

住宅用の蓄熱式暖房器の性能評価に関する研究 ～対流・放射・熱伝導の連成解析による各種暖房方式の温熱環境の比較～

2004541045 脇坂 真代

白石研究室

住宅、蓄熱式暖房器、温熱環境、CFD 解析

1. はじめに

近年、蓄熱式暖房器は内部に燃焼部分がないため安全性が高く、また水蒸気や二酸化炭素の発生による室内空気汚染の危険性が少ないという特徴から注目され始めている。地球環境に対する意識が高く、規制が厳しいヨーロッパ諸国では古くから使われており、日本でも、東北以北の寒さが厳しい地域で暖房器の主流とも言えるほどに普及している。最近では、関東地方や近畿地方でも普及し始めているが、九州地方での普及率は極めて低く、ほとんど知られていないというのが現状である。そこで、本研究では北九州市内の戸建住宅を対象として、蓄熱式暖房器に関する実測及び CFD 解析を実施し、九州地方における導入可能性に関する検討を行う。本論文では、実測前の予備的な検討として、CFD 解析に基づく対流・放射・熱伝導の連成解析による各種暖房方式の温熱環境の比較結果について報告する。

2. 蓄熱式暖房器の概要

2-1. 暖房方式 蓄熱式暖房器は、深夜電力を利用した 24 時間暖房方式で、自然対流と放射熱を利用した放射型と、暖房器内部のファンによる微風で自然対流を促進させる対流型がある。夜間は暖房器内部の蓄熱レンガ（マグニサイトまたは酸化鉄）に、シーズヒーターからの熱を与えることで蓄熱し、昼間は電力を使用することなく蓄えた熱を放熱することで部屋を暖房するという方式である。

2-2. 特徴 蓄熱式暖房器は、昼間電力料金の約 1/3 の深夜電力を利用するため経済性に優れている。また、強制的な対流による暖房方式とは違い、運転中の騒音や気流がほとんどなく、局所的に温風が当たるといった不快感が生じにくい。さらに、暖房器内部の構造が単純であるため故障が少なく、耐久性が高い。

3. 解析概要

3-1. 解析対象 本研究の解析対象は、図 1 に示す北九州市内に建設された次世代省エネルギー基準を満たす戸建住宅の土間吹き抜け空間である。ブリッジ北側に間仕切り壁を仮設し、解析領域を北側（2.416m × 4.820m × 6.718m）と南側（2.416m × 6.520m × 6.718m）に分け、それぞれに居住域（北側：1.5m × 3.3m、南側：1.8m × 3.9m）を設定した。暖房器容量は床面積に基づいて算定し、北側に放射型蓄熱式暖房器と石油ファンヒーター、南側に対流型蓄熱式暖房器とエアコンをそれぞれ設置した。南北は窓面が多いためコールドドラフトを考慮して、窓付近に蓄熱式暖房器を設置し、強制的な対流により温風が発生する石油ファンヒーターとエアコンは、間仕切り壁付近から南北の窓面に向かって温風を吹き出すように設置した。

3-2. 解析条件 解析モデルを図 2、3、解析条件を表 1、解析ケースを表 2 にそれぞれ示す。外気温は気象庁による北九州市八幡の 1979～2000 年 2 月上旬の最低平均気温とし、地中温度は 2001～2006 年の年間平均気温とした。また、東側 1 階の主生活スペースのみ暖房を行っているとして、各暖房器の最大容量で暖房した場合、並びにシーリングファンを併用した場合の計 8 ケースの検討を行う。

