

床下空間を利用した空気循環型
全室暖房システムの開発と適用DEVELOPMENT AND APPLICATION OF
WARM AIR HEATING SYSTEM USING
CRAWL SPACE

福島 明 — *1 鎌田紀彦 — *2
本間義規 — *3 絵内正道 — *4
西田和宏 — *5

Akira FUKUSHIMA — *1 Norihiko KAMATA — *2
Yoshinori HONMA — *3 Masamichi ENAI — *4
Kazuhiro NISHIDA — *5

キーワード：
床下空間, 温度環境, 暖房システム, 空気循環

Keywords:
Crawl space, Thermal environment, Heating system, Air convection

This paper presents the development of warm air heating system using crawl-space as heating chamber for single family house. To establish proper system, required opening area for air convection on the floor and air convection wall, is discussed through simulation.

Developed system is applied to the practical house and their performances are measured. The results indicate that this system creates comfortable indoor thermal environment in the heating season.

1. はじめに

基礎断熱した床下空間に暖房機を集中的に設置し、空気循環によって住宅全体の暖房を行う方式(床下暖房方式: 図1)は、床下の暖房機からの上昇気流を利用し、中空間仕切り壁や床面開口を通じて暖気を室内に循環することによって、全室を暖房する方法である。床下空間を新鮮取り入れ外気の予熱チャンバーとして利用可能になることや、床下空間の温度が室温より高く保たれることから、住宅全体が低温床暖房に近い環境になるなど、快適な暖房環境の実現が期待できる。また、室内に暖房機器を設置する必要が無いため、スペースユーティリティーが高く、全室暖房が普及した地域では、設

計上の利点も多い。暖房工事が床下だけで済むことから施工性も高く、保守も容易である。

本報告では、空気循環を含めた暖房設計方法の検討結果と、実住宅に蓄熱式暖房器を利用した床下暖房方式を適用し、暖房環境の検証を行った結果を報告する。

2. 暖房設計方法の検討

2階建て住宅を対象に、定常の熱・換気計算を行い、全室暖房するために必要な床面および通気壁の開口面積を検討した。

(1) 計算方法¹⁾

定常の熱収支式計算と風量収支計算を交互に行い、温度と風量収支が同時に満たされるまで計算を行った。風量の計算は、圧力仮定の流量収支式をたて、ニュートンラプソン法により収束計算した。

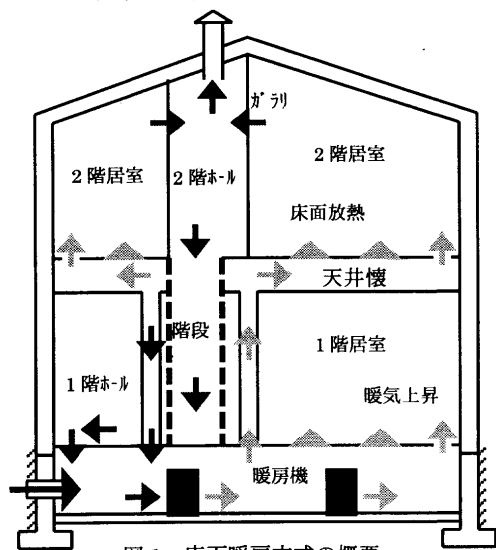


図1 床下暖房方式の概要

表1 シミュレーション住宅モデルの断熱・気密仕様

部位	仕様	熱貫流率 (W/m ² K)
外壁	GW16K100mm(細繊維)	0.43
窓	Low-Eペアガラス	2.33
天井	GW16K200mm(細繊維)	0.18
基礎外周	押出発泡ポリスチレンB類3種75mm	0.53(基礎長1m当り)
全体性能	相当隙間面積1cm ² /m ² , 熱損失係数1.5 W/m ² K	

表2 計算パラメータ

計算パラメータ	水準
暖房用設計外気温度(°C)	0, -10, -20
上昇用通気壁開口, 有効開口面積(cm ²)	1000, 1500, 2000, 4000
下降用通気壁開口, 有効開口面積(cm ²)	0, 500, 1000, 2000
床面開口(暖気吹出+リターン), 有効開口面積(cm ²)	0, 2000, 4000, 8000

*1 北海道立寒地住宅都市研究所 博士(工学)
(〒063-0804 札幌市西区二十四軒4条1丁目3-36)
*2 室蘭工業大学 助教授・工博
*3 岩手県立大学盛岡短期大学部 講師・博士(工学)
*4 北海道大学 教授・工博
*5 北海道電力(株)総合研究所

*1 Hokkaido Prefectural Cold Region Housing and Urban Research Institute, Dr. Eng.
*2 Muroran Institute of Technology, Dr. Eng.
*3 Morioka Junior College, Iwate Prefectural University, Dr. Eng.
*4 Hokkaido University, Dr. Eng.
*5 Research and Development Dept., Hokkaido Electric Power Co., Inc.

