

基礎断熱による空気式床下暖冷房システムの提案

－夏季冷房時を対象とした実験と CFD 解析による検討－

2005541034

橋口 奈美子

白石研究室

基礎断熱, 床下冷房, 温熱環境, 実測, CFD

1. はじめに

近年では、住宅の高断熱・高気密化に伴い、基礎部分を断熱施工し、床下空間を密閉化する構法が普及しつつある。このような基礎断熱構法は、室内空間と床下空間を熱的に一体的に取り扱うため、気密性能だけでなく、施工性、耐久性、経済性が向上する構法としても期待され^{文1)}、寒冷地から温暖地においてその有効性が示されるに至っている。しかし、既往の事例・研究では暖房のみを考慮したものが殆どであり、温暖地域における“冷房のみ”もしくは“暖冷房”を同時に検討した事例は見当たらない。また床下暖房を採用する場合は、暖房用熱源としてFF式暖房機、灯油ボイラー等が利用され、一方、冷房用として居室側にルームエアコンが設置されるケースが多く、エネルギー消費量の増大や過剰設備の問題も懸念される。

本研究では、温暖地域において基礎断熱構法を採用した際に、暖冷房を一体的に考える空気式床下暖冷房システムを提案すると共にその温熱・空気環境並びにエネルギー消費性能等を検証することを目的としている。本論文では、夏季冷房時の実験により居住空間の温熱環境及びエネルギー消費量等を測定し、同システムの有効性や吹き出し条件の最適制御方法に関する検討を行う。また、同システムを対象としたCFD解析を実施し、予測精度の検証を踏まえ、温熱・空気環境の詳細を把握すると共に、他の冷房システムを対象とした場合のケーススタディも併せて行う。

2. 空気式床下暖冷房システムの概要

空気式床下暖冷房システムとは、図1に示すように全ダクト方式の家庭用エアコンの室内機を床下空間に施工し、断熱フレキダクト等を用いて床下空間へ給気を行い、床面に設置した給気用ガラリから室内空間へ空気（冷気および暖気）を供給するシステムである。室内側では、空間上部に設置した吸い込みチャンバー

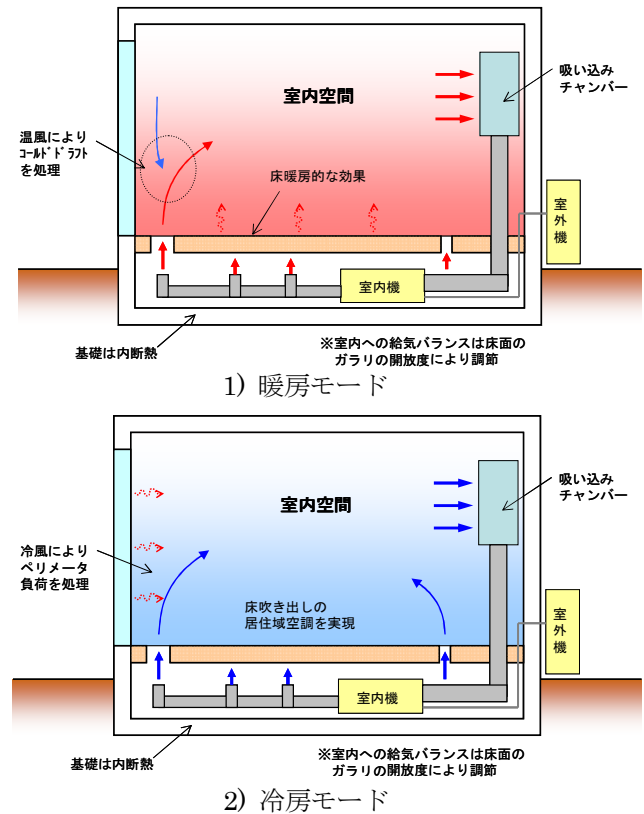


図1 空気式床下暖冷房システムの概念図

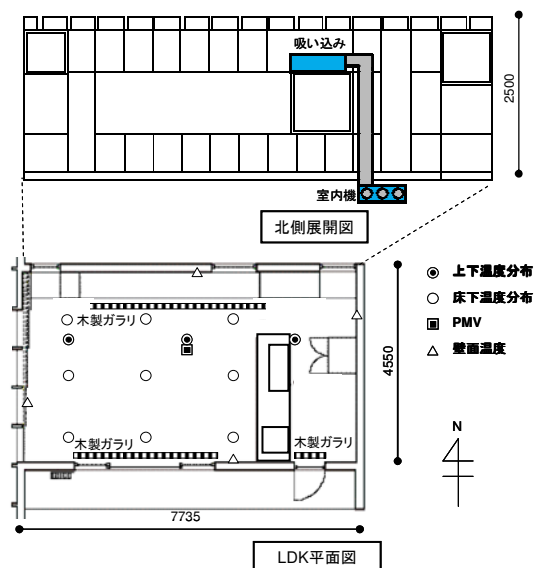


図2 LDK 平面図及び北側展開図

Air Heating and Cooling System through Under Floor based on Insulating Foundation

