

室内空調時における測定連動型非定常CFD解析

1. 背景・目的

近年、インターネット回線を経由した測定データの取得が容易となり、IoTを活用した環境計測が広がりつつある。リアルタイム計測の結果を直ちにCFD解析の境界条件に用いて近未来の予測を行い、結果を空調制御へフィードバックすることで、より確実な室内温熱環境の構築が可能となるであろう。

本研究では、新たな空調制御法への適応を目指して、リアルタイム計測と連動した非定常CFD解析を実施する。時間ステップ毎に、壁・窓ガラス表面温度、及び、空調吹き出し風速に関する境界条件を更新し、常に最新の測定情報の下での室温予測を可能とする。本卒業研究においては、夏期冷房時検証用データの取得を目的とした実測、実測データをフィードバックするリアルタイムの非定常CFD解析の構築、解析精度の向上に関する検討について実施する。

2. 実測調査 2.1 測定概要

大阪工業大学 1号館 4階 大学院講義室 2 (図 1)にて 2017年 8月 17日~9月 28日に実測を行った。測定項目及び測定機器については表 1 に、測定点を図 2 に示す。



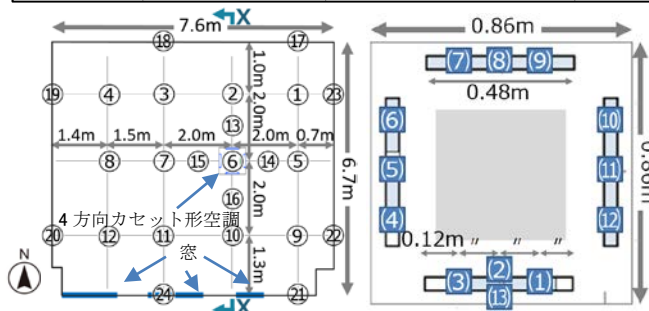
図 1 大学院講義室 2

4方向カセット型空調(SANYO製 SPW-SXJ90U)を急・強・弱で運転し、各吹き出し口に 3点ずつ熱式風速計(Modern Device製 Wind Sensor Rev.P)を配置した(図 2 右(1)~(12))。

表 1 測定位置・項目及び測定機器

クラウドアップロード用データ (主に境界条件取得用)			
測定項目	対象位置	高さ(m)	測定機器
空気温度 (参考)	①③⑩	1.10	K型熱電対
壁面温度	⑦⑧⑨⑭⑮⑯	1.10、2.10	K型熱電対
窓表面温度	④	1.10、2.11	K型熱電対
天井・床表面温度	①③⑨⑩	0.00、2.50	K型熱電対
吹出温度・風速	① 2 3 4 5 6 7 8 9 10 11 12	2.45	熱式風速計

室内環境確認用			
測定項目	対象位置	高さ(m)	測定機器
空気温度	①③④⑨⑩⑫	1.10	T型熱電対
吹出温度・風速	②⑤⑥⑦⑧⑬⑭⑮⑯	0.05、1.10、2.10、2.30、2.40	T型熱電対
吹出温度・風速	⑬	2.45	熱式風速計



(1) 空気温度・表面温度の測定ライン (2) 吹き出し温度・風速の測定位置

図 2 測定点

2.2 風量測定

図 2(1)に示すカセット形空調にはカタログ上の「規定風量」があるが、定格運転時の値であり、使用時には発停を繰り返す為、平均流量はもっと低い値となる。

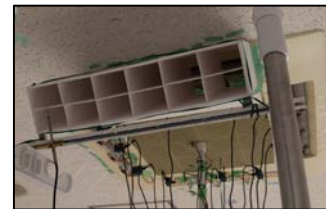


図 3 風量測定状況

吹き出し部にガイド(図 3)を設置して 1 方向ずつ風量測定¹⁾を実施する。ガイドは 12 分割され各 3 分間風速測定を行う。空調は中央管理方式(設定温度 23~26℃)のため、タイミングにより風量は異なる。そこで、他の 3 方向に設置した風速計データで基準化し、補正を行った。写真撮影で測定した各吹き出し気流の角度、カタログ上の規定風量及び、補正した実測風量を表 2 に示す。風量測定で得られた吹き出し風量を「実測風量」とする。

表 2 エアコン性能

設定	吹き出し角度(°)				規定風量(m³/min)	実測風量(m³/min)
	北	東	南	西		
弱	47	40	30	23	16	10.4
	40	36	25	15		
	35	30	25	12		
強	47	40	30	23	19	11.4
	40	36	25	15		
	35	30	25	12		
急	47	40	30	23	21	12.7
	40	36	25	15		
	35	30	25	12		