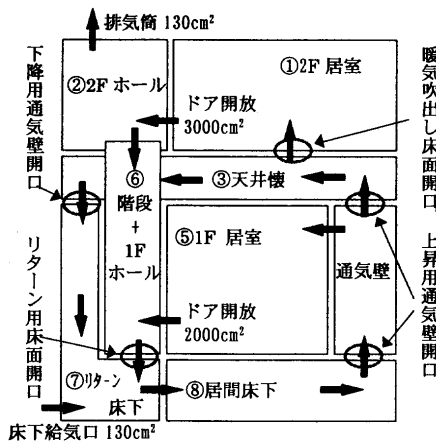


図2 計算モデルと暖気循環経路

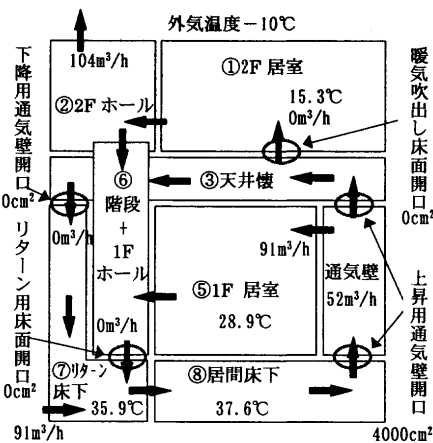


図3 計算結果 (開口が不十分な場合)

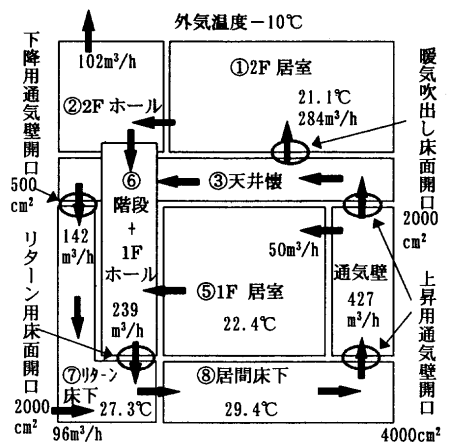


図4 計算結果 (開口が十分な場合)

圧力補正時の緩和係数は、0.5である。

(2) 計算モデル

計算モデルとしては、日本建築学会の「学会標準モデル²⁾」を用い、表1に示す断熱・気密仕様の設定で、図2に示すように8空間にモデル化した。床下空間については、居間床下、そしてリターンの空気が集中化する床下（以下、リターン床下）の2空間とした。上昇用の通気壁内部は単独で1室とした。放熱源は内部発熱量として居間床下、リターン床下、通気壁間仕切り壁それぞれに設定した。熱源を通気壁に設定したのは、その直下に設置された暖房機からの放熱が全て、2階部への熱搬送のために直接通気壁を上昇する形態を想定したからである。

(3) 計算の概要

1) 暖房の設定

各室の温度計算は、住宅の平均室温を22.0℃に保つのに必要な熱量を床下に全量供給して計算した。設定した床下放熱量は、暖房用設計外気温度-20、-10、0(℃)に対してそれぞれ、9,300、7,000、4,650(W)とした。

2) 風量計算の設定

換気は、パッシブ換気³⁾⁴⁾を想定し、内外温度差20℃で、隙間漏気も含め住宅全体で100m³/h程度の総換気量が確保されるよう、予備計算を行い、床下給気口および排気筒の有効開口面積を設定した。風量計算に使用した各部の通気特性を図2中に示す。1,2階各居室からホールへのドア開口は、大型のガラリを想定し、1箇所あたり有効開口面積1000cm²とした。建物の隙間は、1,2階の各空間の床面積に応じて、上下方向に5分割して均等に与えた。