Cooling Experiment and CFD Simulation in Summer

HASHIGUCHI Namiko

からフレキダクトを經由して床下の室内機に還気を送る。暖房時は、床下に吹き出された温風が床材を暖め床暖房に近い効果が期待でき、同時にペリメータに設置された給気用のガラリから温風が緩やかに吹き出し、コールドドラフトを処理する(図1-1))。冷房時も、給気用ガラリから供給された冷風がペリメータ負荷を処理すると共に、居住域は成層空調と同様に空調される。このため、暖房時、冷房時共に室内環境がほぼ均一となり、ドラフト感も全く感じない。更にこの方式を採用した場合、暖冷房が1台のエアコンで同時に行うことが可能となり、またエネルギー消費量の抑制も期待できる。

3. 夏季冷房時の実測概要

3.1 実験住宅の概要 北九州市内にある次世代省エネルギー基準(Q値: 2.66W/m²K, μ値: 0.062[-])を満たす戸建住宅を対象とする^{文2)}。対象住宅は間欠空調を前提としているため、基礎部分はスタイロフォームによる内断熱としている。実測対象は敷地東側に位置するLDK空間とする(図2)。LDK空間には、東西方向に長い給気用の木製ガラリを南北床面にそれぞれ配置し、吸い込み口を床面から1.7mの北側壁面収納(収納下面からの吸い込み)に設置している。

3.2 実測概要 対象住宅の空調システムの詳細は可変であり、給気口の位置とその開放度、空調の制御方法など検討の余地がある。給気用のガラリは、ペリメータ負荷の処理を重視すると、窓面積の大きい南側に寄せて、北側の吸い込み口から遠ざけるべきであるが、北側にも設置する事により室内の温熱環境が均一になる可能性がある。給気用のガラリはその設置面積もしくは開放度によって面風速、更に室内の温熱環境に影響を与えるものと思われる。また、床下のダクトの設置位置によっても各ガラリの給気量、給気温度並びにエネルギー消費量が異なる可能性がある。このため、空調システム最適化の実験を行う。

①実験ケース(表1) 平成20年8月5日~8月15日にかけて冷房実験を行った。実験ケースは床面空調吹き出し口の開放率と吹き出し風量を変えた4ケースとし、冷房は8~22時までの連続運転とする。各ケース2日間測定し、ケースとケースの間には1日インターバルを設けた。

②測定項目及び測定位置 温熱環境として室内の上

表1 実験ケース及び測定期間

case No.	ダクト位置	開放率[%]	風量	設定温度	測定期間
case1	南側	南50	固定	28℃	8/5~8/6
case2	南側	南50	自動	28℃	8/8~8/9
case3	南北	南25、北25	固定	28℃	8/11~8/12
case4	南北	南25、北25	自動	28℃	8/14~8/15