2.3 夏期冷房実測の測定結果

エアコン開始 10 分後の測定結果を図 4 に示す。図 4 は高さ 1.1m、2.1m における弱運転時の測定結果の平面図とする(色は 20℃に近づくとき青、30℃に近づくとき赤に、寒暖を示す。)

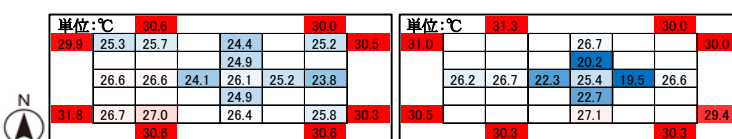


図 4 温度測定結果(左:高さ 1.1m, 右:高さ 2.1m 測定点は図 2(1))

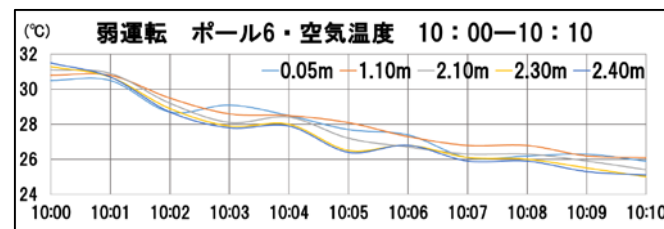


図 5 空気温度の経時変化(測定ライン⑥)

図 4 から高さ 1.1m は吹き出し口から離れた位置の温度が低く、高さ 2.1m は近傍の方が温度は低くなった。吹き出し気流の影響で近傍は高い位置、離れると低い位置で気流を受けて低くなっていると考えられる。ただし南側は窓付近のため、1.1m で温度が高くなったと考えられる。

図 5 からライン 6 の温度分布は開始から 10 分間緩やかに低下していることわかる。

3. CFD 解析 3.1 解析モデル

解析モデルを図 6 に示す。実測で使用するセンサーと同じ位置に評価領域を設定した。エアコン吹き出し部に速度(風量)固定境界、天井、壁、床、窓面に温度固定境界を設定し、これらの境界条件に非定常解析の各時刻毎の測定結果を取込み解析する。

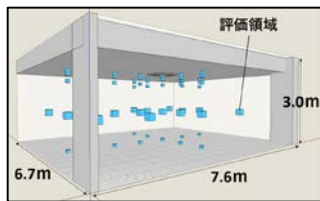


図 6 室内モデル

3.2 解析条件

非定常 CFD 解析とし、刻み時間は 5 秒とする。実測データのうち弱運転:8/31、強運転:8/30、急運転:9/2 のそれぞれ 9:50-10:10 の空調吹き出し口、床、壁、天井、窓面温度を境界条件とする。解析はエアコンの立ち上がりを対象とし 9:50-10:10 について計算する。空調スイッチは 10:00 に ON とする。解析を行うにあたり格子は粗・密の 2 種類を用意した(表 3)。前者は、計測を即時反映したリアルタイム解析が可能である。後者は、実時間の約 8 倍の計算時間がかかる。解析条件を表 3 に示す。

表 3 CFD 解析条件

乱流モデル	標準 k-ε モデル	メッシュ	構造格子
移流項差分スキーム	SIMPLEC 法	アルゴリズム	1 st -order
格子:粗	183,520(x:80, y:74, z:31)		
格子:密	902,880(x:132, y:120, z:57)		

3.3 解析結果 3.3.1 規定風量と実測風量との室温変化

弱運転時について、吹き出しを規定風量(カタログ値)あるいは実測風量とした 2 ケースの解析(格子:密)について、実測との対応をみる。ライン 6 の高さ 1.1m、2.1m における測定開始から 10 分間の室温の経時変化を図 7 に示す。

