時変化を図5,6にそれぞれ示す。また、解析値と実測値の各日射量の相関図を図7に示す。実測値と解析値の挙動は概ね一致した。日中の空調吹出温度が低い場合において2°C程度の誤差が生じているが、これは解析時における日射量が実測値より若干小さいためと推察される。

4.2. 上下温度分布, 温度場及び流れ場 時刻別のPZ及びIZの上下温度分布を図8,9にそれぞれ示す。実測値と解析値の挙動は、床表面温度以外の点においては概ね一致していた。解析値における床表面温度は、日中になるにつれ上昇し、15時には40°Cを超えた。実現象において、床に吸収された日射は、室内以外に床下方向にも熱を伝搬するが、解析モデルでは床下を断熱としているため、床表面温度が高くなったと推察される。IZにおいて空気温度は、全ての時刻においても25°C程度となっているのに対し、PZは、時間が経つにつれ、空気温度が高くなる

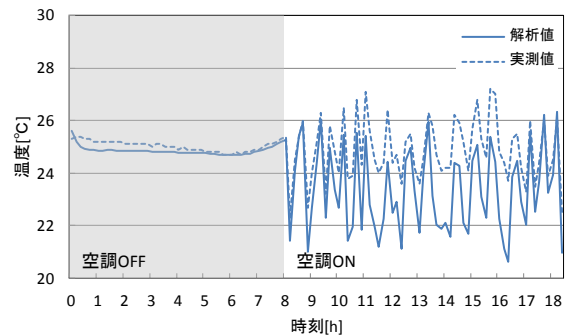


図5 PZの代表点における経時変化

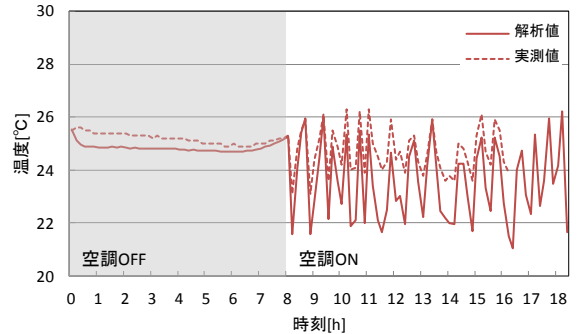


図6 IZの代表点における経時変化

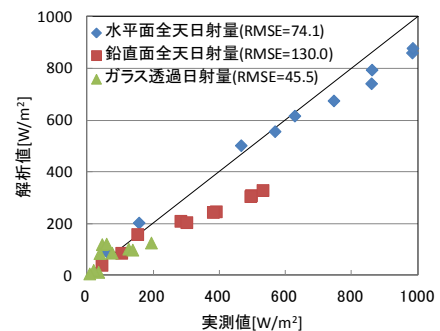


図7 各日射量の比較値

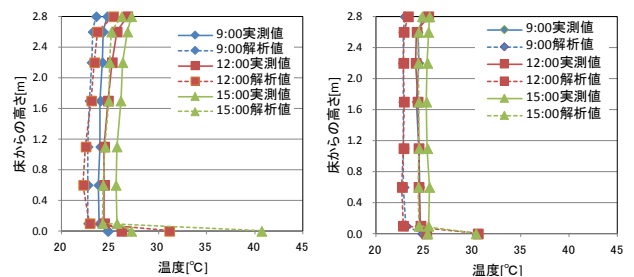


図8 PZの上下温度分布 図9 IZの上下温度分布

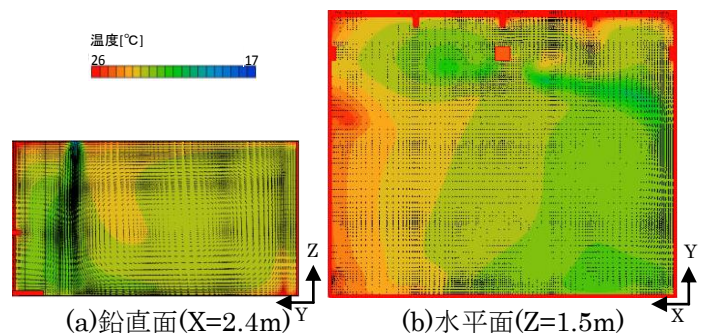


図10 温度場及び流れ場(12:00)

傾向が見られた。

各時刻を代表して、12時における鉛直面($X=2.4\text{m}$)及び水平面($Z=1.5\text{m}$)の温度場及び流れ場を図10にそれぞれ示す。空調吹出口付近は、低温となり、流速は卓越している。しかし、外気取入口からの影響により西側の温度が高くなり、還気口及び排気口付近においては空調吹出から吹出された空気と混合され、低くなっている。窓面ではライン状の空調吹出口(図4)が設けられているため、日射や外気からの熱貫流の影響はあまり生じていない。

