

太陽エネルギー活用型ヒートポンプ暖冷房換気給湯システムの住宅への導入に関する研究 その3：
CFDによる冷房吹出口の適正数と配置に関する検討

冷房 快適性 吹出口
CFD解析 全館空調

正会員 ○孫 路寧*1 同 劉 行*2
同 大平 豪士*1 同 前 真之*3
同 高瀬 幸造*4 同 盧 炫佑*5

1. はじめに

本報では、吹抜を有する2階建の標準住宅に太陽熱利用型ヒートポンプ暖冷房換気給湯システム（以下本システム）を搭載することを想定した検討を行う。冷房時の温熱環境を改善させるため、CFDを用いて日射を考慮した吹出口の個数と配置の検討を行う。

2. 検討条件

一般化するために、多くの実測物件に見られたような南面に大開口を持つ標準住宅モデルを用いる(図1)。本システムの導入住戸で推奨されているHEAT20 G1の断熱仕様を表1に示す。

ここでは、ESSLISMを用いてこのモデルの負荷計算を行う(表2)。本システムの最大処理熱量は2000Wである。室内冷房顕熱負荷が空調機能力の上限を超えないようにするため、外付けブラインドの可否を検討した。CFD解析対象日時は冷房ピーク負荷時を用いる。この時点での部屋別冷房負荷を図2に示す。実測により、本システムの最大風量は600m³/hである。1階のA系統の負荷は2階のC系統の約2倍であるため、今回の検討において両系統の風量比をA系統(400m³/h):C系統(200m³/h)=2:1と仮定する。

3. CFD解析による検討

3.1 冷房吹出口の個数の検討

FlowDesigner2020を使用し、吹出口の到達距離をCFDで再現するために、MOMENTUM法¹⁾を用いて、各吹出口を設定し、室内快適性の検証を行った。解析条件は表3に示す。ここでは天井付け吹出口(図3)を検討対象とする。A系統吹出口の数が2~5の4つのケースを作成し、結果の比較を行う。

結果を図4に示す。ケース1の場合は、床面から1.1mのところの窓側の平均放射温度が室内温度と比べると約5℃高くなった。空気温度の断面図から、各部屋の平均温度の差が約1.7℃であることがわかる。ケース2の場合、吹抜部分の平均放射温度と空気温度の差が3℃以上になることを確認できた。ケース3では、吹抜の天井吹出口から吹き出す冷気が吹抜を通して、LDK空間に届き、リビングの天井吹出口とともにリビング部分の負荷を処理する。温度ムラが少なく、平均放射温度と空気温度の差を1℃以内に抑えられた。ケース4では、ダイニング・キッチン部分の吹出口距離が短いため、冷え込むという問題がある。以上より、ケース3(A系統全体吹出口個数が4つ)の場合



図1 標準住宅モデル平面図(左:1F 右:2F)

表1 部位別断熱仕様

断熱仕様/位置	仕様	A (W/mK)	断熱厚み(mm)	U値(W/m ² K)	
屋根	充填	GW16K	0.045	200	0.29
外壁	充填	GW16K	0.045	100	0.46
開口部	窓	LOW-E複層ガラス	-	-	1.9
	ドア	ハニカムフラッシュ構造	-	-	4.65
べた基礎	立ち上がり(室内側)	押出法ポリスチレンフォーム保温板3種	0.028	100	0.44
基礎	基礎床外周(500mm)	押出法ポリスチレンフォーム保温板3種	0.028	50	
(基礎断)	基礎床下全面	押出法ポリスチレンフォーム保温板3種	0.028	50	

表2 熱負荷計算条件

熱負荷計算のための条件			
使用ツール	EESLISMを計算エンジンとする熱負荷計算ツール	補助冷暖房	停止
建物モデル	標準住宅モデル	在室人数	年間総発熱量:2791kWh
気象データ	拡張アメダス標準年データ(東京)	照明	年間総発熱量:2170kWh
計算期間	1/1~12/31	家電	年間総発熱量:2138kWh
計算間隔	1時間	水蒸気	年間総発熱量:27kg
家族構成	4人(夫婦+子2人)	換気	局所換気 179m ³
住宅の属性	木造住宅、延床面積112.6m ²	24時間換気	1289m ³
在室時間帯	住宅事業主の判断基準をもとに作成	窓開閉通風	行わない
暖冷房時間帯	24時間連続運転	熱容量(家財)	一律20kJ/mK
設定温度	冷房時: 27°C(60%)	隣棟の影響	考慮する
住宅モデルU値	0.51W/m ² ・K	γ A値	1

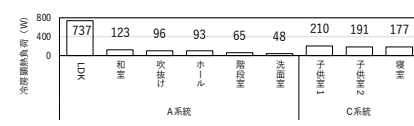


図2 部屋別冷房顕熱負荷(8/5 13:00)



図3 吹出口気流性状

表3 CFD解析条件

解析コード		日射条件	
FlowDesigner2020	標準k-εモデル	直達日射量:725W/m ²	散乱日射量:213W/m ²
流体モデル	吹出口設定はMOMENTUM法によるモデル化	風速	A系統:和室100m ³ /h, LDK300m ³ /h
メッシュ数	3080700	吹出口個数の検討時:17°C	C系統:200m ³ /h (66.7/66.7/66.7)
数値解法	流連:圧力補正:SIMPLEC	吹出口配置の検討時:17°C	壁吹出90°(A系統)
	差分法:風上1次	(角度は加速度で設定)	天井吹出15°(C系統)
解析対象日時	8/5(休日) 13:00(冷房顕熱ピーク負荷)	流出条件	600m ³ /h
収束判定条件	(定常) 1.0×10 ^{-3.5}	内部発熱	人体発熱:1人分(顕熱のみ,60W)
外気条件	外気温:35°C 外気風:0.1m/s(疑似無風)	家電発熱:201.9W(HEAT20で想定)	