3) 空気循環の計算パラメーター

計算パラメーターを表2に示す。暖気循環計画に影響を与える要素は、図2に示す4つの各開口である。このうち、換気量に対して循環空気量が数倍大きく、暖気吹出し用床面開口とリターン用床面開口を通過する換気量はほぼ同量と見なせるので、同等の面積と設定して問題ないものと考え、①上昇用通気壁開口②下降用通気壁開口③床面開口（暖気吹出し用+リターン用）の3つの開口パラメーターに集約した。なお、事前の予備計算から1階居室は暖気を吹出さなくても室温が保たれることが明らかになったため、暖気吹出し用床面開口は全て2階居室床面に設置することとした。

(4) 計算結果と考察

図3,4に、開口面積が異なる計算結果を示す。開口が不十分な場

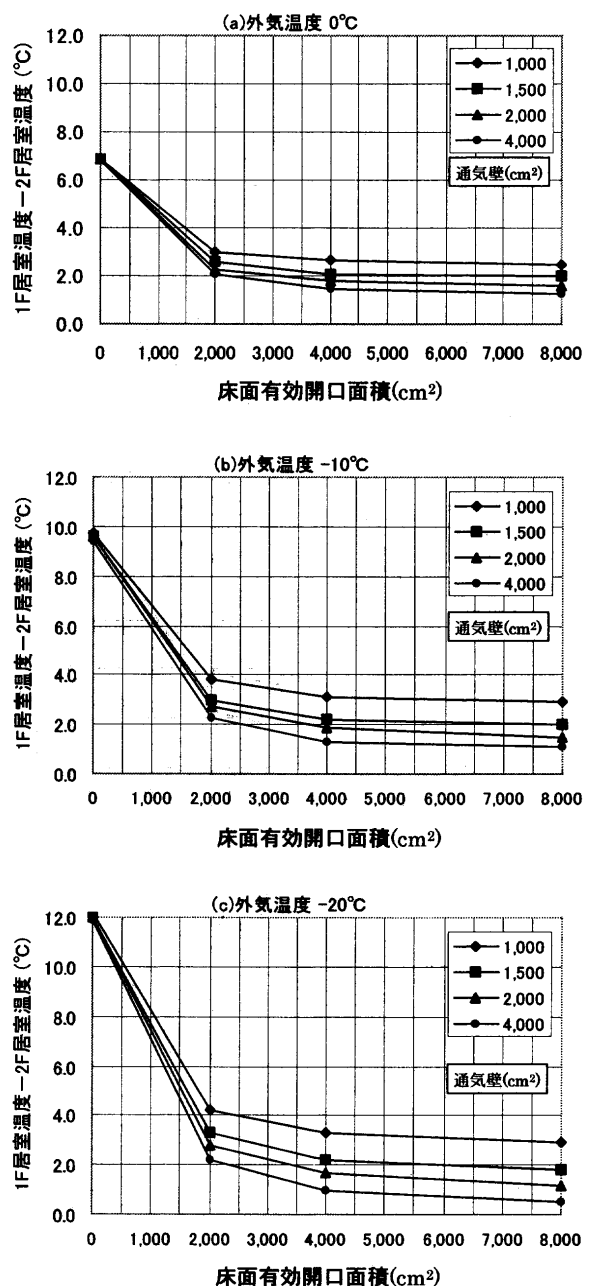


図5 各部の開口面積と1,2階の温度むら

合には1階の温度が著しく上昇する反面、2階の温度は15℃程度にしかならない。これに対して、十分な開口を取った場合は、1,2階の温度差は1℃程度になる。この結果、床下暖房は2階室温が1階室温より低めになる傾向にあり、その度合いは各開口面積の大きさに影響を受けること明らかになった。

上昇用通気壁開と床面開口の有効開口面積と、1-2階居室間の室温差の関係を図5(a~c)に示す。上昇用通気壁、床面開口とも面積が大きくなる程、1-2階間の室温差が小さくなる傾向にある。しかし、いずれも開口面積が一定以上大きくなると、その影響は小さくなる。この結果、上昇用通気壁で1,500cm²、床面開口で2,000cm²以上の有効開口面積を確保すれば、1,2階の温度差を3℃以内に行うことができることが明らかとなった。

2階居室の扉を開放すれば、温度差は著しく改善するため、扉閉鎖時の環境として、3℃程度の温度差は許容の範囲と考えられる。この結果、上昇用通気壁開口1,500cm²、床面開口2,000cm²以上という有効開口面積の設定は、空気循環を利用した床下暖房の設計目標として良いと考えた。