4.3. 窓近傍温度 窓近傍温度の実測値と解析値の比較結果を図11に、窓近傍の断面図を図12にそれぞれ示す。尚、窓表面及び窓からの距離毎のRMSE値も合わせて示す。窓表面において、 $\text{RMSE}=0.49^\circ\text{C}$ と高い精度を示し、窓からの距離が離れるにつれ、RMSE値は大きくなった。差異については、室内透過日射量が実際より低い等の影響が考えられる。

4.4. サーモ画像との比較 10時、12時、14時における窓近傍の室内表面温度の解析結果とサーモ画像を図13に示す。実測と解析の日射の挙動は概ね一致している。しかし、直達日射によって室内に形成される高温域は若干小さくなる。これは解析モデルの窓面上部を簡略化したためと推察される。時間が経過するにつれて日射の当たる面積は変化し、どの時間帯においても日射が当たる床表面温度は 38°C を超え、概ね実測結果と対応した。ただし、日射は、床面以外に壁面にも照射されているが、反射日射は完全拡散を仮定しているため、壁面温度は殆ど上昇しなかった。

5. 総括

本研究では、日射の伝搬とCFDの非定常連成解析により、オフィスの室内温熱・空気環境と空調熱負荷の評価を行った。以下に得られた知見を示す。

- 1) 非定常実測を対象とした予測精度の検証により、日射を導入した場合の室内空気温度及び窓近傍温度の動的挙動において、高い再現性を確認した。

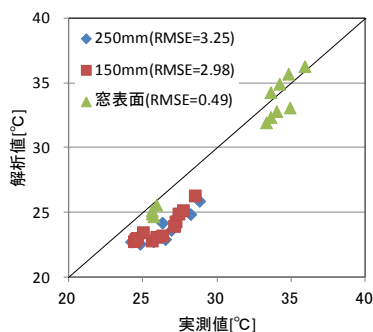


図11 窓近傍温度

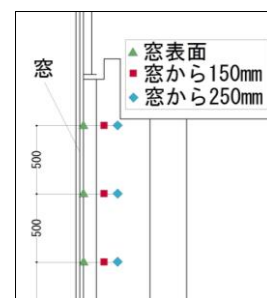
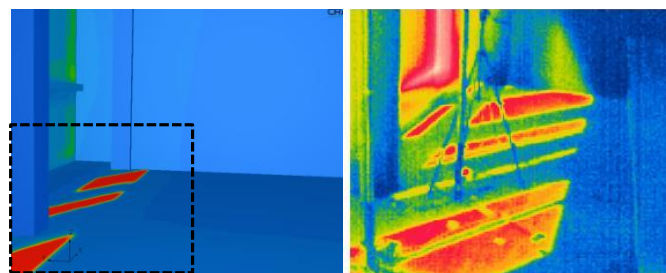
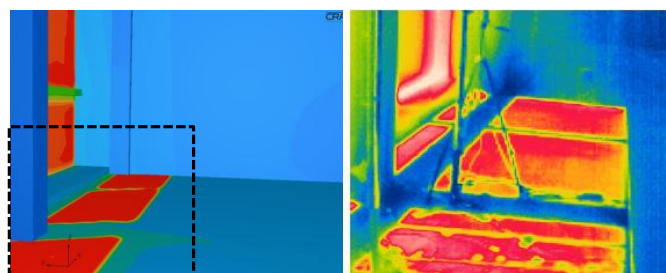


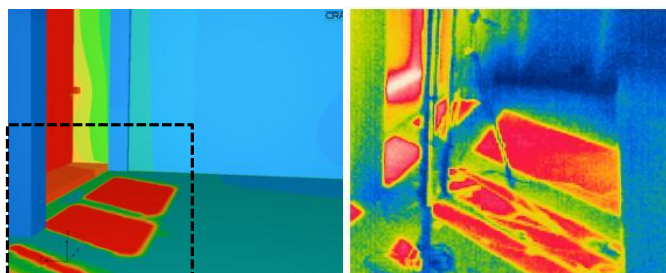
図12 窓近傍断面図



(a)10:00



(b)12:00



(c)14:00

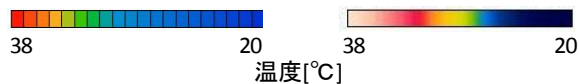


図13 解析結果(左)とサーモ画像(右)
(左図点線の領域は右図の熱画像と対応する)

- 2) ライン状吹出口のエアカーテンの効果により、日射や外気からの影響を抑制している様子を再現した。

[参考文献]

- 1) 郡公子, ペリメータレス空調のための窓システムの評価に関する研究(第一報)窓側放射環境の評価法, 日本建築学会計画系論文集第539号 2001.1
- 2) 日本太陽エネルギー学会: 新太陽エネルギー利用ハンドブック, 2000