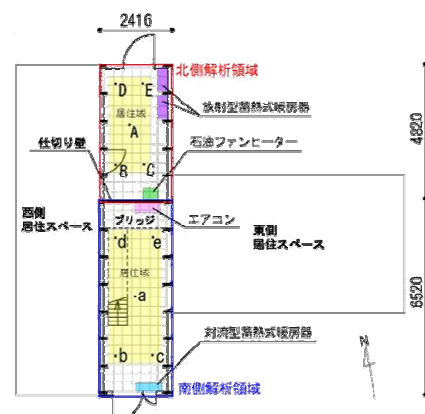


図 1 対象住宅 1 階平面図

4. 解析結果（通常使用時）

4-1. 温熱環境評価 図4に示すように放射型蓄熱式暖房器は、ファン等による強制的な対流がないため暖房器直上の熱上昇流が強く、暖気が空間上部に溜まる。さらに東壁に設置しているため、北窓の西側で発生しているコールドドラフトの抑制が不十分で、冷気が床付近に流入する。対流型蓄熱式暖房器も風量が少ないため、吹き出された温風はすぐに上昇し、空間上部に暖気が溜まるが、南側窓面近傍に設置されているためコールドドラフトが抑制されている。石油ファンヒーターは、風量が少なく吹出口が床付近にあるため暖気が部屋全体に到達せず、吹き出し直後に熱上昇流が発生する。このため北側の床面は、コールドドラフトにより温度が低くなる。一方、エアコンは、風量が多いが、やはり暖気による熱上昇流が生じ、南側窓面近傍の室温は低い。図5に示すように放射型蓄熱式暖房器と対流型蓄熱式暖房器は、鉛直方向の温度差が若干大きくなるが、水平方向の温度差はほとんどない。石油ファンヒーターとエアコンは、強制的な対流による暖房方式であるため水平方向の温度分布にばらつきがあるが、空間上部の温度差はほとんどない。ここで、ISO7730 やASHRAE では、居住者が椅座状態であると仮定した場合、高さ100mmと1100mmでの上下温度差3℃以内が推奨されており、a～e点の高さ100mmと1100mmにおける最大温度差は、放射型蓄熱式暖房器が2.33℃、対流型蓄熱式暖房器が2.49℃、石油ファンヒーターが4.32℃、エアコンが4.1℃である。また、放射型蓄熱式暖房器と対流型蓄熱式暖房器の居住域（高さ100mm～1100mm）の室温は、石油ファンヒーターやエアコンに比べると若干低い。次に、図6、7に示すように放射型蓄熱式暖房器と対流型蓄熱式暖房器は、放射による熱伝達が支配的であるためPMVの変化は主にMRTの影響を受ける。一方、石油ファンヒーターとエアコンは対流が支配的となるためPMVは気流や空気温度の影響を強く受ける。また、放射型蓄熱式暖房器と石油ファンヒーターは、暖房器から離れた点のPMVが-0.5以下と低い¹⁾。

4-2. 熱収支 図8に示すように、放射型蓄熱式暖房器と対流型蓄熱式暖房器は、暖房器直上の熱上昇流周辺の表面温度の上昇以外は、室内全体の表面温度がほぼ均一である。石油ファンヒーターとエアコンは、

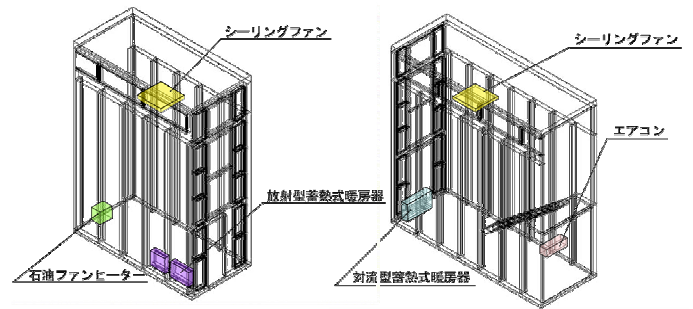


図2 北側解析モデル

図3 南側解析モデル

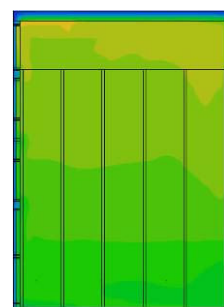
表1 解析条件

解析領域	北側 2.416m×4.820m×6.718m 南側 2.416m×6.520m×6.718m
吹出境界条件	$k_{in}=1.5(U_{in} \times 0.1)^2$ $\varepsilon_{in}=C_{\mu}k_{in}^{1.5}/l_{in}$
外気温度	2℃
地中温度	16.64℃
隣室温度	東側1階スペース 20℃ 西側スペース 15℃ 東側2階スペース 15℃
対流型蓄熱式暖房器	流量 2.0m ³ /min
石油ファンヒーター	流量 4.0m ³ /min
エアコン	流量 11.6m ³ /min
シーリングファン	流量 66.0m ³ /min

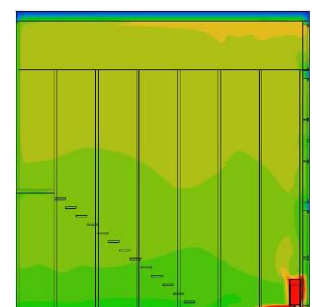
k_{in} : 乱流エネルギー[m²/s²]
 ε_{in} : kの散逸率[m²/s³]
 U_{in} : 流入風速[m/s]
 C_{μ} : モデル定数(=0.09)