3. 実住宅への適用と検証

(1) 床下暖房を適用した住宅の概要

蓄熱式電気暖房器による床下暖房方式を実住宅に適用し、空気循環の特性と暖房時の温度特性を検討した。蓄熱式電気暖房器を床下に集中的に設置し、空気循環による全室暖房を行った。住宅の概略図を図6に示す。換気はパッシブ換気である。

平面計画としては、1階部に車庫としてのピロティがあり、2階部に居間が設けられる逆転プランで、2階の温度が1階より低くなる傾向のある当該方式には、不利なプランである。断熱性能としては、外壁が高性能グラスウール16K100mmで、窓がLow-Eペアガラス仕様となっており、高断熱住宅としては標準的な仕様にある(表4)。基礎部は、30mmのウレタンボードを捨て型枠として使用しており、断熱厚さは60mmである。気密性能は、相当隙間面積で1.5cm²/m²であった。

(2) 暖房システムの設計

1) 暖房機

使用した蓄熱式電気暖房機は5.2KWを2台とし、2階の暖房を優先して、吹出し温風はすべて上昇通気壁を通じて上昇するように計画した。蓄熱式電気暖房機は強制ファンで温風を吹出すタイプで、2階居間の温度センサーでファンをオンオフすることで制御した。暖房機は高さが70cm程度あるため、床下は90cmの高

さをとり、自然放熱によって暖房機直上の温度上昇が大きいため、暖房機上部にのみ30mmの押し出し法ポリスチレンフォームを貼り付けた。

2) 空気循環の設計

車庫上部を天井断熱としその天井裏、すなわち2階居間床下空間(天井懐)を利用して、床下→天井懐→床下と循環する暖気の流れを作り出すことを計画した。循環を実現するには、床下暖房器で作り出される高温空気を上昇気流として上方へ流す行きルートと、居室から床下へ戻るルートの2つの縦経路が必要である。1階クローゼットに2重壁の縦経路を設けて、その下部に蓄熱暖房器を設置することで、これを暖気の行きルートとし、階段下の収納空間を帰りのルートとなるよう、収納部には天井を張らずに天井裏空間から床下へのリターンを確保した。

2階の洋室と居間の床面に暖気の吹出しガラリーを設置し、室内への循環を図った。また、階段下の収納の扉には、40×50cmのガラリーを設け、玄関および1階寝室の床面ガラリーと合わせて、2階居室から階段室を経由して床下に戻るルートを確認した。

3) 各部の通気特性

各通気部位の有効開口面積は、表5のとおりである。上昇通気壁は、外壁のプラスターボードを張った上に12cmの付け間柱を施工し、通気空間を確保したものである。間柱間1個所を約40cm×12cm、

表4 実測住宅の断熱仕様

部位	仕様	熱貫流率 W/m ² K
外壁	細繊維グラスウール16K100mm	0.35
基礎	RC150mm+両面ウレタン30mm	0.78
天井	ブローイングセルロス30kg200mm	0.21
天窓	ベルックス307(GGLDW-606)	1.86
一般窓	PVCサッシ、Low-Eペアガラス	2.10

表5 各通気部位部の有効開口面積

部位	寸法	有効開口面積 cm ²
上昇通気壁	120cm厚さ、2.7m	約1,500
2階居間床ガラリー	70cm×20cm、実開口約600cm ²	約450
2階洋室床ガラリー	70cm×12cm、実開口約450cm ²	約340
玄関ガラリー	70cm×20cm、実開口約600cm ²	約450
1階寝室床ガラリー	70cm×20cm、実開口約600cm ²	約450
階段下ドアガラリー	70cm×12cm、実開口約450cm ²	約340
リターン開口の合計		約2000