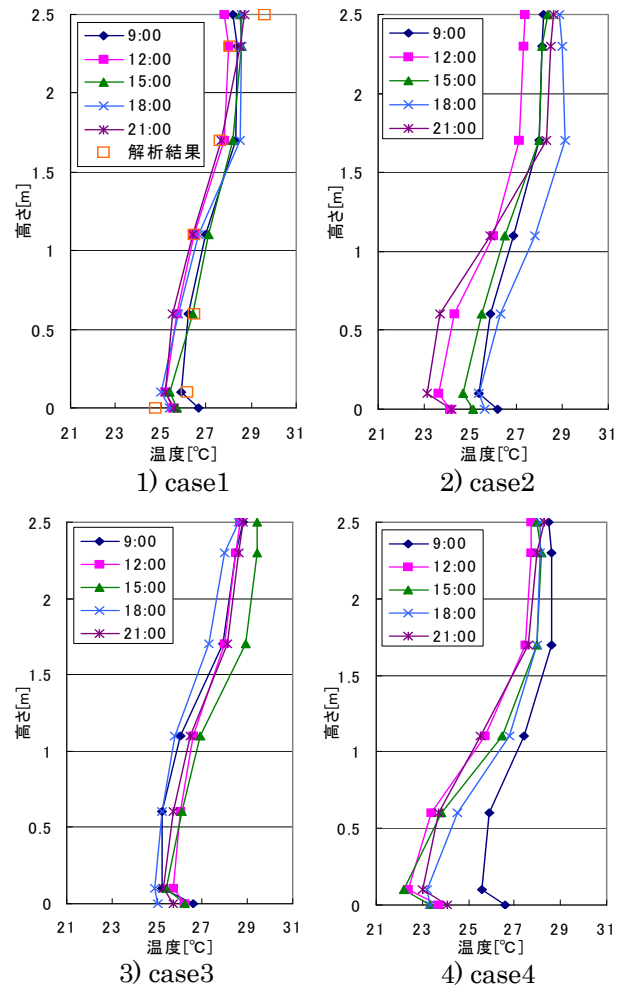


図3 各ケースの上下温度分布及び解析結果

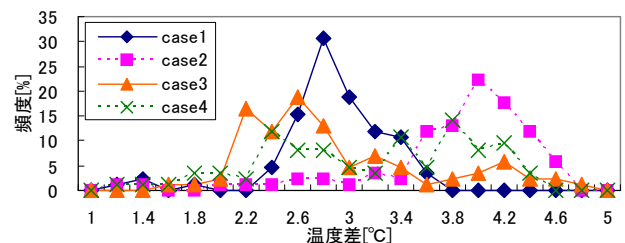


図4 上下温度差とヒストグラム

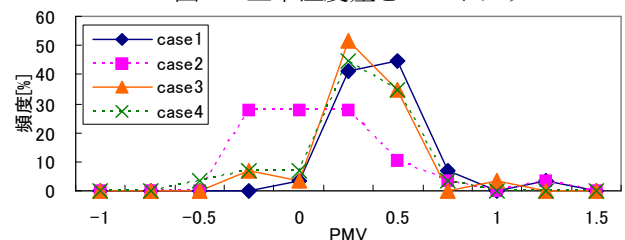


図5 PMVヒストグラム

下・水平面の温湿度分布、PMV及び床下空間の水平面温湿度分布の測定を行った(図2)。同時に空調吹き出し風量、温湿度、電力消費量等の測定も行った(測定項目等の詳細は省略)。温湿度、風速のサンプリング間隔は10分、また、PMV、電力量は30分とした。サーモカメラによる室内表面温度の撮影は各ケース14時に行った。

4. 実測結果

4.1 屋外環境 実測期間中、最高気温が概ね30°Cを超え、水平面全天日射量は1kW/m²程度となり、典型的な夏季の屋外環境であった(図省略)。

4.2 室内温熱環境

①上下温度分布(図3及び図4) 風量固定のcase1及びcase3では上下温度差並びに日中の温度変動も小さい。一方、風量自動制御のcase2及びcase4では上下温度差も大きく、特に床上1.0m以下の領域での時間変動が大きい。図4に上下温度差(床上0.1mと1.7mの温度差)のヒストグラムを示す。吹き出し風量固定のcase1、case3の殆どが3°C以内^{*)}に収まるのに対し、風量自動のcase2とcase4は温度差が3°C以内に収まらず1~5°Cの間に広く分布している。以上より、吹き出し風量に関しては、風量固定の方が室内温熱環境を良好に維持できるものと思われる。

②PMV(図5) 各実測期間の代表的な1日の冷房時間帯(8~22時)のPMVのヒストグラムを図5に示す。PMV算出条件は、着衣量:0.54clo、代謝量:1metとした。全てのケースにおいて、概ね-0.5<PMV<+0.5^{*)}となっており、快適な温熱環境を実現できていると言える。ただし、case2のみ前述の上下温度分布を反映し、全体的にPMVが低く分布している。

4.3 空調機関連

①エネルギー消費量(図6) グラフより、風量自動のcase2とcase4と比べ、風量固定のcase1とcase3はエネルギー消費量(積算値)が少なく、ピーク値も小さい。よって、省エネの観点から判断すると、室内温熱環境同様に風量固定制御の方が優れていると言える。

②給気・還気温度及び全熱負荷(図7) 風量固定に比べ、風量自動制御にした場合、給気温度が著しく低くなり、5°Cまで達する。これにより、case2及びcase4で床上1m以下の室温が低下したものと考えられる。