に室内温熱環境が最も快適だと考えられる。しかし、この場合にも、窓側の平均放射温度が高い。窓側の温熱環境を改善するために、以下の検討を行った。

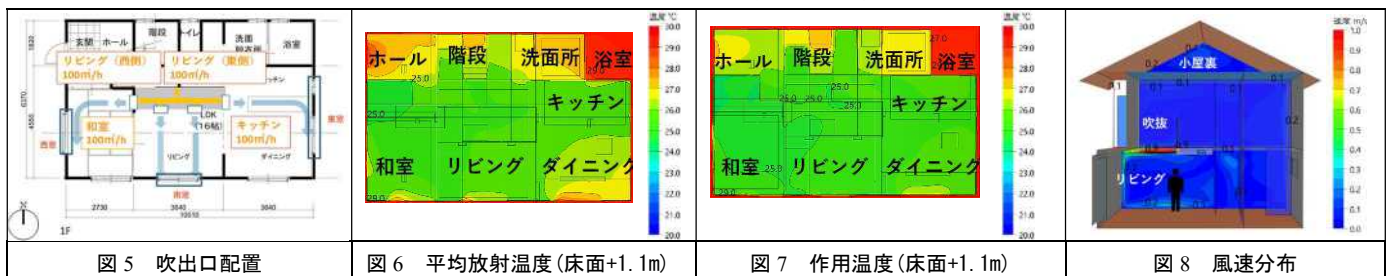
3.2 冷房吹出口の配置に関する検討

上記の検討結果より、ケース3の場合でも、窓側の平均放射温度が高くなってしまふことがわかる。窓側の放射温度を下げるために、以下の案によって吹出口の種類・位置の検討を行う。

1階の天井の段差を利用すると、壁吹出の施工がしやすくなる。また、吹出口の到達距離が長いので、A系統は

ケース	ケース 1	ケース 2	ケース 3	ケース 4
吹出口配置イメージ (A 系統)	A 系統吹出口 2つ	A 系統吹出口 3つ	A 系統吹出口 4つ	A 系統吹出口 5つ
平均放射温度 (°C)	数値は各部屋の空間の平均値	数値は各部屋の空間の平均値	数値は各部屋の空間の平均値	数値は各部屋の空間の平均値
空気温度 (°C) LDK 部分	数値は各部屋の空間の平均値	数値は各部屋の空間の平均値	数値は各部屋の空間の平均値	数値は各部屋の空間の平均値
PMV の体積割合 (LDK と 2F) Met: 1.0 Clo: 0.6	PMV が-0.6~0.6 の割合:52.6% LDK 温度の分散: 0.072	PMV が-0.6~0.6 の割合:98.9% LDK 温度の分散: 0.071	PMV が-0.6~0.6 の割合:92.4% LDK 温度の分散: 0.055	PMV が-0.6~0.6 の割合:98.3% LDK 温度の分散: 0.052
特徴 デメリット	各部屋の平均温度の差が大きい・AC 系統が暖房する場合、不快になりやすい	温度ムラがある・室内風速を 0.25m/s 以下に抑えられない・平均放射温度と室内空気温度の温度差が 3℃以上となる	温度ムラが少ない・平均放射温度と室内空気温度の温度差を 1℃以内に抑えられる・室内風速を 0.25m/s 以下に抑える	ダイニングとキッチン部分が冷えすぎ・室内風速が 0.25m/s 以下に抑えられない・気流感がある

図 4 冷房吹出口の個数の検討結果



壁付け吹出口を用いて各方向の窓に吹き出すように変更する(図 5)。このようにして、平均放射温度が 26~28℃に収まるよう解析を行う。

日射の影響による窓側の温度の上昇を約 2℃に抑えられ、平均放射温度は 26~28℃に収まった(図 6)。吹き出す冷気が窓面に沿って床表面に落ちたため、床と窓の表面温度が下がったからである。そして、1 階各部屋の作用温度が 25.5~27.5℃に収まった(図 7)。また、図 8 に示すように、

居住域の風速が 0.25m/s 以下に抑まった。以上より、この案により窓側の放射温度を下げられることを確認した。

4. まとめ

本報の検討より、壁付け吹出口を用いて窓方向に吹き出すと、窓側の放射温度を下げる効果があることが明らかになった。今後は吹出口の種類とモデルを拡張して、検証を進めたい。

【参考文献】

- 1) 「次世代 CFD パーツの開発および BIM による空調設備設計統合手法」委員会報告書, 空気調和・衛生工学会換気設備委員会・BIM・CFD パーツ開発応用小委員会, 2018 年

*1 東京大学大学院 修士課程
*2 当時東京大学大学院 学術支援専門職員 修士(工学)
*3 東京大学大学院 准教授 博士(工学)
*4 東京理科大学 講師 博士(工学)
*5 OM ソーラー 株 取締役・技術部長・博士(工学)

*1 Graduate Student, the Univ. of Tokyo
*2 Former Project Academic Support Staff, Grad. School of Eng. the Univ. of Tokyo, M. Eng.
*3 Associate Prof., the Univ. of Tokyo, Dr. Eng.
*4 Junior Associate Prof., Tokyo Univ. of Science, Dr. Eng.
*5 Director, OM Solar Inc., Dr. Eng.