表2 解析ケース

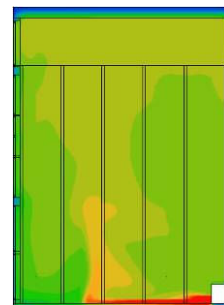
暖房器	最大容量	位置	シーリングファン
放射型蓄熱式暖房器	3.75kW	北側	無
対流型蓄熱式暖房器	5.0kW	南側	
石油ファンヒーター	3.7kW	北側	
エアコン	5.0kW	南側	有
放射型蓄熱式暖房器	3.75kW	北側	
対流型蓄熱式暖房器	5.0kW	南側	
石油ファンヒーター	3.7kW	北側	
エアコン	5.0kW	南側	



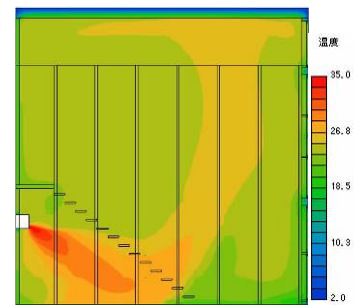
(a) 放射型蓄熱式暖房器



(b) 対流型蓄熱式暖房器



(c) 石油ファンヒーター



(d) エアコン

図4 鉛直面温度分布（通常使用時）

温風が直接当たるエリアで局所的に表面温度が上昇している。特に床面の温度差が著しい。図9に示すように放射型蓄熱式暖房器と対流型蓄熱式暖房器は、床と1階北窓・南窓の熱損失が大きい。石油ファンヒーターは、天窓と2階北窓からの熱損失が大きい。エアコンは、間仕切り壁と1階及び2階の東壁からの熱損失が大きい。

5. シーリングファン併用時の解析結果

5-1. 温熱環境 図10に示すように、放射型蓄熱式暖房器は、空間上部に溜まっていた暖気がシーリングファンにより循環・拡散しており、室内の温度が均一である。石油ファンヒーターは、通常使用時に比べ空気の循環は生じているが、コールドドラフトの影響は改善されていない。対流型蓄熱式暖房器（図省略）は、部屋の南側のみ空気が循環している。これは、北側より広い床面積にも関わらず、同じ風量のシーリングファンを設置したこと、設置位置が部屋の中心からやや南側であることが原因と考えられる。エアコン（図省略）は、吹き出し温風による熱上昇流とシーリングファンによる流れが室中心で相殺され、空気が循環していない。図11に示すように放射型蓄熱式暖房器では鉛直方向の温度差が改善され、高さ100mmと1100mmの最大温度差が 0.72°C となる。石油ファンヒーターの場合、鉛直方向の温度差が改善されず、最大 6.3°C である。図12, 13に示すように放射型蓄熱式暖房器のMRTとPMVはどちらも上昇し、改善されている。石油ファンヒーターは、MRTの変化とPMVの変化がほぼ一致しているが、a点ではシーリングファン直下であるため気流による不快感が大きくなったと考えられる。エアコンは、MRTの変化はほとんどないが、シーリングファンの気流によりPMVが低下している。

5-2. 熱収支 図14に示すように放射型蓄熱式暖房器は床の表面温度が高く、天井と天窓、2階東壁は低くなる。一方、石油ファンヒーターは、床と1階東壁の表面温度が高く、天窓は低くなる。シーリングファンにより局所的に表面温度が高くなる傾向が若干改善された。これに関連して、図15に示す各部位の熱損失は、表面温度が高くなった部位は増加し、逆に低くなった部位は減少している。

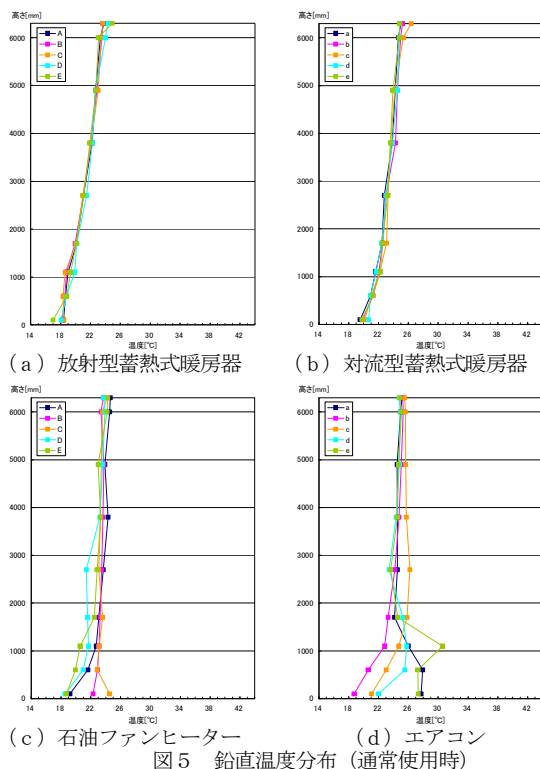


図5 鉛直温度分布 (通常使用時)