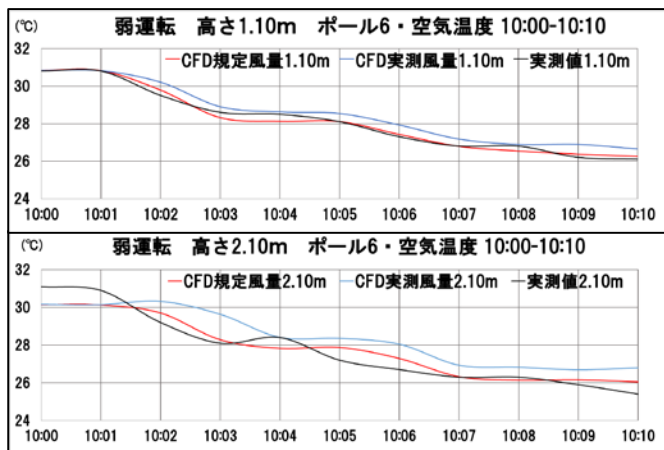


図 7 実測値と CFD 解析(規定風量・実測風量)の比較

高さ 1.1m、高さ 2.1m 共に発停を考慮しないため本来は風量が過大なはずの規定風量のケースの方が実測値に近くなった。可能性として、空調吹き出し近傍や扉などでより低い表面温度となる箇所があるにも関わらず、CFD の境界条件に使用していないため、CFD 解析結果が少し高めの温度となっている可能性が考えられる。今後検討を進め、解析精度の向上を図る。

3.3.2 計算格子の粗密による比較

弱運転時(吹き出しは実測風量とする)について格子の粗・密の 2 ケースの結果を比較する。ライン 6 の高さ 1.1m、2.1m の測定開始から 10 分間の温度分布を図 8 に示す。

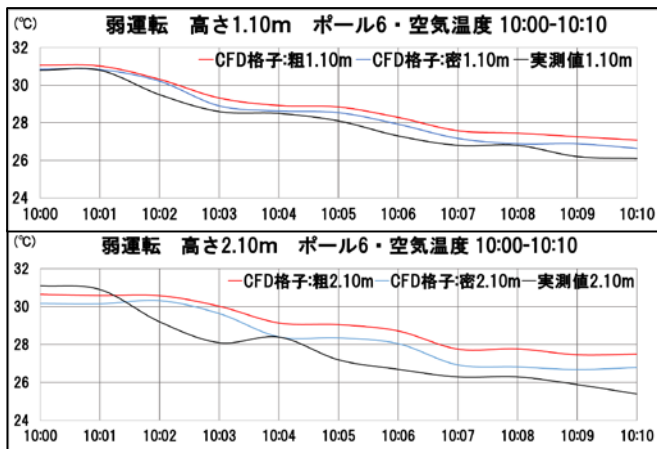


図 8 格子粗・密の室温変化

高さ 1.1m、高さ 2.1m の位置では共に格子を密とした方が実測値に近くなった。格子が粗いと実測との差が 2℃生じることもあるが、格子が密の場合 1℃以内に収まっている。弱運転時で実測風量の粗・密における吹き出し近傍の測定開始 10 分後についての解析結果(図 2(1)の X 断面)を図 9 に示す。

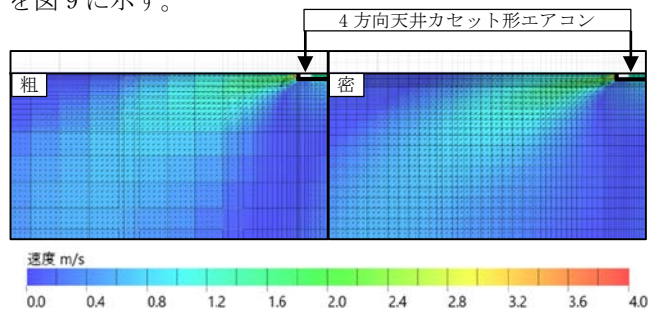


図 9 南側吹き出し近傍解析結果比較(左:粗 右:密)

図 9 から、格子が粗いと密な場合と比べて気流が拡散し易い傾向が見られる。結果、格子粗の場合空調から遠い天井近傍の熱だまりが居住域に伝搬して、室温が高くなったと考えられる。格子の密度は解析時間とトレードオフの関係にある分、空調解析時の精度における影響度は大きいと見られる。

4. まとめ

夏期、空調室内で測定を行い、センシングと連動したリアルタイム非定常 CFD 解析を構築した。また、精度向上のため格子分割に関する検討を行った。

5. 今後の検討

冬季における実測及び、リアルタイム非定常 CFD 解析、非定常 CFD 解析の精度向上、サーモカメラとの連動等について予定する。

参考文献

- 1) 赤嶺 嘉彦・坂本 雄三等, 「エアコンの COP 評価における吹き出し風量の測定方法について」, 空調調和衛生工学会大会, P.2141-2144, 2007.9

(河野研究室)