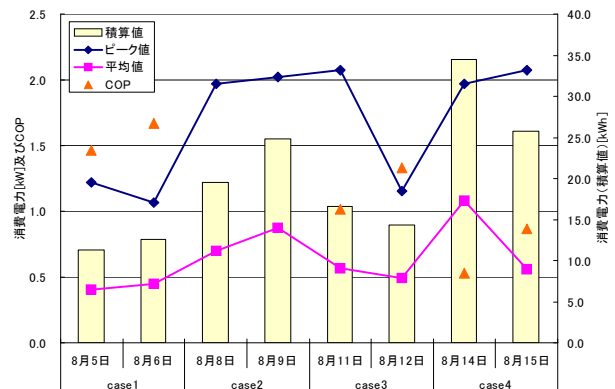
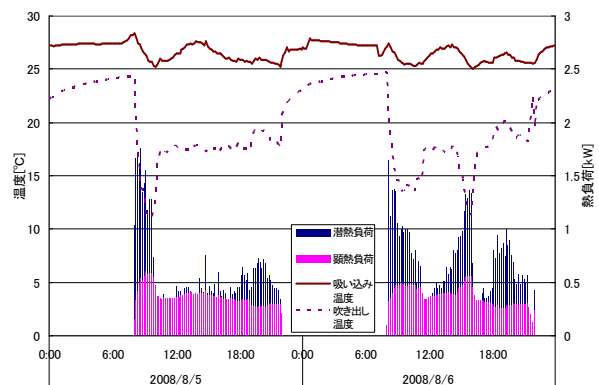
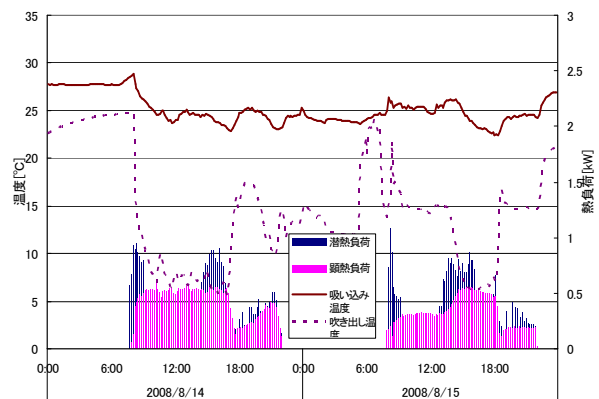


図6 エネルギー消費量及びCOP^{注1)}



1) case1 (風量固定)



2) case4 (風量自動)

図7 給気・還気温度及び全熱負荷

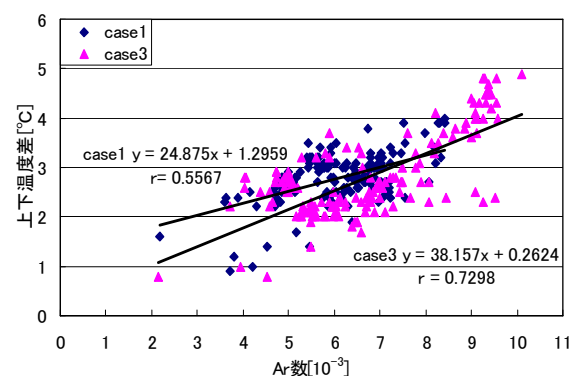


図8 上下温度差とAr数の関係

4.4 吹き出し条件(図 8) 風量固定の case1 と case3 は上下温度差(床上 0.1m と 1.7m の温度差)と Ar 数^{注2)} の間に相関が見られたが、風量自動設定の case2 と case4 には相関が見られなかったため、case1 と case3 の結果のみ図に示す。両ケース共に上下温度差を 3℃以内に抑えるためには $Ar \leq 0.007$ とすれば良い。

5. CFD 解析による検討

5.1 解析概要 実験同様に夏季冷房時を対象とした CFD 解析を実施する。まず case1 の実験結果と CFD 解析の結果を比較する事により、予測精度の検証を行う。次に、ケーススタディの一環として、壁掛けルームエアコンを採用した場合、給気口の開放率を変更した場合等のシミュレーションを実施し、床下冷房システムの温熱環境の有効性を検証する。ただし、全てのケースで冷房による除去熱量は揃えている。

5.2 予測精度の検証(図 3 1), 及び図 9 1) 実測結果と解析結果の上下温度分布を比較すると、どのポールにおいても実測結果とほぼ同じような分布となった。