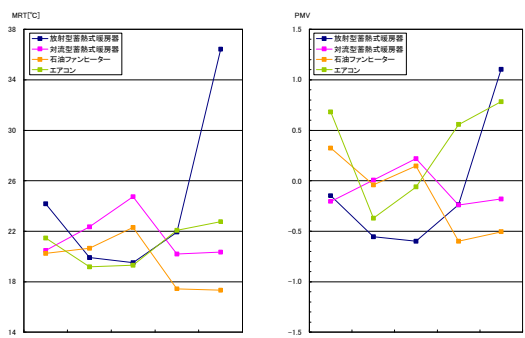


図6 MRT分布 (通常使用時) 図7 PMV分布(通常使用時)

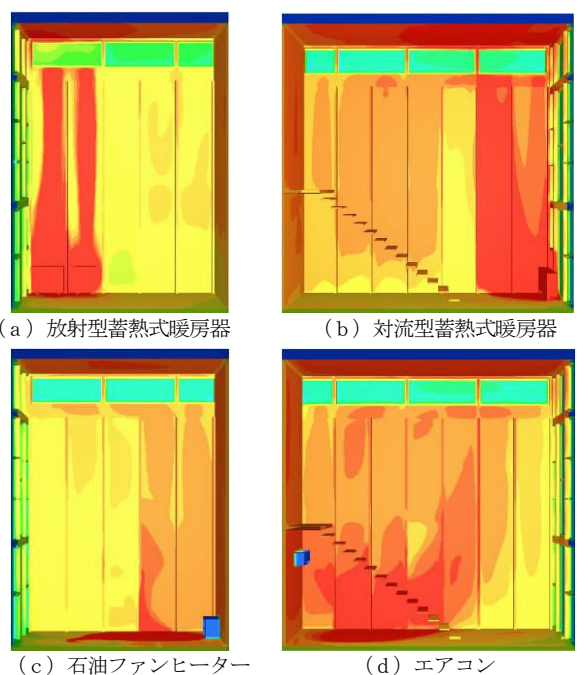
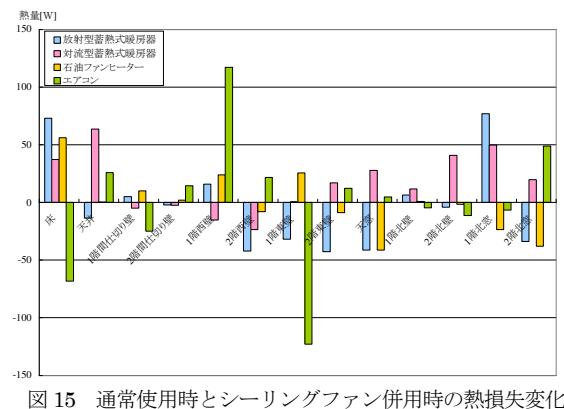
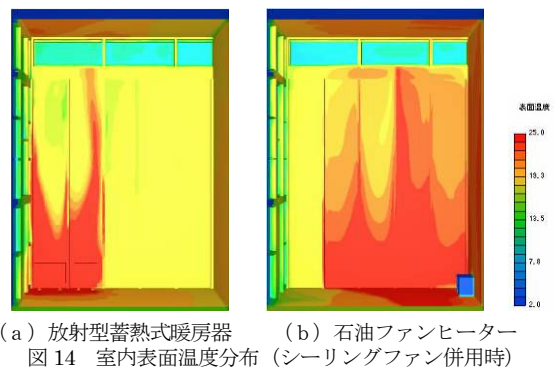
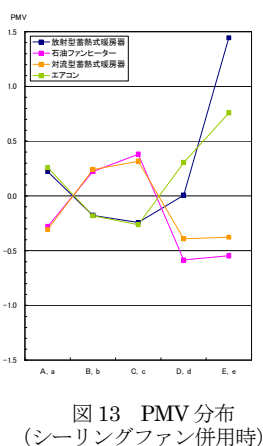
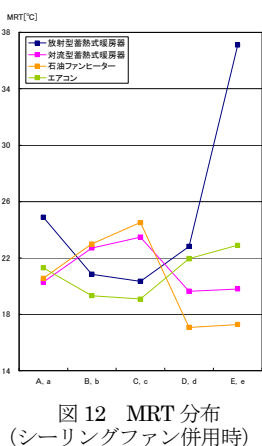
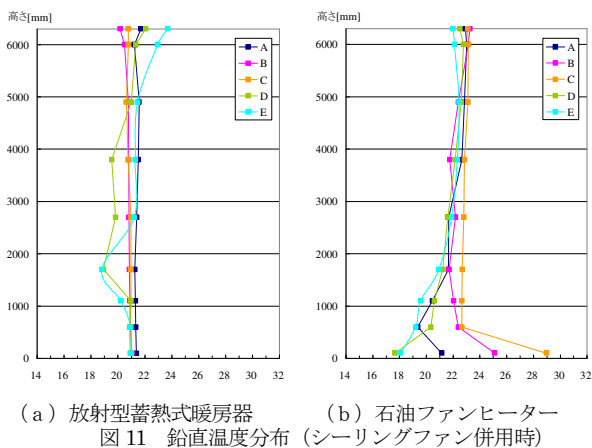
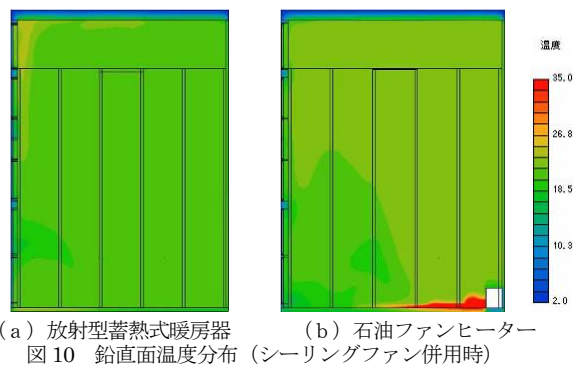
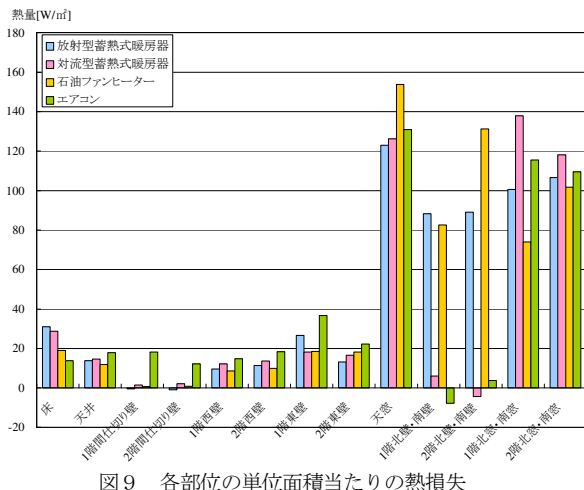