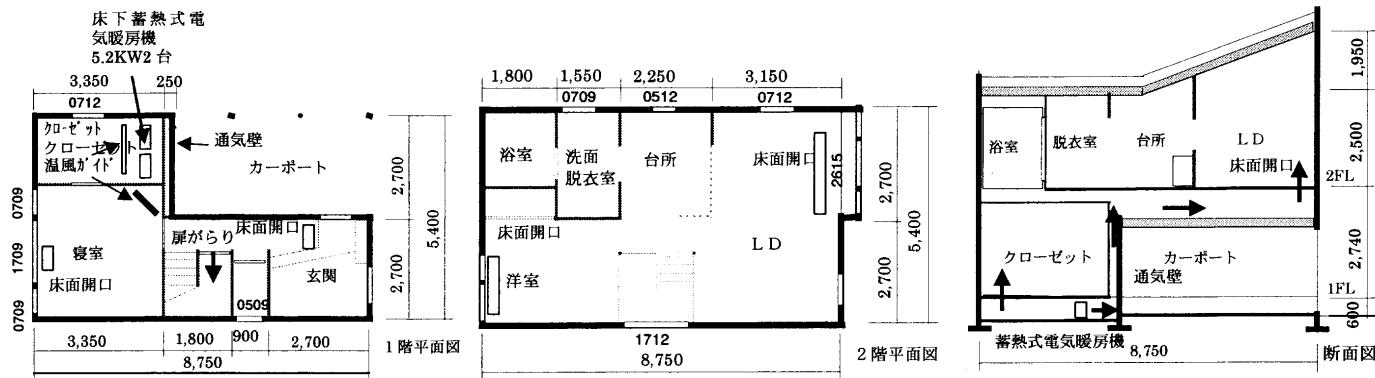


図6 パッシブ換気・床下暖房住宅の概要

高さ 2.4mの角ダクトとして推定し、有効開口面積は、250cm²と予測した。上昇用通気壁の幅は 2.7m で、6 つの間柱間の空間を持つことから、上昇用通気壁の有効開口面積は、前項で設定した目標性能の 1500 cm²を満足している。

床面開口の木製ガラリおよび階段下収納のドアガラリは、既存資料⁹⁾から開口率 $\alpha=0.75$ として予想した。吹出しとリターンの床面開口の有効開口面積は、合計約 2500cm²で、設計目標を満足した。

(3) 暖房環境と空気循環に関する実測と評価

1) 換気および空気循環の換気および空気循環量の測定

各空間の外気導入量の測定には、炭酸ガスの定濃度法、室間換気については、各室パルス発生による濃度応答を用いて求める、奥山の方法¹⁰⁾を用いた。

図 7 は、室内外温度差が 25℃前後の条件の換気量と空気循環量、および各部の温度の測定結果である。換気は、パッシブ換気を採用しており、換気量は、約 90m³/h 程度である。排気は、排気筒の排気口がある居間から全量排気され、給気は約 80%が床下から給気される結果になっており、住宅全体の給排気のシステムは、設計意図に準じたものとなっている。

暖房のための、床下と天井懐空間の空気循環に注目すると、2 階へ多量の直接空気循環が生じ、天井懐から床下への空気循環の約 2 倍の空気が 2 階に直接循環している。これは当該住宅が、居間が 2 階にあり、暖房面積も 2 階の方が圧倒的に大きいという床下暖房には不利な条件のため、十分な暖房を実現する上で温風の 2 階への直接的な循環を意図したため、設計意図に準じた空気循環特性が実現しているといえる。

2) 室内の温度環境

室内の温度は換気実験時、内外温度差が 25℃で、1 階寝室と居間の温度差は約 4℃程度生じており、やはり 2 階居室の温度が 1 階に比較して低くなった。1 階への熱供給を抑制するため、床下の暖房機からの温風が 1 階床下に拡散しないよう、合板でガイドを設置した。図 8 は、温風ガイド設置後に測定した厳寒期の室内の温度変動である。各室の温度差はほとんど生じていない。蓄熱暖房機からの吹出し温度は最高 70℃に達したが、室内温度は安定して保たれており、温度むらも生じない良好な暖房環境が実現した。

4. まとめ

基礎断熱床下空間に暖房機を設置し、空気循環を利用して住宅全体を暖房する「床下暖房方式」について、計画的な暖気循環を実現するために必要な各種開口の必要有効開口面積について検討した。この結果、上昇通気壁と床面開口の有効開口面積が、それぞれ 1,500cm²、2,000cm²程度以上あれば、1、2、階の温度差は 3℃以内を保持することができることを示した。また、それぞれの有効開口面積がこの程度以上確保されていれば、その大小にはあまり影響を受けないことから、床下暖房に必要な空気循環用の有効開口面積の設計目標値として、これらの値を利用できると考えられる。

これらの検討を元に、蓄熱式電気暖房機を床下に集中的に設置して空気循環によって全屋を暖房する、床下暖房方式を実住宅に適用し、空気循環および暖房環境の検証を行った。設計時に意図した、床下と各居室間の空気循環が実現していることを、実測により明らかにした。また、温度測定の結果から、当該方式が安定した暖房環境を実現することを示した。