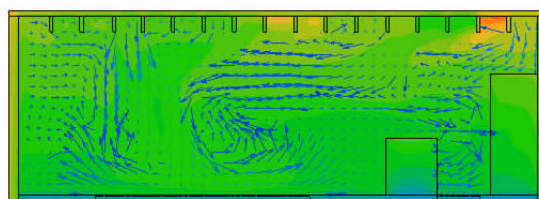
5.3 ケーススタディの結果と考察(図 9)

①壁掛けルームエアコン エアコンは室の長辺方向に吹き出すのが一般的だが、今回の住宅の場合南窓付近のペリメータ負荷の処理を考慮すると、南窓に向けて冷気を吹き出す方法も考えられる。よって、室の長辺方向(西側)に吹き出した場合と、短辺方向(南側)に吹き出した場合の 2 ケースを行った。短辺方向のケースは北側収納部分に、長辺方向のケースは東壁にエアコンを設置した。両ケースとも吹き出された冷気が室全体に拡散せず冷気溜まりが生じている。特に短辺方向のケースでは、キッチン横の勝手口からの日射熱負荷を処理出来ず天井付近の温度が高くなる。

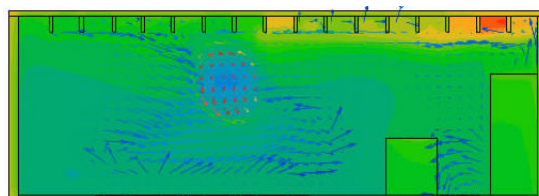
②給気口の開放率の変更 実験では吹き出し口の開放率 50%と設定したが、開放率を小さくする事で吹き出し風速が速くなり、より上下温度差が小さくなる可能性がある。そこで、南側の給気口の開放率を 25%にした結果、開放率 50%よりも上下温度差が生じず流速もほぼ 0.1m/s となっており、快適な室内環境となった。

6. まとめ

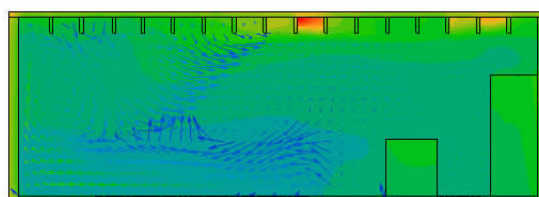
- 1) 風量固定の方が、温熱環境・エネルギー消費量共に優れている。
- 2) 風量固定の場合でも、ペリメータ負荷の処理を考慮すると南側に給気口を集中させた方が良い。



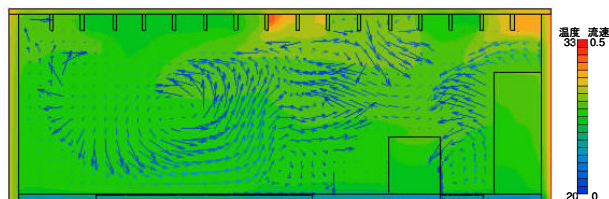
1) case1 (開放率 50%)



2) エアコン(短辺方向)



3) エアコン(長辺方向)



4) 南側給気口 開放率 25%

図 9 室中央の鉛直温度分布と流速分布

3) 床下冷房システムは、壁掛けルームエアコンより室内温熱環境を均一にでき、また、吹き出し風量を変えることで上下温度差を小さくすることが出来る。

[注釈]

注 1) case2 の COP は風速のデータ欠損により算出出来なかった。

$$\text{注 2) } Ar = \frac{g \beta \Delta \theta L}{v^2} \quad [1]$$

g : 9.8[m/s²], β : 体膨張係数 (=1/θ [K]), $\Delta \theta$: (吹き出し温度-還気温度) [°C], L : 吹き出し口面積の平方根 [m], v : 吹き出し風速 [m/s]

[参考文献]

1) 劉 青榮, 龍 有ニ, 香川 治美, 兒島 孝徳: 温暖地における基礎断熱住宅の床下空間の形態と利用法が温熱環境に与える影響, 日本建築学会環境系論文集, 第 605 号, pp. 31-38, 2006

2) 財団法人 建築環境省エネルギー機構 (IBEC), 建築物総合環境性能評価システム CASBEE-すまい[戸建], 評価マニュアル(2007 年度版)

3) ASHRAE, ANSI/ASHRAE Standard 55-92: Thermal environmental conditions for human occupancy, (1992)

4) International Standard ISO 7730: Moderate thermal environments-Determination of the PMV and PPD indices and specification of the conditions for thermal comfort, (1984)