図8 室内表面温度分布 (通常使用時)



7. まとめ

- 蓄熱式暖房器は、暖房器直上の熱上昇流が大きい
ため、鉛直方向の温度差が大きい、水平方向の
温度差は小さい。
- ISO7730 や ASHRAE の上下温度差の推奨値から
判断すると蓄熱式暖房器の温熱環境は良好である。
- 石油ファンヒーターやエアコンは、居住域（高さ
100mm～1100mm）の上下温度差が大きくなる領
域が生じ、必ずしも快適な温熱環境とは言えない。
- 蓄熱式暖房器を天井高のある吹き抜け空間等で使
用する場合、シーリングファンなどの空気循環装
置との併用が効果的である。
- 石油ファンヒーターやエアコンの様な強制的な対
流による暖房方式は、シーリングファンを併用し
ても、空気の循環・拡散がうまくいかず、温熱環
境はあまり改善されない。

[注釈]

1) 北側は、床面積あたりのガラス面の割合が南側より大きい
ため全体の室温が低くなる。

[参考文献]

- 大島協子他：異なる暖房方式を採用した居室の温熱環境
評価に関する研究 (その 1), 日本建築学会大会学術講演
梗概集 2007, pp.31-32
- 月舘司他：対流型・放射型暖房方式の温熱環境に関する
数値解析, 空気調和・衛生工学会大会学術講演論文集
2007, pp.385-388
- CFD 解析による建築・都市の環境設計工学, 村上周
三, 東京大学出版会, 2000