床下暖房方式は、建物自体を空気循環システムとした空気暖房方式のため、住宅の平面計画によって個別にシステム設計を必要とする。今後、平面計画の分類を行い、それぞれのパターンにしたがって暖房換気設計手法を整備することが必要と考えられる。また、一般住宅への普及を目指して、現在最も普及している温水暖房システムを利用した床下暖房方式の設計手法を開発するとともに、各通気部位に関して設計用開口面積データを整備すること、乾燥変形に配慮した床工法の開発が課題である。

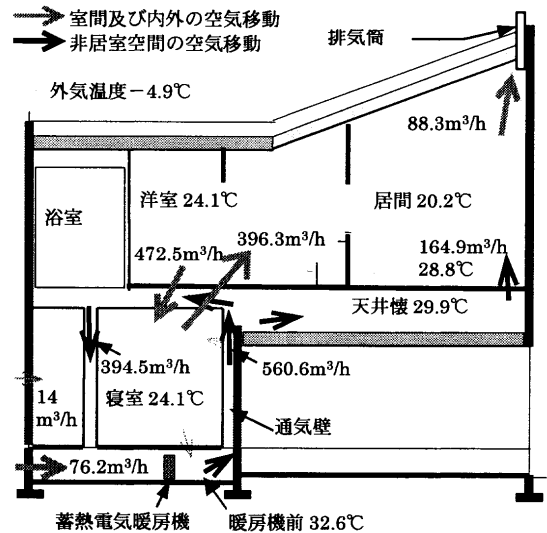


図 7 室間換気量の測定結果

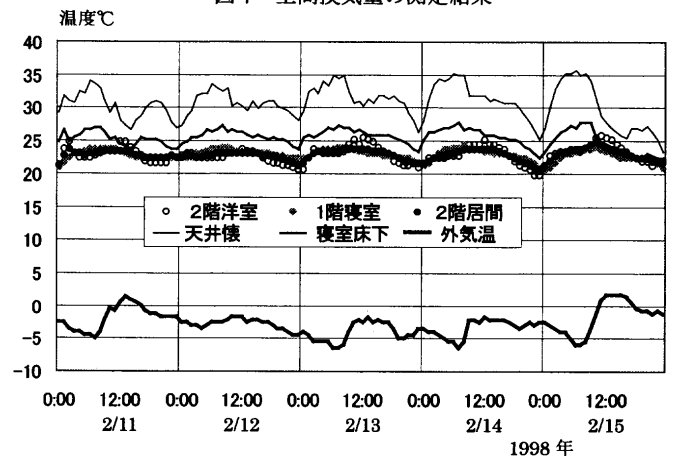


図 8 各部の温度変動

本報告は、日本建築学会、環境工学委員会、熱小委員会、パッシブWG、基礎断熱床下空間利用の暖房・換気方式に関する研究 SWG の研究成果の一部である。記して関係各位に感謝する。

<参考・引用文献>

- 1) 福島 明, 入江雄司: 熱交換換気システムを用いた集合住宅の結露防止方法に関する研究, 日本建築学会計画系論文集, 第 480 号, pp.1~6, 1996.2
- 2) 宇田川光弘「標準問題の提案」, 第 15 回熱・冷・湿・気, 1985 年
- 3) 福島 明, 宮浦睦明, 絵内正道, 土井 聰: 基礎断熱した床下空間を冷外気の予熱給気に利用した自然給気方式の実験的検討, 寒冷地のパッシブ換気に関する研究 その 1, 日本建築学会計画系論文集, 第 498 号, pp.51-56, 1997.8
- 4) 福島 明, 絵内正道, 宮浦睦明, 本間 義規: 基礎断熱した床下空間を利用したパッシブ換気・暖房方式の実住宅への適用—寒冷地のパッシブ換気に関する研究 その 2, 日本建築学会計画系論文集, 第 532 号, pp.51-56, 2000.6
- 5) 建築計画原論Ⅲ, 渡辺要編, 丸善出版
- 6) 奥山: 一般拡散システムの回路網による状態方程式とそのシステムパラメータの同定理論, 日本建築学会論文報告集, 第 344 号, pp.103-115, 1984.10

[2001年 4月19日原稿受理 2001年 7月27日採用決定]